УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ

Софија Н. Килибарда

ПРОИЗВОДНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ, ФИТОХЕМИЈСКИ ПРОФИЛ И АНТИОКСИДАТИВНА СВОЈСТВА ДИВЉЕ РУКОЛЕ (*Diplotaxis tenuifolia*)

докторска дисертација

Београд, 2026

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF AGRICULTURE

Sofija N. Kilibarda

PRODUCTION CHARACTERISTICS, PHYTOCHEMICAL PROFILE, AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF WILD ROCKET (*Diplotaxis tenuifolia*)

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2026

Ментор 1:	**др Ђорђе Моравчевић, редовни професор** Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет Ужа научна област: Ратарство, повртарство, цвећарство, крмно и лековито биље
Ментор 2:	**др Александар Ж. Костић, редовни професор** Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет Ужа научна област: Хемија
Чланови комисије:	**др Дејан Пљевљакушић, научни саветник** Институт за проучавање лековитог биља „Др Јосиф Панчић“, Београд Ужа научна дисциплина: Лековито биље
	др Данијел Милинчић, виши научни сарадник Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет Област: Природно-математичке науке-Хемијске науке
	др Ненад Павловић, ванредни професор Универзитет у Крагујевцу, Агрономски факултет у Чачку Ужа научна област: Ратарство, повртарство и крмно биље

Датум одбране докторске дисертације:

Захвалница:

Израда ове докторске дисертације не би била могућа без несебичне подршке, стручног вођства и помоћи бројних људи којима дугујем искрену и дубоку захвалност.

Пре свега, изражавам неизмерну захвалност својим менторима, др Ђорђу Моравчевићу и др Александру Ж. Костићу, на указаном поверењу, стручном усмерењу, драгоценим саветима, стрпљењу и континуираној подршци током свих фаза израде ове дисертације. Посебно сам им захвална на знању које су ми несебично пренели, на прилици да учим од њих и да се развијам не само као истраживач већ и као човек. Њихова посвећеност науци, критичко размишљање и вера у моје способности представљали су ми стални подстицај за напредовање. Захвалност изражавам и члановима Комисије, др Дејану Пљевљакушићу и др Ненаду Павловићу, на издвојеном времену, пажљивом разматрању дисертације и конструктивним сугестијама које су допринеле њеном коначном обликовању и унапређењу научног квалитета.

Посебну захвалност дугујем др Славици Јелачић, која је у мени препознала потенцијал и пружила ми прилику да се професионално развијам. Велико хвала професорки на указаном поверењу, разумевању, стрпљењу и бројним приликама које су ми омогућиле да стичем нова знања и искуства. Њени савети, вера у мене и несебична спремност да ме усмери и охрабри били су од непроцењивог значаја током читавог мог академског пута.

Неизмерно сам захвална колеги др Данијелу Милинчићу, без чијег ангажовања, стручних сугестија, несебичне помоћи и охрабрења реализација овог истраживања не би била могућа. Његова спремност да помогне у сваком тренутку, подели своје знање и искуство оставила је неизбрисив траг у мом професионалном усавршавању.

Искрену захвалност дугујем проф. др Мирјани Пешић, која ми је омогућила да део експерименталног истраживања у оквиру ове докторске дисертације реализујем у њеној лабораторији. Захвална сам јој на указаном поверењу, стручној подршци и предусретљивости, као и на обезбеђеним лабораторијским ресурсима и условима неопходним за реализацију овог дела истраживања. Драгоцену помоћ током експерименталног рада пружила ми је др Бојана Шпировић-Трифуновић, док сам др Драгану Станојевићу захвална на стручним саветима у вези са статистичком анализом резултата.

Искрену захвалност дугујем и др Александру Симићу, шефу Катедре за ратарство и повртарство, на драгоценим саветима, разумевању, указаном поверењу и спремности да ми увек изађе у сусрет. Посебно хвала и др Ани Вујошевић, која је увек имала речи разумевања и охрабрења онда када су биле најпотребније. Од срца захваљујем колегиници др Сандри Вуковић на несебичној помоћи, пријатељству и бројним лепим тренуцима који су и најзахтевније дане проведене у лабораторији чинили лакшим и лепшим.

Захваљујем се члановима Катедре за ратарство и повртарство и Института за ратарство и повртарство на подршци, разумевању и стварању пријатног радног окружења током докторских студија. Посебну захвалност дугујем Нади Илић, чија су помоћ, труд и посвећеност били од великог значаја за успешно постављање и реализацију огледа.

Бескрајну захвалност дугујем својој породици. Хвала мом оцу Николи, мајци Драгани, сестри Ксенији и веренику Теодору на безусловној љубави, стрпљењу, разумевању и подршци током свих година школовања. Хвала вам што сте веровали у мене и када сам сама сумњала, што сте ми били ослонац у свим тренуцима и што сте ми својом љубављу и подршком помогли да остварим овај циљ.

Производне карактеристике, фитохемијски профил и антиоксидативна својства дивље руколе (*Diplotaxis tenuifolia*)

Сажетак

Дивља рукола (*Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC.) је лиснато поврће које омогућава сукцесивне жетве. Утицај жетве, генотипа и фолијарних третмана на њену продуктивност и хемијски састав још није довољно разјашњен. Циљ истраживања био је да се испита утицај фолијарне примене минералних ђубрива са високим уделом калијума и гвожђа и биостимулатора на бази екстракта браон алги (Kelpak) на продуктивност, фитохемијски састав и антиоксидативни капацитет дивље руколе. Оглед је обухватио три сортна хибрида (Marte, Venere и T&T), праћена током три сукцесивне жетве. Спектрофотометријским анализама одређени су фотосинтетички пигменти, различите групе фенолних једињења, танини, растворљиви шећери, пролин, фитати и токоферол, као и антиоксидативни капацитет, док су хроматографске технике (UHPLC-Q-ToF-MS и GC-FID) примењене за карактеризацију појединачних фенолних једињења, глукозинолата и масних киселина.

Продуктивност дивље руколе била је превасходно условљена сортом и жетвом, при чему се друга, пролећна жетва издвојила као најповољнија за принос и развој асимилационог апарата. Фолијарни третмани нису директно утицали на принос, али су модификовали поједине компоненте продуктивности, посебно број листова и лисну површину, у зависности од генотипа и услова гајења.

Садржај фотосинтетичких пигмената био је првенствено условљен жетвом, са највишим вредностима у првој жетви, док утицај сорте и фолијарних третмана није био значајан. Жетва је значајно утицала на садржај различитих група фенолних једињења, при чему је њихов укупан садржај био највиши у другој жетви, док су поједине групе показале различите обрасце акумулације током производног циклуса. Садржај укупних танина, који доприносе сензорним карактеристикама дивље руколе, био је условљен сортом, жетвом и фолијарним третманима, као и њиховим међусобним интеракцијама. Ефекат примењених третмана варирао је у зависности од сорте и жетве, без јасног и конзистентног обрасца њиховог деловања. Садржај укупних растворљивих шећера опадао је током сукцесивних жетви, без значајног утицаја сорте и фолијарних третмана. Садржај пролина био је условљен жетвом и сортом, при чему су ниже вредности код сорте Marte могле указивати на њену већу толерантност на стрес током производног циклуса. Примена биостимулатора Kelpak довела је до најизраженијег смањења садржаја фитата, при чему је овај ефекат уочен код свих испитиваних сорти. Садржај токоферола значајно је варирао у зависности од жетве и фолијарних третмана, док утицај сорте није био значајан. Резултати антиоксидативних тестова потврдили су значајан антиоксидативни потенцијал листова дивље руколе, који је првенствено зависио од сорте и жетве. Разлике између примењених тестова указале су на сложену природу антиоксидативног капацитета, док фолијарни третмани нису испољили значајан утицај.

UHPLC Q-ToF MS анализа показала је да листови дивље руколе поседују сложен и генотипски специфичан профил фенолних једињења и глукозинолата, при чему су деривати кверцетина били доминантни (>57%). Хемијски профил био је пре свега условљен сортом, док су фолијарни третмани (Fe, K и Kelpak) испољили селективан и неконзистентан утицај, зависан од интеракције са генотипом. Детекција сложених ацилованих и гликозидних деривата, укључујући и новоидентификовано једињење (кверцетин -3,7,4'-три-*O*-хексозид-

3'-*O*-(6"-синапоил)-хексозид), указује на изражену метаболичку флексибилност и могућност делимичне регулације секундарног метаболизма агротехничким мерама. Висока заступљеност глукозинолата, нарочито глукосативина и глукоеруцина, потврђује нутритивни и функционални значај дивље руколе, при чему избор сорте представља кључни фактор квалитета, а третмани имају допунску улогу у модификацији појединачних компоненти.

Утврђено је да листови садрже широк спектар засићених и незасићених масних киселина, при чему доминирају дуголанчане масне киселине (C16:0, C24:0 и C22:1), док је сезона гајења (жетва) била доминантан фактор варијација. Утицај сорте био је ограничен, а фолијарни третмани су испољили селективан ефекат без значајног утицаја на укупан профил, док уочене промене указују на адаптивни одговор биљака на услове средине. Еручна киселина била је присутна код свих сорти, са највећим садржајем у другој жетви, што указује на динамичне промене липидног метаболизма током производног циклуса.

Кључне речи: дивља рукола (*Diplotaxis tenuifolia*), сорте, фолијарна прихрана, сукцесивне жетве, секундарни метаболити, фитохемијски састав, антиоксидативна активност, глукозинолати, фенолна једињења, маснокиселински профил

Научна област: Биотехничке науке

Ужа научна област: Ратарство, повртарство, цвећарство, крмно и лековито биље

UDK: 635.56:[581.19:66.097.8(043.3)

Production characteristics, phytochemical profile, and antioxidant properties of wild rocket (*Diplotaxis tenuifolia*)

Abstract

Wild rocket (*Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC.) is a leafy vegetable crop suitable for successive harvesting. However, the effects of harvest, genotype, and foliar treatments on its productivity and chemical composition remain insufficiently understood. The aim of this study was to evaluate the effects of foliar application of mineral fertilizers with high potassium and iron contents and a brown seaweed extract-based biostimulant (Kelpak) on the productivity, phytochemical composition, and antioxidant capacity of wild rocket. The experiment included three hybrid cultivars (Marte, Venere, and T&T), evaluated over three successive harvests. Spectrophotometric analyses were used to determine photosynthetic pigments, different groups of phenolic compounds, tannins, soluble sugars, proline, phytates, tocopherol, and antioxidant capacity, while chromatographic techniques (UHPLC-Q-ToF-MS and GC-FID) were employed to characterize individual phenolic compounds, glucosinolates, and fatty acids.

Wild rocket productivity was primarily influenced by cultivar and harvest, with the second, spring harvest being the most favorable for yield and development of the assimilatory apparatus. Foliar treatments did not directly affect yield but modified individual productivity components, particularly leaf number and leaf area, depending on genotype and growing conditions.

The content of photosynthetic pigments was primarily influenced by harvest, with the highest values recorded in the first harvest, whereas the effects of cultivar and foliar treatments were not significant. Harvest significantly affected the content of different groups of phenolic compounds, with total phenolic content reaching its highest level in the second harvest, while individual groups exhibited different accumulation patterns throughout the production cycle. Total tannin content, which contributes to the sensory characteristics of wild rocket, was influenced by cultivar, harvest, foliar treatments, and their interactions. The effects of the applied treatments varied depending on cultivar and harvest, without a clear and consistent response pattern. Total soluble sugar content decreased over successive harvests, with no significant effects of cultivar or foliar treatments. Proline content was influenced by harvest and cultivar, with lower values in Marte potentially indicating greater tolerance to stress during the production cycle. Application of the Kelpak biostimulant resulted in the most pronounced reduction in phytate content, with this effect observed across all cultivars. Tocopherol content varied significantly depending on harvest and foliar treatments, whereas the effect of cultivar was not significant. Antioxidant assays confirmed the considerable antioxidant potential of wild rocket leaves, which was primarily influenced by cultivar and harvest. Differences among the applied assays reflected the complex nature of antioxidant capacity, while foliar treatments had no significant effect.

UHPLC-Q-ToF-MS analysis revealed a complex and genotype-specific profile of phenolic compounds and glucosinolates in wild rocket leaves, with quercetin derivatives being predominant (>57%). The chemical profile was primarily determined by cultivar, whereas foliar treatments (Fe, K, and Kelpak) exerted selective and inconsistent effects depending on their interaction with genotype. The detection of complex acylated and glycosylated derivatives, including a newly identified compound (quercetin-3,7,4′-tri-*O*-hexoside-3′-*O*-(6″-sinapoyl)-hexoside), indicates pronounced metabolic flexibility and the potential for partial regulation of secondary metabolism through agronomic practices. The high abundance of glucosinolates, particularly glucosativin and glucoerucin, confirms the nutritional and functional value of wild rocket, with cultivar selection

representing a key determinant of quality and foliar treatments playing a complementary role in modifying individual components.

A broad spectrum of saturated and unsaturated fatty acids was identified, with long-chain fatty acids (C16:0, C24:0, and C22:1) predominating, while the growing season (harvest) was the major source of variation. The effect of cultivar was limited, whereas foliar treatments exerted selective effects without significantly altering the overall fatty acid profile, and the observed changes suggest an adaptive response of plants to environmental conditions. Erucic acid was present in all cultivars, with the highest content recorded in the second harvest, indicating dynamic changes in lipid metabolism throughout the production cycle.

Key words: wild rocket (*Diplotaxis tenuifolia*), cultivars, foliar fertilization, successive harvests, secondary metabolites, phytochemical composition, antioxidant activity, glucosinolates, phenolic compounds, fatty acid profile

Scientific field: Biotechnical Sciences

Scientific subfield: Field crops, vegetable production, floriculture, forage crops, and medicinal plants

UDC: 635.56:[581.19:66.097.8(043.3)

Списак скраћеница

AAE – еквиваленти аскорбинске киселине (*Ascorbic Acid Equivalents*)

ANOVA – анализа варијансе (*Analysis of Variance*)

C10:0 – капринска киселина

C11:0 – ундеканска киселина

C12:0 – лауринска киселина

C13:0 – тридеканска киселина

C14:0 – миристинска киселина

C14:1 – миристолеинска киселина

C15:0 – пентадеканска киселина

C15:1 – *cis*-10-пентадеканска киселина

C16:0 – палмитинска киселина

C16:1 – палмитолеинска киселина

C17:0 – маргаринска киселина

C17:1 – маргаролеинска киселина

C18:0 – стеаринска киселина

C18:1n9c – олеинска киселина

C18:1n9t – елаидинска киселина

C18:2n6c – линолна киселина

C18:2n6t – линолелаидинска киселина

C18:3n3 – α-линолеинска киселина

C18:3n6 – γ-линоленска киселина

C20:0 – арахинска киселина

C20:1n9 – гондоинска киселина

C20:2 – еикозадиенска киселина

C20:3n3 – еикозатриенска киселина

C20:3n6 – дихомо-γ-линоленска киселина

C20:4n6 – арахидонска киселина

C20:5n3 – еикозапентаноинска киселина

C21:0 – хенеикозилинска киселина

C22:0 – бехенска киселина

C22:1n9 – еручна киселина

C22:2 – *cis*-13,16-докозадиенонска киселина

C22:6n3 – докозахексаноинска киселина

C23:0 – трикозилна киселина

C24:0 – лигноцеринска киселина

C24:1n9 – нервонска киселина

C4:0 – бутерна киселина

C6:0 – капронска киселина

C8:0 – каприлна киселина

CGAE – еквиваленти хлорогенске киселине (*Chlorogenic Acid Equivalents*)

CUPRAC – редукујући антиоксидативни капацитет Cu^{2+} јона (*Cupric ion Antioxidant Capacity*)

DPPH$^{\bullet}$ – 2,2-дифенил-1-пикрилхидразил-хидрат радикал

FAE – еквиваленти ферулинске киселине (*Ferulic Acid Equivalents*)

Fe – ђубриво са гвожђем

FRP – способност редукције Fe^{3+} јона (*Feric Reducing Power*)

FW – свежа маса (*Fresh Weight*)

Glc – глукоза (*Glucose*)

GLSs – глукозинолати (*Glucosinolates*)

HCAs – укупан садржај деривата дихидроксициметних киселина (*Total content of hydroxycinnamic acids derivatives*)

K – ђубриво са калијумом

Kelpak – биостимулатор на бази *Ecklonia maxima*

LAI – Индекс лисне површине (*Leaf Area Index*)

Na-фитати – еквиваленати натријум-фиатата

NE – еквиваленти нарингенина (*Naringenin Equivalents*)

PCA – анализа главних компоненти

Pro – еквиваленти пролина

QE – еквиваленти кверцетина (*Quercetin Equivalents*)

TAC – укупни антиоксидативни капацитет (*in vitro phosphomolybdenum Total Antioxidant Capacity*)

TAE – еквиваленати танинске киселине

TCC – укупан садржај каротеноида (*Total Carotenoid Content*)

TFC – укупан садржај флавоноида (*Total Flavonoid Content*)

TPC – укупан садржај фенолних једињења (*Total Phenolic Content*)

Trolox – еквиваленти тролокса

TSS – укупан садржај растворљивих шећера (*Total Soluble Sugar*)

UHPLC Q-ToF MS – течна хроматографија ултра-високих перформанси спрегнута са квадруполном масеном спектрометријом времена пролета (*Ultra-High-Performance Liquid Chromatography–Quadrupole Time-of-Flight Mass Spectrometry*)

α-TO – еквиваленти α-токоферола

Садржај:

1. УВОД 1

2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ 4

2.1. Дивља рукола *(Diplotaxis tenuifolia)* 4

2.1.1. Историјат и традиционална употреба 4

2.1.2. Таксономија и систематика 5

2.1.3. Биолошке и морфолошке особине 7

2.1.4. Савремена употреба и значај 10

2.1.5. Географска распрострањеност и области гајења 11

2.1.6. Нутритивни састав и физиолошки значај 12

2.1.7. Еколошки услови успевања 14

2.1.8. Технологија гајења 15

2.1.9. Генетичка разноврсност и сортимент 22

2.1.10. Морфолошки параметри продуктивности 23

2.2. Биоактивна једињења 24

2.2.1. Биолошки и физиолошки значај 24

2.2.2. Биљни пигменти 25

2.2.3. Фенолна једињења 29

2.2.4. Пролин 32

2.2.5. Фитати 33

2.2.6. Токоферол 34

2.2.7. Глукозинолати 36

2.2.8. Еручна киселина 38

2.3. Фолијарна прихрана 39

2.3.1. Концепт фолијарне прихране 39

2.3.2. Еколошка одрживост и утицај на животну средину 40

2.3.4. Фолијарна прихрана и дивља рукола 41

2.3.5. Фолијарна примена гвожђа (Fe) 42

2.3.6. Фолијарна примена калијума (K) 43

2.3.7. Примена природног биостимулатора *Kelpak* 44

3. ЦИЉЕВИ И ХИПОТЕЗЕ ИСТРАЖИВАЊА 46

4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ 47

4.1. Биљни материјал 47

4.2. Метеоролошки параметри у току експеримента 50

4.3. Оцена продуктивних параметара 52

4.4. Хемијске анализе 52

4.4.1. Припрема узорака за хемијске анализе 52

4.4.2. Спектрофотометријске анализе 54

4.4.3. UHPLC Q-ToF MS анализа фенолних једињења и глукозинолата 59
4.4.4. Методологија за одређивање маснокиселинксог профила 60
4.4.5. Статистичка обрада података 61
5. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА 62
5.1. Параметри продуктивности 62
5.1.1. Принос лисне масе 62
5.1.2. Број листова 69
5.1.3. Лисна површина 75
5.1.4. Индекс лисне површине (LAI) 79
5.1.5. Међусобни односи параметара продуктивности – корелациона и PCA анализа 84
5.2. Хемијске анализе 88
5.2.1. Спектрофотометријске анализе 88
5.2.2. UHPLC Q-ToF MS анализа 136
5.2.3. Маснокиселински профил 149
6. ЗАКЉУЧАК 162
7. ЛИТЕРАТУРА 167
8. ПРИЛОГ 197
БИОГРАФИЈА АУТОРА 208
ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ 209
ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ДОКТОРСКОГ РАДА 210
ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ 211

1. УВОД

Захваљујући свом саставу, који обухвата есенцијалне нутријенте (витамине, минерале и дијететска влакна) као и широк спектар биоактивних једињења, поврће заузима централно место у људској исхрани и препознаје се као један од кључних фактора унапређења здравља (Dias, 2012). Овај комплексан скуп једињења има вишеструки значај, јер не само да обезбеђује оптимално функционисање организма, већ и активно учествује у превенцији различитих хроничних болести, при чему је повећан унос поврћа повезан са значајним смањењем ризика од исхемијског и хеморагијског шлога, коронарне болести срца, рака једњака и дијабетеса типа 2, као и са снижавањем крвног притиска (Slavin & Lloyd, 2012; Stanaway et al., 2022). Истовремено, поврће се одликује ниском енергетском вредношћу и лаком сварљивошћу, због чега се препоручује као темељ уравнотежене исхране усмерене на превенцију гојазности и очување оптималне телесне масе. Поред нутритивног значаја, производња поврћа има и изражен социо-економски утицај, будући да омогућава отварање нових радних места, смањење руралног сиромаштва и економско јачање малих пољопривредних газдинстава (Schreinemachers et al., 2018). Међутим, савремени захтеви потрошача све више усмеравају правце развоја и организације повртарске производње, наглашавајући потребу за диверзификацијом и стављајући акценат на намирнице које, поред нутритивне вредности, поседују и додатне здравствене бенефите. Управо такав тренд огледа се у разноврсности повртарских култура, која омогућава богат избор у свакодневној исхрани, док њихова подела по јестивом органу (корен, стабло, лист, цваст и плод) омогућава систематичан приступ у пољопривредној производњи и исхрани.

Лиснато поврће представља специфичну категорију култура чији се листови користе као јестиви део, било у свежем облику или након кулинарске обраде и прераде (Knez et al., 2024). Независно од тога да ли су листови организовани у розету или у лиснату главицу, ова група поврћа одликује се високим садржајем витамина (посебно витамина А, С, К и Е), минерала (гвожђе, калцијум, магнезијум), протеина, антиоксиданаса и бројних фитонутријената, међу којима се издвајају фенола једињења и биљни пигменти (хлорофили, каротеноиди и антоцијани) (Barba et al., 2014; Nurzyńska-Wierdak, 2025). У протеклим деценијама забележен је значајан глобални пораст у производњи, потражњи и потрошњи ових врста, са циљем да се промовише боља исхрана и обезбеди већа доступност свежих и нутритивно вредних намирница (Paller et al., 2024). Лиснато поврће представља изузетно разнолику целину која обухвата бројне фамилије и врсте, карактеристичне по различитој морфологији, биолошким својствима и потреби за прилагођеним агротехничким поступцима. Таксономски, се могу издвојити неколико специфичних фамилија, укључујући Amaranthaceae (спанаћ, блитва), Asteraceae (зелена салата, ендивија), и нарочито Brassicaceae, која обухвата економски и нутритивно најзначајније врсте као што су купус (*Brassica oleracea* var. *capitata*), кељ (*Brassica oleracea* var.*sabauda)*, индијска слачица (*Brassica juncea* (L.) Czern.), пак чои (*Brassica rapa* var. *chinensis*), рукола (*Eruca sativa* Mill., *Diplotaxis* tenuifolia (L.) DC.), и друге.

Велики број економски значајних биљних врста које се вековима користе у људској исхрани и медицини припадају фамилији Brassicaceae. Са Ирано-туранијског подручја, одакле потиче, породица се проширила широм света и данас обухвата око 338 родова и више од 3700 врста, при чему археолошки и писани извори сведоче да се поједине културе гаје још

од праисторије. На пример, у Индији пре више од 5000 година, а на обалама Европе пре око 8000 година, док је њихова највећа разноврсност присутна у умереним областима (Schranz et al., 2012; Šamec & Salopek-Sondi, 2019). Brassicaceae сачињавају једногодишње, двогодишње и вишегодишње махом зељасте биљке, ређе жбунови, са простим листовима који су најчешће спирално распоређени, више или мање урезани и назубљени (Simpson, 2019). Цваст је гроздаста и сачињавају је карактеристични хермафродитни цветови по којима је фамилија носила пређашњи назив Cruciferae. Наиме, четири крунична листића, најчешће жуте или беле боје, организовани су у крстасту позицију, а допуњују их прашници и тучак. Прашници су слободни, распоређени у два круга, најчешће тетрадинамски (2 краћа и 4 дужа), док је гинецијум синкарпан са надцветним плодником. Представнике фамилије обједињује и тип плода- љуска или љушчица, из којих се у физиолошкој зрелости осипа округло семе. Поред морфолошких карактеристика, препознатљивост ових врста заснива се на вишевековној употреби у традиционалној народној медицини као и на сензорним особинама јестивих делова, који се одликују љуткасто-оштрим укусом (Šamec & Salopek-Sondi, 2019). Овај укус и мирис проистичу из присуства глукозинолата (GLSs), сумпорних једињења која су специфична искључиво за ову биљну фамилију. Њиховом хидролизом настају биоактивни продукти, као што су изотиоцијанати и индоли, који заједно са фенолним једињењима, тритерпенима и другим метаболитима доприносе позитивним здравственим ефектима (Bhat & Vyas, 2019).

У оквиру ове изузетно разноврсне фамилије налази се и род *Diplotaxis* као и блиско сродни род *Eruca*, чији су представници *D. tenuifolia* и *E. sativa*, у народу познати под заједничким именом руколе. Ове две врсте имају дугу традицију гајења и употребе листова у медитеранском подручју, где се користе као салатно поврће, зачин и лековита биљка (Tacer-Caba, 2020). Иако их произвођачи често посматрају као сличне културе, *E. sativa* (култивисана рукола) и *D. tenuifolia* (дивља рукола) испољавају бројне морфолошке, биолошке и нутритивне разлике (Hall et al., 2015). Дивља рукола је вишегодишња врста са ситнијим семеном, споријим клијањем и почетним порастом, али са жилавијим, тамнозеленим листовима који садрже више склеренхимских ћелија наспрам једногодишње култивисане руколе. Ове биолошке разлике, утемељене и репродуктивним циклусом, прате и различите агротехничке праксе. *D. tenuifolia* захваљујући способности образовања нових листова из адвентивних пупољака након резидбе омогућава сукцесивну жетву више пута током производног периода, чиме обезбеђује стабилније и дуготрајније приносе уз ниже трошкове семена и рада. У односу на то, *E. sativa* даје висок принос у првим жетвама, али се усев након једне до две жетве обично уклања (Hall et al., 2015). Ова својства чине дивљу руколу погоднијом за дугорочну производњу и све заступљенијом у савременој комерцијалној пракси кроз мноштво сорти и хибрида. Такође, у поређењу са питомом руколом, *D. tenuifolia* има и интензивнији, љуткасто-горкаст укус, што је последица разноликог садржаја глукозинолата и вишег садгжаја витамина C (Hall et al., 2015). Управо овај специфичан фитохемијски профил чини је посебно интересантном са нутритивног и функционалног аспекта.

Данас дивља рукола представља значајну културу у производњи лиснатог поврћа, како због свог препознатљивог, интензивног укуса који све више привлачи потрошаче и постаје цењен у гастрономији, тако и због богатог садржаја биоактивних једињења (Caruso et al., 2018). Поред поменутог, савремени трендови у исхрани указују на све веће усмеравање купаца ка намирницама које, осим основне енергетске и хранљиве улоге, могу да допринесу

очувању здравља и смањењу ризика од различитих обољења. У том контексту расте интересовање за функционалне састојке, чије присуство у храни представља важан фактор у превентивној медицини и унапређењу општег квалитета живота. Овакаве потражње све снажније се одражавају и на пољопривредну производњу, јер се очекује да понуди одрживе и иновативне приступе у циљу повећања садржаја биоактивних једињења у биљкама. На тај начин успоставља се јасна веза између савремене агрономске праксе и захтева тржишта, при чему агрономија постаје кључни чинилац у обезбеђивању биљних сировина високог функционалног и здравственог потенцијала. Нутритивни и фитохемијски профил сврстава дивљу руколу у потенцијално функционалне намирнице, а савремена истраживања све више истичу антиинфламаторни, антиоксидативни, антиканцерогени и кардиопротективни ефекат (Caruso et al., 2019; Connolly et al., 2021; Ressurreição et al., 2024; Romano et al., 2022). Један од приступа за даље унапређење њене нутритивне и функционалне вредности јесте примена агрономске биофортификације. Посебно се издваја фолијарна прихрана, која обезбеђује директно снабдевање листова есенцијалним елементима и стимулише синтезу биоактивних једињења, чиме се унапређују њена функционална својства и доприноси њеној вредности у исхрани (Alshaal & El-Ramady, 2017; Andrade-Sifuentes et al., 2024; Dhaliwal et al., 2022). Истовремено, овакве агротехничке мере доприносе унапређењу продуктивних карактеристика, као што су принос јестивог дела биљке, његов квалитет и укупна економска вредност културе (Alshaal & El-Ramady, 2017; Abrol et al., 2021). Међутим, упркос интензивирању производње и све израженијим оплемењивачким и селекционим напорима, бројна питања у вези са продуктивним карактеристикама и хемијским саставом дивље руколе остају недовољно разјашњена. Додатни изазов представља чињеница да у старијим етноботаничким и археоботаничким изворима врсте родова *Diplotaxis* и *Eruca* често нису јасно разграничаване, због чега се део доступних података односи на шири комплекс сродних крсташица, а не специфично на *D. tenuifolia*. Стога су детаљна карактеризација ове врсте и утврђивање њених специфичних својстава од посебног значаја. Посебно недостају подаци о њиховој варијабилности током сукцесивних жетви, генотипским разликама између комерцијално доступних сортних хибрида, као и њиховом одговору на примену различитих фолијарних третмана. С тим у вези, истовремено сагледавање утицаја генотипа, фолијарних третмана и сукцесивних жетви представља важан корак ка свеобухватнијој карактеризацији *D. tenuifolia*, бољем разумевању фактора који одређују продуктивност и квалитет дивље руколе и може допринети оптимизацији њене производње и добијању производа унапређених својстава.

Узимајући у обзир све наведено, предмет истраживања ове дисертације јесте испитивање утицаја генотипа, сукцесивних жетви и биофортификације путем фолијарне прихране на морфолошке и продуктивне особине, као и фитохемијски састав и антиоксидативни потенцијал *D. tenuifolia*. Узимајући ово у обзир, у овој дисертацији су примењени различити спектрофотометријски тестови, као и напредне хроматографске технике (UHPLC Q-ToF MS и GC-FID) како би се добили профили биоактивних једињења и одредио њихов садржај у листовима *D. tenuifolia*. Добијени резултати треба да дају одговор како производни процес и биофортификација утичу на акумулацију и саджај укупних и појединачних биоактивних јединњења у листовима руколе. С тим у вези, ова дисертација представља модел студију која тежи да обједини агрономске аспекте и биохемијске показатеље, са циљем свеобухватне процене значаја ове врсте и њених сорти као економски важне повртарске културе и као извора функционалне хране.

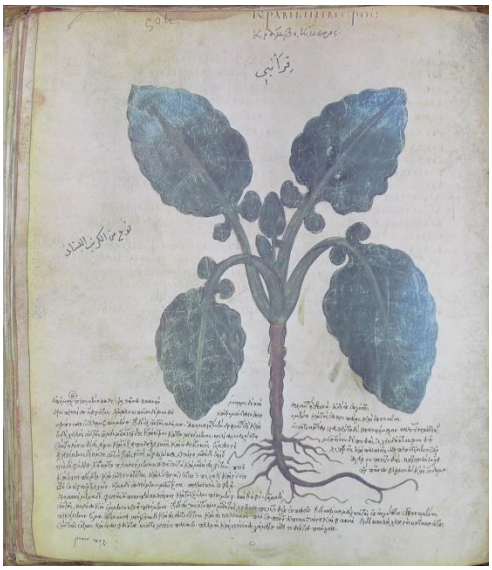
2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

2.1. Дивља рукола *(Diplotaxis tenuifolia)*

2.1.1. Историјат и традиционална употреба

Фамилија Brassicaceae (крсташице или купусњаче) представља једну од најзначајнијих фамилија зељастих биљака. Упркос досад најобухватнијим филогенетским анализама, еволуциона историја ове фамилије остаје делимично неразјашњена због учесталих хибридизација и интрогресија, при чему су поједина биљна племена показала да нису монофилетска, док процене времена дивергенције смештају порекло фамилије у период од еоцена до миоцена (Al-Shehbaz, 2025). Такође, фосилни докази о пореклу фамилије ретки су и непотпуни, али постојећи фосили указују да је минимална старост ове фамилије приближно 16 милиона година (Franzke et al., 2011). Највећа разноврсност врста концентрисана је у Ирано-туранијској и Медитеранској регији, што указује да би управо ове области могле представљати центар порекла и ране дивергенције фамилије (Lysak & Koch, 2011).

Припадници фамилије Brassicaceae били су добро познати и коришћени у античко доба чему сведоче бројни записи грчких и римских истакнутих савременика. У делима Теофраста, Марка Порција Катона, Диоскорида, Плинија Старијег, Галена и других аутора, ове биљке се описују не само као намирнице које су се углавном припремале кувањем или пржењем, већ и као лековита средства која доприносе очувању здравља, подстичу варење и служе као профилактик против опијања (Dalby, 2003). Такође, поједине врсте су описиване као посебно цењени и скупи деликатеси.



Слика 1. *De Materia Medica* Диоскорида – илустрација купусњаче из рукописа *Codex Vindobonensis Med. Gr. 1* . (Извор: Wikimedia Commons, public domain)

У средњем веку, крсташице су биле саставни део манастирских башта у Европи, где су гајене и због лековитих својстава и због хранљиве вредности (Mabberley, 2017). Њихов значај постепено се ширио, па су врсте из ове фамилије ушле у свакодневну исхрану као поврће, али и као биљке са терапеутском наменом у народној медицини.

Развој ботанике у раном модерном периоду омогућио је систематичарима да све темељније проучавају и класификују крсташице. Карл Лине је у 18. веку поставио темеље савремене таксономије, описујући бројне представнике ове фамилије, док је Огистен Пирам де Кандол током XIX века дао значајан допринос у прецизнијем дефинисању и систематизацији њених таксона (Bremer, 2007; German et al., 2023). У савременој науци, ова фамилија има посебан значај јер обухвата модел-организам *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., прву биљку чији је геном у потпуности секвенциониран (The Arabidopsis Genome Initiative, 2000). Ово је омогућило револуционарна открића у области генетике, молекуларне биологије и физиологије биљака, која су касније пренета и на пољопривредно значајне врсте рода *Brassica* као што су *B. rapa*, *B. oleracea* и *B. napus* (Yaschenko et al., 2025). Захваљујући томе, Brassicaceae данас представљају једну од темељно истражених фамилија цветница, чији значај превазилази оквире саме систематике и обухвата кључну улогу у еволуционим, научним и пољопривредним истраживањима, као и трајно место у културној историји човека.

Еволуциона и културна историја рода *Diplotaxis* није у потпуности истражена, што делимично може произилазити из чињенице да старе цивилизације нису јасно разграничавале врсте које показују изузетне морфолошке сличности, као што је случај са представницима родова *Diplotaxis* и *Eruca*. У античким списима често се користио општи назив „рукола“, без ботаничког разликовања између дивље и култивисане форме, што отежава прецизно праћење историјске употребе појединих врста. Ово доводи до тога да се етноботанички и археоботанички подаци односе на шири комплекс крсташица са сличним органолептичким и лековитим својствима, а не конкретно на род *Diplotaxis*, па је савремена наука тек у последњим деценијама почела да јасније дефинише њихову еволутивну улогу, географско порекло и културни значај. Порекло дивље руколе везује се за пределе Медитерана, одакле, како истиче Dalby (2003) потичу и историјски записи који сведоче о употреби руколе још у античко доба. Рукола је гајена у грчким и римским баштама, при чему су листови коришћени као салатно поврће, семе као зачин, а биљци су приписивана бројна лековита и афродизијачка својства, о чему сведоче записи Диоскорида и Плинија. У литератури се наводи да су листови руколе коришћени хиљадама година не само као за храну и уље, већ и у производњи дезодоранса и козметичких препарата (Padulosi & Pignone, 1996). Сматра се да рукола, под називом *oroth*, се помиње као јестиво самоникло биље у Старом завету (II Књига о царевима (4:39–40)), што представља један од најстаријих писаних доказа о њеној употреби у исхрани (Hall et al., 2012a). Кроз средњи век врсте руколе проналазе своје место на манастирским поседима где су гајене и неговане као храна и лек. Према наводима из литературе, *D. tenuifolia* је крајем XIX века ушла у исхрану становништва, најпре у Француској, где је служила као замена за култивисану руколу, а затим и у Италији, где је постепено стекла широку примену као салатна биљка и постала често гајена култура, нарочито у јужним деловима земље (Padulosi & Pignone, 1996).

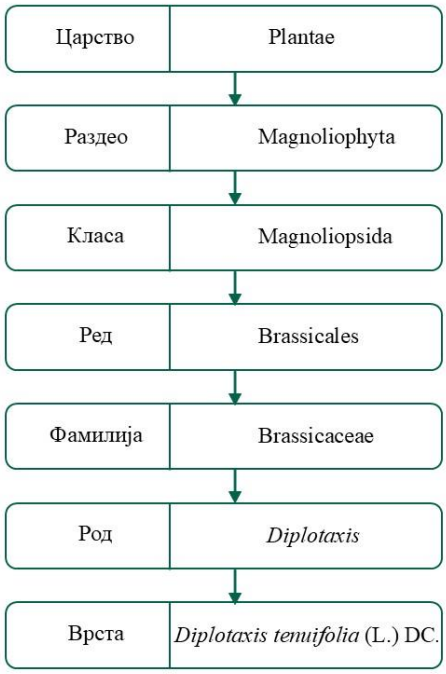
2.1.2. Таксономија и систематика

Систематско проучавање врста рода *Diplotaxis* омогућило је јасно разграничење дивље руколе од блиско сродних таксона и њено прецизно место унутар фамилије Brassicaceae. Као

једна од најзначајнијих лиснатих врста овог рода, она се данас препознаје не само по морфолошким и биолошким карактеристикама, већ и по молекуларним маркерима.

Род *Diplotaxis* броји око четрдесет врста распрострањених претежно у Медитеранском региону, а *D. tenuifolia* је најраспрострањенији представник са великом агрономском и нутритивном вредношћу (Ressurreição et al., 2024).

Таксономски, врста припада царству Plantae, разделу Magnoliophyta, класи Magnoliopsida, реду Brassicales, фамилији Brassicaceae, племену Brassiceae и роду *Diplotaxis* (**Слика 2**). Назив рода изведен је из грчких речи *diploos* (двострук) и *taxis* (распоред), што описује карактеристично распоређивање семена у плоду, док епитет *tenuifolia* потиче од латинских речи *tenuis* (танак, узак) и *folium* (лист), што одражава издужене и уске листове врсте (Hall et al., 2012; Kenigsbuch et al., 2014). Стога је у упореби и народни назив „дворедац“ за ову повртарску културу.



Слика 2. Таксономски положај *D. tenuifolia* (направљено у програму PowerPoint)

Првобитно је дивљу руколу Карл Лине описао као *Sisymbrium tenuifolium*, али је касније де Кандол преместио у род *Diplotaxis*, чиме је утврђена њена данашња валидна номенклатура (Cafferty & Jarvis, 2002).

Систематска истраживања и филогенетске анализе показују да су родови *Diplotaxis*, *Eruca* и *Brassica* сврстани у заједничко племе Brassiceae у оквиру линије II фамилије Brassicaceae, што потврђује њихову блиску еволутивну сродност и указује на постојање значајних морфолошких и фитохемијских веза између њих (Franzke et al., 2011). Овакав систематски оквир омогућава дубље разумевање еволутивне историје *D. tenuifolia* и њене везе са сродним врстама и пружа основу за будућа истраживања морфолошких, генетичких и фитохемијских карактеристика ове врсте и њених сорти. На тај начин, повезивање података из таксономије и систематике обезбеђује целовиту слику о биолошком идентитету и значају дивље руколе.

2.1.3. Биолошке и морфолошке особине

Познавање биолошких и морфолошких одлика врсте *D. tenuifolia* има кључни значај у њеном научном и практичном проучавању, јер омогућава правилну идентификацију, разумевање адаптационих механизама и продуктивних својстава, као и процену њене вредности у пољопривредној и прехрамбеној производњи.

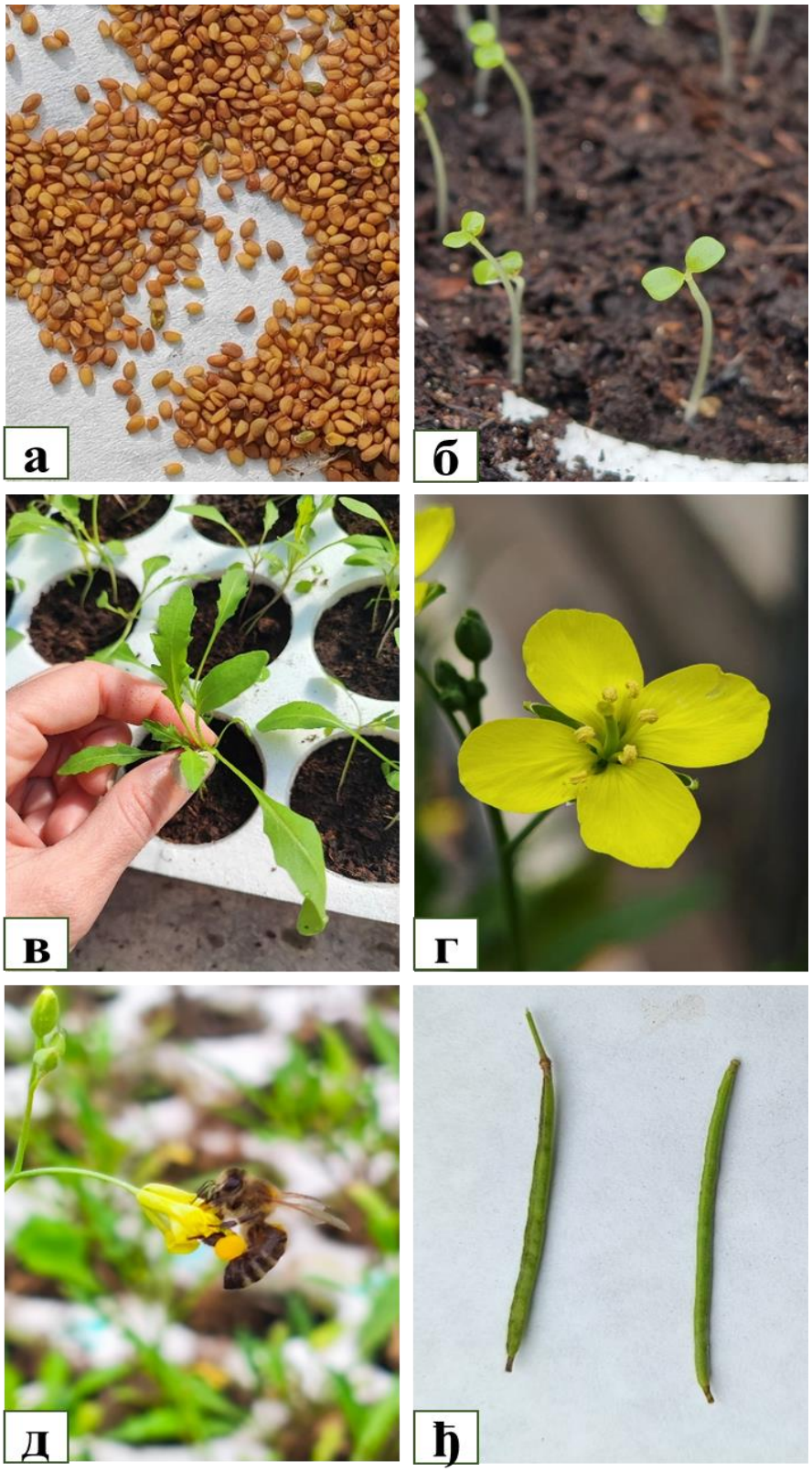
Дивља рукола, за разлику од комерцијално гајене *E. sativa*, представља вишегодишњу зељасту врсту. Она је диплоидни таксон (2n = 22; n = 11), што је једна од њених цитогенетичких карактеристика (Ressurreição et al., 2024). Висина ове врсте варира од 20 до 70 cm, а у повољним условима раста може достићи и до 120 cm (Euro+Med PlantBase, 2025; Yildirim et al., 2021). Биљка је по правилу гола, без длачица. У почетним фазама развоја (поник) формира кончаст корен, али се са развитком биљке издваја централни корен који постепено развија бројне бочне коренове (**Слика 3**).



Слика 3. Коренов систем дивље руколе

Биљка образује два зелена, срцаста котиледона листа **(Слика 4)**. Стабло је редуковано (скраћено), а са њега полазе прости, седећи листови сакупљени у приземну розету (Ressurreição et al., 2024). Листови показују велику морфолошку променљивост (хетерофилија) те могу бити цели, уско-дугуљасти, грубо режњевити или перасто усечени (Yildirim et al., 2021). Степен усека варира од слабо до јако израженог, као и назубљеност руба лиске. Дужина листова достиже до 10 cm, док је њихова боја од плавичасто-зелене до тамнозелене. Дивља рукола је биљка дугог дана, која у таквим условима и при одговарајућим температурама већ у првој години развоја може образовати цветоносно стабло (Taylor et al., 2017; World Flora Online, 2025). Листови на цветоносном стаблу могу се разликовати од доњих приземних листова, будући да су мање усечени и веће површине лиске (Guijarro-Real et al., 2020; World Flora Online, 2025). Цветови *D. tenuifolia* распоређени су у гроздасту (рецемозну) цваст. Они су хермафродитни и актиноморфани, лимун жуте боје и типичне крстасте симетрије, што је карактеристично за фамилију Brassicaceae (Nikolov, 2019). Цветови имају четири чашична и крунична листића, широко обрнуто јајастог облика.

Прашници су слободни и распоређени у два круга, најчешће тетрадинамски где су два краћа и четири дужа. Гинецијум је синкарпан, састављен од два срасла плодна листића, са надцветним плодником. Плод је љуска, права и издужена, дугачак 20–45 mm и широка 1,5–2 mm (Yildirim et al., 2021). Унутар плода налази се бројно ситно, глатко, светлосмеђе семе које је распоређено у два реда по дужини плода. Цветање се најчешће одвија од маја до септембра, у зависности од услова гајења. Размножавање је генеративно (семеном).



Слика 4. Морфолошке карактеристике дивље руколе **а)** семе; **б)** клијанци; **в)** млада биљка; **г)** цвет; **д)** опрашивање; **ђ)** плодови (љуске)

Дивља рукола расте уз путеве, на напуштеним земљиштима, стеновитим падинама и обалама потока или река. Ова врста показује изузетну еколошку прилагодљивост, добро успева у екстремним климатским условима и кречњачким теренима, одликује се високом конкурентношћу и способношћу брзог размножавања, па се сматра потенцијално инвазивном врстом (Kaplan, 2021). Међутим, управо та изражена адаптивност и морфофизиолошка пластичност чине је изузетно погодном за континуирану производњу у различитим климатским зонама, као и за гајење у контролисаним условима (стакленици, пластеници) током читаве године.

2.1.4. Савремена употреба и значај

У последњих неколико деценија, дивља рукола заузима значајно место у производњи и потрошњи лиснатог поврћа, као једна од истакнутих врста у групи познатој под заједничким називом „рукола“. Њена широка распрострањеност у пољопривреди, прехрамбеној индустрији и гастрономији последица је изузетних сензорних карактеристика, нутритивног састава и присуства бројних биоактивних једињења која јој дају функционална својства (Caruso et al., 2018). У складу са растућим интересовањем потрошача за здраву исхрану, *D. tenuifolia* се данас све чешће препознаје као функционална намирница која доприноси очувању здравља и превенцији различитих обољења повезаних са оксидативним стресом (Caruso et al., 2020; Tripodi et al., 2017). Поред поменутог, на тржишту свежег поврћа, ова повртарска врста је постала важна комерцијална култура због могућности вишекратне жетве, брзе обнове лисне масе, континуиране производње током године, као и прилагодљивости различитим агроеколошким условима (Bell et al., 2020; Hall et al., 2012).

Данас је дивља рукола једна од најзаступљенијих лиснатих култура у земљама Медитерана, посебно у Италији, Француској и Шпанији, где се успешно гаји током целе године (Tripodi et al., 2017). Растућа потражња и прилагођеност ове врсте различитим климатским условима омогућују да се производња све више шири и ка осталим државама Европе. Најчешће се користи у свежем облику као састојак салата, мешавина младих листова (*baby leaf mixes*), сендвича, супа, чорби, сосева и гурманских јела, али и као декоративна и ароматична компонента у гастрономији (Durazzo et al., 2013; Martínez-Sánchez et al., 2008). Карактеристичан, интензиван и благо љуткасто-горак укус листова резултат је присуства сумпорних једињења, пре свега глукозинолата и њихових продуката ензимске разградње (изотиоцијаната) који заједно обликују њену препознатљиву арому и мирис (Bell et al., 2020). Овај специфични ароматични профил представља један од главних фактора који одређују сензорни идентитет врсте и објашњавају њену све већу заступљеност у савременој гастрономији (Pasini et al., 2011). Значају дивље руколе доприноси њен хемијски и нутритивни састав који се огледа у обиљу минералних и биоактивних једињења, пре свега висок ниво фенолних једињења (посебно флавоноида, фенолних киселина и танина), витамина C, *β*-каротена и глукозинолата, који заједно доприносе антиоксидативним и антиинфламаторним својствима биљке (Cavaiuolo & Ferrante, 2014; Romano et al., 2022) Захваљујући овим својствима, дивља рукола представља перспективан извор биоактивних једињења, што отвара могућности њене примене у развоју здравствено функционалних прехрамбених производа, пића и дијететских суплемената, у складу са савременим потрошачким тенденцијама ка природној и безбедној храни (Santos-Sánchez et al., 2017; Shahidi & Ambigaipalan, 2015).

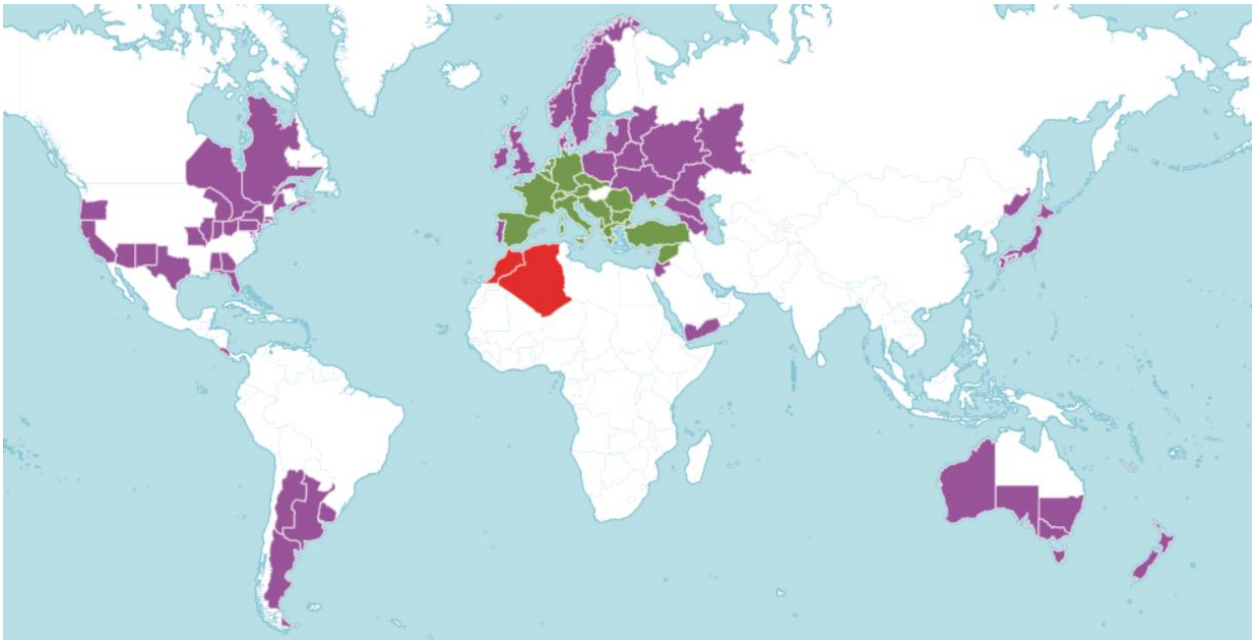
Истовремено, расте интересовање за производњу микробиљака (*microgreens*) дивље руколе, које имају изузетно висок садржај витамина, минерала и фенолних једињења, а користе се као функционални и нутритивни додатак исхрани (Palumbo et al., 2025). Савремени прерађивачки процеси усмерени су на развој *ready-to-eat* и *ready-to-use* производа који задовољавају савремене навике потрошача односно убрзану припрему хране, уз свежину и висок квалитет (Bonasia et al., 2019). Поред свежег листа, *D. tenuifolia* налази примену у осушеном облику који задржава арому и може служити као зачин. Ressurreição et al. (2024) наводе да се суви листови и екстракти могу користити за обогаћивање различитих намирница или за унапређивање прехрамбених производа, као што је то показано додавањем сувих листова у хлеб ради суплементације.

Савремена употреба *D. tenuifolia* све више обухвата и козметичку индустрију, где се екстракти листова користе у формулацијама производа за негу коже (Tripodi et al., 2017) Новија истраживања усмерена ка развоју природних биостимулатора указују на значај фитоекстраката као потенцијалних замена за синтетичке производе у пољопривреди. Утврђено је да ове супстанце садрже компоненте које могу деловати као природна ђубрива, обезбеђујући биљкама неопходне метаболите и нутријенте, чиме се побољшава њихов антиоксидативни статус и толеранција на различите облике стреса (González-Mora et al., 2022). С обзиром на богату фитохемијску композицију и изражен антиоксидативни потенцијал, *D. tenuifolia* може представљати полазну основу за будућа истраживања у области оваквих еколошки одрживих решења у пољопривреди.

Комбинација високе нутритивне вредности, биолошке активности и економске одрживости чини дивљу руколу једном од најперспективнијих култура савремене пољопривреде, способном да обједињује принципе одрживе производње и здраве исхране. Полазећи од биљке са дугом традицијом у медитеранској гастрономији, *D. tenuifolia* се данас позиционирала као глобално препознатљива врста са истакнутим потенцијалом у производњи функционалне и нутритивно вредне хране.

2.1.5. Географска распрострањеност и области гајења

Дивља рукола има природни ареал који обухвата подручје Европе и западне Азије. Према подацима са базе *Plants of the World Online (Royal Botanic Gardens, Kew)* (POWO, 2025) и доступној литератури, њена природна распрострањеност обухвата јужну и централну Европу (Албанију, Србију, Аустрију, Белгију, Бугарску, Француску, Холандију, Грчку, Италију), као и источни Медитеран и делове Блиског истока (Bell & Wagstaff, 2019). Захваљујући израженој адаптивности, током последњих деценија њено присуство је регистровано и у бројним земљама изван првобитног станишта, укључујући делове Северне Америке, Новог Зеланда и Јужне Америке **(Слика 5)**. У Аустралији се дивља рукола сматра инвазивним коровом, због чега су успостављене посебне мере за сузбијање њеног ширења (Reis et al., 2022).



Слика 5. ■ Природно распрострањење; ■ Интродуковано распрострањење; ■ Ишчезла на овом подручју; (https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:1028648-2)

Повољни климатски услови медитеранског подручја омогућавају целогодишњи узгој дивље руколе, па је производња најразвијенија на тим просторима. Као један од водећих светских произвођача издваја се Италија са приближно 6.000 ha под овом културом превасходно у покрајни Кампанији (Bonasia et al., 2019). На овим подручјима најчешће се узгаја у тунелима, у оквиру више сукцесивних циклуса жетве (Pane et al., 2024). У региону Венето укупна производња руколе (*E. sativa* и *D. tenuifolia*) заузима око 120 ha, што се већински (80–90%) односи на гајење у заштићеном простору са просечним приносима листова дивље руколе од 19 до 21 t/ha (Padulosi & Pignone, 1996).

Поред Италије, значајна производња остварује се у Шпанији, Португалу и Грчкој. Растућа популарност и потражња на тржишту свежих салата доприносе томе да се производња све више шири и ван Европе, посебно у Сједињеним Америчким Државама.

У Републици Србији се ова врста гаји у знатно мањем обиму, претежно у заштићеном простору. Републички завод за статистику не води је као засебну културу па не постоје званични подаци о површинама или количини производње. Производња је концетрисана око већих градова одакле листови пристижу за конзумацију у свежем стању. Ипак, интересовање домаћих произвођача и потрошача постепено расте, што указује на потенцијал за ширење њене производње у Србији.

2.1.6. Нутритивни састав и физиолошки значај

Током последњих неколико деценија, потрошачка свест о исхрани доживела је значајне промене, са све израженијом тежњом ка здравој, безбедној и нутритивно уравнотеженој храни, било да је реч о прерађеним или природним намирницама. Управо у том контексту, крајем 20. века у Јапану је први пут уведен појам *функционална храна*, као

одговор на растуће здравствене изазове условљене демографским променама и изазовном економијом. Овај концепт обухвата намирнице које се конзумирају у оквиру разноврсне исхране, али које поред основне нутритивне вредности, пружају и додатне здравствене користи, односно оне које превазилазе класичну улогу исхране као извора енергије и градивних елемената (Ponte et al., 2025). Такво настојање представља један од кључних помака у савременом схватању односа између исхране и превенције болести. Данас је концепт функционалне хране прерастао оквире теорије и постао један од темеља савремене пољопривредне и прехрамбене производње, усмерене ка потребама информисаних потрошача који одржавају здравље кроз исхрану (Sgroi et al., 2024).

У том контексту, дивља рукола представља пример намирнице која природно испуњава критеријуме функционалне хране, захваљујући свом богатом нутритивном профилу и способности да допринесе очувању здравља. Листови се одликују високим садржајем воде (91%), што је чини освежавајућом и нискокалоричном намирницом, али истовремено и извором бројних елемената важних за правилно функционисање организма (Ressurreição et al., 2024). Посебно се истичу макроелементи калијум и калцијум, чије концентрације достижу 468 и 309 mg/100 g свежег листа. Овако висок садржај калијума је од изузетног значаја јер се класификује као нутријент чији је унос недовољан према смерницама *Dietary Guidelines for Americans,* док се лиснато поврће класификују као његов важан прехрамбени извор (Afzal Ali et al., 2025; Weaver, 2013). Овај елемент учествује у изградњи и одржавању коштаног ткива и посебно се повезује са смањеним ризиком од остеопорозе при свакодневним уносом (Ha et al., 2020). Поред поменуте структурне функције, има и регулаторну улогу у бројним физиолошким процесима људског организма. Калијум може утицати на регулацију кардиоваскуларних функција кроз сложене механизме који обухватају промене у неурохормоналној контроли и васкуларном тонусу, чиме посредно доприноси одржавању нормалног крвног притиска и функције срца (Houston, 2011). Слично калијуму, и калцијум има значајну улогу у очувању унутрашње равнотеже организма, али се пре свега истиче као кључни елемент у очувању скелетне структуре и метаболичке стабилности. Поред учешћа у изградњи костију и зуба, калцијум утиче на бројне метаболичке путеве и хормонске механизме који регулишу крвни притисак, липидни метаболизам и кардиоваскуларно здравље (Cormick & Belizán, 2019). Поред макроелемената, дивља рукола садржи и значајне количине микроелемената као што су гвожђе, цинк и манган, који имају важну улогу у метаболичким процесима и ензимским реакцијама. Caruso et al. (2018) истичу и висок садржај гвожђа (52 mg/kg), чији се унос одражава на транспорт електрона и кисеоника, као и синтезу ДНК. У свету се процењује да око две милијарде људи пати од анемије узроковане недостатком гвожђа у организму (Gardner et al., 2023). У том контексту, дивља рукола може представљати природан извор овог елемента који доприноси уравнотеженој исхрани, али и сировину погодну за развој производа обогаћених њеним екстрактима или додацима од листова.

Поред наведеног, присуство протеина у листовима доприноси укупном нутритивном садржају ове врсте. Иако се *D. tenuifolia* не убраја у намирнице богате протеинима, садржај од око 2,6 g/100 g свежег листа представља вредан извор аминокиселина биљног порекла у свакодневној исхрани, нарочито у комбинацији са другим биљним изворима протеина (Ressurreição et al., 2024). Поред ниског садржаја угљених хидрата, листови дивље руколе представљају извор дијететских влакана (око 0,9 g на 100 g свежег листа). Иако ова количина није висока, присуство влакана доприноси повољном физиолошком дејству код човека,

посебно у кобинацији са осталим намирницама. Дијететска влакна имају значајну улогу у регулацији варења, контроли гликемијског одговора и одржавању нормалног нивоа холестерола у крви (Anderson et al., 2009). У комбинацији са ниском енергетском вредношћу (28,7 kcal/100 g), ове карактеристике чине *D. tenuifolia* погодном намирницом у дијететским режимима исхране.

Листови дивље руколе одликују се и високим садржајем витамина C (Romano et al., 2022). Како људски организам није у стању да синтетише овај витамин, неопходно је његово свакодневно уношење путем исхране. Аскорбинска киселина представља један од најзначајнијих нутритивних антиоксиданаса, јер учествује у неутралисању слободних радикала и заштити ћелијских структура од оксидативног стреса (Alberts et al., 2025). Поред тога, има важну улогу у синтези колагена, апсорпцији гвожђа и подршци имунолошком систему, што све заједно доприноси укупном физиолошком значају витамина C у људској исхрани. Студије бележе присуство α-токоферола (витамина E) и провитамина A у листовима овог поврћа (Khoramizadeh et al., 2024).

Иако основни нутритивни састав дивље руколе одређује њену вредност у људској исхрани, посебну пажњу привлаче секундарни метаболити који доприносе њеној функционалној и здравственој вредности. Њихов тип и количина варирају у зависности од бројних фактора, а биће детаљније анализирани у засебном поглављу.

2.1.7. Еколошки услови успевања

Обезбеђивање повољних еколошких услова представља основу успешног гајења дивље руколе, јер омогућава постизање стабилних приноса и очување квалитета лисне масе. Ови услови утичу не само на раст и развој биљке, већ и на синтезу и акумулацију хемијских једињења која одређују њену нутритивну и функционалну вредност.

Иако је биљка медитеранског порекла, дивља рукола припада културама прохладне сезоне, јер оптималан раст и квалитет листова остварује се при умереним температурама. Минимална температура за раст износи 2 °C, а максимална 25 °C, при чему дужи дан и више температуре доводе до бржег раста и развоја биљке, али и до скраћеног вегетативног периода (Bonasia et al., 2017). Разлог за то је припадност дивље руколе биљкама дугог дана, код којих дужи фотопериод (12–14 часова светлости) убрзава прелазак из вегетативне у генеративну фазу, што је непожељно у производњи намењеној берби листова (Taylor et al., 2017). Оптимално клијање семена остварује се на вишим температурама, око 25–30 °C, док ниже температуре (10–20 °C) успоравају или смањују проценат клијања, при чему светлост под тим условима додатно инхибира процес клијања (Kleemann et al., 2007). Клијање се одвија релативно брзо када се обезбеде повољни услови температуре и влаге, док продужено излагање ниским температурама може довести до одложене појаве ницања и неуједначености у расту и развитку младих биљака.

Светлост, поред трајања дневног осветљења (фотопериода), утиче на биљку и својим интензитетом и квалитетом, односно спектралним саставом зрачења. Биљке најинтензивније реагују на фотосинтетички активно зрачење (400–700 nm), које има пресудну улогу у процесу фотосинтезе и биосинтези органских једињења, што се директно одражава и на продуктивне карактеристике (Ghasemzadeh et al., 2010). Варијације у интензитету и трајању осветљења током вегетационог периода дивље руколе утичу на синтезу и акумулацију антиоксидативних

једињења, као што су флавоноиди и каротеноиди, што потврђује значај светлости као кључног еколошког фактора у метаболизму дивље руколе (Khoramizadeh et al., 2024). Такође, у условима недостатка светлости, биљке се одликују смањеним интензитетом боје листова на издуженим петељкама, умањеним интензитетом укуса, повећаним садржајем нитрата и осетљивије су на чување након бербе (Padulosi & Pignone, 1996).

Дивља рукола је изузетно прилагодљива врста у погледу земљишних услова, те тип земљишта најчешће не представља ограничење у пољопривредној производњи (Caruso et al., 2018; Nicoletti et al., 2007; Padulosi & Pignone, 1996). Погодују јој плодна, растресита и добро дренирана земљишта неутралне до благо алкалне реакције (pH 6,0–7,5). Захваљујући својој калцифилној особини, толерише и нешто виши pH, али слабо подноси тешка и збијена тла која задржавају вишак влаге и отежавају развој кореновог система (Caruso et al., 2018; Padulosi & Pignone, 1996). Иако добро подноси кречњачка тла, забележена је осетљивост на вишак бора у алкалним земљиштима, при чему се симптоми токсичности јављају већ при концентрацији од око 12,2 mg/kg (Nicoletti et al., 2007). У условима заштићеног простора, препоручује се употреба супстрата на бази тресета и перлита, који омогућавају равномерно снабдевање влагом и хранљивим материјама.

Дивља рукола има умерене захтеве према води, али захтева одржавање стабилног водног режима, будући да негативно реагује и на вишак влаге и на чак благи недостатак воде (Schiattone et al., 2023). Оптимална влажност земљишта и умерена релативна влажност ваздуха представљају кључне услове за одржавање виталности лисне розете и спречавање физиолошких поремећаја. Прекомерна влага може изазвати жутило и развој патогена, док водни дефицит доводи до смањене транспирације, успореног пораста и смањеног садржаја биоактивних једињења у листовима (Nicoletti et al., 2007).

2.1.8. Технологија гајења

Технологија гајења *D. tenuifolia* заснива се на прилагођавању агротехничких мера биолошким карактеристикама врсте и условима средине, са циљем постизања стабилних приноса и високог квалитета лисне масе. Захваљујући својој израженој прилагодљивости ова врста се успешно гаји током читаве године, било на отвореном пољу или у заштићеном простору. Избор система гајења зависи од климатских услова подручја, доступних ресурса и планиране динамике производње. У умереној клими гајење у заштићеном простору омогућава продужен вегетациони период и континуитет снабдевања тржишта, док се у медитеранским условима успешна производња може остварити и на отвореном пољу током већег дела године. Без обзира на начин производње, за ову културу је карактеристична могућност више узастопних берби током једне вегетације, што је последица способности биљке да након резидбе поново образује лисну розету из адвентивних пупољака (Bell et al., 2020; Caruso et al., 2020). Ова особина представља значајну агрономску предност, јер омогућава континуирану производњу без потребе за поновном сетвом, уз ефикасније коришћење производне површине и ресурса. Управо овај феномен регенерације листова условио је специфичан приступ технологији гајења ове врсте. Производња може бити усмерена и ка добијању *baby leaf* усева, код које се листови беру у знатно ранијој фази након ницања биљке, када су млади, мањи, нежни и са блажом аромом, намењени свежој потрошњи и салатним мешавинама.

2.1.8.1. Производња на отвореном пољу

Дивља рукола се у условима умерено-континенталне и медитеранске климе успешно гаји и на отвореном пољу, што је последица њене изражене адаптивности и толеранције према различитим еколошким условима (Caruso et al., 2018; Padulosi & Pignone, 1996). Најповољнији период за производњу у оваквом систему је јесењи и рано пролећни, када су температуре умерене и обезбеђују интензиван вегетативни раст и висок квалитет лисне масе (Caruso et al., 2019). У летњим условима, нарочито при високим температурама и продуженом фотопериоду, долази до бржег иницирања цветања и скраћеног вегетационог периода, што ограничава број берби, док више температуре могу утицати и на промену ароматичног профила листова, повећавајући пикантност и смањујући садржај шећера (Bell et al., 2020; Bonasia et al., 2017) . Усеви се заснивају сетвом семена или садњом расада дивље руколе.

Добра припрема земљишта представља основни предуслов за успешну производњу јер обезбеђује оптималне услове за клијање, развој кореновог система и стабилан почетни пораст. У производњи дивље руколе прибегава се дубоком орању и предсетвеној припреми земљишта. Основна обрада се спроводи када је земљиште умерено влажно, најчешће у јесењем или рано пролећном периоду на дубини од 30 cm, чиме се постиже растресита структура и боља аерисаност профила (Caruso et al., 2018). Поред тога, рукола показује бољу отпорност на нематоде ако је земљиште претходно било узорано (Padulosi & Pignone, 1996). Такође, успешан раст и развиће омогућава благовремено тањирање и равнање површине. Формирање леја ширине 1 до 3 m обавља се у завршној фази припреме земљишта, непосредно пре сетве или расађивања, док се на песковитим и лакшим типовима тла препоручује ваљање ради обезбеђивања оптималног контакта семена и подлоге (Nicoletti et al., 2007). У зависноснти од локалних климатски услова могућа је и летња сетва. Међутим, она се примењује ређе, јер високе температуре отежавају ницање и повећавају ризик од исушивања површинског слоја тла. Због тога се пре почетка припреме земљишта спроводи наводњавање, чиме се побољшава његова структура, убрзава клијање и обезбеђује уједначено ницање усева, уз истовремено ефикасније сузбијање корова (Nicoletti et al., 2007). Од посебног значаја у припреми земљишта су мере које обезбеђују његову здравствену исправност и дугорочну плодност. Зеленишно ђубрење побољшава структуру и садржај органске материје неопходне за принос и квалитет листова, док соларизација омогућава природну дезинфекцију тла, смањујући присуство патогених микроорганизама и семена корова (Caruso et al., 2019). Гајење дивље руколе у монокултури, односно више узастопних година на истој парцели, није препоручљиво, јер доводи до повећања бројности штеточина и патогена, као и до постепеног исцрпљивања хранљивих и минералних материја из земљишта. Овакви услови захтевају чешћу примену ђубрива и заштитних средстава ради сузбијања и превенције болести, што не само да поскупљује производњу, већ и неповољно утиче на животну средину. Као предусеви који показују негативан утицај на раст и развој дивље руколе издвајају се пасуљ, целер, тикве и представници фамилије Solanaceae (Padulosi & Pignone, 1996). У циљу очувања плодности и стабилности производње, препоручује се поштовање плодореда и правилан избор предусева. Поједине семенске куће истичу најбоље резултате када се дивља рукола гаји након махунарки, које обогаћују земљиште азотом, као и након коренастих култура и ароматичних биљака. Са друге стране, треба избегавати гајење након купусњача и јагода, јер ове врсте често деле заједничке штеточине и болести, што може проузроковати смањење приноса и деградацију квалитета лисне масе. Посебну пажњу треба обратити када је реч о дивљој руколи као предусеву у плодосмени. Ова врста може испољити одређене алелопатске ефекте на културе које следе у ротацији, нарочито на врсте из фамилија Papilionaceae, Apiaceae,

Cucurbitaceae и Solanaceae. Сматра се да је та појава повезана са синтезом специфичних једињења, као што је S-глукопиранозил тиохидроксимат, која дивљој руколи обезбеђују изражену конкурентност у биљним заједницама, али истовремено могу неповољно утицати на успевање осетљивих врста које се гаје након ње (Caruso et al., 2019). Међутим, Jin et al. (2019) истичу да се дивља рукола може искористити као предусев у контексту зеленог ђубрива, где се заоравањем активно растућих биљака у земљиште постиже биофумигантни ефекат. Током разградње биљне масе ослобађају се глукозинолати и њихови продукти, пре свега изотиоцијанати, који делују као природни биоциди и доприносе смањењу присуства патогена у земљишту, посебно гљива рода *Fusarium*.

Избор начина заснивања усева представља важан елемент у технологији гајења дивље руколе, јер директно утиче на динамику ницања, уједначеност усева и укупну дужину производног циклуса. У пракси се ова врста најчешће размножава директном сетвом или преко расада, при чему се избор поступка заснива на типу производње, климатским условима и планираној намени производа. Сетва семена се обавља директно на стално место, равномерним разбацивањем семена или у редове (Padulosi & Pignone, 1996). У случају послење поменутог, редови се најчешће постављају на размаку од око 3 cm, а поступак се изводи машински, помоћу сејалице, што омогућава прецизније полагање семена и уједначеније ницање. Норма сетве износи 4 до 6 kg/ha, у зависности од периода и начина сетве (Nicoletti et al., 2007). Због изузетно ситног семена (0,28–0,30 g за 1000 зрна), при ручној сетви оно се често меша са ситним песком или брашном ради лакше уочљивости и равномерније расподеле по површини. Најбоље резултате клијања даје семе постављено на самој површини земљишта, иако биљка може нићи и са дубине до 2 cm, због чега се препоручује врло плитка сетва (Kleemann et al., 2007). После сетве семе се најчешће не прекрива или се поспе само танким слојем супстрата како би се задржала влага и обезбедило уједначено ницање. Клијање зависи од периода у години у којем се сетва обавља. При повишеним летњим температурама ницање може отпочети већ након 24 часа, док је у прохладнијим месецима за тај процес потребно неколико дана. Расад дивље руколе се производи у заштићеном простору. Када младе биљке развију три права листа, односно отприлике 40 до 60 дана по сетви спремно је за расађивање у заштићеном простору или на отвореном пољу (Padulosi & Pignone, 1996). Овај поступак најчешће се спроводи ручно, а ређе машински, док се распоред садње прилагођава условима гајења и обично износи 20×10 cm до 20×15 cm, што обезбеђује густ склоп и оптимално искоришћење производне површине. Расад се поставља најчешће у леје које се по правилу прекривају полиетиленском фолијом, која помаже у очувању влаге и смањује појаву корова, док се на лакшим земљиштима испод фолије поставља систем за наводњавање који равномерно распоређује воду и хранљиве материје. Производња преко расада има бројне предности. Скраћује се производни циклус, омогућава ранију бербу и остварује се визуелни и нутритивни квалитет лисне масе. Недостатак овог начина производње захтева већа материјална улагања у материјал и радну снагу, због чега се у пракси чешће примењује у интензивним системима гајења у заштићеном простору, где се оправдава већим приносима и стабилнијим квалитетом производа (Моравчевић и Тодоровић, 2022).

Након ницања или расађивања биљака, спровођење адекватних мера неге има пресудан значај за очување виталности усева, оптималан раст и формирање квалитетне лисне масе. Основне мере неге у гајењу дивље руколе обухватају наводњавање, сузбијање корова, ђубрење током вегетације и заштиту од болести и штеточина. Ови поступци се прилагођавају тако да обезбеде стабилну и континуирану производњу током више циклуса бербе.

Иако је дивља рукола релативно толерантна на сушу, за успешно гајење неопходно је обезбедити довољне количине доступне влаге током читавог вегетационог периода. Одабир начина заливања зависи од типа земљишта, климатских услова и система производње. Најповољнији ефекти постижу се применом система који омогућавају равномерну дистрибуцију воде, без прекомерног задржавања влаге у зони корене, која може да доведе до анаеробних услова. Padulosi & Pignone (1996) истичу системе за наводњавање са средњим интензитетом прскања (око 120 L/h) и средњим дометом распршивања (3–5 m). Захтеви за водом мењају се у зависности од фенофазе развоја биљке. У периоду након сетве и ницања потребно је чешће заливање мањим количинама воде, како би се обезбедило равномерно клијање и спречило стварање површинске покорице. У каснијим фазама, прекомерно прскање може оштетити осетљиво лишће и довести до стварања услова за развијање болести. Због тога се количина воде постепено смањује након ницања, а често је довољно само једно умерено заливање између ницања и прве бербе са количином воде од 20–30 m^3/ha.

Присуство коровских врста у усеву дивље руколе директно утиче на принос и квалитет лисне масе. Иако се *D. tenuifolia* одликује добром конкурентношћу, посебно у каснијим фазама развоја, појава корова са брзим почетним растом може значајно ограничити доступне ресурсе, попут светлости, воде и хранљивих материја – чиме се успорава развој гајене биљке. Најчешће присутне коровске врсте су *Stellaria media* L. и *Veronica spp.* током зимског периода, док се у летњим условима јављају *Portulaca oleracea* L., *Chenopodium album* L., *Solanum nigrum* L. и *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv (Padulosi & Pignone, 1996). У циљу спречавања конкуренције корова и обезбеђивања високог квалитета производа, у производњи примењују се различити хемијски, физички и агротехнички поступци, који могу имати превентивни или куративни карактер. Превентивне мере подразумевају употребу поступака који спречавају појаву и ширење корова пре него што они угрозе усев. Најчешће се примењује тзв. лажна сетва (*false sowing*), при чему се земљиште припрема и оставља да никну семена корова која се потом уништавају плитком обрадом или хербицидима пре сетве културе од интереса (Kanatas et al., 2025). Такође, значајно место има и примена малча, посебно код производње преко расада, јер физички спречава клијање и раст корова. Малч може бити природног порекла, као што су слама, пиљевина, папир или стерилисани биљни остаци, или синтетички, најчешће у облику пластичних материјала који често имају вишу цену (Abouziena & Haggag, 2016). Ова превентивна мера не утиче само на сузбијање корова, већ и на физиолошке и биохемијске процесе биљке, као и на заштиту од штеточина. Истраживања спроведена на вишегодишњој руколу показала су да примена малча у комбинацији са ђубрењем значајно утиче на физиолошке параметре, као што су принос, површина листа и садржај хлорофила, *β*-каротена и антиоксиданаса (Precupeanu et al., 2025). Поред утицаја на продуктивност, поједине врсте малча имају и репелентно дејство на поједине штеточине, нарочито на црног купусног бувача (*Phyllotreta pusilla* Horn) у усеву дивље руколе (Ivanova et al., 2021). Куративне мере се спроводе током вегетације, када је потребно ограничити већ присутну коровску вегетацију. С обзиром на ограничен број регистрованих хербицида за ову културу и њихову ниску селективност, сузбијање се у пракси најчешће изводи ручно или механички (Padulosi & Pignone, 1996). Иако је *D. tenuifolia* по природи конкурентна врста, недовољна контрола корова може довести до контаминације лисне масе коровским врстама, што знатно умањује тржишну вредност производа. Због тога је неопходно спровођење континуиране контроле и примена интегрисаног приступа који комбинује превентивне, механичке и, где је могуће, селективне хемијске мере сузбијања корова.

Дивља рукола спада у културе скромних потреба за исхраном, али правилно балансирано ђубрење има кључну улогу у очувању приноса и квалитета лисне масе (Nicoletti et al., 2007). Према проценама, на сваких 100 kg свежег биљног материјала из земљишта се износи приближно 0,28 kg азота, 0,11 kg фосфорног анхидрида и 0,34 kg калијум-оксида , што указује да ова врста ефикасно користи расположиве ресурсе (Pimpini et al., 2005). Ипак, приликом планирања прихране неопходно је узети у обзир тип земљишта, садржај органске материје и почетни ниво макроелемената, како би се избегла прекомерна употреба минералних ђубрива. Због кратког биолошког циклуса и брзе акумулације азота, препоручује се умерена прихрана, при чему унос азота не треба да прелази 100 kg/ha (Padulosi & Pignone, 1996). Прекомерна примена доводи до накупљања нитрата у листовима и смањења квалитета током складиштења. Уместо тога, контролисана фертигација омогућава постепено снабдевање биљака хранљивим материјама и правилан раст и развиће.

С обзиром на интензивну производњу, густи склоп биљака и вишеузастопне бербе, дивља рукола је током целе вегетације изложене различитим патогенима и инсектима, чија се појава често појачава у условима високе влажности и повишених температура (Caruso et al., 2018; Nicoletti et al., 2007; Padulosi & Pignone, 1996). Такође, површинска оштећења настала приликом резидбе представљају потенцијалне улазне тачке за продор патогена и развој инфекција. Најчешћи проблем представљају гљивични патогени из земљишта, као што су *Rhizoctonia solani* (узрочник трулежи корена и круне) и *Fusarium oxysporum*, који доводи до увенућа, жутења и некрозе ткива. *Sclerotinia sclerotiorum* проузрокује трулеж стабла и појаву беле мицелијалне масе, док *Alternaria brassicicola* и *Erisyphe cichoracaearum* изазивају пегавост и пепелницу листова. Од псеудодогљивичних патогена, најзаступљенија је *Hyaloperonospora parasitica*, која изазива пламењачу и доводи до појаве тамних пега, жутења и труљења листова. Ређе се јављају *Albugo candida* (бела рђа) и *Plasmodiophora brassicae* (кила корена). Од бактеријских болести, забележена је *Xanthomonas campestris* (црна трулеж), која изазива жутило и тамњење листних нерава. Вирусне инфекције (*CMV*, *TuMV*, *TYMV*) се могу јавити, али обично не доводе до већих економских губитака. Када је реч о штеточинама, најчешће се јављају лисне ваши (*Brevicoryne brassicae*, *Myzus persicae*), купусне буваче (*Phyllotreta* spp.), гусенице купусног лептира (*Pieris* spp.) и совице (*Mamestra brassicae*, *Spodoptera littoralis*). Ови инсекти оштећују младе листове, узрокују деформације и умањују тржишну вредност производа. Превенција се заснива на ротацији усева, соларизацији тла, дезинфекцији семена и примени биолошких средстава на бази антагонистичких гљива (*Coniothyrium minitans*, *Clonostachys rosea*), док се хемијске мере користе ограничено, уз поштовање каренце и заштите животне средине. С обзиром на комплексност интензивне производње, интеграција мера заштите има кључну улогу у очувању здравственог статуса усева и квалитета листова. Durazzo et al. (2013) указују да рационална примена инсектицида у оквиру интегрисаног система може обезбедити ефикасну контролу штеточина уз минимално оптерећење животне средине. Њихови резултати потврђују да овакав приступ, уз смањену употребу хемијских препарата, не умањује биолошку активност и нутритивни квалитет биљака, што интегрисани систем производње чини пожељнијом и одрживијом алтернативом конвенционалном.

Берба је завршна, али изузетно важна фаза у процесу гајења дивље руколе, будући да време и начин сакупљања листова у великој мери одређују укупан принос и тржишну вредност производа. Берба листова може започети између 20 до 60 дана након ницања или расађивања када су листови сочни, и садрже највише количине биоактивних једињења

(Padulosi & Pignone, 1996). Код *D. tenuifolia* берба се спроводи више пута током једног вегетационог циклуса, захваљујући израженој способности биљке за регенерацију након резидбе. Интервал између појединачних берби обично износи од 15 до 30 дана, при чему се најповољнији резултати постижу у прохладнијим јесење-зимским условима, када биљка спорије цвета и дуже задржава способност регенерације. Листови се секу ручно, најчешће ножем или српом, на висини од око 0,5 cm изнад котиледона, како би се сачувао вегетативни вршни меристем и омогућио брз пораст нових листова. Механизована берба је могућа, али често доводи до благог повређивања ткива и брже оксидације у зони реза, што негативно утиче на изглед и трајност свежег производа. У свим циклусима, оптимална дужина листова за бербу износи 12 до 15 cm, чиме се обезбеђује најбољи баланс између приноса, текстуре и квалитета. Укупни принос може варирати између 15 и 25 t/ha, у зависности од броја обављених берби и агроеколошких услова у току вегетационог периода.

Иако производња на отвореном пољу захтева мања улагања у инфраструктуру у односу на заштићене просторе, изложеност биљака атмосферским утицајима (екстремним температурама, падавинама и ветру) често узрокује варијације у приносу и квалитету. Због тога се у пракси све чешће примењују различити облици привремене заштите, као што су агротекстили и ниски тунели, који ублажавају стресне услове и омогућавају ранију или продужену производњу.

2.1.8.2. Производња у заштићеном простору

Гајење поврћа у заштићеном простору стекло је изузетну популарност и широку распрострањеност у последњим деценијама 20. и почетком 21. века, захваљујући бројним предностима које пружа у односу на производњу на отвореном пољу. Овај систем узгоја омогућава производњу у различитим климатским зонама и пружа потпуну контролу микроклиматских услова, чиме се обезбеђује оптимално коришћење ресурса и континуирано снабдевање тржишта свежим поврћем током целе године, укључујући и вансезонске периоде (Weiss & Gruda, 2025). У оквиру заштићеног простора могуће је прецизно регулисати температуру, влажност ваздуха и земљишта, концентрацију угљен-диоксида и интензитет светлости у складу са типом и конструкцијом објекта, што омогућава стабилан раст биљака, веће приносе и већу економску ефикасност производње Sojitra et al, 2024). Поред тога, овај вид производње посебно је погодан у условима климатских промена које све више ограничавају производњу на отвореном пољу, а уједно доприноси развоју одрживе пољопривреде, јер омогућава рационалнију потрошњу воде и ђубрива, смањену употребу пестицида и већу енергетску ефикасност (Vlahović et al., 2010). За унапређење повртарске производње у Србији, према Vlahović et al. (2010) препоручује се повећање површина под заштићеним просторима (пластеници, стакленици и други облици) и увођење већег броја врста поврћа у производњу како за свежу потрошњу током целе године, тако и за различите облике прераде. Према врсти транспарентног покривног материјала, типу и сложености конструкције, стални објекти заштићеног простора се деле на тунеле, пластенике и стакленике, при чему се у савремене начине производње убрајају последња два (Savić, 2017).

Пластеници представљају најраспрострањенији облик заштићеног простора у домаћој и регионалној производњи, пре свега захваљујући својој економичности и једноставности изградње. Њихова конструкција је најчешће израђена од PVC или металних лукова, прекривених полиетиленском фолијом, што обезбеђује повољну топлотну изолацију и омогућава гајење током већег дела године. Сходно висини улагања потребних за изградњу,

пластеници се класификују као ниско, средње и високобуџетни („*low-cost*“, „*medium-cost*“ и „*high-cost*“) системи, а према нивоу опремљености као ниско, средње и вискотехнолошки („*low-tech*“, „*medium-tech*“ и „*high-tech*“) објекти (Sojitra et al, 2024; Rajiv & Kumari, 2023) . Технолошки аспект заштићене производње обухвата различите нивое опремљености и степена аутоматизације унутар објеката. Нискотехнолошки системи углавном имају ручне или полуаутоматске системе за вентилацију и основне механизме за контролу микроклиме, док сложенији објекти укључују делимично аутоматизовано управљање наводњавањем, исхраном биљака и микроклиматским условима. Ипак, у пракси, већина пластеника функционише сезонски, односно производња се у њима не одвија током целе године, већ у оквиру једног или више циклуса који зависе од климатских услова и дужине дана (Castilla & Hernandez, 2007). Поред тога, ограничена пропустљивост пластичних материјала за светлост и њихов краћи век трајања представљају додатне факторе који умањују ефикасност овог типа објеката. Та ограничења, као и потреба за продуженим периодом производње и прецизнијом контролом микроклиматских услова, довела су до шире примене стакленика као технолошки напреднијег типа заштићеног простора. Њихова чврста метална или алуминијумска конструкција, у комбинацији са стакленим панелима, обезбеђује изузетну трајност, добру термичку изолацију и високу пропустљивост светла. Ови објекти опремљени су аутоматизованим системима за вентилацију, грејање, хлађење, наводњавање и ђубрење, као и сензорима и компјутеризованим управљачким јединицама које омогућавају потпуну контролу микроклиме. Захваљујући томе, стакленици омогућавају производњу током целе године, већу ефикасност у коришћењу ресурса, висок квалитет и здравствену исправност производа, што их сврстава у најнапредније системе савремене пољопривредне производње.

У контексту савремене заштићене производње, дивља рукола представља једну од економски исплативијих лиснатих култура међутим гајење је и даље недовољно истражено. Захваљујући кратком вегетационом периоду, високој регенеративној способности и прилагођености контролисаним условима, ова врста се све више гаји у пластеницима и стакленицима, пре свега за свежу потрошњу. Padulosi и Pignone (1996) истичу да је најзаступљенија производња у тунелима (85–90%) да резултати производње у великој мери зависе од пажљивог управљања климатским параметрима унутар заштићеног простора. Унутар ових објеката могуће је обезбедити успешну целогодишњу производњу ове културе, али такође и расада. Ради производње расада за пикирање, сетва се најчешће обавља током јесенч-зимског периода у коцке пресованог тресета (светли и тамни тресет мешавина, димензија 4 × 4 × 4 cm) или у контејнере од експандираног полистирена са 80–150 отвора (Padulosi & Pignone, 1996). Због економичности производње контејнери се чешће практикују. У коцку или отвор контејнера по површини се сеје осам до десет семена која се затим и стављају у клијалишта на температуру 20–22 °C. Пикирање на отворено поље или у заштићени простор, обавља се када биљке развију три права листа (40–60 дана од сетве), са распоредом садње од 20 × 10 cm до 20 × 15 cm. Овај процес омогућава скраћивање вегетационог периода, ранију жетву и добијање квалитетнијих листова погодних за бољи пласман на тржишту. Производња овог поврћа у заштићеном простору изискује регулацију температуре и загревање обекта, поготово током зимских месеци. Неопходно је обезбедити 22–24 °C током дана и 16–18 °C ноћу, јер се тиме убрзава производни циклус и подстиче бржа регенерација лишћа након бербе. Пластични покривни материјали показују ограничену пропустљивост светлости, што представља лимитирајући фактор током зимске производње *D. tenuifolia*, када долази до етиолације и издуживања биљака, смањења ароме и повећања садржаја нитрата (Padulosi & Pignone, 1996). Овај проблем се може превазићи гајењем у стакленицима, који

обезбеђују виши степен пропустљивости светлости и стабилније услове за фотосинтезу. Према досадашњим сазнањима, подаци у литератури о стакленичкој производњи ове врсте, нарочито у контејнерима, оскудни су или непотпуни, што указује на потребу за даљим истраживањима у овом правцу. Поступци бербе су исти као на отвореном пољу. Имајући у виду наведена ограничења и недовољно проучене аспекте стакленичке производње, овај рад је усмерен на испитивање продуктивних и фитохемијских својстава дивље руколе у условима контролисаног гајења.

2.1.9. Генетичка разноврсност и сортимент

Развој савремене производње дивље руколе повезан је са напретком у области селекције нових генотипова. Иако ова врста у природи показује високу варијабилност и богат генетички потенцијал, систематски програми оплемењивања започети су тек током последњих деценија, с циљем унапређења агрономских и квалитативних особина. Кључни циљеви савременог оплемењивања односе се на постизање стабилног приноса, уједначеног пораста, продужене свежине након бербе, као и на контролу интензитета ароме и садржаја нитрата и биоактивних једињења.

Селекционо оплемењивање култивара који потичу од дивљих форми врши се ради побољшања испољавања пожељних особина важних за комерцијалну производњу, као што су морфолошка уједначеност, принос, квалитет листова и толеранција на неповољне услове средине (температурне екстреме, салинитет, сушу) (Hall et al., 2012). Упркос овим достигнућима, активности на оплемењивању се и даље спроводе применом традиционалних метода селекције, као што су масовна селекција или потомство појединачног семена (*single seed descent*) (Tripodi et al., 2017). Reis et al. (2022) истичу потребу да за истраживањима генетичке варијабилности и очувањем дивљих популација као вредног извора за будуће програме оплемењивања. Због наведеног, неопходно је у будућности применити савремене технике, као и молекуларне приступе, како би се убрзала селекција, повећала генетичка разноврсност и омогућило добијање култивара са бољим адаптивним и тржишним својствима, у складу са све већом потражњом на тржишту. У комерцијалној производњи преовлађују сорте добијене селекцијом италијанских генотипова, док се последњих година све више развијају и хибриди. Међу F_1 сортним хибридима дивље руколе које се гаје и комерцијално су доступне на тржишту Србије налазе се Marte, Venere и T&T (**Слика 6**). Marte F_1 представља усколисне биљке намењене целогодишњој производњи, који се истиче изузетно брзим обнављањем лисне масе након бербе и дубоко назубљеним листовима тамнозелене боје. Добре је толеранције на ниже температуре у заштићеном простору, као и отпорност према жутом увенућу (*Fusarium* sp.) и прераном цветању. Venere F_1 погодана је за производњу у пролећно-јесењем и зимском периоду. Карактерише се умерено назубљеним, тамнозеленим листовима пријатног, интензивног укуса и повећаном отпорношћу на ниске температуре и процветавање. T&T F_1 одликује се израженим, пријатно љуткастим укусом са благим слаткастим нотама, стабилним растом у условима пуног осунчања и просечног земљишта, као и добром способношћу за континуирану летњу бербу. Ипак, недовољно је података о понашању ових сорти у специфичним условима домаће производње, као и о варијабилности њиховог фитохемијског профила у зависности од фактора средине и технологије гајења.



Слика 6. Упоредни приказ листова сортних хибрида дивље руколе (Marte, Venere и T&T)

2.1.10. Морфолошки параметри продуктивности

Параметри продуктивности представљају скуп морфолошких и производних показатеља који омогућавају процену развоја и економске вредности културе. Могу послужити као основа за праћење вегетативног раста, процену ефективности примене агротехничких мера и третмана, као и за анализу интензитета обнављања лисне масе након резидбе и континуитета производње током узастопних циклуса бербе.

У литератури се као морфолошки показатељи продуктивности лиснатог поврћа и дивље руколе најчешће наводе број листова, њихова дужина и ширина, развој лисне површине, покровност, индекс лисне површине (LAI), надземна биомаса односо принос (Gimenez et al., 2002; Maseko et al., 2020; Signore et al., 2023; Suharto et al., 2024; Tsaballa et al., 2023). Број листова представља основни индикатор интензитета вегетативног развоја и динамике обнављања лисне масе, док висина биљке одражава укупни потенцијал раста и архитектуру надземног дела. Развој лисне површине, вредност LAI параметра и покровност дају увид у фотосинтетички активну зону биљке, као и у степен искоришћења светлосне енергије током вегетације. Принос свеже или суве масе представљају директне показатеље производне и економске успешности културе. Вредности ових параметара у значајној мери зависе од режима исхране биљака и примењене фертилизације. Одговарајућа доступност хранљивих елемената, нарочито калијума, подстиче интензивнији развој листова, повећава укупну лисну површину и LAI вредност, као и брже затварање биљног склопа (Ramli & Sulaiman, 2021; Zhao et al., 2025). На тај начин, правилно избалансирана прихрана може побољшати фотосинтетичку активност и ефикасност коришћења светлосне енергије, што одражава на принос и укупну продуктивност усева. Међутим, упркос великом броју истраживања о утицају минералне и органске исхране на лиснато поврће, утицај фолијарне прихране на морфолошке параметре и продуктивност дивље руколе до сада није у потпуности истражен, што представља значајан простор за даља истраживања. Комбинација ових

параметара омогућава потпуну процену морфолошке продуктивности биљака и служи као поуздана основа за праћење раста и развоја у различитим условима гајења.

2.2. Биоактивна једињења

2.2.1. Биолошки и физиолошки значај

Биоактивна једињења представљају биљне метаболите присутне у различитим намирницама, који својом биолошком активношћу доприносе очувању и унапређењу здравља човека (da Costa Rocha et al., 2021; Dincheva et al., 2023; Galanakis, 2017; Samtiya et al., 2021). Реч је о секундарним метаболитима који немају директну улогу у расту и развоју биљке, већ представљају производ њене адаптивне реакције на различите спољашње факторе, као што су светлост, температура, дефицит хранљивих материја, присуство патогена или други облици биотичког и абиотичког стреса (Zhao et al., 2014). Ови једињења настају као део сложених одбрамбених и сигналних механизама биљке, чиме јој омогућавају бољу прилагодљивост и очување физиолошке равнотеже у променљивим условима средине. Због изразите биолошке активности, ова једињења имају значај не само у физиологији биљака, већ и у исхрани човека, где испољавају бројне корисне ефекте као што су антиоксидативно, антиинфламаторно, антимикробно и антиканцерогено дејство (Dar et al., 2023; El-Saadony et al., 2025). Стога ова једињења представљају важну везу између биљне метаболичке активности и функционалне исхране човека. Упркос њиховој ниској заступљености у биљним ткивима, биоактивна једињења показују велику хемијску и функционалну разноврсност. Према доступној литератури, груписање биоактивних метаболита варира у зависности од критеријума који се узимају у обзир, као што су хемијска структура, биолошка функција или метаболички пут њихове синтезе. Aruwa et al. (2018) наводе поделу на фенолна, нефенолна једињења и пигменте, док de Freitas Marinho et al. (2023) издвајају три најзаступљеније групе: терпене и терпеноиде, фенолна једињења и алкалоиде. Без обзира на различите приступе класификацији, биоактивна једињења обухватају широк спектар метаболита као што су фитостероли, терпеноиди, фенолна једињења, глукозинолати, алкалоиди, капсаициноиди, каротеноиди, дијетна влакна и витамини, који у међусобној интеракцији доприносе антиоксидативном капацитету и укупној биолошкој вредности биљака (de Freitas Marinho et al., 2023; Samtiya et al., 2021).

Бројне *in vitro* и *in vivo* студије потврђују значај биоактивних једињења у очувању људског здравља и превенцији хроничних обољења (Amrane-Abider et al., 2023; Slatnar et al., 2012; Vendrame et al., 2024; Zhao et al., 2014). Њихова биолошка активност заснива се пре свега на способности неутрализације слободних радикала, модулацији ензимских система, регулацији експресије гена и утицају на сигналне путеве повезане са упалним и оксидативним процесима (Alvarez-Leite, 2025; Kurek et al., 2022; Mierziak et al., 2021).

Захваљујући свом деловању на ћелијском и молекуларном нивоу, биоактивна једињења имају важну улогу у одржавању физиолошке равнотеже и превенцији бројних хроничних обољења. Њихова способност да смање оксидативни стрес и хроничну инфламацију, као два кључна патофизиолошка механизма, лежи у основи њиховог заштитног дејства на кардиоваскуларни, неуролошки и метаболички систем (Rangel-Huerta et al., 2015). На тај начин, редовна конзумација намирница богатих овим једињењима повезује се са

смањеним ризиком од кардиоваскуларних обољења, дијабетеса, гојазности, неуродегенеративних поремећаја и неких типова карцинома (Asma et al., 2022; Kumar et al., 2022; Shoaib et al., 2023; Tran et al., 2020). Осим антиоксидативног, бројна истраживања потврђују и антипролиферативно, хиполипидемично и имуно-модулаторно дејство ових једињења (Dincheva et al., 2025; Godyla-Jabłoński & Raczkowska, 2025; Ji et al., 2019).

С обзиром на широк спектар позитивних ефеката које биоактивна једињења испољавају на људско здравље, све више се истражују биљне врсте (гајене и из спонтане флоре) као природни извори ових метаболита, као и потенцијал њихових екстраката у превенцији и лечењу обољења. Поред тога, расте интересовање за употребу биљних екстраката у обогаћивању хране, као и за оптимизацију метода екстракције и формулисање фитопрепарата, што отвара широке могућности за њихову примену у фармацеутској и прехрамбеној индустрији (Kurek et al., 2022). Међутим, аутори истичу да је, упркос великом броју истраживања усмерених на идентификацију и биолошку активност екстраката, недовољно пажње посвећено утицају услова током гајења и примењених агротехничких поступака, који могу значајно условити квалитативни и квантитативни састав биоактивних једињења (Soto et al., 2021). Иако бројна истраживања анализирају хемијски састав и биолошку активност екстраката, утицај фактора производње, као што су еколошки услови, фаза развоја биљке, режим исхране, агротехничке мере неге током вегетације, број и време бербе, још увек није довољно расветљен, а управо они могу имати пресудан значај у биосинтези и акумулацији секундарних метаболита.

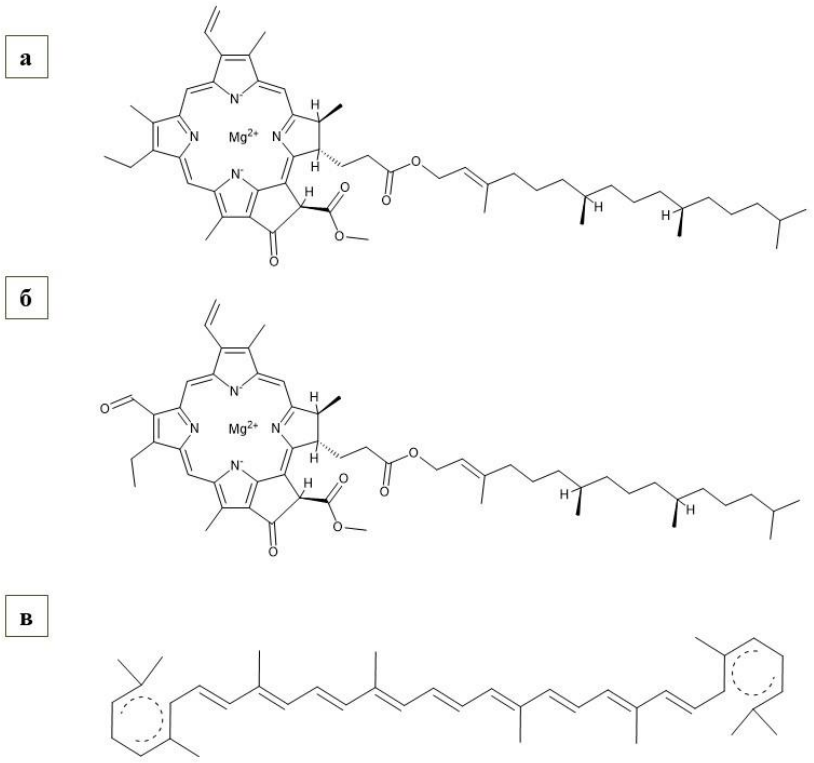
У том контексту, посебну пажњу привлачи дивља рукола која се издваја богатством и разноврсношћу својих биоактивних компоненти. Њен фитохемијски састав обухвата бројне секундарне метаболите различитих структура и биолошких функција, који су одговорни за изражену антиоксидативну, антиинфламаторну и протективну активност (Romano et al., 2022). Фитохемијски састав дивље руколе је релативно добро истражен, међутим подаци о утицају фактора производње на акумулацију појединих група биоактивних једињења и даље су оскудни (D'Antuono et al., 2008; Di Gioia et al., 2018; Ressurreição et al., 2024). Пре свега, недостају истраживања која обухватају утицај различитих типова фолијарне прихране, времена жетве и сезонских услова на квалитативне и квантитативне промене у фитохемијском профилу комерцијалних сорти гајених у Србији.

2.2.2. Биљни пигменти

Биљни пигменти представљају групу секундарних метаболита који учествују у апсорпцији и трансформацији светлосне енергије, омогућавајући процес фотосинтезе и низ других физиолошких функција у биљкама (Ghosh et al., 2022; Tang et al., 2025). Поред ове основне улоге, ова обојена једињења имају и значајну еколошку и биолошку функцију, јер учествују у заштити биљака од стреса, привлачењу опрашивача и одбрани од патогена (Choo, 2019; Gibson & Newsham, 2018). Биљни пигменти, према својој хемијској природи и спектру боја које испољавају, се сврставају у четири основне групе: хлорофили, каротеноиди, флавоноиди и беталаини (Chen, 2015). Свака од ових група има посебну биосинтезу и обухватају више једињења различите структуре, која селективно апсорбују и одражавају одређене таласне дужине светлости, чиме биљкама дају карактеристичну боју (Corrêa et al., 2019). Биљни пигменти су распоређени у различитим биљним органима попут корена, стабљике, листова, цветовима и плодова, где доприносе њиховој боји. Будући да се многи од ових органа користе у исхрани, пигменти представљају важну компоненту јестивих делова

биљака, са потенцијалним благотворним дејством на људско здравље. Њихова конзумација показала се корисном, јер је повезана са смањеним ризиком од развоја различитих хроничних и дегенеративних обољења, што овој групи једињења даје посебан нутритивни и функционални значај (Chen, 2015; Naharwal et al., 2024). Наиме, бројна истраживања потврђују да пигменти испољавају антиканцерогено, противупално, антидијабетично, хепатопротективно, антигојазно, антиалергијско, кардиопротективно, антимикробно и антиоксидативно деловање (Ghosh et al., 2023; Upadhyay, 2018).

Хлорофили представљају најзаступљенију и физиолошки најзначајнију групу биљних пигмената (Tang et al., 2025). По хемијској грађи, ове молекуле чине четири пиролна прстена (тетрапироли) повезана у порфирински макропрстен, у чијем се центру налази атом магнезијума (Ferruzzi & Blakeslee, 2007). У биљној ћелији су локализовани у тилакоидним мембранама хлоропласта, органеле у којима се врши апсорпција светлосне енергије и њена трансформација у органска једињења неопходна за живот биљке. Хлорофили најинтензивније упијају светлост у плавом и црвеном делу спектра, док зелену рефлектују, што условљава карактеристичну боју вегетативних и појединих генеративних органа (Lichtenthaler & Buschmann, 2001). Поред своје примарне фотосинтетичке улоге, количина и однос различитих класа хлорофила често служе као показатељи физиолошког стања, адаптације и виталности биљака у различитим условима животне средине (Ghosh et al., 2023; Liu et al., 2024). У биљном свету разликују се две главне подгрупе хлорофила – *a* и *b*, које се међусобно разликују по хемијској структури, таласним дужинама светлости које апсорбују и специфичној улози у фотосинтетичком процесу. Хлорофили *a* и *b* имају сличну хемијску грађу, али се разликују у саставу бочног ланца (**Слика 7а и б**). Код облика *a* налази се метиленска група ($–CH_3$), док је код форме *b* присутна алдехидна (–CHO) (Ramesh & Muthuraman, 2018).



Слика 7. Хемијске структуре главних фотосинтетичких пигмената: **а)** хлорофил *a*, **б)** хлорофил *b* и **в)** општа структура каротеноида (Структуре израђене у програму ChemDraw Professional, према подацима из PubChem базе и Pop et al. (2006)

Међу овим липофилним пигментима одступања су уочљива у молекуларној маси и по боји. Хлорофил *a* одликује се нешто мањом молекулском масом (893.48 g/mol) и карактеристичном плаво-зеленом бојом (Pai & Nair, 2015). Количински је доминантнији у односу на форму *b*, што потврђује његову централну улогу у фотосинтетичком процесу (Gibson & Newsham, 2018). Насупрот томе, хлорофил *b* је мање ефикасан у апсорпцији светлости и апсорбовану енергију преноси на *a* (Pai & Nair, 2015; Ramesh & Muthuraman, 2018). Овај секундарни метаболит има максимум у црвеном делу спектра који се налази на нешто дужим таласним дужинама, а одликује га већа молекулска маса (907.46 g/mol) и жутозелена боја. Ови пигменти поседују низ својстава која им омогућавају биолошку активност у људском организму, па се све више истражују њихови здравствени ефекти. Примена хлорофила је повезана са ублажавањем или превенцијом различитих обољења, укључујући карцином, дијабетес, чир, реуматоидни артритис, хиперлипидемију, таласемију, анемију, камен у бубрегу, астму, поремећаје варења и кожне болести (Ghosh et al., 2023). Према Sartore et al. (2025), хлорофил и његови деривати показују значајан потенцијал као мултифункционални антидијабетички агенси, делујући кроз више механизама који обухватају инхибицију дигестивних ензима, модулацију инкретина, регулацију транспортера глукозе и смањење оксидативног стреса. Поред тога, бројна истраживања указују на потенцијал деривата хлорофила у превенцији карцинома, при чему се њихово заштитно дејство доводи у везу са антиоксидативним ефектом, неутрализацијом мутагена, модулацијом детоксикационих путева и изазивањем апоптозе оштећених ћелија (Ferruzzi & Blakeslee, 2007). С обзиром на то

да је код дивље руколе конзумни део лист, ова врста представља потенцијално богат извор хлорофила и функционалну намирницу.

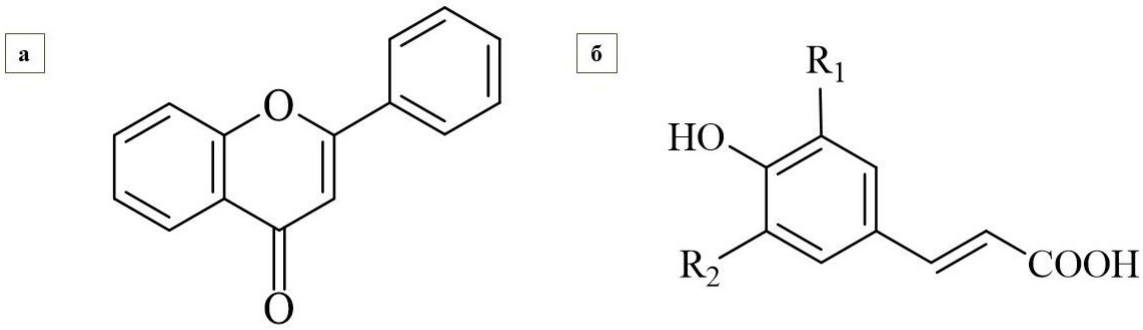
Другу широко распрострањену групу биљних пигмената представљају каротеноиди који се синтетишу у пластидима биљних ћелија, где учествују у процесима фотосинтезе, фотопротекције и привлачења полинатора (Jeevanandam et al., 2017; Torres-Montilla & Rodriguez-Concepcion, 2021; Yahya et al., 2021). Ови липофилни молекули представљају једињења из групе тетратерпеноида, чија се структура заснива на ланцу од 40 атома угљеника (C_{40}). Ланац је најчешће циклизован, при чему се на његовим крајевима формирају карактеристични јононски прстенови, који утичу на боју и биолошку активност ових пигмената (**Слика 7в**). Каротеноиди апсорбују светлост у љубичастом и зеленом делу спектра, у опсегу од приближно 400 до 550 nm, што надземним и подземним органима даје карактеристичне жуте, наранџасте или црвене нијансе (Yahya et al., 2021). Ова способност апсорпције потиче од њиховог полиенског ланца са присутним коњугованим двоструким везама, у коме се смењују двоструке и једноструке везе, омогућавајући пренос енергије унутар молекула. Категоришу се у две основне групе: каротене и ксантофиле (Maoka, 2020). У прву групу спадају *α*-каротен, *β*-каротен и ликопен, који су чисти угљоводоници и не садрже кисеоник у својој структури. Другу групу чине лутеин, зеаксантин и *β*-криптоксантин, који представљају оксигенисане деривате каротена и у својој структури садрже атоме кисеоника у облику хидроксилних (-OH) и фураноксидних (-O-) група. Каротеноиди имају значајну физиолошку улогу, јер представљају прекурсоре важних фитохормона као што су апсцисинска киселина (ABA) и стриголактони, који регулишу развој, раст и одговор биљке на стрес, док њиховом ензимском разградњом могу настајати испарљива једињења која доприносе ароми и укусу цветова и плодова (Torres-Montilla & Rodriguez-Concepcion, 2021). Због својих јединствених структурних и антиоксидативних својстава, каротеноиди нису значајни само за биљке, већ и за човека, као есенцијалне компоненте исхране и заштитни фактори у превенцији бројних обољења. У људском организму они испољавају широк спектар биолошких активности – *β*-каротен служи као прекурсор витамина А, неопходног за правилно функционисање вида, имуног система и епителних ткива, док лутеин и зеаксантин представљају кључне пигменте макуле мрежњаче, где штите очи од фотохемијских оштећења и оксидативног стреса (Kolašinac et al., 2021). Осим тога, каротеноиди делују као снажни антиоксиданси који неутралишу слободне радикале, посебно реактивне врсте кисеоника (ROS), чиме штите ћелије и ткива од оксидативних оштећења (Rivera-Madrid et al., 2020). Захваљујући тој способности, ови пигменти имају важну заштитну улогу у превенцији дегенеративних и хроничних обољења, укључујући болести коже, кардиоваскуларног система, катаракту, старосну дегенерацију макуле, као и неуродегенеративна обољења попут Алцхајмерове болести и остеопорозе. Такође, каротеноиди се све чешће истичу као значајни фактори у заштити ћелија од процеса који доводе до малигних обољења. Њихово дејство заснива се на очувању структурног и функционалног интегритета ћелија, као и на модулацији сигналних путева који регулишу раст, диференцијацију и апоптозу (Baeza-Morales et al., 2024; Rivera-Madrid et al., 2020). Дакле, повећан унос каротеноида кроз исхрану може бити повезан са смањеним ризиком од појаве неких типова карцинома, попут рака дојке, простате и плућа, што потврђује њихову вишеструку биолошку и превентивну вредност. Садржај и профил каротеноида у биљкама не представљају константну вредност, већ су резултат сложене интеракције генетичких особина, спољашњих услова и примењених агротехничких мера (Jang et al., 2022; Krumbein et al., 2006; Pérez-López et al., 2007). Различити фактори као што су интензитет светлости, температура, исхрана биљака, водни режим и примена

биостимулатора или ђубрива могу значајно утицати на синтезу, акумулацију и стабилност каротеноида у ткивима (Dumas et al., 2003; Gorni et al., 2025; Tripodi et al., 2025). Правилним избором и управљањем овим мерама могуће је оптимизовати садржај ових једињења, што доприноси побољшању њиховог нутритивног и функционалног квалитета.

2.2.3. Фенолна једињења

Фенолна једињења представљају једну од најчешће испитиваних група секундарних метаболита у роду *Diplotaxis*, при чему је неколико студија показало висок укупни садржај фенолних једињења повезаних са антиоксидативним деловањем (Falleh et al., 2013; Kilibarda & Kostić, 2023; Ressurreição et al., 2024; Ressurreição et al., 2025; Romano et al., 2022). Подаци из литературе указују да се профил и количински однос ових једињења мењају у зависности од органа, фенофазе фазе и агроеколошких услова и агротехничких мера, што одражава њихову улогу у фотопротекцији, одбрани од биотичког и абиотичког стеса (Pandey & Rizvi, 2009; Xu & Wang, 2025). Детаљан профил ове групе секундарних метаболита још увек није у потпуности истражен, нарочито када је реч о разликама између генотипова, условима производње у заштићеном простору и под утицајем различитих врста ђубрива. Оно што ова једињења чини посебно значајним јесте чињеница да њихова биолошка активност непосредно произилази из саме хемијске структуре. Фенолна једињења су органске супстанце које карактерише ароматични прстен са једном или више хидроксилних група (-OH), а на основу структурних разлика и степена полимеризације сврставају се у више класа (Ayad & Akkal, 2019; Xu & Wang, 2025). Најзначајније међу њима су флавоноиди, фенолне киселине, танини, стилбени и лигнани, који заједно чине најобимнију и биолошки најактивнију групу биљних секундарних метаболита. Антиоксидативна активност фенолних једињења уско је повезана са коњугованом структуром ароматичног прстена, која им омогућава да ефикасно делују као донори водоника и спрече оксидативна оштећења ћелијских компоненти (Xu & Wang, 2025). Већина фенолних једињења је умерено растворљива у води и локализована у вакуоли, док се нека структурна једињења, попут лигнина и суберина, уграђују у ћелијски зид и доприносе његовој механичкој чврстини и отпорности (Hutzler et al., 1998; Wallace & Fry, 1994). На нивоу органа, садржај фенолних једињења се региструје и у надземним и подземним деловима (Xu & Wang, 2025).

Флавоноиди су најчешће заступљена класа фенолних једињења у биљном свету (Tao et al., 2024). Карактерише их структура заснована на дифенилпропаноидном (C6–C3–C6) скелету, у чијој структури се налазе два ароматична прстена повезана хетероцикличним прстеном који садржи кисеоник (**Слика 8а**) (Rahman et al., 2022; Terahara, 2015).



Слика 8. Опште хемијске структуре фенолних једињења: **а)** флавоноидни скелет и **б)** хидроксициметне киселине (Структуре израђене у програму ChemDraw Professional (De Araújo et al., 2014; Ke et al., 2015))

Улога ових метаболита у биљци је вишеструка, јер учествују у процесима раста и развоја, јачању одбрамбених механизама и стварању пигментације цветова која доприноси привлачењу опрашивача (Panche et al., 2016). На основу структурних разлика у централном хетероцикличном прстену, као и степена његове оксидације и засићености сврставају се у више подгрупа међу којима су флавони, флавоноли, изофлавони, антоцијанидини, катехини (флаван-3-оли) и флаванони. Флавоноиди су нарочито заступљени у листастом површу, при чему се посебно истичу врсте из фамилије Brassicaceae, познате по високом садржају ових једињења и израженој антиоксидативној активности (Zheng et al., 2025). Баш овај механизам, који подразумева неутрализацију слободних радикала, хелирање металних јона и модулацију ензимских путева укључених у антиоксидативну заштиту, доприноси бројним повољним биолошким ефектима код човека оствареним кроз конзумацију намирница богатих флавоноидима (Jomova et al., 2025). Сходно томе, истраживања су показала да је њихов редован унос исхраном повезан са смањеним ризиком од кардиоваскуларних обољења, при чему њихово антиоксидативно дејство доприноси смањењу учесталости и смртности од коронарне болести срца, као и заштити организма од штетних последица изложености загађеном ваздуху (Zheng et al., 2025). Истиче се и повољно дејство на нервни систем, односно у регулацији гена одговорних за ћелијску заштиту и преживљавање неурона, што може успорити или спречити развој неуродегенеративних обољења и очувати когнитивне функције (Vauzour et al., 2008). Епидемиолошке, експерименталне, *in vitro* и *in vivo* студије допринеле су разумевању бројних биолошких механизама кроз које флавоноиди испољавају противупално, имуно-модулаторно и антиканцерогено дејство, укључујући модулацију активности ензима који неутралишу реактивне врсте кисеоника, инхибицију ћелијске пролиферације, као и индукцију апоптозе и аутофагије туморских ћелија (Kopustinskiene et al., 2020). Након општег прегледа улоге и биолошких ефеката флавоноида, посебно је значајно истаћи и флаваноне. Иако они представљају значајну подгрупу флавоноида у бројним биљним врстама, према досадашњим прегледима литературе и доступним

фитохемијским истраживањима рода *Diplotaxis*, ређе је помињани, при чему су нарингерин детектован у цветним екстрактима врсте *D. simplex* (Hussein et al., 2017). У већини истражених листова врста овог рода, међутим, доминантне класе су флавони и флавоноли, као што су кампферол, кверцетин, изорамнетин, лутеолин и апигенин (Ressurreição et al., 2024). Флаванони су препознати по широком спектру биолошких активности које обухватају антивирусно, антимикробно и противупално деловање, као и повољан утицај на јачање капиларних зидова, инхибицију агрегације тромбоцита, те потенцијално антиалергијско дејство (Tomás-Navarro et al., 2014).

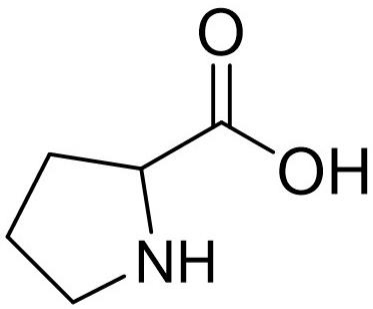
Поред флавоноида, хидроксициметне киселине (HCAs) представљају једну од најзаступљенијих група фенолних једињења у *D. tenuifolia* познатих по свом антиоксидативном, имуностимулативном, антивирусном и противупалном дејству (Ivanova et al., 2020). Овај назив обједињује више класа једињења као што су кафеинска, кафтарна, хлорогена, циметна, кумаринска и ферулинска киселина (Martinez et al., 2017). Хидроксициметне киселине се одликују присуством једне или више хидроксилних група на ароматичном прстену и карбоксилне групе у бочном ланцу, што им омогућава високу реактивност и антиоксидативни потенцијал (**Слика 8б**) (Sova & Saso, 2020). Поред израженог антиоксидативног и противупалног дејства, бројна истраживања указују да хидроксициметне киселине могу испољавати и антихипертензивни ефекат, као и антипролиферативно дејство, односно инхибицију раста и одрживости ћелија рака дојке, простате и дебелог црева (Gao et al., 2006; Sova & Saso, 2020; Spilioti et al., 2014). Осим тога, показано је да поседују хемопротективно и хепатопротективно деловање, што додатно потврђује њихов значај у превенцији оштећења ткива и развоју хроничних обољења (Baeza et al., 2016; Zhao et al., 2018).

У надземним деловима дивље руколе потврђен је висок садржај фенолних једињења, међу којима се, поред флавоноида, издвајају и танини (Shomali et al., 2018). Акумулација ових једињења условљена је агротехничким поступцима, начином гајења и еколошким условима, при чему се повећана синтеза танина често доводи у везу са одговором биљке на стрес, као делом њеног механизма адаптације и заштите од неповољних спољашњих фактора (Iqbal & Poór, 2025). Precupeanu et al. (2025) у свом истраживању на дивљој руколи су показали да интеракција агротехничких мере као што су ђубрење и малчирање значајно утичу на варијације у садржају танина у односу на контролу, при чему је под утицајем стресних услова забележено повећање акумулације ових једињења. Међутим, утицај бербе, односно жетве листова, која представља саставни део производног циклуса дивље руколе, још увек није у потпуности разјашњен као потенцијални стресни фактор који може утицати на синтезу и акумулацију танина. Под претпоставком да се синтеза ове групе фенолних једињења интензивира током каснијих берби, приноси добијени у завршним фазама производног циклуса могу представљати значајан извор здравствено корисних супстанци. Наиме, танини се често сврставају у нутритивно мање пожељне компоненте, јер имају способност да везују протеине, скроб и дигестивне ензиме, чиме смањују њихову биорасположивост и укупну хранљиву вредност намирница, али истовремено доприносе карактеристичној горчини и опорости укуса појединих биљних производа. (Chung et al., 1998). Међутим, новија истраживања указују да танини, упркос свом потенцијално неповољном ефекту, поседују значајна биолошка својства. Познати по свом антиоксидативном, противупалном и кардиопротективном дејству, они се доводе у везу са смањеним ризиком од хроничних

обољења, као што су кардиоваскуларне болести, канцер и дијабетес (Cosme et al., 2025; Ozogul et al., 2025; Sharma et al., 2021).

2.2.4. Пролин

Фитохемијски састав биљака представља својеврсни отисак агроеколошких услова, примењених агротехничких мера и стресних фактора којима је биљка била изложена током вегетације. Промене у биосинтези и акумулацији појединих метаболита често одражавају адаптивне одговоре на спољашње утицаје, па тако и присуство или повећана концентрација одређених једињења може указивати на механизме отпорности и прилагођавања. Међу њима се посебно издваја пролин, *α*-аминокиселина које се сматра неопходном за правилан раст и развој биљака (**Слика 9**) (Dutta et al., 2018). Физиолошка улога пролина је вишеструка, јер учествује у регулацији осмотског притиска, стабилизацији ћелијских структура и обезбеђује заштитно дејство од бројних биотичких и абиотичких стресова, укључујући заслањеност, сушу, екстремне температуре, недостатак воде и хранљивих материја, присуство токсичних елемената, UV зрачење и напад патогена (Dutta et al., 2018; Krasavina et al., 2014; Renzetti et al., 2024).



Слика 9. Хемијска структура пролина (структура графички израђена у програму ChemDraw Professional према подацима Wikipedia базе)

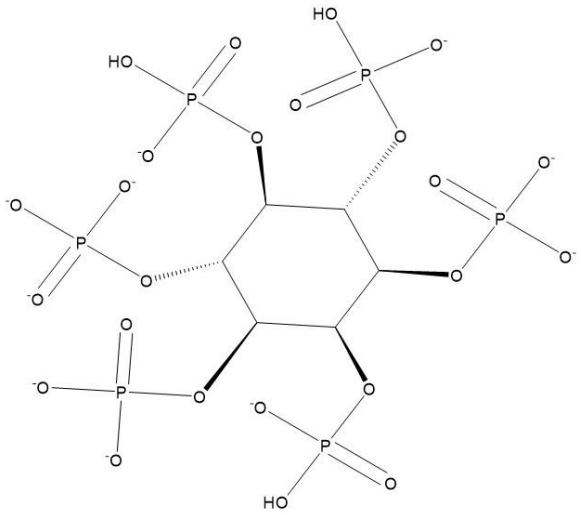
Ово једињење је испитивано у бројним представницима фамилије Brassicaceae, укључујући дивљу руколу и њене блиске сроднике, где је препознато као поуздан биохемијски показатељ реакције биљке. Његова акумулација у ткивима листа и корена најчешће је уочена током излагања осмотском, оксидативном или нутритивном стресу, што потврђује његову адаптивну улогу у одржавању ћелијске стабилности. У врсти *D. muralis* пролин, уз глутаминску и аспарагинску киселину, представља једну од доминантних аминокиселина у листовима, што указује на његову потенцијалну улогу у регулацији метаболичких процеса и адаптацији биљке на услове средине (Ressurreição et al., 2025). Упоредна анализа врста *E. sativa* и *D. tenuifolia* показала је супротне реакције на биофортификацију селеном, при чему је код *E. sativa* забележено смањење садржаја пролина, док је код *D. tenuifolia* његова концентрација вишеструко повећана, што указује на различите метаболичке механизме у одговору на оксидативни и осмотски стрес (Dall'Acqua et al., 2019). Поред тога, у истраживању Bell et al. (2017) утврђено је да врсте *E. sativa* и *D. tenuifolia* показују различите метаболичке обрасце током постжетвених процеса. Култивисана рукола

имала је више концентрације пролина, што указује на активирање стресног одговора током бербе и складиштења, док је код дивље (сорта Torino) пролин био мање заступљен, али су забележене више вредности валина, треонина, аспарагина, фенилаланина и аспарагинске киселине, односно другачији физиолошки приступ адаптације унутар рода *Diplotaxis*. Анализирањем пешчане вегетације приобалног подручја у Турској, аутори Taç и Özcan (2019) издвојили су *D. tenuifolia* као једну од врста са највишим садржајем пролина у семену и надземним деловима, што указује на изразиту прилагодљивост ове врсте на услове осмотског стреса карактеристичне за песковита станишта.

Ови подаци из литературе недвосмислено указују да пролин има централну улогу у одговору биљака на различите облике стреса, делујући као осмотски регулатор, антиоксиданс и стабилизатор ћелијских структура. Међутим, већина до сада објављених истраживања заснована је на анализама спонтаних или једнократно гајених популација, без разматрања утицаја агротехничких фактора и сукцесивних берби. У том контексту, потребна су детаљнија истраживања која би расветлила улогу и садржај пролина као потенцијалног индикатора физиолошког стреса код различитих комерцијалних генотипова дивље руколе кроз узастопне жетве, како би се утврдили механизми физиолошке адаптације и могући индикатори стреса изазваног понављаном регенерацијом лисне масе.

2.2.5. Фитати

Фитати представљају естарске деривате фитинске киселине (*myo-inositol hexakisphosphate*, IP_6), који у биљкама чине примарни облик резервног фосфора (**Слика 10**) (Emanuelli et al., 2014).



Слика 10. Хемијска структура фитата (графички приказ израђен у програму ChemDraw Professional према Gemede (2014))

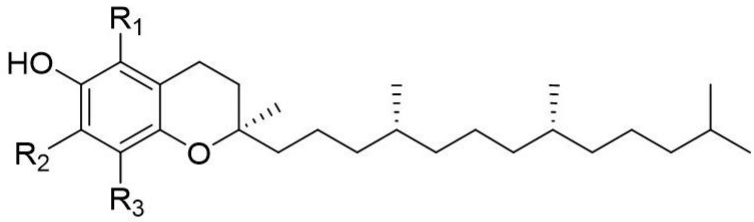
Поред тога, фитати поседују способност да формирају хелатне комплексе са металним јонима као што су калцијум, магнезијум, цинк и гвожђе, стварајући слабо растворљива једињења која се теже апсорбују у дигестивном систему (Liener, 2003). Управо ова особина

условљава њихов антинутритивни ефекат, јер доводи до смањене апсорпције у цревима животиња и људи, што може резултирати дефицитом есенцијалних минерала (MacEvilly, 2003). Иако се фитати често описују као непожељни конституенти хране, студије указују да они испољавају и заштитно дејство, спречавајући формирање реактивних врста кисеоника и оксидативна оштећења ткива (Pires et al., 2023). На тај начин, препознати су као биоактивна једињења са потенцијалом у превенцији инфламаторних и дегенеративних обољења. Клиничка и експериментална истраживања показала су да унос фитата може смањити ризик и ублажити последице различитих облика карцинома, укључујући леукемију, карцином дебелог црева, дојке, гркљана, грлића материце, простате, јетре, панкреаса, меланома и тумора скелетних мишића (Irshad et al., 2017; Pires et al., 2023). Поред тога, фитати могу смањити нежељене ефекте хемотерапије и побољшати квалитет живота пацијената, као и утицати на регулацију метаболизма минерала, гликацијских промена код различитих физиолошких стања.

Фитинска киселина је идентификована код бројних представника фамилије Brassicaceae, где се њен садржај разликује у зависности од врсте и дела биљке (Clemente-Villalba et al., 2020). Међутим, у врсти *D. erucoides*, као и у производима добијеним на њеној основи, фитинска киселина није детектована, што указује на специфичан метаболички профил рода *Diplotaxis*. Насупрот томе, код сродних врста попут сенфа и васабија забележен је изузетно висок садржај овог једињења, што потврђује изражене међуврсне разлике у акумулацији фитата у оквиру фамилије Brassicaceae. Упркос томе, подаци о присуству и концентрацији соли фитинске киселине у листовима дивље руколе нису довољно заступљени у литератури нити су детаљно истражени.

2.2.6. Токоферол

Токофероли представљају групу липофилних једињења из класе витамина Е, која имају кључну улогу у заштити ћелијских мембрана од оксидативног оштећења (Muñoz & Munné-Bosch, 2019). Структурно су деривати хроманског прстена са изопреноидним бочним ланцем, а у биљкама се најчешће јављају у облику *α*-, *β*-, *γ*- и *δ*-токоферола, који се разликују у броју и положају метиленских група на ароматичном прстену (**Слика 11**) (Atkinson et al., 2008; Niu et al., 2022; Szewczyk et al., 2021).



α-Токоферол	R1=R2=R3=CH3
β-Токоферол	R1=R3=CH3, R2=H
γ-Токоферол	R2=R3=CH3, R1=H
δ-Токоферол	R1=R2=H, R3=CH3

Слика 11. Општа хемијска структура токоферола и структурне разлике између α-, β-, γ- и δ-токоферола (графички приказ израђен у програму ChemDraw Professional према Li et al. (2011))

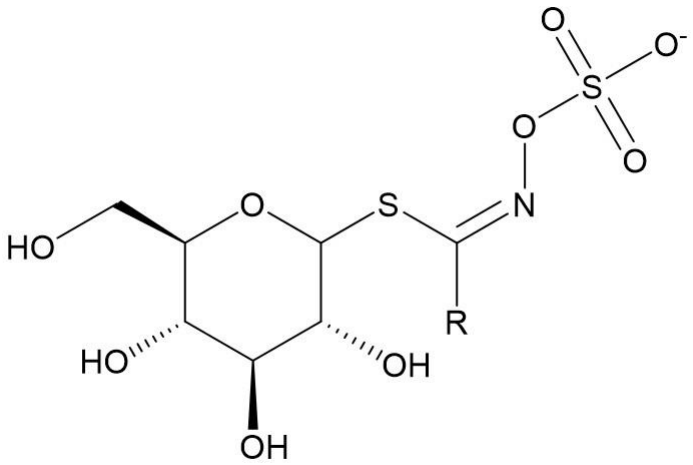
Количина синтетисаног токоферола зависи од интензитета стреса у току вегетације, а његов механизам деловања заснива се на инхибицији пероксидације липида и неутрализацији синглет-кисеоничних молекула и липидних пероксил-радикала (Faizan et al., 2023; Kukri et al., 2025). Поред заштитне улоге у биљкама, имају и изузетан нутритивни и физиолошки значај у људској исхрани. Сви изомери витамина Е испољавају снажно антиоксидативно дејство, које се заснива на способности да стабилизују реактивне радикале настале у ћелијским мембранама (Szewczyk et al., 2021). На овај начин токофероли спречавају оштећење липида, протеина и нуклеинских киселина, чиме одржавају интегритет ћелијских структура и функцију биолошких мембрана. Осим антиоксидативног ефекта, експерименталне и клиничке студије указују да токофероли могу испољити и антипролиферативно, проапоптотичко, антиангиогено и противупално дејство, као и утицати на сигналне путеве и експресију гена укључених у имунолошке и инфламаторне процесе (Das Gupta & Suh, 2016; Es-Sai et al., 2025; Falsetti et al., 2025; Szewczyk et al., 2021).

Токофероли су распрострањени у врстама фамилије Brassicaceae, где представљају значајну групу неензимских антиоксиданаса који учествују у заштити липидних компонената хлоропласта од фотооксидације (Fritsche et al., 2014, 2017; Goffman et al., 1999; Kurilich et al., 1999; Munné-Bosch & Alegre, 2002). У истраживању Clemente-Villalba et al. (2024) анализиран је садржај витамина Е у различитим вегетативним и генеративним органима *D. erucoides*, при чему су сви изомери токоферола (*α, β* и *γ*) били заступљени у различитим концентрацијама. Највиши садржај *α*-токоферола утврђен је у листовима, док су љуске и стабљике садржале знатно мање количине. Укупни садржај токоферола био је највећи у листовима, што указује на то да је лист доминантни орган акумулације овог липофилног антиоксиданса. Khoramizadeh et al. (2024) су спровели истраживање утицаја интензитета светлости на синтезу токоферола у листовима дивље руколе. Резултати су показали да повећан интензитет осветљења стимулише биосинтезу *α*-токоферола, што представља адаптивни фотопротективни механизам биљке у условима повећаног оксидативног стреса. Према добијеним подацима, 100 g свежих листова дивље руколе гајене при 600 μmol/(m^2s) може обезбедити готово половину препорученог дневног уноса витамина Е, што потврђује њен висок нутритивни и функционални потенцијал. На основу ових резултата, оставља се простор

за даља истраживања усмерена на проучавање динамике и сезонских варијација токоферола у конзумним деловима ове лиснате врсте, као и на утицај агроеколошких услова и примењених агротехничких мера током више узастопних откоса у току године. Посебно је значајно утврдити повезаност између садржаја токоферола и интензитета физиолошког стреса, као и потенцијални однос са другим антиоксидативним системима (пигменти, фенолна једињења, пролин, фитати). Такви подаци би допринели бољем разумевању механизама адаптације *D. tenuifolia* и омогућили процену њеног функционалног и нутритивног потенцијала у различитим условима гајења.

2.2.7. Глукозинолати

Одређене групе секундарних метаболита карактеристичне су искључиво за поједине биљне породице, где доприносе њиховој еколошкој специфичности и функционалној разноврсности. Такав пример представљају глукозинолати, једињења која се искључиво синтетишу у врстама реда Brassicales, а у представницима фамилија Brassicaceae, Capparaceae и Caricaceae (Abdel-Massih et al., 2023; Lazzeri et al., 2013). Представљају мале молекуле, деривате амино киселина са специфичном структуром коју карактерише тиохидроксимат-*O*-сулфонатна група повезана са глукозом, док је на другој страни молекула везан бочни ланац који може бити алкилног, арилног или индолног типа (**Слика 12**) (Glenn et al., 2013; Prieto et al., 2019).



Слика 12. Општа хемијска структура глукозината (графички приказ израђен у програму ChemDraw Professional према подацима Wikipedia базе)

Према структури бочног ланца који потиче од одређених аминокиселина, глукозинолати се деле у три главне групе: (I) алифатичне, које настају из метионина, аланина, леуцина, изолеуцина и валина; (II) индолне, које потичу од триптофана; и (III) ароматичне, које се синтетишу из фенилаланина и тирозина (Baldelli et al., 2025). Ова класификација уједно одражава и биосинтетичку разноврсност једињења унутар ове групе, што утиче на њихова биолошка својства и улогу у метаболизму биљке. У оквиру биљне ћелије ова једињења су локализована у вакуолама, док се у специјализованим мирозин ћелијама (идиобласти) налази ензим мирозиназа (*β*-тиоглукозидаза) (McCully et al., 2008). Након

оштећења биљног ткива (сечењем, жвакањем или кидањем), долази до нарушавања ћелијских структура, при чему се ензим мирозиназа ослобађа и ступа у контакт са глукозинолатима (Barba et al., 2014) . Ова реакција покреће њихову ензимску хидролизу и доводи до стварања различитих биолошки активних метаболита. Тип и количина насталих производа условљени су природом бочног ланца у молекулу глукозинолата и физичко-хемијским карактеристикама реакционе средине, укључујући pH вредност, присуство јона гвожђа (Fe^{2+}) и присуство или одсуство протеинских фактора као што су епитиоспецифични протеини (Prieto et al., 2019). Сходно томе, у процесу могу настати различити продукти разградње, међу којима су најчешћи изотиоцијанати, тиоцијанати, нитрили, епитионитрили и оксазолидин-тиони.

Синтеза глукозинолата у биљкама представља физиолошки одговор и природну стратегију прилагођавања спољашњим условима. Пружају заштиту и значајно доприносе отпорности биљке на утицај бројних биотичких негативних утицаја (Abdel-Massih et al., 2023). Најчешће делују као хемијска баријера против инсеката, гљивичних и бактеријских патогена, као и нематода, при чему производи њихове ензимске разградње испољавају токсично или репелентно дејство (Abuyusuf et al., 2023; Chowdhury, 2022). Стрес услед салинитета, недостатак или сувишак воде, високе температуре, изложеност токсичним елементима и штетно UV зрачење представљају неке од абиотичких окидача за синтезу и акумулацију ових једињења.

Поред тога, све више података указује на њихову улогу у регулацији физиолошких процеса, као што су раст, одговор на хормоне и оксидативни стрес, чиме глукозинолати учествују у финој контроли метаболичких и адаптивних механизама биљке. Поред поменутог, глукозинолатни састав и заступљеност у биљним органима је условљен генетичком структуром (Variyar et al., 2014). Такође, просторна дистрибуција и концентрација ових секундарних метаболита показују изражене варијације између појединих биљних органа и ткива јединке (Nguyen et al., 2020).

Посебна љутина, односно карактеристична арома и мирис биљака из фамилије Brassicaceae приписује се глукозинолатима, при чему је њен интензитет у директној вези са количином ових једињења у конзумном делу биљке (Wieczorek et al., 2018). Prieto et al. (2019) наводе да укус дефинишу пре свега изотиоцијанати, глукобрасицин и неоглукобрасицин, док остали продути хидролизе не доприносе сензорним карактеристикама укуса. Иако су глукозинолати и њихови продукти хидролизе одговорни за специфичан укус и арому купусњача, њихов значај далеко превазилази сензорни аспект. Иако ова једињења одређују специфичану арому, њихова улога је много шира и обухвата бројне физиолошке ефекте у организму човека. Редовно конзумирање поврћа богатог глукозинолатима има значајну улогу у смањењу ризика од кардиоваскуларних и малигних обољења (Traka, 2016). Повезаност је уочена кроз нижу учесталост инфаркта миокарда, различитих типова карцинома, (укључујући рак плућа, желуцаа, колоректалног тракта, дојке, бешике и простате) као и успорења прогресије већ иницираних туморских процеса. Антиканцерогени ефекат је потврђен резултатима епидемиолошких истраживања, где van Poppel et al. (1999) истичу да су кохортне студије показале обрнуту повезаност између конзумирања поврћа из рода *Brassica* и ризика од карцинома плућа, желуца и укупног ризика од рака, док је 64% студија типа случај–контрола забележило сличан тренд за различите малигнитете. Ефекти појединачних глукозинолата су такође широко истраживани. Синигрин испољава своје дејство кроз утицај на кључне сигналне путеве чиме се смањује продукција проинфламаторних цитокина што се одражава на снажна противупална, антиоксидативна и

антимикробна својства (Du et al., 2025). Изотиоцијанати, привукли су значајну пажњу као потенцијални агенси од интереса за фармацеутску и прехрамбену индустрију захваљујући својој изразитој хемијској реактивности. Овим једињењима се приписују антиканцерогена, противупална и неуропротективна својства, док бројни епидемиолошки и експериментални докази указују да умањују оксидативни стрес и делују као индиректни антиоксиданси и антимикробна средства.

Садржај укупних глукозинолата у листовима дивље руколе пре свега зависи од еколошких услова и примењених агротехничких мера, укључујући и сукцесивне бербе, па самим тим и њихова количина варира од неколико до око 140 mg на 100 g FW , док просечна вредност износи приближно 31 mg/100 g (Bell et al., 2020; Possenti et al., 2016). Di Gioia et al. (2018) су истраживањем показали да систем гајења и генотип ове лиснате врсте утичу на концентрацију глукозинолата, при чему је тип синтетисаних једињења одређен искључиво генетичким фактором. У студији Pasini et al. (2012) која је обухватила пет генотипова *D. tenuifolia*, утврђене су значајне варијације у квантитативном саставу глукозинолата, док је квалитативни профил остао константан међу генотиповима. Најзаступљенија једињења била су глукорафанин, глукоеруцин и DMB-глукозинолат (димери глукосативина). Укупни садржај глукозинолата кретао се у распону од 1,16 до 3,03 g/kg (изражено на сувој маси) што потврђује да је генетички фактор кључан у детерминацији концентрације појединачних и укупних глукозинолата у листовима дивље руколе. У литератури се такође наводи утицај агрономских фактора, као што су ђубрење и други агротехнички поступци, на укупни и појединачни садржај глукозинолата биљака из рода *Brassica* (Björkman et al., 2011; Vale et al., 2015). Тако је студија Kim et al. (2002) показала је да фертилизација различитим дозама азота и сумпора значајно утиче на акумулацију глукозинолата, при чему је код репе (*Brassica rapa* L.) утврђено да повећање количине сумпора при константном нивоу азота (10 mM) доводи до линеарног раста укупног садржаја глукозинолата током свих берби. Фолијарна прихрана сумпором, бором и аминокиселинама довела је до повећања концентрације глукозинолата у семену озиме уљане репице, што указује да примена ових елемената и биостимулативних супстанци може подстаћи синтезу секундарних метаболита, нарочито у условима стреса (Gugała et al., 2020). Упркос наведеним резултатима, утицај ђубрења, а посебно фолијарне прихране, још увек није довољно истражен у контексту *D. tenuifolia* и њених генотипова, као ни потенцијална интеракција између генетичких фактора и примене различитих типова ђубрива. Ово истраживачко поље је од посебног значаја са аспекта биофортификације, будући да се усмереним агротехничким приступом може унапредити фитохемијски састав конзумних листова ове врсте, нарочито у погледу глукозинолата познатих по изузетним здравственим бенефитима.

2.2.8. Еручна киселина

Иако се еручна киселина не сврстава у класична биоактивна једињења, у последњих неколико година све више се истиче њен потенцијални утицај на људско здравље. Реч је о мононезасићеној дуголанчаној масној киселини ((*Z*)-докозо-13-еноинска киселина, C22:1, ω-9) високо заступљеној превасходно у уљу слачице и уљане репице (Galanty et al., 2023; Shekhawat et al., 2021). Ово једињење је широко распрострањено међу биљкама из фамилије Brassicaceae, а сам назив потиче од рода *Eruca*, у који спада култивисана рукола. Акумулација је локализована у семенима ових врста, али у ниским количинима је регистрована и у

надземним деловима повртарских врста као што су листови кеља и цвасти броколија (Knutsen et al., 2016). Историјски посматрано, еручна киселина је била повезивана са потенцијалним кардиотоксичним ефектима и акулмулацијом липида у срчаном мишићу при високим концентрацијама у исхрани, што је довело до селекције сорти са ниским садржајем (тзв. *canola* типови) (Krogdahl et al., 2022). Иако су каснија истраживања оповргла ове наводе, утврђене су безбедносне норме за унос еручне киселине (Food standards Australia, New Zealand, 2003). Савремена истраживања додатно проширују сазнања о овој масној киселини, указујући на њен потенцијал у области здравствене добробити и фармацеутске примене. У *in vitro* условима сузбијање бактерија рода *Borrelia* (*B. burgdorferi* и *B. garinii*) утврдило је антибактеријски ефекат, док су *in vivo* студије додатно указале на њену антивирусну активност на пет сојева вируса грипа типа А (Galanty et al., 2023). Farag и Gad (2022) наглашавају антиинфламаторни, неуропротективни и антитуморски потенцијал еручне киселине, као и позитивно и заштитно дејство на мијелин, те се доводи у везу са превенцијом и терапијским потенцијалом код Паркинсонове болести, глиобластома и неуробластома.

Иако бројна истраживања указују на присуство и физиолошки значај еручне киселине у семену представника фамилије Brassicaceae, пре свега у уљу уљане репице и семену култивисане руколе, подаци који се односе на садржај ове масне киселине у листовима дивље руколе су веома оскудни или потпуно изостају. Овај недостатак информација представља значајан истраживачки простор, посебно ако се има у виду да је лист конзумни део биљке, а тиме и директно релевантан за процену њене нутритивне и функционалне вредности.

2.3. Фолијарна прихрана

2.3.1. Концепт фолијарне прихране

Фолијарна прихрана представља агротехничку меру којом се хранљиве материје уносе у биљку преко листова, распршивањем течних ђубрива по њиховој површини (Shahena et al., 2021). На овај начин, нутријенти се брзо усвајају преко епидермиса и стомалних отвора, што чини њихово ефикасно укључивање у метаболичке процесе. У условима абиотичког стреса (нпр. мраз, суша и високе температуре,), коренов систем има смањену активност и апсорпцију нутријената из земљишта, те овај начин исхране показује високу делотворност и брзу надокнаду лимитираних елемената (Ishfaq et al., 2022). Наведени поступак прихране, поред улоге у ублажавању негативних ефеката биотичког и абиотичког стреса који се могу одразити на раст, развиће, квалитет и принос биљака, подразумева примену раствора који садрже различита нутритивна и биоактивна једињења, као што су шећери, регулатори и стимулатори раста, хормони, аминокиселине и пептиди Alshaal и El-Ramady (2017). Ради обезбеђивања и корекције недостајућих макро и микроелемената користе се различити облици минералних ђубрива, најчешће у виду соли, оксида или хелатних облика. Ефикасност усвајања зависи од анатомије и структуре биљних листова, физичко-хемијских својстава елемента, pH хранљивог раствора, начина извођења распршивања и величине капљица, адјуваната као и температуре и влажности ваздуха током периода апсорпције (Fernández & Eichert, 2009). Према наводима Alshaal и El-Ramady (2017), брзина инкорпорације различитих елемената преко листа знатно варира. Код појединих нутријената, као што су азот, магнезијум, цинк, манган и калијум, усвајање се одвија у року од неколико сати, док је код фосфора и гвожђа процес знатно спорији и може трајати више од десет, па чак и до двадесет дана. Ови подаци указују на то да је динамика усвајања нутријената путем листа повезана са

њиховим хемијским обликом, растворљивошћу и мобилношћу у биљним ткивима, што је кључно за избор одговарајућег типа ђубрива и оптимизацију режима фолијарне примене. Извори биоактивних компонената у фолијарним растворима могу бити различитог порекла од органских материјала биљног и животињског порекла, микробних метаболита и природних екстраката алги (du Jardin, 2015).

Фолијарна исхрана се данас посматра као више од мере неге у пољопривредној производњи, односно као средство за корекцију дефицита елемената. Повезује се са стратегијама биофортификације и представља ефикасан инструмент унапређења нутритивне вредности пољопривредних производа (Ofori et al., 2022). Усвојене компоненте хранљивог раствора преко листова интегришу се у бројне физиолошке процесе, и подстичу акумулацију секундарних метаболита, чиме се стимулише биохемијска активност (Farruggia et al., 2024; Hilo et al., 2023; Kandoudi et al., 2023; Zhou et al., 2024). Такође, одређена ђубрива у одговарајућим количинама могу да утичу на снижавање нитрата, што је од посебног значаја за лиснато поврће склоно синтези и акумулацији истих (Alshaal & El-Ramady, 2017). Дакле, применом фолијарне прихране и стратегија биофортификације могуће је повећати садржај минерала, витамина и биоактивних једињења у конзумним деловима биљке, чиме се унапређује њихов састав и функционална вредност, као и потенцијални здравствени бенефити приликом конзумације. Резултат оваквог приступа су биљни производи побољшаног квалитета и повећане биолошке вредности, који се могу сврстати у категорију функционалне хране.

2.3.2. Еколошка одрживост и утицај на животну средину

Велики изазови за савремену пољопривредну производњу представљају очување еколошке равнотеже и смањење негативних утицаја на животну средину (Vijayakumar et al., 2025). Један од најзначајнијих проблема представља прекомерна и нерационална употреба синтетичких ђубрива преко земљишта, која доводи до његове деградације, загађења подземних и површинских вода и нарушавања биодиверзитета, али и до појаве бројних здравствених ризика код човека (Zhang et al., 2024). Таложење токсичних елемената у зони корена доводи до смањења плодности земљишта кроз смањену микробиолошку активност (Correia & Rasteiro, 2025). Вишак ђубрива из земљишта се испира и доспева у подземне и околне водене токове, чиме се узрокује загађење и неповратан дисбаланс водених екосистема (Fyi, 2023). Такође, у заштићеном простору традиционалне конструкције, без савремених IoT система и аутоматизованог управљања фертигацијом, примена класичног начина ђубрења може представљати изазов. Недовољна контрола концентрације хранљивих раствора, pH и електропроводљивости често доводи до неравномерне исхране биљака, акумулације соли у супстрату и осцилација у продуктивности, што укупно смањује ефикасност производње и одрживост система. Иако се заштићени простор често сматра еколошки прихватљивим системом производње, интензивна и поновљена примена синтетичких ђубрива у ограниченој запремини земљишта доводи до његове деградације кроз ацидификацију, салинизацију и акумулацију токсичних елемената (Tong et al., 2022). Неадекватна фертилизација у оваквим условима нарушава равнотежу хранљивих елемената, смањује плодност земљишта или супстрата и представља потенцијалну претњу по еколошку стабилност и безбедност производа.

У том контексту, фолијарна прихрана се издваја као еколошки прихватљивија и ефикаснија алтернатива класичним методама прихране. Применом хранљивих раствора директно на лисну површину обезбеђује се ефикасније усвајање елемената, уз знатно мање количине потребних нутријената и минималне губитке (de Castro & Schjoerring, 2024; Niu et al., 2021). Овакав начин прихране омогућава прецизнију контролу дозирања и бољу адаптацију биљака на промењљиве услове средине, као што су ограничена влажност земљишта, ниске температуре или смањена апсорпциона способност кореновог система. На тај начин се обезбеђује стабилна исхрана биљака уз минимално оптерећење екосистема.

Додатна предност фолијарне прихране огледа се у могућности интеграције са концептом „*Sustainable Biofortification*“, који има за циљ повећање нутритивне вредности биљних производа уз очување природних ресурса (Kannan, 2010). Рационална примена микроелемената, као што су гвожђе, цинк или јод, путем фолијарних раствора омогућава биоефикасно обогаћивање без ризика од прекомерне контаминације земљишта и воде. Овакав приступ у потпуности је у складу са принципима Европског зеленог договора (*European Green Deal*) и стратегије „Farm to Fork“, који промовишу прелазак ка климатски неутралној и ресурсно ефикасној пољопривреди (Batool et al., 2025; Buttinelli & Zhu, 2025). Важно је напоменути да применом исхране преко листа не само да доприноси смањењу еколошког отиска производње, већ и унапређује квантитет, квалитет и функционалност јестивих биљних делова, чиме се испуњавају савремени захтеви тржишта и потрошача за безбедном и здравствено пожељном храном.

2.3.4. Фолијарна прихрана и дивља рукола

С обзиром да је дивља рукола релативно нова биљна врста у интензивној пољопривредној производњи стратегије фолијарне прихране, поготово са циљем модулације хемијског састава листова нису развијене. Недавно истраживање Mollo et al. (2025) спроведено у условима заштићеног простора показало је да фолијарна примена екстраката различитих микроалги може значајно побољшати продуктивне параметре и хемијски састав ове повртарске културе при чему је уочено повећање биомасе, фотосинтетичке активности и акумулације антиоксидативних једињења. Резултати студије Schiavon et al. (2022) су показали да фолијарна прихрана селеном утиче на варијације у фитохемијском саставу листова *D.tenuifolia*. Такође, ђубрење преко листова са селеном и јодом, појединачно или у комбинацији, значајно је повећало садржај протеина, фенолних једињења, витамина С, антиоксидативну активност као и концентрацију више есенцијалних макро и микроелемената (Tallarita et al. 2025). Ови резултати потврђују биофортификациони потенцијал ове врсте и ефективност фолијарне примене као стратегије за производњу функционалне хране побољшаног састава. Међутим, испитивања утицаја минералних ђубрива на продуктивне карактеристике и хемијски састав дивље руколе, а посебно оних са доминантним садржајем елемената као што су гвожђе и калијум, који имају виталне физиолошке улоге у биљци, до сада нису систематски спровођена. С обзиром на то да ови елементи учествују у кључним процесима фотосинтезе, транспорта електрона, осмотске регулације и метаболизма угљених хидрата, њихов утицај на биохемијске и квалитативне показатеље ове врсте захтева детаљније проучавање. Посебан значај има праћење ефеката фолијарне прихране током сукцесивних берби и различитих сезонских услова, будући да динамика акумулације нутријената и биоактивних једињења у великој мери зависи од физиолошке старости лишћа

и фактора средине. Између осталог, подаци у литератури који се односе на примену биостимулатора на бази браон алги (нпр. *Ecklonia maxima*), који представљају комерцијално доступне препарате са потпуно неутралним ефектом на животну средину, и даље су оскудни. Истраживања усмерена на оцену њиховог утицаја на физиолошке процесе, фитохемијски састав и постжетвени квалитет *D. tenuifolia* могла би дати нове увиде у потенцијал ових природних препарата као одрживе алтернативе синтетичким ђубривима.

2.3.5. Фолијарна примена гвожђа (Fe)

Гвожђе је изузетно битан микронутријент одговоран за многе метаболичке процесе у биљном организму. Има есенцијалну улогу у очувању структуре и функције хлоропласта, јер учествује у процесима фотосинтетичке конверзије енергије, респирације и редукције азота, као и у биосинтези аминокиселина и бројних ензимских комплекса (Li et al., 2023; Rai et al., 2021; Rout & Sahoo, 2015). Захваљујући својој улози у преносу електрона и синтези хлорофила, овај елемент представља кључну карику у одржавању метаболичке равнотеже и енергетске стабилности биљке. Недостатак гвожђа доводи до хлорозе младих листова, смањења фотосинтетичке активности и слабије биосинтезе пигмената, што директно утиче на принос и квалитет јестивих листова (López-Millán et al., 2013). Овај елемент је широко распрострањен у природи, али је његова приступачност биљкама у великој мери условљена pH вредношћу земљишта и јонском облику где је на неутралним и алкалним земљиштима његово усвајање знатно отежано (Colombo et al., 2014). Поред тога, гвожђе у процесу апсорпције често конкурише другим прелазним металима као што су цинк, манган и бакар, што додатно умањује његову биорасположивост.

С обзиром на наведене ограничености у доступности овог елемента, фолијарна апликација ђубрива на бази гвожђа показала се као ефикасно решење за превазилажење ограничене растворљивости и фиксације овог елемента у земљишту, као и конкуренције са другим металима, јер омогућава брзу корекцију недостатка и обезбеђује његову директну доступност биљци (Fernández & Ebert, 2005). Усвајање гвожђа преко лисне површине зависи од врсте употребљеног препарата (Fe-сулфат, Fe-EDTA, Fe-DTPA или новији хелатни облик и наноформуле), pH раствора, као и структурних карактеристика кутикуле и присуства воска на површини листа. Истраживања спроведена на плодовима и листовима парадајза показала су да фолијарна примена Fe-хелата значајно унапређује принос и хемијски састав биљке (Rahman et al., 2023). Утврђено је повећање садржаја хлорофила у листовима, као и виших концентрација витамина C, *β*-каротена, укупних каротеноида, фенолних једињења и флавоноида у плодовима, што указује на побољшану фотосинтетичку активност и антиоксидативни капацитет биљака. Гвожђе делује као кофактор у активностима специфичних ESP протеина који учествују у разградњи глукозинолата, при чему усмерава ензимску реакцију ка формирању различитих производа хидролизе, као што су нитрили и епитионитрили (Kattel & Antonious, 2025). Стога се може поставити запажање да фолијарна прихрана утиче и на производе ензимске разградње глукозинолата.

С обзиром на изражен фотосинтетички и метаболички потенцијал, *D. tenuifolia* показује високу осетљивост на недостатак гвожђа, што се одражава на смањену продуктивност, промене у боји и визуелном квалитету листова. Фолијарна примена овог елемента може омогућити не само стабилизацију физиолошких процеса и повећање приноса, већ и побољшање фитохемијског профила, чиме листови добијају већу функционалну

вредност и бољи потенцијал пласмана као производ високе нутритивне и антиоксидативне вредности.

2.3.6. Фолијарна примена калијума (K)

Основни регулатор успешног раста и развића биљака поред азота и фосфора представља калијум (Johnson et al., 2022; Perelman et al., 2022; Rawat et al., 2022; Sardans & Peñuelas, 2021). Овај елемент не представља структурну компоненту органских једињења, већ је присутан у катјонском облику (K^+). Међутим, његова важност се огледа кроз учешће у многобројним физиолошким и биохемијским процесима. Одговоран је за раст ћелије, регулацију и транспорт воде, нутријената и метаболита, али учествује и у активацији преко 60 ензима. Највећи садржај овог есенцијалног макроелемента је у листовима где учествује у покретима стома односно у транспирацији и осморегулацији, као и у процесу фотосинтезе кроз синтезу пигмената, фиксацију CO_2, и регулацију ензимске активности. Поред поменутог, калијум је одговоран за смањење штетних утицаја биотичких и абиотичких фактора. Код лиснатих култура као што је дивља рукола, адекватан ниво калијума је од суштинског значаја за очување тургора, интензитет зелене боје, текстуру листова и садржај суве материје, што све заједно доприноси вишем визуелном и тржишном квалитету. Растворљиви калијум је у земљишту присутан у малом уделу (0,1-0,2%) јер већински улази у састав минерала и није доступан биљкама (Anil Kumar et al., 2024; Sardans & Peñuelas, 2021). Стога, употреба ђубрива која садрже овај елемент представља један од најчешће примењиваних приступа за побољшање раста и продуктивности биљака. Ефекат се не огледа само у побољшању морфолошких и продуктивних карактеристика гајених биљака, као што су број, површина и маса листова, већ и у унапређењу фитохемијских процеса, нарочито синтезе секундарних метаболита и антиоксидативног капацитета који доприносе квалитету и нутритивној вредности конзумног дела биљке (Gaaliche et al., 2019; Zhao et al., 2025). Упркос томе, усвајање калијума је лимитирано многим факторима као што су pH, влажност и температура земљишта или супстрата, количине кисеоника (Jan & Hussan, 2022). Такође, прекомерном и дугорочном фертилизацијом преко земљишта нарушава се јонска равнотежа и плодност земљишта, услед акумулације калијумових соли и антагонистичког дејства на усвајање калцијума и магнезијума, што може довести до секундарних нутритивних дефицита и деградације структуре земљишта (Hasanuzzaman et al., 2018; Pettigrew, 2008; Zörb et al., 2014). Фолијаном прихраном овим елементом смањује се негативн утицај хемијских ђубрива на одрживост земљишта и унапређење његовог укупног квалитета, али се ефикасно надомешћује његов недостатак у биљкама. Zörb et al. (2014) истичу да ђубрењем преко листова применом калијума представља економично и делотворно решење, јер омогућава задовољавање потреба биљке за овим елементом, побољшава ефекат заштите биљака и показује посебну предност у условима суше када је усвајање калијума путем корена отежано. Међу комерцијално доступним препаратима, посебно место заузимају ђубрива са високим уделом оксида калијума (K_2O), намењена побољшању транспорта асимилата и унапређењу визуелних и нутритивних карактеристика биљака.

Међутим, упркос великом броју истраживања која се баве утицајем различитих извора и начина апликације калијума на морфолошке и физиолошке параметре биљака, подаци о ефектима фолијарне прихране калијумом код лиснатих рукола рода *Diplotaxis* и *Eruca* остају ограничени. Већина радова фокусирана је на минералну исхрану преко земљишта или на

друге макроелементе, док су резултати који се односе на утицај фолијарног калијума на продуктивне карактеристике (број листова, лисна површина и тежина), фитохемијски састав, антиоксидативни потенцијал и сезонску динамику код дивље руколе и даље оскудни. Овај недостатак литературних података указује на потребу за даљим испитивањем и детаљним проценама ефеката фолијарне примене калијумових ђубрива у контексту одрживе производње и побољшања нутритивног квалитета листова *D. tenuifolia*.

2.3.7. Примена природног биостимулатора *Kelpak*

Биостимулатори или биофертилизатори представљају важан сегмент савремене агротехнике, јер доприносе бољем испољавању продуктивног потенцијала биљака, без прекомерне употребе минералних ђубрива и пестицида (Posmyk & Szafrańska, 2016). Према дефиницији Sible et al. (2021) под овим термином сврставају супстанце или микроорганизми који, када се примене на семе, биљку или ризосферу, подстичу природне физиолошке механизме ради побољшаног усвајања и искоришћења хранљивих елемената, повећане толеранције на абиотички стрес и унапређења квалитета и приноса усева. Према регулативи Европске уније, биостимулатори се функционално разликују од ђубрива, будући да њихово деловање није засновано на непосредном обезбеђивању хранљивих материја, већ на подстицању процеса исхране биљака, чиме се доприноси ефикаснијем коришћењу хранљивих материја и већој толерантности на абиотички стрес (Моравчевић, 2026). Развој биотехнологије и све веће усмеравање производње ка одрживим и еколошки прихватљивим решењима довели су до значајног пораста броја комерцијалних препарата доступних произвођачима, као и до шире примене ових производа у различитим пољопривредним системима. У биостимулаторе се убрајају екстракти алги, органске киселине, протеински хидролизати и аминокиселине, хитозан, као и препарати који садрже корисне микроорганизме попут бактерија и гљива (Sible et al., 2021). У раду аутора du Jardin (2015) предходно набројани препарати су категорисани у три основне групе: препарате који садрже хуминске супстанце; препарате који садрже фитохормоне; и препарате на бази аминокиселина. Последња група обухвата морске алге, органске суплементе, чији екстракти садрже и идентификоване количине физиолошки активних биљних хормона, пре свега ауксина, цитокинина и гиберелина или њихових деривата, који играју кључну улогу у регулацији раста и развоја, усвајања и уградњи хранљивих елемената (Mughunth et al., 2024). Поред поменутог, ови екстракти делују и као фитоелицитори, активирајући одбрамбене механизме биљака и повећавајући њихову отпорност на штеточине, патогене и абиотичке стресове (Ali et al., 2021).

Број разичитих врста алги је позамашан, а међу њима се истиче група браон морских алги. У њих се убраја *Ecklonia maxima* (Osbeck) Papenfuss која присутна на западним обалама јужне Африке где се годишње сакупи око 6.000 тона ове макроалге за потребе индустријске прераде и производње биостимулатора (Rengasamy et al., 2015). Један од најпознатијих комерцијалних препарата на бази *E. maxima*, који је последњих година привукао значајну пажњу у светским научним истраживањима, јесте Kelpak, биостимулатор добијен процесом хладне екстракције (*Cold Cellular Burst Technology*) (Matysiak et al., 2014). Састав овог течног препарата обухвата превасходно органска једињења, међу којима доминирају фитохормони, углавном ауксини (11.0 mg/kg) и у мањој мери цитокинини (0.03 mg/kg), са веома израженим односом ауксина према цитокининима (367:1) . Поред тога, препарат садржи угљене хидрате

(16.9 g/kg), аминокиселине (2.5 g/kg) и мање количине макроелемената, пре свега азота (3.6 g/kg), фосфора (8.2 g/kg), калијума (7.2 g/kg), калцијума (0.8 g/kg) и магнезијума (0.2 g/kg), док су витамини и елементи у траговима присутни у мањим количинама (Di Stasio et al., 2018). Примена може да се изведе преко земљишта, али произвођач такође препоручује и фолијарну апликацују овог биостимулатора.

Према подацима наведеним у техничким брошурама производа Kelpak, резултати примене овог биостимулатора на лиснатом површу показују повећање свеже масе листа и главице код зелене салате, као и код појединих представника фамилије Brassicaceae, у поређењу са контролом, при чему су испитивања спроведена у различитим климатским условима. Ове резултате потврђују и бројна публикована научна истраживања која указују на позитиван утицај на продуктивност, физиолошке параметре и фитохемијски састав врста. Истраживање аутора потврдило је ефикасност *Kelpak* биостимулатора у ублажавању негативних ефеката салинитета код спанаћа (*Spinacia oleracea* L.) (Sogoni et al., 2024). У овом огледу, спроведеном у контролисаним условима стакленика, третман биљака различитим концентрацијама екстракта значајно је умањио оксидативни стрес изазван дејством NaCl, што се одразило на повећану релативну влажност ткива, садржај хлорофила и укупну биомасу у односу на нетретиране биљке. Такође, примена биофертилизатора ублажила је ефекте салинитета у мери да су третиране биљке имале једнак раст и принос као и нетретиране контроле без стреса, што указује да овај биостимулатор значајно доприноси одржавању физиолошке стабилности и продуктивности биљака чак и под условима повећаног осмотског притиска и јонске токсичности. Комбинована примена ефективних микроорганизама и Kelpak-а показала је синергистички ефекат, доводећи до значајног повећања броја листова, садржаја хлорофила и приноса купуса у различитим условима гајења (Satekge et al., 2016). Овај препарат показује и запажено дејство на повећање садржаја фенолних једињења, укључујући флавоноиде и антоцијане, што резултује већом антиоксидативном активношћу и смањеном појавом оксидационог потамњења корена шаргарепе (Szczepanek et al., 2020). Испитивања ефеката биостимулатора спроведена су и на дивљој руколи, где је препарат на бази екстраката морских алги, *Bioproject SM23 Foliar-BioKimia,* показао добру ефикасност у повећању приноса, броја и величине листова, као и у сузбијању негативних ефеката недостатка воде и азота (Schiattone et al., 2023). Примена ових биостимулатора довела је до побољшаног квалитета конзумних листова, са повећаним садржајем фенолних једињења, антиоксидативне активности, каротеноида и хлорофила, као и смањеним садржајем нитрата. Такође, аутори су истакли да би производи засновани на екстрактима морских алги могли представљати корисну стратегију за произвођаче дивље руколе, с обзиром на могућност повећања приноса, побољшања квалитета и смањења утицаја водног стреса. Упркос томе, испитивања ефеката екстракта браон макро алге *E. maxima*, односно биостимулатора Kelpak, на ову врсту и њене генотипове, као и кроз сукцесивне жетве и различите сезоне гајења, до сада нису спроведена.

3. ЦИЉЕВИ И ХИПОТЕЗЕ ИСТРАЖИВАЊА

Полазећи од значаја дивље руколе (*D. tenuifolia*) као културе високог нутритивног и функционалног потенцијала као и од поменутих ограничених података, циљ ове докторске дисертације обухвата испитивање утицаја генотипа, сукцесивне жетве и фолијарне прихране на морфолошке и продуктивне карактеристике, као и на квалитативни и квантитативни састав биоактивних једињења листа дивље руколе, уз процену антиоксидативних својстава у сезони јесен–зима–пролеће–лето.

Да би се постигао наведени циљ, урађено је следеће:

1. Гајење одабраних генотипова дивље руколе у условима заштићеног простора;
2. Одређивање производних карактеристика (броја листова по биљци, лисне површине по биљци и приноса лисне масе) одабраних генотипова по третманима, након сваке жетве;
3. Екстракција и припрема узорака за хемијске анализе;
4. Спектрофотометријско одређивање садржаја пигмената (хлорофил *a* и *b*, укупни каротеноиди), укупних фенолних једињења, флавоноида, деривата хидроксициметне киселине, пролина, токоферола, фитата, танина, укупних растворљивих шећера и антиоксидативних својстава;
5. Идентификација, карактеризација и квантификација фенолних једињења и глукозинолата у одабраним узорцима листова дивље руколе;
6. Одређивање маснокиселинског профила листова и садржаја еручне киселине.

Полазећи од постављених циљева, у оквиру ове докторске дисертације тестираће се следеће хипотезе:

1. Продуктивне карактеристике, фитохемијски профил и антиоксидативна својства дивље руколе значајно су условљена генетичком основом, односно избором генотипа;
2. Сукцесивне жетве лисне масе значајно ће утицати на продуктивне параметре, фитохемијски профил и антиоксидативна својства листова;
3. Примена различитих фолијарних ђубрива и биостимулатора позитивно ће утицати на продуктивност, садржај биоактивних компонената и антиоксидативна својства листова;
4. Генотипови дивље руколе различито ће реаговати на фолијарну прихрану и бербу, што ће условити варијације у продуктивности и синтези фитохемијских једињења;
5. Садржај секундарних метаболита у листовима, укључујући глукозинолате и фенолна једињења биће зависан од под утицајем примењених третмана, и тестираних генотипова и услова сезоне гајења;
6. Маснокиселински профил листова, укључујући садржај еручне киселине, зависиће од генотипа, старости биљке и примењених фолијарних третмана;
7. Одабиром одговарајућих фолијарних ђубрива и биостимулатора, као и њиховом правилном применом, могуће је добити стандардизован производ свеж лист руколе са побољшаним нутритивним и биолошким својствима.

4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

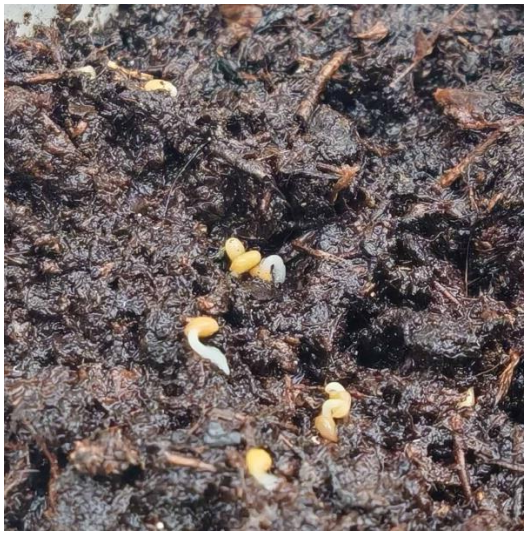
4.1. Биљни материјал

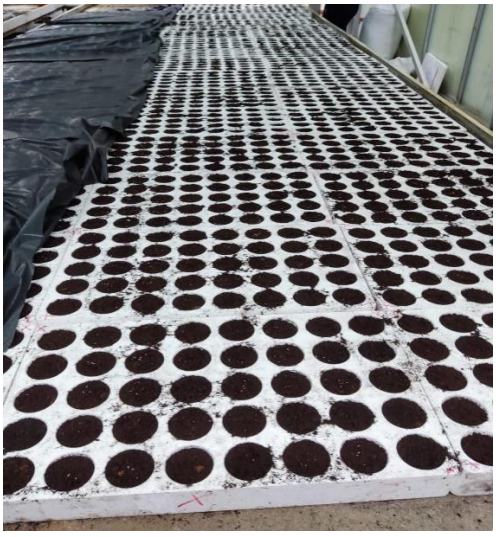
Експеримент је спроведен у периоду од септембра 2022. до јула 2023. године. Биљке дивље руколе (*Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC.) гајене су у контејнерима од експандираног полиестера (ЕПС) са 40 ћелија, постављеним на покретним столовима у оквиру стакленика Пољопривредног факултета Универзитета у Београду. Контејнери су били испуњени супстратом *Domoflor Mix 20*, погодним за зелене лиснате културе, који се састоји од белог тресета просејаног кроз сито пречника 20 mm, са pH вредношћу у опсегу 5,5–6,5 (**Слика 13**).



Слика 13. ЕПС контејнери испуњени супстратом

Супстрат је пре сетве равномерно навлажен водом. Хибридна семена руколе Marte F1, Venere F1 и T&T F1, набављена су од компаније *Holland Angro* (Холандија) и посејана 30. септембра 2022. године, са почетном густином од приближно пет семена по ћелији. Оглед је постављен по случајном блок систему у 4 понављања. Након сетве, преко семена је нанесен танак слој истог супстрата, без потпуног затрпавања, како би се обезбедили повољни услови за клијање. Преко контејнера је постављена непрозирна пластична фолија ради очувања оптималне температуре и влажности, уз истовремено спречавање продора светлости. Након два дана од сетве клијање је отпочело и уклоњене су фолије (**Слика 14**).





Слика 14. Појава коренчића и почетак клијања (лево) и уклањање фолије (десно)

Током фазе развоја котиледоних листова, у свакој ћелији је вршен проред, при чему је број биљака сведен на три како би се обезбедили равномерни услови раста и развоја **(Слика 15).**



Слика 15. Прорећивање (лево) и накнадни развој биљака у ћелијама (десно)

Биљке су третиране фолијарним ђубривима различитог састава: калијум-доминантним (0,3%, *Wuxal K40, Aglukon*), гвожђе богатим (0,15%, *HaifaStim Wall-Up S, Haifa*), као и природним биостимулатором Kelpak (*Kelp Products Ltd.*) на бази екстраката браон алги (*E. maxima*), у концентрацији 0,5% (**Табела 1**).

Табела 1. Састав примењених ђубрива

Назив ђубрива	Произвођач	Састав	Референца
Wuxal K40	Aglukon Spezialdünger GmbH, Немачка	K_2O – 25,5%; N – 3%; MgO – 2%; S – 4%B – 0,02%; Cu – 0,05%; Fe – 0,1%; Mn – 0,05%; Mo – 0,001%; Zn – 0,05%	https://agrosava.com/
HaifaStim Wall-Up S	Haifa Chemicals Ltd., Израел	SiO_2 – 42,8%; Si – 20% Fe (хелатно) – 4,0%; Fe као EDTA – 1,7%; Fe као DTPA – 1,7%	www.haifa-group.com
Kelpak	Kelp Products International, Јужноафричка Република	Ауксини – 11,0 mg kg^{-1}; Цитокинини – 0,03 mg kg^{-1} (однос 367:1); Угљени хидрати – 16,9 g kg^{-1}; Аминокиселине – 2,5 g kg^{-1}; N – 3,6 g kg^{-1}; P – 8,2 g kg^{-1}; K – 7,2 g kg^{-1}; Ca – 0,8 g kg^{-1}; Mg – 0,2 g kg^{-1}; Витамини у мањим количинама	Di Stasio et al. (2018)

Примена ђубрива започета је када су биљке развиле прва два права листа, а третмани су понављани након сваке жетве у истој фази. Третирање се обављало на сваке две недеље. За потребе поређења, успостављена је и контролна група без третмана (прскано водом). Примена раствора вршена је ручним прскалицама са распрскивачем под углом од приближно 45°, уз потпуно засићење листова радним раствором. Ради спречавања унакрсне контаминације третмана, између редова су постављене излационе преграде (**Слика 16)**.



Слика 16. Коришћена ђубрива (лево) и поступак фолијарног прихрањивања са постављеним преградама (десно)

Дозирање је извршено у складу са препорукама произвођача: *HaifaStim Wall-Up S* у количини од 2 L/ha, *Wuxal K40* у количини од 3 L/ha и *Kelpak* у количини од 2 L/ha.Током експеримента примењене су уобичајене мере неге биљака, које су подразумевале редовно наводњавање и заштиту од болести и штеточина. У фази комерцијалне зрелости (тј. када је величина листова одговарала тржишној вредности), листови су прикупљени потпуно случајном методом у оквиру сваке експерименталне групе. Изведено је укупно три жетве и то у фебруару (14.02.2023.), априлу (26.04.2023.) и јулу (14.07.2023.). Приликом уклањања листова водило се рачуна да се не оштети чвор, како би се омогућио поновни пораст лисне масе (**Слика 17)**.



Слика 17. Зона реза током жетве

4.2. Метеоролошки параметри у току експеримента

Током периода производње праћени су метеоролошки параметри помоћу дата логера (*RC-4HC Data Logger, Elitech Technology, Inc., USA*) за температуру и релативну влажност ваздуха, који је био постављен унутар пластеника и заштићен од директног сунчевог зрачења (**Слика 18**).



Слика 18. Уређај RC-4HC дата логер (лево) и позиција постављања у стакленику на висини од 2 m (десно)

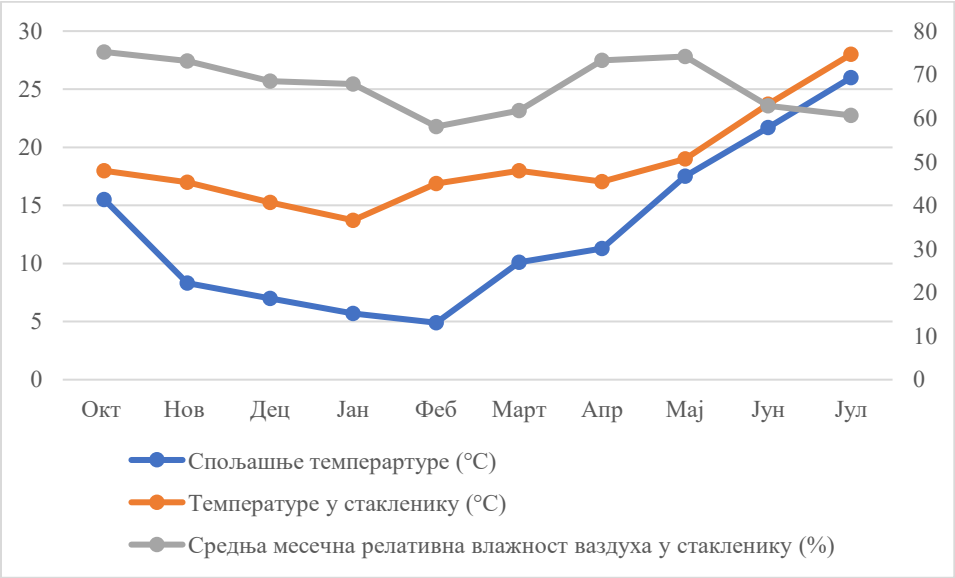
Стакленик је догреван у позним јесењим, зимским и раним пролећним месецима. Регулација температуре и релативне влажности ваздуха била је обезбеђена природним

проветравањем, отварањем кровних прозора и повременим орошавањем, чиме је спречено прекомерно загревање током сунчаних дана и одржавала оптимална микроклима за развој биљака. Када су спољне температуре биле испод 0°C коришћен је агротекстил **(Слика 19)**.



Слика 19. Употреба агротекстила за заштиту биљака током периода ниских спољашњих температура

На основу прикупљених података за период вегетације израчунате су средње месечне вредности температуре ваздуха у стакленику, као и њихово поређење са спољашњим температурама преузетим од Републичког хидрометеоролошког завода (РХМЗ) **(Слика 20)**. Поред тога, одређене су и средње месечне вредности релативне влажности ваздуха у стакленику.



Слика 20. Просечне месечне вредности спољне температуре ваздуха, температуре ваздуха у стакленику и релативне влажности ваздуха у стакленику током периода гајења дивље руколе

4.3. Оцена продуктивних параметара

Оцена продуктивних параметара извршена је у стакленику као и у лабораторији за цвећарство и лековито биље Пољопривредног факултета, Универзитета у Београду. Производне карактеристике, које обухватају број листова по биљци, лисну површину (cm^2), принос лисне масе (g) и LAI (*leaf area index*), одређиване су након сваке жетве, засебно за сваки генотип и примењени третман. Број листова по биљци утврђиван је директним пребројавањем развијених листова. Принос лисне масе одређиван је мерењем укупне свеже биомасе на дигиталној ваги (*AD300, AXIS*, Гдањск, Пољска) одмах по берби, за свако понављање и сваки третман. Након бербе, репрезентативан узорак је формиран за рачунање лисне површине случајним одабиром биљака, при чему је свака биљка потицала из засебног контејнера исте групе. На тај начин обезбеђено је да узорак верно одражава варијабилност унутар третмана и да свака изабрана биљка представља независну јединицу за мерење. Анализирање површине је извршено коришћењем софтвера *ImageJ* (https://imagej.net/). За потребе овог мерења снимљени су дигитални прикази листова постављених на контрастну позадину. Свака слика је калибрисана коришћењем референтног лењира постављеног у кадар, чиме је омогућена конверзија пиксела у квадратне центиметре. Након калибрације снимци су претворени у *8-bit grayscale* формат и ручно издвојени постављањем прага осветљености ради јасног издвајања лисног ткива од позадине. Функција *Analyze Particles* коришћена је за аутоматско одређивање површине листа.

4.4. Хемијске анализе

Хемијске анализе спроведене су у лабораторијама Пољопривредног факултета Универзитета у Београду. У лабораторији за цвећарство и лековито биље извршена је припрема узорака која је подразумевала екстракцију биљног материја. Спектрофотометријске анализе, које обухватају одређивање фитохемијског садржаја и антиоксидативног капацитета, реализоване су у Лабораторији за хемију и биохемију. У истој лабораторији спроведена је идентификација, карактеризација и квантификација фенолних једињења и глукозинолата у листовима дивље руколе из прве жетве, за сва три генотипа на која су били примењени наведени третмани. Одређивање маснокиселинског профила листова, са посебним освртом на садржај еручне киселине, изведено је у Лабораторији за фитомедицину.

4.4.1. Припрема узорака за хемијске анализе

Непосредно по жетви, листови су пренешени у Лабораторију за цвећарство и лековито биље која се налази у непосредној близини стакленика. Екстракциони поступак био је прилагођен врсти анализе и аналитичком протоколу, те је за свако хемијско одређивање примењена засебна методологија екстракције.

4.4.1.1. Припрема екстракта за одређивање садржаја пигмената, фенолних једињења и антиоксидативне активности

Након жетве, биљни материјал је уситњен у апарату за млевење зрна кафе. Пратећи методологију Gordanić et al. (2023), одмерени узорци су пренешени у обележене кивете, а екстракција је обављена у 80% ацетону у односу биљке и растварача 1:10 (*m/v*). Кивете су обмотане алуминијумском фолијом како би садржај истих био заштићен од светлости, а потом су смештени на шејкер где су мућкани у трајању од 3 часа на собној температури. По завршетку екстракције, садржај је процеђен кроз филтер папир, након чега су добијени супернатанти у киветама чувани на 4 °C све до момента анализе.

4.4.1.2. Припрема екстракта за одређивање садржаја укупног садржаја растворљивих шећера

За одређивање садржаја укупних растворљивих шећера, самлевени свежи листови дивље руколе су преливени дестилованом водом (однос узорак : растварач 1:10, *m/v*) (Dantas et al., 2007). Кивете заштићене од светлости постављене су на механички шејкер, где је садржај мућкан у трајању од 3 сата. Након тога супернатант је одвојен филтрацијом како би се добио бистар водени екстракт.

4.4.1.3. Припрема екстракта за одређивање садржаја пролина

За потребе одређивања пролина, екстракција је извршена према Carillo & Gibon (2011) уз модификације. Одмерено је 1 g свежег биљног материјала који је био преливен са 10 mL дестиловане воде загрејане на 50 °C. Узорак је добро промешан на шејкеру како би се омогућило потпуно извлачење пролина у водени екстракт. Након екстракције, смеша је процеђена кроз филтер папир, а добијени водени екстракт је одмах коришћен за спектрофотометријско одређивање.

4.4.1.4. Припрема екстракта за одређивање садржаја токоферола

За спектрофотометријско одређивање токоферола, 1 g свежег биљног материјала је помешан са 10 mL смеше ацетона и метанола у запреминском односу 7:3 *v/v* (Verma et al., 2019). Припремљени узорак је затим интензивно мешан на шејкеру током ноћи како би се обезбедила потпуна екстракција токоферола у органску фазу. По завршетку екстракције, цео садржај је процеђен кроз филтер папир, а добијени супернатант је одложен у фрижидер (4°C) и коришћен за анализу.

4.4.1.5. Припрема екстракта за одређивање садржаја фитата

За потребе анализе, 0,2 g биљног материјала је екстраховано са 10 mL 0,2 M HCl на механичком шејкеру на собној температури (Yimer et al., 2023). По завршетку екстракције, добијене смеше су филтриране кроз филтер папир, а добијени супернатанти су коришћени за даље аналитичке поступке.

4.4.1.6. Припрема екстракта за UHPLC Q-ToF MS анализу

Припрема екстраката подразумевала је методу коју су описали Bell et al. (2015) уз одређене модификације. Пре екстракције било је неопходно обезбедити инактивацију ензима мирозиназе како би се очувао изворни профил глукозинолата. Лисни узорци су до тренутка одмеравања били чувани у фрижидеру, а сваки узорак се појединачно припремао непосредно пре екстракције. За анализу је одмерено 80 mg самлевеног биљног материјала, након чега је додато 2 mL екстракционог средства, односно 70% (*v/v*) метанола који је претходно загрејан на 70 °C. Припремљени узорци су затим постављени на термошејкер *(Thermomixer Comfort, Eppendorf,* Хамбург, Немачка) и инкубирани 20 минута на 70 °C, чиме је обезбеђена истовремена екстракција и сузбијена активност мирозиназе. По завршетку наведеног поступка екстракције, узорци су центрифугирани 5 минута при 6000 rpm, а добијени супернатанти су пребачени у *Eppendorf* епрувете, и замрзнути у *deep freeze* фрижидеру (–80 °C) до анализе.

4.4.1.7. Припрема екстракта за одређивање маснокиселинског профила

За потребе анализе маснокиселинског профила методом капиларне гасне хроматографије, узорци листова су најпре екстраховани у хексану, након чега је додат реагенс бор-трифлуорид у метанолу (14%) ради дериватизације масних киселина у одговарајуће метил-естре (Kostić et al., 2017). Реакциона смеша је термички третирана на температури од 100 °C у трајању од 60 минута а по завршетку процеса, узорци су охлађени до собне температуре, након чега је додата вода ради раздвајања органске и водене фазе. Органска фаза, која је садржала метил-естре масних киселина, издвојена је након краткотрајног центрифугирања и концентрисана уклањањем растварача у струји азота. Тако припремљени екстракти коришћени су за даље одређивање маснокиселинског профила.

4.4.2. Спектрофотометријске анализе

Садржај испитиваних биоактивних једињења и антиоксидативна својства листова одабраних сорти дивље руколе (према третманима и жетвама) одређен је спектрофотометријским методама базираним на формирању обојених комплекса насталих специфичним хемијским реакцијама чија се апсорбанца мери на одговарајућим таласним дужинама. Коришћен је UV–Vis спектрофотометар (*UV-1800, Shimadzu, USA Manufacturing Inc., UR, USA*) Лабораторије за хемију и биохемију. Све анализе изведене су у складу са литературним методама, уз мање модификације прилагођене природи анализираних узорака док је количина испитиваних једињења и антиоксидативни капацитет исказан на свежој маси узорка (FW).

4.4.2.1. Садржај пигмената

Садржај хлорофила *a* и *b*, као и количина укупних каротеноида одређена је према методологији Gordanić et al. (2023).

За потребе испитивања количине хлорофила *a* и b, неразблажени ацетонски екстракти су испитивани на таласним дужинама од 646 nm и 663 nm. Резултати очитавања су коришћени

у једначини за добијење садржаја поменутих пигмената изражених у μg по g узорка, а која гласи:

Хлорофил *a* (μg/mL) = 12.21 A663 - 2.81 A646;

Хлорофил *b* (μg/mL) = 20.13 A646 - 5.03 A663;

Где је:

A645 – апсорбанца узорка на таласној дужини 645 nm;

A663 – апсорбанца узорка на таласној дужини 663 nm.

Укупан садржај каротеноида (TCC) такође је одређен у неразблаженим ацетонским екстрактима. Очитана апсорбанца узорака на 450 nm коришћена је у следећој једначини за квантификацију TCC:

μg каротеноида по g узорка = (A*V*106)/(E1cm*100*m)

Где је:

A – апсорбанца узорка на таласној дужини 450 nm;

V – запремина узорка;

E1cm - коефицијент екстинкције за употребљени растварач (2500 за ацетон);

m – маса узорка.

4.4.2.2. Садржај укупних фенолних једињења (TPC)

Укупан садржај фенолних једињења одређиван је Folin–Ciocalteu методом, коју су описали и развили Singleton et al. (1999). За реакцију је коришћен запремински удео екстракта од 180 μL, коме је додат Folin–Ciocalteu реагенс (900 μL). Потом је у смешу додат раствор натријум-карбоната концентрације 7,5% (900 μL), чиме је омогућен развој обојеног комплекса. Добијена реакциона смеша је хомогенизована краћим интензивним мешањем на *Vortex-y*, и остављена на инкубацији у трајању од 1 h и 30 min на собној температури у мраку. По истеку времена, апсорбанца је очитана на таласној дужини од 765 nm. Добијене вредности укупног садржаја фенолних једињења приказане су као mg еквивалената ферулинске киселине по g узорка (mg/g FAE).

4.4.2.3. Садржај укупних флавоноида (TFC)

Одређивање садржаја укупних флавоноида је изведено према претходно описаној методи у истраживању Kim et al. (2020). У кивету је отпипетирано 208 μL екстракта, након чега је додато 947 μL дестиловане воде. Добијеној смеши је потом додато 69 μL 5% раствора $NaNO_2$, а реакција је остављена да тече 6 min на собној температури. Након тога, у реакциону смешу је додато 125 μL 10% раствора $AlCl_3$ и инкубирано додатних 5 min. Додавањем 415 μL 1 M раствора NaOH и 230 μL дестиловане воде завршена је процедура, након чега су кивете интензивно промешане на вортексу. Апсорбанца добијених раствора очитана је на таласној

дужини од 510 nm. Количина укупних флавоноида изражена је као mg еквивалената кверцетина по g узорка (mg/g QE).

4.4.2.4. Укупан садржај деривата дихидроксициметних киселина (HCAs)

Анализа је одрађена према методи описаној у раду Kilibarda et al. (2021). Коришћено је 200 μL ацетонског екстракта листова дивље руколе, 400 μL 0.5M HCl, 400 μL Arnow-овог реагенса (водени раствор $NaNO_2$ и Na_2MoO_4), 400 μL 2.215 M NaOH и 600 μL дестиловане воде. Реакциона смеша је хомогенизована и инкубирана у мраку током 20 минута. Након инкубације, апсорбанца обојене смеше измерена је на таласној дужини од 525 nm. Резултати су изражени као mg еквивалената хлорогенске киселине по g узорка (mg/g CGAE).

4.4.2.5. Садржај укупних флаванона

Водећи се методом описаном у истраживању LeBlanc et al. (2009) садржај флаванона одређен је у ацетонским екстрактима. У епрувете је пренето 250 μL екстракта дивље руколе, након чега је додато 500 μL раствора 2,4-динитрофенилхидразина. Садржај епрувета је промешан на *Vortex-y*, а затим инкубиран у воденом купатилу, претходно загрејаном на 50 °C, у трајању од 50 минута. По истеку времена, епрувете су извађене из купатила и остављене да се охладе на собној температури. Након хлађења, у сваки узорак је додато 1750 μL раствора калијум-хидроксида (KOH), након чега је садржај поново хомогенизован на *Vortex* апарату. Додавањем KOH дошло је до појаве тамно браон боје и замућења, због чега су узорци центрифугирани ради бистрења реакционе смеше. Апсорбанца бистрог супернатанта очитавана је на таласној дужини од 486 nm. Резултати су изражени као еквиваленти нарингенина (mg NE /g узорка).

4.4.2.6. Садржај танина

Као и при одређивању предходно описаних група фенолних једињења, садржај танина у узорцима одређен је у ацетонским екстрактима према методи Vijayalaxmi et al. (2015). У кивете је одмерено 95 μL екстракта, након чега је додато по 950 μL 1% раствора калијум-ферицијанида и 8% раствора гвожђе(III)-хлорида. Реакциона смеша је хомогенизована и инкубирана у трајању од 5 min на собној температури. По истеку инкубације, апсорбанца је очитавана на таласној дужини од 720 nm. Добијени резултати су изражени као mg еквивалената танинске киселине по g узорка (mg/g TAE).

4.4.2.7. Садржај укупних растворљивих шећера

Пратећи методологију DuBois et al. (1956) уз мање измене одређен је укупан садржај растворљивих шећера у воденим екстрактима узорака. У киветама је одвојено 200 μL екстракта и иста количина 5% воденог раствора фенола. Додавањем 3 mL концентроване сумпорне киселине завшен је процес додавања реагенаса, а потом је садржај кивете промешан на *Vortex* апарату и инкубиран 30 минута на собној температури. Након што се боја комплекса развила, апсорбанце су очитане на таласној дужини од 490 nm. Количина укупних

растворљивих шећера израчуната је помоћу калибрационе криве, а резултати су изражени као еквиваленти глукозе (mg/g) као доминантног шећера у листовима руколе.

4.4.2.8. Садржај пролина

Садржај пролина одређен је спектрофотометријском методом са нинхидрином, према протоколу описаном код Carillo и Gibon (2011), уз мање модификације у припреми поменутог реагенса у складу са упутствима Abrahám et al. (2010).

Закишељени нинхидрин је добијен растварањем 1,25 g нинхидрина (1,2,3-индантрион-монохидрат) у 30 mL сирћетне киселине, уз додатак 20 mL 6 M ортофосфорне киселине.

Реакциона смеша припремљена је додавањем 500 µL екстракта у кивете од 2 mL, затим 1 mL раствора нинхидрина и 400 µL 60% (*v/v*) етанола. Инкубација је вршена на температури од 95 °C у воденом купатилу у трајању од 20 минута. Потом су узорци охлађени и центрифугирани, а бистри садржај је пренет у кивету за одређивање апсорбанце која је очитана на таласној дужини од 520 nm. Количина пролина израчуната је помоћу калибрационе криве припремљене са стандардним растворима пролина, а резултати су изражени као µg пролина по g свеже масе листова дивље руколе.

4.4.2.9. Садржај токоферола

Узорци су испитивани у погледу садржаја токоферола према методи Verma et al. (2019). Реакциону смешу сачињавао је по 1 mL одговарајућег екстракта и ацетон:метанола, 2,2′-дипиридил реагенса, као и 400 µL 0,2% раствора гвожђе(III)-хлорида. Потом је механички промешан садржај кивета и у исте додато по 1 mL апсолутног етанола пред очитавање апсорбанци на таласној дужини од 522 nm. Садржај токоферола у екстрактима изражен је као mg токоферола по g узорка.

4.4.2.10. Садржај фитата

Количина заступљених фитата у узорцима одређена је према методи Yimer et al. (2023) уз помоћ Wade-овог реагенса. Овај реагенс представља водени раствор сулфосалицилне киселине и гвожђе(III)-хлорида. У епрувете је одмерено 3 mL одговарајућег екстракта, након чега је додато 1 mL Wade-овог реагенса. Центрифугирање је спроведено ради бистрења смеше и одвајања супернатанта од насталог талога, након чега је апсорбанца очитавана на 500 nm. Резултати су изражени као mg еквивалената натријум-фитата (Na-фитата) по g узорка.

4.4.2.11. Антиоксидативна активност

Антиоксидативна својства испитиваних узорака одређена су применом више *in vitro* screening тестова, укључујући два теста процену редукујуће активности, односно одређивање способности редукције јона гвожђа (Fe^{3+}) и бакра (Cu^{2+}), као и тестове за одређивање укупног антиоксидативног капацитета, који су засновани на механизму хватања слободних радикала.

Примењени методолошки поступци базирани су на методама које су детаљно описане у раду Kilibarda et al. (2021).

Способност редукције Fe^{3+} јона (Feric Reducing Power - FRP)

Припрема смеше за спектрофотометријско очитавање апсорбанце је подразумевала по 500 µL ацетонског екстракта, 0,2M фосфатног пуфера (pH=6,6) и 1% раствора калијум-ферицијанида. Инкубација је подразумевала водено купатило загрејано на 50°C у трајању од 20 минута. По истеку временског периода у смешу је додато још 500 µL 10% трихлорсирћетне киселине, 2 mL дестиловане воде и 400 µL 0,1% гвожђе(III)-хлорида уз субсеквентно мешање на *Vortex* уређају. Апсорбанца је измерена на 700 nm таласне дужине, док је рекуђуја способност изражена као µg еквиваленти аскорбинске киселине (AAE) по g uzorka (µg/g).

Редукујући антиоксидативни капацитет Cu^{2+} јона (Cupric ion Antioxidant Capacity - CUPRAC)

У кивете од 2 mL је додато по 500 µL ацетонског екстракта, 0,01 M раствора бакар(II)-хлорида, 0,0075 M етанолног раствора неокупроина и 1 M пуферског раствора амонијум-ацетата. Саджај кивета је инкубиран у мраку у трајању од 30 минута, након чега је апсорбанца очитана на таласној дужини од 450 nm. Добијени резултати изражени су као mg еквивалената аскорбинске киселине по g масе узорка.

Укупни антиоксидативни капацитет (*in vitro* phosphomolybdenum Total Antioxidant Capacity - TAC)

Епрувете са реакционом смешом, која је садржала 300 µL ацетонског екстракта и 3 mL фосфомолибденског реагенса (раствор припремљен од 0,6 M сумпорне киселине, 28 mM натријум-фосфата и 4 mM амонијум-молибдата), постављене су у водено купатило које је претходно загрејано на 95 °C и инкубиране у трајању од 90 минута. Након инкубације, епрувете су извађене и остављене да се охладе до собне температуре, након чега су апсорбанце реакционих смеша спектрофотометријски очитаване на таласној дужини од 695 nm. За квантификацију је коришћена калибрациона крива аскорбинске киселине, а добијени резултати су израчунати и изражени као mg еквивалената по g масе узорка.

Одређивање способности хватања DPPH$^{\bullet}$ слободних радикала

Ацетонски екстракт (210 µL) је помешан са 1680 µL претходно припремљеног радног раствора DPPH$^{\bullet}$ (2,2-дифенил-1-пикрилхидразил радикал) у пластичним киветама. Добијене реакционе смеше су инкубиране у мраку у трајању од 30 минута. По истеку инкубације, апсорбанца узорака је измерена на 515 nm. Као бланк коришћен је радни раствор DPPH$^{\bullet}$, а степен неутрализације радикала израчунат је на основу разлике апсорбанци бланка и узорака, применом следеће једначине:

$$\text{DPPH}^{\bullet}\ \text{активност неутрализације радикала (\%)} = \frac{Ac-AS}{Ac} * 100;$$

где је:

Ac – апсорбанца радног раствора DPPH$^{\bullet}$;

As – апсорбанца реакционе смеше узорка и DPPH$^{\bullet}$ радног раствора.

По истом принципу, коришћењем тролокса (Trolox) као стандарда, конструисана је калибрациона крива, на основу које су добијени резултати изражени као μmol тролокс (Trolox) еквивалента по g узорка.

4.4.3. UHPLC Q-ToF MS анализа фенолних једињења и глукозинолата

Хроматографско одређивање профила фенолних једињења и глукозинолата у метанолним екстрактима дивље руколе извршено је применом система за ултра-високоефикасну течну хроматографију (*UHPLC, Agilent 1290 Infinity*), спрегнутог са квадруполном масеном спектрометријом времена пролета (*6530C Q-ToF-MS; Agilent Technologies, Inc.,* Калифорнија, САД). За раздвајање анализираних једињења коришћена је *Zorbax C18* колона (2,1 × 50 mm, 1,8 μm; Agilent Technologies, Inc., Калифорнија, САД), при константном протоку мобилне фазе од 0,3 mL min^{-1} и запремини убризгавања од 5 μL. Мобилна фаза се састојала од: (А) ултрачисте воде; и (Б) 98% ацетонитрила (MS чистоће), при чему су обе фазе садржале 0,1% HCOOH. Коришћен је следећи градијент: 0-2мин (98%A), 2-17мин (98%A до 2%A), враћање на почетне услове (98%A) у следећих 5мин (postrun), ради поновног уравнотежавања колоне и припреме за следеће инјектовање.

Q-ToF MS систем је опремљен са *Dual Agilent Jet Stream* електроспреј јонизационим (ESI) извором, који ради и у позитивном (ESI^{+}) и негативном (ESI^{-}) режиму јонизације. Узорци су снимани у оба јонизациона мода. Радни параметри јонског извора су били следећи: притисак у небулизатору (распршивача) (45 psi), температура гаса за сушење (225°C) са брзином протока гаса од 8 L/min, температура гасне чауре („sheath gas“) (300°C) са протоком гаса од 10 L/min, капиларни напон (2500 V), енергија фрагментора (175 V), напон на скимеру (65 V) и RF peak напон на октополу (750 V). За снимање масених спектара примењен је Auto MS/MS режим, бележећи спектре у масеном опсегу *m/z* 100–1700, са брзином скенирања од једног спектра у секунди, док је енергија судара (колизиона енергија) подешена на 30 eV. Детекција појединачних биоактивних једињења, укључујући органске киселине, фенолна једињења и глукозинолате, спроведена је у негативном режиму јонизације. За препознавање потенцијалних једињења примењена је аквизиција зависна од података (*data-dependent acquisition*, DDA) коришћењем Auto MS/MS режима. За прикупљање, обраду, анализу и визуелни приказ масено-спектрометријских података коришћени су Agilent MassHunter и *R* програмски пакет (*R Studio* софтвер) базиран на комбинацији *enviPick* и *xcms* (Aničić et al., 2024). Детекција пикова извршена је коришћењем софтверског пакета *enviPick*, док је повезивање пикова између узорака извршено применом методе засноване на густини, доступне у пакету *xcms* (Peris-Díaz et al., 2019; Zengin et al., 2020). Идентификација непознатих једињења спроведена је у складу са критеријумима предложеним од стране Rochat (2017), при чему су позната једињења прелиминарно идентификована на основу тачне

масе *m/z* (моноизотопске масе) која служи за предвиђање молекулске формуле─и карактеристичних MS фрагмената, а потом потврђена поређењем са доступним стандардима и/или подацима из релевантних литературних извора (Bell et al., 2015; Cataldi et al., 2007; Guo et al., 2020; Martínez-Sánchez et al., 2007, 2008; Pasini et al., 2012; Taranto et al., 2016; Verardo et al., 2011; Veremeichik et al., 2023). Тачне масе идентификованих једињења и њихових фрагментних јона израчунате су применом софтвера *ChemDraw* (верзија *12.0, CambridgeSoft*, Кембриц, Масачусетс, САД) и *ChemCalc* (https://www.chemcalc.org/). За претрагу и проверу хемијских једињења на основу молекулских формула и структурних карактеристика коришћене су базе података *CAS SciFinder-n* (https://scifindern.cas.org/) и *PubChem* (https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/). У циљу додатне потврде и разјашњавања идентификације непознатих једињења, приказани су масени спектри свих идентификованих једињења (допунске **Слике П1, П2 и П3.**) Фрагментациони обрасци (MS/MS спектри) извезени су из софтвера *Agilent MassHunter Qualitative Analysis* (верзија 10.0). Поред наведеног, за додатну потврду и структурну интерпретацију претпостављено идентификованих једињења коришћени су и софтвери *MS-DIAL* (верзија 4.60) и *MS-FINDER* (верзија 3.61) где је први примењен за прикупљање и селекцију релевантних масених сигнала, док је *MS-FINDER* коришћен за прелиминарну идентификацију, потврду и скрининг непознатих једињења, у складу са раније описаним приступима (Cajka, 2024; Mallmann et al., 2023; Tsugawa et al., 2016). Резултати метаболомског профилисања, поступак филтрирања детектованих пикова и означавање једињења од интереса приказани су на допунској **Слици П4.**

Идентификована фенолна једињења су квантификована или семи-квантификована, користећи доступне стандарде. Како за већину идентификованих фенолних једињења нису били доступни стандарди (осим за кверцетин и гентизинску киселину), ова једињења су семи-квантификована и изражена у еквивалентима наведених једињења (флавоноиди у еквивалентима кверцетина; а фенолне киселине у еквивалентима гентизинске киселине). Концентрације су изражене у mg на 100 g FW. Удео појединачних глукозинолата (%) у укупном глукозинолатном профилу сваког узорка посебно, израчунат је као процентуални однос површине пика сваког појединачног једињења у односу на збир површина пикова свих детектованих глукозинолата.

4.4.4. Методологија за одређивање маснокиселинксог профила

Водећи се методологијом описаном у раду Kostić et al. (2017) метил-естри масних киселина анализирани су применом капиларне гасне хроматографије (*Agilent Technologies* 6890 (САД)), опремљеном split/splitless инјектором и пламено-јонизационим детектором (FID). За хроматографско раздвајање коришћена је високо поларна капиларна колона *SPe2560* (дужина 100 m, унутрашњи пречник 0,25 mm, дебљина филма 0,20 μm; *Supelco*, Белфонт, САД). Радни услови инјектора и детектора били су подешени на 250 °C, односно 260 °C, док је као носећи гас коришћен хелијум при константном протоку од 5 mL/min. Запремина убризганог узорка износила је 1 μL, уз split однос подешен на 20:1. Температурни програм колоне обухватао је иницијално задржавање на 50 °C током 5 минута, након чега је температура постепено повећавана до 240 °C брзином од 4 °C/min и одржавана на тој вредности у трајању од 20 минута док је укупно трајање анализе износило 72,5 минута. Појединачне масне киселине идентификоване су на основу поређења релативних времена задржавања са одговарајућим компонентама у комерцијалном стандарду *Supelco 37*

Component FAME Mix. Квантитативна процена извршена је изражавањем садржаја масних киселина у mg/g укупних липида, док су релативни односи представљени као масени проценат укупних масних киселина.

4.4.5. Статистичка обрада података

Статистичка обрада података изведена је у програму *IBM SPSS Statistics верзија 23.0* (*IBM Corp*., Арманк, Њујорк, САД). Анализа је спроведена применом општег линеарног модела (GLM). Пре спровођења статистичких тестова проверене су основне претпоставке модела (Midway & White, 2025; Webster & Lark, 2019). Независност експерименталних јединица обезбеђена је самим експерименталним дизајном, будући да су мерења спровођена на појединачним, међусобно независним јединицама. Нормалност је одређена визуелном провером помоћу хистограма и Q–Q дијаграма уз Shapiro–Wilk тест. Хомогеност варијанси испитивана је применом Levene-овог теста, као и визуелном анализом дијаграма резидуа ради процене хомоскедастичности. У случајевима када су претпоставке модела биле испуњене, примењена је анализа варијансе (ANOVA), док је у случајевима нарушене хомогености варијанси коришћена Welch анализа варијансе. Накнадна поређења средњих вредности извршена су применом Tukey HSD или Games–Howell теста, у зависности од испуњености претпоставке о хомогености варијанси. У случајевима када није била испуњена претпоставка о нормалној расподели података, примењен је непараметарски Kruskal–Wallis тест, уз Dunn–Bonferroni корекцију за накнадна поређења. Резултати су приказани као средња вредност ± стандардна грешка (SE).

Међусобни односи између испитиваних параметара анализирани су применом Spearman-ове корелационе анализе. Корелациона структура података даље је анализирана применом анализе главних компоненти (PCA). Сатистичке анализе спроведене су на нивоу значајности $p < 0,05$ и $p < 0,01$.

5. Резултати и дискусија

5.1. Параметри продуктивности

5.1.1. Принос лисне масе

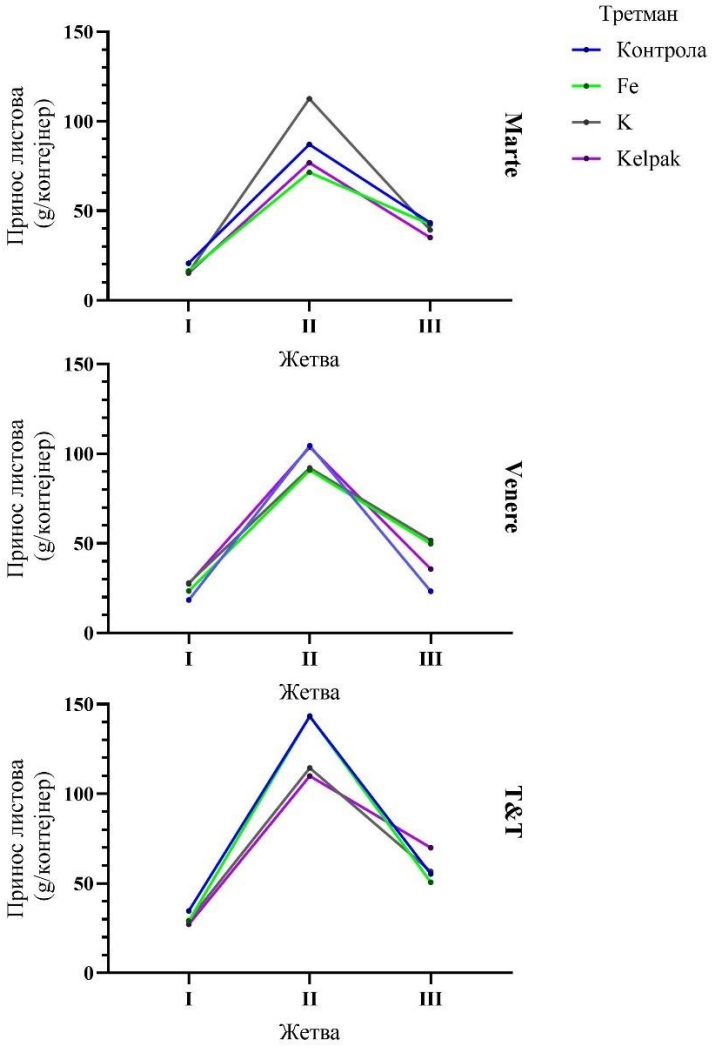
Принос листова дивље руколе одређен је као један од кључних параметара у процени производног потенцијала који одражава утицај генетичких и агротехничких фактора током вегетације. Анализиран је утицај сорте, фолијарних третмана и сукцесивне жетве на принос листова (g/контејнер), са циљем да се сагледају појединачни ефекти наведених фактора, али и њихове међусобне интеракције и то трофакторском анализом варијансе (**Табела 2**).

Табела 2. Резултати трофакторске анализе варијансе (ANOVA) утицаја сорте, фолијарног третмана и сукцесивне жетве на принос листова дивље руколе

Извор варијације	df	F	*p*
Третман	3	1,31	0,274
Жетва	2	864,94	<0,001**
Сорта	2	78,24	<0,001**
Третман х жетва	6	2,77	0,014*
Третман х сорта	6	4,26	0,001**
Жетва х сорта	4	11,02	<0,001**
Третман х жетва х сорта	12	6,71	<0,001**

df – степен слободе; F – вредност Фишеровог теста F-теста; *p* – ниво статистичке значајности *$p < 0,05$ и ** $p < 0,01$

Резултати су показали да фолијарни третмани нису имали статистички значајан утицај на принос листа ($p > 0,05$), док су сорта и жетва имали веома статистички значајан ефекат ($p < 0,001$). Такође, утврђене су статистички значајне интеракције између третмана и жетве, третмана и сорте, као и жетве и сорте ($p < 0,05$ и $p \leq 0,001$). Уочена је и веома статистички значајна трострука интеракција третман × жетва × сорта ($p < 0,001$), што показује да ефекти примењених фолијарних третмана на принос лисне масе зависе од сорте и сукцесивне жетве, односно реда жетве. Ови интеракциони односи графички су приказани на **Слици 21**.



Слика 21. Интеракциони ефекти сорте, фолијарних третмана и сукцесивне жетве на принос листова дивље руколе

У **Табели 3** представљена је статистичка значајност ефеката жетве, третмана и интеракције жетва × третман у оквиру сваке сорте. Код сорте Marte, присутан је статистички значајан утицај фолијарног третмана и реда жетве на принос листова, као и њихова међусобна интеракција ($p < 0{,}001$). Ови резултати указују да је одговор приноса на примењене фолијарне третмане зависио од реда жетве као најизраженијег утицаја. С друге стране, двофакторском анализом варијансе сорте Venere и T&T утврђен је статистички значајан утицај сукцесивне жетве на принос листова ($p < 0{,}001$), као и статистички значајна интеракција фолијарног третмана и сукцесивне жетве ($p < 0{,}05$и $p < 0{,}001$, редом) међутим главни ефекат фолијарног третмана на принос листа није био статистички значајан ($p > 0{,}05$), што указује да се ефекат примењених третмана испољавао у зависности од реда жетве.

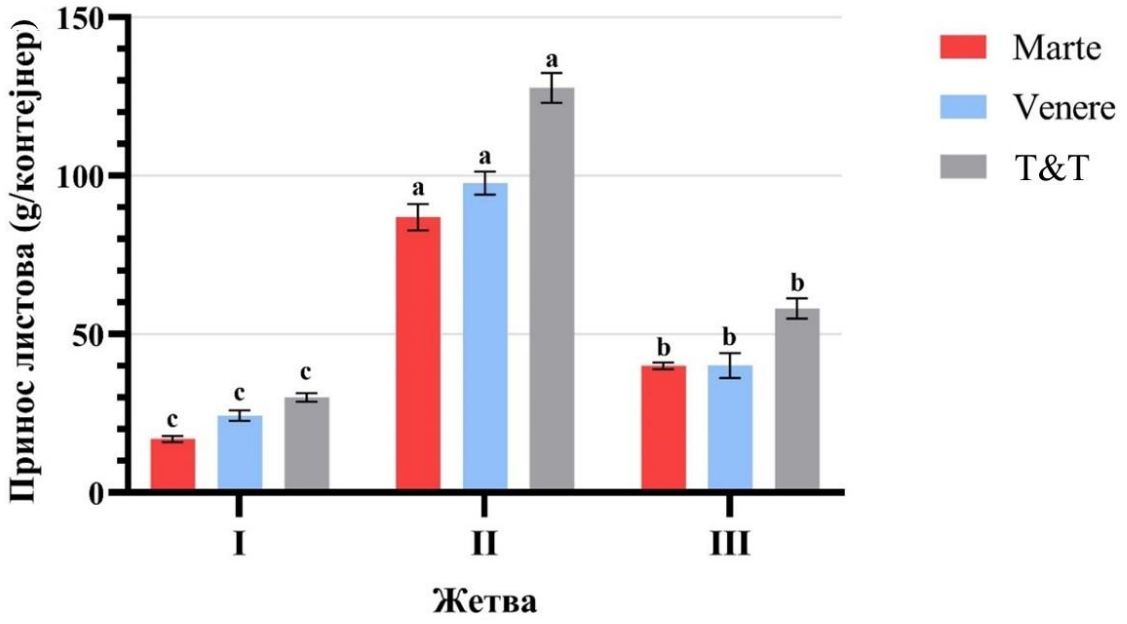
Табела 3. Резултати двофакторске анализе варијансе (ANOVA) за принос листова испитиваних сорти у зависности од третмана и реда жетве

Сорта	Извор варијације	df	F	*p*
Marte	Третман	3	13,78	<0,001**
	Жетва	2	589,56	<0,001**
	Третман х жетва	6	13,52	<0,001**
Venere	Третман	3	1,21	0,315
	Жетва	2	174,59	<0,001**
	Третман х жетва	6	3,04	0,013*
T&T	Третман	3	2,57	0,065
	Жетва	2	351,21	<0,001**
	Третман х жетва	6	5,75	<0,001**

df – степен слободе; F – вредност Фишеровог теста F-теста; *p* – ниво статистичке значајности *$p < 0,05$ и ** $p < 0,01$

Независно од сорте и примењеног фолијарног третмана, сукцесивна жетва показала се као доминантан фактор који обликује принос листова дивље руколе. Код све три испитиване сорте уочен је исти образац где принос достиже максимум у другој жетви, док су у првој и трећој жетви остварене значајно ниже вредности. Ови резултати указују на изражену промену приноса током производног циклуса.

Код сорте Marte, највећа продуктивност остварена је у другој жетви (86,97 ± 4,16 g/контејнер), док су у првој и трећој жетви забележене ниже вредности (16,95 ± 0,96 и 40,03 ± 1,07 g/контејнер, редом) **(Слика 22)**. Сличан тренд испољила је и сорта Venere, код које је друга жетва такође представљала фазу максималног приноса (97,70 ± 3,61 g/контејнер), док је у првој жетви остварена најнижа продуктивност (24,31 ± 1,66 g/контејнер), а у трећој је забележен умерен пад у односу на другу жетву (40,12 ± 3,96 g/контејнер). У поређењу са сортом Marte, сорта Venere је у ранијим жетвама показала повољнији принос, што указује на значај генотипа у формирању овог продуктивног параметра. Најизраженији одговор на сукцесивну жетву уочен је код сорте T&T, код које је друга жетва резултирала највишим вредностима приноса (127,74 ± 4,72 g/контејнер), након релативно ниске продуктивности у првој жетви (30,04 ± 1,37 g/контејнер). Иако је у трећој жетви дошло до смањења приноса (58,16 ± 3,17 g/контејнер), вредности су и даље биле више у односу на прву жетву. Укупно посматрано, сорта T&T је остварила највише вредности приноса по жетвама, што указује на њену супериорнију генетичку основу за принос.



Слика 22. Утицај сукцесивне жетве на принос листова (g/контејнер) сорте Marte, Venere и T&T. Различита слова изнад колона означавају статистички значајне разлике између жетви у оквиру исте сорте ($p < 0,05$), утврђене применом Games–Howell *post hoc* теста (средња вредност ± SE).

Резултати доследно указују да је сукцесивна жетва имала доминантан утицај на принос лисне масе код свих испитиваних сорти, при чему је утицај жетве издвојен као најзначајнији извор варијабилности приноса. Друга жетва представљала је фазу максималне продуктивности, док је у трећој жетви забележен пад приноса, што указује на постојање оптималне фазе регенеративног одговора биљака у систему сукцесивног откоса. Упоређујући добијене резултате са налазима Bantis et al. (2021), који су анализирали динамику лисне масе код култивисане руколе (*E. sativa*) у условима регенерације након жетве, уочавају се разлике у обрасцу одговора. Аутори су утврдили да је највећа лисна маса остварена у раној фази, односно у првој жетви, након чега је уследио пад приноса у каснијим откосима, што указује на ограничену регенеративну способност ове врсте након више узастопних резова односно ограничен физиолошки капацитет. Насупрот томе, у овом истраживању код све три сорте дивље руколе највише вредности приноса остварене су у другој жетви, док је у трећој жетви забележен пад приноса. Ови резултати су у сагласности са налазима El-Nakhel et al. (2023), који су указали да је тржишни принос дивље руколе значајно условљен бројем жетви, при чему је прва жетва остварила статистички значајно ниже вредности у односу на наредне, док након друге жетве више није било значајних разлика између узастопних откоса. Аутори овај образац повезују са већим бројем и бољим развојем листова у каснијим жетвама, што доприноси стабилизацији приноса у односу на почетну фазу производног циклуса. Овакав образац указује на израженију способност дивље руколе да након првог откоса интензивно регенерише вегетативну масу, што се може довести у везу са њеном биолошком и генетичком специфичношћу, као и адаптацијом на услове честог оштећења надземних органа у природним стаништима и ефикаснијем коришћењу ресурса у периоду између прве и друге

жетве. Уочене разлике између културисане и дивље руколе сугеришу да дивља рукола поседује већи регенеративни потенцијал у појединим фазама сукцесивне жетве, док се у каснијим откосима и код ове врсте јавља ограничење приноса, што је у складу са општим физиолошким одговором биљака на поновљено кошење. Поред културисане руколе, у истој студији анализиран је и беби спанаћ (*Spinacia oleracea* L.), код кога је у систему регенерације утврђен максимум лисне масе у другој жетви у односу на прву, након чега је у каснијим откосима забележен пад овог параметра, што је у сагласности са резултатима добијеним у овом истраживању. Сличан образац динамике приноса кроз сукцесивне жетве *D. tenuifolia* културара Apollo приказан је и у истраживању Signore et al. (2023), где је код биљака гајених у различитим супстратима (компост и тресет) утврђено да је друга жетва остварила статистички значајно већи принос у односу на прву што се приписује приписује интензивнијем вегетативном расту и повољнијим условима у периоду између првог и другог откоса. Hall et al. (2012) истичу да је принос дивље руколе значајно условљен култураром, жетвом и сезоном гајења. У наведеном истраживању три испитивана културара, European wild rocket, Apollo и Nature, остварила су различите приносе у систему сукцесивне жетве, где је код већине културара друга жетва остварила више вредности приноса у односу на прву, при чему је изражена зависност од сезоне (зима, пролеће, лето) и генотипа што указује да је друга жетва оптимална фаза за остваривање максималног приноса дивље руколе без обзира на термин гајења. Поред поменутог, исти аутори наводе пад приноса у другој жетви културисане руколе. Слично као у овом истраживању, у оквиру тросезонског система гајења дивље руколе (јесен–зима, зима и пролеће), утврђено је да је јесење–зимски производни циклус био најдужи, али су упркос томе управо у овом периоду остварене најниже вредности приноса што указује да дужина вегетационог периода сама по себи не гарантује већу продуктивност (Caruso et al., 2020). Caruso et al. (2018) истичу да је количина приноса листова *D.tenuifolia* у значајној мери условљена генетичком основом, односно култураром, у оба система гајења (отворено поље и заштићен простор). На основу добијених резултата и анализе доступне литературе, може се закључити да дивља рукола поседује изражен регенеративни потенцијал након првог откоса, који омогућава постизање максималног приноса у другој жетви у оквиру система сукцесивне жетве. Ова карактеристика омогућава остваривање високог приноса уз једну сетву, што може имати позитивне импликације у погледу економске исплативости производње, смањења улазних трошкова, као и одрживости производних система кроз смањено оптерећење агроекосистема.

С обзиром на статистички значајан главни ефекат фолијарног третмана и/или интеракцију третман и жетве код испитиваних сорти, анализирана је динамика приноса према фолијарним третманима у оквиру појединачних жетви, при чему су уочени различити обрасци одговора сорти на примењена хранива (**Табела 4).**

Табела 4. Принос листова (g/контејнер) испитиваних сорти у три узастопне жетве по фолијарним третманима

Сорта	Третман	Жетва I	Жетва II	Жетва III
Marte	Контрола	20,63 ± 4,06 a	87,05 ± 3,88 b	43,29 ± 3,99 a
	Fe	16,35 ± 4,23 a	71,49 ± 7,89 b	42,47 ± 4,29 a
	K	15,58 ± 4,64 a	112,55 ± 11,88 a	39,31 ± 3,78 a
	Kelpak	15,23 ± 2,73 a	76,79 ± 13,37 b	35,07 ± 2,95 b
Venere	Контрола	18,43 ± 9,79 a	104.38 ± 15,05 a	23,27 ± 3,97 b
	Fe	23,46 ± 5,86 a	90,76 ± 15,80 a	49,82 ± 7,47 a
	K	27,94 ± 6,91 a	92,05 ± 13,40 a	51,67 ± 15,10 a
	Kelpak	27,40 ± 3,25 a	103,63 ± 19,49 a	35,73 ± 22,97 ab
T&T	Контрола	34,68 ± 8,42 a	143,17 ± 20,07 a	55,33 ± 8,87 a
	Fe	28.96 ± 5,14 a	143,47 ± 15,45 a	50,67 ± 13,57 a
	K	29.34 ± 4,23 a	114,41 ± 9,59 b	56,73 ± 19,18 a
	Kelpak	27.17 ± 4,89 a	109.92 ± 12,63 b	69,92 ± 8,18 a

Резултати су приказани као средња вредност ± SE (n = 5). Различита слова у оквиру исте колоне означавају статистички значајне разлике између третмана у оквиру исте сорте и жетве, утврђене Tukey HSD *post hoc* тестом ($p < 0,05$).

Утицај примењених фолијарних ђубрива на принос сорте Marte варирали су међусобно али и у оквиру реда жетве. У првој жетви није утврђен статистички значајан утицај фолијарних третмана на принос листова. Насупрот томе, у другој жетви уочене је пораст приноса код свих третмана и статистички значајне разлике међу њима, при чему је третман са калијумом остварио највише вредности приноса (112,55 g/контејнер) у односу на контролу (87,05 g/контејнер), Fe (71,49 g/контејнер) и Kelpak (76,79 g/контејнер) третмане који се међусобно нису статистички разликовали. У трећој жетви принос листова био је нижи у односу на други откос код свих третмана, при чему су разлике између њих биле мање изражене. У последњој жетви принос код биљака третираних Kelpak-ом био је најнижи (35,07 g/контејнер) и статистички се разликовао од осталих третмана.

У првој и другој жетви сорте Venere нису утврђене статистички значајне разлике у приносу листова између примењених фолијарних третмана ($p > 0,05$). Насупрот томе, у трећој жетви утврђене су статистички значајне разлике у приносу сходно третманима, при чему су третмани са Fe (49,82 g/контејнер) и K (51,67 g/контејнер) остварили значајно већи принос у односу на контролу (23,27 g/контејнер), док је третман са Kelpak третманом (35,73 g/контејнер) имао интермедијарне вредности.

Примењени фолијарни третмани нису показали статистички значајан утицај у првој и последњој жетви сорте T&T. У другој жетви, највиши принос остварен је код контролних биљака (143,17 g/контејнер), као и третмана са Fe (143,47 g/контејнер), док су ефекти K (114,41 g/контејнер) и биостимулатора (109.92 g/контејнер) имали значајно ниже вредности приноса.

На основу добијених резултата може се закључити да утицај фолијарних третмана на принос листова дивље руколе није униформан, већ зависи од реда жетве и генотипа. Изостанак статистички значајних разлика у првој жетви код свих сорти указује да у раној

фази вегетације потенцијал приноса превасходно одређују генотип и иницијални раст, док је утицај фолијарне прихране ограничен. Насупрот томе, у другој жетви, која представља фазу максималне продуктивности, ефекти третмана постају благо израженији и сортно специфични, што је посебно уочено код сорте Marte, код које је третман калијумом значајно повећао принос у односу на остале третмане. У трећој жетви уочен је пад приноса код свих сорти разлике између третмана биле су мање изражене или селективне, што указује на смањену ефикасност фолијарне прихране у каснијим фазама производног циклуса. Такође, различити обрасци одговора сорти на примењене третмане, посебно у другој и трећој жетви, потврђују значај интеракције третман × жетва × генотип, што указује да оптимизација фолијарне прихране мора бити прилагођена конкретној сорти и фази производње. У истраживању Tallarita et al. (2025) анализиран је утицај производног циклуса и фолијарних третмана селеном, јодом и њиховом комбинацијом на принос лисне масе сорте Marte, при чему није утврђена статистички значајна интеракција између посматраних фактора. Иако је ефекат сезоне био изражен, фолијарни третмани су довели до повећања приноса и њихов утицај био је конзистентан. Овакви резултати допуњују разумевање генотип-специфичног одговора дивље руколе на поједина фолијарна ђубрива и потенцијалну повезаност са физиолошким и регулаторним механизмима, укључујући и оне који утичу на експресију гена и активност протеина што додатно наглашава значај прилагођавања фолијарне прихране конкретној сорти и фази производног циклуса (Li et al., 2020; Shankar et al., 2013; Wang et al., 2024). Образац утицаја агротехничких фактора на принос дивље руколе забележен је и код култивара Bologna, где је показано да различити режими ђубрења, укључујући органску и синтетичку прихрану, нису довели до статистички значајних разлика у укупном приносу (Precupeanu et al., 2025). Истовремено, аутори наводе да је принос значајно варирао у зависности од реда жетве, при чему је у каснијим откосима забележен изражен пад продуктивности што је у сагласности са налазима овог истраживања, где је принос дивље руколе превасходно био условљен жетвом и генотипом, док је утицај фолијарних третмана био умерен. Резултати двогодишњег истраживања указују да је ефикасност биостимулатора (протеински хидролизат и екстракти алги *Cystoseira tamariscifolia* и *Spirulina platensis*), на принос дивље руколе изражено повезан са култиваром (Mars, Naples, Tricia, Olivetta и Venice) и фазом производног циклуса, што је потврђено постојањем значајних међусобних интеракција (Tallarita, Simister, et al., 2025). У складу са тим, резултати дисертације показују да је и ефекат биостимулатора Kelpak био условљен култиваром и жетвом, при чему није дошло до конзистентног повећања приноса код свих испитиваних генотипова, што додатно потврђује да одговор дивље руколе на биостимулативне препарате зависи од комбинације генотипа, примењеног препарата и фазе производног циклуса. Такође, утицај фолијарних минералних ђубрива био је значајан на принос листова искључиво код сорте Venere у последњој жетви, иако су све биљке гајене у идентичним микроклиматским условима. Овакав одговор указује да микроклиматски фактори, пре свега повишене температуре и интензивнији светлосни услови карактеристични за каснију фазу вегетације (током летњих месеци), нису деловали као самосталан узрок, већ су, кроз повећану метаболичку активност биљака, у интеракцији са специфичним физиолошким особинама сорте Venere омогућили израженији одговор на примењене фолијарне третмане (Fernández et al., 2013) .

Сагледавајући укупне резултате и упоређујући их са доступном литературом, може се закључити да оптимизација приноса дивље руколе у практичним условима у већој мери зависи од избора одговарајућег култивара и стратегије жетве, док примена фолијарних препарата има допунску, а не пресудну улогу у формирању приноса.

5.1.2. Број листова

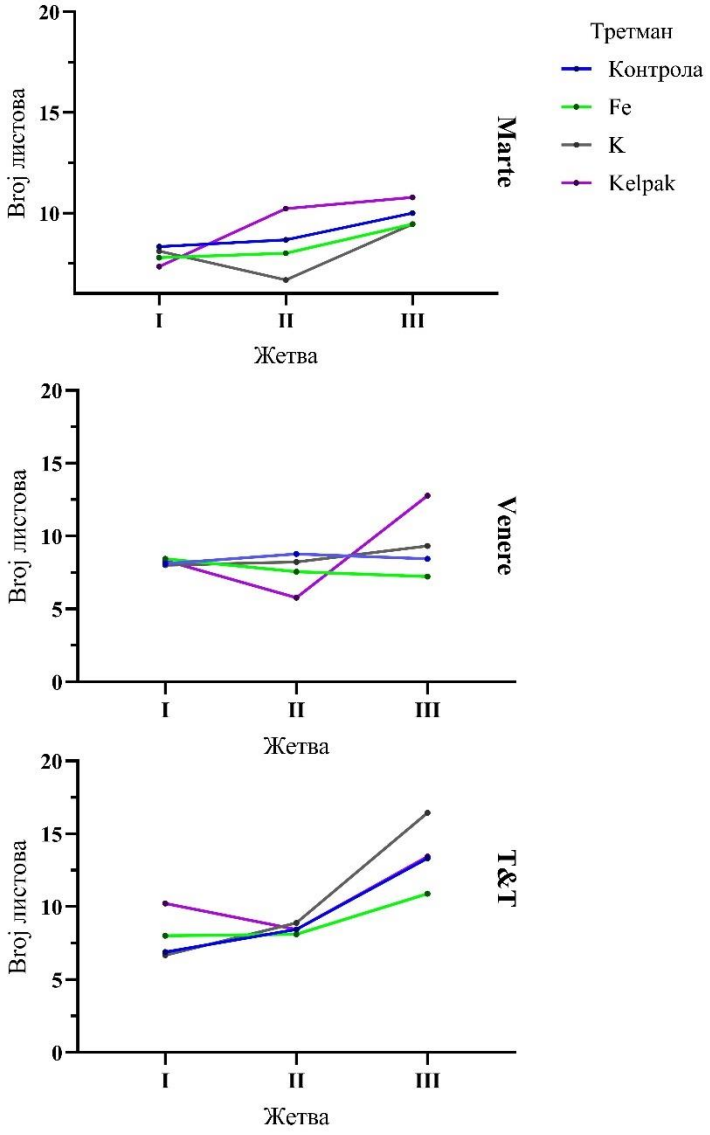
Број листова по биљци представља једну од основних морфолошких и продуктивних карактеристика биљака, која на непосредан начин представља индикатор њиховог вегетативног развоја (Farjon et al., 2021). Код лиснатих повртарских култура, а нарочито код дивље руколе овај параметар има посебан значај у условима сукцесивне жетве, будући да број формираних и обновљених листова одражава способност биљака за континуирани раст и опоравак након резидбе. С обзиром на ову специфичност врсте *D. tenuifolia*, број листова представља показатељ тока раста, физиолошког стања и продуктивног потенцијала биљака током различитих фаза пољопривредне производње.

По сличном поступку као код анализе приноса, резултати за број листова су подвргнути трофакторској анализи варијансе (**Табела 5**). Од главних ефеката фактора, сорта и ред жетве имали су веома статистички значајан утицај на број листова ($p < 0.001$), док је утицај третмана био статистички значајан, али мањег интензитета ($p < 0.05$) насупрот ситуације код приноса. Такође, утврђена је веома статистички значајна интеракција између сорте и жетве ($p < 0.001$). Интеракција између сорте и третмана, за разлику од резултата за принос, није била статистички значајна ($p > 0.05$). Трострука интеракција између сорте, термина жетве и третмана била је веома статистички значајна ($p < 0.01$) што указује да се ефекат фолијарних третмана не испољава једнако по сортама, већ зависи од фазе производног циклуса односно реда жетве. Овакав образац потврђује да је одговор биљака на примењене третмане селективан и фазно условљен, а не искључиво генотипски одређен.

Табела 5. Резултати трофакторске анализе варијансе (ANOVA) утицаја сорте, фолијарног третмана и сукцесивне жетве на број листова дивље руколе

Извор варијације	**df**	**F**	***p***
Третман	3	2,782	0,041*
Жетва	2	35,154	<0,001**
Сорта	2	8,699	<0,001**
Третман х жетва	6	2,178	0,045*
Третман х сорта	6	0,736	0,621
Жетва х сорта	4	6,788	<0,001**
Третман х жетва х сорта	12	2,641	0,002**

df – степен слободе; F – вредност Фишеровог F-теста; *p* – ниво статистичке значајности *$p < 0,05$ и ** $p < 0,01$



Слика 23. Интеракциони ефекти сорте, фолијарног третмана и сукцесивне жетве на број листова

Ради јаснијег сагледавања утицаја појединачних фактора и њихових интеракција, у односу на укупан ефекат приказан трофакторском анализом варијансе (**Табела 6**), Резултати указују да утицај фолијарних третмана на број листова није био једнак код свих сорти, већ је зависио од реда жетве. Код сорте Marte, број листова био је значајно условљен искључивом жетвом. Сличан образац уочен је и код сорте T&T, где је овај фактор имао доминантан утицај на број листова, док је ефекат фолијарног третмана био условљен истим. Насупрот томе, код сорте Venere утврђена је статистички значајна интеракција између фолијарних третмана и реда жетве, што указује да се ефекат третмана на број листова код ове сорте испољава селективно, у зависности од фазе производног циклуса. Овакви резултати потврђују налазе

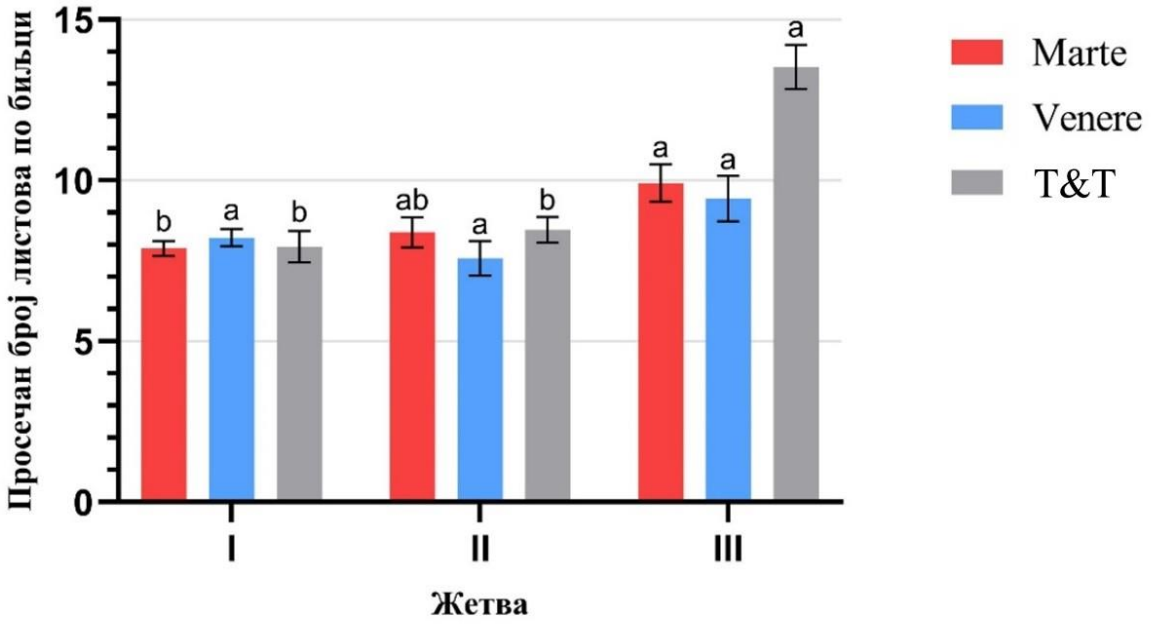
трофакторске анализе и указују да је утицај фолијарних третмана на број листова условљен откосима и генотипски специфичан, при чему се јаснији одговор испољава код сорте Venere.

Табела 6. Резултати двофакторске анализе варијансе (ANOVA) за број листова анализираних сорти у зависности од третмана и сукцесивне жетве

Сорта	**Извор варијације**	**df**	**F**	***p***
	Третман	3	1,387	0,251
Marte	Жетва	2	5,542	0,005**
	Третман х жетва	6	1,027	0,412
	Третман	3	0,743	0,529
Venere	Жетва	2	3,467	0,035*
	Третман х жетва	6	3,228	0,006**
	Третман	3	2,141	0,100
T&T	Жетва	2	38,095	<0,001**
	Третман х жетва	6	2,899	0,012*

df – степен слободе; F – вредност Фишеровог F-теста; *p* – ниво статистичке значајности *$p < 0,05$ и ** $p < 0,01$

Утицај сукцесивне жетве на број листова варирао је у зависности од сорте (**Слика 24**). У трећој жетви забележене су највише вредности броја развијених листова, при чему је код T&T сорте ова вредност била статистички значајно већа у односу на претходне откосе (13,35 ± 0,69). Насупрот томе, код сорте Venere нису утврђене статистички значајне разлике у броју листова између појединих жетви, што указује да ред жетве није представљао доминантан фактор варијабилности овог параметра код наведене сорте. Поред тога, између прве и друге жетве код свих испитиваних сорти нису уочене значајне разлике.



Слика 24. Утицај сукцесивне жетве на број листова код сорти Marte, Venere и T&T. Различита слова изнад колона означавају статистички значајне разлике између жетви у оквиру исте сорте, утврђене применом Games–Howell *post hoc* теста ($p < 0,05$)

Формирање листова код лиснатих култура представља процес који је у тесној вези са температурним условима, односно температурним сумама током вегетације које условљавају иницирање лисних примордија, при чему у условима повишених температура и брже акумулације долази до интензивнијег формирања листова (Fu, 2008; Schmidt et al., 2018). Према литературним наводима, ниже вредности филокрона код лиснатих култура повезују се са убрзаном појавом листова по јединици акумулиране температуре, што одражава већу активност меристема и израженију регенеративну способност након сукцесивне жетве (Fu, 2008). Поред утицаја температуре, сама жетва доводи до промена у грађи биљке, подстичући гранање и формирање већег броја листова. Сагледавајући резултате овог истраживања уочено повећање броја листова у каснијим жетвама, може се објаснити комбинованим дејством сукцесивне жетве и повољних температурних услова, који заједно омогућавају убрзано иницирање листова и интензивнију регенерацију лисне розете код испитиваних сорти. У истраживању у којем је као биљни материјал коришћен култивар Nature, највеће вредности броја листова и приноса забележене су током зимског производног циклуса (Caruso et al., 2020). Супротно томе, у овом истраживању уочено је да су највише вредности броја листова остварене у пролећно–летњем периоду, што указује да испитивани генотипови имају израженију способност интензивне регенерације листова у условима повишене температуре и инсолације. Позитиван ефекат сукцесивне жетве, као и виши температурни и светлосни услови, на формирање броја листова потврђени су и у истраживању спроведеном на култивару Apollo, где је у оквиру пролећног циклуса гајења утврђено да је друга жетва остварила већи број листова у односу на прву (Signore et al., 2023). Повећање броја листова у трећој жетви, уочено у овом истраживању, у сагласности је са резултатима El-Nakhel et al. (2023), код којих је најинтензивнији пораст броја листова дивље руколе по јединици

површине забележен у трећој и четвртој жетви. У литератури је показано да систем сукцесивне жетве („*cut and come again*“) може довести до варијабилности формираних листова у односу на једнократну жетву, при чему укупан број листова зависи од интеракције жетве и примењених третмана (Rodríguez-Hernández & Garmendia, 2025). Тако је код нетретираних биљака *Mesembryanthemum crystallinum* L. уочена изражена регенерација и већи број обновљених листова. Одсуство значајних разлика између жетви код сорте Venere указује на стабилнији образац раста, при чему откос не представља доминантан фактор који утиче на варијабилност ове особине. Такође, изостанак изражене разлике између прве и друге жетве код свих сорти сугерише да се ефекат поновљене жетве на број листова не показује у раној фази, већ постаје уочљив тек у каснијој вегетацији, и то у зависности од генотипа и сезоне. Овакви резултати потврђују да промене у броју листова код дивље руколе нису искључиво последица само жетве, односно реакције биљке на поновљени губитак лисне масе, већ и интеракције са генотипом и еколошких услова.

С обзиром на утврђену статистичку значајност интеракције између третмана и реда жетве код сорти Venere и T&T, у наставку је анализиран утицај третмана у оквиру појединачних жетви (**Табела 7**). Иако код сорте Marte интеракција није била статистички значајна, резултати по појединачним жетвама су такође приказани ради компаративне анализе између сорти и потпунијег сагледавања евентуалних реакција на третмане.

Табела 7. Просечан број листова по сортаама и фолијарним третманима у три узастопне жетве

Сорта	Третман	Жетва I	Жетва II	Жетва III
Marte	**Контрола**	8,33 ± 0,47 a	8,67 ± 0,81 ab	10,00 ± 0,91 a
	Fe	7,78 ± 0,69 a	8,00 ± 0,33 ab	9,44 ± 1,48 a
	K	8,11 ± 0,42 a	6,67 ± 0,58 c	9,44 ± 1,09 a
	Kelpak	7,33 ± 0,17 a	10,22 ± 1,38 a	10,78 ± 1,23 a
Venere	**Контрола**	8,11 ± 0,45 a	8,78 ± 1,82 a	8,44 ± 1,41 ab
	Fe	8,44 ± 0,84 a	7,56 ± 0,53 a	7,22 ± 0,49 b
	K	8,00 ± 0,50 a	8,22 ± 0,72 a	9,33 ± 1,08 ab
	Kelpak	8,33 ± 0,33 a	5,78 ± 0,59 a	12,78 ± 1,81 a
T&T	**Контрола**	6,89 ± 0,70 a	8,44 ± 0,87 a	13,33 ± 1,05 ab
	Fe	8,00 ± 0,33 a	8,11 ± 0,48 a	10,89 ± 1,01 b
	K	6,67 ± 0,58 a	8,89 ± 1,10 a	16,44 ± 1,85 a
	Kelpak	10,22 ± 1,38 a	8,44 ± 0,80 a	13,44 ± 0,87 ab

Вредности су приказане као средња вредност ± SE (n = 9). Различита слова у оквиру исте колоне (a до c) означавају статистички значајне разлике између третмана у оквиру исте сорте и жетве, утврђене применом Tukey HSD *post hoc* теста ($p < 0,05$)

Ефекат третмана није био значајан у првој и другој жетви листова дивље руколе, док се у трећој утицај примењених ђубрива био подједнаког значаја или нижи у односу на контролу. У истраживању Moura et al. (2025) спроведеном на Ipyporã (*Urochloa brizantha* × *Urochloa zizizensis*) и Zuri (*Megathyrsus maximus* Jacq. cv. Zuri) травама, фолијарна прихрана азотом није имала значајан утицај на број листова у условима ниске или одсутне азотне прихране преко земљишта, док је ефекат био испољен искључиво у комбинацији са високим нивоом азота у земљишту, без повећања укупне биомасе. Ограничен одговор биљака на

фолијарну прихрану аутори објашњавају ниским примењеним концентрацијама фолијарних препарата, практикованих ради избегавања фитотоксичности, међутим недовољне да услове значајније физиолошке и продуктивне ефекте. Значај улоге концентрације примењених нутријената потврђују и резултати истраживања на врсти *Vigna unguiculata* L., у којима је фолијарна примена калијума и гвожђа у највишем анализираном нивоу концентрације (3000 K mg/L и 400 Fe mg/L) довела до статистички значајног повећања броја листова по биљци у односу на ниже концентрације и контролу (Jamel et al., 2025). Такође, на култивисаној руколи није утврђен статистички значајан утицај различитих доза азота и калијума (у облику KCl и K_2SO_4) на број листова (Nurzyńska-Wierdak, 2009).

Изостанак одговора формирања броја листова на фолијарну примену гвожђа може се довести у везу са ограниченом ремобилизационом способношћу Fe у биљци, услед чега нутријент остаје претежно локализован у листу као органу апликације и слабо је доступан зонама активног раста, као што су апикални меристем и чвор бокорења (Krishnasree et al., 2021). Поред тога, слаб ефекат ђубрива у летњем периоду може бити повезан и са анатомским адаптацијама листа на повишене температуре. Према наводима из литературе, биљке изложене високим температурама могу формирати листове са смањеним бројем стома, што представља адаптивни механизам за очување водног статуса, стога овакве промене у стомалној структури могу ограничити ефикасност усвајања нутријената фолијарним путем и допринети слабијем одговору на примењене третмане (Giannoutsou et al., 2025). Такође, повишене температуре саме по себи могу условити смањење стомалне проводљивости, чак и код биљака које нису изложене водном стресу. При високим температурама биљке реагују затварањем стома и смањењем физиолошке активности, што може ограничити фолијарно усвајање нутријената. Стога, топлотни стрес може делимично објаснити слабији ефекат фолијарних третмана током летњег периода (Marchin et al., 2022). Иако је у појединим истраживањима наведено да примена различитих биостимулатора може довести до повећања броја листова код дивље руколе, ови ефекти су нису уједначени за све препарате. У студији El-Nakhel et al. (2023) наведено је да је укупни број листова повећан у просеку за 27,8% у односу на контролу, али су статистички значајне разлике утврђене само код појединих формулација (*Carrier Top*-ензимски хидролизат врста из фамилије Fabaceae и *StimoloMo*-екстракт луцерке, алги (*Ecklonia* spp.) и меласе богате нискомолекулским аминокиселинама), док код осталих биостимулатора ефекат није био изражен. С тим у вези може се закључити да одговор на биостимулаторе у великој мери зависи од састава препарата, што је у сагласности са налазима овог истраживања, у којем примена биостимулатора на бази *E. maxima* није довела до значајних промена у броју листова у појединачним жетвама Venere и T&T. Међутим, у другој жетви код сорте Marte уочено је повећање броја листова након примене Kelpak-a. Према Khan et al. (2009), присуство ауксина и цитокинина у екстрактима браон алги доводи до повећања броја листова и убрзаног вегетативног развоја биљака. Аутори такође указују да поред поменутог побољшавају развој кореновог система и ефикасност усвајања минералних материја, што може омогућити интензивнију синтезу новог листног ткива у условима поновне регенерације. Стога се уочено повећање броја листова у другој жетви код биљака третираних Kelpak-ом, може тумачити као резултат комбинованог хормонског и посредно нутритивног утицаја биостимулатора.

Ови налази потврђују да је одговор броја листова на фолијарну прихрану варијабилан и снажно зависан од формулације препарата и услова производње.

5.1.3. Лисна површина

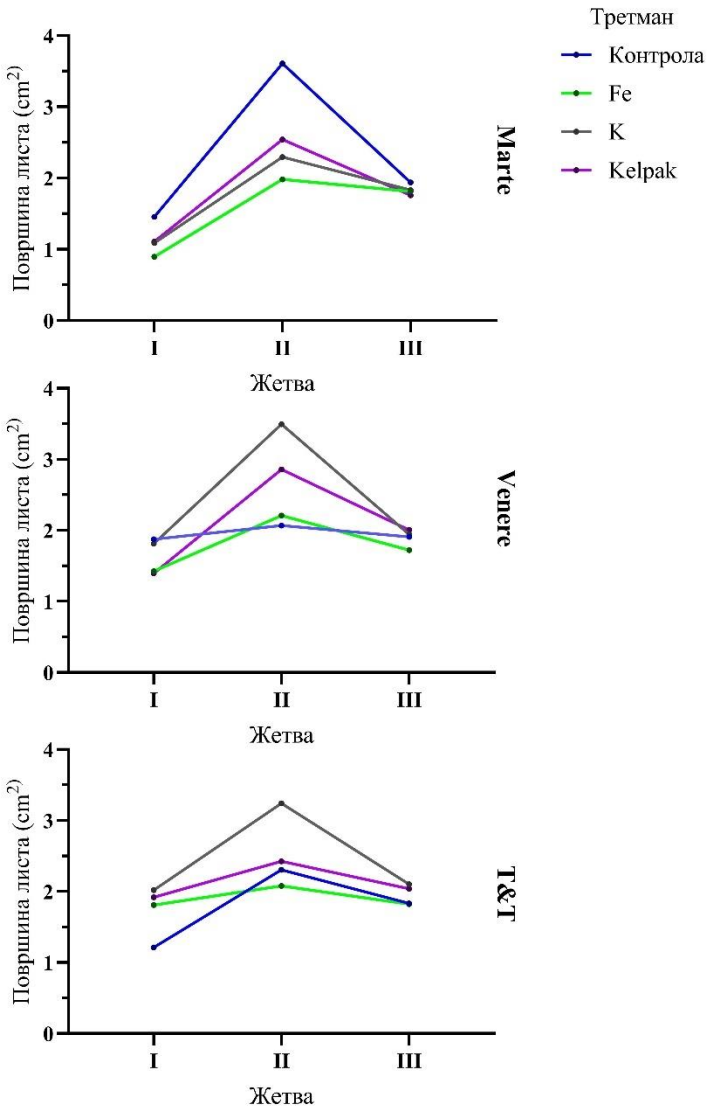
У систему гајења дивље руколе, величина лисне површине представља директан одраз интензитета вегетативног раста и формирања тржишно релевантног приноса. Овај параметар је условљен како агроеколошким факторима и применом фолијарних третмана, тако и генотипским карактеристикама сорте. Истовремено, промене у величини одражавају способност биљке да одговори на примењене агротехничке мере. С обзиром на то да површина листова одређује капацитет фотосинтетичке активности, она може посредно утицати на продуктивност и регенерацију након откоса, што је од посебног значаја у системима више узастопних жетви. Овај основни процес обезбеђује асимилате и прекурсоре неопходне за метаболичке процесе у листу. Стога анализа овог параметра пружа основу за потпуније сагледавање не само продуктивности, већ и биохемијског статуса листа који ће касније бити разматран.

У оквиру овог истраживања, лисна површина показала је високу осетљивост на испитиване факторе, будући да су сорта, третман и ред жетве имали статистички веома значајан утицај ($p < 0,001$) **(Табела 8)**. Истовремено, значајне интеракције између фактора указују на комплексну природу одговора, при чему се интензитет деловања третмана разликовао у зависности од сорте и реда жетве (**Слика 25**).

Табела 8. Резултати трофакторске анализе варијансе (ANOVA) утицаја сорте, фолијарног третмана и сукцесивне жетве на лисну површину дивље руколе

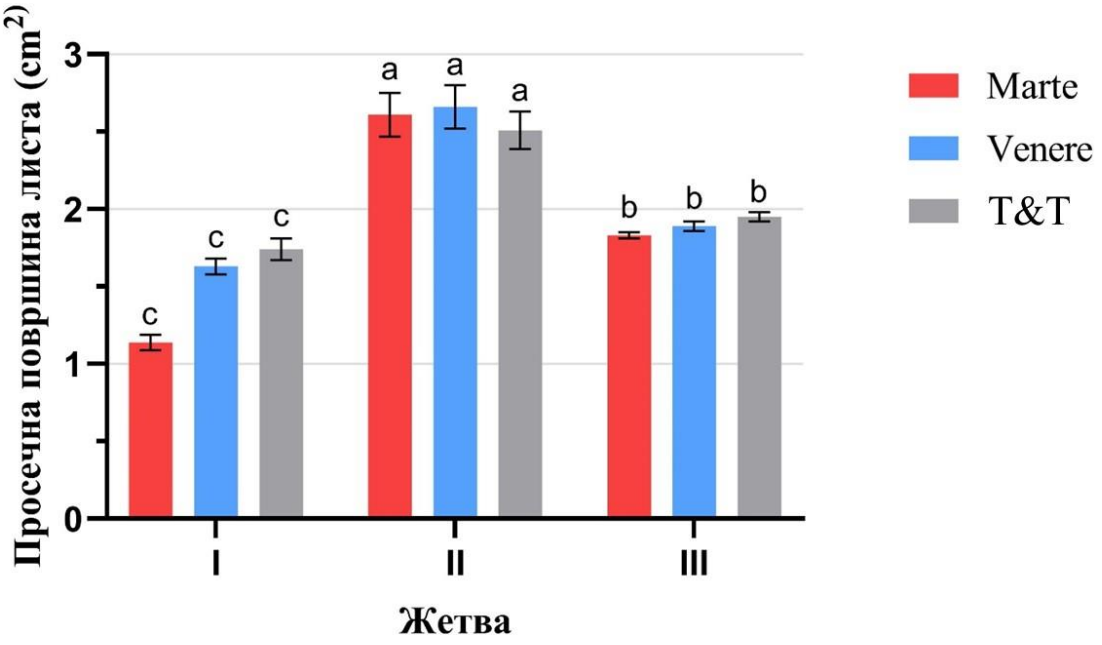
Извор варијације	**df***	**F**	***p***
Третман	3	84.067	<0,001**
Жетва	2	989.748	<0,001**
Сорта	2	45.059	<0,001**
Третман х жетва	6	23.516	<0,001**
Третман х сорта	6	66.847	<0,001**
Жетва х сорта	4	37.658	<0,001**
Третман х жетва х сорта	12	33.355	<0,001**

df – степен слободе; F – вредност Фишеровог F-теста; p – ниво статистичке значајности *$p < 0,05$ и **$p < 0,01$



Слика 25. Интеракциони ефекти сорте, фолијарног третмана и сукцесивне жетве на површину листова

Утицај сукцесивне жетве на просечну лисну површину испољио се конзистентно код све три испитиване сорте (**Слика 26**). Највише вредности утврђене су у другој жетви, док су у првој забележене најниже вредности, без обзира на генотип. Овај тренд подудара се са претходно анализираним лисним приносом кроз откосе.



Слика 26. Утицај сукцесивне жетве на лисну површину код сорти Marte, Venere и T&T. Различита слова изнад колона означавају статистички значајне разлике између жетви у оквиру исте сорте, утврђене применом Games–Howell *post hoc* теста ($p < 0,05$)

Овакав одговор указује на изражен утицај сезонских фактора, пре свега температуре и фотопериода, на морфогенезу листа. Сличан образац забележен је и код врсте *Diplotaxis erucoides* (L.) DC., где су у пролећном циклусу гајења регистроване веће вредности лисне површине у односу на зимски период, како на отвореном пољу тако и у заштићеном простору (Guijarro-Real et al., 2019). Наведени аутори истичу да су листови у зимском циклусу били мањи, што се доводи у везу са нижим температурама и краћом дужином дана. Иако је у овом истраживању реч о различитом експерименталном приступу (одвојени сезонски циклуси у односу на сукцесивне жетве у оквиру истог усева), добијени резултати указују на конзистентан сезонски ефекат повећања лисне површине у ситуацијама повољнијих фототермалних услова. Додатно, у контролисаним условима гајења *D. tenuifolia* утврђена је снажна позитивна корелација између интензитета фотосинтетички активног зрачења, посебно у црвеном спектру (PPFD_R), и развоја лисне површине (Stajnko & Kelc, 2023), што указује да повећан светлосни интензитет представља значајан стимулус експанзије листа. У истраживању Signore et al. (2023) друга жетва дивље руколе реализована крајем априла била је праћена готово двоструко већом вредношћу дневне суме фотосинтетички активног зрачења (DLI) (15.6 у односу на 8.96 mol/(m²d) у периоду прве жетве), што је било повезано са већом лисном површином у односу на први откос. Наведени термин друге жетве поклапа се са временским оквиром другог откоса у овој дисертацији. Смањење лисне површине у трећем откосу, у односу на други, може се довести у везу са постепеним смањењем регенеративног потенцијала биљке након уклањања листова, као и са променом еколошких услова у каснијем делу производног циклуса. Након максимума оствареног у другом откосу, који је временски одговарао оптималном пролећном периоду, трећа жетва може одражавати комбинацију физиолошког замора и потенцијалног утицаја повишених температура. Ипак, вредности

лисне површине у трећем откосу остале су више у односу на први, што указује на значај већ формираног кореновог система и стабилизованог вегетативног раста у каснијим фазама производње.

Утицај третмана на лисну површину испољио се различито код испитиваних сорти и у различитим жетвама, без јасно дефинисаног обрасца (**Табела 9**).

Табела 9. Просечна лисна површина (cm^2) испитиваних сорти у три узастопне жетве по фолијарним третманима

Сорта	Третман	Жетва I	Жетва II	Жетва III
Marte	**Контрола**	1,45 ± 0,03 a	3,61 ± 0,04 a	1,94 ± 0,04 a
	Fe	0,89 ± 0,04 b	1,98 ± 0,07 b	1,81 ± 0,03 a
	K	1,08 ± 0,04 b	2,29 ± 0,09 bc	1,83 ± 0,02 a
	Kelpak	1.11 ± 0,06 b	2,54 ± 0,11 b	1,76 ± 0,04 a
Venere	**Контрола**	1,87 ± 0,04 a	2,07 ± 0,06 c	1,91 ± 0,02 a
	Fe	1,42 ± 0,03 b	2,21 ± 0,09 c	1,72 ± 0,02 b
	K	1,81 ± 0,03 a	3,49 ± 0,18 a	1,94 ± 0,01 a
	Kelpak	1.40 ± 0,08 b	2,86 ± 0,10 b	2,00 ± 0,04 a
T&T	**Контрола**	1,21 ± 0,02 c	2,31 ± 0,09 c	1,83 ± 0,05 b
	Fe	1,81 ± 0,04 b	2,08 ± 0,08 b	1,82 ± 0,04 b
	K	2,02 ± 0,03 a	3,24 ± 0,08 a	2,10 ± 0,02 a
	Kelpak	1,92 ± 0,04 ab	2,43 ± 0,08 c	2,04 ± 0,02 ab

Вредности су приказане као средња вредност ± SE (n = 5). Различита слова у оквиру исте колоне (a, b, c) означавају статистички значајне разлике између третмана у оквиру исте жетве и сорте, утврђене Games–Howell *post hoc* тестом ($p < 0,05$)

Код сорте Marte, у првој жетви највише вредности забележене су код контроле (1,45 cm^2), док су третмани Fe (0,89 cm^2) и Kelpak (1.11 cm^2) довели до статистички значајно нижих вредности. У другој жетви уочено је повећање лисне површине код свих варијанти, при чему је третман Kelpak (2,54 cm^2) испољио више вредности у односу на Fe (1,98 cm^2) и K (2,29 cm^2). У трећој жетви разлике између третмана нису биле статистички значајне.

Код сорте Venere третман калијумом испољио је најизраженији ефекат у другој жетви, где је остварио статистички значајно више вредности у односу на остале варијанте. У првој жетви калијум је био међу највишим вредностима (1,81 cm^2), али без разлике у односу на контролу (1,87 cm^2), као и у трећој жетви.

Код сорте T&T уочен је релативно конзистентнији одговор на примену фолијарних третмана. Третман калијумом остварио је највише вредности лисне површине у све три жетве, док је Fe група постојано заузимала међупозицију између калијума и контроле. Контролна варијанта показала је најниже вредности у првој и другој жетви, док су у трећој жетви вредности Fe и контроле биле уједначене. Овакав релативно стабилнији ефекат третмана није уочен код осталих испитиваних сорти.

Ови резултати указују да је ефекат фолијарне прихране на лисну површину варијабилан и зависи од генотипа, фазе развоја и физиолошког статуса биљке. Док сорта Marte није показала конзистентан позитиван одговор на примењене третмане, што може

указивати на висок основни потенцијал за формирање лисне површине. Сорте Venere и T&T испољиле су израженији одговор, посебно у другој жетви, где је третман калијумом условио повећање лисне површине у односу на контролу. Улога калијума у регулацији тургора и експанзији ћелија може објаснити ову појаву, нарочито у условима интензивног пролећног раста (Ahmad & Maathuis, 2014; Hu et al., 2020; Sustr et al., 2019). Krishnasree et al. (2021) у прегледу о фолијарној прихрани код повртарских врста наводе да фолијарни третмани представљају допуну ђубрења преко земљишта, чија ефикасност зависи од стадијума раста, физиолошког стања биљке и појаве дефицита хранива. У складу са тим, изостанак израженијег ефекта Fe третмана на лисну површину у овом огледу може указивати да у условима гајења није постојало ограничење у снабдевању гвожђем, те да додатна фолијарна апликација није представљала фактор који би стимулисао експанзију листа. Такође је могуће да примена фолијарних третмана није довела до повећања лисне површине код свих сорти услед различитих стратегија алокације асимилата. Код појединих генотипова додатно усвојени елементи могли су бити усмерени ка одржавању метаболичке активности или другим физиолошким процесима, а не ка повећању површине листа.

Стога се може закључити да лисна површина дивље руколе представља генотипски специфичан морфолошки показатељ, чија динамика у условима сукцесивних жетви одражава комплексну интеракцију еколошких услова, регенеративног потенцијала биљке и ефикасности примењених фолијарних третмана.

5.1.4. Индекс лисне површине (LAI)

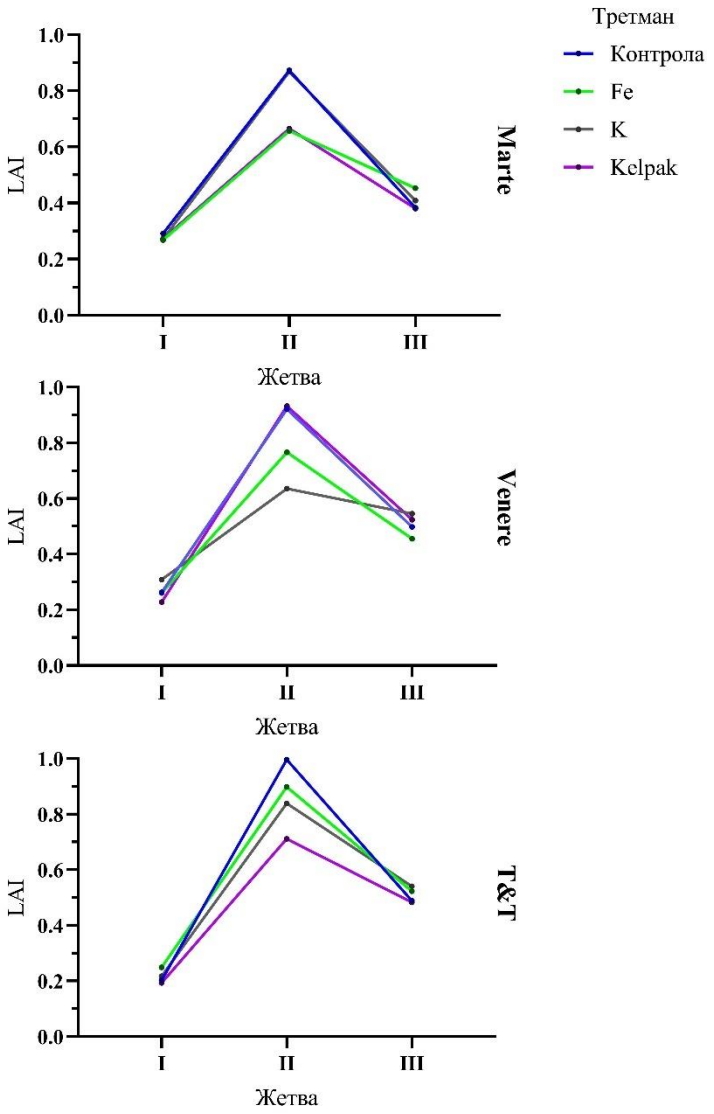
Индекс лисне површине (*Leaf Area Index*, LAI) описује структуру и продуктивни потенцијал биљног склопа. Као показатељ укупне лисне површине по јединици површине под засадом, LAI омогућава процену интензитета фотосинтетичке активности, акумулације надземне биомасе а са тим и динамике формирања приноса (Ma et al., 2023). Промене у вредности овог параметра одраз су климатских фактора, односно локалних услова средине, плодности земљишта и режима исхране, фазе развоја и старости склопа, као и примењених агротехничких мера. Повећање или смањење вредности LAI директно одражава способност усева да ефикасно користи светлост и ресурсе из средине, што га чини важним индикатором ефеката примењених третмана, укључујући и фолијарну прихрану. С тим у вези код лиснатих повртарских култура, посебно у системима са више узастопних жетви, може указивати на интензитет обнове лисне масе и динамику раста након откоса. Такође, Precupeanu et al. (2025) пратили су овај параметар као продуктивни показатељ утицаја ђубрења на дивљу руколу.

Статистички значајан ефекат фолијарних третмана, сукцесивне жетве, сорте, и њихових интеракција потврђује да се вредности LAI формирају као резултат сложеног и вишефакторског утицаја испитиваних фактора **(Табела 10)**, док **Слика 27** илуструје промене вредности овог параметра.

Табела 10. Резултати трофакторске анализе варијансе (ANOVA) утицаја фолијарног третмана, сукцесивне жетве и сорте, на LAI дивље руколе

Извор варијације	**df**	**F**	***p***
Третман	3	3,004	0,036*
Жетва	2	520,695	<0,001**
Сорта	2	4,485	0,015*
Третман х жетва	6	3,861	0,002**
Третман х сорта	6	2,665	0,022*
Жетва х сорта	4	5,035	0,001**
Третман х жетва х сорта	12	3,294	0,001**

df – степен слободе; F – вредност Фишеровог F-теста; *p* – ниво статистичке значајности *$p < 0,05$ и ** $p < 0,01$



Слика 27. Интеракциони ефекти сорте, фолијарног третмана и сукцесивне жетве на индекс лисне површине (LAI)

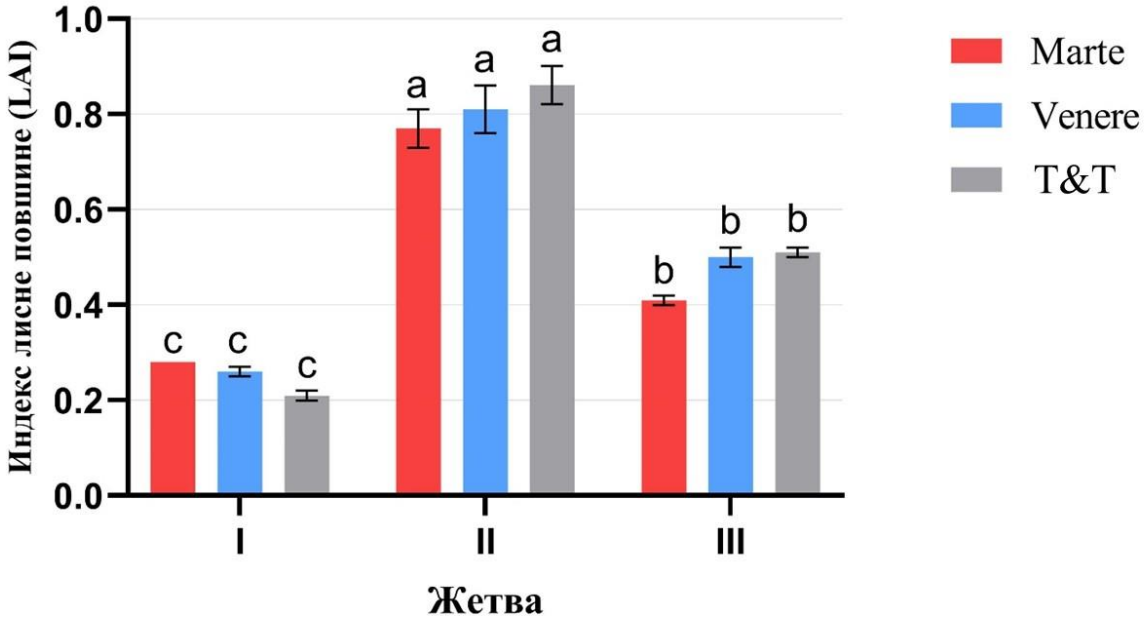
Овај комплексни однос посматран је разложен кроз кроз сваку испитивану сорту **(Табела 11)** Код сорте Venere уочено је одсуство значаја фолијарног третмана и тенденција ка интеракционом ефекту третмана и жетве (p = 0,053), без достизања нивоа статистичке значајности.

Табела 11. Резултати двофакторске анализе варијансе (ANOVA) за LAI испитиваних сорти у зависности од третмана и реда жетве

Сорта	Извор варијације	df	F	*p*
Marte	Третман	3	6,614	0,002**
	Жетва	2	365,433	<0,001**
	Третман х жетва	6	7,978	<0,001**
Venere	Третман	3	1,183	0,337
	Жетва	2	82,597	<0,001**
	Третман х жетва	6	2,471	0,053
T&T	Третман	3	5,484	0,005**
	Жетва	2	360,202	<0,001**
	Третман х жетва	6	23,954	0,007**

df – степен слободе; F – вредност Фишеровог F-теста; *p* – ниво статистичке значајности *$p < 0,05$ и ** $p < 0,01$

Жетва и климатски услови сезоне гајења значајни су без обзира на генотип. Штавише, у другој жетви остварен је најгушћи склоп листова, док је у трећој забележено смањење ове вредности, а најређи распоред листова уочен је у првој жетви (**Слика 28**).



Слика 28. Утицај сукцесивне жетве на индекс лисне површине (LAI) код сорти Marte, Venere и T&T. Различита слова изнад колона означавају статистички значајне разлике између жетви у оквиру исте сорте, утврђене применом Games–Howell *post hoc* теста ($p < 0,05$)

Променљивост овог параметра кроз сукцесивне жетве може се објаснити старошћу склопа и ефектом поновљених откоса, али и различитим климатским условима током

производног циклуса. Parker (2020) сугерише да су вредности LAI условљене доступношћу светлости током периода раста, при чему је његов максимум ограничен способношћу склопа да одржи фотосинтетичку активност изнад компензационе тачке. Такође, према наводима Zhou et al. (2024) вредности LAI уско су повезане са режимом пресретања и расподеле светлости унутар склопа. Поред светлости, значајну улогу има и температурни режим, будући да је у појединим истраживањима утврђена статистички значајна позитивна корелација између LAI и температуре ваздуха, са високим вредностима коефицијента корелације за максималну, средњу и минималну температуру (Öztürk et al., 2015). Eşiyok et al. (2013) испитујући култивисану руколу, указују да продужени период ниских температура негативно утиче на клијање, ницање и интензитет вегетативног раста што може ограничити развој лиснног склопа.У условима стакленичке производње, иако су екстремни климатски утицаји ублажени, сезонске варијације температуре и интензитета светлости и даље могу значајно утицати на биљни склоп.

С тим у вези, прва жетва реализована је у зимском периоду, када су ниже температуре и смањен интензитет светлости ограничавали интензитет фотосинтетичке активности и формирање лисне површине, што је резултирало најнижим вредностима LAI. У другој жетви, која је временски одговарала одмицању ка пролећу, повољнији температурни услови и продужено трајање дана допринели су интензивнијем порасту и развоју лисне масе. Поред тога, комбиновано дејство погодних климатских услова, развијеног кореновог система након првог откоса и појачане регенеративне активности склопа вероватно су условиле постизање високих вредности овог параметра уз ефикаснију алокацију асимилата ка новоформираним листовима. Са трећом жетвом, која се поклапала са уласком у најтоплији део године, уочено је смањење вредности LAI. Иако су температуре биле више, могуће је да су пораст температуре и промене у водном режиму, заједно са свеукупним ефектом више узастопних откоса, довели до делимичног ограничења формирања нове лисне површине као и постепеног смањења регенеративног потенцијала дивље руколе. Добијени резултати могу указивати на интеракцију климатских услова и физиолошког стања биљака у систему са сукцесивним жетвама.

Специфичност одговора генотипа на различите режиме прихране током производног циклуса приказани су у **Табели 12.**

Табела 12. Индекс лисне површине (LAI) испитиваних сорти у три узастопне жетве по фолијарним третманима

Сорта	Третман	Жетва I	Жетва II	Жетва III
Marte	**Контрола**	0,29 ± 0,00 a	0,87 ± 0,05 ab	0,38 ± 0,00 b
	Fe	0,27 ± 0,01 a	0,66 ± 0,01 b	0,45 ± 0,01 a
	K	0,27 ± 0,01 a	0,87 ± 0,02 a	0,41 ± 0,02 ab
	Kelpak	0,27 ± 0,00 a	0,66 ± 0,06 ab	0,38 ± 0,01 b
Venere	**Контрола**	0,26 ± 0,03 a	0,92 ± 0,02 a	0,50 ± 0,02 a
	Fe	0,26 ± 0,00 a	0,77 ± 0,17 ab	0,45 ± 0,02 a
	K	0,31 ± 0,01 a	0,63 ± 0,04 b	0,54 ± 0,04 a
	Kelpak	0,23 ± 0,02 a	0,93 ± 0,07 ab	0,52 ± 0,04 a
T&T	**Контрола**	0,20 ± 0,01 b	0,99 ± 0,07 a	0,49 ± 0,01 a
	Fe	0,25 ± 0,00 a	0,90 ± 0,02 a	0,52 ± 0,02 a
	K	0,22 ± 0,01 ab	0,84 ± 0,06 a	0,54 ± 0,02 a
	Kelpak	0,19 ± 0,01 b	0,71 ± 0,04 a	0,48 ± 0,04 a

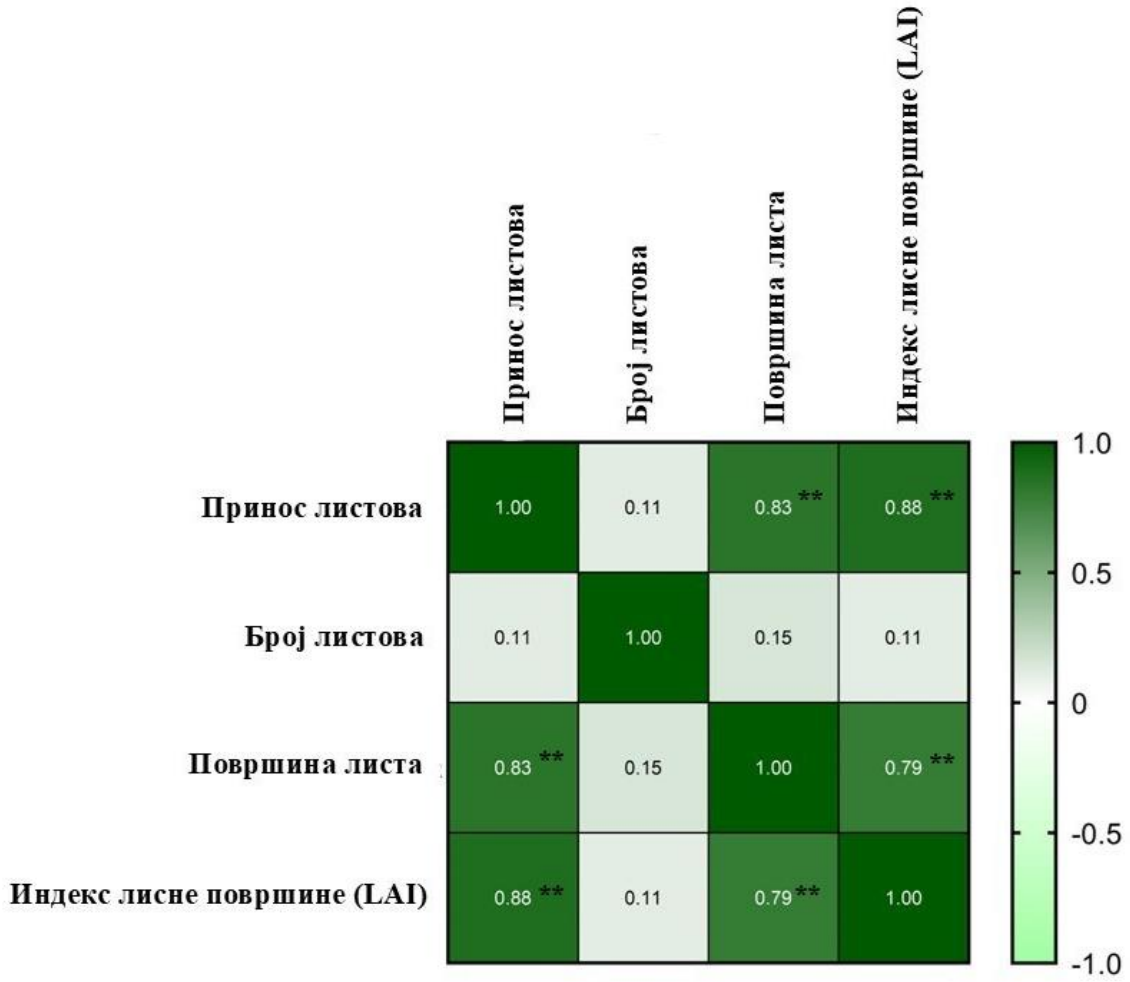
Вредности су приказане као средња вредност ± SE (n = 3). Различита слова у оквиру исте колоне (a и b) означавају статистички значајне разлике између третмана у оквиру исте жетве и сорте, утврђене Games–Howell *post hoc* тестом ($p < 0,05$)

У првој и другој жетви примењени фолијарни третмани нису се статистички значајно издвајали у односу на контролу ни код једне сорте. Тек у познијој фази вегетације, односно у трећој жетви, код сорте Marte уочен је значајан ефекат третмана гвожђем, који је резултирао вишим вредностима LAI у поређењу са контролом и осталим варијантама. Насупрот томе, код преосталих сорти није забележено статистички значајно испољавање ефекта примењених ђубрива. Као и код претходно анализираних параметара продуктивности, индекс лисне површине условљен је пресвега генотипом и фазом развоја, при чему се ефекат третмана испољио само у специфичној комбинацији сорте и жетве. Испољавање ефекта гвожђа у трећој жетви сорте Marte може се повезати са улогом његовом (гвожђа) у одржавању фотосинтетичке ефикасности, где је његова фолијарна примена допринела стабилизацији овог процеса и доприносу развитака новоформираних листова у овој фази производног циклуса. С обзиром да сличан ефекат није забележен код осталих сорти може се указати на постојање генотипске варијабилности у погледу искоришћавања примењеног микроелемента и различитог физиолошког одговора. Резултати овог истраживања у сагласности су са наводима Precupeanu et al. (2025) који су на култивару дивље руколе Bologna показали да различити режими ђубрења, процењени путем индекса лисне површине, нису довели до статистички значајних промена овог параметара. У наведеном истраживању примењена је органска (пилећи стајњак) и минерална (растворљиви NPK) прихрана путем земљишта, што указује да, без обзира на начин апликације, режим ђубрења није увек пресудан фактор варијабилности LAI код ове врсте.

5.1.5. Међусобни односи параметара продуктивности – корелациона и PCA анализа

У циљу детаљног сагледавања међусобних односа између параметара продуктивности, спроведене су корелациона анализа и анализа главних компоненти (PCA). Будући да принос, број листова, лисна површина и LAI представљају међусобно повезане

морфолошке показатеље, неопходно је утврдити степен њихове повезаности и идентификовати доминантне факторе варијабилности у испитиваном систему узгајања дивље руколе. Корелациона анализа омогућила је квантитативну процену јачине и правца веза између појединачних параметара **(Слика 29)**, док је PCA **(Слика 30)** анализа примењена у циљу редукције података и издвајања главних компоненти које највише доприносе укупној промењивости продуктивних карактеристика. На **Слици 29** приказани су Спирманови коефицијенти корелације (ρ), израчунати на основу средњих вредности (n = 36), при чему су статистички значајне корелације означене са ** ($p < 0,01$).

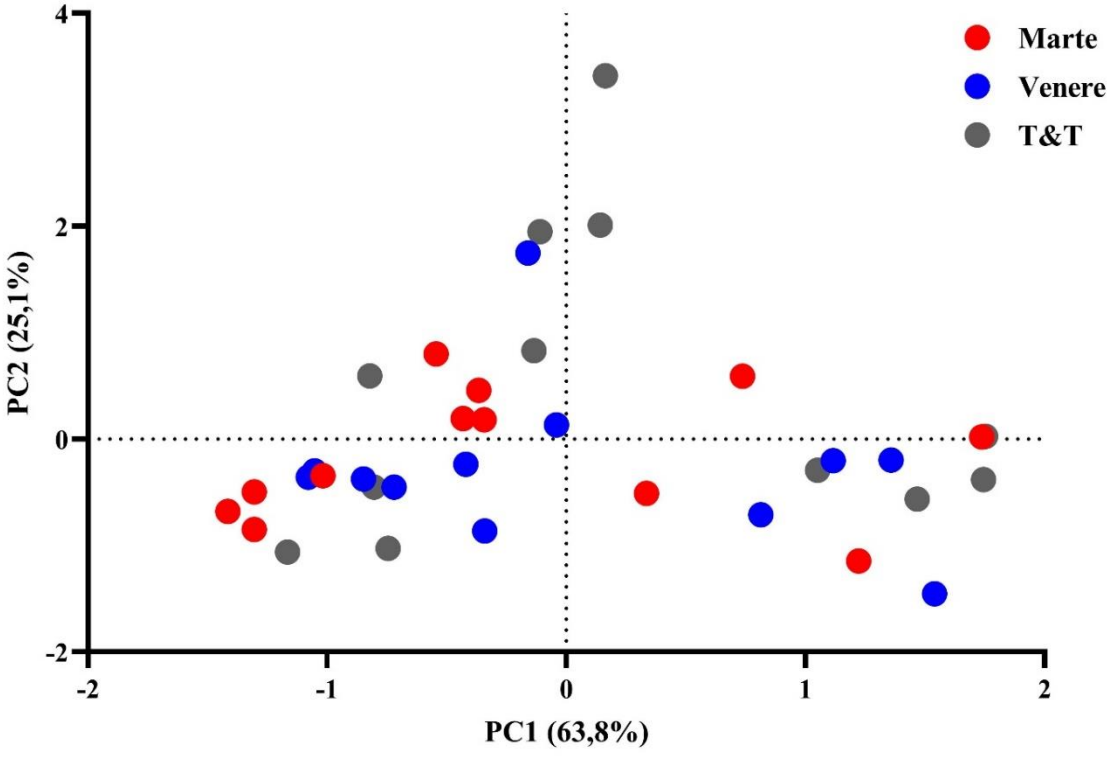


Слика 29. Спирманова корелациона матрица параметара продуктивности приказана као *heat map*

Heat map корелационих односа показује изражено груписање приноса, лисне површине и индекса лисне површине, што указује на њихову блиску и функционалну повезаност у формирању продуктивнности биљака. Интензивније обојене ћелије између ових параметара визуелно потврђују да повећање развијености лисне површине прати повећање оствареног приноса. Насупрот томе, број листова издваја се као параметар са слабијом повезаношћу у односу на остале карактеристике, што указује да сам број формираних листова

није пресудан за остварење већег приноса, већ да је значајнија укупна површина и степен развијености лисне масе. Сличан закључак наводе Corrado et al. (2020) истичући да повећање броја листова није аутоматски праћено већом масом листова и већом специфичном лисном површином код босиљка у систему поновљених жетви. Такође, у истраживању Smychkovich & Hashemi (2022) на купсњачи *Brassica oleracea var. gongylodes* утврђена је значајна повезаност приноса листова са лисном површином, док број листова није био статистички значајно повезан са приносом. Поред тога, код зелене и црвене салате је утврђено да су третмани ђубривима значајно утицали на свежу масу листова, док број листова није показивао статистички значајне промене, што додатно указује да варијације у приносу пре свега зависе од величине и масе листа, а не од њиховог броја (Won et al., 2025). Да лиснате културе показују овакав образац корелације потврђују и резултати код амаранта (обухваћено 14 линија и три комерцијална култивара), где број листова није био повезан са приносом, док су насупрот томе димензије листа показале значајну позитивну повезаност (Dinssa et al., 2018). Свеобухватно, ови налази додатно потврђују да параметри који одражавају ефикасност производње, као што су лисна површина и LAI, представљају поузданије показатеље продуктивности у односу на сам број листова. У том контексту, бројна истраживања истичу ова два претходно поменута параметра као најзначајније варијабле у расту и развићу биљака, као и предвиђању приноса (Rahimikhoob et al., 2023; Zhang et al., 2023).

PCA анализа је додатно потврдила уочену повезаност између приноса, лисне површине и LAI, издвајајући их као заједничку компоненту варирања.

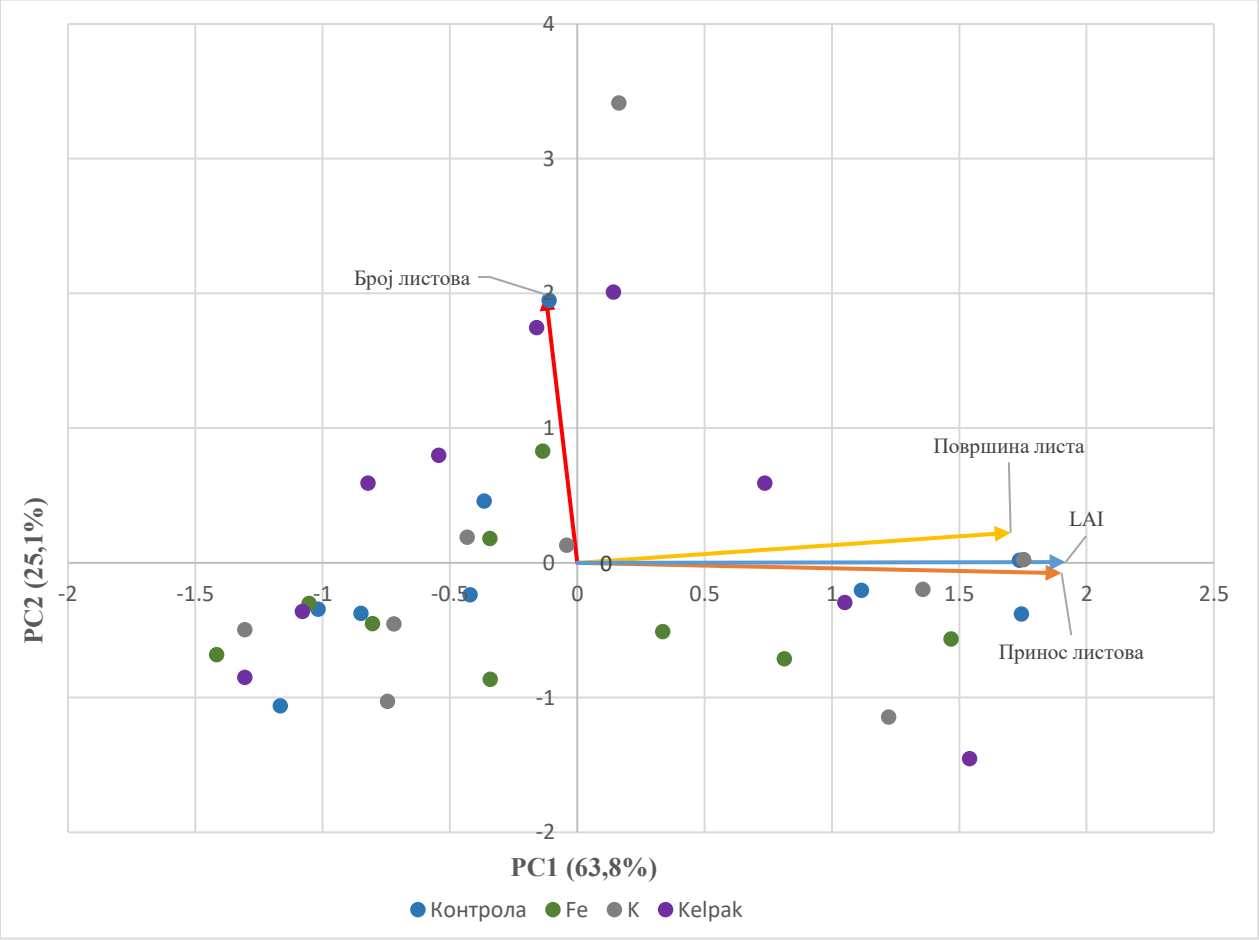


Слика 30. PCA графикон резултата заснован на параметрима продуктивности (принос, лисна површина, LAI и број листова) за сорте Marte, Venere и T&T

Прва главна компонента (PC1), која објашњава 63,8% варијансе, снажно је повезана са поменутим параметрима, те одражава ниво остварене продуктивности испитиваних сорти дивље руколе. Друга главна компонента (PC2), која објашњава 25,1% варијансе, превасходно је условљена бројем листова. За разлику од PC1, која описује интензитет развоја лисне масе и ниво приноса, PC2 указује на варијације у архитектури биљке, односно начину формирања листова, независно од укупне продуктивности. Заједно, ове две компоненте објашњавају 88,97% укупне варијабилности испитиваних података.

Слика 30 указује на делимично раздвајање сорти дуж PC1 осе, при чему сорте Venere и T&T показују тенденцију ка вишим вредностима ове компоненте, што одражава већу развијеност лисне површине, биљног склопа и количине приноса у односу на сорту Marte. Сорта TT се додатно издваја дуж PC2 осе, указујући на израженију варијабилност у броју листова. Ипак, присутно преклапање тачака између сорти указује да на испитиване параметре значајно утичу и други фактори, попут третмана и сукцесивне жетве.

PCA биплот додатно приказује односе између параметара продуктивности и расподелу узорака у зависности од примењених фолијарних третмана (**Слика 31**).



Слика 31. PCA биплот параметара продуктивности и расподеле узорака листова дивље руколе према фолијарним третманима

Вектори приноса листова, површине листа и LAI усмерени су у сличном правцу дуж позитивног дела PC1 осе, што указује на сличан образац њихове варијабилности и потврђује њихову међусобну повезаност. Насупрот томе, вектор броја листова усмерен је готово паралелно са позитивним делом PC2 осе, што потврђује да овај параметар превасходно доприноси варијабилности описаној другом главном компонентом. Расподела узорака према фолијарним третманима показује изражено преклапање Контроле, Fe, K и Kelpak третмана у простору прве две главне компоненте, без јасног издвајања појединачних третмана.

5.2. Хемијске анализе

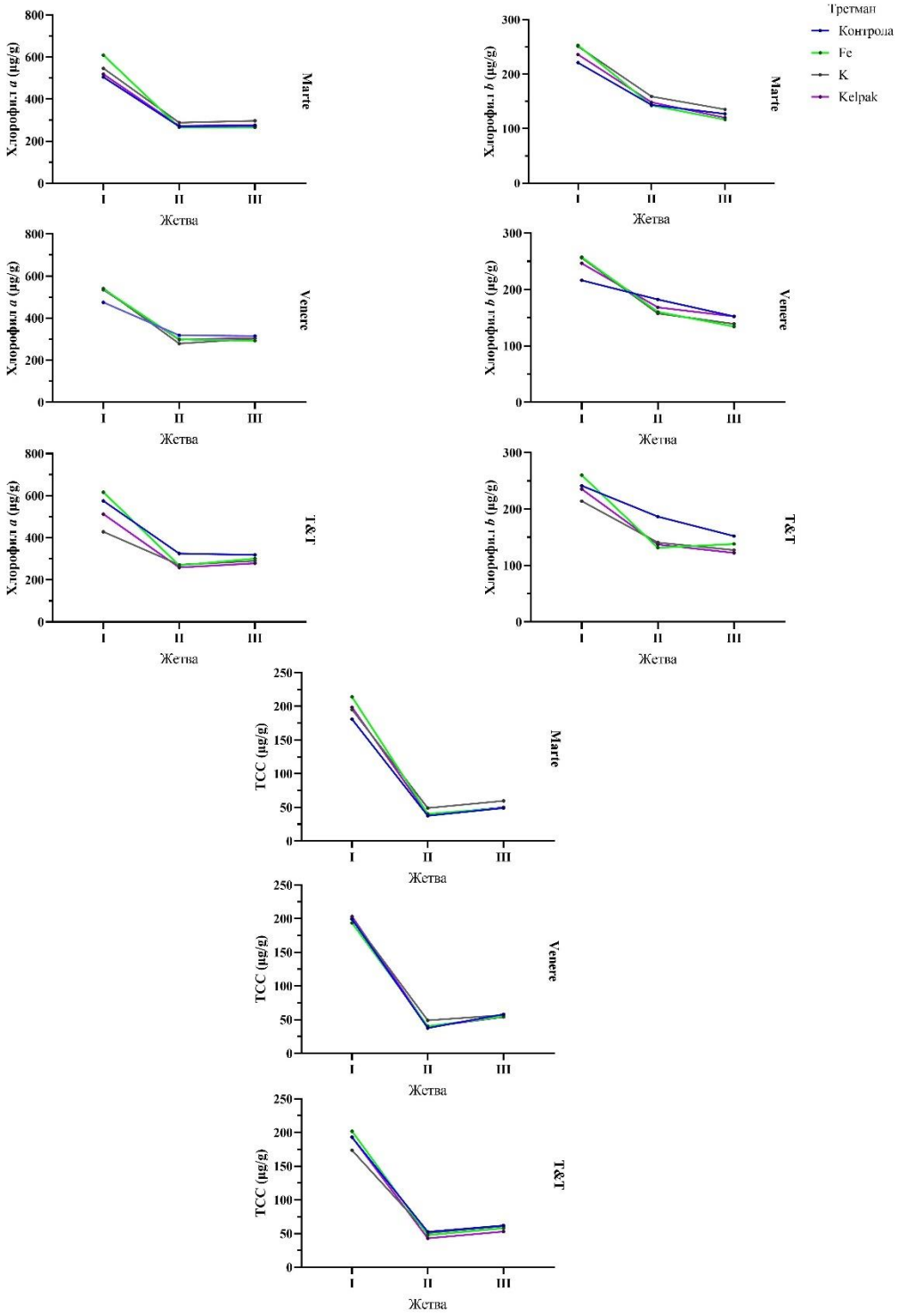
5.2.1. Спектрофотометријске анализе

Резултати спектрофотометријских анализа приказани су у овом поглављу у складу са испитиваним хемијским компонентама, у односу на сорте, фолијарне третмане и сукцесивне жетве. Посебно је разматрана и антиоксидативна активност анализираних узорака.

5.2.1.1. Садржај пигмената

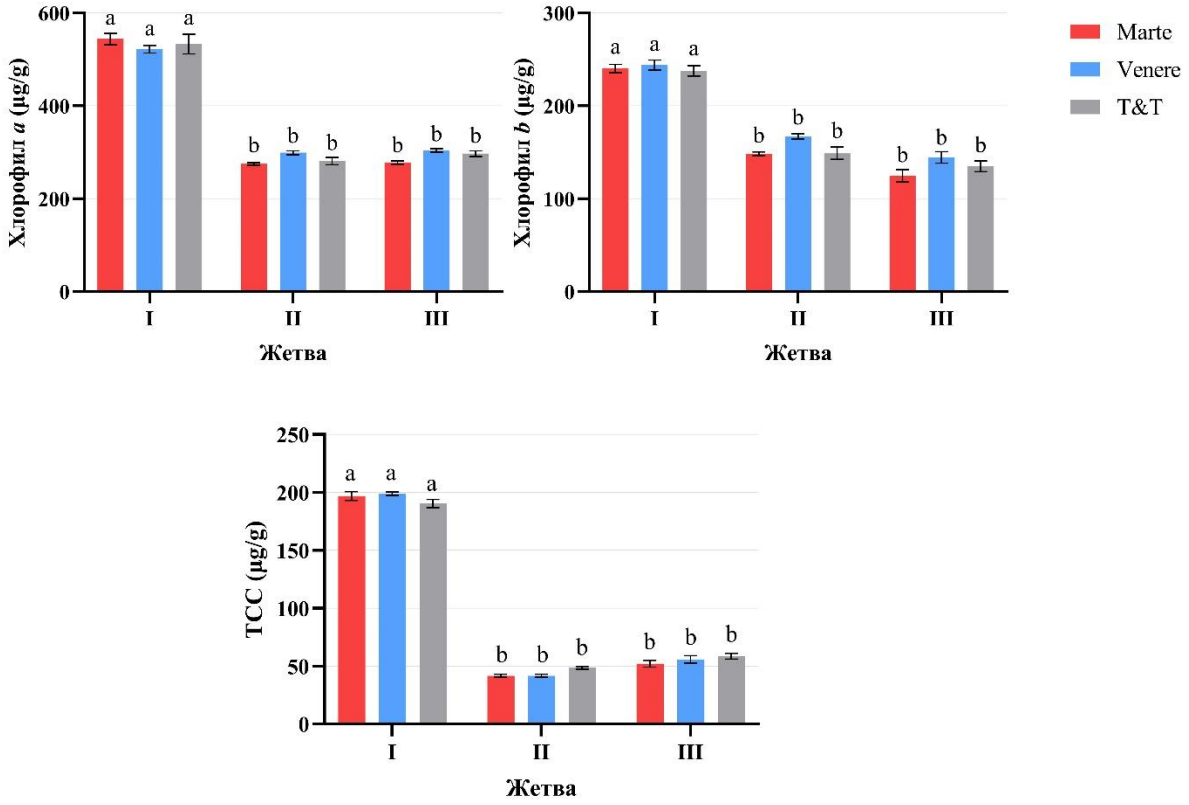
Садржај хлорофила *a* и *b* као и каротеноида у листу представља један од осетљивијих показатеља реакције биљака на примену фолијарне прихране и варијације у условима гајења (Arena et al., 2020). У овом поглављу приказани су резултати испитивања садржаја хлорофила *a*, хлорофила *b* и укупних каротеноида (ТСС) у листовима дивље руколе, у зависности од сорте, фолијарног третмана и сукцесивне жетве односно сезоне гајења. Добијени налази представљају основу за потенцијално формулисање стратегија усмерених ка унапређењу биолошке вредности ове лиснате културе. Идентификоване варијације у садржају фотосинтетичких пигмената указују на могућност циљаног агротехничког приступа у циљу повећања њене нутритивне и функционалне вредности. На тај начин постављају се темељи за развој функционалне хране са потенцијалним здравственим бенефитима, који су детаљно разматрани у уводном делу рада.

Разлике у садржају пигмената између сорти, третмана и жетве процењене су применом Kruskal–Wallis-ог теста, при чему је ниво статистичке значајности постављен на $p < 0,05$. С тим у вези интеракције нису посматране, већ главни ефекти фактора, а ради визуелне процене образаца варирања садржаја пигмената, приказани су интеракциони графици који илуструју кретања вредности **(Слика 32)**.



Слика 32. Промене садржаја испитиваних пигмената према сортама, сукцесивној жетви и третманима. Вредности су изражене у односу на FW

На основу графика уочава се конзистентан образац код свих испитиваних сорти, при чему су највише вредности регистроване у првој жетви, док је у другој и трећој жетви забележен пад садржаја анализираних пигмената. На основу запажања, испитиван је ефекат сукцесивне жетве као главног фактора који је показао веома статистички значајан утицај **(Слика 33)**.



Слика 33. Утицај жетве на садржај хлорофила *a*, хлорофила *b* и TCC код сорти Marte, Venere и T&T. Вредности су изражене у односу на FW и приказане као средња вредност ± SE (n = 12). Различита слова изнад колона означавају статистички значајне разлике између жетви у оквиру исте сорте (Kruskal–Wallis тест; Dunn–Bonferroni *post hoc* анализа, $p < 0,05$)

Прва жетва је статистички значајно одступала у односу на другу и трећу жетву код свих анализираних пигмената ($p < 0,05$), док између друге и треће жетве није утврђена статистички значајна разлика. Овај образац био је конзистентан код свих испитиваних сорти. TCC вредности у оквиру испитиваних сорти по жетвама кретале су се у распону од приближно 41 до 199 µg/g. Уочене осцилације у концентрацији укупних каротеноида у складу су са резултатима на дивљој руколи које су навели Di Mola et al. (2023) посебно у каснијим фазама развоја. Такође, Clemente-Villalba et al. (2024) истичу нешто виши садржај каротеноида у листу *Diplotaxis erucoides* који је износио око 24 mg/100 g свеже масе (≈243 µg/g). Уочени виши садржај хлорофила и каротеноида у првој, зимској сезони гајења, може се довести у везу са нижим интензитетом светлости током зимског периода, што условљава повећану синтезу фотосинтетичких пигмената у циљу ефикаснијег искоришћавања доступне светлосне енергије. Са порастом интензитета светлости током наредних жетви уочен је пад

концентрације пигмената, што указује на адаптивно прилагођавање фотосинтетичког апарата условима вишег осветљења. Сличне тенденције описане су у литератури, где је утврђено да биљке при нижем интензитету зрачења акумулирају веће количине хлорофила и каротеноида, док се са порастом интензитета светлости њихов садржај смањује (Arena et al., 2020). Поред тога, динамика промене садржаја пигмената током сукцесивних жетви може се довести у везу са процесима сенесценције листа (Lim et al., 2007).

У погледу односа хлорофила *a* и хлорофила *b*, утврђено је да се кретао у распону приближно од 1,8:1 до 2,3:1. Најнижи однос је забележен у другој жетви, док су прва и трећа жетва имале веома сличне вредности. Овај мање изражен однос након првог откоса може се објаснити кроз физиолошки стрес услед уклањања листова и кроз светлосну адаптацију како се интензитет светлости повећавао сходно пролећној сезони. Sonobe et al. (2020) истичу да се однос ова два типа биљног пигмента изражено повећава у линеарној зависности при ниском интензитету светлости, док је при већим интензитетима пораст постепенији, али и даље линеаран. Међутим, одржавање релативно стабилног односа хлорофила *a* и *b* указује да промене у укупном садржају пигмената нису биле праћене диспропорцијом у структури фотосинтетичког апарата, већ пре свега општим смањењем концентрације пигмената током сукцесивних жетви.

Упркос уоченим варијацијама у вредностима, ефекат третмана није био статистички значајан (Kruskal–Wallis test, $p > 0,05$), што указује да примењене фолијарне апликације нису имале изражен утицај на акумулацију испитиваних пигмената. У **Табели 13** ради потпунијег увида резултати су приказани дескриптивно.

Табела 13. Садржај хлорофила *a* и *b* и ТСС (μg/g FW) у листовима дивље руколе испитиваних сорти према третманима и сукцесивним жетвама

Сорта	Жетва	Третман	Хлорофил *a* (μg/g)	Хлорофил *b* (μg/g)	ТСС (μg/g)
Marte	I	Контрола	506,34 ± 2,15	233,54 ± 6,50	178,82 ± 1,81
		Fe	614,11 ± 2,23	247,00 ± 2,78	213,03 ± 1,26
		K	543,46± 2,16	240,14 ± 6,27	200,14 ± 2,69
		Kelpak	515,24 ± 0,72	226,99 ± 4,66	194,84 ± 3,17
	II	Контрола	269,95 ± 0,18	144,15 ± 0,67	35,35 ± 0,43
		Fe	265,08 ± 0,25	144,88 ± 0,26	42,47 ± 0,80
		K	288,92 ± 0,48	160,14 ± 0,63	47,15 ± 0,58
		Kelpak	274,59 ± 0,23	146,61 ± 0,46	39,79 ± 0,21
	III	Контрола	291,14 ± 6,97	107,36 ± 10,73	64,71 ± 8,18
		Fe	265,87 ± 1,14	90,71 ± 15,02	59,07 ± 5,70
		K	299,59 ± 1,51	106,75 ± 15,91	67,39 ± 4,91
		Kelpak	276,79 ± 0,16	93,62 ± 16,06	63,34 ± 6,93
Venere	I	Контрола	475,71 ± 1,31	225,49 ± 6,30	183,85 ± 2,95
		Fe	560,01 ± 3,47	251,67 ± 3,69	195,18 ± 1,84
		K	548,35 ± 4,79	247,90 ± 4,31	196,45 ± 1,67
		Kelpak	525,47 ± 4,46	239,02 ± 4,17	196,26 ± 3,38
	II	Контрола	317,98 ± 0,28	181,29 ± 0,71	45,03 ± 0,10
		Fe	298,22 ± 0,64	159,51 ± 0,55	38,14 ± 0,75
		K	275,64 ± 1,02	156,07 ± 0,20	48,44 ± 0,79
		Kelpak	298,64 ± 0,39	166,42 ± 0,49	40,75 ± 0,40
	III	Контрола	310,87 ± 2,79	116.92 ± 19.89	70.27 ± 7.04
		Fe	293,24 ± 0,06	111.39 ± 13.36	68.38 ± 8.25
		K	315,45 ± 9,93	119.51 ± 11.05	68.06 ± 4.78
		Kelpak	322,10 ± 9,22	141.16 ± 6.62	64.86 ± 5.38
T&T	I	Контрола	567,98 ± 3,54	254.08 ± 6.56	203.31 ± 5.30
		Fe	611,74 ± 3,05	250.44 ± 5.51	212.93 ± 5.74
		K	436,20 ± 5,34	212.62 ± 1.21	176.99 ± 2.49
		Kelpak	498,35 ± 7,79	246.48 ± 7.11	185.53 ± 3.61
	II	Контрола	319,97 ± 0,82	185.58 ± 0.26	50.96 ± 1.22
		Fe	268,98 ± 0,49	129.29 ± 1.03	47.66 ± 0.62
		K	270,37 ± 0,66	140.19 ± 0.37	48.75 ± 0.83
		Kelpak	259,87 ± 0,42	136.41 ± 0.43	42.90 ± 0.63
	III	Контрола	313,58 ± 2,08	120.94 ± 18.06	66.40 ± 3.34
		Fe	325,62 ± 15,22	141.02 ± 1.56	70.51 ± 6.94
		K	303,82 ± 7,37	112.37 ± 9.25	67.50 ± 4.28
		Kelpak	302,99 ± 13,77	114.44 ± 5.45	62.88 ± 5.29

Вредности су приказане као средња вредност ± SE (n=3). Статистичка анализа спроведена је применом Kruskal–Wallis теста. Није утврђен статистички значајан главни ефекат фактора третмана ($p > 0,05$)

Садржај хлорофила *a* кретао се у распону од 259,87 до 614,11 μg/g кроз све жетве, док је садржај хлорофила *b* варирао између 90,71 и 254,07 μg/g. Уочени виши садржај хлорофила *a* у првој жетви код биљака третираних фолијарним ђубривом обогаћеним гвожђем може се

физиолошки објаснити улогом гвожђа у биосинтези хлорофила и одржавању структурног и функционалног интегритета хлоропласте (Rout & Sahoo, 2015). У контексту зимске сезоне и лимитиране светлости, биљке третиране гвожђем показале су тенденцију ка вишим вредностима хлорофила *a*, што указује на потенцијално повољан физиолошки одговор у раној фази развоја. Међутим, иако је уочен овај пораст вредности, разлике у односу на остале третмане нису биле статистички значајне, што указује да ефекат фолијарне примене гвожђа није био довољно изражен да доведе до стабилне и конзистентне промене концентрације хлорофила у оквиру испитиваних услова гајења. Литературни подаци о дивљој руколи показују да се садржај хлорофила *a*, хлорофила *b* и каротеноида може кретати у распону од 485,75–997,24, 211,70–652,15 и 69,10–256,81 mg/100 g суве масе, редом, под специфичним условима покривке (Romano et al., 2022). Такође, у зависности од примене средстава за контролу микробног раста, времена и начина складиштења листова ове врсте пријављене су концентрације хлорофила *a* у распону од 30 до 120 mg/100 g, док је садржај хлорофила *b* износио од 15 до 40 mg/100 g на бази свеже масе (Martínez-Sánchez et al., 2006). Иако су наведене вредности исказане на различитим основама (свежа/сува маса листова), ред величине концентрација је упоредив са резултатима добијеним у овом истраживању.

Сагледавајући резултате ових анализа може се приметити да су све сорте имале блиске вредности по жетвама и третманима, а то је потврђено статистичком анализом где није утврђен значајан главни ефекат сорте на садржај (Kruskal–Wallis теста $p > 0,05$). Ово потенцијално показује да се испитивани генотипови нису међусобно разликовали у погледу синтезе фотосинтетичких пигмената у условима спроведеног огледа. Другим речима, варијације у концентрацији пигмената биле су израженије између сукцесивних жетви него између генотипова, што упућује на доминантан утицај сезонских фактора у односу на генетичку основу. Изостанак значајних разлика може се довести у везу и са сличним физиолошким карактеристикама одабраних сорти где имају упоредив фотосинтетички потенцијал у датим агроеколошким условима.

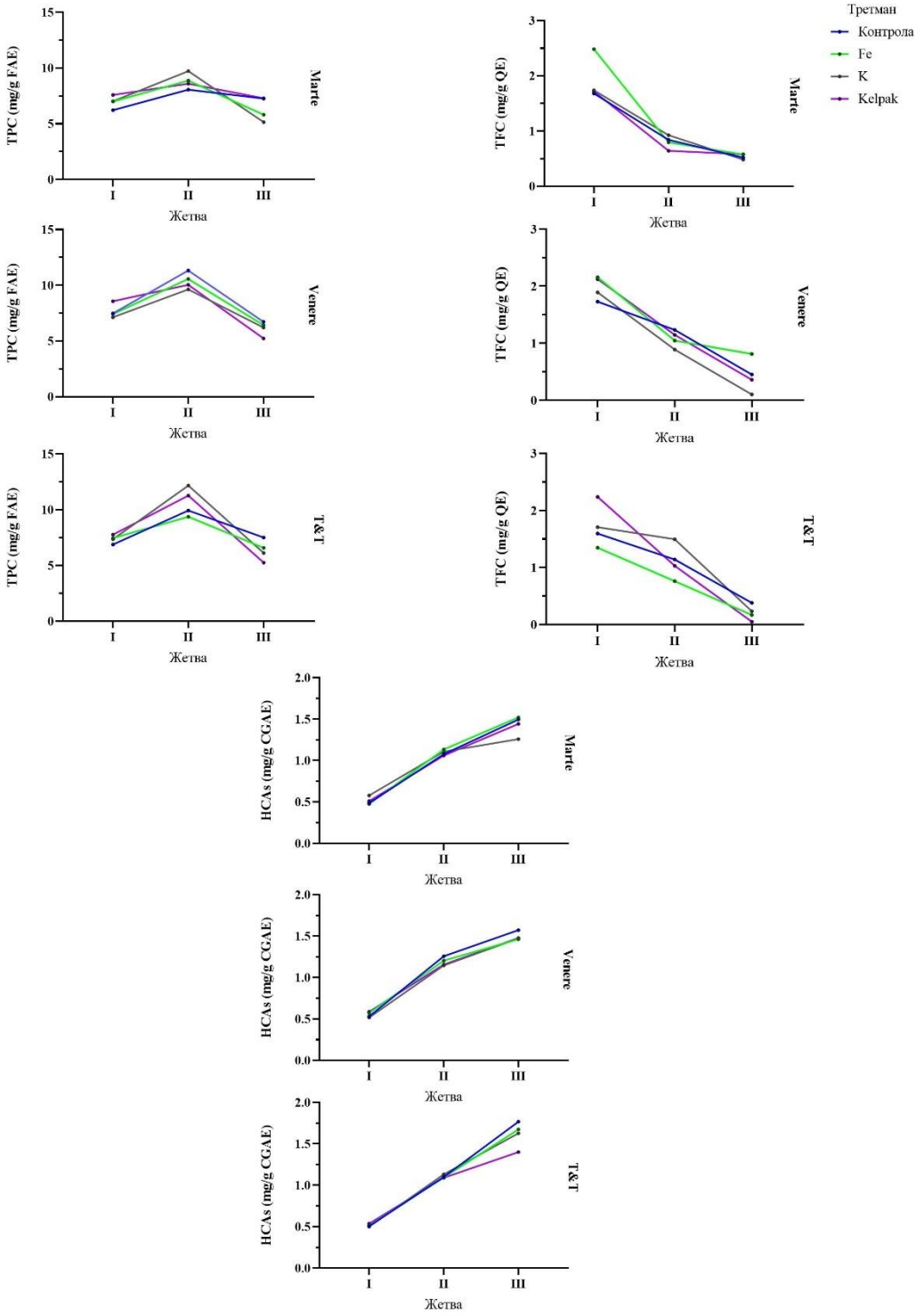
С обзиром на то да су највише концентрације хлорофила и ТСС забележене у првој, зимској жетви, може се закључити да период ране производње представља фазу у којој листови дивље руколе поседују највећи потенцијал у погледу нутритивне и функционалне вредности. Повишен садржај фотосинтетичких пигмената, који су повезани са антиоксидативним својствима и потенцијалним здравственим бенефитима, указује да рана берба може допринети већој биолошкој вредности производа. Са производног аспекта, оптимизација термина жетве може представљати значајну стратегију за унапређење квалитета руколе, док са аспекта потрошача, конзумирање листова из ранијих жетви може обезбедити већи унос биолошки активних једињења.

5.2.1.2. Садржај укупних фенолних једињења, флавоноида и деривата хидроксициметне киселине

Фенолна једињења представљају једну од најзначајнијих група секундарних метаболита биљног порекла, чији се биолошки ефекти и потенцијал у превенцији хроничних обољења интензивно проучавају током последњих деценија. Њихова антиоксидативна, антиинфламаторна и кардиопротективна својства сврставају их у кључне компоненте функционалне хране. У том контексту, оптимизација агротехничких мера, као и одабир генотипова са израженим потенцијалом синтезе фенолних једињења, представљају важан

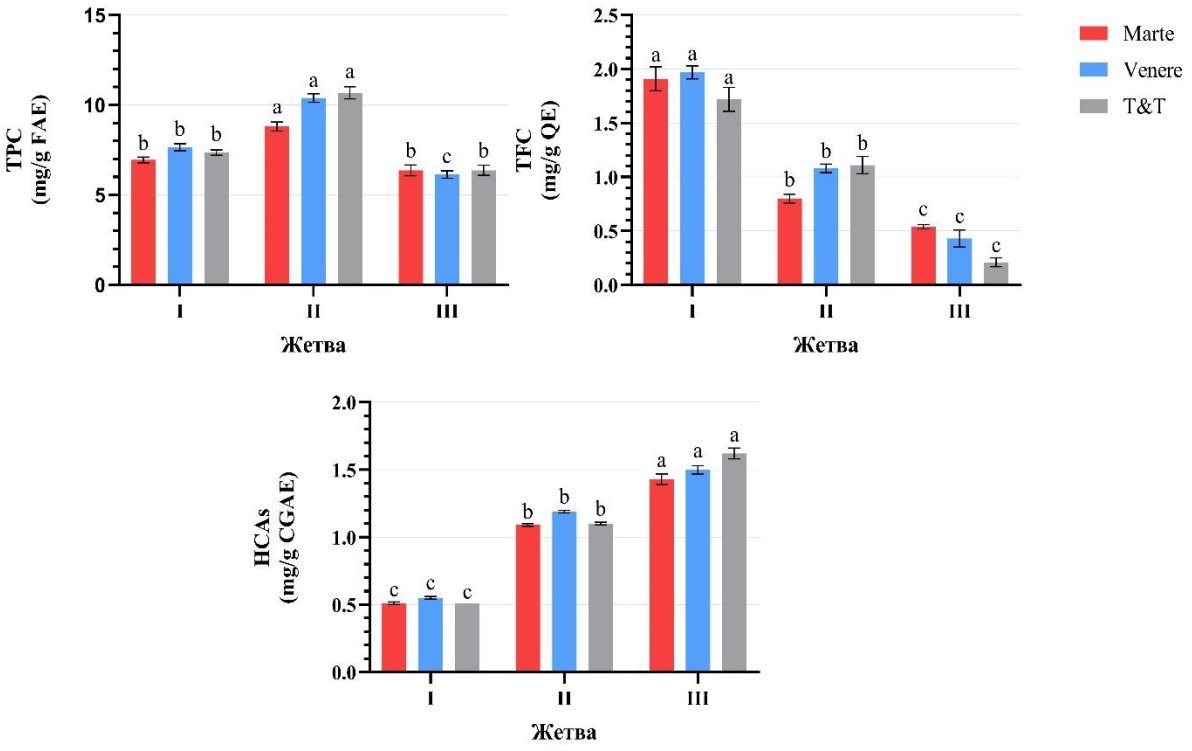
приступ у унапређењу нутритивног квалитета лиснатог поврћа. Код дивље руколе досадашња истраживања углавном су била усмерена на појединачне аспекте њеног хемијског профила. Систематско испитивање утицаја жетаве, сорти и фолијарних третмана на укупан садржај фенолних једињења (TPC), укупан садржај флавоноида (TFC) и деривата хидроксициметне киселине (HCAs) омогућава дубље разумевање динамике акумулације ових класа једињења током производног циклуса. Сходно томе, у наставку су приказани резултати који показују динамику акумулације фенолних једињења у условима различитих експерименталних фактора, са циљем процене њиховог доприноса укупном биохемијском профилу листова.

Слика 34 пружа општи приказ варирања садржаја испитиваних једињења по поменутим факторима. Уочана је изражена промена вредности у оквиру различитих жетви, док су разлике између сорти мање наглашене.



Слика 34. Промене садржаја TPC, TFC и HCAs према сортама, сукцесивној жетви и третманима. Вредности су изражене у односу на FW

Код сва три параметра уочава се јасан ефекат жетве. TPC достиже највише вредности у другој жетви, након чега следи пад у трећој, док TFC показује тренд постепеног смањења током производног циклуса. Насупрот томе, HCAs бележи пораст вредности од прве ка трећој жетви. Kruskal–Wallis-ов непараметарски тест потврдио је статистички значајан ефекат фактора жетве за сва три испитивана параметра ($p < 0,001$). Накнадна Dunn–Bonferroni *post hoc* анализа показала је да су разлике између појединачних откоса статистички значајне код свих сорти, што је означено различитим словима изнад стубића на **Слици 35**.



Слика 35. Утицај жетве на садржај укупних фенола (TPC), флавоноида (TFC) и хидроксикоричних киселина (HCA) код сорти Marte, Venere и T&T. Вредности су изражене у односу на FW и приказане као средња вредност ± SE (n = 12). Различита слова изнад колона означавају статистички значајне разлике између жетви у оквиру исте сорте (Kruskal–Wallis тест; Dunn–Bonferroni *post hoc* анализа, $p < 0,05$)

Уочене вредности указују на подељено кретање појединачних класа фенолних једињења током производног циклуса. Ова супротстављена динамика указује да појединачне класе фенолних једињења не доприносе у истој мери укупном фенолном потенцијалу у различитим фазама развоја биљке. Иако су HCAs и флавоноиди део укупних фенола, њихова биосинтеза и акумулација регулисане су различитим ензимским и сигналним путевима у оквиру фенилпропаноидног метаболизма (Vogt, 2010). У овом истраживању укупан садржај фенолних једињења био је најнижи у трећој жетви, што се поклапа са најнижим вредностима укупних флавоноида у истом периоду. Слично овоме, Corrado et al. (2021) су уочили пораст TPC у другој узастопној жетви код листова беби салате. Истраживање Zietz et al. (2010) на листовима кеља демонстрирало је значајан утицај смањења температуре и интензитета светлости у периоду од октобра до децембра на повећање укупног садржаја фенолних

једињења што се поклапа са временом и условима гајења дивље руколе до првог откоса. С тим у вези могуће је да током каснијих жетви долази до прерасподеле метаболичког тока ка синтези фенолних киселина, које имају изражену улогу у фотопротекцији и заштити од појачаног UV зрачења, док се синтеза флавоноида смањује. Подаци из литературе указују да акумулација флавоноида достиже максимум у условима нижих температура и умереног светлосног интензитета, док се њихова биосинтеза смањује током летњег периода код врста *Senna italica* Mill и *Rhynchosia minima* (L.) DC (Hamdy et al., 2025). Постепени пораст садржаја хидроксициметних киселина током узастопних жетви може се довести у везу са сезонским варијацијама интензитета сунчевог зрачења (Groenbaek et al., 2019; Kostić, Gercek, et al., 2023). Доказано је да излагање UV-B зрачењу може индуковати повећање садржаја хидроксициметних киселина путем UVR8 зависног сигналног пута код *A. thaliana* (Nichelmann & Pescheck, 2021). Слично, резултати добијени код винове лозе, указују да различити светлосни режими условљавају диференцирану акумулацију хидроксициметних киселина и флавоноида током развојних фаза (Sun et al., 2017). Cartea et al. (2010) истичу да је фенолни профил код врста рода *Brassica* резултат сложене интеракције наследних карактеристика и услова средине где разлике у количини и саставу фенолних једињења могу се јавити како између различитих генотипова исте врсте, тако и у оквиру истог усева, при чему генетичка основа представља кључни фактор који обликује фенолни састав. Ови налази указују да је сезонска регулација појединачних фенолних једињења високо условљена врстом, при чему квалитативни састав може имати већи значај од њихове укупне количине.

Фолијарна третмани код свих испитиваних параметара у већој мери су пратили контролну групу, без значајне промене основног обрасца кретања вредности током сезоне гајења. Овакво запажање је потврђено и одсуством статистички значајног ефекта третмана, док су вредности за TPC, TFC и HCAs приказане дескриптивно у **Табели 14**. Такође, главни ефекат сорте није био статистички значајан, стога су вредности унутар жетви биле блиске.

Табела 14. Утицај фолијарних третмана на садржај TPC, TFC и HCAs, изражен у односу на FW, код испитиваних сорти током сукцесивних жетви

Сорта	Жетва	Третман	TPC (mg/g FAE)	TFC (mg/g QE)	HCAs (mg/g CGAE)
Marte	I	Контрола	6,22 ± 0,15	1,68 ± 0,01	0,49 ± 0,00
		Fe	6,99 ± 0,11	2,48 ± 0,11	0,48 ± 0,00
		K	7,02 ± 0,32	1,74 ± 0,02	0,58 ± 0,03
		Kelpak	7,58 ± 0,03	1,72 ± 0,09	0,51 ± 0,00
	II	Контрола	8,05 ± 0,32	0,84 ± 0,08	1,08 ± 0,05
		Fe	8,87 ± 0,55	0,80 ± 0,03	1,13 ± 0,01
		K	9,72 ± 0,44	0,93 ± 0,00	1,11 ± 0,01
		Kelpak	8,59 ± 0,30	0,64 ± 0,02	1,06 ± 0,01
	III	Контрола	7,26 ± 0,26	0,52 ± 0,05	1,50 ± 0,04
		Fe	5,81 ± 0,24	0,58 ± 0,06	1,52 ± 0,05
		K	5,15 ± 0,16	0,48 ± 0,02	1,26 ± 0,05
		Kelpak	7,28 ± 0,23	0,58 ± 0,02	1,44 ± 0,07
Venere	I	Контрола	7,48 ± 0,20	1,73 ± 0,03	0,53 ± 0,01
		Fe	7,42 ± 0,27	2,16 ± 0,08	0,57 ± 0,01
		K	7,13 ± 0,23	1,89 ± 0,02	0,52 ± 0,00
		Kelpak	8,57 ± 0,01	2,12 ± 0,06	0,59 ± 0,01
	II	Контрола	11,33 ± 0,47	1,23 ± 0,02	1,26 ± 0,01
		Fe	10,56 ± 0,09	1,05 ± 0,06	1,20 ± 0,02
		K	9,63 ± 0,21	0,89 ± 0,05	1,15 ± 0,02
		Kelpak	10,05 ± 0,41	1,15 ± 0,06	1,16 ± 0,01
	III	Контрола	6,72 ± 0,34	0,45 ± 0,11	1,57 ± 0,07
		Fe	6,43 ± 0,36	0,81 ± 0,05	1,46 ± 0,06
		K	6,20 ± 0,21	0,10 ± 0,05	1,47 ± 0,05
		Kelpak	5,23 ± 0,17	0,36 ± 0,10	1,48 ± 0,07
T&T	I	Контрола	6,88 ± 0,20	1,60 ± 0,13	0,51 ± 0,01
		Fe	7,45 ± 0,39	1,35 ± 0,04	0,52 ± 0,04
		K	7,36 ± 0,31	1,71 ± 0,19	0,50 ± 0,00
		Kelpak	7,77 ± 0,14	2,24 ± 0,08	0,54 ± 0,01
	II	Контрола	9,93 ± 0,07	1,14 ± 0,00	1,10 ± 0,03
		Fe	9,37 ± 0,22	0,76 ± 0,06	1,09 ± 0,00
		K	12,17 ± 0,12	1,50 ± 0,07	1,13 ± 0,02
		Kelpak	11,27 ± 0,20	1,03 ± 0,08	1,09 ± 0,01
	III	Контрола	7,50 ± 0,45	0,38 ± 0,08	1,77 ± 0,01
		Fe	6,58 ± 0,19	0,17 ± 0,01	1,67 ± 0,01
		K	6,12 ± 0,35	0,24 ± 0,01	1,63 ± 0,04
		Kelpak	5,26 ± 0,24	0,05 ± 0,00	1,40 ± 0,04

FAE – еквиваленти ферулинске киселине; QE – еквиваленти кверцетина; CGAE – еквиваленти хлорогенске киселине. Вредности су приказане као средња вредност ± стандардна грешка (SE). Статистичка анализа спроведена је применом Kruskal–Wallis теста

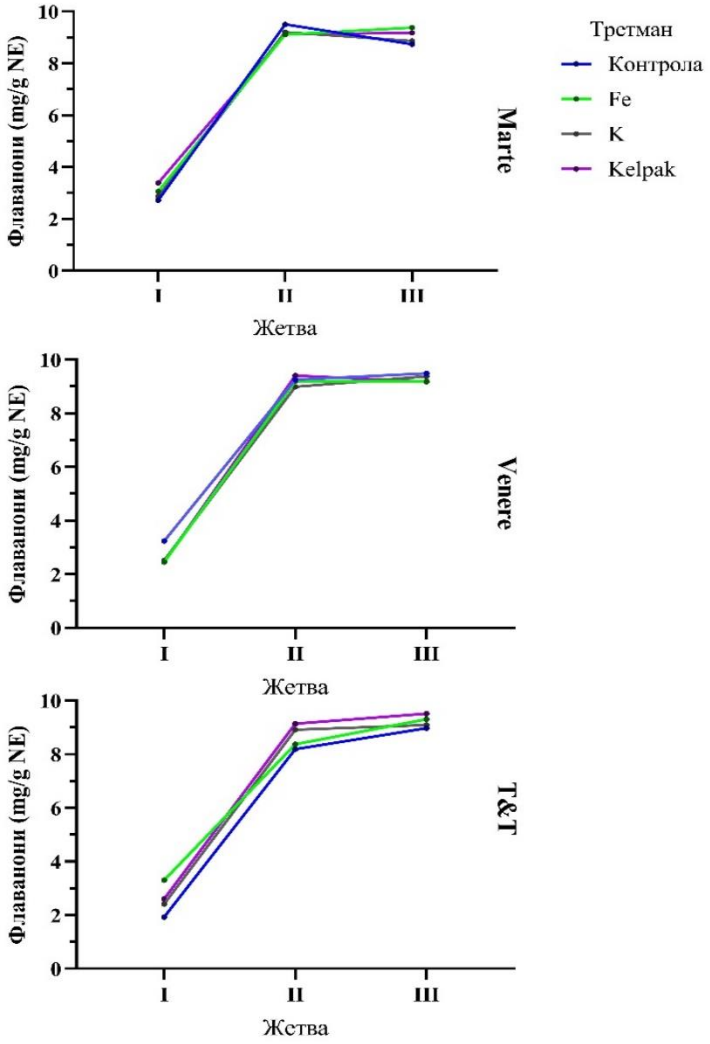
Изостанак јасног обрасца у утицају фолијарних ђубрива на различите сорте *D. tenuifolia* указује на то да је реакција на прихрану у великој мери условљен генетичким факторима. Ово је у складу са налазима Bell et al. (2015), који су утврдили значајну варијабилност у акумулацији глукозинолата и флавонола између различитих генотипова дивље руколе, без уједначеног тренда између комерцијалних сорти и генетичких колекција. Schiattone et al. (2021) нису утврдили значајан утицај примене биостимулатора на укупан садржај фенолних једињења у листовима дивље руколе гајене у условима стреса. Di Mola et al. (2023) су документовали варијације у TPC у зависности од примене биостимулатора (*Auxym* и *Trainer*) и узастопних жетви код листова дивље руколе, при чему су највише вредности забележене у четвртој узастопној жетви, независно од третмана, након чега је следио смањен садржај. Ови резултати додатно потврђују значај времена и реда жетве над применом фолијарних третмана.

Добијени резултати указују да сезона гајења и утицај уклањања листова као стрес фактора представљају један од кључних фактора у обликовању нутритивног профила дивље руколе. Правилним избором производног периода могуће је утицати на концентрацију биолошки активних једињења и тиме унапредити функционалну вредност ове врсте. Односно, усмеравање на периоде у којима је синтеза фенолних једињења најизраженија може допринети повећању квалитета и конкурентности на тржишту.

5.2.1.3. Садржај укупних флаванона

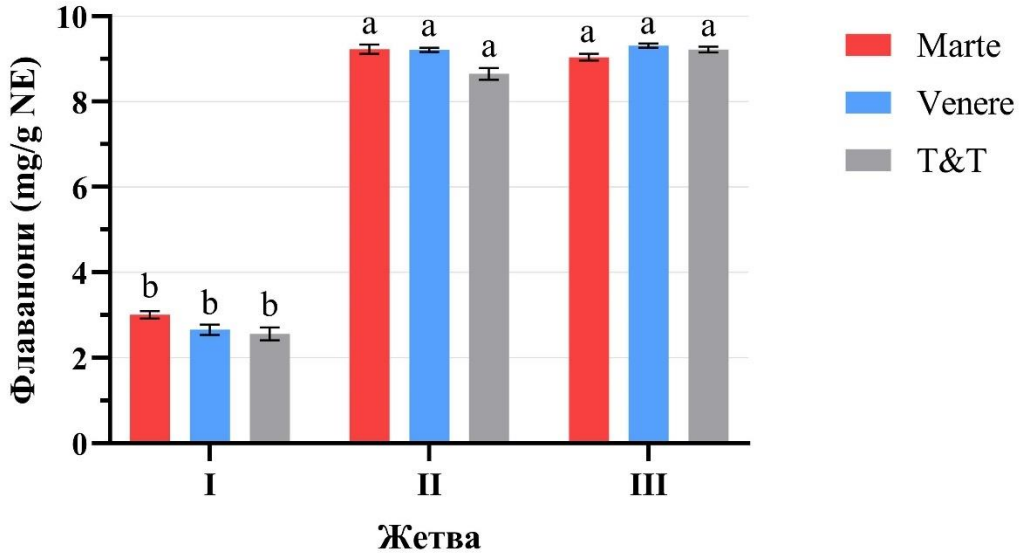
Флаванони представљају једну од подкласа флавоноида, секундарних метаболита који имају значајну улогу у антиоксидативној заштити и адаптацији биљака на различите облике абиотичког стреса (Šamec et al., 2021). Поред свог физиолошког значаја у биљци, флаванони доприносе и нутритивној вредности лиснатог поврћа, с обзиром на њихова потенцијална биолошка и здравствено корисна својства. Иако су фенолна једињења дивље руколе документована у контексту укупних фенола и појединих фенолних киселина, подаци о укупном садржају флаванона у листовима ове врсте су ограничени, посебно када се посматрају у зависности од сорте, узастопних жетви и примене фолијарних ђубрива. Дакле, специфична динамика флаванона током производног циклуса остаје недовољно разјашњена. Сходно томе, у овом поглављу приказан је укупан садржај флаванона у листовима дивље руколе у зависности од испитиваних сорти, жетви (сезона гајења) и реакције на примењене фолијарне третмане, са циљем утврђивања потенцијалних извора варијабилности и бољег разумевања њихове улоге у биохемијском профилу биљке.

Слика 36 илуструје кретање укупног садржаја флаванона, исказаних кроз еквиваленте нарингенина (NE), испитиваних сорти према жетвама и примењеним фолијарним третманима.



Слика 36. Промене садржаја укупних флаванона према сортама, сукцесивној жетви и третманима. Вредности су изражене у односу на FW

Kruskal–Wallis-ов тест показао је значајан ефекат жетве, док утицај генотипа, али и фолијарних третмана није био статистички значајно различит, што се уочава и кроз униформно кретање посматраног параметра. На **Слици 37** приказан је резултат Dunn–Bonferroni *post hoc* анализе, приликом које је истакнута прва жетва као статистички значајна у односу на остале. Наиме, у другој и трећој жетви остварене су највише вредности укупних флаванона и међусобно се нису разликовале средње вредности ових откоса.



Слика 37. Утицај жетве на садржај укупних флаванона код сорти Marte, Venere и T&T. Вредности су изражене у односу на FW и приказане као средња вредност ± SE (n = 12). Различита слова изнад колона означавају статистички значајне разлике између жетви у оквиру исте сорте (Kruskal–Wallis тест; Dunn–Bonferroni *post hoc* анализа, $p < 0,05$)

Вредности укупних флаванона су се кретале од 2,56 mg/g NE (прва жетва, сорта T&T) до 9,31 mg/g NE остварене у трећој жетви код сорте Venere. Међутим, како ефекат сорте изостаје уочавају се слични обрасци одговора испитиваних генотипова на жетву односно сезону гајења. У поређењу са динамиком варирања TPC, TFC и HCAs, флаванони су испољили образац пораста сличан дериватима хидроксициметне киселине. Међутим, за разлику од HCAs, код којих је пораст настављен и у каснијим фазама, садржај флаванона достигао је највиши пик у другој жетви, након чега даље сезонске промене током летњег периода гајења нису условиле значајније варијације. Такође, одступање у синтези флавонона у односу на TFC према жетвама указује на квалитативну реорганизацији фенолног профила, односно прерасподели биосинтезе између појединих подкласа. С тим у вези, ови резултати могу се, као и код осталих фенолних једињења, описати кроз њихов метаболички пут и утицај абиотичких фактора средине, који се мењају током производног циклуса. Имајући у виду да флаванони представљају ране продукте флавоноидне гране фенилпропаноидног пута, могуће је претпоставити да се у првој жетви флаванони брзо трансформишу као прекурсори других једињења док се у каснијим фазама врши њихова акумулација услед промена метаболичког тока (Dixon et al., 2005; Vogt, 2010). Предпоставка базирана на улози флаванона у одговору на абиотички стрес показано је на примеру врсте *Reaumuria soongorica* (Pall.) Maxim. Ова студија је доказала да UV-B зрачење и суша утичу на повећање експресије гена за флаванон 3-хидроксилазу што указује на заштитну улогу флавоноидних једињења у условима оксидативног стреса (Shomali et al., 2022).

У **Табели 15** приказан је одговор листова дивље руколе у погледу синтезе флаванона на фолијарну прихрану. Као и код других фенолних параметара, ни примењени третмани ни генотип нису показали значајан утицај.

Табела 15. Утицај испитиваних третмана на укупни садржај флаванона (mg/g NE FW)

Сорта	Третман	Жетва I	Жетва II	Жетва III
Marte	Контрола	2,72 ± 0,08	9,51 ± 0,19	8,73 ± 0,04
	Fe	3,06 ± 0,19	9,11 ± 0,25	9,37 ± 0,08
	K	2,87 ± 0,08	9,20 ± 0,29	8,86 ± 0,03
	Kelpak	3,38 ± 0,11	9,12 ± 0,11	9,18 ± 0,04
Venere	Контрола	3,24 ± 0,21	9,25 ± 0,04	9,49 ± 0,09
	Fe	2,45 ± 0,07	9,20 ± 0,04	9,19 ± 0,00
	K	2,51 ± 0,21	8,98 ± 0,03	9,38 ± 0,07
	Kelpak	2,45 ± 0,01	9,40 ± 0,09	9,18 ± 0,08
T&T	Контрола	1,93 ± 0,05	8,18 ± 0,36	8,97 ± 0,05
	Fe	3,31 ± 0,16	8,37 ± 0,10	9,30 ± 0,04
	K	2,41 ± 0,03	8,91 ± 0,09	9,08 ± 0,04
	Kelpak	2,61 ± 0,04	9,13 ± 0,00	9,51 ± 0,09

NE – еквиваленти нарингенина; Вредности су приказане као средња вредност ± стандардна грешка (SE). Статистичка анализа спроведена је применом Kruskal–Wallis теста

Узимајући у обзир добијене резултате, може се закључити да је фаза жетве, односно сезонски услови гајења, представља доминантан фактор који обликује акумулацију флаванона у листовима дивље руколе.

5.2.1.4. Садржај укупних танина

Танини представљају важну компоненту фенолних једињења листа и имају двојаку улогу у контексту квалитета површа. Са једне стране, доприносе антиоксидативном потенцијалу биљног материјала, док са друге значајно утичу на формирање горчине и адстрингентности, што може одредити прихватљивост производа код потрошача. На пример, у Медитеранским земљама, укључујући Италију, израженија горчина се често посматра као пожељна карактеристика руколе, док у другим подручјима може бити неприхваћена. Стога садржај танина представља баланс између функционалне вредности и органолептичког квалитета. Полазећи од претпоставке да агротехничке мере, а посебно жетва и фолијарна прихрана, могу утицати на продукцију ових секундарних метаболита, у даљем тексту разматрани су ефекти сорте, третмана и узастопних откоса на садржај укупних танина (ТТС) у листовима дивље руколе. Добијени резултати омогућавају процену у којој мери се може модификовати концентрација танина, а тиме потенцијално и органолептички и функционални квалитет производа. Међутим, битно је напоменути да укупни сензорни профил руколе условљен је и другим секундарним метаболитима, пре свега глукозинолатима.

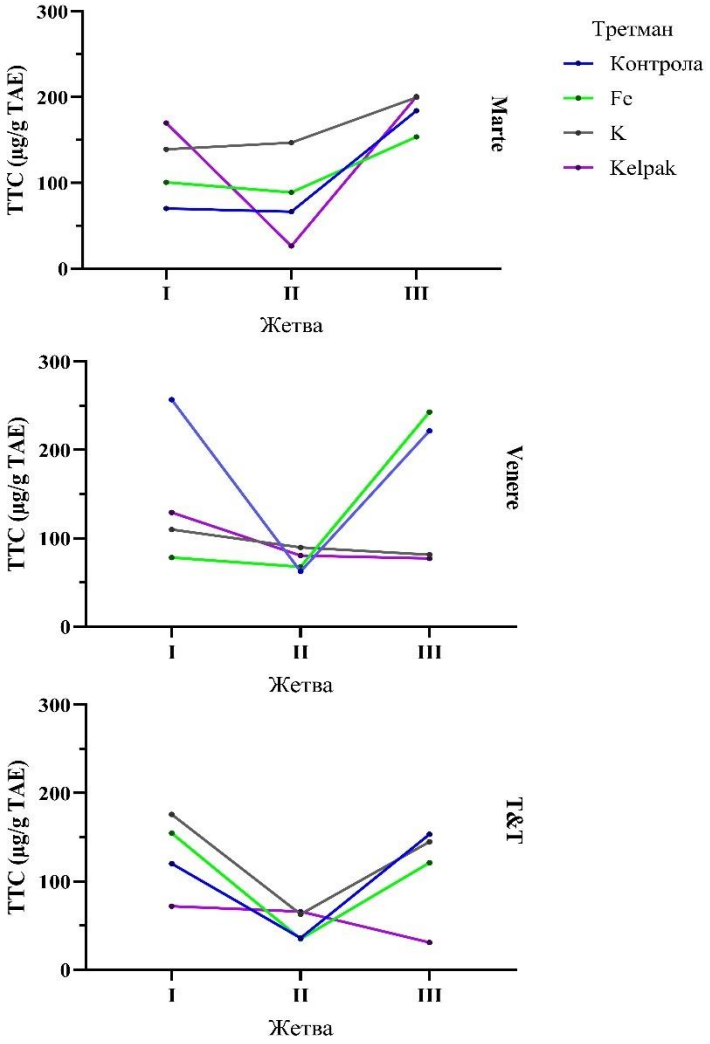
Трофакторска анализа **(Табела 16)** показала је да су сорта, фолијарни третман и жетва статистички веома значајно утицали на ТТС у листовима дивље руколе. Истиче се и значајност интеракција између испитиваних фактора. Дакле, одговор дивље руколе у погледу синтезе танина зависи од синергистичког дејства генотипа, прихране и откоса.

Табела 16. Резултати трофакторске анализе варијансе (ANOVA) утицаја сорте, фолијарног третмана и сукцесивне жетве на садржај укупних танина (TTC) у листовима дивље руколе

Извор варијације	df	F	*p*
Третман	3	3668,58	<0,001**
Жетва	2	34100,84	<0,001**
Сорта	2	5341,17	<0,001**
Третман х жетва	6	3064,76	<0,001*
Третман х сорта	6	5480,45	<0,001**
Жетва х сорта	4	2725,03	<0,001**
Третман х жетва х сорта	12	4359,55	<0,001**

df – степен слободе; F – вредност Фишеровог теста F-теста; *p* – ниво статистичке значајности *$p < 0,05$ и ** $p < 0,01$

Комплексни однос између истраживаних фактора дескриптивно је приказан на **Слици 38** где се уочава да ред жетве, па самим тим и услови сезоне између откоса, представљају доминантан фактор у формирању вредности TTC, при чему је у другој жетви забележен општи пад концентрације танина код већине комбинација сорте и третмана, док је у трећој жетви регистрован поновни пораст. Истовремено, одговор на фолијарне третмане није био конзистентан између сорти, што додатно потврђује постојање сложене интеракције генотипа, агротехничких мера и фазе вегетације.



Слика 38. Интеракциони дијаграм утицаја фолијарног третмана и сукцесивне жетве на садржај укупних танина (TTC, µg/g TAE FW) код сорти Marte, Venere и T&T

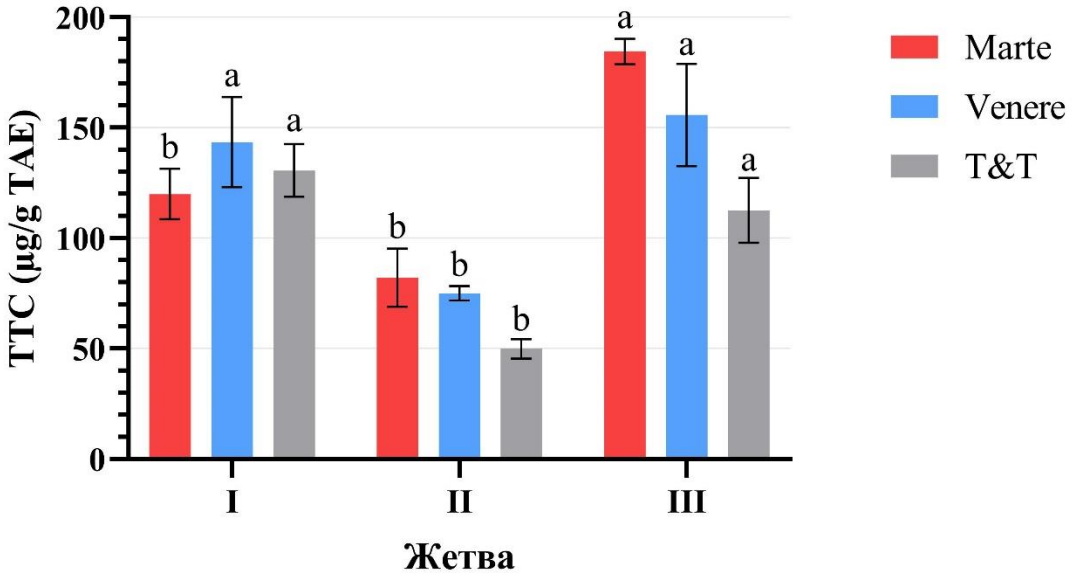
Како би се утврдио релативни допринос фолијарног третмана и реда жетве у формирању садржаја укупних танина спроведена је двофакторска анализа варијансе у оквиру сваког генотипа **(Табела 17)**.

Табела 17. Резултати двофакторске анализе варијансе (ANOVA) утицаја фолијарног третмана и жетве на садржај укупних танина (TTC) у листовима испитиваних сорти дивље руколе

Сорта	Извор варијације	df	F	*p*
Marte	Третман	3	2054,05	<0,001**
	Жетва	2	12261,04	<0,001**
	Третман х жетва	6	1783,65	<0,001**
Venere	Третман	3	11505,071	<0,001**
	Жетва	2	17685,81	<0,001**
	Третман х жетва	6	10808,171	<0,001**
T&T	Третман	3	4289,52	<0,001**
	Жетва	2	11403,63	<0,001**
	Третман х жетва	6	2227,886	<0,001**

df – степен слободе; F – вредност Фишеровог теста F-теста; *p* – ниво статистичке значајности *$p < 0,05$ и ** $p < 0,01$

Имајући у виду доминантан утицај сукцесивне жетве, извршена је додатна анализа разлика између откоса унутар сваког генотипа, са циљем прецизније интерпретације ефекта овог агротехничког поступка на садржај укупних танина **(Слика 39)**.



Слика 39. Утицај жетве на садржај TTC код сорти Marte, Venere и T&T. Вредности су изражене у односу на FW и приказане као средња вредност ± SE (n = 12). Различита слова изнад колона означавају статистички значајне разлике између жетви у оквиру исте сорте (Games–Howell *post hoc* , $p < 0,05$)

Код све три испитиване сорте уочена је слична промена садржаја TTC. Међутим, код сорте Marte није утврђена статистички значајна разлика између прве (119,94 µg/g TAE) и друге жетве (82,11 µg/g TAE), док је трећа жетва (184,53 µg/g TAE) статистички значајно

одступала у односу на обе претходне, што није био случај код преосталих сорти. Такође, код сорти Venere и Marte највише вредности забележене су у последњем откосу, где за разику од тога T&T остварује максималан TTC (130,62 μg/g TAE) у првом. Аутор Hassan Algarni (2025) пријавио је вредности укупних танина од 5.14 mg/g TAE суве масе, за култивисану руколу што представља више нивое у односу на вредности утврђене код испитиваних листова дивље руколе. Такође, Falleh et al. (2013) су пријавили садржај кондензованих танина изражених на сувој маси листова врста *Diplotaxis harra* око 1,75 mg/g CE (еквиваленти катехина), док је код *D. simplex* утврђена нижа вредност од приближно 0,81 mg/g CE. Стога, различитости у погледу вредости добијених по жетвама се могу приписати статистички значајном утицају сорте који обликује метаболичке путеве синтезе танина, али и утицају третмана који су укључени у оквиру жетви. С тим у вези извршена је евалуација вредности укупног садржаја танина према жетвама и третманима унутар сорти **(Табела 18)**.

Табела 18. Садржај TTC (μg/g TAE FW) у листовима испитиваних сорти дивље руколе у три сукцесивне жетве у зависности од фолијарног третмана

Сорта	Третман	Жетва I	Жетва II	Жетва III
Marte	**Контрола**	70,17± 0,73 d	66,34 ± 1,4 c	184,10 ± 1,24 b
	Fe	100,55 ± 0,74 c	88,84 ± 1,25 b	153,70 ± 0,79 c
	K	139,08 ± 0,44 b	146,88 ± 1,89 a	199,73 ± 0,93 a
	Kelpak	169,98 ± 0,52 a	26,40 ± 0,74 d	200,58 ± 0,44 a
Venere	**Контрола**	256,85 ± 0,15 a	62,28± 0,28 d	221,57 ± 0,36 b
	Fe	78,24 ± 0,47 d	67,65 ± 0,90 c	242,86 ± 0,34 a
	K	109,78 ± 0,52 c	89,62 ± 0,52 a	81,40 ± 0,98 c
	Kelpak	129,13 ± 0,88 b	80,36 ± 1,05 b	77,01 ± 0,61 d
T&T	**Контрола**	120,11 ± 0,97 c	35,77± 0,70 b	153,42 ± 1,11 a
	Fe	154,64 ± 0,37 b	34,86 ± 0,51 b	121,03 ± 0,35 c
	K	175,98 ± 0,79 a	62,96 ± 1,02 a	144,87 ± 0,64 b
	Kelpak	71,76 ± 0,62 d	65,91 ± 0,89 a	30,85 ± 1,05 d

Резултати су приказани као средња вредност ± SE (n = 3). Различита слова у оквиру исте колоне означавају статистички значајне разлике између третмана у оквиру исте сорте и жетве, утврђене Tukey HSD *post hoc* тестом ($p < 0,05$)

Правилно избалансирана исхрана биљака, која обухвата оптималан унос макро и микроелемената, као и примену биостимулатора, може значајно допринети ублажавању негативних ефеката абиотичког стреса, као што су ниске и високе температуре, салинитет, дефицит и суфицит доступне влаге, као и прекомерна инсолација (Di Sario et al., 2025; Kumari et al., 2022). Овакав приступ утиче на активирање антиоксидативних механизама и унапређење физиолошке стабилности биљака, што резултира повећаном толеранцијом на стресне услове. Како танини представљају механизам одбране на поменуте пратеће факторе производног циклуса, као и на процес вишеструког уклањања листова, примена фолијарних третмана у овој дисертацији може се посматрати као једна од стратегија за ублажававање синтезе ових једињења (Iqbal & Poór, 2025). Тако су у појединим комбинацијама сорте и жетве третмани (Fe, K и Kelpak) резултирали нижим вредностима TTC у односу на контролу, уз напомену да ова појава није испољила конзистентан образац. У првој жетви којој су претходиле ниске температуре у току вегетације, сорта Venere је остварила статистички значајно нижи садржај танина код свих испитиваних третмана у односу на котролу, са

најмањим садржајем код биљака третираних гвожђем (78,24 μg/g TAE). Ова редукована вредност TTC може се повезати са документованом улогом гвожђа у ублажавању последица стресних чиниоца кроз активацију ензима као што су каталаза, пероксидаза и изоформе супероксид-дисмутазе, који учествују у неутрализацији слободних радикала (Tripathi et al., 2018). Ефекат Kelpak-a у условима салинитета описан је и код спанаћа, где је примена биостимулатора довела до смањења оксидативног стреса и стабилизације антиоксидативног система, уз истовремено побољшање раста и нутритивног статуса биљака (Sogoni et al., 2024). Ови резултати указују да биостимулатори могу регулисати физиолошке одговоре на стрес, што потенцијално утиче и на интензитет синтезе секундарних метаболита, а са тим у вези, снижене вредности TTC у појединим третманима овог истраживања. У току пролећне сезоне, односно анализом другог откоса, ефекти третмана су се одразили кроз акумулацију танина, са изузетком третмана екстрактом браон алги код сорте Marte. У трећој, летњој жетви, коју су карактерисале повишене температуре, интензивнија инсолација и дужи фотопериод, код сорти Venere и T&T, фолијарна прихрана испољила је статистички значајан ефекат у погледу редукције садржаја танина. Најниже вредности TTC забележене су при примени Kelpak-a, и то 77,01 и 30,85 μg/g TAE, редом. Precupeanu et al. (2025) пријавили су конзистентан садржај танина (0.06 mmol/100 g суве масе) код култивара Bologna дивље руколе, при чему различити режими ђубрења (органско и синтетичко) нису довели до статистички значајних промена у њиховој концентрацији поредећи са контролом.

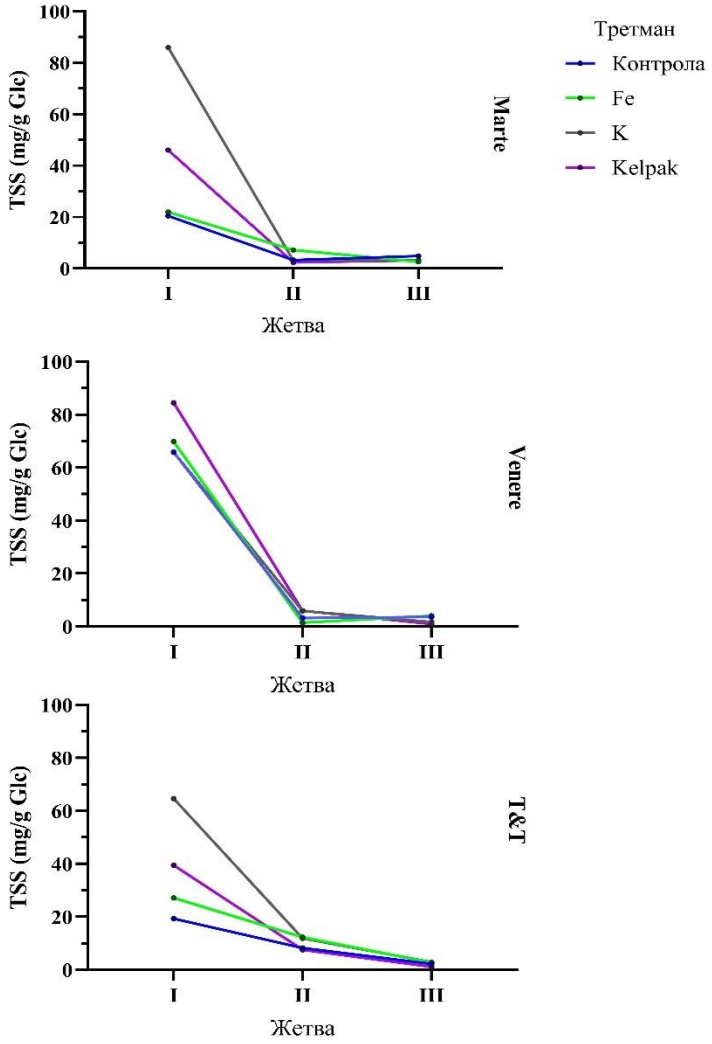
Резултати указују да је акумулација танина пре свега генотипски условљена,. Истовремено, изражен утицај жетве указује да су сезонски услови и пратећи абиотички фактори значајно модификовали овај одговор док фолијарни третмани нису испољили униформан ефекат, већ је њихов утицај био зависан од сорте и фазе вегетације. С тим у вези, добијени резултати отварају два потенцијална правца у производњи дивље руколе. Уколико је циљ производње повећање нутритивне и функционалне вредности производа, односно добијање лисне масе богатије биоактивним једињењима, производни системи могу бити усмерени ка сортама и условима гајења и агротехничким мерама које подстичу већу акумулацију танина. Са друге стране, уколико је приоритет побољшање органолептичког квалитета и смањење изражене горчине листова, резултати овог истраживања указују да се кроз избор одговарајућих фолијарних третмана у оквиру специфичне сорте и реда жетве може постићи редукција ових једињења. Оваквим приступом произвођачима се омогућава одређени степен контроле над хемијским саставом и сензорним својствима, чиме се производ може прилагодити различитим тржишним захтевима и преференцама потрошача.

5.2.1.5. Садржај укупних растворљивих шећера

Поред фенолних једињења, танина и глукозинолата, који су одговорни за карактеристичну љуткасту и пикантну ноту листова дивље руколе, растворљиви шећери значајно доприносе формирању укупне палете укуса, утичући на баланс између слаткоће и горчине. За разлику од претходно анализираних танина и глукозинолата, који су повезани са израженијом горчином, растворљиви шећери имају улогу у ублажавању ових осећаја и могу допринети пријатнијем укусу листова. Садржај ових једињења зависи од физиолошког стања биљке и од услова и агротехничких мера током производног циклуса, где се истиче број откоса као један од значајних фактора (Bell et al., 2020). Растворљиви шећери представљају примарне производе фотосинтезе и кључне метаболите који учествују у многим

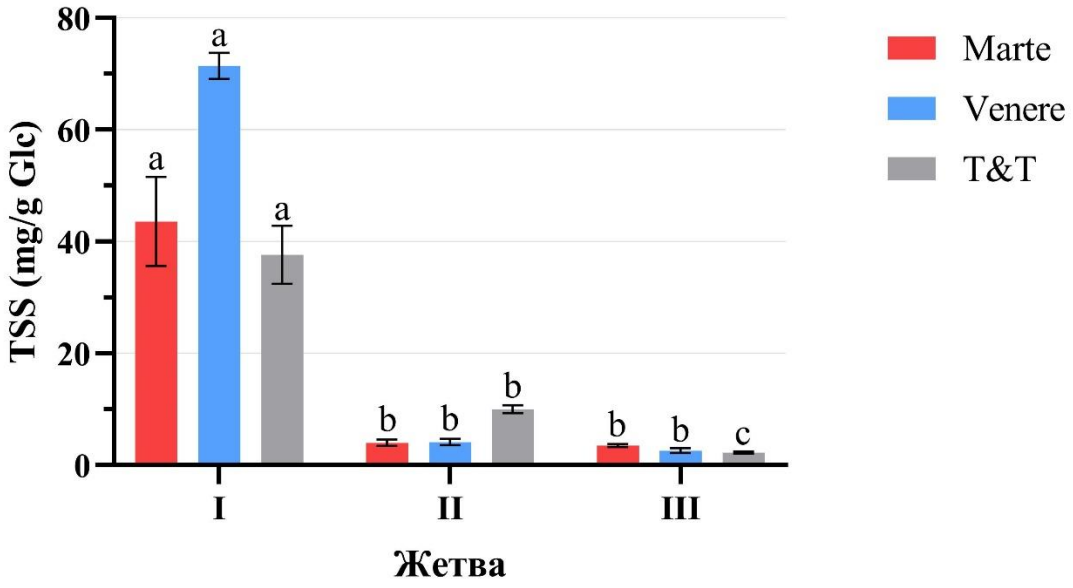
физиолошким процесима, укључујући раст, развој и адаптацију биљака на стресне услове. У листовима ове врсте најчешће се јављају једноставни шећери (моно- и дисахариди), при чему је глукоза идентификована као доминантна компонента, док се у мањим количинама могу наћи и фруктоза и сахароза (Bell et al., 2020). Због тога се анализа садржаја растворљивих шећера може посматрати не само са аспекта квалитета и укуса производа, већ и као показатељ стања биљке и утицаја агроеколошких услова током гајења. У наставку су приказани резултати одређивања укупног садржаја растворљивих шећера (TSS) у листовима дивље руколе у зависности од испитиваних фактора.

На **Слици 40** приказана је динамика садржаја TSS кроз производни циклус, а сходно примењеним третманима на сортама Marte, Venere и T&T. Статистичком анализом није потврђен значајан утицај сорте и примењених фолијарних третмана. Међутим, климатски фактори у стакленику, а и стрес изазван откосом листова према Kruskal–Wallis-ом тесту показали су статистички значајнан утицај.



Слика 40. Промене садржаја укупних растворљивих шећера (TSS), изражених као mg глукозе (Glc)/g FW, у листовима дивље руколе у зависности од сорте, сукцесивне жетве и примењених фолијарних третмана

Изражен утицај жетве довео је до опадања садржаја шећера након првог откоса који се код свих сорти статистички разликовао од осталих **(Слика 41)**. У току зимских месеци, праћених ниским температурама, акумулација шећера се повезује са аклиматизацијом и одбрамбеним механизмом биљке, односно до диференцијалне експресије гена, и њиховој регулацији осмотског притиска, стабилизацији ћелијских мембрана и снижавању тачке смрзавања (Chowhan et al., 2024).



Слика 41. Утицај жетве на садржај TSS (mg/g Glc) код сорти Marte, Venere и T&T. Вредности су изражене у односу на FW и приказане као средња вредност ± SE (n = 12). Различита слова изнад колона означавају статистички значајне разлике између жетви у оквиру исте сорте (Kruskal–Wallis тест; Dunn–Bonferroni *post hoc* анализа, $p < 0,05$)

Супротно резултатима добијеним у овом истраживању, поједини аутори су забележили више вредности садржаја шећера у листовима дивље руколе током летњег периода. Тако су Bell et al. (2020) у истраживању спроведеном на комерцијалним култиварима руколе, укључујући и Venere, утврдили повећан садржај шећера у летњим месецима. Међутим, треба имати у виду да је анализиран материјал различитих култивара, различитог порекла и услова гајења, као и различитог броја откоса, што може значајно утицати на варијабилност садржаја шећера. Значајан пад након првог откоса и уласка биљака у пролећну, па потом у летњу сезону може бити повезан са стресом који је проузоркован уклањањем листова. Наиме, током вегетативног раста биљке фотосинтезом синтетишу угљене хидрате који се користе за раст и развој. Након жетве листова долази до смањења фотосинтетичког капацитета, а новоформирани асимилати усмеравају се пре свега на регенерацију лисне масе и обнову биљног ткива. Оваква прерасподела угљених хидрата може се одразити на ниже концентрације растворљивих шећера у новонасталим листовима. Такође, Klopotek & Kläring (2014) показали су да смањење температуре доводи до акумулације глукозе у листовима парадајза, док непосредно по повећању температуре је дошло до наглог смањења концентрације. Такође, смањење TSS у летњем периоду може се довести у везу и са повећаним интензитетом светлосног зрачења (PAR, UV-B)(Rosa et al., 2009). Између друге и треће жетве код сорти Marte и Venere, није било статистички значајних разлика, супротно сорти T&T. У истраживању на култиварима дивље руколе Marte и Denver, узоркованим у првој жетви током јуна месеца, применом HPLC анализе утврдили укупан садржај шећера од 2.69 и 2.63 mg/g FW, при чему је глукоза била доминантан шећер у односу на фруктозу (Raffo et al., 2024). Ови резултати су приближни резултатима добијеним у овој дисертацији за летњу жетву сорте Marte.

Како утицај сорте и примењених фолијарних третмана није био статистички значајан, резултати у **Табели 19** приказани су дескриптивно.

Табела 19. Садржај TSS (mg/g Glc FW) у листовима испитиваних сорти дивље руколе у три сукцесивне жетве у зависности од фолијарног третмана

Сорта	Третман	Жетва I	Жетва II	Жетва III
Marte	**Контрола**	20,42 ± 0,33	3,25 ± 0,42	4,87 ± 0,42
	Fe	21,98 ± 0,03	7,17± 0,25	2,63 ± 0,10
	K	85,94 ± 0,78	3,13 ± 0,40	3,63 ± 0,14
	Kelpak	46,01 ± 0,56	2,41 ± 0,52	3,19 ± 0,28
Venere	**Контрола**	65,82 ± 0,61	3,24± 0,49	3,61 ± 0,19
	Fe	69,78 ± 0,47	1,44 ± 0,03	4,08 ± 0,57
	K	65,76 ± 0,81	5,84 ± 0,34	1,73 ± 0,27
	Kelpak	84,49 ± 0,40	5,99 ± 0,45	0,92 ± 0,09
T&T	**Контрола**	19,31 ± 0,69	8,23± 0,86	2,20± 0,17
	Fe	27,10 ± 0,91	12,30 ± 0,77	2,72± 0,36
	K	64,61 ± 2,18	11,90 ± 0,51	2,87 ± 0,19
	Kelpak	39,42 ± 0,74	7,53 ± 0,39	1,11 ± 0,07

Вредности су приказане као средња вредност ± SE (n=3). Статистичка анализа спроведена је применом Kruskal–Wallis теста. Није утврђен статистички значајан главни ефекат фактора третмана ($p > 0,05$)

Растворљиви шећери представљају један од важних фактора који утичу на сензорни профил листова, будући да доприносе перцепцији слаткоће и учествују у формирању баланса између слатких, горких и оштрих нота укуса. Стога се може претпоставити да уочене варијације у садржају шећера, иако статистички незнатне, потенцијално могу допринети суптилним променама у укусу листова дивље руколе. Сходно томе, за потпунију процену утицаја агротехничких мера на квалитет листова, препоручује се спровођење сензорних анализа које би омогућиле директну процену промена у укусу и прихватљивости производа код потрошача.

5.2.1.6. Садржај пролина

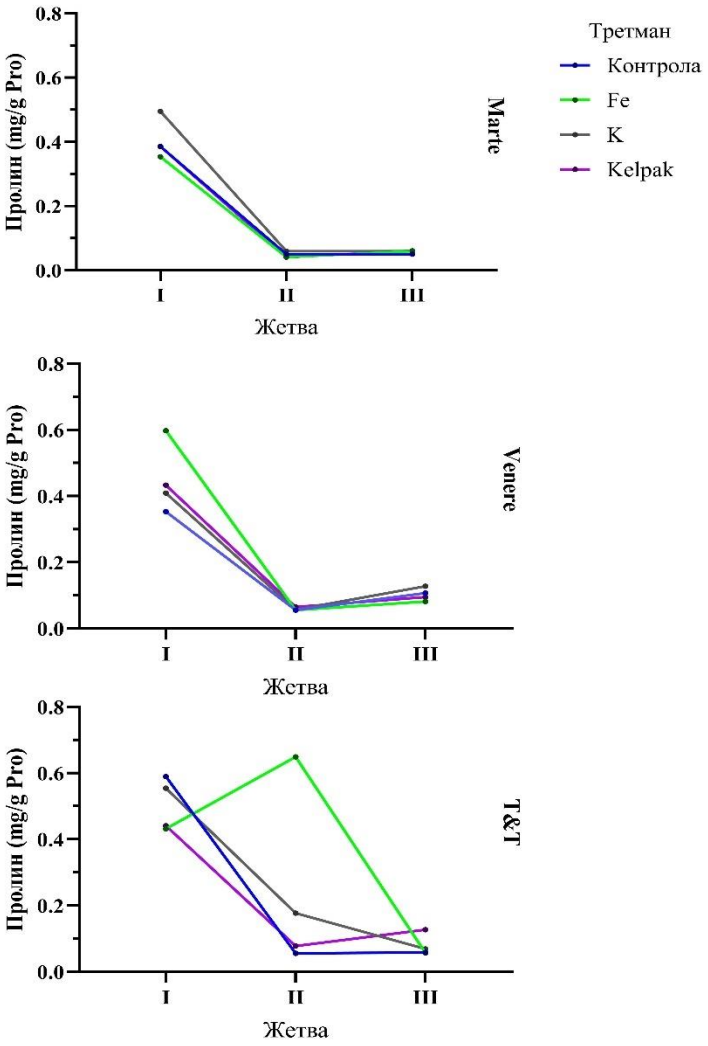
У току производног циклуса повртарских култура, чак и у условима гајења у заштићеном простору, биљке су изложене различитим облицима абиотичког стреса. У таквим условима активирају се бројни одбрамбени механизми, који се, између осталог, огледају у појачаној синтези различитих метаболита са заштитном улогом. Међу овим једињењима посебно се издвајају пролин и фитати.

Пролин је аминокиселина мале молекулске масе која се у биљним ћелијама често акумулира као компатибилни осмолит, пре свега у цитоплазми. Његова акумулација забележена је при појави водног дефицита, ниских и високих температура, повећаног салинитета, присуства токсичних елемената, као и при излагању појачаном UV зрачењу (Hayat et al., 2012). Синтеза пролина најчешће се одвија из глутамата, а повећан садржај овог једињења представља један од важних физиолошких показатеља стресних услова у биљци (Kavi Kishor, 2015). Поред своје улоге у осморегулацији, пролин учествује у стабилизацији протеина и ћелијских мембрана, делује као антиоксиданс, може функционисати као метал-

хелатор и учествује у расту и развићу биљака. Истовремено, пролин има и сигналну улогу у регулацији адаптивних одговора, доприносећи комплекснијим системима физиолошких и биохемијских процеса који омогућавају биљкама да се прилагоде неповољним условима средине.

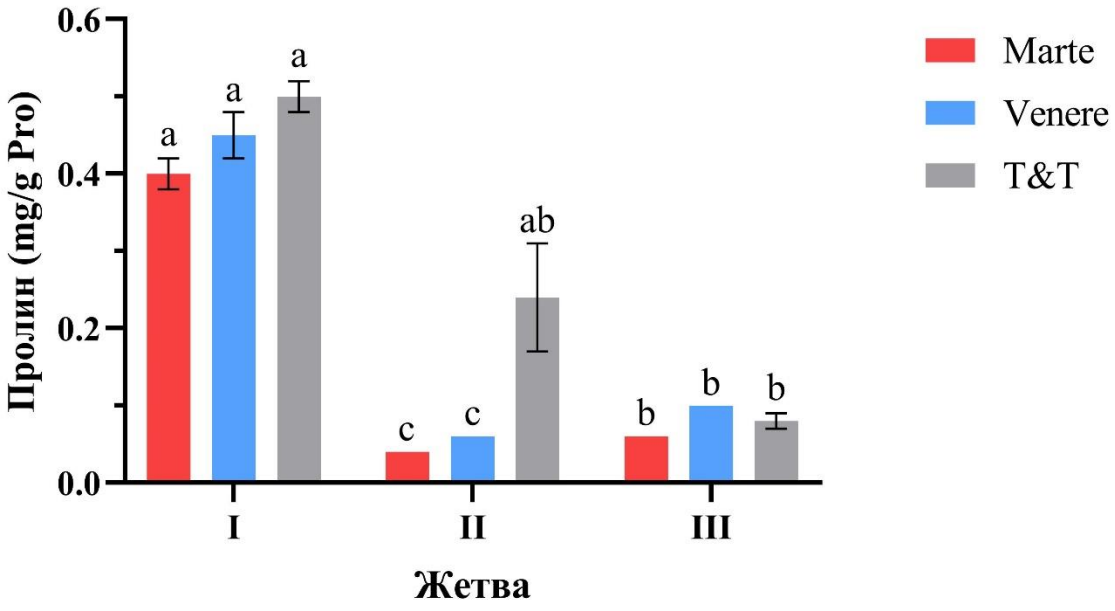
Испитивање садржаја пролина у листовима дивље руколе у зависности од услова гајења, сукцесивних откоса и примене фолијарних третмана, према доступној литератури, до сада нису разматрана. Иако се пролин пре свега посматра као индикатор физиолошког одговора биљака, његово присуство у биљном материјалу може имати и извесни нутритивни значај, имајући у виду улогу ове аминокиселине у метаболизму протеина и синтези колагена код људи (Stępień et al., 2023).

Испитиване сорте имале су сличан одговор на сезону гајења у погледу синтезе пролина (**Слика 42)**. Акумулација ове аминокиселине у биљкама третираним фолијарним препаратима била је упоредива са контролом, док је статистичка анализа указала на одсуство значајног утицаја овог фактора.



Слика 42. Промене садржаја пролина израженог као mg/g пролина (Pro) FW према сортама, сукцесивној жетви и третманима

С друге стране, жетва, односно сезона гајења која јој је претходила, имала је статистички значајан утицај на садржај пролина. Накнадним Bonferroni *post hoc* тестом утврђене су и статистички значајне разлике између појединачних откоса у оквиру испитиваних сорти **(Слика 43)**.

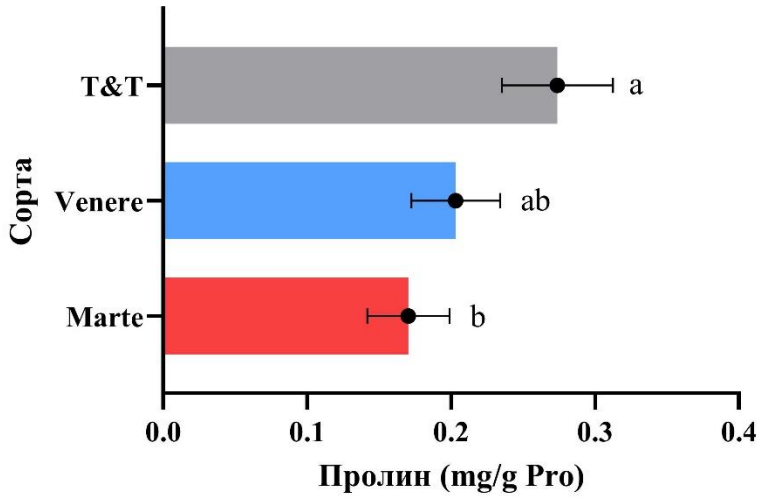


Слика 43. Утицај жетве на садржај пролина (mg/g Pro) код сорти Marte, Venere и T&T. Вредности су изражене у односу на FW и приказане као средња вредност ± SE (n = 12). Различита слова изнад колона означавају статистички значајне разлике између жетви у оквиру исте сорте (Kruskal–Wallis тест; Dunn–Bonferroni *post hoc* анализа, $p < 0,05$)

Све три испитиване сорте су имале највиши садржај пролина у зимском откосу који се кретао од 0,40 до 0,50 mg/g. Ова акумулација се може повезати са ниским температурама које су карактелисале ову фазу производног циклуса. Истраживања показују да се при излагању ниским температурама долази до значајног повећања садржаја пролина у различитим органима биљака, при чему је његова акумулација посебно изражена у надземним деловима биљке, док је у корену мање (Štefl et al., 1978). Слична запажања су уочена код кеља (*B. oleracea* var. *acephala*) где је утврђено да се садржај пролина повећава након излагања ниским температурама, при чему је након 24 часа на температури од 8 °C забележен пораст од око 14% у односу на контролу, док је након краткотрајног излагања температури од −8 °C повећање достигло и до 49% (Ljubej et al., 2021). Истраживања на јечму (*Hordeum distichum* L.) и пшеници (*Triticum aestivum* L.) показало је да се пролин акумулира у листовима младих биљака при излагању ниским температурама, док при оптималној температури његова акумулација није била изражена (Chu et al., 1978). Аутори такође истичу постојање одређеног критичног температурног прага код врста везано за синтезу овог једињења. Ови резултати указују да се акумулација пролина може посматрати као један од показатеља стресних услова током зимског периода код дивље руколе, што се доводи у везу са његовом улогом осмолита у регулацији ћелијског метаболизма. Стога, смањења његовог садржаја у накнадним откосима може бити повезано са повољнијим температурним и светлосним условима у току пролећа и лета. Најниже вредности забележене су у другој жетви код сорти Marte и Venere (0,04 и 0,06 mg/g), док су код T&T остварене у трећој (0,08 mg/g). У литератури су забележене више вредности садржаја пролина код дивље руколе где су Ressurreição et al. (2026) утврдили садржај пролина од 96,5 mg/100 g свежег биљног материјала код листова убраних у јуну, пре почетка цветања. Ове вредности су више у односу

на резултате добијене у овој дисертацији, што може бити последица различите методе утврђивања, начина и агроклиматских услова гајења и сорте.

Ефекат сорте на акумулацију пролина имао је изражен статистичи значај, а резултати су приказани на **Слици 44**.



Слика 44. Утицај сорте на садржај пролина у листовима дивље руколе. Вредности су приказане као средња вредност ± SE изражене на FW. Различита слова означавају статистички значајне разлике између сорти према Dunn–Bonferroni *post hoc* тесту ($p < 0,05$)

Највиши садржај пролина утврђен је код сорте T&T (0,27 mg/g), која се статистички значајно разликовала од сорте Marte (0,17 mg/g). Сорта Venere имала је интермедијарне вредности (0,20 mg/g) и није показала статистички значајну разлику у односу на остале групе. Уочене разлике у садржају пролина између испитиваних сорти могу се довести у везу са њиховим генотипским карактеристикама. Укупном нивоу пролина код испитиваних сорти у највећој мери допринела је акумулација у зимском откосу, а с обзиром на то да је сорта Marte, према опису семенске куће, окарактерисана као изразито толерантна на ниске температуре, код ове сорте је утврђен и најнижи садржај пролина. Виши садржај пролина код сорте T&T може указивати на израженију метаболичку реакцију на услове средине.

Како ефекат третмана није имао значаја, вредности у **Табели 20** су приказане ради потпунијег увида у варијације између група.

Табела 20. Садржај пролина (mg/g Pro FW) у листовима испитиваних сорти дивље руколе у три сукцесивне жетве у зависности од фолијарног третмана

Сорта	Третман	Жетва I	Жетва II	Жетва III
Marte	Контрола	0,39 ± 0,00	0,05 ± 0,00	0,05 ± 0,00
	Fe	0,35 ± 0,00	0,04± 0,00	0,06 ± 0,00
	K	0,49 ± 0,00	0,06 ± 0,00	0,06 ± 0,00
	Kelpak	0,38 ± 0,00	0,04 ± 0,00	0,06 ± 0,00
Venere	Контрола	0,35 ± 0,00	0,06± 0,00	0,11 ± 0,00
	Fe	0,59 ± 0,00	0,06 ± 0,00	0,08 ± 0,00
	K	0,41 ± 0,00	0,06 ± 0,00	0,13 ± 0,00
	Kelpak	0,43 ± 0,00	0,07 ± 0,00	0,09 ± 0,00
T&T	Контрола	0,59 ± 0,00	0,05± 0,00	0,06 ± 0,00
	Fe	0,43 ± 0,00	0,65 ± 0,00	0,05 ± 0,00
	K	0,55 ± 0,00	0,18 ± 0,00	0,07 ± 0,00
	Kelpak	0,44 ± 0,00	0,08 ± 0,00	0,13 ± 0,00

Вредности су приказане као средња вредност ± SE (n=3). Статистичка анализа спроведена је применом Kruskal–Wallis теста. Није утврђен статистички значајан главни ефекат фактора третмана ($p > 0,05$)

У погледу третмана, псебно се издваја сорта T&T, код које је у другом откосу забележен израженији пораст садржаја пролина у варијанти са Fe ђубрењем. Ова појава може указивати на специфичан физиолошки одговор генотипа у датим агроеколошким условима, будући да гвожђе учествује у редокс процесима.

Резултати указују да је акумулација пролина код дивље руколе пре свега условљена сезонским факторима, односно температурним условима током периода гајења, док генотип додатно модификује интензитет овог физиолошког одговора. Са друге стране, примењени фолијарни третмани нису показали значајан утицај на синтезу овог једињења, што указује да акумулација пролина у овом истраживању представља пре свега адаптивни одговор биљака на услове средине.

5.2.1.7. Садржај укупних фитата

Поред пролина, у биљкама се као важни метаболити повезани са адаптивним одговором на услове средине издвајају и фитати. Фитати представљају соли фитинске киселине, једињења које настаје у метаболизму инозитол-фосфата и резерве фосфора у биљним ткивима (Gupta et al., 2015). У људској исхрани фитати имају двојаку улогу, која зависи од њихове концентрације. У већим количинама могу смањити биодоступност минерала, попут гвожђа и цинка, услед формирања стабилних комплекса са овим елементима (Pramitha et al., 2021). Поред тога, фитати могу инхибирати деловање дигестивних ензима као што су пепсин, трипсин и амилаза (Popova & Mihaylova, 2019). Из наведених разлога ове соли се сматрају антинутријентима. Са друге стране, фитинска киселина и њени деривати могу деловати као природни антиоксиданси.

Садржај фитата у биљкама може бити условљен различитим факторима средине. Показано је да абиотички стрес, попут салинитета, може утицати на акумулацију фитинске киселине у биљним ткивима (Ha et al., 2020). Поред тога, фитинска киселина учествује у

сигналним путевима који регулишу физиолошке одговоре биљака, док истовремено може деловати и као антиоксиданс који штити ћелије од оксидативног стреса (Sparvoli & Cominelli, 2015). Испитивање садржаја фитата у листовима дивље руколе до сада није забележено у доступној литератури.

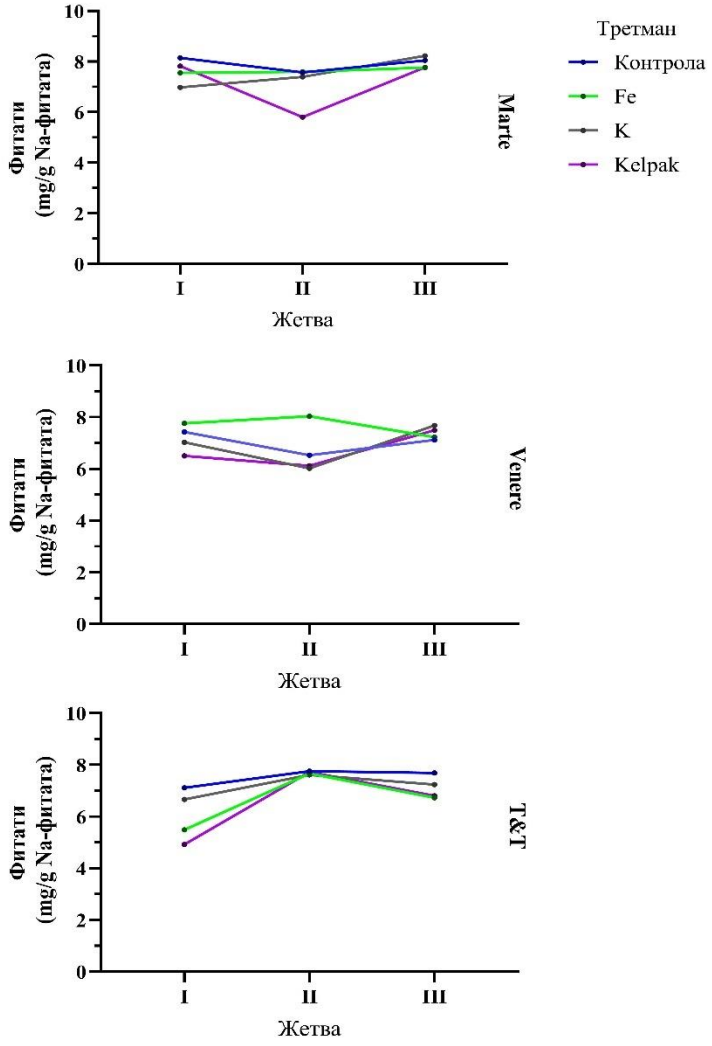
Резултати статистичке анализе приказане су у **Табели 21**, где је истакнута значајност главних фактора као и њихове двоструке и троструке интеракције.

Табела 21. Резултати трофакторске анализе варијансе (ANOVA) утицаја сорте, фолијарног третмана и сукцесивне жетве на садржај укупних фитата у листовима дивље руколе

Извор варијације	**df**	**F**	***p***
Третман	3	516,25	<0,001**
Жетва	2	532,29	<0,001**
Сорта	2	756,75	<0,001**
Третман х жетва	6	323,59	<0,001*
Третман х сорта	6	218,22	<0,001**
Жетва х сорта	4	986,49	<0,001**
Третман х жетва х сорта	12	186,679	<0,001**

df – степен слободе; F – вредност Фишеровог теста F-теста; *p* – ниво статистичке значајности *$p < 0,05$ и ** $p < 0,01$

Добијени резултати указују да на садржај фитата у значајној мери утичу и генотипске карактеристике испитиваних сорти, као и услови током производног циклуса и примењене агротехничке мере. Такође, на **Слици 45** приказан је образац акумулације фитата по жетвама и сортама, сходно примењеним третманима.



Слика 45. Промене садржаја укупних фитата израженог као mg натријум-фитата (Na-фитата)/g FW, у листовима дивље руколе у зависности од сорте, сукцесивне жетве и примењених фолијарних третмана

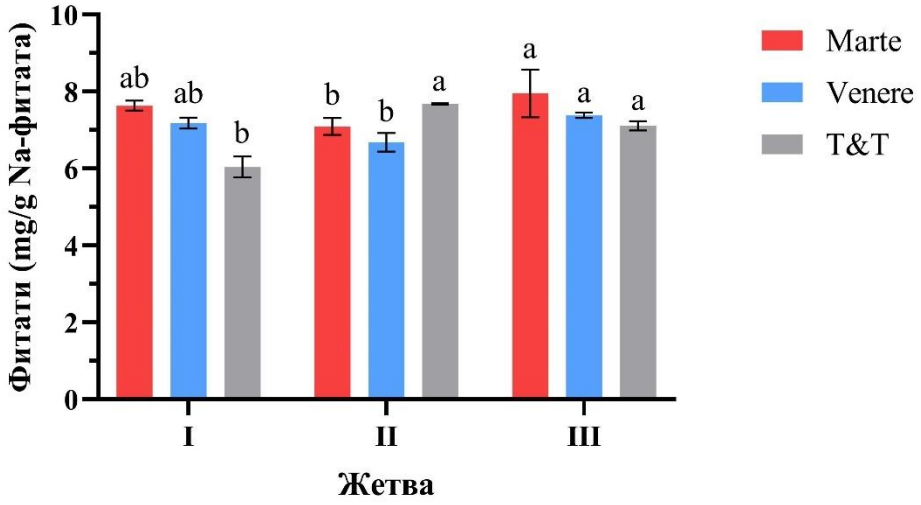
С обзиром на статистички значајну интеракцију између испитиваних фактора, даља анализа била је усмерена на испитивање утицаја фолијарних третмана и сукцесивних жетви у оквиру сваке сорте појединачно **(Табела 22)**.

Табела 22. Резултати двофакторске анализе варијансе (ANOVA) утицаја фолијарног третмана и жетве на садржај укупних фитата у листовима испитиваних сорти дивље руколе

Сорта	Извор варијације	df	F	*p*
Marte	Третман	3	198,36	<0,001**
	Жетва	2	463,98	<0,001**
	Третман х жетва	6	222,656	<0,001**
Venere	Третман	3	567,32	<0,001**
	Жетва	2	566,572	<0,001**
	Третман х жетва	6	377,183	<0,001**
T&T	Третман	3	300,86	<0,001**
	Жетва	2	1203,78	<0,001**
	Третман х жетва	6	116,99	<0,001**

df – степен слободе; F – вредност Фишеровог теста F-теста; *p* – ниво статистичке значајности *$p < 0,05$ и ** $p < 0,01$

Резултати двофакторске анализе варијансе показали су да су и фолијарни третмани и жетва имали статистички значајан утицај на садржај фитата код свих испитиваних сорти. Такође, утврђена је статистички значајна интеракција између ова два фактора, што указује да се ефекат примењених третмана разликовао у зависности од сукцесивног откоса. *Post hoc* тестом утврђена је статистички значајна разлика између откоса **(Слика 46)**.



Слика 46. Утицај жетве на садржај укупних фитата (mg Na-фитата/g FW) код сорти Marte, Venere и T&T. Вредности су приказане као средња вредност ± SE (n = 12). Различита слова изнад колона означавају статистички значајне разлике између жетви у оквиру исте сорте (ANOVA; Tukey *post hoc* анализа, $p < 0,05$)

Укупан садржај фитата се кретао од 6,04 до 7,95 mg/g кроз откосе. Најниже вредности забележене су у првом откосу код сорте T&T. Код сорте Marte и Venere статистички значајно већи садржај фитата утврђен је у трећем откосу у односу на други. Код сорте T&T повећање садржаја фитата уочено је већ у другом откосу, након чега су вредности остале на сличном

нивоу и у трећем. Међутим, уочене разлике у садржају фитата између сукцесивних откоса могу се довести у везу са физиолошком улогом ових једињења у биљкама. Тако код беле тополе (*Populus alba* L.) показано да се фитинска киселина, као главни облик складиштења фосфора, акумулира у гранчицама током јесени и зиме, док у раном пролећу долази до његовог брзог смањења услед мобилизације фосфора за потребе раста и развоја нових ткива (Kurita et al., 2017). Стога, ниже вредности у појединим откосима могу бити последица интензивнијег раста у новоформираном ткиву. Уочене разлике између сорти указују и на значај генотипских карактеристика у регулацији метаболизма фосфора и акумулације фитата.

Садржај фитата у листовима дивље руколе варирао је у зависности од примењеног фолијарног третмана, сорте и жетве. Уопштено посматрано, код већине третираних варијанти уочена је склоност ка нижим вредностима у односу на контролу, што указује да примена фолијарних третмана може допринети смањењу садржаја ових антинутритивних једињења **(Табела 23)**.

Табела 23. Садржај укупних фитата (mg Na-фитата/g FW) у листовима испитиваних сорти дивље руколе у три сукцесивне жетве у зависности од фолијарног третмана

Сорта	Третман	Жетва I	Жетва II	Жетва III
Marte	**Контрола**	8,15± 0,05 a	7,57 ± 0,02 ab	8,04 ± 0,07 a
	Fe	7,55 ± 0,02 c	7,59 ± 0,06 a	7,76 ± 0,01 b
	K	6,98 ± 0,01 d	7,40 ± 0,04 b	8,22 ± 0,04 a
	Kelpak	7,82 ± 0,03 b	5,80 ± 0,01 c	7,77 ± 0,02 b
Venere	**Контрола**	7,42 ± 0,04 b	6,53± 0,00 b	7,12 ± 0,00 d
	Fe	7,76 ± 0,02 a	8,04 ± 0,04 a	7,23 ± 0,01 c
	K	7,03 ± 0,01 c	6,02 ± 0,01 c	7,68 ± 0,03 a
	Kelpak	6,50 ± 0,07 d	6,12 ± 0,03 c	7,49 ± 0,02 b
T&T	**Контрола**	7,11 ± 0,05 a	7,75± 0,01 a	7,69 ± 0,02 a
	Fe	5,49 ± 0,05 c	7,66 ± 0,04 ab	6,73 ± 0,13 c
	K	6,66 ± 0,03 b	7,61 ± 0,01 b	7,23 ± 0,00 b
	Kelpak	4,92 ± 0,01 d	7,72 ± 0,00 a	6,80 ± 0,03 c

Вредности су приказане као средња вредност ± SE (n=3). Различита слова у оквиру исте колоне означавају статистички значајне разлике између третмана у оквиру исте сорте и жетве, утврђене Tukey HSD *post hoc* тестом ($p < 0,05$)

Најизраженије смањење уочено је код варијанти третираних биостимулатором Kelpak, где су код свих испитиваних сорти у појединим откосима забележене најниже вредности фитата. Овај тренд је посебно изражен код сорте T&T у првом откосу, где је вредност износила 4,92 mg/g, што представља најнижи утврђени садржај у оквиру читавог огледа. Биостимулатори могу утицати на ефикасније усвајање и искоришћење хранљивих елемената, укључујући фосфор, што потенцијално смањује потребу за његовим складиштењем у облику фитата у биљним ткивима (Ali et al., 2021; Shukla & Prithiviraj, 2021). Слична тенденција уочена је и код третмана гвожђем и калијумом, где су у већини случајева вредности фитата биле ниже или упоредиве са контролом. Ово може указивати на то да побољшана минерална исхрана и физиолошки статус биљке, под утицајем фолијарних третмана, доводи до промена у метаболизму фосфора и смањене акумулације фитата као резервних облика фосфора. Ипак,

уочене су и одређене варијације између сорти и жетви, што указује да на акумулацију фитата, поред примене третмана, значајно утичу и генотипске карактеристике и фазе развоја биљке.

Дакле, акумулација фитата у листовима дивље руколе зависи од генотипских карактеристика сорти, што упућује на различите механизме регулације метаболизма фосфора и његовог складиштења у облику фитата. Истовремено, уочено смањење садржаја фитата код појединих фолијарних третмана може се сматрати повољним са нутритивног аспекта, јер доприноси повећању биодоступности минерала и унапређењу нутритивне вредности листова.

5.2.1.8. Садржај укупног токоферола

Токохроманоли, представљају микронутријенте који се одликују изузетним здравственим бенефитима. Ова липофина група једињења, позната као витамин Е, обједињује токоферолe (α, β, γ, и δ) и токотриеноле, међу којима је α-токоферол најраспрострањенији у биљном царству (Kukri et al., 2025). Токоферoли су истакнути антиоксиданси, а поред њихове улоге у неутралисању слободних радикала истиче се и њихов потенцијал у превенцији различитих облика канцера, као и у одржавању здравља коже, скелетно-мишићног система и кардиоваскуларног здравља (Atkinson et al., 2008; Shahidi & De Camargo, 2016). Биосинтеза ових једињења одвија се у пластидима, најчешће у хлоропластима листова, док њихову акумулацију могу подстаћи различити биотички и абиотички фактори стреса. Тако екстремне температуре, салинитет, висок интензитет светлости, суша и присуство токсичних елемената могу довести до варијација у погледу садржаја токоферола (Faizan et al., 2023; Niu et al., 2022). Дакле, листови дивље руколе, као јестиви органи, могу представљати значајан извор овог витамина који је подложан осцилацијама кроз сезоне производног процеса.

Сходно наведеном, резултати статистичке анализе садржаја укупног токоферола у листовима дивље руколе у зависности од сорте, жетве и примењених фолијарних третмана приказани су у **Табели 24.**

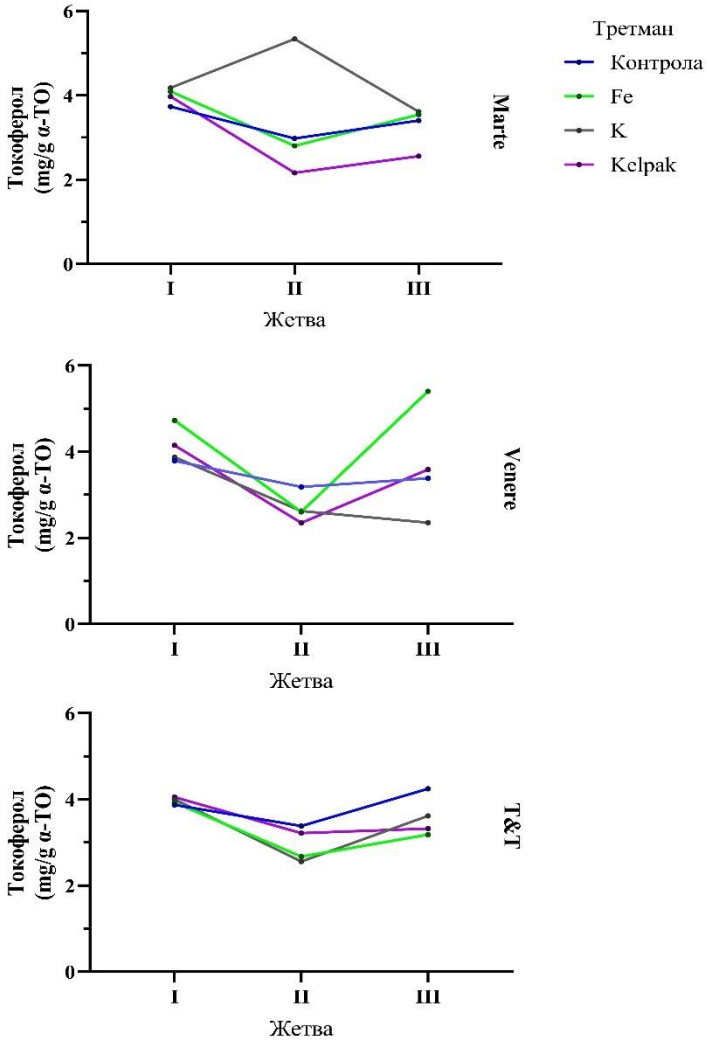
Табела 24. Резултати трофакторске анализе варијансе (ANOVA) утицаја сорте, фолијарног третмана и сукцесивне жетве на садржај укупног токоферола у листовима дивље руколе

Извор варијације	**df**	**F**	***p***
Третман	3	16,32	<0,001**
Жетва	2	197,47	<0,001**
Сорта	2	0,20	0,822
Третман х жетва	6	28,29	<0,001*
Третман х сорта	6	58,64	<0,001**
Жетва х сорта	4	18,53	<0,001**
Третман х жетва х сорта	12	20,85	<0,001**

df – степен слободе; F – вредност Фишеровог теста F-теста; *p* – ниво статистичке значајности *$p < 0,05$ и ** $p < 0,01$

Главни фактори показали су статистички веома значајан утицај на варијације у садржају овог једињења, изузев утицаја сорте који није био значајан. Међутим, интеракција сорте са жетвом, као и интеракција сорте са третманима, показала је статистичку значајност.

Варијације у концентрацији токоферола изазване овим факторима и њиховим комбинованим дејством су приказане на **Слици 47**.



Слика 47. Промене садржаја укупног токоферола израженог као mg α-токоферола (α-TO)/g FW у листовима дивље руколе у зависности од сорте, сукцесивне жетве и примењених фолијарних третмана

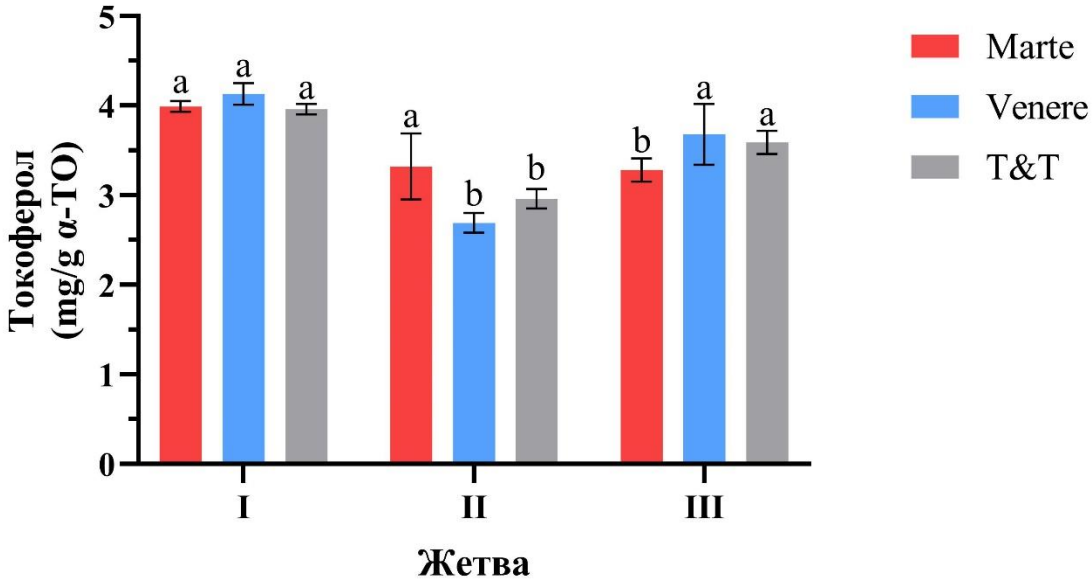
Имајући у виду статистички значајне интеракције сорте са жетвом и третманима, у наставку су анализирани ефекти двофакторских комбинација наведених фактора на садржај токоферола **(Табела 25)**.

Табела 25. Резултати двофакторске анализе варијансе (ANOVA) утицаја фолијарног третмана и жетве на садржај укупног токоферола у листовима испитиваних сорти дивље руколе

Сорта	Извор варијације	df	F	*p*
Marte	Третман	3	75,729	<0,001**
	Жетва	2	42,483	<0,001**
	Третман х жетва	6	35,205	<0,001**
Venere	Третман	3	38,440	<0,001**
	Жетва	2	95,713	<0,001**
	Третман х жетва	6	22,613	<0,001**
T&T	Третман	3	15,674	<0,001**
	Жетва	2	90,238	<0,001**
	Третман х жетва	6	9,158	<0,001**

df – степен слободе; F – вредност Фишеровог теста F-теста; *p* – ниво статистичке значајности *$p < 0,05$ и ** $p < 0,01$

Посматрајући резултате, може се уочити да је жетва представљала један од најзначајнијих фактора који је условио промене у садржају токоферола. Даља статистичка анализа по сортама издвојила је статистички значајне разлике између откоса **(Слика 48)**.



Слика 48. Утицај жетве на садржај укупног токоферола (mg α-TO/g FW) код сорти Marte, Venere и T&T. Вредности су приказане као средња вредност ± SE (n = 12). Различита слова изнад колона означавају статистички значајне разлике између жетви у оквиру исте сорте (Welch ANOVA; Games-Howell *post hoc* анализа, $p < 0,05$)

Укупан садржај токоферола кретао се од 2,69 до 4,13 mg/g кроз откосе. Међутим, ови резултати истичу значај интеракције генотипа и сукцесивне жетве у формирању садржаја токоферола. Код сорти Venere и T&T уочена је статистички значајна разлика између прве и

друге жетве, при чему је у другом откосу забележен пад концентрације овог једињења. Насупрот томе, код сорте Marte није утврђена статистички значајна разлика између прве и друге жетве. Највише вредности остварене у првом откосу могу да се припишу утицају ниских температура у току зиме. Према Maeda et al. (2006), токофероли имају значајну улогу у адаптацији биљака на нискотемпературни стрес, будући да учествују у одржавању физиолошких процеса и транспорта фотоасимилата у условима хладноће. У трећем откосу код сорти Venere и T&T уочено је поновно повећање садржаја токоферола, док је код сорте Marte вредност остала нижа у односу на први откос. Повишене вредности у последњем откосу могу се повезати са појачаним интензитетом светлости којима је биљка изложена у летњим месецима. Слична запажања наводе Khoramizadeh et al. (2024) , који су показали да се концентрација α-токоферола у листовима дивље руколе повећава са порастом интензитета зрачења, будући да овај липофилни антиоксиданс учествује у фотопротективним механизмима и штити фотосинтетичке мембране од фотооксидативног стреса. Насупрот овим резултатима, Clemente-Villalba et al. (2024) су пријавили доста нижи укупни садржај токоферола код листова *Diplotaxis erucoides* који је износио 4.74 mg/100 g свеже масе са доминантно заступљеним α-токоферолом. Насупрот томе, Abd El-Gleel & Hassanien (2012) у анализи липидне фракције надземних делова врсте *D. harra* нису детектовали α- и β-токоферол, док је као једини присутан изомер утврђен δ-токоферол у концентрацији од 1.2 g/kg укупних липида.

Статистичка анализа показала је да поједини фолијарни третмани у интеракцији са сортом и сезоном гајења могу допринети повећању нутритивне вредности листова дивље руколе кроз раст садржаја укупног токоферола **(Табела 26)**.

Табела 26. Садржај укупног токоферола (mg α-TO/g FW) у листовима испитиваних сорти дивље руколе у три сукцесивне жетве у зависности од фолијарног третмана

Сорта	Третман	Жетва I	Жетва II	Жетва III
Marte	**Контрола**	3,73 ± 0,07 a	2,98 ± 0,11 b	3,40 ± 0,07 a
	Fe	4,09 ± 0,00 a	2,80 ± 0,06 b	3,54 ± 0,01 a
	K	4,18 ± 0,11 a	5,34 ± 0,36 a	3,61 ± 0,02 a
	Kelpak	3,97 ± 0,06 a	2,16 ± 0,06 c	2,56 ± 0,06 b
Venere	**Контрола**	3,78 ± 0,05 b	3,18 ± 0,21 a	3,38 ± 0,21 b
	Fe	4,73 ± 0,09 a	2,60 ± 0,08 a	5,40 ± 0,15 c
	K	3,87 ± 0,13 b	2,62 ± 0,11 a	2,35 ± 0,16 b
	Kelpak	4,14 ± 0,18 ab	2,35 ± 0,10 a	3,59 ± 0,21 a
T&T	**Контрола**	3,87 ± 0,14 a	3,38 ± 0,06 a	4,25 ± 0,08 a
	Fe	3,93 ± 0,12 a	2,67 ± 0,13 b	3,18 ± 0,13 b
	K	4,00 ± 0,12 a	2,56 ± 0,04 b	3,61 ± 0,11 b
	Kelpak	4,05 ± 0,17 a	3,22 ± 0,05 a	3,32 ± 0,05 b

Резултати су приказани као средња вредност ± SE (n = 3). Различита слова у оквиру исте колоне означавају статистички значајне разлике између третмана у оквиру исте сорте и жетве, утврђене Games-Howell *post hoc* тестом ($p < 0,05$)

У првој жетви једино сорта Venere је показала статистички значајну разику између контроле и групе третиране са Fe. Сличано запажање је описано код клијанаца соје, где је третман $FeSO_4$ у одређеним концентрацијама довео до повећања садржаја α- и β-токоферола,

док су вредности γ- и δ-токоферола показале благи пад, што указује да повећана доступност гвожђа може утицати на промену профила и садржаја токоферола (Zielińska-Dawidziak & Siger, 2012). Гвожђе учествује у Fenton реакцијама које доводе до формирања слободних радикала који могу изазвати оксидативно оптерећење у ћелији, што условљава покретање антиоксидативних механизама биљака (Pandey, 2023). Претпоставља се да тај одговор биљака се може манифестовати кроз појачану синтезу липофилних антиоксиданаса, као што су токофероли, који учествују у њиховој неутрализацији и заштити мембранских липида од пероксидације. С друге стране, у другој жетви сорта Marte је изузетак код којег је фолијарни третман довео до акумулације укупног токоферола. Наиме, третман са калијумом је довео до повећања од приближно 79 % у односу на контролу. Утицај калијума на садржај токоферола описан је и код плода парадајза, где је повећање концентрације K у хранљивом раствору довело до повећања укупног садржаја токоферола (Caretto et al., 2008). Истовремено, утврђено је да је овај ефекат у значајној мери генотипски условљен, будући да су поједини култивари акумулирали знатно веће количине укупних токоферола од других, имплицирајући да одговор биљке на повећану доступност калијума може зависити од генотипских карактеристика. Калијум има значајну улогу покретача ензима који учествују у фотосинтези и метаболизму угљених хидрата, чиме се повећава доступност прекурсора за синтезу изопреноидних једињења, укључујући токофероле (Papadakis et al., 2023). Занимљиво је да код сорте T&T ниједан од примењених фолијарних третмана током све три сукцесивне жетве није довео до повећања укупног садржаја токоферола. Насупрот томе, у трећој жетви је уочен позитиван ефекат биостимулатора Kelpak код сорте Venere. Ефекат биостимулатора на акумулацију токоферола може зависити од типа препарата и биљне врсте. У истраживањима на бадему утврђено је да примена биостимулатора *Phytoalgae* може довести до повећања укупног садржаја токоферола, док други препарати нису показали исти ефекат (Pascoalino et al., 2021). Повећање садржаја токоферола може се довести у везу са присуством биолошки активних компоненти у екстракту браон алге *E. maxima*, укључујући фитохормоне као што су ауксини (Kukri et al., 2025). Такође, у литератури описано је дејство екстракта алги на активацију антиоксидативног система биљака и повећану синтезу антиоксиданаса, чиме се побољшава физиолошко стање биљака и смањује стрес (Sogoni et al., 2024).

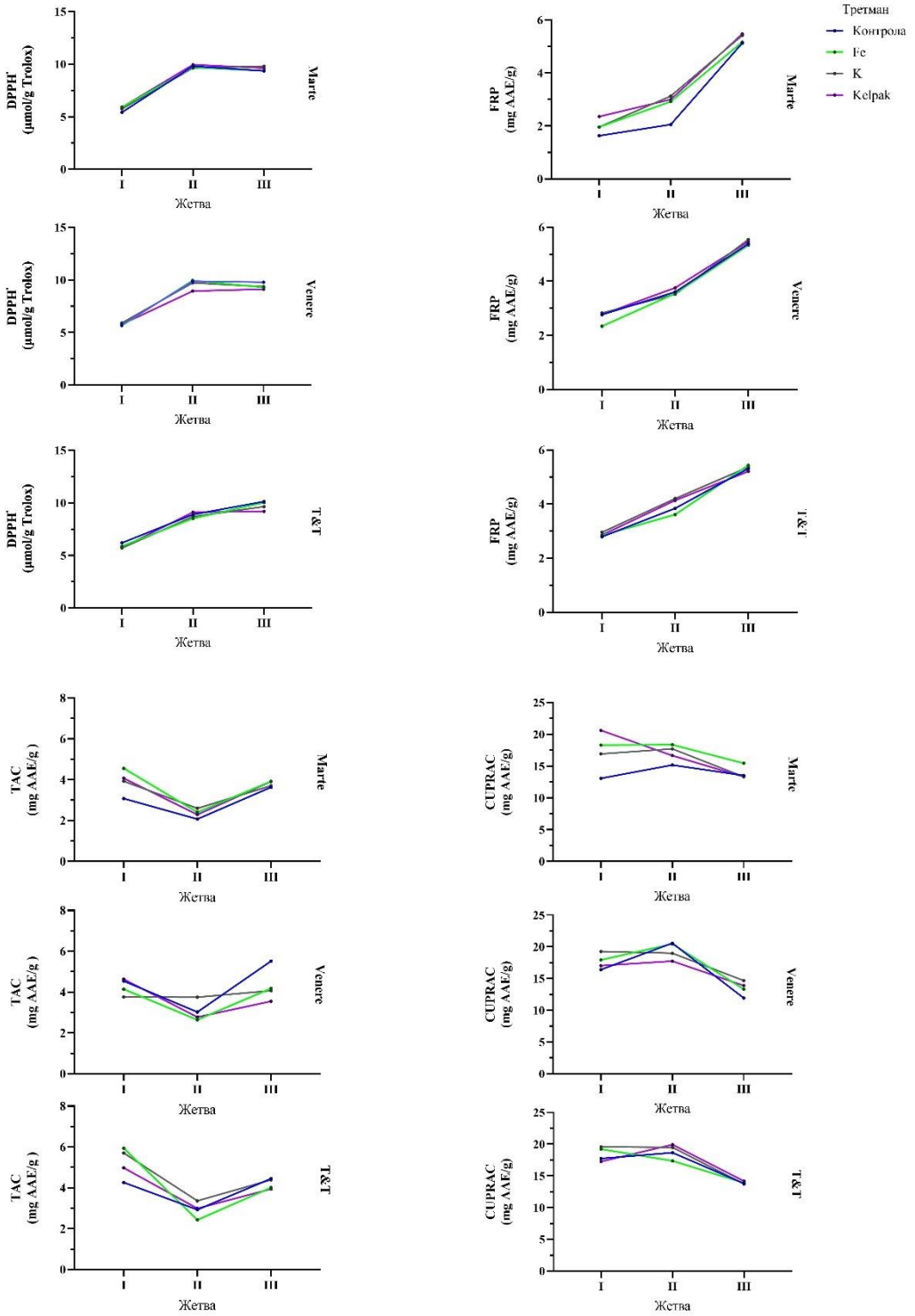
Резултати анализе укупног садржаја токоферола указују да применом фолијарних третмана у различитим фазама производње постоји могућност циљаног унапређења њихове нутритивне вредности. Међутим, при томе је неопходно узети у обзир и сортне карактеристике, будући да интеракција са генотипом представља важан предуслов за испољавање позитивног ефекта.

5.2.1.9. Антиоксидативна активност

У претходним поглављима анализиран је садржај више група биоактивних једињења у листовима дивље руколе, која поседују антиоксидативна својства. Међутим, антиоксидативни тестови омогућавају свеобухватнију евалуацију биљног материјала, јер обухватају и деловање других биоактивних компоненти које нису директно анализиране у оквиру овог истраживања, као и могуће синергистичке али и антагонистичке ефекте између различитих једињења. Будући да антиоксиданси делују различитим механизмима и да ниједан појединачни аналитички тест не може у потпуности да прикаже укупну антиоксидативну активност биљног материјала, процена се најчешће заснива на примени

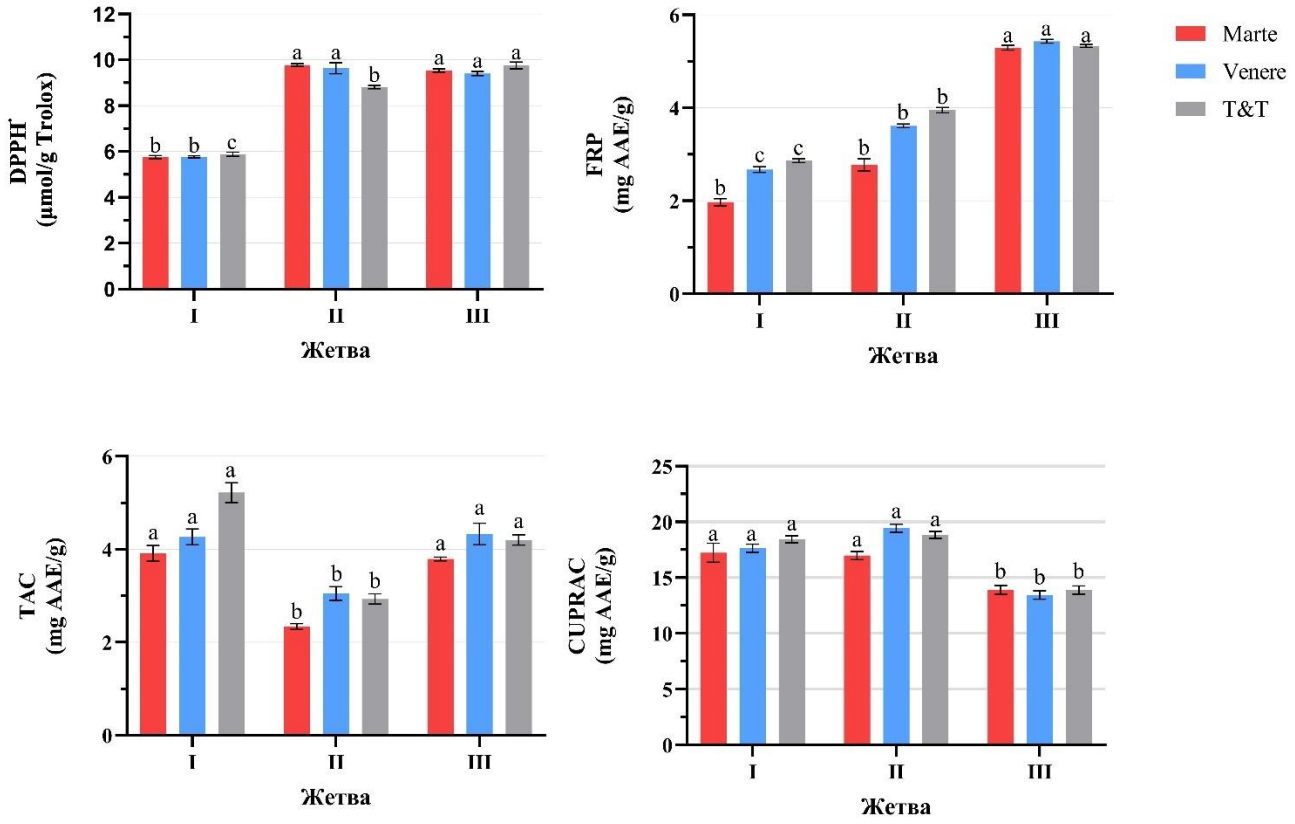
више комплементарних метода које укључују различите механизме деловања базиране на неутрализацији слободних радикала и способности редукције јона метала (Silvestrini et al., 2023). Стога, у овом истраживању примењена су четири спектрофотометријска теста: DPPH$^{\bullet}$, који мери способност хватања слободних радикала, FRP метода заснованог на редукцији Fe^{3+} јона, CUPRAC метода који процењује редукцију Cu^{2+} јона, као и TAC тест који даје процену укупног антиоксидативног капацитета екстракта. Испитивање антиоксидативног потенцијала листова дивље руколе значајно је како са становишта физиологије биљака, где различити заштитни системи учествују у ублажавању оксидативног стреса, тако и са нутритивног аспекта, будући да једињења присутна у биљној храни могу допринети заштити људског организма од оштећења изазваних слободним радикалима.

На основу резултата добијених применом различитих тестова и приказаних на **Слици 49** може се уочити одређена варијабилност у вредностима између испитиваних сорти, третмана и жетви.



Слика 49. Промене антиоксидативне активности (mg AAE/g FW) у листовима дивље руколе одређене DPPH˙, FRP, TAC и CUPRAC тестовима у зависности од сорте, сукцесивне жетве и примењених фолијарних третмана

На основу шематског приказа може се уочити да су контрола и примењени третмани показали сличан образац промене током производне сезоне, док су разлике између сукцесивних жетви биле израженије. У складу са тим, статистичка анализа указала је на значајан ефекат фактора жетве (код свих тестова) на вредности испитиваних параметара, док су резултати *post hoc* теста по сортама приказани на **Слици 50.**



Слика 50. Утицај жетве на антиоксидативну активност процењену кроз четири теста код сорти Marte, Venere и T&T. Вредности су изражене у односу на FW и приказане као средња вредност ± SE (n = 12). Различита слова изнад колона означавају статистички значајне разлике између жетви у оквиру исте сорте (Kruskal–Wallis тест; Dunn–Bonferroni *post hoc* анализа, $p < 0,05$)

Упркос извесним разликама у средњим вредностима, слични трендови уочени су између свих испитиваних сорти. Код DPPH• теста уочен је пораст вредности од прве ка другој жетви, након чега су вредности у трећој жетви остале на приближно истом нивоу. С друге стране, FRP тест показао је континуирано повећање вредности од прве ка трећој жетви. Код TAC теста забележено је смањење у другој жетви, након чега је у трећој жетви поново уочен пораст вредности. Насупрот томе, код CUPRAC теста вредности су показале тенденцију смањења ка трећој жетви.

У истраживању које су спровели Romano et al. (2022) антиоксидативна активност листова дивље руколе сорте Romano, одређена DPPH• тестом кретала се у распону од 1023 до 1756 mg/100 g Trolox суве масе, у зависности од типа пластичне фолије и UV-B третмана у

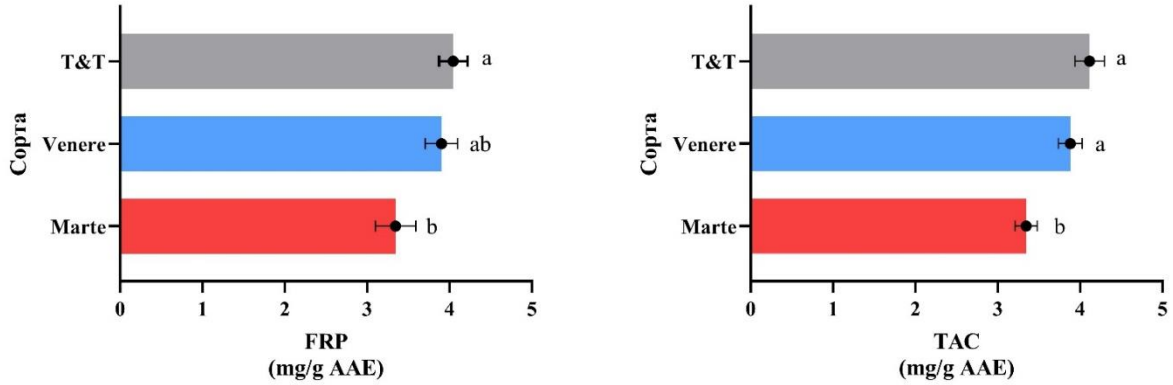
условима гајења у пластенику. У овом истраживању вредности DPPH• кретале су се у распону од 5,77 до 9,78 μmol /g Trolox свеже масе листова, што указује на варијабилност у резултатима, а која може бити последица разлика у условима гајења, генотипу и начину изражавања резултата. Ипак, упоредиве вредности антиоксидативне активности листова дивље руколе сорте Pamela, сакупљених током летњег периода, пријавили су Malorni et al. (2023) Вредности су износиле 8,61 μmol/g Trolox свеже масе код контроле и 9,99 μmol/g Trolox свеже масе код варијанте третиране биостимулатором Bortan. Раст антиоксидативне активности процењене DPPH• тестом након прве жетве може се објаснити уклањањем листова, што представља стрес за биљку и може довести до појачане синтезе антиоксидативних једињења. Такође, Petropoulos et al. (2017) су истакли да је друга жетва листова врсте *Cichorium spinosum* L. показала више вредности DPPH• теста у поређењу са првом жетвом.

Вредности FRP теста код сорте Marte кретале су се кроз жетве у распону 1,97 до 5,29 mg AAE/g , док су код Venere износиле од 2.67 до 5.43 mg AAE/g. Код сорте T&T вредности FRP теста кретале су се од 2.86 до 5.33 mg AAE/g. Слично резултатима добијеним DPPH• тестом, и резултати FRP теста указали су на тренд повећања антиоксидативне активности са сваком наредном жетвом. Овај пораст може се довести у везу са повећањем садржаја HCAs и флаванона уоченим током сукцесивних жетви у оквиру овог истраживања.

У поређењу са FRP тестом, CUPRAC је показао више вредности. Иако су механизми на коме се заснивају FRP и CUPRAC тестови слични, CUPRAC метода је свеобухватнија у процени редукционог потенцијала у поређењу са FRP тестом, јер омогућава да и липофилни и хидрофилни антиоксиданси учествују у редокс реакцији (Kostić, Milinčić, et al., 2023). Највише вредности овог теста су остварене у другој жетви сорте Venere (19,44 mg AAE/g). Међутим код свих сорти нису постојале статистички значајне разлике између првог и другог откоса, док је значајан пад уочен у последњем. Ниже вредности у трећој жетви могу се довести у везу са летњим условима гајења, односно повећаним температурама и интензитетом зрачења, који доводе до појачаног оксидативног стреса у биљкама и последичног трошења антиоксидативних једињења.

Резултати TAC теста по жетвама указују да је антиоксидативни капацитет био најнижи у другој жетви, док су у првој и трећој жетви забележене приближне вредности. Овакав образац може се довести у везу са специфичностима детекције ове методе, и тенденције да интерферира са другим једињењима укључујући шећере, али и са сезонским условима гајења, пре свега температуром и интензитетом светлости, који током зимског и летњег периода могу представљати стрес за дивљу руколу.

Поред сезонских варијација повезаних са сукцесивним жетвама, значајан аспект овог истраживања представља и утицај генотипа, односно разлике у антиоксидативној активности између испитиваних сорти дивље руколе. Статистичка анализа показала је статистички значајан ефекат генотипа код FRP и TAC теста. Овакав резултат може указивати на генотипске разлике у акумулацији биоактивних једињења са редукционим потенцијалом. Будући да су FRP и TAC тестови посебно осетљиви на редукциону способност екстракта, разлике у садржају ових једињења између сорти могле су довести до уочених варијација у вредностима антиоксидативне активности. Ове разлике приказане су на **Слици 51.**



Слика 51. Утицај сорте на вредности антиоксидативне активности (mg AAE/g FW) одређене FRP и TAC тестом код листова дивље руколе

Највише вредности антиоксидативне активности забележене су код сорте T&T (4,05 mg AAE/g за FRP и 4,12 mg AAE/g за TAC), док је сорта Marte показала најниже и уједначене вредности од 3,35 mg AAE/g . Ови резултати указују да генотипске разлике могу утицати на акумулацију биоактивних једињења са редукционим потенцијалом, што се одражава на вредности антиоксидативне активности одређене овим тестовима.

Иако ефекат третмана није био статистички значајан, резултати су приказани у **Табели 27** ради свеобухватног приказа података.

Табела 27. Антиоксидативна активност листова дивље руколе (DPPH˙, FRP, TAC и CUPRAC) изражена на FW, у зависности од сорте, жетве и третмана.

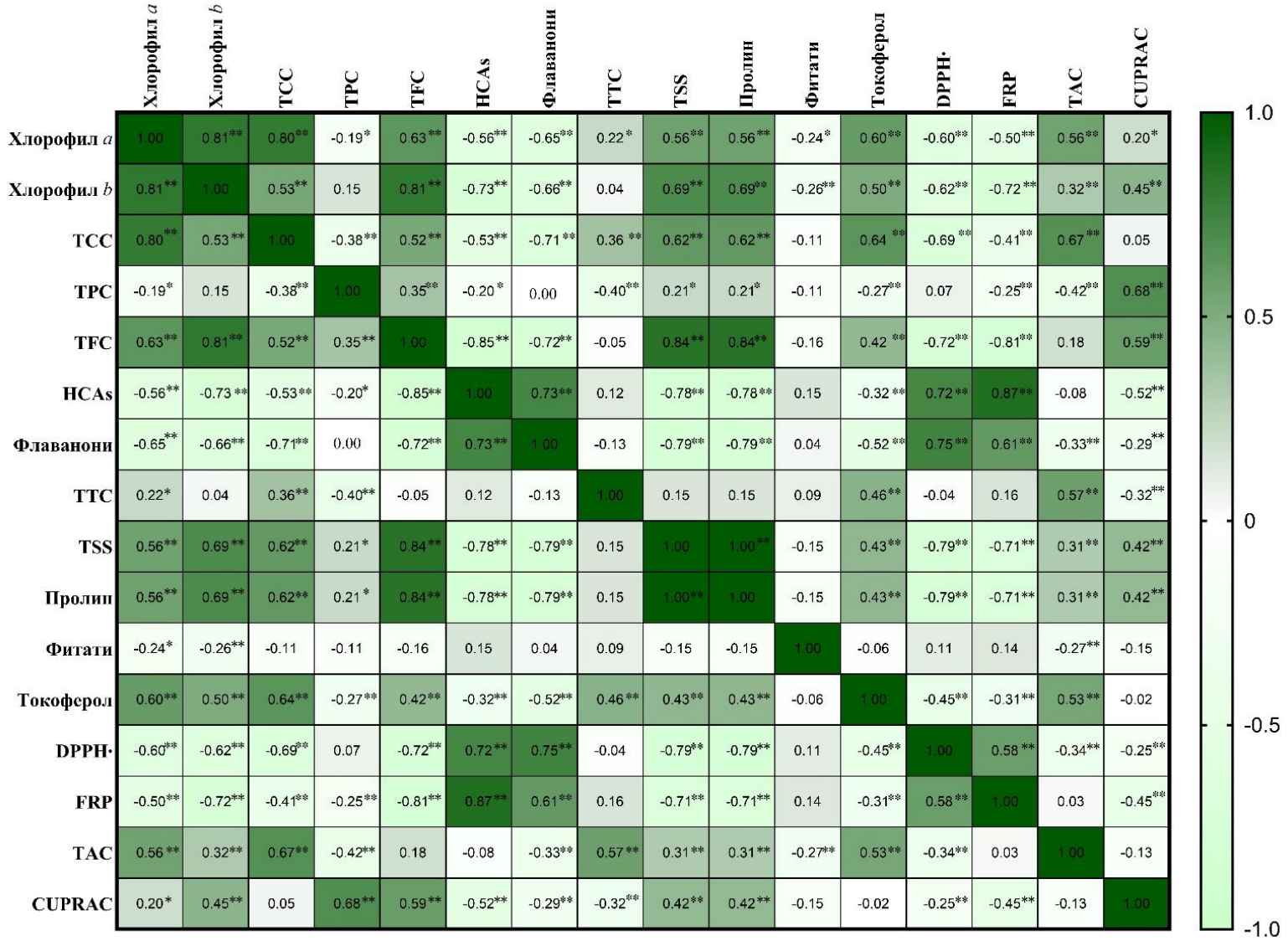
Сорта	Жетва	Третман	DPPH˙ (μmol Trolox/g)	FRP (mg AAE/g)	TAC (mg AAE/g)	CUPRAC (mg AAE/g)
Marte	I	Контрола	5,54 ± 0,07	1,63 ± 0,02	3,08 ± 0,03	13,08 ± 0,14
		Fe	5,92 ± 0,02	1,96 ± 0,02	4,56 ± 0,32	18,31 ± 0,20
		K	5,74 ± 0,09	1,95 ± 0,00	3,93 ± 0,04	16,93 ± 0,89
		Kelpak	5,91 ± 0,14	2,35 ± 0,07	4,07 ± 0,03	20,64 ± 0,07
	II	Контрола	9,81 ± 0,11	2,05 ± 0,10	2,07 ± 0,02	15,18 ± 0,01
		Fe	9,69 ± 0,08	2,92 ± 0,07	2,41 ± 0,11	18,36 ± 0,13
		K	9,64 ±0,01	3,13 ± 0,07	2,60 ± 0,09	17,71 ± 0,21
		Kelpak	9,96 ± 0,04	3,00 ± 0,07	2,29 ± 0,01	16,67 ± 0,04
	III	Контрола	9,36 ± 0,14	5,13 ± 0,04	3,63 ± 0,02	13,53 ± 0,52
		Fe	9,36 ± 0,05	5,17 ± 0,02	3,92 ± 0,06	15,45 ± 0,30
		K	9,81 ±0,02	5,42 ± 0,03	3,70 ± 0,03	13,33 ± 1,93
		Kelpak	9,63 ± 0,11	5,47 ± 0,11	3,91 ± 0,00	13,32 ± 1,77
Venere	I	Контрола	5,74 ± 0,06	2,77 ± 0,05	4,54 ± 0,28	16,41 ± 0,33
		Fe	5,66 ± 0,16	2,34 ± 0,01	4,14 ± 0,54	17,93 ± 0,33
		K	5,91 ± 0,07	2,83 ± 0,07	3,76 ± 0,19	19,25 ± 0,65
		Kelpak	5,77 ± 0,08	2,77 ± 0,02	4,63 ± 0,03	17,02 ± 0,32
	II	Контрола	9,88 ± 0,03	3,60 ± 0,09	3,03 ± 0,19	20,57 ± 0,19
		Fe	9,96 ± 0,03	3,55 ± 0,12	2,64 ± 0,04	20,45 ± 0,22
		K	8,74 ± 0,98	3,52 ± 0,07	3,75 ± 0,33	19,00 ± 0,21
		Kelpak	8,95 ±0,01	3,76 ± 0,05	2,78 ± 0,08	17,74 ± 0,22
	III	Контрола	9,80 ± 0,21	5,38 ± 0,05	5,52 ± 0,06	11,94 ± 0,40
		Fe	9,30 ± 0,14	5,33 ± 0,04	4,18 ± 0,20	13,32 ± 0,23
		K	9,37 ± 0,06	5,54 ± 0,05	4,07 ± 0,14	14,67 ± 0,86
		Kelpak	9,13 ± 0,03	5,46 ± 0,09	3,55 ± 0,22	13,88 ± 0,39
T&T	I	Контрола	6,20 ± 0,28	2,79 ± 0,05	4,26 ± 0,21	17,73 ± 0,28
		Fe	5,88 ± 0,01	2,84 ± 0,14	5,94 ± 0,14	19,22 ± 0,34
		K	5,70 ± 0,06	2,96 ± 0,06	5,71 ± 0,15	19,57 ± 0,25
		Kelpak	5,74 ± 0,07	2,86 ± 0,03	4,98 ± 0,16	17,25 ± 0,13
	II	Контрола	8,90 ± 0,05	3,84 ± 0,08	2,93 ± 0,09	18,66 ± 0,33
		Fe	8,52 ± 0,06	3,61 ± 0,09	2,43 ± 0,04	17,36 ± 0,04
		K	8,70 ±0,06	4,20 ± 0,01	3,36 ± 0,14	19,48 ± 0,24
		Kelpak	9,11 ± 0,05	4,14 ± 0,01	2,99 ± 0,10	19,92 ± 0,04
	III	Контрола	10,13 ± 0,39	5,31 ± 0,09	4,45 ± 0,14	13,80 ± 0,48
		Fe	10,03 ± 0,15	5,43 ± 0,02	4,01 ± 0,27	13,91 ± 0,59
		K	9,64 ± 0,15	5,37 ± 0,04	4,39 ± 0,25	13,72 ± 0,86
		Kelpak	9,20 ± 0,11	5,21 ± 0,02	3,95 ± 0,02	14,18 ± 1,26

Вредности су приказане као средња вредност ± SE (n=3). Статистичка анализа спроведена је применом Kruskal–Wallis теста. Није утврђен статистички значајан главни ефекат фактора третмана ($p > 0,05$)

Сагледавајући добијене резултате може се закључити да листови дивље руколе представљају значајан извор антиоксидативних једињења, чији садржај варира у зависности од сорте и периода гајења и жетве. Са становишта људске исхране, веће вредности антиоксидативне активности указују на потенцијал овог поврћа да допринесе уносу једињења која учествују у неутрализацији слободних радикала у организму. Са друге стране, са производног аспекта, добијени резултати указују да избор генотипа и оптимално време жетве могу представљати важне факторе у производњи листова дивље руколе са повољнијим нутритивним својствима.

5.2.1.10. Корелација и PCA анализа

С обзиром на сложеност биохемијских процеса у биљном организму и могуће међусобне интеракције између анализираних параметара, примењене су мултиваријационе статистичке методе. Корелациона анализа омогућила је процену степена повезаности између појединих фитохемијских и антиоксидативних параметара **(Слика 52)**, док је PCA коришћена у циљу идентификације главних извора варијабилности **(Слика 53)** Примена ових метода омогућава боље сагледавање односа између различитих група биоактивних једињења и антиоксидативних својстава листова дивље руколе.

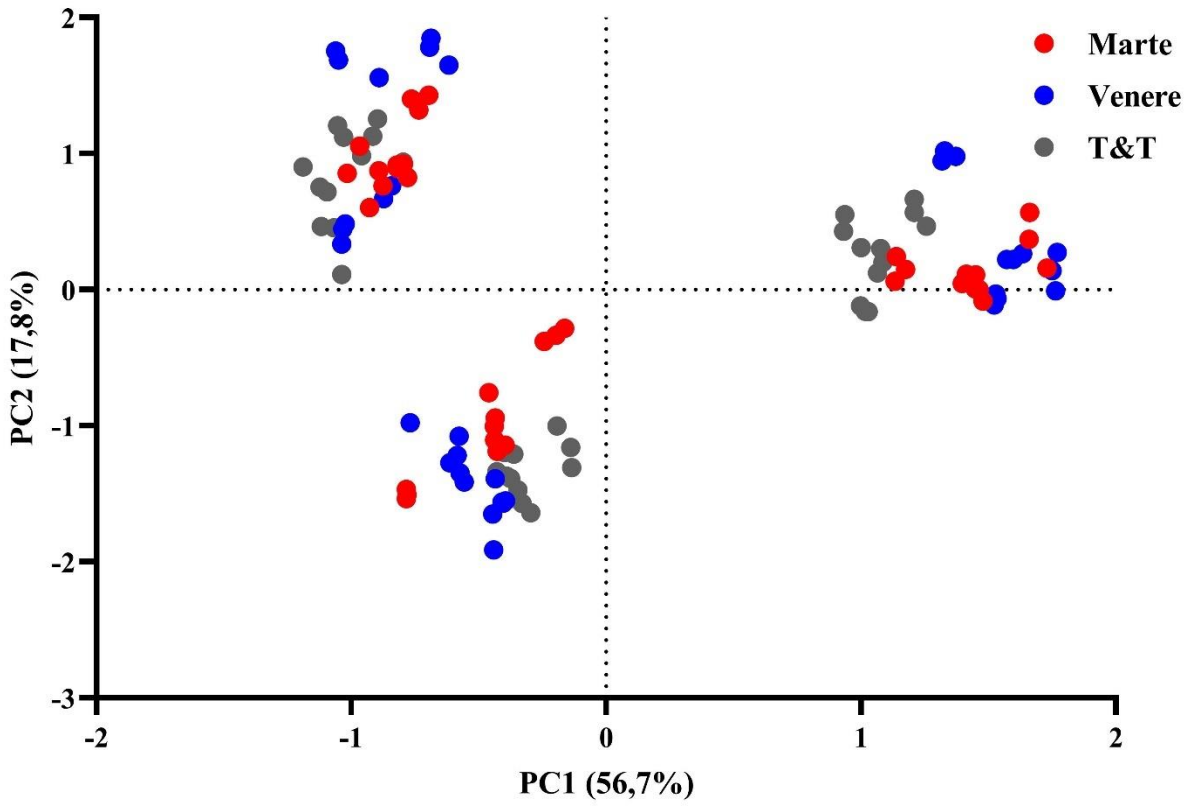


Слика 52. *Heat map* Спирманових коефицијената корелације (ρ) између испитиваних параметара. Интензитет боје одражава јачину и смер корелације. Значајне корелације: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Из резултата корелационе анализе уочена је снажна позитивна корелација између фотосинтетичких пигмената, односно хлорофила *a* и хлорофила *b* (ρ = 0.81), као и између оба типа хлорофила и укупних каротеноида (ρ = 0.80 и ρ = 0.53, редом), што указује на синхронизовану акумулацију пигмената и одражава њихову функционалну повезаност у процесу фотосинтезе. Поред поменутог, статистички значајне позитивне корелације уочене су и између појединих група фенолних једињења. TPC и TFC имали су исти смер кретања, што је очекивано имајући у виду да су флавоноиди подгрупа фенолних једињења. Међутим, унутар фенолне групе постоји негативна корелација између HCAs и TFC (ρ = -0.85), што би представљало промене унутар фенилпропаноидног пута. Односно, у ситуацијама када се HCAs у листовима дивље руколе појачано синтетишу долази до опадања садржаја укупних флавоноида. Јака повезаност између укупног садржаја растворљивих шећера и пролина (ρ = 1.00), указује на њихову симултану акумулацију и потенцијалну улогу у механизмима осморегулације и адаптације биљке на абиотички стрес. Такође, TSS показали су позитивну корелацију и са хлорофилима и каротеноидима, што се може објаснити чињеницом да представљају директан производ фотосинтезе. С обзиром на то да се токофероли синтетишу у хлоропластима и делују као важни липофилни антиоксиданси била је очекивана њихова позитивна повезаност са пигментима у листовима испитиваних сорти дивље руколе. Интересантно је да TPC и TFC нису показали позитивну повезаност са антиоксидативним тестовима, већ су у појединим случајевима уочене негативне корелације. Са друге стране, HCAs и флаванони показали су снажну позитивну корелацију са параметрима антиоксидативне активности (DPPH$^{\bullet}$ и FRP), што указује да управо ове групе фенолних једињења у највећој мери доприносе антиоксидативном потенцијалу листова дивље руколе. Ови резултати указују да антиоксидативни капацитет ове врсте није условљен укупним садржајем фенолних једињења, већ пре свега специфичним фенолним компонентама. Насупрот претходним резултатима, фитати су показали релативно слабе или негативне корелације са већином испитиваних параметара, што указује да њихова улога у антиоксидативном потенцијалу листова није доминантна. PCA анализа је додатно потврдила независност фитата од осталих параметара.

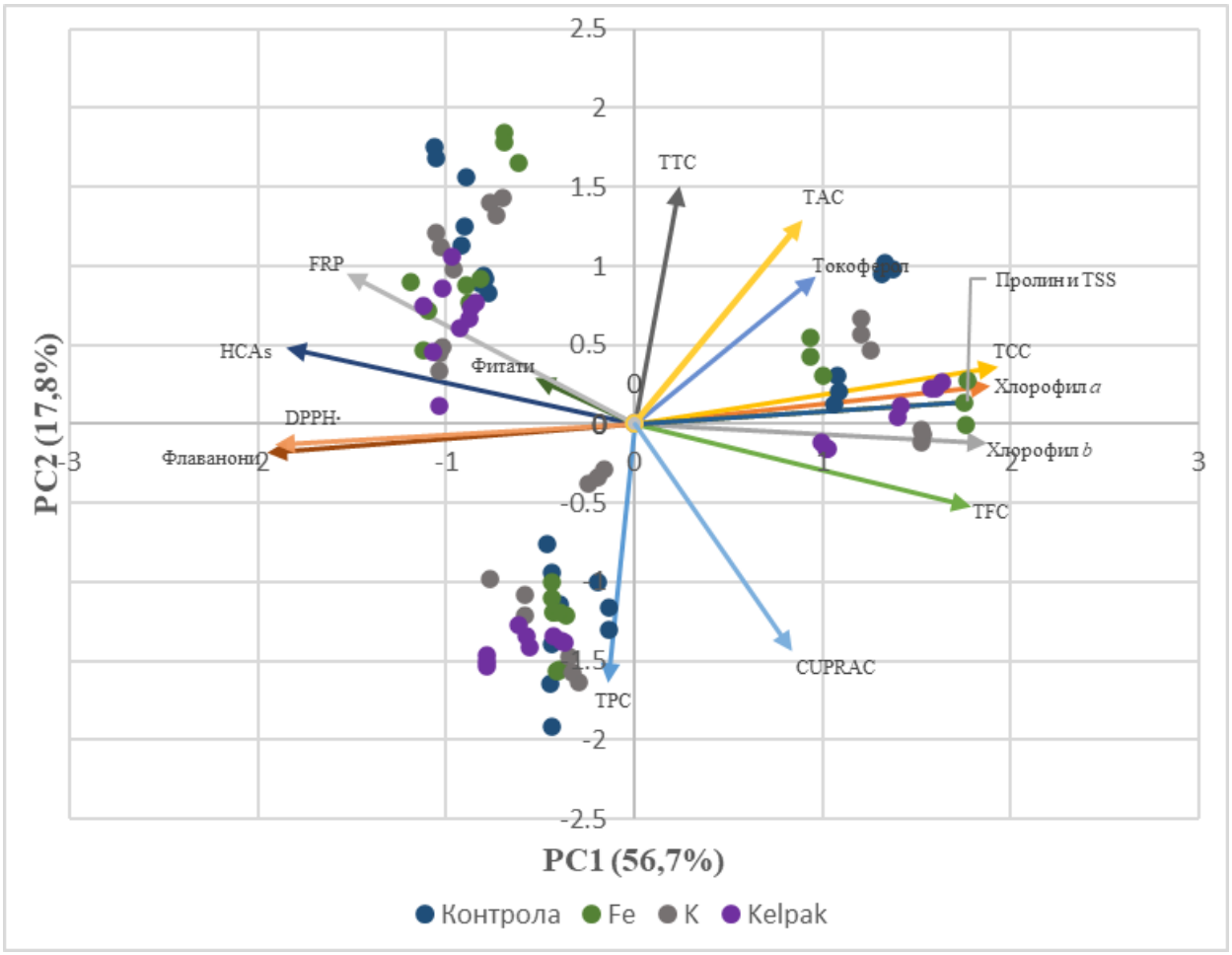
Прве две главне компоненте објасниле су укупно 74.5 % варијабилности података, при чему је PC1 објашњавао 56.7 %, а PC2 17.8 % укупне варијансе. PC1 обједињује чиниоце и метаболите фотосинтезе, односно хлорофил *a* и *b*, TCC, TSS и пролин. С друге стране PC2 одражава варијације у фенолном профилу и антиоксидативном потенцијалу листова дивље руколе. Позитиван допринос овој компоненти имали су танини, TAC и FRP тестови,, док су негативан допринос показали TPC и CUPRAC тест. Оваква расподела указује да PC2 раздваја узорке на основу различитих аспеката антиоксидативне активности и специфичних група фенолних једињења. Токоферол је показао умерене вредности у оквиру обе главне компоненте (PC1 и PC2), односно овај параметар није имао доминантан утицај у дефинисању главних варијација овог истраживања. Трећа главна компонента (PC3) била је доминантно повезана са садржајем фитата, који су показали високу вредност (0.895) у оквиру ове компоненте. Дакле, промене у садржају фитата представљају засебан извор варијабилности у односу на остале испитиване параметре. С обзиром на то да фитати припадају фосфорном метаболизму биљака, њихово издвајање у посебну компоненту потврђује да њихова динамика није директно повезана са варијацијама у фотосинтетичким пигментима, фенолним једињењима и антиоксидативном активношћу.

На PCA дијаграму **(Слика 53)** уочено је формирање три јасно издвојене групе узорака, што указује да је варијабилност фитохемијског профила пре свега условљена фактором жетве, односно сезонским условима током производње.



Слика 53. PCA дијаграм расподеле узорака листова дивље руколе на основу испитиваних фитохемијских параметара

PCA биплот додатно приказује односе између испитиваних хемијских параметара и расподеле узорака у равни PC1 и PC2 (**Слика 54**).



Слика 54. PCA биплот испитиваних фитохемијских параметара и расподеле узорака листова дивље руколе према фолијарним третманима

Блиски правци вектора хлорофила *a* и *b*, TCC, TSS и пролина указују на сличан образац њихове варијабилности, док су вектори флаванона, DPPH˙ и HCAs усмерени ка супротној страни PC1. Дуж PC2 посебно се издвајају позитивни доприноси танина и TAC, насупрот негативном доприносу TPC и CUPRAC. Расподела узорака према фолијарним третманима показује изражено преклапање третмана у простору PC1 и PC2, без јасног издвајања појединачних третмана. Ипак, унутар формираних група узорака уочавају се одређене разлике у њиховом положају, што указује да ефекат фолијарних третмана на укупан фитохемијски и антиоксидативни профил. слично параметрима продуктивности, није био јединствен, већ је варирао у зависности од осталих извора варијабилности обухваћених истраживањем.

5.2.2. UHPLC Q-ToF MS анализа

Спектрофотометријском анализом добијена је општа процена заступљености биоактивних једињења у испитиваним листовима дивље руколе. Међутим, с обзиром на то да су спектрофотометријске методе неспецифичне и да се резултати изражавају преко еквивалената одговарајућих стандарда, ради прецизније идентификације и квантитативног одређивања појединачних фенолних једињења примењена је и комплементарна UHPLC–MS анализа. Овом

аналитичком методом омогућено је раздвајање, идентификација и одређивање реалних концентрација појединачних фенолних компоненти у екстрактима како би се прецизно сагледао утицај сорте, жетве и примењених фолијарних третмана на листовима дивље руколе из прве жетве. Поред тога, анализиран је и релативни садржај глукозинолата (GLSs).

Непозната једињења су интерпретирана у складу са критеријумима за идентификацију предложеним у раду Rochat (2017). Од свих детектованих компоненти само је кверцетин поуздано идентификован директним поређењем са расположивим стандардом и сврстан у категорију потврђених једињења **(Табела 28)**.

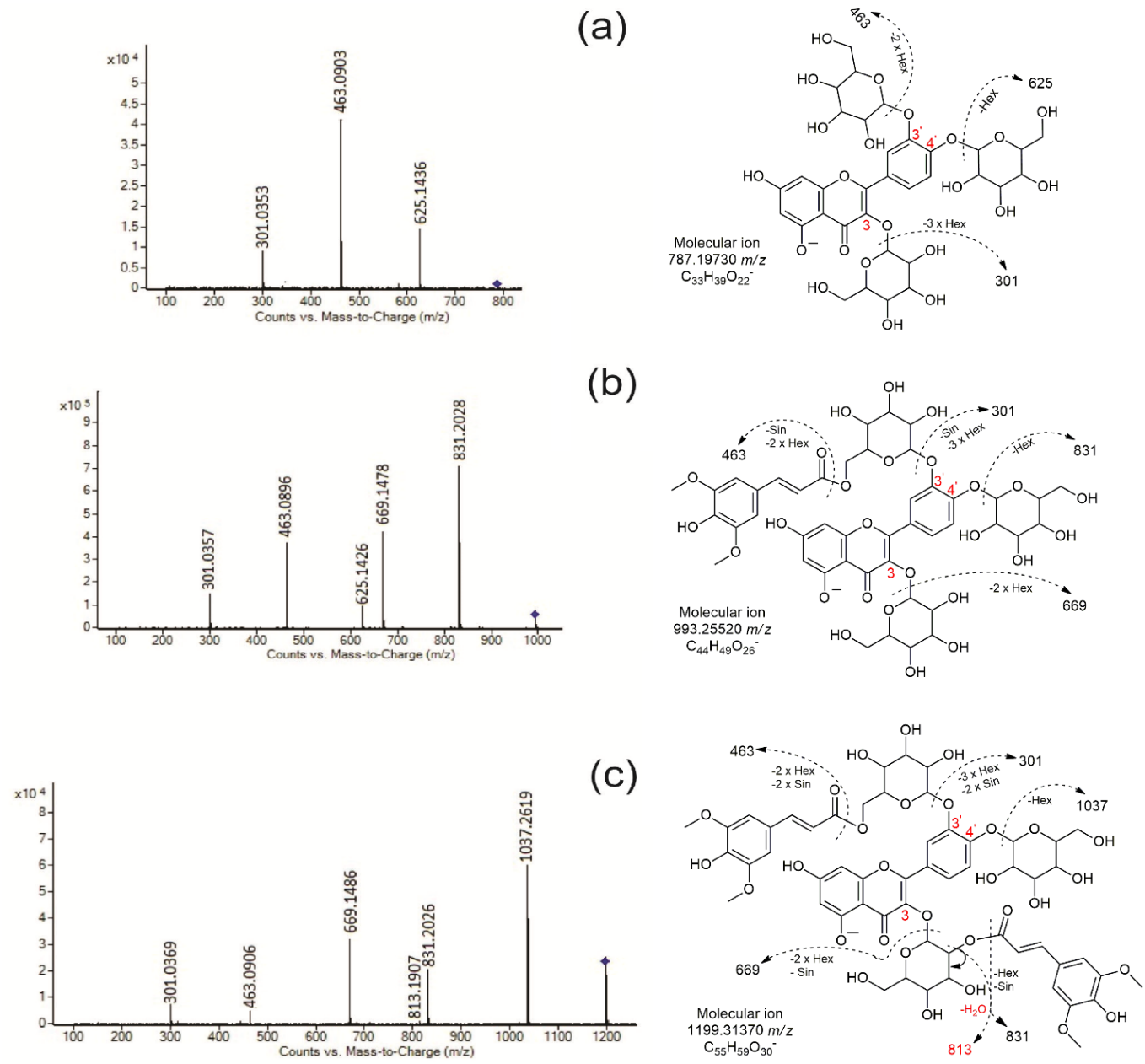
Табела 28. Карактеризација и претпостављена идентификација биоактивних једињења (органске киселине, фенолна једињења и глукозинолати) у анализираним листовима дивље руколе (различите сорте и фолијарни третмани) применом UHPLC Q-ToF MS. Приказана су условно идентификована, средње очекивано времена задржавања (RT), молекулска формула, израчуната маса, тачна *m/z* маса, одступање од тачне масе (mDa) и MS фрагменти

No	RT	Условно идентификована редињења	Формула	Израчуната маса	*m/z* тачна маса	mDa	MS фрагменти (главни фрагмент, %)	Претходно пријављено код рукола или других врста из фамилије Brassicaceae
			Органске киселине					
1	0.67	**Јабучна киселина**	$C_4H_5O_5^-$	133.01370	133.01635	-2.65	**115.0040(100)**, 107.6465, 133.0192	Bell et al. (2022)
2	0.80	**Лимунска киселина**	$C_6H_7O_7^-$	191.01920	191.02140	-2.20	**111.0100(100)**, 112.0127	Bell et al. (2022)
			Фенолне киселине и деривати					
3	1.20	**Бензоил јабучна киселина**	$C_{11}H_9O_6^-$	237.03990	237.04504	-5.14	**117.9743(100)**, 102.9661, 120.9780, **121.0108**, 131.0245, **133.0196**	Belošević et al. (2024)
4	2.42	**Хексозид дихидроксибензоеве киселине**	$C_{13}H_{15}O_9^-$	315.07160	315.07359	-1.99	**108.0222(100)**, 109.0287, 121.0282, **152.0115**, 153.0184	Belošević et al. (2024); Lin et al. (2014)
5	5.59	**Хексозид кафеинске киселине**	$C_{15}H_{17}O_9^-$	341.08730	341.09100	-3.70	**161.0246(100)**, 133.0291, 134.0457, 135.0451, **179.0353**	Sharma et al. (2017)
6	5.92	**Хексозид хидроксибензоеве киселине**	$C_{13}H_{15}O_8^-$	299.07724	299.08113	-3.89	**137.0246(100)**, 138.0278	Lin et al. (2014)
7	6.33	**Хекосзид *p*-кумаринске киселине**	$C_{15}H_{17}O_8^-$	325.09289	325.09530	-2.41	**119.0499(100)**, 117.0352, 145.0292, **163.0403**	Li et al. (2023); Arena et al. (2023)
8	6.80	**Хексозид синапинске киселине**	$C_{17}H_{21}O_{10}^-$	385.11350	385.11489	-1.39	**190.0279(100)**, 119.0204, 149.0249, 164.0479, 175.0029, **205.0515**, 206.0551, **223.0609**	Sharma et al. (2017)
9	8.49	**Дисинапоил-дихексозид**	$C_{34}H_{41}O_{19}^-$	753.22420	753.22770	-3.50	**205.05032(100)**, 164.0219, 179.0395, 206.0558, **223.0618**, 247.0692, 265.0728, 289.0808, **529.1575**, 530.1559	Liu et al. (2022)
			Флавоноли и деривати					
			Кверцетин деривати					
10	6.87	**Кверцетин 3,3',4'-три-*O*-хексозид***	$C_{33}H_{39}O_{22}^-$	787.19330	787.19730	-4.00	**463.0903(100)**, **300.0273**, **301.0353**, 464.0926, **625.1436**, 626.1456	Pasini et al. (2012); Martínez-Sánchez et al. (2007)
11	7.14	**Кверцетин -3,7,4'-три-*O*-хексозид-3'-*O*-(6"-синапоил)-хексозид**	$C_{50}H_{59}O_{31}^-$	1155.30400	1155.30790	-3.90	**993.2556(100)**, **301.0356**, **463.0893**, **625.1430**, 669.1475, **787.1985**, 831.2013, 832.2044, 994.2596, 1155.3077	-
12	7.68	**Кверцетин -3,4'-ди-*O*-хексозид-3'-*O*-(6"-синапоил)-хексозид***	$C_{44}H_{49}O_{26}^-$	993.25120	993.25520	-4.00	**831.20283(100)**, **300.0276**, **301.0357**, **463.0896**, **625.1426**, 669.1478, 832.2046, 993.2543	Pasini et al. (2012); Martínez-Sánchez et al. (2007)
13	8.22	**Кверцетин -3,4'-ди-*O*-хексозид-3'-*O*-(6"-ферулоил)-хексозид**	$C_{43}H_{47}O_{25}^-$	963.24060	963.24502	-4.42	**801.1923(100)**, **301.0334**, **463.0939**, **639.1388**, 640.1411, 783.2162, 802.1919, 964.2604	Pasini et al. (2012); Martínez-Sánchez et al. (2007)
14	8.29	**Кверцетин -3-*O*-(2"-синапоил-хексозид)-3'-*O*-(6"-синапоил-хексозид)-4'-*O*-хексозид***	$C_{55}H_{59}O_{30}^-$	1199.30910	1199.31370	-4.60	**1037.2619(100)**, **301.0369**, 445.0761, **463.0906**, 669.1486, 813.1907, **831.2026**, 832.2030, 1038.2646, 1200.3161	Pasini et al. (2012); Martínez-Sánchez et al. (2007)

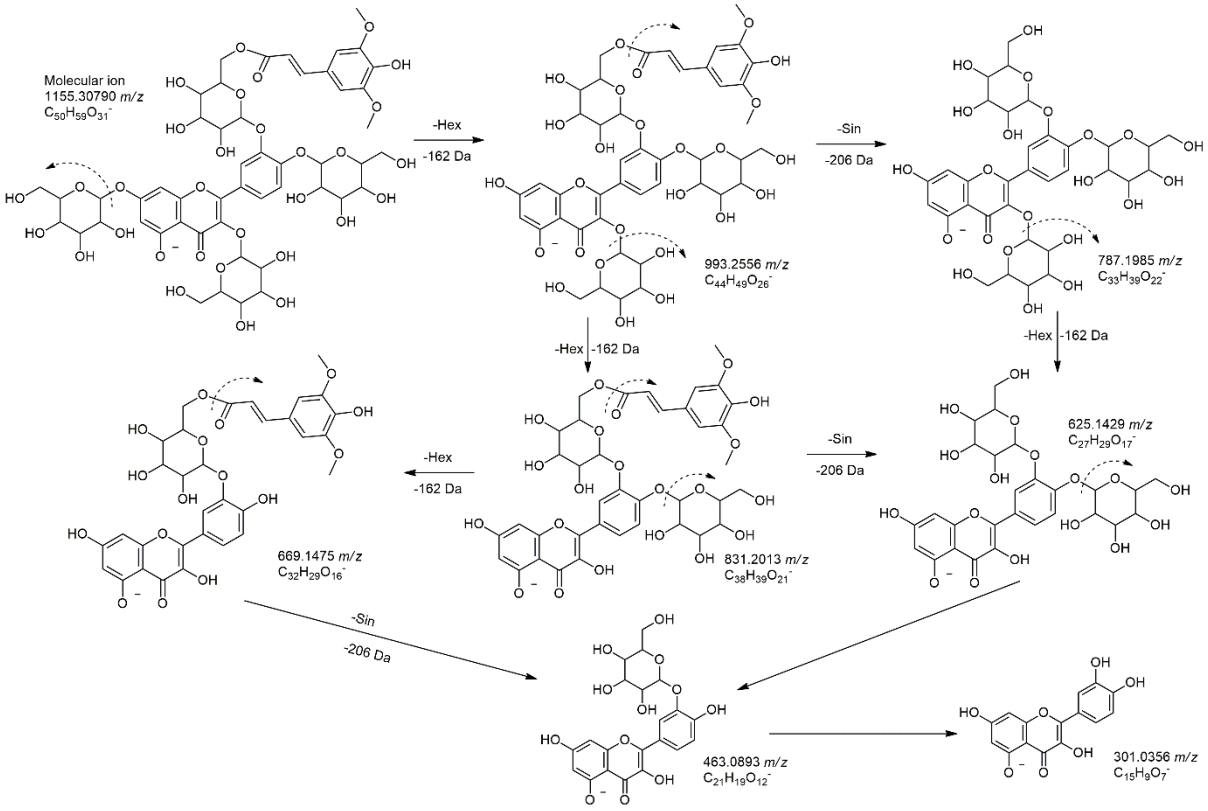
15	8.35	**Кверцетин -3-*O*-(2"-ферулоил-хексозид)-3'-*O*-(6"-синапоил-хексозид)-4'-*O*-хексозид**	$C_{54}H_{57}O_{29}^-$	1169.29860	1169.30285	-4.25	**1007.2496(100)**, **301.0365**, 445.0936, **463.0906**, 639.1392, **669.1454**, 783.1454, 801.1923, 831.2054, 1008.2526, 1169.3068, 1170.3028	Pasini et al. (2012); Martínez-Sánchez et al. (2007)
16	9.43	**Кверцетин**	$C_{15}H_9O_7^-$	301.03538	301.03821	-2.84	**151.0019(100)**, 107.0165, 121.0282, 152.0136, 163.0074, 178.9954	Потврђен стандардом*
		Кампферол и изорамнетин деривати						
17	6.26	**Кампферол-3,7,4'-три-*O*-хексозид + HCOOH**	$C_{34}H_{41}O_{23}^-$	817.20390	817.20683	-2.93	**609.1479(100)**, **285.0404**, 446.0847, **447.0943**, 489.1026, 610.1499	Taranto et al. (2016)
18	7.27	**Кампферол-3,4'-ди-*O*-хексозид***	$C_{27}H_{29}O_{16}^-$	609.14567	609.14780	-2.13	**609.1486(100),** 255.0316, 283.0255, 284.0301, **285.0407**, 446.0871, **447.0931**, 489.1092	Pasini et al. (2012); Bell et al. (2015)
19	7.34	**Изорамнетин-3-*O*-хексозид-4'-*O*-гентибиозид**	$C_{34}H_{41}O_{22}^-$	801.20890	801.20980	-0.90	**639.15978(100)**, 299.0275, 314.0455, **315.0512**, 477.1058, 640.1646, 801.2098	Veremeichik et al. (2023)
20	7.41	**Изорамнетин-3,4'-ди-*O*-хексозид**	$C_{28}H_{31}O_{17}^-$	639.15610	639.15880	-2.70	**639.1602(100)**, 285.0411, 313.0363, 314.0408, **315.0517**, 476.0981, **477.1043**, 640.1633	Pasini et al. (2012); Bell et al. (2015)
		*Непозната фенолна једињења**						
21	6.26	**Дериват синапинске киселине**	/	/	583.14866	/	**223.0624(100)**, 167.0434, **205.0537**, 247.0649, 265.0377, 325.0923, **385.0978**, 421.1418	-
22	5.99	**Кверцетин дериват I**	/	/	995.25861	/	**625.14331(100)**, **301.0349**, **463.0890**, 464.0916, 626.1472, **787.1945**, 788.2000,	-
23	8.29	**Кверцетин дериват II**	/	/	599.15906	/	**301.0362(100)**, **205.0515**, **223.0619**, **300.0283** 334.0715, 352.0792, 367.1046, **463.0884**	-
24	7.95	**Кампферол дериват**	/	/	1051.27015	/	**1007.27095(100), 285.0403**, **489.1021**, 667.1918, 693.1680, 785.1966, 803.2052	-
		Глукозинолати (GLSs)						
25	1.76	**Глукосативин (4-меркаптобутил GLS)**	$C_{11}H_{20}NO_9S_3^-$	406.0300	406.0323	-2.28	**259.0144(100)**, 164.0257, **274.9909**, **406.0339**, 138.9727, **195.0364**, **408.0383, 241.0022**	Pasini et al. (2012); Bell et al. (2015)
26	3.53	**Глукоеруцин**	$C_{12}H_{22}NO_9S_3^-$	420.0457	420.0463	-0.63	**259.0141(100)**, 178.0356, 420.0480, **274.9938**, 138.9670, 226.9887, 163.0308, **195.0303**, **242.0127**, 241.0204	Pasini et al. (2012); Bell et al. (2015)
27	6.65	**Неоглукобрасицин**	$C_{17}H_{21}N_2O_{10}S_2^-$	477.0638	477.0642	-0.44	**447.0678(100)**, **259.0098**, **274.9860**, 138.9791, **195.0380**, 241.0027	Belošević et al. (2024)
28	6.04	**Димерни 4-меркаптобутил GLS (DMB-GLS)**	$C_{22}H_{39}N_2O_{18}S_6^-$	811.0522	811.0580	-5.80	**731.0981(100)**, **569.0461**, 489.0836, **535.0592**, 551.0311(4), 195.0380, **259.0196**, **274.9874**	Pasini et al. (2012); Bell et al. (2015)
		Остала детектована једињења						
29	5.59	**1,8-дипропоксиантрахинон**	$C_{20}H_{19}O_4^-$	323.12830	323.13055	-2.25	**114.01947(100)**, 101.0246, 113.0243, 115.0256, 119.0368, 124.0024, 138.0592, 143.0718, 163.0438, 174.0417, 263.0686	Hetta et al. (2017)

***** Једињења раније изолована из *E. sativa* или врста рода *Diplotaxis*, потврђена NMR анализом (Hussein et al., 2017; Teixeira et al., 2022; Weckerle et al., 2001)

Остала детектована једињења, која одговарају глукозинолатима, гликозидима фенолних киселина, као и сложеним флавонолним полигликозидима и ацилованим дериватима, идентификована су условно (оквирно), будући да за њих нису били доступни одговарајући аналитички стандарди. Њихова идентификација заснивала се на тачној маси *m/z* јона, (моноизотопска маса), карактеристичним MS фрагментима и ретенционом времену (RT). У **Табели 28** приказани су параметри који су коришћени за идентификацију ових једињења, укључујући молекулску формулу, израчунату масу, тачну *m/z* вредност, средња вредност одступања од тачне масе (mDa) и карактеристичне MS фрагменте. За сва условно идентификована једињења и њихове фрагменте одступање оф тачне масе је било мање од 5 mDa, што указује на висок степен поузданости предложене идентификације. Додатна потврда добијена је поређењем са подацима из литературе, као и коришћењем софтвера MS-DIAL и MS-FINDER **(Табела П1)**, уз консултовање претходних истраживања у којима су слична једињења идентификована у врстама рода *Eruca*, *Diplotaxis* и другим представницима фамилије Brassicaceae. *In silico* фрагментациона анализа (MS-FINDER) показала је добро поклапање са експерименталним спектрима за гликозиде фенолних киселина, кверцетин и глукозинолате, али није омогућила поуздано разликовање структурних изомера (Mallmann et al., 2023). Насупрот томе, софтвер је селективно препознао флавоноидне гликозиде и њихове ацил деривате, с обзиром на сложену структуру ових једињења која садрже више шећерних компоненти и ферулоилне или синапоилне групе различито везане за флавонолни агликон. У овом случају, мануелна интерпретација MS/MS спектра и анализа фрагментационих путева показала се поузданијом у предикцији структура идентификованих једињења, од искључивог ослањања на софтверску предикцију. Фрагментациони обрасци (MS/MS спектри) појединих карактеристичних и доминантних деривата флавонола, заједно са предложеним структурама и путевима фрагментације, приказани су на **Сликама 55 и 56**.



Слика 55. MS фрагментациони обрасци (масени спектри колизионо индуковане дисоцијације) и предложене структуре са главним фрагментима за: (a) кверцетин 3,3',4'-три-*O*-хексозид (787.19730 *m/z*); (b) кверцетин-3,4'-ди-*O*-хексозид-3'-*O*-(6"-синапоил)-хексозид (993.25520 *m/z*); и (c) кверцетин-3-*O*-(2"-синапоилхексозид)-3'-*O*-(6"-синапоилхексозид)-4'-*O*-хексозид (1199.31370 *m/z*) (ESI−, CE = 30 eV)



Слика 56. Предложени пут фрагментације кверцетин-3,7,4'-три-*O*-хексозид-3'-*O*-(6''-синапоил)-хексозида (једињење 11, Табела 28.)

За органске киселине, гликозиде фенолних киселина и деривате флавонола који су потврђени помоћу софтвера MS-FINDER **(Табела П1)**, експериментално добијени спектри показали су добро поклапање, односно висок степен сличности са *in silico* спектри потврђених глукозинолата садржали су већи број фрагмената који се не могу јасно разликовати/диференцирати, што указује на већу сложеност њихове интерпретације (**Слика П7**). Комбинација иницијалног скрининга коришћењем програма MS-DIAL и MS-FINDER, уз мануелну анализу и интерпретацију масених спектра, може представљати моћан и ефикасан приступ за идентификацију биоактивних једињења из биљних извора, у одсуству NMR анализе.

У оквиру анализе органских киселина детектоване су само јабучна и лимунска киселина, које су биле присутне у свим испитиваним узорцима. Bell et al. (2022) су такође забележили у истраживању различитих узорака листова врсте *Eruca vesicaria* subsp. *Sativa* доминантно присуство ових киселина. Са друге стране, листови дивље руколе карактеришу се присуством бројних деривата фенолних једињења који се акумулирају у различитим биљним ткивима, најчешће у облику гликозида или ацилованих деривата (Martínez-Sánchez et al., 2007). У анализираним узорцима дивље руколе укупно су условно идентификована и квантитативно одређена двадесет два фенолна једињења, која припадају групама деривата фенолних киселина и флавоноида, а њихове концентрације изражене су у mg/100 g свеже масе **(Табела 29).**

Табела 29. Квантификација фенолних једињења (mg/100 g FW) у анализираним листовима дивље руколе (различите сорте и третмани), одређена применом UHPLC Q-ToF MS

	Сорта	MARTE				VENERE				T&T			
	Третман	Контрола	Fe	K	Kelpak	Контрола	Fe	K	Kelpak	Контрола	Fe	K	Kelpak
	Назив једињења						***mg/100g***						
	Фенолне киселине и деривати												
3	**Бензоил јабучна киселина[b]**	<LOQ	14.17	16.86	18.49	32.18	24.25	12.43	26.94	9.24	23.75	15.62	24.43
4	**Хексозид дихидроксибензоева киселина[b]**	10.22	16.39	26.84	21.59	14.44	15.50	12.18	17.65	8.62	11.13	13.59	16.75
5	**Хексозид кафеинске киселине[b]**	<LOQ	14.57	<LOQ	<LOQ	10.09	<LOQ	<LOQ	10.25	<LOQ	15.97	<LOQ	<LOQ
6	**Хексозид хидроксибензоеве киселине[b]**	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
7	**Хексозид *p*-кумаринске киселине[b]**	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
8	**Хексозид синапинске киселине [b]**	13.76	<LOQ	<LOQ	<LOQ	-	<LOQ	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
9	**Дисинапоил-дихексозид[b]**	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	-
	∑	**23.98**	**45.12**	**43.70**	**40.08**	**56.71**	**39.76**	**24.61**	**54.84**	**17.86**	**50.85**	**29.21**	**41.18**
	Флавоноли и деривати												
	Кверцетин деривати												
10	**Кверцетин 3,3',4'-три-*O*-хексозид[c]**	29.47	43.19	52.40	55.46	65.37	33.82	44.43	42.48	32.31	37.56	32.89	30.98
11	**Кверцетин -3,7,4'-три-*O*-хексозид-3'-*O*-(6''-синапоил)-хексозид[c]**	7.37	-	8.70	17.06	-	11.96	<LOQ	8.15	<LOQ	7.04	2.09	6.78
12	**Кверцетин -3,4'-ди-*O*-хексозид-3'-*O*-(6''-синапоил)-хексозид[c]**	69.30	67.27	69.90	64.68	70.06	57.37	50.59	65.82	52.72	65.18	58.17	59.97
13	**Кверцетин -3,4'-ди-*O*-хексозид-3'-*O*-(6''-ферулоил)-хексозид[c]**	-	-	-	-	<LOQ	-	<LOQ	-	<LOQ	<LOQ	<LOQ	-
14	**Кверцетин -3-*O*-(2''-синапоил-хексозид)-3'-*O*-(6''-синапоил-хексозид)-4'-*O*-хексозид[c]**	14.47	8.39	13.13	8.44	29.98	19.26	35.01	26.72	23.98	38.37	40.55	27.19
15	**Кверцетин -3-*O*-(2''-ферулоил-хексозид)-3'-*O*-(6''-синапоил-хексозид)-4'-*O*-хексозид[c]**	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
16	**Кверцетин[a]**	<LOQ	-	-	-	<LOQ	-	-	-	-	-	-	-
	∑	**120.61**	**118.85**	**144.13**	**145.64**	**165.41**	**122.41**	**130.02**	**143.18**	**109.01**	**148.15**	**133.70**	**124.92**
	Кампферол и изорамнетин деривати												
17	**Кампферол-3,7,4'-три-*O*-хексозид + HCOOH[c]**	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	-	-	-	-	<LOQ	7.44	-	-

18	**Кампферол-3,4'-ди-О-хексозид[c]**	9.27	12.43	19.09	11.81	14.41	-	10.80	9.95	9.22	32.53	9.58	14.52
19	**Изорамнетин-3-*O*-hexoside-4'-*O*-gentobioside[c]**	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
20	**Изорамнетин-3,4'-ди-О-хексозид[c]**	22.41	-	13.80	14.65	28.87	-	42.73	-	16.54	20.78	-	-
	∑	**31.67**	**12.43**	**32.89**	**26.46**	**43.28**	**-**	**53.53**	**9.95**	**25.76**	**60.76**	**9.58**	**14.52**
	∑∑	**176.26**	**176.40**	**220.72**	**212.17**	**265.39**	**162.16**	**208.17**	**207.97**	**152.63**	**259.76**	**172.49**	**180.62**

Количине једињења изражене су коришћењем доступних стандарда[a]; једињења изражена као еквиваленти гентизинске киселине (GA)[b]; једињења изражена као еквиваленти кверцетина (QE)[c]; „<LOQ“ – испод границе квантификације.

Деривати фенолних киселина у анализираним узорцима дивље руколе јављали су се искључиво у облику гликозидних форми или естара са јабучном киселином (бензоил јабучна киселина). Појединачно екстраховани пикови (јон хроматограми-EICs) органских киселина и деривата фенолних киселина приказани су на **Слици П8** (пикови су експортовани из MS DIAL софтвера). Удео ових једињења у укупно квантификованим фенолним једињењима кретао се од 11,70 до 25,58%. Укупна концентрација деривата фенолних киселина у испитиваним узорцима варирала је у распону 17,86–56,71 mg GA/100 g свеже масе, чему је највише допринео садржај бензоил јабучне киселине и хексозид дихидрокси-бензоеве киселине. Остала једињења из ове групе регистрована су само у појединим узорцима дивље руколе или су била присутна у траговима, испод границе квантификације (<LOQ). Највећи укупни садржај деривата фенолних киселина утврђен је код контролне групе сорте Venere (56.71 mg GA/100 g), док је нешто нижа вредност забележена код истог генотипа након примене биостимулатора Kelpak. Хексозид кафеинске киселине детектован је код сорте Marte и T&T након Fe третмана , као и код Venere у контролном узорку и варијанти са Kelpak-ом. Хексозид синапинске киселине идентификован је само у контролном узорку Marte, док је дисинапоил-дихексозид био присутан у већини анализираних узорака, изузев код сорте T&T третираних Kelpak-ом, али у траговима. Деривати синапинске киселине који су идентификовани у испитиваним узорцима раније су забележени у врстама као што су броколи, кељ и култивисана рукола *E. sativa*, где се сматрају карактеристичним хемијским маркерима биљака из фамилије Brassicaceae (Belošević et al., 2024; Liu et al., 2022; Sharma et al., 2017). У анализираним генотиповима дивље руколе најзаступљенију групу фенолних једињења чинили су деривати флавонола, који се могу сврстати у три основне групе: деривате кверцетина, кампферола и изорамнетина. Ова једињења су идентификована у форми полигликозида и ацил-гликозида кверцетина, који су били присутни у свим анализираним сортама и чинили више од 57% укупно квантификованих фенолних једињења. Екстраховани пикови (јон хроматограми-EICs) деривата флавонола приказани су на **Слици П9** (пикови су експортовани из MS DIAL софтвера). Ранија истраживања указују да врсте рода *Diplotaxis* имају изражену способност акумулације деривата кверцетина, који се могу користити и као потенцијални хемијски маркери за разграничење појединих родова у оквиру фамилије Brassicaceae (Bell et al., 2015; Martínez-Sánchez et al., 2007, 2008; Pasini et al., 2012; Verardo et al., 2011).

Резултати квантитативне анализе показали су да укупном садржају деривата кверцетина у највећој мери доприносе једињења означена као **10, 12 и 14 (Табеле 28 и 29)**, чије су концентрације износиле 29,47–65,37 mg QE/100 g, 50,59–70,06 mg QE/100 g и 8,39–40,55 mg QE/100 g **(Табела 29).** За ова једињења карактеристични су фрагменти на *m/z* 301 и *m/z* 463, који одговарају депротонованом агликону кверцетина и кверцетин-хексозида. Једињење **10** (*m/z* 787) идентификовано је као кверцетин-3,3′,4′-tri-*O*-хексозид, при чему су кључни фрагменти настали сукцесивним губитком три хексозил јединице [*m/z* 787 → 625 *m/z* (-Hex)→463 *m/z* (-Hex)→301 *m/z* (-Hex)] **(Слика 55a)**.

Једињење **12** је идентификовано као кверцетин-3,4′-ди-*O*-хексозид-3′-*O*-(6″-синапоил)-хексозид, са главним фрагментом на 831 *m/z* , који се формира истовременим губитком синапил групе и хексозил јединице (синапоил-хексозил остатак) и фрагмент на 669 *m/z*, настао губитком две хексозил јединице **(Слика 55b)**. Једињење **14** је условно одређено као кверцетин-3-*O*-(2″-синапоил-хексозид)-3′-*O*-(6″-синапоил-хексозид)-4′-*O*-хексозид. Масени (MS/MS) спектар овог једињења карактерише низ фрагмената насталих узастопним губитком овог једињења карактерише низ фрагмената насталих узастопним губитком хексозил и синапоил јединица [*m/z* 1199 → 1037 *m/z* (-Hex)→831 *m/z* (-Sin)→ 669 *m/z* (-Hex)→463 *m/z* (-Sin)→301 *m/z* (-Hex)] **(Слика 55c)**. Фрагменти

нижег интензитета на 445 *m/z* и 813 *m/z* настали су губитком молекула воде, што указује на присуство везе између синапоил групе и шећерне јединице у структури овог једињења.

Слично резултатима овог истраживања, и раније студије показују да ови деривати кверцетина представљају доминантну групу фенолних једињења у различитим генотиповима врсте *D. tenuifolia* (Bell et al., 2015; Martínez-Sánchez et al., 2008; Taranto et al., 2016; Verardo et al., 2011). Међу испитиваним генотиповима, једињење **10** било је најзаступљеније у контролној варијанти сорте Venere, а затим у свим третираним узорцима сорте Marte. Највећи садржај једињења **12** такође је утврђен у контролном узорку сорте Venere, као и у контроли и третираним групама сорте Marte. Насупрот томе, једињење **14** било је најизраженије код сорти Venere и T&T након примене K ђубрива. Према скоријим литературним подацима, једињење **12** се наводи као најчешћи фенолни дериват у оквиру рода *Diplotaxis* (Ressurreição et al., 2024).

Према доступним сазнањима, једињење **11** је у оквиру овог истраживања први пут идентификовано у листовима дивље руколе. На основу тачне масе јона (*m/z*) и карактеристичног обрасца фрагментације у MS/MS спектру, ово једињење је одређено као кверцетин-3,7,4′-три-*O*-хексозид-3′-*O*-(6″-синапоил)-хексозид. У спектру су уочени типични фрагменти на 993 *m/z* (-Hex), 831 *m/z* [(-Hex)$_2$], 669 *m/z* [(-Hex)$_3$], 787 *m/z* [(-Hex, -Sin)], 625 *m/z* [(-Hex)$_2$, -Sin)], and 463 *m/z* [(-Hex)$_3$, -Sin)]. Присуство сличних структура подржавају и раније истраживања, у којима је кверцетин-тетра-*O*-гликозид идентификован у младим листовима врста рода *Diplotaxis* (Bennett et al., 2006). Предложени процес фрагментације овог сложеног деривата кверцетина (једињење **11**) приказан је на **Слици 56.**

Ипак, за коначну потврду предложене структуре неопходна је додатна анализа применом NMR спектроскопије. Интересантно је да једињење **11** показује идентичан образац MS фрагментације као кверцетин-3-*O*-(2″-кафеоил-хексозид)-3′-*O*-(6″-синапоил-хексозид)-4′-O-хексозид (LC ESI-MSn), који је раније идентификован у листовима *D. tenuifolia* (Martínez-Sánchez et al., 2007). Међутим, ова једињења имају различиту моноизотопску масу и молекулску формулу што представља кључни критеријум за њихову поуздану идентификацију. У оквиру овог истраживања, једињење **11** је селективно детектовано у анализираним сортама дивље руколе, при чему је највећи садржај утврђен код Marte након третмана биостимулатором Kelpak. Насупрот томе, ово једињење није детектовано у контролном узорку Venere, нити у узорку сорте Marte третираним Fe ђубривом. Остали детектовани деривати кверцетина (једињења **13** и **15**, **Табеле 28 и 29**) такође су потврђени у анализираним генотиповима, али у веома ниским концентрацијама, односно у траговима. Конкретно, једињење **15** је потврђено у свим анализираним сортама дивље руколе, али у концентрацијама испод границе квантификације (<LOQ). Насупрот томе, једињење **13** није детектовано у листовима сорте Marte, нити у Venere и T&T након третмана биостимулатором Kelpak. Агликон кверцетина потврђен је искључиво у контролним узорцима Marte и Venere, и то у веома ниским концентрацијама, односно у траговима (<LOQ). Поред деривата кверцетина, прелиминарно су идентификована и квантификована четири деривата кампферола и изорамнетина, при чему је изорамнетин-3,4′-ди-*O*-хексозид (једињење **20**) показао релативно више концентрације у сортама Marte и Venere. Међутим, овај дериват изорамнетина био је селективно присутан у анализираним листовима дивље руколе, при чему је његов садржај варирао у зависности од примењеног фолијарног третмана и генотипа. Тако је највећи садржај овог деривата изорамнетина утврђен у листовима Venere након примене K ђубрива, док ово једињење није детектовано у листовима Venere и Marte третираним Fe ђубривом, нити у листовима Venere и T&T након третмана Kelpak биостимулатором и калијумским ђубривом (код T&T). Сличан садржај раније је забележен и у листовима различитих врста рода *Diplotaxis* (Bell et al., 2015; Martínez-Sánchez et al., 2008; Taranto et

al., 2016; Verardo et al., 2011). Још један дериват изорамнетина (једињење **19**) детектован је у свим анализираним узорцима, али само у траговима (<LOQ). За разлику од деривата кверцетина и изорамнетина, деривати кампферола се ређе срећу код врста рода *Diplotaxis*, док су карактеристичнији за род *Eruca*, који показује израженију способност акумулације гликозида кампферола (Martínez-Sánchez et al., 2008; Pasini et al., 2012). Ипак, у оквиру овог истраживања кампферола-3,4′-ди-*O*-хексозид (једињење **18**, **Табеле 28. и 29.**) детектован је у готово свим анализираним узорцима у концентрацијама од 9,22 до 32,53 mg QE/100 g, изузев у сорти Venere након третмана Fe ђубривом. Једињење **17** је идентификовано као кампферол-3,7,4′-три-*O*-хексозид, при чему је у MS/MS спектру детектовано у форми адукта (комплекса) са мрављом киселином (*m/z* 817). Ово једињење било је присутно у контролној варијанти и свим третманима сорте Marte, као и у контролном узорку T&T (у траговима, <LOQ). Са друге стране, код сорте T&T било га је могуће квантификовати само након третмана Fe ђубривом. Насупрот томе, код сорте Venere ово једињење није детектовано ни у контролној ни у третираним варијантама, док код сорте T&T није утврђено након примене K ђубрива и биостимулатора Kelpak.

Добијени резултати указују да присуство, одсуство и садржај укупних и појединачних фенолних једињења у контролним и третираним узорцима дивље руколе зависе од генотипских карактеристика, али и од примењених фолијарних третмана. Поред тога, познато је да на нивое појединачних фенолних једињења могу утицати и услови гајења, степен физиолошке зрелости биљке и генетичка основа (Bell et al., 2015; Martínez-Sánchez et al., 2008).

Уочене варијације, посебно у односу на сорте, у складу су са литературним наводима да избор култивара представља најважнији фактор који одређује садржај деривата кверцетина и кампферола код врста рода *Brassica*, и да је његов утицај често израженији од утицаја географског порекла или начина производње (Mageney et al., 2017). Слично томе, и код различитих култивара броколија утврђено је да генотип представља кључни фактор који одређује садржај деривата кверцетина и кампферола (Krumbein et al., 2007). Интересантно је да је 1,8-дипропоксиантрахинон, нефенолно једињење, конзистентно детектован у свим анализираним сортама рода *Diplotaxis*, што је у складу са ранијим налазима Hetta et al. (2017), који су ово једињење идентификовали у екстрактима листова врсте *E. sativa*. Коначно, потребно је нагласити да је за дефинитивну структурну потврду свих условно идентификованих фенолних једињења неопходна додатна карактеризација применом NMR спектроскопије.

Поред фенолних једињења, листови дивље руколе садрже и различите GLSs и њихове продукте хидролизе, изотиоцијанате, који су одговорни за карактеристичан љуткаст укус и у значајној мери доприносе њеним функционалним својствима (Bell et al., 2015; Bell, Methven, et al., 2017). У свим анализираним узорцима идентификована су четири карактеристична глукозинолата **(Табела 28)**. Екстраховани пикови (јон хроматограми-EICs) идентификованих глукозинолата и осталих детектованих једињења приказани су на **Слици П10**. Идентификација глукозинолата базирала се на прецизној маси прекурсор јона и карактеристичним фрагментима на *m/z* 259 ($C_6H_{11}O_9S^-$), *m/z* 275 ($C_6H_{11}O_8S_2^-$) и *m/z* 195 ($C_6H_{11}O_5S^-$) **(Табела 28)**. Међу детектованим глукозинолатима мономерни глукосативин био је доминантно заступљен, са уделом од 73,4 до 89,5% у зависности од анализираног узорка листова, док је глукоеруцин био други по заступљености **(Табела 30)**.

Табела 30. Релативни садржај глукозинолата (GLSs) (%) у анализираним листовима дивље руколе (различите сорте и третмани), одређен применом UHPLC Q-ToF MS

Сорта	**MARTE**				**VENERE**				**T&T**			
Третман	**Контрола**	**Fe**	**K**	**Kelpak**	**Контрола**	**Fe**	**K**	**Kelpak**	**Контрола**	**Fe**	**K**	**Kelpak**
Једињење												
Глукозинолати (GLSs)												
Глукосативин	79.0	81.3	73.4	89.5	68.9	88.7	89.5	78.9	88.0	89.1	84.4	79.8
Глукоеруцин	16.5	16.5	22.6	9.4	26.1	7.9	6.4	15.8	7.8	9.0	6.1	15.1
Неоглукобрасицин	3.0	1.2	2.4	0.7	2.2	1.4	2.1	3.5	1.6	0.6	6.2	2.4
DMB-GLS	1.6	1.0	1.6	0.4	2.8	2.0	2.0	1.8	2.6	1.3	3.3	2.7
Укупно (%)	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

Према доступним литературним подацима, у оквиру рода *Diplotaxis* до сада је идентификовано двадесет осам различитих глукозинолата, при чему се глуколепидин (етил-глукозинолат), глукобрасицин, 4-хидроксиглукобрасицин и 4-метоксиглукобрасицин наводе као најчешће заступљени (Ressurreição et al., 2024). Поред тога, неколико ранијих истраживања указује на доминантно присуство димерног глукосативина (DMB-GLS) у листовима врсте *D. tenuifolia* (Bell et al., 2015; Pasini et al., 2012; Taranto et al., 2016). Међутим, у анализираним узорцима DMB-GLS је био присутан у релативно ниском уделу (мање од 3,3%), што се може објаснити његовом конверзијом у доминантни мономерни облик глукосативин. Поред тога, неоглукобрасицин је детектован у свим анализираним узорцима. Остали глукозинолати нису детектовани, што се може објаснити њиховим присуством у врло ниским концентрацијама, разградњом под дејством ензима мирозиназе у изотиоцијанате, или чињеницом да нису били екстраховани применом 70% метанола. Добијени резултати нису указали на разлике између анализираних сорти нити између примењених третмана фолијарне прихране, већ пре свега потврђују присуство или одсуство појединачних глукозинолата у листовима контролних и третираних узорака рода *Diplotaxis*.

5.2.3. Маснокиселински профил

Липиди представљају важне продукте примарног метаболизма, при чему масне киселине чине њихове доминантне структурне компоненте. Ови алифатични молекули деле се, у зависности од присуства или одсуства двоструких веза између атома угљеника, на засићене и незасићене масне киселине. У биљним органима њихов садржај варира, при чему је условљен, између осталог, генетичком основом, примењеним агротехничким мерама као и условима успевања (Gao et al., 2025). Састав и садржај масних киселина имају значајну улогу, с обзиром на то да представљају основу за синтезу бројних биоактивних једињења. Поред тога, одређене масне киселине повезане су са различитим здравственим ефектима, укључујући антиоксидативно деловање, превенцију кардиоваскуларних обољења, антиинфламаторне и антикарциногене ефекте, као и потенцијалну улогу у регулацији метаболичких поремећаја (Tian et al., 2023). Иако је маснокиселински састав код врста из рода *Diplotaxis* релативно добро проучен, досадашња истраживања су превасходно фокусирана на семе, као главни резервоар липида. Насупрот томе, садржај и састав масних киселина у листовима *D. tenuifolia* знатно је мање истражен, упркос чињеници да лист представља конзумни део биљке. Посебно је значајно истаћи да је еручна киселина, као карактеристична масна киселина врста из фамилије Brassicaceae, добро документована у семену бројних представника ове групе. Међутим, према доступним литературним подацима, њено присуство и концентрација у листовима дивље руколе нису испитани. Сходно томе, у овом поглављу приказани су резултати гасне хроматографије где је испитивана заступљеност 37 појединачних масних киселина у листовима различитих сорти дивље руколе, у зависности од примењених третмана и жетви (периода узгајања).

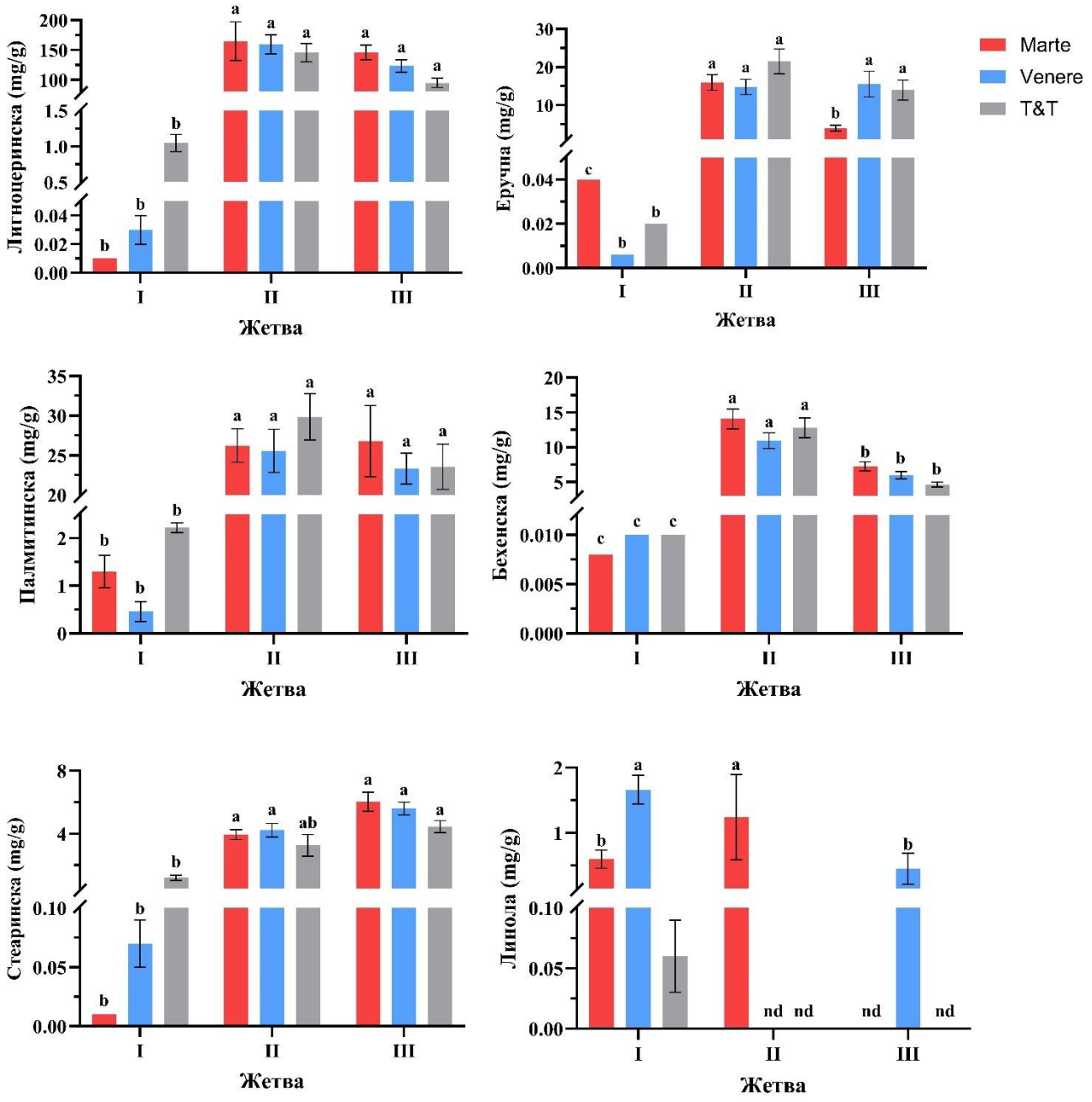
Непараметарским тестом утврђена је значајност посматраних главних фактора, где је сукцесивна жетва (сезона гајења) била статистички значајна код свих испитиваних масних киселина **(Табела 31)**. Насупрот томе, статистички значајан главни ефекат сорте и третмана испољио се само код појединих.

Табела 31. Значајност фактора (сорта, жетва, третман) за анализиране масне киселине

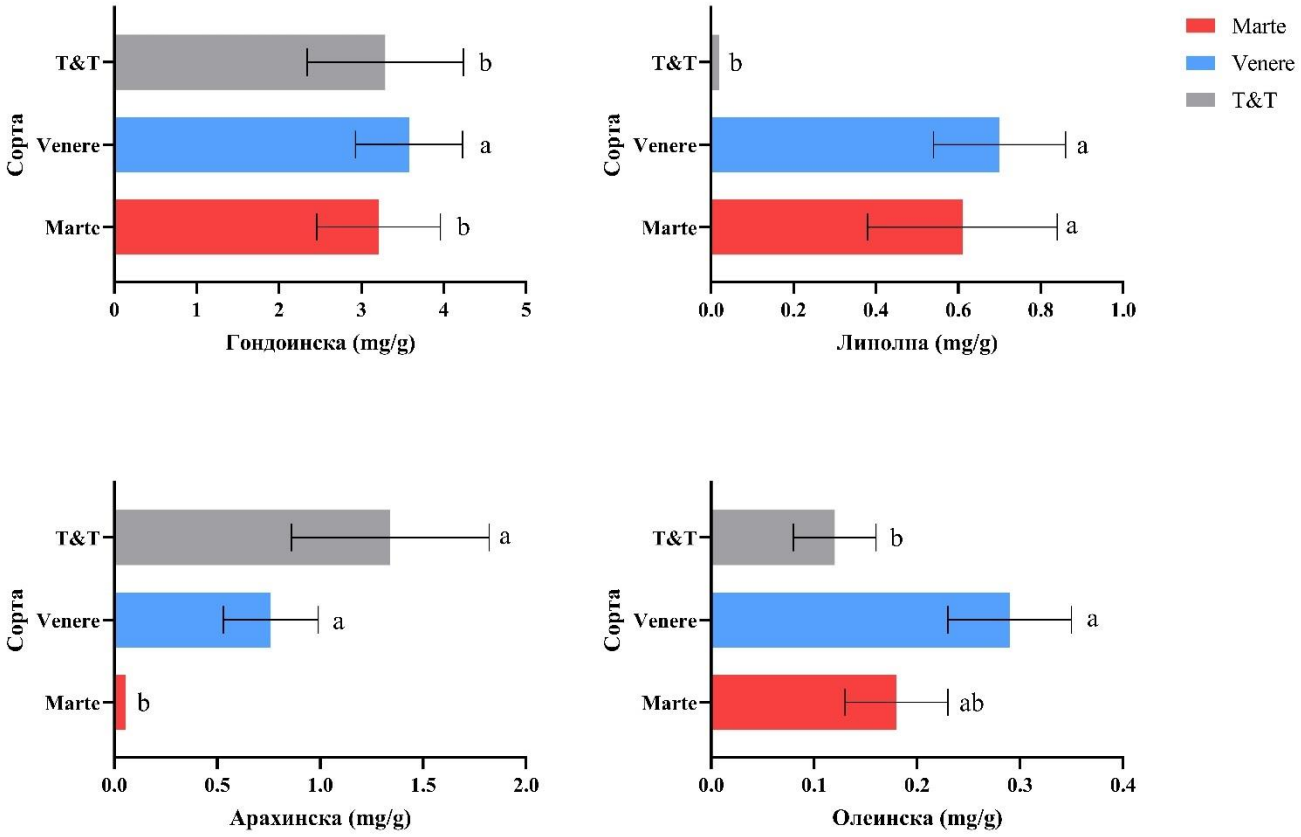
Масна киселина	Жетва	Сорта	Третман
Бутерна C4:0	*	*	нз
Капронска C6:0	*	*	нз
Каприлна C8:0	*	*	нз
Капринска C10:0	*	нз	нз
Ундеканска C11:0	*	нз	нз
Лауринска C12:0	*	*	нз
Тридеканска C13:0	*	*	нз
Миристинска C14:0	*	нз	*
Миристолеинска C14:1	*	*	нз
Пентадеканска C15:0	*	*	нз
cis-10-пентадеканска C15:1	*	*	нз
Палмитинска C16:0	*	нз	нз
Палмитолеинска C16:1	*	нз	нз
Маргаринска C17:0	*	нз	нз
Маргаролеинска C17:1	*	*	нз
Стеаринска C18:0	*	нз	нз
Олеинска C18:1n9c	*	нз	нз
Елаидинска C18:1n9t	*	*	нз
Линолна C18:2n6c	*	*	нз
Линолелаидинска C18:2n6t	*	нз	нз
γ-линоленска C18:3n6	–	–	–
α-линолеинска C18:3n3	*	нз	нз
Арахинска C20:0	*	*	нз
Гондоинска C20:1n9	*	*	*
Еикозадиенска C20:2	*	нз	нз
Дихомо-γ-линоленска C20:3n6	*	нз	*
Еикозатриенска C20:3n3	*	нз	нз
Арахидонска C20:4n6	*	*	нз
Еикозапентаноинска C20:5n3	*	нз	нз
Хенеикозилинска C21:0	*	нз	*
Бехенска C22:0	*	*	нз
Еручна C22:1n9	*	нз	нз
cis-13,16-докозадиенонска C22:2	*	*	нз
Докозахексаноинска C22:6n3	–	–	–
Трикозилна C23:0	*	*	нз
Лигноцеринска C24:0	*	нз	нз
Нервонска C24:1n9	*	нз	нз

* – статистички значајно на нивоу $p < 0,05$ (Kruskal–Wallis тест); нз– није статистички значајно; – није детектовано)

Дакле, значајне разлике између сорти утврђене код више једињења , између осталог, код кратко и средњеланчаних засићених масних киселина (C4:0, C6:0, C8:0, C12:0 и C13:0), као и код појединих незасићених масних киселина, укључујући C14:1, C15:1, C17:1, C18:1n9t и C18:2n6c. Поред тога, главни ефекат сорте био је изражен и код дуголанчаних масних киселина као што су пентадеканска (C15:0), арахинска (C20:0), гондоинска (C20:1n9), арахидонска (C20:4n6), бехенска (C22:0), докозахексаноинска (C22:6n3) и трикозилна (C23:0). Насупрот томе, код већег броја масних киселина није утврђен статистички значајан утицај сорте, што указује да је варијабилност у њиховом садржају пре свега условљена другим факторима, односно жетвом као доминантним фактором у овом истраживњу. С друге стране, утицај фолијарних третмана на садржај масних киселина био је доста више ограничен, где није утврђен статистички значајан ефекат код већине испитиваних једињења. Међутим, значајан утицај третмана уочен је код појединих масних киселина, укључујући миристинску (C14:0), гондоинску (C20:1n9), дихомо-γ-линоленску (C20:3n6) и хенеикозилинску (C21:0). Стога може се закључити из ових резултата да примењени фолијарни третмани имају селективан утицај на синтезу специфичних масних киселина, док је њихов ефекат на укупан профил масних киселина слабији у односу на утицај жетве. На **Сликама 57** и **58** приказане су промене у садржају најзаступљенијих масних киселина у листовима анализираних сорти дивље руколе у односу на утицај сукцесивног откоса и сезоне гајења као и ефекта сорте илити генетичке основе.



Слика 57. Утицај жетве на доминантне масне киселине у листовима сорти Marte, Venere и T&T. Вредности су изражене у односу на FW и приказане као средња вредност ± SE (n = 12). Различита слова изнад колона означавају статистички значајне разлике између жетви у оквиру исте сорте (Kruskal–Wallis тест; Dunn–Bonferroni *post hoc* анализа, $p < 0,05$), nd - није детектовано



Слика 58. Утицај сорте на поједине масне киселине у листовима сорти Marte, Venere и T&T. Вредности су изражене у односу на FW и приказане као средња вредност ± SE (n = 12). Различита слова изнад колона означавају статистички значајне разлике између жетви у оквиру исте сорте (Kruskal–Wallis тест; Dunn–Bonferroni *post hoc* анализа, $p < 0,05$)

Маснокиселински профил, како у погледу састава тако и количине, значајно је варирао у зависности од сезоне гајења и времена жетве. Код сорте Marte, у зимском периоду (први откос), доминирале су дуголанчане масне киселине C16:0 (1,31 ± 0,34 mg/g), C14:0 (0,80 ± 0,12 mg/g) и C18:2 (0,60 ± 0,14 mg/g). Насупрот томе, лигноцеринска киселина (C24:0) била је присутна у веома ниским концентрацијама (0,01 ± 0,00 mg/g), док је у пролећном и летњем периоду дошло до њеног статистички значајног повећања (164,72 ± 32,36 и 145,81 ± 12,51 mg/g, редом). Слично томе, код палмитинске киселине (C16:0) уочен је значајан пораст у другом и трећем откосу у односу на први, са вредностима око 26,24 и 26,79 mg/g. Идентичан тренд повећања уочен је и код сорти Venere и T&T, што указује на снажан утицај сезоне, независно од генотипа. Међутим, изражене разлике између сорти забележене су у првој жетви. Код сорте Venere доминирале су масне киселине C18:2 (1,66 ± 0,22 mg/g), C17:0 (0,75 ± 0,35 mg/g) и C16:1 (0,58 ± 0,15 mg/g), док су код сорте T&T најзаступљеније биле C16:0 (2,22 ± 0,10 mg/g), C18:2 (1,21 ± 0,16 mg/g) и C24:0 (1,05 ± 0,12 mg/g). Динамика еручне киселине (C22:1) показала је сличан образац код свих испитиваних сорти. Наиме, у другом откосу забележен је статистички значајан пораст њене концентрације (14,00–15,90 mg/g), међутим у трећем откосу дошло је до статистички значајног смањења, и то код сорте Marte. Поред

доминантног садржаја лигноцеринске, палмитинске и еручне киселине код сорте Marte, уочене су и релативно високе вредности бехенске киселине (7,25 ± 0,68 mg/g) у трећој жетви. Слична запажања су присутна и код осталих сорти. Овакве промене у маснокиселинском профилу указују на изражен утицај сезонских услова гајења и времена жетве на синтезу и акумулацију масних киселина код испитиваних генотипова**.** Значајно повећање концентрације појединих дуголанчаних засићених масних киселина, пре свега C24:0, C16:0, C22:0 током другог и трећег откоса може се довести у везу са интензивнијим метаболичким активностима биљака у условима повећане температуре и светлосног интензитета које прате пролећни и летњи период. Ови резултати су у складу са наводима из литературе, према којима услови повишене температуре доводе до повећања степена засићених масних киселина у листовима биљака. Наиме, показано је да биљке гајене при вишим температурама акумулирају већи удео засићених липида, што је потврђено и код различитих врста, укључујући *Atriplex lentiformis* (Torr.) S.Wats. и пиринач (Pearcy, 1978; Prasertthai et al., 2022). Код код врсте *Brassica carinata* A. Braun под условима топлотног стреса дошло је до смањења удела незасићених масних киселина уз истовремено повећање засићених масних киселина, укључујући палмитинску киселину (Zoong Lwe et al., 2021). Ове промене аутори објашњавају кроз комбинацију ензимске регулације и прерасподеле липидних прекурсора између хлоропласта и ендоплазматичног ретикулума, што омогућава модулацију степена незасићености мембранских липида као адаптивни механизам којим биљке одржавају оптималну флуидност ћелијских мембрана у условима повишене температуре. Такође, код врсте *Agrostis stolonifera* L. запажени су слични обрасци промене липидног састава под утицајем топлотног стреса (Larkindale & Huang, 2004). Лигноцеринска киселина присутна је у кутикуларним восковима бројних биљних органа, те се њен пораст током топлијег периода у овом истраживању може довести у везу са појачаном синтезом кутикуларних липида у циљу смањења прекомерног губитка воде (Karaca-Bulut et al., 2025). Такође, може се посматрати и кроз физиолошки узраст биљака, односно структурним сазревањем обновљеног лисног ткива. Са аспекта људског здравља, више концентрације C22:0 и C24:0 у мембранама еритроцита повезане су са смањеним ризиком од изненадног срчаног застоја (Choi et al., 2020). Стога се повећан садржај ових масних киселина у листовима дивље руколе може се посматрати и са аспекта потенцијалне нутритивне и функционалне вредности. У поређењу са до сада јединим доступном студијом која се бави профилом масних киселина у листовима врсте *D. tenuifolia*, где су биљке гајене на отвореном пољу и где су доминантно заступљене полинезасићене масне киселине (α-линолеинска, линолна, олеинска) забележен је значајно другачији профил (Ressurreição et al., 2026). Ове разлике могу се објаснити кроз многобројне факторе, укључујући различите услове гајења (отворено поље и стакленик), фенофазу биљака у тренутку бербе, као и потенцијалне разлике у екстракцији и обухваћеним анализираним масним киселинама. Такође, треба имати у виду да су у овом истраживању анализирани различити генотипови, који могу испољити другачије путеве синтезе и акумулације масних киселина, што потврђује и утврђен статистички значајан утицај сорте на садржај линолне киселине.

Еручна киселина је карактеристично заступљена у семену бројних представника фамилије Brassicaceae, док сахароза представља основни извор угљеника за њену биосинтезу (Wang et al., 2022). Смањење садржаја растворљивих шећера након прве жетве (поглавље 5.2.1.5.) може указивати на њихово интензивније коришћење у метаболичким процесима, укључујући и синтезу масних киселина. У том контексту, уочено повећање садржаја еручне киселине у другој и трећој жетви појединих сорти може се делимично довести у везу са преусмеравањем угљеника ка њеној синтези. Исти аутори истичу да на заступљеност ове дуголанчане киселине утичу бројни агроеколошки фактори, међу којима су време сетве, климатски услови локалитета, густина сетве и

врста и режим ђубрива. С тим у вези у **Табелама 32, 33 и 34.** призане су резултати садржаја масних киселина сходно фолијаним третманима и жетвама за сваку испитивану сорту.

Табела 32. Садржај масних киселина (mg/g FW) у листовима сорте Marte у зависности од фолијарног третмана и жетве

Масна киселина	Marte											
	I				II				III			
	Контрола	Fe	K	Kelpak	Контрола	Fe	K	Kelpak	Контрола	Fe	K	Kelpak
C4:0	0,03 ± 0.00	0,07 ± 0.02	0,02 ± 0.02	0,04 ± 0.01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C6:0	0,03 ± 0.01	0,08 ± 0.01	0,03 ± 0.01	0,05 ± 0.01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C8:0	0.03 ± 0.00	0,07 ± 0,02	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C10:0	0,09 ± 0,02	0,23 ± 0,01	0,7 ± 0,00	0,12 ± 0,04	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C11:0	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,00	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C12:0	0,17 ± 0,01	0,46 ± 0,01	0,15 ± 0,00	0,22 ± 0,01	трагови	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C13:0	трагови	трагови	трагови	трагови	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C14:0	0,52 ± 0,01ab	1,48 ± 0,01a	0,47 ± 0,00b	0,75 ± 0,02ab	н.д.	2,48 ± 0,03b	н.д.	8,27 ± 0,09 a	2,95 ± 0,15 ab	5,78 ± 0,15 a	2,37 ± 0,25 b	2,99 ± 0,08 ab
C14:1	0,02 ± 0,00	0,06 ± 0,00	0,02 ± 0,00	tragovi	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C15:0	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,09 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C15:1	0,02 ± 0,00	0,06 ± 0,01	0,02 ± 0,00	0,04 ± 0,00	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C16:0	1,14 ± 0,01	3,09 ± 0,01	0,99 ± 0,00	трагови	20,34 ± 0,12	19,89 ± 0,07	37,33 ± 0,11	27,41 ± 0,08	30,21 ± 0,19	44,50 ± 0,48	3,03 ± 0,19	29,15 ± 0,18
C16:1	0,05 ± 0,00	0,14 ± 0,00	0,05 ± 0,01	0,81 ± 0,01	0,73 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C17:0	0,03 ± 0,00	0,07 ± 0,01	0,02 ± 0,00	0,12 ± 0,00	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C17:1	0,01 ± 0,00	трагови	трагови	0,02 ± 0,00	1,56 ± 0,35	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C18:0	н.д.	н.д.	н.д.	0,21 ± 0,01	3,18 ± 0,02	2,76 ± 0,02	5,41 ± 0,03	4,45 ± 0,06	6,54 ± 0,22	8,79 ± 0,09	3,25 ± 0,07	5,60 ± 0,14
C18:1n9c	0,39 ± 0,01	1,07 ± 0,01	0,13 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,60 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C18:1n9t	0,28 ± 0,01	0,61 ± 0,01	н.д.	н.д.	1,57 ± 0,02	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C18:2n6c	0,09 ± 0,00	0,23 ± 0,01	0,85 ± 0,01	1,26 ± 0,01	4,96 ± 0,03	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C18:2n6t	н.д.	н.д.	0,08 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,97 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C18:3n6	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C18:3n3	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	н.д.	1,14 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C20:0	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,65 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C20:1n9	0,02 ± 0,00	0,04 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,08 ± 0,04	5,05 ± 0,00b	6,04 ± 0,00ab	14,90 ± 0,03a	8,22 ± 0,03ab	н.д.	н.д.	1,51 ± 0,10b	2,64 ± 0,14 a
C20:2	0,02 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,69 ± 0,01	н.д.	2,19 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C20:3n6	н.д.	н.д.	н.д.	0,01 ± 0,00	0,53 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C20:3n3	0,01 ± 0,00	н.д.	н.д.	н.д.	0,95 ± 0,01	н.д.	2,49 ± 0,02	1,70 ± 0,00	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C20:4n6	н.д.	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,00	н.д.	9,18 ± 0,03	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C20:5n3	н.д.	н.д.	н.д.	трагови	1,31 ± 0,01	н.д.	1,67 ± 0,02	1,32 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C21:0	0,01 ± 0,00 b	0,02 ± 0,00 a	0,01 ± 0,00 b	0,03 ± 0,00 a	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C22:0	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	8,88 ± 0,02	11,45 ± 0,06	21,60 ± 0,03	14,35 ± 0,16	7,81 ± 0,14	9,75 ± 0,16	3,62 ± 0,25	7,83 ± 0,10
C22:1n9	трагови	трагови	0,01 ± 0,00	трагови	9,03 ± 0,01	11,87 ± 0,03	26,80 ± 0,08	15,92 ± 0,12	2,65 ± 0,19	3,18 ± 0,09	1,87 ± 0,07	8,16 ± 0,33
C22:2	н.д.	н.д.	н.д.	0,02 ± 0,00	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C22:6n3	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C23:0	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C24:0	0,02 ± 0,00	н.д.	н.д.	0,03 ± 0,00	н.д.	158,87 ± 0,25	296,73 ± 0,25	203,28 ± 0,13	168,34 ± 0,31	182,69 ± 0,93	75,81 ± 0,30	156,40 ± 0,31
C24:1n9	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	2,29 ± 0,02	2,88 ± 0,02	7,79 ± 0,03	3,02 ± 0,00	н.д.	н.д.	н.д.	3,73 ± 0,13

Масна киселина	Marte											
	I				II				III			
	Контрола	Fe	K	Kelpak	Контрола	Fe	K	Kelpak	Контрола	Fe	K	Kelpak
% уља у листу	0,27 ± 0,01	0,79 ± 0,03	0,28 ± 0,01	0,41 ± 0,02	6,51 ± 0,90	22,54 ± 1,02	41,60 ± 0,91	28,71 ± 0,75	21,82 ± 0,52	25,53 ± 0,59	10,58 ± 0,42	21,62 ± 0,39

Вредности су приказане као средња вредност ± SE, на основу три понављања (n = 3); трагови – < 0,01 mg/g; н.д. – није детектовано; различита слова у оквиру исте жетве означавају статистички значајне разлике између третмана ($p < 0,05$), код масних киселина код којих је утврђен значајан утицај третмана (Kruskal–Wallis тест, Dunn–Bonferroni *post hoc*)

Табела 33. Садржај масних киселина (mg/g FW) у листовима сорте Venere у зависности од фолијарног третмана и жетве

Масна киселина	Venere											
	I				II				III			
	Контрола	Fe	K	Kelpak	Контрола	Fe	K	Kelpak	Контрола	Fe	K	Kelpak
C4:0	0,05 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,08 ± 0,02	0,08 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C6:0	0,06 ± 0.01	0,06 ± 0.01	0,10 ± 0,01	0,60 ± 0.28	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C8:0	0,05 ± 0,04	0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,00	0,08 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C10:0	0,17 ± 0,01	0,18 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,21 ± 0,02	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C11:0	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C12:0	0,34 ± 0,01	0,35 ± 0,01	н.д.	0,41 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C13:0	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C14:0	0,99 ± 0,01a	н.д.	0,47 ± 0,01ab	0,03 ± 0,01b	2,93 ± 0,03b	23,26 ± 0,04a	4,15 ± 0,07b	2,75 ± 0,05 b	1,74 ± 0,09b	2,15 ± 0,08b	н.д.	17,57 ± 0,17a
C14:1	н.д.	0,33 ± 0,00	0,20 ± 0,01	0,46 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C15:0	0,14 ± 0,01	0,14 ± 0,01	0,35 ± 0,18	0,20 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C15:1	н.д.	0,12 ± 0,00	0,06 ± 0,00	0,19 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C16:0	0,04 ± 0,01	0,02 ± 0,00	1,69 ± 0,01	0,07 ± 0,00	15,86 ± 0,05	28,61 ± 0,20	38,94 ± 0,06	18,80 ± 0,17	23,32 ± 0,14	15,58 ± 0,23	20,93 ± 0,07	33,42 ± 0,15
C16:1	1,08 ± 0,01	1,05 ± 0,01	н.д.	0,019 ± 0,00	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C17:0	0,06 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,04 ± 0,00	2,78 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C17:1	0,03 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,06 ± 0,00	0,05 ± 0,00	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C18:0	0,04 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,21 ± 0,10	2,70 ± 0,03	4,89 ± 0,04	6,25 ± 0,07	3,07 ± 0,03	4,64 ± 0,12	4,03 ± 0,06	6,48 ± 0,16	7,28 ± 0,18
C18:1n9c	0,24 ± 0,01	н.д.	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	н.д.	0,95 ± 0,01	0,88 ± 0,01	0,66 ± 0,02`	0,73 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.
C18:1n9t	н.д.	н.д.	2,32 ± 0,00	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C18:2n6c	1,48 ± 0,02	1,67 ± 0,01	0,72 ± 0,01	2,78 ± 0,02	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	1,81 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.
C18:2n6t	н.д.	0,48 ± 0,00	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C18:3n6	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C18:3n3	н.д.	н.д.	0,29 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C20:0	0,16 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,03 ± 0,00	0,23 ± 0,00	0,59 ± 0,00	1,29 ± 0,02	н.д.	1,87 ± 0,03	1,28 ± 0,10	н.д.	н.д.	10,48 ± 0,14
C20:1n9	0,01 ± 0,00 b	0,01 ± 0,00 b	0,06 ± 0,00 a	0,08 ± 0,03 a	2,11 ± 0,01 b	7,63 ± 0,14 ab	11,99 ± 0,71 a	6,31 ± 0,11 ab	1,25 ± 0,03 ab	1,12 ± 0,06 b	4,40 ± 0,11ab	8,04 ± 0,04a
C20:2	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,00	н.д.	0,04 ± 0,01	0,47 ± 0,00	1,47 ± 0,04	2,00 ± 0,02	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C20:3n6	н.д.	н.д.	0,01 ± 0,00	н.д.	0,33 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C20:3n3	н.д.	трагови	0,03 ± 0,00	н.д.	0,80 ± 0,01	1,95 ± 0,03	1,84 ± 0,05	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C20:4n6	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,00	н.д.	0,02 ± 0,00	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C20:5n3	н.д.	н.д.	0,08 ± 0,01	н.д.	0,59 ± 0,01	1,38 ± 0,05	1,60 ± 0,02	1,25 ± 0,05	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.

Масна киселина	Venere											
	I				II				III			
	Контрола	Fe	K	Kelpak	Контрола	Fe	K	Kelpak	Контрола	Fe	K	Kelpak
C21:0	0,03 ± 0,01ab	0,04 ± 0,01ab	0,02 ± 0,00b	0,06 ± 0,01a	0,39 ± 0,01a	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C22:0	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,01	6,24 ± 0,06	12,79 ± 0,14	15,88 ± 0,08	8,83 ± 0,09	5,54 ± 0,09	4,17 ± 0,10	8,85 ± 0,09	5,34 ± 0,13
C22:1n9	трагови	трагови	н.д.	трагови	6,16 ± 0,10	16,05 ± 0,28	24,98 ± 0,08	12,05 ± 0,06	7,77 ± 0,16	5,59 ± 0,09	15,07 ± 0,19	33,98 ± 0,26
C22:2	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C22:6n3	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C23:0	н.д.	н.д.	н.д.	0,02 ± 0,00	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C24:0	0,64 ± 0,00	н.д.	н.д.	0,04 ± 0,00	91,92 ± 0,09	204,06 ± 0,05	218,62 ± 0,21	123,50 ± 0,27	110,90 ± 0,18	91,38 ± 0,23	182,74 ± 0,37	108,46 ± 0,29
C24:1n9	трагови	н.д.	н.д.	н.д.	1,19 ± 0,00	3,82 ± 0,07	6,45 ± 0,12	29,63 ± 0,21	3,08 ± 0,09	2,18 ± 0,10	н.д.	18,45 ± 0,27
% уља у листу	0.50 ± 0,01	0.53 ± 0,01	0,67 ± 0,02	0,83 ± 0,05	13,18 ± 0,36	30,87 ± 10,21	33,47 ± 0,97	20,57 ± 0,64	16,22 ± 0,21	12,62 ± 0,25	23,92 ± 0,21	24,28 ± 0,26

Вредности су приказане као средња вредност ± SE, на основу три понављања (n = 3); трагови–< 0,01 mg/g; н.д. – није детектовано; различита слова у оквиру исте жетве означавају статистички значајне разлике између третмана ($p < 0,05$), код масних киселина код којих је утврђен значајан утицај третмана (Kruskal–Wallis тест, Dunn–Bonferroni *post hoc*)

Табела 34. Садржај масних киселина (mg/g FW) у листовима сорте T&T у зависности од фолијарног третмана и жетве

Масна киселина	T&T											
	I				II				III			
	Контрола	Fe	K	Kelpak	Контрола	Fe	K	Kelpak	Контрола	Fe	K	Kelpak
C4.0	н.д.	н.д.	н.д.	0,05 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C6:0	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C8:0	н.д.	0,07 ± 0,02	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C10:0	0,22 ± 0,02	0,23 ± 0,01	0,03 ± 0,00	0,07 ± 0,00	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C11:0	0,03 ± 0,00	н.д.	н.д.	0,03 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C12:0	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C13:0	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C14:0	0,89 ± 0,01a	н.д.	н.д.	0,06 ± 0,01b	0,69 ± 0,01b	2,41 ± 0,12a	н.д.	2,31 ± 018a	9,81 ± 0,26ab	14,80 ± 0,26a	3,28 ± 0,17 ab	0,97 ± 0,04b
C14:1	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C15:0	н.д.	н.д.	н.д.	0,05 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C15:1	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C16:0	2,51 ± 0,08	2,54 ± 0,10	1,84 ± 0,07	1,97 ± 0,03	13,57 ± 0,16	33,80 ± 0,46	38,18 ± 0,21	33,82 ± 0,22	9,59 ± 0,11	22,48 ± 0,23	36,06 ± 0,04	26,09 ± 0,07
C16:1	0,08 ± 0,01	0,08 ± 0,00	0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,35 ± 0,01
C17:0	0,11 ± 0,01	0,05 ± 0,01	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,60 ± 0,01
C17:1	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C18:0	1,35 ± 0,09	1,94 ± 0,04	1,05 ± 0,03	0,52 ± 0,01	2,27 ± 0,19	5,06 ± 0,14	н.д.	5,69 ± 0,20	2,98 ± 0,10	3,63 ± 0,22	6,32 ± 0,17	4,92 ± 0,07
C18:1n9c	н.д.	н.д.	н.д.	0,06 ± 0,00	н.д.	0,53 ± 0,02	н.д.	0,84 ± 0,03	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C18:1n9t	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C18:2n6c	н.д.	н.д.	н.д.	0,25 ± 0,02	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C18:2n6t	0,03 ± 0,00	н.д.	н.д.	н.д.	1,26 ± 0,05	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.

Масна киселина	T&T											
	I				II				III			
	Контрола	Fe	K	Kelpak	Контрола	Fe	K	Kelpak	Контрола	Fe	K	Kelpak
C18:3n6	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C18:3n3	н.д.	н.д.	н.д.	0,21 ± 0,00	2,07 ± 0,03	4,51 ± 0,16	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C20:0	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,54 ± 0,01	1,32 ± 0,12	н.д.	1,47 ± 0,05	н.д.	н.д.	5,01 ± 0,07	0,82 ± 0,01
C20:1n9	0,03 ± 0,00	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	17,91 ± 0,10a	12,48 ± 0,29b	н.д.	5,28 ± 0,18 a	2,28 ± 0,15 ab	1,58 ± 0,06b
C20:2	0,02 ± 0,00	н.д.	н.д.	н.д.	0,54 ± 0,01	2,09 ± 0,08	н.д.	1,96 ± 0,09	н.д.	н.д.	н.д.	0,92 ± 0,01
C20:3n6	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,40 ± 0,01 b	0,75 ± 0,01a	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C20:3n3	н.д.	н.д.	н.д.	0,07 ± 0,00	0,63 ± 0,02	1,28 ± 0,10	н.д.	1,90 ± 0,08	н.д.	н.д.	н.д.	1,03 ± 0,07
C20:4n6	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C20:5n3	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,53 ± 0,02	0,89 ± 0,01	н.д.	1,44 ± 0,12	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C21:0	0,06 ± 0,00	н.д.	н.д.	н.д.	0,47 ± 0,02b	0,92 ± 0,01a	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,69 ± 0,01
C22:0	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	6,16 ± 0,08	10,80 ± 0,22	18,46 ± 0,13	15,71 ± 0,23	3,54 ± 0,14	6,30 ± 0,17	5,03 ± 0,06	3,73 ± 0,05
C22:1n9	трагови	трагови	трагови	трагови	8,53 ± 0,22	16,07 ± 0,12	37,89 ± 0,15	23,48 ± 0,26	15,98 ± 0,19	27,35 ± 0,16	7,50 ± 0,22	5,18 ± 0,21
C22:2	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C22:6n3	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C23:0	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
C24:0	1,64 ± 0,03	1,04 ± 0,03	0,98 ± 0,02	0,55 ± 0,02	80,86 ± 0,15	132,07 ± 0,36	146,13 ± 0,29	223,67 ± 0,50	78,49 ± 0,35	129,77 ± 0,20	105,62 ± 0,22	65,08 ± 0,49
C24:1n9	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	1,52 ± 0,09	3,40 ± 0,26	15,27 ± 0,20	5,51 ± 0,25	29,44 ± 0,31	н.д.	4,10 ± 0,09	1,86 ± 0,09
% уља у листу	0,69 ± 0,05	0,61 ± 0,04	0,40 ± 0,02	0,36 ± 0,03	11,89 ± 0,39	21,88 ± 8,23	27,35 ± 8,84	33,09 ± 11,01	14,99 ± 0,50	20,96 ± 0,24	17,52 ± 0,56	11,55 ± 0,50

Вредности су приказане као средња вредност ± SE, на основу три понављања (n = 3); трагови – < 0,01 mg/g; н.д. – није детектовано; различита слова у оквиру исте жетве означавају статистички значајне разлике између третмана ($p < 0,05$), код масних киселина код којих је утврђен значајан утицај третмана (Kruskal–Wallis тест, Dunn–Bonferroni *post hoc*)

Фолијарни третмани испољили су селективан утицај на профил масних киселина. Статистички значајне промене између третмана уочене су код масних киселина C14:0, C20:1n9 и C21:0 код свих испитиваних сорти, док је код сорте T&T значајан ефекат третмана забележен и код C20:3n6.

Код сорте Marte највише вредности C14:0 уочене су након Fe третмана у првој и трећој жетви, као и након примене Kelpak-a у другој жетви, што може указивати на стимулишући ефекат ових третмана на синтезу ове засићене масне киселине. Такође, уочено је да код контролног узорка у другој жетви C14:0 није детектована, што указује да су одређени фолијарни третмани утицали на њену синтезу и акумулацију. Код сорте Venere Fe третман је у другој жетви довео до израженог повећања садржаја C14:0 (≈ 23 mg/g), док је у трећој жетви највећа вредност забележена након примене Kelpak третмана (≈ 17,6 mg/g). Слично томе, код сорте T&T Fe третман је у другој и трећој жетви довео до повећане акумулације C14:0, док је Kelpak у трећој жетви резултирао најнижим вредностима. Добијени резултати указују да Fe и Kelpak могу утицати на процесе синтезе и мада су ефекти нису били конзистентни и зависни од сезоне гајења и потенцијално интеракције генотипа и третмана.

Код масне киселине C20:1n9 уочен је изражен утицај третмана, посебно након примене калијума. Код све три сорте K третман је у појединим жетвама довео до највиших вредности ове масне киселине, што је било најизраженије код сорте Marte у другој жетви и код сорте T&T у другој жетви. Повећање садржаја C20:1n9 након примене калијума може се повезати са улогом овог елемента у регулацији метаболизма угљених хидрата, будући да калијум учествује у процесима фотосинтезе и транспорту асимилата, који представљају извор угљеника за биосинтезу липида и масних киселина. Код сорте Venere повишене вредности C20:1n9 уочене су и након Kelpak третмана у трећој жетви, што се потенцијално може повезати са присуством фитохормона и других биоактивних компоненти у овом екстракту браон алги.

Статистички значајне разлике код C21:0 масне киселине присутне у првим жетвама такође су указале на селективан утицај третмана, иако су измерене концентрације биле релативно ниске. Код сорти Marte и Venere највише вредности C21:0 углавном су забележене након примене Kelpak или Fe третмана, док су код сорте T&T значајне разлике уочене у другој жетви, где је Fe третман довео до повећања садржаја ове масне киселине. Иако је реч о ниско заступљеној масној киселини, добијени резултати указују да фолијарни третмани могу утицати и на компоненте липидног профила.

Код сорте T&T статистички значајан ефекат третмана уочен је и код C20:3n6 масне киселине, при чему је Fe третман у другој жетви довео до виших вредности у односу на контролу, док код осталих третмана није детектована. Овај резултат може указивати на индиректан утицај гвожђа на метаболизам масних киселина, будући да Fe има значајну улогу у процесима фотосинтезе, транспорту електрона и функционисању примарног метаболизма, чиме може утицати на доступност асимилата неопходних за биосинтезу липида.

Садржај укупног уља у листовима варирао је у зависности од сорте, жетве и примењеног третмана. Код свих испитиваних сорти најниже вредности забележене су у првој жетви, где се садржај уља кретао од ≈0,27 до 0,83%, док је у другој и трећој жетви уочено изражено повећање. Код сорте Marte садржај уља у првој жетви износио је 0,27–0,79%, док су код сорте Venere вредности варирале од 0,50 до 0,83%, а код сорте T&T од 0,36 до 0,69%. У другој жетви забележен је значајан пораст удела уља код свих сорти, при чему су највише вредности уочене након примене K третмана код сорте Marte (41,60%) и сорте Venere (33,47%), док је код сорте T&T највећи садржај уља

забележен након Kelpak третмана (33,09%). У трећој жетви садржај уља остао је релативно висок код сорти Marte и Venere, при чему су највише вредности код сорте Marte забележене након Fe третмана (25,53%), а код сорте Venere након Kelpak третмана (24,28%). Код сорте T&T у трећој жетви вредности су биле ниже у односу на другу жетву, осим код контроле, а кретале су се од 14,99 до 20,96%, при чему је највиши садржај уља забележен након Fe третмана.

Са аспекта агрономске производње, добијени резултати указују да избор сорте, времена жетве и сезоне гајења, као и примена фолијарних третмана могу утицати на масно-киселински профил и садржај укупног уља у листовима дивље руколе. Са аспекта потрошача, промене у саставу масних киселина могу бити значајне због потенцијалног утицаја на нутритивну и функционалну вредност листова, имајући у виду да поједине масне киселине учествују у формирању биолошки активних једињења и могу бити повезане са различитим физиолошким ефектима. Поред тога, утврђено је присуство еручне киселине у листовима, за коју до сада нема података у литератури за конзумни део врсте, што отвара простор за даља истраживања физиолошког и нутритивног значаја дивље руколе.

6. Закључак

На основу резултата различитих сегмената овог истраживања уочено је да су испитивани фактори (сорта, сезона гајења (жетва), фолијарна прихрана) испољили различит степен утицаја у зависности од анализираног параметра. Сходно томе, за продуктивне карактеристике дивље руколе могу се извести следећи закључци:

- Принос листова био је значајно условљен сортом и термином жетве, док примена фолијарних третмана није испољила директан статистички значајан утицај. Истовремено, значајне интеракције између испитиваних фактора указују да је реакција биљака зависила од комбинације генотипа, сезоне гајења и примењених третмана.
- Супротно од приноса листова, интензитет формирања листова (број листова) је показао већу осетљивост на примену фолијарних третмана. Поред значајног утицаја генетичке основе и жетве, утврђене су и значајне интеракције фактора, што указује на специфичан одговор сорте у различитим условима гајења. Највећи број листова забележен је у трећој жетви, посебно код сорте T&T, што указује на изражен генотипски одговор у условима каснијег периода гајења (летња сезона и старост биљака).
- Формирање лисне површине показало је високу зависност од генотипа, термина жетве и примењених фолијарних третмана, уз значајне интеракције свих испитиваних фактора. Највеће вредности су остварене у другој жетви, што указује на повољније услове за развој асимилационог апарата током пролећног периода, уз посебемо изражен ефекат фолијарне прихране калијумом уочен је код сорти Venere и T&T.
- Индекс лисне површине (LAI) био је значајно условљен термином жетве, сортом и применом фолијарних третмана, при чему је жетва испољила доминантан утицај на варијабилност овог параметра. Код свих испитиваних сорти највеће вредности LAI забележене су у другој жетви. Иако су фолијарни третмани статистички значајно утицали на LAI, њихов ефекат није био истоветан између сорти и жетви.
- Резултати корелационе анализе показали су да повећање приноса листова пре свега зависи од развијености асимилационе површине, а не од самог броја формираних листова. Снажне позитивне корелације између приноса, површине листа и LAI указују на функционалну повезаност ових параметара у процесу акумулације биомасе.
- PCA анализа указала је да су принос листова, површина листа и индекс лисне површине (LAI) кључни параметри који дефинишу продуктивност испитиваних сорти дивље руколе, док је број листова представљао засебну компоненту варијабилности. Сорте Venere и T&T показале су тенденцију ка већој продуктивности и развијенијем асимилационом апарату у односу на сорту Marte, док је преклапање груписања указало на значајан утицај сукцесивних жетви и фолијарних третмана на испитиване параметре.
- Дивља рукола испољава изражен продуктивни потенцијал у условима сукцесивне бербе, који је углавном највише остварен у другој, пролећној, жетви.

Спектрофотометријском анализом фитохемијских компоненти и антиоксидативних својстава уочен је сложен и специфичан одговор испитиваних сорти на услове гајења и примењене фолијарне третмане. На основу резултата, може се закључити следеће:

- Варијабилност садржаја хлорофила *a*, хлорофила *b* и укупних каротеноида углавном је била последица утицаја термина жетве, док примењени фолијарни третмани нису испољили статистички значајан ефекат на акумулацију испитиваних пигмената.
- Садржај укупних фенолних једињења (TPC), флавоноида (TFC) и деривата хидроксициметне киселине (HCAs) био је пре свега условљен термином жетве, док примењени фолијарни третмани и сорта нису испољили статистички значајан утицај на варијабилност ових параметара. Односно, вредности испитиваних једињења пратиле су сличан сезонски образац код свих сорти и третмана.
- Садржај флаванона био је пре свега условљен термином жетве, док примењени фолијарни третмани и генотип нису испољили статистички значајан утицај на варијабилност овог параметра. Најниже вредности забележене су у првој жетви, док су у другој и трећој жетви утврђене значајно више вредности, без међусобно статистички значајних разлика, што указује на стабилизацију и интензивнију акумулацију флаванона током каснијих фаза производног циклуса.
- Садржај укупних танина (TTC) био је значајно условљен генотипом, термином жетве и примењеним фолијарним третманима, уз изражене интеракције свих испитиваних фактора. Код свих испитиваних сорти у другој жетви забележене су најниже вредности TTC, док су више вредности углавном утврђене у првој и трећој жетви, што указује на сличан сезонски образац варирања овог параметра. Примењени фолијарни третмани испољили су различит ефекат у зависности од сорте и термина жетве, где су код већине биљака допринели повећању ове комоненте у односу на контролу.
- Садржај укупних растворљивих шећера (TSS) био је пре свега условљен сезоном гајења, док утицај сорте и примењених фолијарних третмана није био статистички значајан. Највеће вредности забележене су у првој жетви, док је у другој и трећој жетви уочен изражен пад садржаја шећера, што указује на доминантан утицај сезонских услова током периода гајења на њихову акумулацију.
- Акумулација пролина била је значајно условљена сортом и термином жетве, док примењени фолијарни третмани нису испољили статистички значајан утицај. Код свих испитиваних сорти највеће вредности пролина забележене су у првој жетви, док је у другој и трећој жетви уочен изражен пад његовог садржаја. Сорта T&T показала је тенденцију ка већој акумулацији пролина у односу на остале сорте, што указује на генотипске разлике у физиолошком одговору на услове стреса.
- Сезонски услови и генотип имали су доминантан утицај на варирање садржаја фитата. Такође, статистичком анлизом утрвђен је и значај фолијарне прихране, као и интеракција испитиваних фактора. Код појединих комбинација сорте и фолијарног третмана уочен је нижи садржај у односу на контролу што може указивати на повољнији физиолошки статус биљака и потенцијално ублажавање стресних услова услед примене фолијарне прихране.
- Утицај сорте на садржај укупног токоферола није био статистички значајан, док су сви остали главни фактори, као и интеракције међу њима, испољили значајан утицај на варијабилност овог параметра. Резултати указују да применом фолијарних третмана у различитим фазама производње постоји могућност циљаног повећања садржаја токоферола у листовима дивље руколе. Ипак, различит одговор у оквиру комбинација жетве и третмана указује да је за испољавање позитивног ефекта неопходно узети у обзир и специфичности генотипа, као и услове гајења током производног циклуса.

- Листови дивље руколе представљају значајан извор антиоксидативних једињења, при чему је антиоксидативна активност пре свега зависила од сорте и термина жетве. Варијације између испитиваних тестова (DPPH˙, FRP, TAC, CUPRAC) указале су на сложену природу антиоксидативног капацитета и различиту динамику акумулације једињења одговорних за редукциони потенцијал и неутрализацију слободних радикала током производног циклуса. Иако примењени фолијарни третмани нису испољили статистички значајан утицај, уочене разлике између сорти, посебно код FRP и TAC теста, указују на значај генотипских карактеристика у формирању антиоксидативног профила листова дивље руколе.
- Спирманова корелациона и PCA анализа показале су да су испитивани пигменти, растворљиви шећери и пролин међусобно уско повезани и представљају јединствен функционални комплекс повезан са фотосинтетичком активношћу и адаптацијом биљке на услове гајења. Антиоксидативни потенцијал листова дивље руколе није био условљен укупним садржајем фенолних једињења, већ пре свега специфичним фенолним компонентама, попут HCAs и флаванона, док су фитати представљали независан извор варијабилности повезан са фосфорним метаболизмом биљке. PCA анализа је додатно потврдила доминантан утицај сезоне гајења, при чему је формирање јасно издвојених група узорака указало да су еколошки чиниоци током производње били кључни фактор варијабилности биохемијског профила листова дивље руколе.
- Листови дивље руколе представљају богат извор пигмената, фенолних једињења и антиоксидативних компоненти, при чему је њихова акумулација у највећој мери зависила од жетве и сезонских услова током гајења. Добијени резултати указују на изражену метаболичку пластичност ове врсте, као и на значајан нутритивни и функционални потенцијал листова дивље руколе. Иако примењени фолијарни третмани нису код свих параметара испољили статистички значајан ефекат, код појединих група једињења уочена је могућност модификације фитохемијског профила и антиоксидативног потенцијала применом одговарајућих агротехничких мера.

На основу UHPLC Q-ToF MS анализе потврђено је да листови дивље руколе поседују сложен и генотипски специфичан профил фенолних једињења и глукозинолата, при чему су деривати кверцетина представљали највећу групу фенолних компоненти (више од 57%). Утврђено је да су сорта и примењени фолијарни третмани утицали на присуство и концентрацију појединачних једињења, што указује на изражену метаболичку флексибилност и способност биљке да модификује профил секундарних метаболита у зависности од генотипа и примењених третмана. Поред тога, резултати су потврдили да листови дивље руколе представљају значајан извор биолошки активних једињења, пре свега флавонол деривата и глукозинолата, који доприносе њеним функционалним и нутритивним својствима. Стога, примењена UHPLC Q-ToF MS анализа омогућила је прецизније и селективније сагледавање фенолног профила у поређењу са мање специфичним спектрофотометријским резултатима и указала на присуство сложених ацилованих и гликозидних деривата карактеристичних за врсте рода *Diplotaxis*. Резултати показују да је хемијски профил дивље руколе пре свега условљен одабиром сорте, док ефекти фолијарних третмана зависе од интеракције са сортом и испољавају се селективно. Примена Fe и K ђубрива, као и биостимулатора Kelpak, довела је до варијација у садржају појединачних фенолних једињења, при чему се ефекат није испољавао униформно код свих генотипова. У појединим случајевима уочено је повећање концентрације специфичних деривата кверцетина и фенолних киселина, док су код других варијанти ове разлике биле мање изражене или изостале, што указује на сложен и специфичан одговор генотипа на

фолијарну прихрану. Посебно је значајно да су поједини сложени и ацил деривати кверцетина, укључујући и новоидентификовано једињење [кверцетин -3,7,4'-три-О-хексозид-3'-О-(6''-синапоил)-хексозид], детектовани у зависности од комбинације генотипа и третмана, што указује на могућност усмеравања и модификације секундарног метаболизма кроз агротехничке мере. С обзиром на то да ефекти третмана нису били конзистентни, може се закључити да њихова примена има допунску, а не доминантну улогу у формирању фенолног профила. Такође, висока заступљеност појединих глукозинолата, нарочито глукосативина и глукоеруцина, доприноси нутритивном и функционалном значају дивље руколе, с обзиром на њихову улогу у формирању карактеристичног укуса и потенцијалним здравственим ефектима. Примењени фолијарни третмани, у интеракцији са генотипом, условили су варијације у релативном уделу појединачних глукозинолата, али без промене њиховог основног профила, при чему је глукосативин остао доминантан у свим анализираним варијантама. Такође, треба напоменути да је примена Fe третмана у свим испитиваним сортама довела до повећања удела овог GLSs. Код сорте Marte примена биостимулатора Kelpak довела је до смањења удела осталих глукозинолата, док је код осталих сорти уочена супротност, односно повећање садржаја неоглукобрасицина и DMB-GLS, што указује на изражен одговор генотипа на примењени третман. Са агрономског аспекта, добијени резултати указују да избор сорте представља кључни фактор у формирању хемијског састава и у том погледу квалитета дивље руколе, док примена фолијарних третмана има допунску улогу и може се користити за модификацију појединачних биоактивних компоненти. Посматрано кроз становиште потрошача и купаца, висока заступљеност деривата кверцетина и глукозинолата, нарочито глукосативина и глукоеруцина, указује на потенцијалне здравствене добити од листова дивље руколе. Промене у садржају глукозинолата одражавају се и на интензитет љуткастог укуса, чиме се отвара могућност прилагођавања производа различитим захтевима и очекивањима потрошача. Стога, избор одговарајућег генотипа у комбинацији са одговарајућом анализираном фолијарном прихраном омогућава не само унапређење производње, већ и циљану регулацију сензорних и здравствених својстава. Истовремено, могућност контроле хемијског профила применом релативно једноставних агротехничких мера представља значајан економски потенцијал, јер омогућава производњу руколе са додатом вредношћу и већом тржишном ценом.

Ово истраживање представља једну од првих детаљних студија маснокиселинског профила у листовима дивље руколе, са посебним освртом на присуство и промене у садржају еручне киселине у зависности од сорте и фолијарног ђубрења. Добијени резултати показали су да листови дивље руколе обухватају широк опсег засићених и незасићених масних киселина, при чему доминирају дуголанчане масне киселине, као што су палмитинска (C16:0), лигноцеринска (C24:0) и еручна киселина (C22:1). Утврђено је да је сукцесивна жетва, односно сезона гајења, доминантан фактор који утиче на промене у садржају и присуству појединих испитиваних липида, што је потврђено статистички значајним разликама код свих испитиваних једињења. Насупрот томе, утицај сорте био је мање изражен и ограничен на појединачне масне киселине, док су фолијарни третмани показали селективан ефекат, без значајног утицаја на укупан маснокиселински профил. Уочене промене, нарочито повећање удела дуголанчаних засићених масних киселина током другог и трећег откоса, могу се довести у везу са утицајем повишене температуре и интензитета светлости у пролећно-летњем периоду, што указује на адаптивни одговор биљака кроз регулацију липидног састава. Истовремено, варијације у садржају незасићених масних киселина указују на динамичну метаболичку регулацију у зависности од услова гајења и физиолошког стања биљке. Посебно је значајно да је еручна киселина детектована у листовима свих испитиваних сорти, са највећим концентрацијама у другом откосу, што указује на интензивирање њене синтезе током периода регенерације листова и може се довести у везу са преусмеравањем угљеника ка њеној синтези. Стога,

време жетве представља кључни фактор у регулацији ових метаболита, док се примена фолијарних третмана може користити као циљано и селективно утицање ка појединачним једињењима. Присуство значајних концентрација појединих масних киселина, може се посматрати у контексту потенцијалних здравствених ефеката. Дакле, резултати овог истраживања доприносе бољем разумевању липидног метаболизма у листовима дивље руколе и указују на потенцијал примене агротехничких поступака (откоси, ђубрење) у циљу унапређења квалитета и функционалних својстава ове повртарске врсте, уз истовремено проширење постојећих сазнања о присуству и улози еручне киселине у конзумном делу биљке.

Добијени резултати, поред тога што доприносе бољем разумевању продуктивног и метаболичког одговора дивље руколе на генотип, сезонске услове и фолијарну прихрану, отварају и низ питања за будућа истраживања. Посебну пажњу требало би усмерити на утврђивање физиолошких и молекуларних механизама који се налазе у основи изражених интеракција генотипа, жетви/сезоне гајења и примењених третмана, као и на испитивање могућности циљаног усмеравања синтезе појединачних биоактивних једињења. Даља истраживања требало би да обухвате већи број генотипова и различите услове производње, уз оптимизацију времена, концентрације и учесталости примене фолијарних третмана, како би се утврдило у којој мери се уочени одговори могу стабилно поновити у различитим производним условима. Посебан правац будућих истраживања представља детаљније испитивање новоидентификованих и мање проучених компоненти, њихове биосинтезе и биолошког значаја, као и расветљавање фактора који условљавају акумулацију еручне киселине у конзумном делу биљке. Повезивање агрономских, метаболомичких и молекуларних приступа могло би да омогући дефинисање производних стратегија којима би се истовремено оптимизовали принос, нутритивни и функционални квалитет и сензорна својства дивље руколе. На тај начин, резултати ове дисертације представљају не само основу за унапређење технологије производње дивље руколе, већ и полазиште за даља истраживања усмерена ка развоју производа дефинисаног и стабилног квалитета.

7. Литература

Abd El-Gleel, W., & Hassanien, M. (2012). Antioxidant properties and lipid profile of *Diplotaxis harra, Pulicaria incisa* and *Avicennia marina*. *Acta Alimentaria, 41*(2), 143–151. https://doi.org/10.1556/AAlim.41.2012.2.1

Abdel-Massih, R. M., Debs, E., Othman, L., Attieh, J., & Cabrerizo, F. M. (2023). Glucosinolates, a natural chemical arsenal: More to tell than the myrosinase story. *Frontiers in Microbiology, 14*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1130208

Abouziena, H. F., & Haggag, W. M. (2016). Weed control in clean agriculture: A review. *Planta Daninha, 34*(2), 377–392. https://doi.org/10.1590/S0100-83582016340200019

Abrahám, E., Hourton-Cabassa, C., Erdei, L., & Szabados, L. (2010). Methods for determination of proline in plants. *Methods in Molecular Biology, 639*, 317–331. https://doi.org/10.1007/978-1-60761-702-0_20

Abrol, V., Singh, B., Sharma, P., Singh, A. P., & Chary, R. (2021). Influence of foliar fertilization of nutrients on growth, yield and economics of wheat under sub-tropical rainfed conditions. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 10(8),

Abuyusuf, Md., Rubel, M. H., Kim, H.-T., Jung, H.-J., Nou, I.-S., & Park, J.-I. (2023). Glucosinolates and biotic stress tolerance in Brassicaceae with emphasis on cabbage: A review. *Biochemical Genetics, 61*(2), 451–470. https://doi.org/10.1007/s10528-022-10269-6

Afzal Ali, N., Singha, S., & Mitra, S. (2025). Leafy vegetables as a significant source of minerals: Minerals interaction with plant components, effects of processing and their potential absorption. *Trends in Food Science & Technology, 161*, 105071. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105071

Ahmad, I., & Maathuis, F. J. M. (2014). Cellular and tissue distribution of potassium: Physiological relevance, mechanisms and regulation. *Journal of Plant Physiology, 171*(9), 708–714. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.10.016

Alberts, A., Moldoveanu, E.-T., Niculescu, A.-G., & Grumezescu, A. M. (2025). Vitamin C: A comprehensive review of its role in health, disease prevention, and therapeutic potential. *Molecules, 30*(3), 748. https://doi.org/10.3390/molecules30030748

Ali, O., Ramsubhag, A., & Jayaraman, J. (2021). Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. *Plants, 10*(3), 531. https://doi.org/10.3390/plants10030531

Alshaal, T., & El-Ramady, H. (2017). Foliar application: From plant nutrition to biofortification. *Environment, Biodiversity and Soil Security, 1*, 71–83. https://doi.org/10.21608/jenvbs.2017.1089.1006

Al-Shehbaz, I. A. (2025). The Brassicaceae then and now: Advancements in the past three decades, a review. *Annals of Botany, 138*(3), 706–724. https://doi.org/10.1093/aob/mcaf055

Alvarez-Leite, J. I. (2025). The role of bioactive compounds in human health and disease. *Nutrients, 17*(7), 1170. https://doi.org/10.3390/nu17071170

Amrane-Abider, M., Imre, M., Herman, V., Debbou-Iouknane, N., Zemouri-Alioui, S., Khaled, S., Bouiche, C., Nerín, C., Acaroz, U., & Ayad, A. (2023). Bioactive compounds and in vitro antioxidant and anticoccidial activities of *Opuntia ficus-indica* flower extracts. *Biomedicines, 11*(8), 2173. https://doi.org/10.3390/biomedicines11082173

Anderson, J. W., Baird, P., Davis, R. H., Jr., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., Waters, V., & Williams, C. L. (2009). Health benefits of dietary fiber. *Nutrition Reviews, 67*(4), 188–205. https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00189.x

Andrade-Sifuentes, A., Gaucin-Delgado, J. M., Fortis-Hernandez, M., Ojeda-Barrios, D. L., Rodríguez-Ortiz, J. C., Sánchez-Chavez, E., & Preciado-Rangel, P. (2024). Iodine biofortification improves yield and bioactive compounds in melon fruits. *Horticultura Brasileira, 42*, e275325. https://doi.org/10.1590/s0102-0536-2024-e275325

Aničić, N., Matekalo, D., Skorić, M., Gašić, U., Nestorović Živković, J., Dmitrović, S., Božunović, J., Milutinović, M., Petrović, L., Dimitrijević, M., Anđelković, B., & Mišić, D. (2024). Functional iridoid synthases from iridoid producing and non-producing *Nepeta* species (subfam. Nepetoidae, fam. Lamiaceae). *Frontiers in Plant Science, 14*, 1211453. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1211453

Anil Kumar, S., Kaniganti, S., Hima Kumari, P., Sudhakar Reddy, P., Suravajhala, P., Suprasanna, P., & Kavi Kishor, P. B. (2024). Functional and biotechnological cues of potassium homeostasis for stress tolerance and plant development. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews, 40*(4), 3527–3570. https://doi.org/10.1080/02648725.2022.2143317

Arena, M. E., Martínez Pastur, G., Lencinas, M. V., Soler, R., & Bustamante, G. (2020). Changes in the leaf nutrient and pigment contents of *Berberis microphylla* G. Forst. in relation to irradiance and fertilization. *Heliyon, 6*(1), e03264. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03264

Arena, P., Miceli, N., Marino, A., Davì, F., Cavò, E., Spadaro, V., Raimondo, F. M., Cacciola, F., Laganà Vinci, R., Mondello, L., & Taviano, M. F. (2023). Comparative study on phenolic profile and biological activities of the aerial parts of *Sinapis pubescens* L. subsp. *pubescens* (Brassicaceae) wild from Sicily (Italy). *Chemistry & Biodiversity, 20*(6), Article e202300309. https://doi.org/10.1002/cbdv.202300309

Aruwa, C. E., Amoo, S. O., & Kudanga, T. (2018). *Opuntia* (Cactaceae) plant compounds, biological activities and prospects – A comprehensive review. *Food Research International, 112*, 328–344. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.047

Asma, S. T., Acaroz, U., Imre, K., Morar, A., Shah, S. R. A., Hussain, S. Z., Arslan-Acaroz, D., Demirbas, H., Hajrulai-Musliu, Z., Istanbullugil, F. R., Soleimanzadeh, A., Morozov, D., Zhu, K., Herman, V., Ayad, A., Athanassiou, C., & Ince, S. (2022). Natural products/bioactive compounds as a source of anticancer drugs. *Cancers, 14*(24), 6203. https://doi.org/10.3390/cancers14246203

Atkinson, J., Epand, R. F., & Epand, R. M. (2008). Tocopherols and tocotrienols in membranes: A critical review. *Free Radical Biology and Medicine, 44*(5), 739–764. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2007.11.010

Ayad, R., & Akkal, S. (2019). Phytochemistry and biological activities of Algerian *Centaurea* and related genera. In Atta-ur-Rahman (Ed.), *Studies in Natural Products Chemistry* (Vol. 63, pp. 357–414). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817901-7.00012-5

Baeza, G., Sarriá, B., Mateos, R., & Bravo, L. (2016). Dihydrocaffeic acid, a major microbial metabolite of chlorogenic acids, shows similar protective effect than a yerba mate phenolic extract against oxidative stress in HepG2 cells. *Food Research International, 87*, 25–33. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.06.011

Baeza-Morales, A., Medina-García, M., Martínez-Peinado, P., Pascual-García, S., Pujalte-Satorre, C., López-Jaén, A. B., Martínez-Espinosa, R. M., & Sempere-Ortells, J. M. (2024). The antitumour mechanisms of carotenoids: A comprehensive review. *Antioxidants, 13*(9), 1060. https://doi.org/10.3390/antiox13091060

Baldelli, S., Lombardo, M., D'Amato, A., Karav, S., Tripodi, G., & Aiello, G. (2025). Glucosinolates in human health: Metabolic pathways, bioavailability, and potential in chronic disease prevention. *Foods, 14*(6), 912. https://doi.org/10.3390/foods14060912

Bantis, F., Kaponas, C., Charalambous, C., & Koukounaras, A. (2021). Strategic successive harvesting of rocket and spinach baby leaves enhanced their quality and production efficiency. *Agriculture, 11*(5), 465. https://doi.org/10.3390/agriculture11050465

Barba, F. J., Esteve, M. J., & Frígola, A. (2014). Bioactive components from leaf vegetable products. In Atta-ur-Rahman (Ed.), *Studies in Natural Products Chemistry* (Vol. 41, pp. 321–346). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63294-4.00011-5

Batool, M., Sarrazin, F. J., Zhang, X., Musolff, A., Nguyen, T. V., Attinger, S., & Kumar, R. (2025). Scenario analysis of nitrogen surplus typologies in Europe shows that a 20% fertilizer reduction may fall short of 2030 EU Green Deal goals. *Nature Food, 6*(8), 787–798. https://doi.org/10.1038/s43016-025-01210-2

Bell, L., & Wagstaff, C. (2019). Rocket science: A review of phytochemical & health-related research in *Eruca* & *Diplotaxis* species. *Food Chemistry: X, 1*, 100002. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2018.100002

Bell, L., Chadwick, M., Puranik, M., Tudor, R., Methven, L., & Wagstaff, C. (2022). Quantitative trait loci analysis of glucosinolate, sugar, and organic acid concentrations in *Eruca vesicaria* subsp. *sativa*. *Molecular Horticulture, 2*(1), 23. https://doi.org/10.1186/s43897-022-00044-x

Bell, L., Lignou, S., & Wagstaff, C. (2020). High glucosinolate content in rocket leaves (*Diplotaxis tenuifolia* and *Eruca sativa*) after multiple harvests is associated with increased bitterness, pungency, and reduced consumer liking. *Foods, 9*(12), 1799. https://doi.org/10.3390/foods9121799

Bell, L., Methven, L., & Wagstaff, C. (2017). The influence of phytochemical composition and resulting sensory attributes on preference for salad rocket (*Eruca sativa*) accessions by consumers of varying TAS2R38 diplotype. *Food Chemistry, 222*, 6–17. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.153

Bell, L., Oruna-Concha, M. J., & Wagstaff, C. (2015). Identification and quantification of glucosinolate and flavonol compounds in rocket salad (*Eruca sativa, Eruca vesicaria* and *Diplotaxis tenuifolia*) by LC–MS: Highlighting the potential for improving nutritional value of rocket crops. *Food Chemistry, 172*, 852–861. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.116

Bell, L., Yahya, H. N., Oloyede, O. O., Methven, L., & Wagstaff, C. (2017). Changes in rocket salad phytochemicals within the commercial supply chain: Glucosinolates, isothiocyanates, amino acids and bacterial load increase significantly after processing. Food Chemistry, 221, 521–534. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.154

Belošević, S. D., Milinčić, D. D., Gašić, U. M., Kostić, A. Ž., Salević-Jelić, A. S., Marković, J. M., Đorđević, V. B., Lević, S. M., Pešić, M. B., & Nedović, V. A. (2024). Broccoli, amaranth, and red beet microgreen juices: The influence of cold-pressing on the phytochemical composition and the antioxidant and sensory properties. Foods, 13(5), 757. https://doi.org/10.3390/foods13050757

Bennett, R. N., Rosa, E. A. S., Mellon, F. A., & Kroon, P. A. (2006). Ontogenic profiling of glucosinolates, flavonoids, and other secondary metabolites in *Eruca sativa* (salad rocket), *Diplotaxis erucoides* (wall rocket), *Diplotaxis tenuifolia* (wild rocket), and *Bunias orientalis* (Turkish rocket). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54(11), 4005–4015. https://doi.org/10.1021/jf052756t

Bhat, R., & Vyas, D. (2019). Myrosinase: Insights on structural, catalytic, regulatory, and environmental interactions. Critical Reviews in Biotechnology, 39(4), 508–523. https://doi.org/10.1080/07388551.2019.1576024

Björkman, M., Klingen, I., Birch, A. N. E., Bones, A. M., Bruce, T. J. A., Johansen, T. J., Meadow, R., Mølmann, J., Seljåsen, R., Smart, L. E., & Stewart, D. (2011). Phytochemicals of Brassicaceae in

plant protection and human health – Influences of climate, environment and agronomic practice. Phytochemistry, 72(7), 538–556. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.01.014

Bonasia, A., Conversa, G., Lazzizera, C., & Elia, A. (2019). Post-harvest performance of ready-to-eat wild rocket salad as affected by growing period, soilless cultivation system and genotype. Postharvest Biology and Technology, 156, 110909. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.05.010

Bonasia, A., Lazzizera, C., Elia, A., & Conversa, G. (2017). Nutritional, biophysical and physiological characteristics of wild rocket genotypes as affected by soilless cultivation system, salinity level of nutrient solution and growing period. Frontiers in Plant Science, 8, 300. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00300

Bremer, B. (2007). Linnaeus' sexual system and flowering plant phylogeny. Nordic Journal of Botany, 25(1–2), 5–6. https://doi.org/10.1111/j.0107-055X.2007.00098_12.x

Buttinelli, R., & Zhu, X. (2025). Reducing chemical fertilisers under the European Union's farm to Fork strategy: Implications for Italian processing tomatoes. *Journal of Cleaner Production, 520*, 146070. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.146070

Cafferty, S., & Jarvis, C. E. (2002). Typification of Linnaean plant names in Brassicaceae (Cruciferae). *Taxon, 51*(3), 529–537. https://doi.org/10.2307/1554869

Cajka, T. (2024). Liquid chromatography–mass spectrometry–based metabolomics approaches for foodomics research. *Current Opinion in Food Science, 58*, 101201. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2024.101201

Caretto, S., Parente, A., Serio, F., & Santamaria, P. (2008). Influence of potassium and genotype on vitamin E content and reducing sugar of tomato fruits. *HortScience, 43*(7), 2048–2051. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.2048

Carillo, P., & Gibon, Y. (2011). *Extraction and determination of proline*. PROMETHEUS: Protocols in Ecological & Environmental Science.

Cartea, M. E., Francisco, M., Soengas, P., & Velasco, P. (2010). Phenolic compounds in Brassica vegetables. *Molecules, 16*(1), 251–280. https://doi.org/10.3390/molecules16010251

Caruso, G., De Pascale, S., Nicoletti, R., Cozzolino, E., & Rouphael, Y. (2019). Productivity, nutritional and functional qualities of perennial wall-rocket: Effects of pre-harvest factors. *Folia Horticulturae, 31*(1), 71–80. https://doi.org/10.2478/fhort-2019-0004

Caruso, G., El-Nakhel, C., Rouphael, Y., Comite, E., Lombardi, N., Cuciniello, A., & Woo, S. L. (2020). *Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC. yield and quality as influenced by cropping season, protein hydrolysates, and *Trichoderma* applications. *Plants, 9*(6), 697. https://doi.org/10.3390/plants9060697

Caruso, G., Parrella, G., Giorgini, M., & Nicoletti, R. (2018). Crop systems, quality and protection of *Diplotaxis tenuifolia*. *Agriculture, 8*(4), 55. https://doi.org/10.3390/agriculture8040055

Castilla, N., & Hernandez, J. (2007). Greenhouse technological packages for high-quality crop production. *Acta Horticulturae, 761*, 285–297. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.761.38

Cataldi, T. R. I., Rubino, A., Lelario, F., & Bufo, S. A. (2007). Naturally occurring glucosinolates in plant extracts of rocket salad (*Eruca sativa* L.) identified by liquid chromatography coupled with negative ion electrospray ionization and quadrupole ion-trap mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry, 21*(14), 2374–2388. https://doi.org/10.1002/rcm.3101

Cavaiuolo, M., & Ferrante, A. (2014). Nitrates and glucosinolates as strong determinants of the nutritional quality in rocket leafy salads. *Nutrients, 6*(4), 1519–1538. https://doi.org/10.3390/nu6041519

Chen, C. (2015). Overview of plant pigments. In C. Chen (Ed.), *Pigments in Fruits and Vegetables: Genomics and Dietetics* (pp. 1–7). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2356-4_1

Choi, E., Ahn, S., & Joung, H. (2020). Association of dietary fatty acid consumption patterns with risk of hyper-LDL cholesterolemia in Korean adults. *Nutrients, 12*(5), 1412. https://doi.org/10.3390/nu12051412

Choo, W. S. (2019). Fruit pigment changes during ripening. In L. Melton, F. Shahidi, & P. Varelis (Eds.), *Encyclopedia of Food Chemistry* (pp. 117–123). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21656-9

Chowdhury, P. (2022). Glucosinolates and its role in mitigating abiotic and biotic stress in Brassicaceae. In M. Hasanuzzaman & K. Nahar (Eds.), *Plant Stress Physiology – Perspectives in Agriculture*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.102367

Chowhan, S., Kikuchi, T., Ohashi, M., Kutsuno, T., Handa, H., Kotake, T., & Takahashi, D. (2024). Soluble sugars make a greater contribution than cell wall components to the variability of freezing tolerance in wheat cultivars. *Plant Biotechnology, 41*(4), 24.0801a. https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.24.0801a

Chu, T. M., Jusaitis, M., Aspinall, D., & Paleg, L. G. (1978). Accumulation of free proline at low temperatures. *Physiologia Plantarum, 43*(3), 254–260. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1978.tb02573.x

Chung, K.-T., Wong, T. Y., Wei, C.-I., Huang, Y.-W., & Lin, Y. (1998). Tannins and human health: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 38*(6), 421–464. https://doi.org/10.1080/10408699891274273

Clemente-Villalba, J., Ariza, D., García-Garví, J. M., Sánchez-Bravo, P., Noguera-Artiaga, L., Issa-Issa, H., Hernández, F., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2020). Characterization and potential use of *Diplotaxis erucoides* as food ingredient for a sustainable modern cuisine and comparison with commercial mustards and wasabis. *European Food Research and Technology, 246*(7), 1429–1438. https://doi.org/10.1007/s00217-020-03501-3

Clemente-Villalba, J., Fratianni, A., Issa-Issa, H., Ianiri, G., Hernández, F., Vitone, C., Carbonell-Barrachina, Á. A., & Panfili, G. (2024). *Diplotaxis erucoides* and *Oxalis pes-caprae*: Two wild edible plants as a new and valuable source of carotenoids, tocols and B1 and B2 vitamins. *Nutrients, 16*(14), 2293. https://doi.org/10.3390/nu16142293

Colombo, C., Palumbo, G., He, J.-Z., Pinton, R., & Cesco, S. (2014). Review on iron availability in soil: Interaction of Fe minerals, plants, and microbes. *Journal of Soils and Sediments, 14*(3), 538–548. https://doi.org/10.1007/s11368-013-0814-z

Connolly, E. L., Sim, M., Travica, N., Marx, W., Beasy, G., Lynch, G. S., Bondonno, C. P., Lewis, J. R., Hodgson, J. M., & Blekkenhorst, L. C. (2021). Glucosinolates from cruciferous vegetables and their potential role in chronic disease: Investigating the preclinical and clinical evidence. *Frontiers in Pharmacology, 12*, 767975. https://doi.org/10.3389/fphar.2021.767975

Cormick, G., & Belizán, J. M. (2019). Calcium intake and health. *Nutrients, 11*(7), 1606. https://doi.org/10.3390/nu11071606

Corrado, G., Chiaiese, P., Lucini, L., Miras-Moreno, B., Colla, G., & Rouphael, Y. (2020). Successive harvests affect yield, quality and metabolic profile of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Agronomy, 10*(6), 830. https://doi.org/10.3390/agronomy10060830

Corrado, G., Vitaglione, P., Soteriou, G. A., Kyriacou, M. C., & Rouphael, Y. (2021). Configuration by osmotic eustress agents of the morphometric characteristics and the polyphenolic content of differently pigmented baby lettuce varieties in two successive harvests. *Horticulturae, 7*(9), 264. https://doi.org/10.3390/horticulturae7090264

Corrêa, R. C. G., Garcia, J. A. A., Correa, V. G., Vieira, T. F., Bracht, A., & Peralta, R. M. (2019). Pigments and vitamins from plants as functional ingredients: Current trends and perspectives. In

F. Toldrá (Ed.), *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 90, pp. 259–303). Academic Press. https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.003

Correia, A., & Rasteiro, M. (2025). A review of persistent soil contaminants: Assessment and remediation strategies. *Environments, 12*(7), 229. https://doi.org/10.3390/environments12070229

Cosme, F., Aires, A., Pinto, T., Oliveira, I., Vilela, A., & Gonçalves, B. (2025). A comprehensive review of bioactive tannins in foods and beverages: Functional properties, health benefits, and sensory qualities. *Molecules, 30*(4), 800. https://doi.org/10.3390/molecules30040800

D'Antuono, L. F., Elementi, S., & Neri, R. (2008). Glucosinolates in *Diplotaxis* and *Eruca* leaves: Diversity, taxonomic relations and applied aspects. *Phytochemistry, 69*(1), 187–199. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.06.019

da Costa Rocha, A. C., de Andrade, C. J., & de Oliveira, D. (2021). Perspective on integrated biorefinery for valorization of biomass from the edible insect *Tenebrio molitor*. *Trends in Food Science & Technology, 116*, 480–491. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.012

Dalby, A. (2003). *Food in the ancient world from A to Z*. Routledge.

Dall'Acqua, S., Ertani, A., Pilon-Smits, E. A. H., Fabrega-Prats, M., & Schiavon, M. (2019). Selenium biofortification differentially affects sulfur metabolism and accumulation of phytochemicals in two rocket species (*Eruca sativa* Mill. and *Diplotaxis tenuifolia*) grown in hydroponics. *Plants, 8*(3), 68. https://doi.org/10.3390/plants8030068

Dantas, B. F., Pereira, M. S., Ribeiro, L. de S., Maia, J. L. T., & Bassoi, L. H. (2007). Effect of humic substances and weather conditions on leaf biochemical changes of fertigated guava tree, during orchard establishment. *Revista Brasileira de Fruticultura, 29*(3), 632–638. https://doi.org/10.1590/S0100-29452007000300040

Dar, R. A., Shahnawaz, M., Ahanger, M. A., & Majid, I. ul. (2023). Exploring the diverse bioactive compounds from medicinal plants: A review. *The Journal of Phytopharmacology, 12*(3), 189–195. https://doi.org/10.31254/phyto.2023.12307

Das Gupta, S., & Suh, N. (2016). Tocopherols in cancer: An update. *Molecular Nutrition & Food Research, 60*(6), 1354–1363. https://doi.org/10.1002/mnfr.201500847

De Araújo, K., De Lima, A., Silva, J., Rodrigues, L., Amorim, A., Quelemes, P., Dos Santos, R., Rocha, J., De Andrades, É., Leite, J., Mancini-Filho, J., & Da Trindade, R. (2014). Identification of phenolic compounds and evaluation of antioxidant and antimicrobial properties of *Euphorbia tirucalli* L. *Antioxidants, 3*(1), 159–175. https://doi.org/10.3390/antiox3010159

de Castro, S. A. Q., & Schjoerring, J. K. (2024). Foliar nitrogen and phosphorus fertilization. In D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 187, pp. 109–169). Elsevier. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2024.05.002

de Freitas Marinho, L., Sganzerla, W. G., Ferreira, V. C., Jimenez Moreno, J. A., Rostagno, M. A., & Forster-Carneiro, T. (2023). Advances in green extraction methods, biological properties, and applications of betanin and vitexin: An updated review and bibliometric analysis. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 51*, 102744. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102744

Dhaliwal, S. S., Sharma, V., Shukla, A. K., Verma, V., Kaur, M., Shivay, Y. S., Nisar, S., Gaber, A., Brestic, M., Barek, V., Skalicky, M., Ondrisik, P., & Hossain, A. (2022). Biofortification—A frontier novel approach to enrich micronutrients in field crops to encounter the nutritional security. *Molecules, 27*(4), 1340. https://doi.org/10.3390/molecules27041340

Di Gioia, F., Avato, P., Serio, F., & Argentieri, M. P. (2018). Glucosinolate profile of *Eruca sativa*, *Diplotaxis tenuifolia* and *Diplotaxis erucoides* grown in soil and soilless systems. *Journal of Food Composition and Analysis, 69*, 197–204. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.01.022

Di Mola, I., Petropoulos, S. A., Ottaiano, L., Cozzolino, E., El-Nakhel, C., Rouphael, Y., & Mori, M. (2023). Bioactive compounds, antioxidant activity, and mineral content of wild rocket (*Diplotaxis tenuifolia* L.) leaves as affected by saline stress and biostimulant application. *Applied Sciences, 13*(3), 1569. https://doi.org/10.3390/app13031569

Di Sario, L., Boeri, P., Matus, J. T., & Pizzio, G. A. (2025). Plant biostimulants to enhance abiotic stress resilience in crops. *International Journal of Molecular Sciences, 26*(3), 1129. https://doi.org/10.3390/ijms26031129

Di Stasio, E., Rouphael, Y., Colla, G., Raimondi, G., Giordano, M., Pannico, A., El-Nakhel, C., & De Pascale, S. (2018). The influence of *Ecklonia maxima* seaweed extract on growth, photosynthetic activity and mineral composition of *Brassica rapa* L. subsp. *sylvestris* under nutrient stress conditions. *European Journal of Horticultural Science, 82*(6), 286–293. https://doi.org/10.17660/eJHS.2017/82.6.3

Dias, J. S. (2012). Nutritional quality and health benefits of vegetables: A review. *Food and Nutrition Sciences, 3*(10), 1354–1374. https://doi.org/10.4236/fns.2012.310179

Dincheva, I., Badjakov, I., & Galunska, B. (2023). New insights into the research of bioactive compounds from plant origins with nutraceutical and pharmaceutical potential. *Plants, 12*(2), 258. https://doi.org/10.3390/plants12020258

Dincheva, I., Badjakov, I., & Galunska, B. (2025). New insights in the research on bioactive compounds from plant origins with nutraceutical and pharmaceutical potential II. *Plants, 14*(4), 500. https://doi.org/10.3390/plants14040500

Dinssa, F. F., Yang, R.-Y., Ledesma, D. R., Mbwambo, O., & Hanson, P. (2018). Effect of leaf harvest on grain yield and nutrient content of diverse amaranth entries. *Scientia Horticulturae, 236*, 146–157. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.028

Dixon, R. A., Xie, D., & Sharma, S. B. (2005). Proanthocyanidins—a final frontier in flavonoid research? *New Phytologist, 165*(1), 9–28. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01217.x

du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae, 196*, 3–14. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021

Du, D., Lan, W., Wang, H., Huang, Q., & Wang, F. (2025). Deciphering the therapeutic potential of sinigrin: A promising anti-inflammatory agent for chronic disease management. *Phytomedicine, 144*, 156875. https://doi.org/10.1016/j.phymed.2025.156875

DuBois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry, 28*(3), 350–356. https://doi.org/10.1021/ac60111a017

Dumas, Y., Dadomo, M., Di Lucca, G., & Grolier, P. (2003). Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 83*(5), 369–382. https://doi.org/10.1002/jsfa.1370

Durazzo, A., Azzini, E., Lazzè, M., Raguzzini, A., Pizzala, R., & Maiani, G. (2013). Italian wild rocket [*Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC.]: Influence of agricultural practices on antioxidant molecules and on cytotoxicity and antiproliferative effects. *Agriculture, 3*(2), 285–298. https://doi.org/10.3390/agriculture3020285

Dutta, T., Neelapu, N. R. R., Wani, S. H., & Challa, S. (2018). Compatible solute engineering of crop plants for improved tolerance toward abiotic stresses. In S. H. Wani (Ed.), *Biochemical, Physiological and Molecular Avenues for Combating Abiotic Stress Tolerance in Plants* (pp. 221–254). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813066-7.00012-7

El-Nakhel, C., Petropoulos, S., Di Mola, I., Ottaiano, L., Cozzolino, E., Rouphael, Y., & Mori, M. (2023). Biostimulants of different origins increase mineral content and yield of wild rocket while reducing

nitrate content through successive harvests. *Horticulturae, 9*(5), 580. https://doi.org/10.3390/horticulturae9050580

El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Mohammed, D. M., Korma, S. A., Alshahrani, M. Y., Ahmed, A. E., Ibrahim, E. H., Salem, H. M., Alkafaas, S. S., Saif, A. M., Elkafas, S. S., Fahmy, M. A., Abd El-Mageed, T. A., Abady, M. M., Assal, H. Y., El-Tarabily, M. K., Mathew, B. T., AbuQamar, S. F., El-Tarabily, K. A., & Ibrahim, S. A. (2025). Medicinal plants: Bioactive compounds, biological activities, combating multidrug-resistant microorganisms, and human health benefits—a comprehensive review. *Frontiers in Immunology, 16*, 1491777. https://doi.org/10.3389/fimmu.2025.1491777

Emanuelli, T., Milbradt, B. G., Kolinski Callegaro, M. da G., & Augusti, P. R. (2014). Wheat bran and cadmium in human health. In *Wheat and Rice in Disease Prevention and Health* (pp. 241–260). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-401716-0.00019-2

Eşiyok, D., Bozokalfa, M. K., Kavak, S., & Uğur, A. (2013). Seed yield, quality and plant characteristics changes of rocket salad (*Eruca sativa* Mill.) under different nitrogen sources and vegetation periods. *Ziraat Fakültesi Dergisi, 8*(1), 53–59

Es-Sai, B., Wahnou, H., Benayad, S., Rabbaa, S., Laaziouez, Y., El Kebbaj, R., Limami, Y., & Duval, R. E. (2025). Gamma-tocopherol: A comprehensive review of its antioxidant, anti-inflammatory, and anticancer properties. *Molecules, 30*(3), 653. https://doi.org/10.3390/molecules30030653

Euro+Med PlantBase. (2025). *Euro+Med PlantBase*. https://europlusmed.org/

Faizan, M., Alam, P., Rajput, V. D., Shareen, Kaur, K., Faraz, A., Minkina, T., Maqbool Ahmed, S., Rajpal, V. R., & Hayat, S. (2023). Potential role of tocopherol in protecting crop plants against abiotic stresses. *Physiology and Molecular Biology of Plants, 29*(10), 1563–1575. https://doi.org/10.1007/s12298-023-01354-0

Falleh, H., Msilini, N., Oueslati, S., Ksouri, R., Magné, C., Lachaâl, M., & Karray-Bouraoui, N. (2013). *Diplotaxis harra* and *Diplotaxis simplex* organs: Assessment of phenolics and biological activities before and after fractionation. *Industrial Crops and Products, 45*, 141–147. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.12.017

Falsetti, I., Palmini, G., Zonefrati, R., Vasa, K., Donati, S., Aurilia, C., Baroncelli, A., Viglianisi, C., Ranaldi, F., Iantomasi, T., Procacci, P., Menichetti, S., & Brandi, M. L. (2025). Antiproliferative role of natural and semi-synthetic tocopherols on colorectal cancer cells overexpressing the estrogen receptor β. *International Journal of Molecular Sciences, 26*(5), 2305. https://doi.org/10.3390/ijms26052305

Farag, M. A., & Gad, M. Z. (2022). Omega-9 fatty acids: Potential roles in inflammation and cancer management. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, 20*(1), 48. https://doi.org/10.1186/s43141-022-00329-0

Farjon, G., Itzhaky, Y., Khoroshevsky, F., & Bar-Hillel, A. (2021). Leaf counting: Fusing network components for improved accuracy. *Frontiers in Plant Science, 12*, 575751. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.575751

Farruggia, D., Di Miceli, G., Licata, M., Leto, C., Salamone, F., & Novak, J. (2024). Foliar application of various biostimulants produces contrasting response on yield, essential oil and chemical properties of organically grown sage (*Salvia officinalis* L.). *Frontiers in Plant Science, 15*, 1397489. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1397489

Fernández, V., & Ebert, G. (2005). Foliar iron fertilization: A critical review. *Journal of Plant Nutrition, 28*(12), 2113–2124. https://doi.org/10.1080/01904160500320954

Fernández, V., & Eichert, T. (2009). Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: Current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Critical Reviews in Plant Sciences, 28*(1–2), 36–68. https://doi.org/10.1080/07352680902743069

Fernández, V., Sotiropoulos, T., & Brown, P. (2013). *Foliar fertilization: Scientific principles and field practices*. International Fertilizer Industry Association (IFA).

Ferruzzi, M. G., & Blakeslee, J. (2007). Digestion, absorption, and cancer preventative activity of dietary chlorophyll derivatives. *Nutrition Research, 27*(1), 1–12. https://doi.org/10.1016/j.nutres.2006.12.003

Food Standards Australia New Zealand. (2003). *Erucic acid in food: A toxicological review and risk assessment*.

Franzke, A., Lysak, M. A., Al-Shehbaz, I. A., Koch, M. A., & Mummenhoff, K. (2011). Cabbage family affairs: The evolutionary history of Brassicaceae. *Trends in Plant Science, 16*(2), 108–116. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.11.005

Fritsche, S., Wang, X., & Jung, C. (2017). Recent advances in our understanding of tocopherol biosynthesis in plants: An overview of key genes, functions, and breeding of vitamin E improved crops. *Antioxidants, 6*(4), 99. https://doi.org/10.3390/antiox6040099

Fritsche, S., Wang, X., Nichelmann, L., Suppanz, I., Hadenfeldt, S., Endrigkeit, J., Meng, J., & Jung, C. (2014). Genetic and functional analysis of tocopherol biosynthesis pathway genes from rapeseed (*Brassica napus* L.). *Plant Breeding, 133*(4), 470–479. https://doi.org/10.1111/pbr.12190

Fu, J. (2008). *Effects of different harvest start times on leafy vegetables (lettuce, pak choi and rocket) in a reaping and regrowth system* [Master's thesis, Massey University].

Fyi, R. (2023). Over-fertilization: The environmental impacts of excessive nutrient use. *International Journal of Manures and Fertilizers, 11*(2), 1.

Gaaliche, B., Ladhari, A., Zarrelli, A., & Ben Mimoun, M. (2019). Impact of foliar potassium fertilization on biochemical composition and antioxidant activity of fig (*Ficus carica* L.). *Scientia Horticulturae, 253*, 111–119. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.024

Galanakis, C. M. (2017). Introduction. In C. M. Galanakis (Ed.), *Nutraceutical and Functional Food Components: Effects of Innovative Processing Techniques* (pp. 1–14). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805257-0.00001-6

Galanty, A., Grudzińska, M., Paździora, W., & Paśko, P. (2023). Erucic acid—both sides of the story: A concise review on its beneficial and toxic properties. *Molecules, 28*(4), 1924. https://doi.org/10.3390/molecules28041924

Gao, G., Zhang, L., Tong, P., Yan, G., & Wu, X. (2025). Enhancing oil content in oilseed crops: Genetic insights, molecular mechanisms, and breeding approaches. *International Journal of Molecular Sciences, 26*(15), 7390. https://doi.org/10.3390/ijms26157390

Gao, K., Xu, A., Krul, C., Venema, K., Liu, Y., Niu, Y., Lu, J., Bensoussan, L., Seeram, N. P., Heber, D., & Henning, S. M. (2006). Of the major phenolic acids formed during human microbial fermentation of tea, citrus, and soy flavonoid supplements, only 3,4-dihydroxyphenylacetic acid has antiproliferative activity. *The Journal of Nutrition, 136*(1), 52–57. https://doi.org/10.1093/jn/136.1.52

Gardner, W. M., Razo, C., McHugh, T. A., Hagins, H., Vilchis-Tella, V. M., Hennessy, C., Taylor, H. J., Perumal, N., Fuller, K., Cercy, K. M., Zoeckler, L. Z., Chen, C. S., Lim, S. S., Aali, A., Abate, K. H., Abd-Elsalam, S., Abdurehman, A. M., Abebe, G., Abidi, H., … Kassebaum, N. J. (2023). Prevalence, years lived with disability, and trends in anaemia burden by severity and cause, 1990–2021: Findings from the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet Haematology, 10*(9), e713–e734. https://doi.org/10.1016/S2352-3026(23)00160-6

Gemede, H. F. (2014). Potential health benefits and adverse effects associated with phytate in foods: A review. *Global Journal of Medical Research, 14*(3).

German, D. A., Hendriks, K. P., Koch, M. A., Lens, F., Lysak, M. A., Bailey, C. D., Mummenhoff, K., & Al-Shehbaz, I. A. (2023). An updated classification of the Brassicaceae (Cruciferae). *PhytoKeys, 220*, 127–144. https://doi.org/10.3897/phytokeys.220.97724

Ghasemzadeh, A., Jaafar, H. Z. E., Rahmat, A., Wahab, P. E. M., & Halim, M. R. A. (2010). Effect of different light intensities on total phenolics and flavonoids synthesis and anti-oxidant activities in young ginger varieties (*Zingiber officinale* Roscoe). *International Journal of Molecular Sciences, 11*(10), 3885–3897. https://doi.org/10.3390/ijms11103885

Ghosh, P., Chatterjee, S., & Konar, A. (2023). Role of plant pigments on human health and environment. In *Research trends in multidisciplinary research* (Vol. 44). AkiNik Publications. https://doi.org/10.22271/ed.book.2208

Ghosh, S., Sarkar, T., Das, A., & Chakraborty, R. (2022). Natural colorants from plant pigments and their encapsulation: An emerging window for the food industry. *LWT, 153*, 112527. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112527

Giannoutsou, E., Adamakis, I.-D. S., & Samakovli, D. (2025). Guardians of water and gas exchange: Adaptive dynamics of stomatal development and patterning. *Plants, 14*(15), 2405. https://doi.org/10.3390/plants14152405

Gibson, M., & Newsham, P. (2018). Fruits, vegetables, herbs, and spices. In M. Gibson & P. Newsham (Eds.), *Food Science and the Culinary Arts* (pp. 259–301). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811816-0.00014-2

Gimenez, C., Otto, R. F., & Castilla, N. (2002). Productivity of leaf and root vegetable crops under direct cover. *Scientia Horticulturae, 94*(1–2), 1–11. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00356-9

Glenn, W. S., Runguphan, W., & O'Connor, S. E. (2013). Recent progress in the metabolic engineering of alkaloids in plant systems. *Current Opinion in Biotechnology, 24*(2), 354–365. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2012.08.003

Godyla-Jabłoński, M., & Raczkowska, E. (2025). Roles of selected bioactive compounds in inhibiting the development and progression of cancer—a review. *International Journal of Molecular Sciences, 26*(21), 10343. https://doi.org/10.3390/ijms262110343

Goffman, F. D., Thies, W., & Velasco, L. (1999). Chemotaxonomic value of tocopherols in Brassicaceae. *Phytochemistry, 50*(5), 793–798. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(98)00641-4

Gordanić, S., Radanović, D., Vuković, S., Kolašinac, S., Kilibarda, S., Marković, T., Moravčević, Đ., & Kostić, A. Ž. (2023). Phytochemical characterization and antioxidant potential of *Allium ursinum* L. cultivated on different soil types—A preliminary study. *Emirates Journal of Food and Agriculture, 34*(11), 904–914. https://doi.org/10.9755/ejfa.2022.v34.i11.2958

Gorni, P. H., Rodrigues, C., Spera, K. D., Correia, R. F. C. C., Mendes, N. A. C., & Reis, A. R. dos. (2025). Selenium fertilization enhances carotenoid and antioxidant metabolism to scavenge ROS and increase yield of maize plants under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry, 221*, 109675. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2025.109675

Groenbaek, M., Tybirk, E., Neugart, S., Sundekilde, U. K., Schreiner, M., & Kristensen, H. L. (2019). Flavonoid glycosides and hydroxycinnamic acid derivatives in baby leaf rapeseed from white and yellow flowering cultivars with repeated harvest in a 2-years field study. *Frontiers in Plant Science, 10*, 355. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00355

Gugała, M., Sikorska, A., & Zarzecka, K. (2020). The effect of fertilization with sulphur, boron, and amino acids on the content of glucosinolate in winter rape seeds. *Agronomy, 10*(4), 519. https://doi.org/10.3390/agronomy10040519

Guijarro-Real, C., Prohens, J., Rodríguez-Burruezo, A., & Fita, A. (2019). Potential of wall rocket (*Diplotaxis erucoides*) as a new crop: Influence of the growing conditions on the visual quality of the final product. *Scientia Horticulturae, 258*, 108778. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108778

Guijarro-Real, C., Prohens, J., Rodríguez-Burruezo, A., & Fita, A. (2020). Morphological diversity and bioactive compounds in wall rocket (*Diplotaxis erucoides* (L.) DC.). *Agronomy, 10*(2), 306. https://doi.org/10.3390/agronomy10020306

Guo, Q., Sun, Y., Tang, Q., Zhang, H., & Cheng, Z. (2020). Isolation, identification, biological estimation, and profiling of glucosinolates in *Isatis indigotica* roots. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies, 43*(15–16), 645–656. https://doi.org/10.1080/10826076.2020.1780605

Gupta, R. K., Gangoliya, S. S., & Singh, N. K. (2015). Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains. *Journal of Food Science and Technology, 52*(2), 676–684. https://doi.org/10.1007/s13197-013-0978-y

Ha, J., Kim, S.-A., Lim, K., & Shin, S. (2020). The association of potassium intake with bone mineral density and the prevalence of osteoporosis among older Korean adults. *Nutrition Research and Practice, 14*(1), 55–61. https://doi.org/10.4162/nrp.2020.14.1.55

Ha, P. T. T., Tuan, T. M., Tho, N. X., Tram, N. T. N., & Tran, N. T. B. (2020). Salt stress affects the agronomic traits, phytic acid, and aroma of rice (*Oryza sativa* L.) M1 mutant lines. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics, 52*(3), 216–230.

Hall, M. K. D., Jobling, J. J., & Rogers, G. S. (2012a). Some perspectives on rocket as a vegetable crop: A review. *Vegetable Crops Research Bulletin, 76*(1), 21–41. https://doi.org/10.2478/v10032-012-0002-5

Hall, M. K. D., Jobling, J. J., & Rogers, G. S. (2012b). Factors affecting growth of perennial wall rocket and annual garden rocket. *International Journal of Vegetable Science, 18*(4), 393–411. https://doi.org/10.1080/19315260.2012.660565

Hall, M. K. D., Jobling, J. J., & Rogers, G. S. (2015). Fundamental differences between perennial wall rocket and annual garden rocket influence the commercial year-round supply of these crops. *Journal of Agricultural Science, 7*(3), 1–7. https://doi.org/10.5539/jas.v7n3p1

Hamdy, R., Elnaggar, A., Islam, N. N., Sabri, S., Tsombou, F. M., Soliman, S. S. M., Almehdi, A. M., Lamgharie, F., Mosa, K. A., & El-Keblawy, A. (2025). Seasonal metabolic adaptations and antioxidant defense mechanisms in the resilience of *Rhynchosia minima* and *Senna italica* legumes in arid region. *Scientifica, 2025*(1), 1359373. https://doi.org/10.1155/sci5/1359373

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Nahar, K., Hossain, M. S., Mahmud, J. A., Hossen, M. S., Masud, A. A. C., Moumita, & Fujita, M. (2018). Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy, 8*(3), 31. https://doi.org/10.3390/agronomy8030031

Hassan Algarni, E. (2025). Phytochemical contents, antioxidant activity, and functional properties of encapsulated girgir (*Eruca sativa*), figl (*Raphanus sativus*), and cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) extracts. *Italian Journal of Food Science, 37*(2), 82–106. https://doi.org/10.15586/ijfs.v37i2.2915

Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M. N., Wani, A. S., Pichtel, J., & Ahmad, A. (2012). Role of proline under changing environments. *Plant Signaling & Behavior, 7*(11), 1456–1466. https://doi.org/10.4161/psb.21949

Hetta, M. H., Owis, A. I., Haddad, P. S., & Eid, H. M. (2017). The fatty acid-rich fraction of *Eruca sativa* (rocket salad) leaf extract exerts antidiabetic effects in cultured skeletal muscle, adipocytes and liver cells. *Pharmaceutical Biology, 55*(1), 810–818. https://doi.org/10.1080/13880209.2017.1280687

Hilo, B. R., Ali, B. A. A., & Jasim, H. M. (2023). Effect of foliar fertilization with humic acid and garlic extract on growth and yield of broccoli and its content of some secondary metabolites. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1213*(1), 012020. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1213/1/012020

Houston, M. C. (2011). The importance of potassium in managing hypertension. *Current Hypertension Reports, 13*(4), 309–317. https://doi.org/10.1007/s11906-011-0197-8

Hu, W., Lu, Z., Meng, F., Li, X., Cong, R., Ren, T., Sharkey, T. D., & Lu, J. (2020). The reduction in leaf area precedes that in photosynthesis under potassium deficiency: The importance of leaf anatomy. *New Phytologist, 227*(6), 1749–1763. https://doi.org/10.1111/nph.16644

Hussein, S. R., Marzouk, M. M., Kassem, M. E. S., Abdel Latif, R. R., & Mohammed, R. S. (2017). Chemosystematic significance of flavonoids isolated from *Diplotaxis acris* (Brassicaceae) and related taxa. *Natural Product Research, 31*(3), 347–350. https://doi.org/10.1080/14786419.2016.1226831

Hutzler, P., Fischbach, R., Heller, W., Jungblut, T. P., Reuber, S., Schmitz, R., Veit, M., Weißenböck, G., & Schnitzler, J.-P. (1998). Tissue localization of phenolic compounds in plants by confocal laser scanning microscopy. *Journal of Experimental Botany, 49*(323), 953–965. https://doi.org/10.1093/jxb/49.323.953

Iqbal, N., & Poór, P. (2025). Plant protection by tannins depends on defence-related phytohormones. *Journal of Plant Growth Regulation, 44*(1), 22–39. https://doi.org/10.1007/s00344-024-11291-1

Irshad, M., Asgher, M., Bhatti, K. H., Zafar, M., & Anwar, Z. (2017). Anticancer and nutraceutical potentialities of phytase/phytate. *International Journal of Pharmacology, 13*(7), 808–817. https://doi.org/10.3923/ijp.2017.808.817

Ishfaq, M., Kiran, A., ur Rehman, H., Farooq, M., Ijaz, N. H., Nadeem, F., Azeem, I., Li, X., & Wakeel, A. (2022). Foliar nutrition: Potential and challenges under multifaceted agriculture. *Environmental and Experimental Botany, 200*, 104909. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104909

Ivanova, M., Gins, E., Baikov, A., Demyanova-Roy, G., Gins, V., Mizrukhina, Y., Zagirov, N., Choloquinga, M., Dembele, L., Litnetskiy, A., & Kashleva, A. (2021). Influence of different types of AGROTEXTM mulching material on the yield of perennial wall-rocket (*Diplotaxis tenuifolia*) introduced in Moscow Region. *Research on Crops, 22*(1), 134–140. https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.046

Ivanova, M., Gins, M., Romanova, E., Cholokinga Chanaluisa, M. M., Katile, L., Moskalev, E., & Zargar, M. (2020). Efficacy of newer horticultural fleece "TM AGROTEKS" on the productivity of perennial wall-rocket (*Diplotaxis tenuifolia*). *Research on Crops, 21*(2), 327–332. https://doi.org/10.31830/2348-7542.2020.055

Jalwania, R., Kumar, P., Kumar, A., Hansda, S., Pandey, P., Jagadala, K., Chand, K., & Verma, S. (2025). Protected cultivation technologies for off-season vegetable production: A review. *Journal of Scientific Research and Reports, 31*(5), 470–489. https://doi.org/10.9734/jsrr/2025/v31i53045

Jamel, F. A., Al-Obaidi, R. H., & Dawood, K. (2025). Investigation of foliar spraying with potassium and iron on growth and nutrient uptake in cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1567*(1), 012011. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1567/1/012011

Jan, R., & Hussan, S. U. (2022). Fate of potassium in crop production. *Journal of Community Mobilization and Sustainable Development, 17*(4), 1203–1212.

Jang, S., Kim, G. W., Han, K., Kim, Y. M., Jo, J., Lee, S.-Y., Kwon, J.-K., & Kang, B.-C. (2022). Investigation of genetic factors regulating chlorophyll and carotenoid biosynthesis in red pepper fruit. *Frontiers in Plant Science, 13*, 922963. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.922963

Jeevanandam, J., Aing, Y. S., Chan, Y. S., Pan, S., & Danquah, M. K. (2017). Nanoformulation and application of phytochemicals as antimicrobial agents. In *Antimicrobial Nanoarchitectonics* (pp. 61–82). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-52733-0.00003-3

Ji, X., Shi, S., Liu, B., Shan, M., Tang, D., Zhang, W., Zhang, Y., Zhang, L., Zhang, H., Lu, C., & Wang, Y. (2019). Bioactive compounds from herbal medicines to manage dyslipidemia. *Biomedicine & Pharmacotherapy, 118*, 109338. https://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.109338

Jin, X., Wang, J., Li, D., Wu, F., & Zhou, X. (2019). Rotations with Indian mustard and wild rocket suppressed cucumber Fusarium wilt disease and changed rhizosphere bacterial communities. *Microorganisms, 7*(2), 57. https://doi.org/10.3390/microorganisms7020057

Johnson, R., Vishwakarma, K., Hossen, M. S., Kumar, V., Shackira, A. M., Puthur, J. T., Abdi, G., Sarraf, M., & Hasanuzzaman, M. (2022). Potassium in plants: Growth regulation, signaling, and environmental stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry, 172*, 56–69. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.01.001

Jomova, K., Alomar, S. Y., Valko, R., Liska, J., Nepovimova, E., Kuca, K., & Valko, M. (2025). Flavonoids and their role in oxidative stress, inflammation, and human diseases. *Chemico-Biological Interactions, 413*, 111489. https://doi.org/10.1016/j.cbi.2025.111489

Kanatas, P., Gazoulis, I., Petraki, D., Kokkini, M., Antonopoulos, N., & Travlos, I. (2025). False seedbed and stale seedbed against important broadleaf weeds: A case study and a step closer to agroecology. *Plants, 14*(4), 564. https://doi.org/10.3390/plants14040564

Kandoudi, W., Tavaszi-Sárosi, S., & Németh-Zámboriné, E. (2023). Inducing the production of secondary metabolites by foliar application of methyl jasmonate in peppermint. *Plants, 12*(12), 2339. https://doi.org/10.3390/plants12122339

Kannan, S. (2010). Foliar fertilization for sustainable crop production. In E. Lichtfouse (Ed.), *Genetic Engineering, Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming* (pp. 371–402). Springer. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8741-6_13

Kaplan, E. (2021). *The effect of plant diversity and ground cover on seedling establishment of Diplotaxis tenuifolia (L.) DC. in the Central Anatolian Steppe* [Master's thesis, Middle East Technical University].

Karaca-Bulut, M., Gonzales-Vigil, E., Muchero, W., & Mansfield, S. D. (2025). Elucidating the drought-responsive changes in poplar cuticular waxes: A GWAS analysis of genes involved in fatty acid biosynthesis. *Tree Physiology, 45*(13), 6–20. https://doi.org/10.1093/treephys/tpaf060

Kattel, S., & Antonious, G. F. (2025). Glucosinolates in cruciferous vegetables: Genetic and environmental regulation, metabolic pathways, and cancer-preventive mechanisms. *International Journal of Plant Biology, 16*(2), 58. https://doi.org/10.3390/ijpb16020058

Kavi Kishor, P. B., Hima Kumari, P., Sunita, M. S. L., & Sreenivasulu, N. (2015). Role of proline in cell wall synthesis and plant development and its implications in plant ontogeny. *Frontiers in Plant Science, 6*, 544. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00544

Ke, Z., Pan, Y., Xu, X., Nie, C., & Zhou, Z. (2015). *Citrus* flavonoids and human cancers. *Journal of Food and Nutrition Research, 3*(5), 341–351. https://doi.org/10.12691/jfnr-3-5-9

Kenigsbuch, D., Ovadia, A., Shahar-Ivanova, Y., Chalupowicz, D., & Maurer, D. (2014). "Rock-Ad", a new wild rocket (*Diplotaxis tenuifolia*) mutant with late flowering and delayed postharvest senescence. *Scientia Horticulturae, 174*, 17–23. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.04.038

Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., Critchley, A. T., Craigie, J. S., Norrie, J., & Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation, 28*(4), 386–399. https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x

Khoramizadeh, F., Garibay-Hernández, A., Mock, H.-P., & Bilger, W. (2024). Improvement of the quality of wild rocket (*Diplotaxis tenuifolia*) with respect to health-related compounds by enhanced growth irradiance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 72*(17), 9735–9745. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c07698

Kilibarda, S. N., Vuković, S. Z., Milinčić, D. D., Mačukanović-Jocić, M. P., Jarić, S., & Kostić, A. Ž. (2021). Phytochemical and antioxidant properties of *Athamanta turbith* (L.) Brot. collected from Serbia. *Biology and Life Sciences Forum, 11*(1), 30. https://doi.org/10.3390/IECPS2021-11947

Kilibarda, S., & Kostić, A. Ž. (2023). Edible *Diplotaxis* flowers as source of bioactive compounds—How solvent system influence on phytochemical yield and antioxidant activity. In *Proceedings of the 47th Conference for Students of Agriculture and Veterinary Medicine with International Participation* (pp. 107–114).

Kim, D. W., Kim, M. J., Shin, Y., Jung, S. K., & Kim, Y.-J. (2020). Green pepper (*Piper nigrum* L.) extract suppresses oxidative stress and LPS-induced inflammation via regulation of JNK signaling pathways. *Applied Sciences, 10*(7), 2519. https://doi.org/10.3390/app10072519

Kim, S.-J., Matsuo, T., Watanabe, M., & Watanabe, Y. (2002). Effect of nitrogen and sulphur application on the glucosinolate content in vegetable turnip rape (*Brassica rapa* L.). *Soil Science and Plant Nutrition, 48*(1), 43–49. https://doi.org/10.1080/00380768.2002.10409169

Kleemann, S. G. L., Chauhan, B. S., & Gill, G. S. (2007). Factors affecting seed germination of perennial wall rocket (*Diplotaxis tenuifolia*) in Southern Australia. *Weed Science, 55*(5), 481–485. https://doi.org/10.1614/WS-06-197.1

Klopotek, Y., & Kläring, H.-P. (2014). Accumulation and remobilisation of sugar and starch in the leaves of young tomato plants in response to temperature. *Scientia Horticulturae, 180*, 262–267. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.10.036

Knez, M., Mattas, K., Gurinovic, M., Gkotzamani, A., & Koukounaras, A. (2024). Revealing the power of green leafy vegetables: Cultivating diversity for health, environmental benefits, and sustainability. *Global Food Security, 43*, 100816. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2024.100816

Knutsen, H. K., Alexander, J., Barregård, L., Bignami, M., Brüschweiler, B., Ceccatelli, S., Dinovi, M., Edler, L., Grasl-Kraupp, B., Hogstrand, C., Hoogenboom, L. (Ron), Nebbia, C. S., Oswald, I., Petersen, A., Rose, M., Roudot, A., Schwerdtle, T., Vollmer, G., Wallace, H., … Vleminckx, C. (2016). Erucic acid in feed and food. *EFSA Journal, 14*(11), 4593. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4593

Kolašinac, S. M., Dajić Stevanović, Z. P., Kilibarda, S. N., & Kostić, A. Ž. (2021). Carotenoids: New applications of "old" pigments. *Phyton, 90*(4), 1041–1062. https://doi.org/10.32604/phyton.2021.015996

Kopustinskiene, D. M., Jakstas, V., Savickas, A., & Bernatoniene, J. (2020). Flavonoids as anticancer agents. *Nutrients, 12*(2), 457. https://doi.org/10.3390/nu12020457

Kostić, A. Ž., Gercek, Y. C., & Bayram, N. E. (2023). Phenolic acids in pollen. In N. E. Bayram & Y. C. Gercek (Eds.), *Pollen Chemistry & Biotechnology* (pp. 103–125). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-47563-4_6

Kostić, A. Ž., Mačukanović-Jocić, M. P., Špirović Trifunović, B. D., Vukašinović, I. Ž., Pavlović, V. B., & Pešić, M. B. (2017). Fatty acids of maize pollen—Quantification, nutritional and morphological evaluation. *Journal of Cereal Science, 77*, 180–185. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.08.004

Kostić, A. Ž., Milinčić, D. D., Špirović Trifunović, B., Nedić, N., Gašić, U. M., Tešić, Ž. Lj., Stanojević, S. P., & Pešić, M. B. (2023). Monofloral corn poppy bee-collected pollen—A detailed insight into its phytochemical composition and antioxidant properties. *Antioxidants, 12*(7), 1424. https://doi.org/10.3390/antiox12071424

Krasavina, M. S., Burmistrova, N. A., & Raldugina, G. N. (2014). The role of carbohydrates in plant resistance to abiotic stresses. In *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance* (pp. 229–270). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800876-8.00011-4

Krishnasree, R., Raj, S. K., & Chacko, S. R. (2021). Foliar nutrition in vegetables: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 10*(1), 2393–2398. https://doi.org/10.22271/phyto.2021.v10.i1ah.13716

Krogdahl, Å., Kortner, T. M., & Hardy, R. W. (2022). Antinutrients and adventitious toxins. In *Fish Nutrition* (pp. 775–821). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819587-1.00001-X

Krumbein, A., Saeger-Fink, H., & Schonhof, I. (2007). Changes in quercetin and kaempferol concentrations during broccoli head ontogeny in three broccoli cultivars. *Journal of Applied Botany and Food Quality, 81*(2), 136–139.

Krumbein, A., Schwarz, D., & Kläring, H.-P. (2006). Effects of environmental factors on carotenoid content in tomato (*Lycopersicon esculentum* (L.) Mill.) grown in a greenhouse. *Journal of Applied Botany and Food Quality, 80*(2), 160–164.

Kukri, A., Rossi, M., Freschi, L., Czékus, Z., & Poór, P. (2025). Phytohormonal regulation of α-tocopherol in plants. *Plant Stress, 18*, 101032. https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.101032

Kumar, M., Kaushik, D., Kaur, J., Proestos, C., Oz, F., Oz, E., Gupta, P., Kundu, P., Kaur, A., Anisha, A., & Ritika, R. (2022). A critical review on obesity: Herbal approach, bioactive compounds, and their mechanism. *Applied Sciences, 12*(16), 8342. https://doi.org/10.3390/app12168342

Kumari, V. V., Banerjee, P., Verma, V. C., Sukumaran, S., Chandran, M. A. S., Gopinath, K. A., Venkatesh, G., Yadav, S. K., Singh, V. K., & Awasthi, N. K. (2022). Plant nutrition: An effective way to alleviate abiotic stress in agricultural crops. *International Journal of Molecular Sciences, 23*(15), 8519. https://doi.org/10.3390/ijms23158519

Kurek, M., Benaida-Debbache, N., Elez Garofulić, I., Galić, K., Avallone, S., Voilley, A., & Waché, Y. (2022). Antioxidants and bioactive compounds in food: Critical review of issues and prospects. *Antioxidants, 11*(4), 742. https://doi.org/10.3390/antiox11040742

Kurilich, A. C., Tsau, G. J., Brown, A., Howard, L., Klein, B. P., Jeffery, E. H., Kushad, M., Wallig, M. A., & Juvik, J. A. (1999). Carotene, tocopherol, and ascorbate contents in subspecies of *Brassica oleracea*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47*(4), 1576–1581. https://doi.org/10.1021/jf9810158

Kurita, Y., Baba, K., Ohnishi, M., Matsubara, R., Kosuge, K., Anegawa, A., Shichijo, C., Ishizaki, K., Kaneko, Y., Hayashi, M., Suzaki, T., Fukaki, H., & Mimura, T. (2017). Inositol hexakis phosphate is the seasonal phosphorus reservoir in the deciduous woody plant *Populus alba* L. *Plant and Cell Physiology, 58*(9), 1477–1485. https://doi.org/10.1093/pcp/pcx106

Larkindale, J., & Huang, B. (2004). Changes of lipid composition and saturation level in leaves and roots for heat-stressed and heat-acclimated creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*). *Environmental and Experimental Botany, 51*(1), 57–67. https://doi.org/10.1016/S0098-8472(03)00060-1

Lazzeri, L., Malaguti, L., Bagatta, M., D'Avino, L., Ugolini, L., De Nicola, G. R., Casadei, N., Cinti, S., Matteo, R., & Iori, R. (2013). Characterization of the main glucosinolate content and fatty acid composition in non-food Brassicaceae seeds. *Acta Horticulturae, 1005*, 331–338. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1005.38

LeBlanc, B. W., Davis, O. K., Boue, S., DeLucca, A., & Deeby, T. (2009). Antioxidant activity of Sonoran Desert bee pollen. *Food Chemistry, 115*(4), 1299–1305. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.055

Li, G.-X., Lee, M.-J., Liu, A. B., Yang, Z., Lin, Y., Shih, W. J., & Yang, C. S. (2011). δ-Tocopherol is more active than α- or γ-tocopherol in inhibiting lung tumorigenesis *in vivo*. *Cancer Prevention Research, 4*(3), 404–413. https://doi.org/10.1158/1940-6207.CAPR-10-0130

Li, H., Liu, X., Wassie, M., & Chen, L. (2020). Selenium supplementation alleviates cadmium-induced damages in tall fescue through modulating antioxidant system, photosynthesis efficiency, and gene expression. *Environmental Science and Pollution Research, 27*(9), 9490–9502. https://doi.org/10.1007/s11356-019-06628-3

Li, M., Watanabe, S., Gao, F., & Dubos, C. (2023). Iron nutrition in plants: Towards a new paradigm? *Plants, 12*(2), Article 384. https://doi.org/10.3390/plants12020384

Lichtenthaler, H. K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry, 1*(1). https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01

Liener, I. E. (2003). Plant antinutritional factors: Detoxification. In *Encyclopedia of food sciences and nutrition* (pp. 4587–4593). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00936-6

Lim, P. O., Kim, H. J., & Nam, H. G. (2007). Leaf senescence. *Annual Review of Plant Biology, 58*, 115–136. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105316

Lin, L.-Z., Sun, J., Chen, P., Zhang, R.-W., Fan, X.-E., Li, L.-W., & Harnly, J. M. (2014). Profiling of glucosinolates and flavonoids in *Rorippa indica* (Linn.) Hiern. (Cruciferae) by UHPLC-PDA-ESI/HRMS^n. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 62*(26), 6118–6129. https://doi.org/10.1021/jf405538d

Liu, Y., Gong, C., Pei, W., Fan, K., & Shen, W. (2024). Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status in the leaves of *Artemisia ordosica* under root cutting conditions. *Frontiers in Plant Science, 14*, Article 1308209. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1308209

Ljubej, V., Karalija, E., Salopek-Sondi, B., & Šamec, D. (2021). Effects of short-term exposure to low temperatures on proline, pigments, and phytochemicals level in kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*). *Horticulturae, 7*(10), 341. https://doi.org/10.3390/horticulturae7100341

López-Millán, A.-F., Grusak, M. A., Abadía, A., & Abadía, J. (2013). Iron deficiency in plants: An insight from proteomic approaches. *Frontiers in Plant Science, 4*, 254. https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00254

Lysak, M. A., & Koch, M. A. (2011). Phylogeny, genome, and karyotype evolution of crucifers (Brassicaceae). In I. Bancroft, R. Schmidt, C. Kole, & A. H. Paterson (Eds.), *Genetics and Genomics of the Brassicaceae* (pp. 1–31). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7118-0_1

Ma, J., Zhang, J., Wang, J., Khromykh, V., Li, J., & Zhong, X. (2023). Global leaf area index research over the past 75 years: A comprehensive review and bibliometric analysis. *Sustainability, 15*(4), 3072. https://doi.org/10.3390/su15043072

Mabberley, D. J. (2017). *Mabberley's plant-book: A portable dictionary of plants, their classification and uses* (4th ed.). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781316335581

MacEvilly, C. (2003). Cereals: Contribution to the diet. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (2nd ed., pp. 1008–1014). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00186-3

Maeda, H., Song, W., Sage, T. L., & DellaPenna, D. (2006). Tocopherols play a crucial role in low-temperature adaptation and phloem loading in *Arabidopsis*. *The Plant Cell, 18*(10), 2710–2732. https://doi.org/10.1105/tpc.105.039404

Mageney, V., Neugart, S., & Albach, D. C. (2017). A guide to the variability of flavonoids in *Brassica oleracea*. *Molecules, 22*(2), 252. https://doi.org/10.3390/molecules22020252

Mallmann, L. P., Rios, A. O., & Rodrigues, E. (2023). MS-FINDER and SIRIUS for phenolic compound identification from high-resolution mass spectrometry data. *Food Research International, 163*, 112315. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112315

Malorni, L., Cozzolino, R., Magri, A., Zampella, L., & Petriccione, M. (2023). Influence of plant-based biostimulant (BORTAN) on qualitative and aromatic traits of rocket salad (*Diplotaxis tenuifolia* L.). *Plants, 12*(4), 730. https://doi.org/10.3390/plants12040730

Maoka, T. (2020). Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of Natural Medicines, 74*(1), 1–16. https://doi.org/10.1007/s11418-019-01364-x

Marchin, R. M., Backes, D., Ossola, A., Leishman, M. R., Tjoelker, M. G., & Ellsworth, D. S. (2022). Extreme heat increases stomatal conductance and drought-induced mortality risk in vulnerable plant species. *Global Change Biology, 28*(3), 1133–1146. https://doi.org/10.1111/gcb.15976

Martinez, K. B., Mackert, J. D., & McIntosh, M. K. (2017). Polyphenols and intestinal health. In *Nutrition and Functional Foods for Healthy Aging* (pp. 191–210). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805376-8.00018-6

Martínez-Sánchez, A., Allende, A., Bennett, R. N., Ferreres, F., & Gil, M. I. (2006). Microbial, nutritional and sensory quality of rocket leaves as affected by different sanitizers. *Postharvest Biology and Technology, 42*(1), 86–97. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.05.010

Martínez-Sánchez, A., Gil-Izquierdo, A., Gil, M. I., & Ferreres, F. (2008). A comparative study of flavonoid compounds, vitamin C, and antioxidant properties of baby leaf Brassicaceae species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56*(7), 2330–2340. https://doi.org/10.1021/jf072975+

Martínez-Sánchez, A., Llorach, R., Gil, M. I., & Ferreres, F. (2007). Identification of new flavonoid glycosides and flavonoid profiles to characterize rocket leafy salads (*Eruca vesicaria* and *Diplotaxis tenuifolia*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55*(4), 1356–1363. https://doi.org/10.1021/jf063474b

Maseko, I., Ncube, B., Tesfay, S., Fessehazion, M., Modi, A. T., & Mabhaudhi, T. (2020). Productivity of selected African leafy vegetables under varying water regimes. *Agronomy, 10*(6), 916. https://doi.org/10.3390/agronomy10060916

Matysiak, K., Dubas, M., Kierzek, R., & Kaczmarek, S. (2014). Influence of seaweed extract (Ecklonia maxima L.) applied with tebuconazole on two cultivars of winter rape. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 59(4), 43–49.

McCully, M. E., Miller, C., Sprague, S. J., Huang, C. X., & Kirkegaard, J. A. (2008). Distribution of glucosinolates and sulphur-rich cells in roots of field-grown canola (*Brassica napus*). *New Phytologist, 180*(1), 193–205. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02520.x

Midway, S., & White, J. W. (2025). Testing for normality in regression models: Mistakes abound (but may not matter). *Royal Society Open Science, 12*(4), 241904. https://doi.org/10.1098/rsos.241904

Mierziak, J., Kostyn, K., Boba, A., Czemplik, M., Kulma, A., & Wojtasik, W. (2021). Influence of the bioactive diet components on the gene expression regulation. *Nutrients, 13*(11), 3673. https://doi.org/10.3390/nu13113673

Mollo, L., Petrini, A., Norici, A., Ferrante, A., & Cocetta, G. (2025). Enhanced growth and photosynthetic efficiency in wild rocket (*Diplotaxis tenuifolia* L.) following multi-species microalgal biostimulant application. *Plant Science, 359*, 112643. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112643

Moura, A. B. O., Silva, G. B. A., Paimel, A. C. C., Silva, E. S. O., Mota, L. G., Duarte, C. F. D., Cabral, C. H. A., & Cabral, C. E. A. (2025). Do foliar fertilizers promote increased productivity of tropical grasses? *Agrochemicals, 4*(2), 9. https://doi.org/10.3390/agrochemicals4020009

Mughunth, R. J., Velmurugan, S., Mohanalakshmi, M., & Vanitha, K. (2024). A review of seaweed extract's potential as a biostimulant to enhance growth and mitigate stress in horticulture crops. *Scientia Horticulturae, 334*, 113312. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113312

Munné-Bosch, S., & Alegre, L. (2002). The function of tocopherols and tocotrienols in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences, 21*(1), 31–57. https://doi.org/10.1080/0735-260291044179

Muñoz, P., & Munné-Bosch, S. (2019). Vitamin E in plants: Biosynthesis, transport, and function. *Trends in Plant Science, 24*(11), 1040–1051. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.08.006

Naharwal, P., Meena, M., Somani, C., Kumari, N., & Yadav, D. K. (2024). Isolation and chemistry of plant pigments. *Pigment & Resin Technology, 53*(6), 1038–1050. https://doi.org/10.1108/PRT-03-2023-0029

Nguyen, V. P. T., Stewart, J., Lopez, M., Ioannou, I., & Allais, F. (2020). Glucosinolates: Natural occurrence, biosynthesis, accessibility, isolation, structures, and biological activities. *Molecules, 25*(19), 4537. https://doi.org/10.3390/molecules25194537

Nichelmann, L., & Pescheck, F. (2021). Solar UV-B effects on composition and UV screening efficiency of foliar phenolics in *Arabidopsis thaliana* are augmented by temperature. *Physiologia Plantarum, 173*(3), 762–774. https://doi.org/10.1111/ppl.13554

Nicoletti, R., Raimo, F., & Miccio, G. (2007). *Diplotaxis tenuifolia*: Biology, production and properties. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology, 1*, 36–43.

Nikolov, L. A. (2019). Brassicaceae flowers: Diversity amid uniformity. *Journal of Experimental Botany, 70*(10), 2623–2635. https://doi.org/10.1093/jxb/erz079

Niu, J., Liu, C., Huang, M., Liu, K., & Yan, D. (2021). Effects of foliar fertilization: A review of current status and future perspectives. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21*(1), 104–118. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-3

Niu, Y., Zhang, Q., Wang, J., Li, Y., Wang, X., & Bao, Y. (2022). Vitamin E synthesis and response in plants. *Frontiers in Plant Science, 13*, 994058. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.994058

Nurzyńska-Wierdak, R. (2009). Growth and yield of garden rocket (*Eruca sativa* Mill.) affected by nitrogen and potassium fertilization. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus, 8*(4), 23–33.

Nurzyńska-Wierdak, R. (2025). Green leafy vegetables (GLVs) as nutritional and preventive agents supporting metabolism. *Metabolites, 15*(8), 502. https://doi.org/10.3390/metabo15080502

Ofori, K. F., Antoniello, S., English, M. M., & Aryee, A. N. A. (2022). Improving nutrition through biofortification—A systematic review. *Frontiers in Nutrition, 9*, 1043655. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1043655

Ozogul, Y., Ucar, Y., Tadesse, E. E., Rathod, N., Kulawik, P., Trif, M., Esatbeyoglu, T., & Ozogul, F. (2025). Tannins for food preservation and human health: A review of current knowledge. *Applied Food Research, 5*(1), 100738. https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100738

Öztürk, M., Bolat, İ., & Ergün, A. (2015). Influence of air–soil temperature on leaf expansion and LAI of *Carpinus betulus* trees in a temperate urban forest patch. *Agricultural and Forest Meteorology, 200*, 185–191. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.09.014

Padulosi, S., & Pignone, D. (Eds.). (1996). *Rocket: A Mediterranean crop for the world. Report of a workshop, 13–14 December 1996, Legnaro (Padova), Italy*. International Plant Genetic Resources Institute.

Pai, A. R., & Nair, B. (2015). Synthesis and characterization of a binary oxide ZrO_2–TiO_2 and its application in chlorophyll dye-sensitized solar cell with reduced graphene oxide as counter

electrodes. *Bulletin of Materials Science, 38*(5), 1129–1133. https://doi.org/10.1007/s12034-015-0991-z

Paller, V. G. V., Mendoza, B. C., Carlos, A. M. A., & Macaraig, J. R. M. (2024). Leafy greens. In *Encyclopedia of Food Safety* (pp. 20–32). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822521-9.00127-1

Palumbo, M., Cozzolino, R., Capozzi, V., Di Cuia, G., Malorni, L., Pace, B., Serio, F., D'Imperio, M., & Cefola, M. (2025). Nutrient and phytochemical composition of rocket and cabbage microgreens grown under varying potassium regimes. *Journal of Food Composition and Analysis, 148*, 108125. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.108125

Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: An overview. *Journal of Nutritional Science, 5*, e47. https://doi.org/10.1017/jns.2016.41

Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2*(5), 270–278. https://doi.org/10.4161/oxim.2.5.9498

Pandey, S. S. (2023). The role of iron in phytopathogenic microbe–plant interactions: Insights into virulence and host immune response. *Plants, 12*(17), 3173. https://doi.org/10.3390/plants12173173

Pane, C., Pasqualini, A., Spaccini, R., Galieni, A., Pentangelo, A., Esposito, A., & Altieri, R. (2024). Tailor-made green composts with suppressive properties against tracheofusariosis of wild rocket (*Diplotaxis tenuifolia*): Useful option for sustainable circular horticulture. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 61*, 103357. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103357

Papadakis, I. E., Ladikou, E.-V., Oikonomou, A., Chatzistathis, T., & Chatziperou, G. (2023). Exploring the impact of potassium on growth, photosynthetic performance, and nutritional status of lemon trees (cv. Adamopoulou) grafted onto sour orange and Volkamer lemon rootstocks. *Sustainability, 15*(22), 15858. https://doi.org/10.3390/su152215858

Parker, G. G. (2020). Tamm review: Leaf Area Index (LAI) is both a determinant and a consequence of important processes in vegetation canopies. *Forest Ecology and Management, 477*, 118496. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118496

Pascoalino, L. A., Reis, F. S., Barros, L., Rodrigues, M. Â., Correia, C. M., Vieira, A. L., Ferreira, I. C. F. R., & Barreira, J. C. M. (2021). Effect of plant biostimulants on nutritional and chemical profiles of almond and hazelnut. *Applied Sciences, 11*(17), 7778. https://doi.org/10.3390/app11177778

Pasini, F., Verardo, V., Caboni, M. F., & D'Antuono, L. F. (2012). Determination of glucosinolates and phenolic compounds in rocket salad by HPLC-DAD–MS: Evaluation of *Eruca sativa* Mill. and *Diplotaxis tenuifolia* L. genetic resources. *Food Chemistry, 133*(3), 1025–1033. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.021

Pasini, F., Verardo, V., Cerretani, L., Caboni, M. F., & D'Antuono, L. F. (2011). Rocket salad (*Diplotaxis* and *Eruca* spp.) sensory analysis and relation with glucosinolate and phenolic content. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 91*(15), 2858–2864. https://doi.org/10.1002/jsfa.4535

Pearcy, R. W. (1978). Effect of growth temperature on the fatty acid composition of the leaf lipids in *Atriplex lentiformis* (Torr.) Wats. *Plant Physiology, 61*(4), 484–486. https://doi.org/10.1104/pp.61.4.484

Perelman, A., Imas, P., & Bansal, S. K. (2022). Potassium role in plants' response to abiotic stresses. In N. Iqbal & S. Umar (Eds.), *Role of Potassium in Abiotic Stress* (pp. 15–39). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4461-0_2

Pérez-López, A. J., López-Nicolas, J. M., Núñez-Delicado, E., del Amor, F. M., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2007). Effects of agricultural practices on color, carotenoids composition, and minerals contents of sweet peppers, cv. Almuden. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55*(20), 8158–8164. https://doi.org/10.1021/jf071534n

Peris-Díaz, M. D., Sweeney, S. R., Rodak, O., Sentandreu, E., & Tiziani, S. (2019). R-MetaboList 2: A flexible tool for metabolite annotation from high-resolution data-independent acquisition mass spectrometry analysis. *Metabolites, 9*(9), 187. https://doi.org/10.3390/metabo9090187

Petropoulos, S., Fernandes, Â., Karkanis, A., Ntatsi, G., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2017). Successive harvesting affects yield, chemical composition and antioxidant activity of *Cichorium spinosum* L. *Food Chemistry, 237*, 83–90. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.092

Pettigrew, W. T. (2008). Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiologia Plantarum, 133*(4), 670–681. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01073.x

Pimpini, F., Giannini, M., & Lazzarin, R. (2005). *Ortaggi da foglia e da taglio*. Veneto Agricoltura.

Pires, S. M. G., Reis, R. S., Cardoso, S. M., Pezzani, R., Paredes-Osses, E., Seilkhan, A., Ydyrys, A., Martorell, M., Sönmez Gürer, E., Setzer, W. N., Abdull Razis, A. F., Modu, B., Calina, D., & Sharifi-Rad, J. (2023). Phytates as a natural source for health promotion: A critical evaluation of clinical trials. *Frontiers in Chemistry, 11*, 1174109. https://doi.org/10.3389/fchem.2023.1174109

Ponte, L. G. S., Ribeiro, S. F., Pereira, J. C. V., Antunes, A. E. C., Bezerra, R. M. N., & da Cunha, D. T. (2025). Consumer perceptions of functional foods: A scoping review focusing on non-processed foods. *Food Reviews International, 41*(6), 1738–1756. https://doi.org/10.1080/87559129.2025.2453030

Pop, C., Ghibu, G. D., Gârban, G., & Velciov, A. B. (2006). Structural peculiarities of carotenoids used as food colorants. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies, 12*(2), 461–468.

Popova, A., & Mihaylova, D. (2019). Antinutrients in plant-based foods: A review. *The Open Biotechnology Journal, 13*(1), 68–76. https://doi.org/10.2174/1874070701913010068

Posmyk, M. M., & Szafrańska, K. (2016). Biostimulators: A new trend towards solving an old problem. *Frontiers in Plant Science, 7*, 748. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00748

Possenti, M., Baima, S., Raffo, A., Durazzo, A., Giusti, A. M., & Natella, F. (2016). Glucosinolates in food. In *Glucosinolates* (pp. 87–132). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25462-3_4

POWO. (2025). *Plants of the World Online*. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Retrieved September 28, 2025, from Plants of the World Online

Pramitha, L., Rana, S., Aggarwal, P. R., Ravikesavan, R., Joel, A. J., & Muthamilarasan, M. (2021). Diverse role of phytic acid in plants and approaches to develop low-phytate grains to enhance bioavailability of micronutrients. *Advances in Genetics, 107*, 89–120. https://doi.org/10.1016/bs.adgen.2020.11.003

Prasertthai, P., Paethaisong, W., Theerakulpisut, P., & Dongsansuk, A. (2022). High temperature alters leaf lipid membrane composition associated with photochemistry of PSII and membrane thermostability in rice seedlings. *Plants, 11*(11), 1454. https://doi.org/10.3390/plants11111454

Precupeanu, C., Rădeanu, G., Teliban, G.-C., Roșca, M., Ordóñez-Díaz, J. L., Moreno-Rojas, J. M., & Stoleru, V. (2025). Effects of mulch and fertilization on the quantity and quality of perennial wall–rocket (*Diplotaxis tenuifolia*). *Plants, 14*(10), 1421. https://doi.org/10.3390/plants14101421

Prieto, M. A., López, C. J., & Simal-Gandara, J. (2019). Glucosinolates: Molecular structure, breakdown, genetic, bioavailability, properties and healthy and adverse effects. *Advances in Food and Nutrition Research, 90*, 305–350. https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.008

Raffo, A., Baiamonte, I., De Nicola, G. R., Melini, V., Moneta, E., Nardo, N., Peparaio, M., Saggia Civitelli, E., & Sinesio, F. (2024). Sensory attributes driving preference for wild rocket (*Diplotaxis tenuifolia*) leaves tasted as a single ingredient and as a part of a recipe. *Foods, 13*(11), 1699. https://doi.org/10.3390/foods13111699

Rahimikhoob, H., Delshad, M., & Habibi, R. (2023). Leaf area estimation in lettuce: Comparison of artificial intelligence-based methods with image analysis technique. *Measurement, 222*, 113636. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113636

Rahman, A., Harker, T., Lewis, W., & Islam, K. R. (2023). Nano and chelated iron fertilization influences marketable yield, phytochemical properties, and antioxidant capacity of tomatoes. *PLOS ONE, 18*(11), e0294033. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294033

Rahman, M. M., Rahaman, M. S., Islam, M. R., Rahman, F., Mithi, F. M., Alqahtani, T., Almikhlafi, M. A., Alghamdi, S. Q., Alruwaili, A. S., Hossain, M. S., Ahmed, M., Das, R., Emran, T. B., & Uddin, M. S. (2022). Role of phenolic compounds in human disease: Current knowledge and future prospects. *Molecules, 27*(1), 233. https://doi.org/10.3390/molecules27010233

Rai, S., Singh, P. K., Mankotia, S., Swain, J., & Satbhai, S. B. (2021). Iron homeostasis in plants and its crosstalk with copper, zinc, and manganese. *Plant Stress, 1*, 100008. https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100008

Rajiv, & Kumari, M. (2023). Protected cultivation of high-value vegetable crops under changing climate. In *Advances in Research on Vegetable Production Under a Changing Climate* (Vol. 2, pp. 229–266). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20840-9_11

Ramesh, M., & Muthuraman, A. (2018). Flavoring and coloring agents: Health risks and potential problems. In *Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes* (pp. 1–28). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811518-3.00001-6

Ramli, N. H., & Sulaiman, Z. A. (2021). Effects of different fertilizers formulas on the growth and development of leaf mustard, *Brassica juncea*. *Journal of Academia, 9*(1), 145–152.

Rangel-Huerta, O., Pastor-Villaescusa, B., Aguilera, C., & Gil, A. (2015). A systematic review of the efficacy of bioactive compounds in cardiovascular disease: Phenolic compounds. *Nutrients, 7*(7), 5177–5216. https://doi.org/10.3390/nu7075177

Rawat, J., Pandey, N., & Saxena, J. (2022). Role of potassium in plant photosynthesis, transport, growth and yield. In N. Iqbal & S. Umar (Eds.), *Role of Potassium in Abiotic Stress* (pp. 1–14). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4461-0_1

Reis, J. M., Pereira, R. J., Coelho, P. S., & Leitão, J. M. (2022). Assessment of wild rocket (*Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC.) germplasm accessions by NGS identified SSR and SNP markers. *Plants, 11*(24), 3482. https://doi.org/10.3390/plants11243482

Rengasamy, K. R. R., Kulkarni, M. G., Stirk, W. A., & Van Staden, J. (2015). Eckol—A new plant growth stimulant from the brown seaweed *Ecklonia maxima*. *Journal of Applied Phycology, 27*(1), 581–587. https://doi.org/10.1007/s10811-014-0337-z

Renzetti, M., Funck, D., & Trovato, M. (2024). Proline and ROS: A unified mechanism in plant development and stress response? *Plants, 14*(1), 2. https://doi.org/10.3390/plants14010002

Ressurreição, S., Salgueiro, L., & Figueirinha, A. (2024). *Diplotaxis* genus: A promising source of compounds with nutritional and biological properties. *Molecules, 29*(11), 2612. https://doi.org/10.3390/molecules29112612

Ressurreição, S., Salgueiro, L., & Figueirinha, A. (2025). *Diplotaxis muralis* as an emerging food crop: Chemical composition, nutritional profile and antioxidant activities. *Plants, 14*(6), 844. https://doi.org/10.3390/plants14060844

Ressurreição, S., Salgueiro, L., & Figueirinha, A. (2026). Chemical composition, nutritional profile, and bioactive properties of *Diplotaxis tenuifolia*, a health-promoting food. *Molecules, 31*(3), 417. https://doi.org/10.3390/molecules31030417

Rivera-Madrid, R., Carballo-Uicab, V. M., Cárdenas-Conejo, Y., Aguilar-Espinosa, M., & Siva, R. (2020). Overview of carotenoids and beneficial effects on human health. In C. M. Galanakis (Ed.), *Carotenoids: Properties, Processing and Applications* (pp. 1–40). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817067-0.00001-4

Rochat, B. (2017). Proposed confidence scale and ID score in the identification of known-unknown compounds using high resolution MS data. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry, 28*(4), 709–723. https://doi.org/10.1007/s13361-016-1556-0

Rodríguez-Hernández, M. C., & Garmendia, I. (2025). "Cut and come again" method as a promoter of the yield and quality of iceplant pot culture under salinity conditions. *International Journal of Agronomy, 2025*(1), 9501772. https://doi.org/10.1155/ioa/9501772

Romano, R., Pizzolongo, F., De Luca, L., Cozzolino, E., Rippa, M., Ottaiano, L., Mormile, P., Mori, M., & Di Mola, I. (2022). Bioactive compounds and antioxidant properties of wild rocket (*Diplotaxis tenuifolia* L.) grown under different plastic films and with different UV-B radiation postharvest treatments. *Foods, 11*(24), 4093. https://doi.org/10.3390/foods11244093

Rosa, M., Prado, C., Podazza, G., Interdonato, R., González, J. A., Hilal, M., & Prado, F. E. (2009). Soluble sugars—Metabolism, sensing and abiotic stress: A complex network in the life of plants. *Plant Signaling & Behavior, 4*(5), 388–393. https://doi.org/10.4161/psb.4.5.8294

Rout, G. R., & Sahoo, S. (2015). Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science, 3*, 1–24. https://doi.org/10.7831/ras.3.1

Šamec, D., & Salopek-Sondi, B. (2019). Cruciferous (Brassicaceae) vegetables. In *Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements* (pp. 195–202). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812491-8.00027-8

Šamec, D., Karalija, E., Šola, I., Vujčić Bok, V., & Salopek-Sondi, B. (2021). The role of polyphenols in abiotic stress response: The influence of molecular structure. *Plants, 10*(1), 118. https://doi.org/10.3390/plants10010118

Samtiya, M., Aluko, R. E., Dhewa, T., & Moreno-Rojas, J. M. (2021). Potential health benefits of plant food-derived bioactive components: An overview. *Foods, 10*(4), 839. https://doi.org/10.3390/foods10040839

Santos-Sánchez, N. F., Salas-Coronado, R., Valadez-Blanco, R., Hernández-Carlos, B., & Guadarrama-Mendoza, P. C. (2017). Natural antioxidant extracts as food preservatives. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria, 16*(4), 361–370. https://doi.org/10.17306/J.AFS.0530

Sardans, J., & Peñuelas, J. (2021). Potassium control of plant functions: Ecological and agricultural implications. *Plants, 10*(2), 419. https://doi.org/10.3390/plants10020419

Sartore, G., Zagotto, G., & Ragazzi, E. (2025). Beyond green: The therapeutic potential of chlorophyll and its derivatives in diabetes control. *Nutrients, 17*(16), 2653. https://doi.org/10.3390/nu17162653

Satekge, T. K., Mafeo, T. P., & Kena, M. A. (2016). Combined effect of Effective Microorganisms and Seaweed Concentrate Kelpak® on growth and yield of cabbage. *Transylvanian Review, 24*(8, Special Issue), 1511–1519

Savić, D. (2017). *Opšte povrtarstvo (I deo)*. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu.

Schiattone, M. I., Boari, F., Cantore, V., Castronuovo, D., Denora, M., Di Venere, D., Perniola, M., Sergio, L., Todorovic, M., & Candido, V. (2023). Effect of water regime, nitrogen level and biostimulants application on yield and quality traits of wild rocket [*Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC.].

Agricultural Water Management, 277, Article 108078. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108078

Schiattone, M. I., Boari, F., Cantore, V., Castronuovo, D., Denora, M., Di Venere, D., Perniola, M., Renna, M., Sergio, L., & Candido, V. (2021). Effects of nitrogen, azoxystrobin and a biostimulant based on brown algae and yeast on wild rocket features at harvest and during storage. *Agronomy, 11*(11), 2326. https://doi.org/10.3390/agronomy11112326

Schiavon, M., Nardi, S., Pilon-Smits, E. A. H., & Dall'Acqua, S. (2022). Foliar selenium fertilization alters the content of dietary phytochemicals in two rocket species. *Frontiers in Plant Science, 13*, 987935. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.987935

Schmidt, D., Caron, B. O., Valera, O., Meira, D., Fontana, D. C., Zanatta, T. P., Werner, C. J., & Brezolin, P. (2018). Base temperature, thermal time and phyllochron of escarole cultivation. *Horticultura Brasileira, 36*(4), 466–472. https://doi.org/10.1590/S0102-053620180407

Schranz, M. E., Mohammadin, S., & Edger, P. P. (2012). Ancient whole genome duplications, novelty and diversification: The WGD radiation lag-time model. *Current Opinion in Plant Biology, 15*(2), 147–153. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2012.03.011

Schreinemachers, P., Simmons, E. B., & Wopereis, M. C. S. (2018). Tapping the economic and nutritional power of vegetables. *Global Food Security, 16*, 36–45. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.09.005

Sgroi, F., Sciortino, C., Baviera-Puig, A., & Modica, F. (2024). Analyzing consumer trends in functional foods: A cluster analysis approach. *Journal of Agriculture and Food Research, 15*, 101041. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101041

Shahena, S., Rajan, M., Chandran, V., & Mathew, L. (2021). Conventional methods of fertilizer release. In F. B. Lewu, T. Volova, S. Thomas, & K. R. Rakhimol (Eds.), *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture* (pp. 1–24). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819555-0.00001-7

Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. *Journal of Functional Foods, 18*, 820–897. https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018

Shahidi, F., & De Camargo, A. C. (2016). Tocopherols and tocotrienols in common and emerging dietary sources: Occurrence, applications, and health benefits. *International Journal of Molecular Sciences, 17*(10), 1745. https://doi.org/10.3390/ijms17101745

Shankar, A., Singh, A., Kanwar, P., Srivastava, A. K., Pandey, A., Suprasanna, P., Kapoor, S., & Pandey, G. K. (2013). Gene expression analysis of rice seedling under potassium deprivation reveals major changes in metabolism and signaling components. *PLoS ONE, 8*(7), e70321. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070321

Sharma, A., Sharma, R., Arora, R., Arora, S., Singh, B., & Sharma, U. (2017). Quantitative and qualitative analysis of *Eruca sativa* and *Brassica juncea* seeds by UPLC-DAD and UPLC-ESI-QTOF. *Natural Product Communications, 12*(9), 1423–1426. https://doi.org/10.1177/1934578X1701200927

Sharma, K., Kumar, V., Kaur, J., Tanwar, B., Goyal, A., Sharma, R., Gat, Y., & Kumar, A. (2021). Health effects, sources, utilization and safety of tannins: A critical review. *Toxin Reviews, 40*(4), 432–444. https://doi.org/10.1080/15569543.2019.1662813

Shekhawat, P. K., Jangir, P., Bishnoi, A., Roy, S., Ram, H., & Soni, P. (2021). *Serendipita indica*: Harnessing its versatile potential for food and nutritional security. *Physiological and Molecular Plant Pathology, 116*, 101708. https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101708

Shoaib, S., Ansari, M. A., Al Fatease, A., Safhi, A. Y., Hani, U., Jahan, R., Alomary, M. N., Ansari, M. N., Ahmed, N., Wahab, S., Ahmad, W., Yusuf, N., & Islam, N. (2023). Plant-derived bioactive

compounds in the management of neurodegenerative disorders: Challenges, future directions and molecular mechanisms involved in neuroprotection. *Pharmaceutics, 15*(3), 749. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15030749

Shomali, A., Das, S., Arif, N., Sarraf, M., Zahra, N., Yadav, V., Aliniaeifard, S., Chauhan, D. K., & Hasanuzzaman, M. (2022). Diverse physiological roles of flavonoids in plant environmental stress responses and tolerance. *Plants, 11*(22), 3158. https://doi.org/10.3390/plants11223158

Shomali, N., Abdalrahman, K. S., Güneş, M. G., İşgör, B. S., & Yıldırım, Ö. (2018). Screening effects of methanol extracts of the *Diplotaxis tenuifolia* and *Reseda lutea* on the enzymatic antioxidant defense systems and aldose reductase activity. *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences, 15*(2), 145–151. https://doi.org/10.4274/tjps.82473

Shukla, P. S., & Prithiviraj, B. (2021). *Ascophyllum nodosum* biostimulant improves the growth of *Zea mays* grown under phosphorus impoverished conditions. *Frontiers in Plant Science, 11*, 601843. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.601843

Sible, C. N., Seebauer, J. R., & Below, F. E. (2021). Plant biostimulants: A categorical review, their implications for row crop production, and relation to soil health indicators. *Agronomy, 11*(7), 1297. https://doi.org/10.3390/agronomy11071297

Signore, A., Amoruso, F., Gallegos-Cedillo, V. M., Gómez, P. A., Ochoa, J., Egea-Gilabert, C., Costa-Pérez, A., Domínguez-Perles, R., Moreno, D. A., Pascual, J. A., & Fernández, J. A. (2023). Agro-industrial compost in soilless cultivation modulates the vitamin C content and phytochemical markers of plant stress in rocket salad (*Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC.). *Agronomy, 13*(2), 544. https://doi.org/10.3390/agronomy13020544

Silvestrini, A., Meucci, E., Ricerca, B. M., & Mancini, A. (2023). Total antioxidant capacity: Biochemical aspects and clinical significance. *International Journal of Molecular Sciences, 24*(13), 10978. https://doi.org/10.3390/ijms241310978

Simpson, M. G. (2019). Diversity and classification of flowering plants: Eudicots. In *Plant Systematics* (pp. 285–466). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812628-8.50008-0

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology, 299*, 152–178. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1

Slatnar, A., Jakopic, J., Stampar, F., Veberic, R., & Jamnik, P. (2012). The effect of bioactive compounds on in vitro and in vivo antioxidant activity of different berry juices. *PLoS ONE, 7*(10), e47880. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047880

Slavin, J. L., & Lloyd, B. (2012). Health benefits of fruits and vegetables. *Advances in Nutrition, 3*(4), 506–516. https://doi.org/10.3945/an.112.002154

Smychkovich, A., & Hashemi, M. (2022). Yield and nutrient concentrations of kohlrabi bulbs and leaves as affected by spring transplanting dates. *Agronomy, 12*(4), 770. https://doi.org/10.3390/agronomy12040770

Sogoni, A., Ngcobo, B. L., Jimoh, M. O., Kambizi, L., & Laubscher, C. P. (2024). Seaweed-derived bio-stimulant (Kelpak®) enhanced the morphophysiological, biochemical, and nutritional quality of salt-stressed spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Horticulturae, 10*(12), 1340. https://doi.org/10.3390/horticulturae10121340

Sojitra, M. A., Patel, M. L., & Satasiya, R. M. (2024). Importance of protected cultivation in horticulture crops. *Agri-India TODAY, 4*(1), 56–62.

Sonobe, R., Yamashita, H., Mihara, H., Morita, A., & Ikka, T. (2020). Estimation of leaf chlorophyll a, b and carotenoid contents and their ratios using hyperspectral reflectance. *Remote Sensing, 12*(19), 3265. https://doi.org/10.3390/rs12193265

Soto, V. C., González, R. E., & Galmarini, C. R. (2021). Bioactive compounds in vegetables, is there consistency in the published information? A systematic review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 96*(5), 570–587. https://doi.org/10.1080/14620316.2021.1899061

Sova, M., & Saso, L. (2020). Natural sources, pharmacokinetics, biological activities and health benefits of hydroxycinnamic acids and their metabolites. *Nutrients, 12*(8), 2190. https://doi.org/10.3390/nu12082190

Sparvoli, F., & Cominelli, E. (2015). Seed biofortification and phytic acid reduction: A conflict of interest for the plant? *Plants, 4*(4), 728–755. https://doi.org/10.3390/plants4040728

Spilioti, E., Jaakkola, M., Tolonen, T., Lipponen, M., Virtanen, V., Chinou, I., Kassi, E., Karabournioti, S., & Moutsatsou, P. (2014). Phenolic acid composition, antiatherogenic and anticancer potential of honeys derived from various regions in Greece. *PLoS ONE, 9*(4), e94860. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094860

Stajnko, D., & Kelc, D. (2023). The growing profile of *Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC. under different LED lighting. *Glasnik Zaštite Bilja, 46*(6), 72–78. https://doi.org/10.31727/gzb.46.6.7

Stanaway, J. D., Afshin, A., Ashbaugh, C., Bisignano, C., Brauer, M., Ferrara, G., Garcia, V., Haile, D., Hay, S. I., He, J., Iannucci, V., Lescinsky, H., Mullany, E. C., Parent, M. C., Serfes, A. L., Sorensen, R. J. D., Aravkin, A. Y., Zheng, P., & Murray, C. J. L. (2022). Health effects associated with vegetable consumption: A Burden of Proof study. *Nature Medicine, 28*(10), 2066–2074. https://doi.org/10.1038/s41591-022-01970-5

Štefl, M., Trčka, I., & Vrátný, P. (1978). Proline biosynthesis in winter plants due to exposure to low temperatures. *Biologia Plantarum, 20*(2), 119–128. https://doi.org/10.1007/BF02923274

Stępień, K. A., Krawczyk, W., & Giebułtowicz, J. (2023). Dietary supplements with proline—A comprehensive assessment of their quality. *Life, 13*(2), 263. https://doi.org/10.3390/life13020263

Suharto, Y. B., Suhardiyanto, H., Susila, A. D., & Supriyanto. (2024). Growth estimation of leaf vegetable plants using camera image analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1386*(1), 012023. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1386/1/012023

Sun, R.-Z., Cheng, G., Li, Q., He, Y.-N., Wang, Y., Lan, Y.-B., Li, S.-Y., Zhu, Y.-R., Song, W.-F., Zhang, X., Cui, X.-D., Chen, W., & Wang, J. (2017). Light-induced variation in phenolic compounds in Cabernet Sauvignon grapes (*Vitis vinifera* L.) involves extensive transcriptome reprogramming of biosynthetic enzymes, transcription factors, and phytohormonal regulators. *Frontiers in Plant Science, 8*, 547. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00547

Sustr, M., Soukup, A., & Tylova, E. (2019). Potassium in root growth and development. *Plants, 8*(10), 435. https://doi.org/10.3390/plants8100435

Szczepanek, M., Poberežny, J., Wszelaczyńska, E., & Gościnna, K. (2020). Effect of biostimulants and storage on discoloration potential of carrot. *Agronomy, 10*(12), 1894. https://doi.org/10.3390/agronomy10121894

Szewczyk, K., Chojnacka, A., & Górnicka, M. (2021). Tocopherols and tocotrienols—Bioactive dietary compounds; what is certain, what is doubt? *International Journal of Molecular Sciences, 22*(12), 6222. https://doi.org/10.3390/ijms22126222

Taç, S., & Özcan, T. (2019). Fatty acid and amino acid profiles in some dune vegetation species from Istanbul. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23*(3), 892–903. https://doi.org/10.19113/sdufenbed.555767

Tacer-Caba, Z. (2020). Different sources of glucosinolates and their derivatives. In *Glucosinolates: Properties, Recovery, and Applications* (pp. 143–180). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816493-8.00005-6

Tallarita, A. V., Golubkina, N., De Pascale, S., Sękara, A., Pokluda, R., Murariu, O. C., Cozzolino, E., Cenvinzo, V., & Caruso, G. (2025). Effects of selenium/iodine foliar application and seasonal conditions on yield and quality of perennial wall rocket. *Horticulturae, 11*(2), 211. https://doi.org/10.3390/horticulturae11020211

Tallarita, A. V., Simister, R., Vecchietti, L., Cozzolino, E., Stoleru, V., Murariu, O. C., Maiello, R., Cozzolino, G., De Pascale, S., & Caruso, G. (2025). Effect of biostimulant formulation on yield, quality, and nitrate accumulation in *Diplotaxis tenuifolia* cultivars under different weather conditions. *Applied Sciences, 15*(15), 8620. https://doi.org/10.3390/app15158620

Tang, Q., Li, Z., Chen, N., Luo, X., & Zhao, Q. (2025). Natural pigments derived from plants and microorganisms: Classification, biosynthesis, and applications. *Plant Biotechnology Journal, 23*(2), 592–614. https://doi.org/10.1111/pbi.14522

Tao, H., Li, L., He, Y., Zhang, X., Zhao, Y., Wang, Q., & Hong, G. (2024). Flavonoids in vegetables: Improvement of dietary flavonoids by metabolic engineering to promote health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 64*(11), 3220–3234. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2131726

Taranto, F., Francese, G., Di Dato, F., D'Alessandro, A., Greco, B., Onofaro Sanajà, V., Pentangelo, A., Mennella, G., & Tripodi, P. (2016). Leaf metabolic, genetic, and morphophysiological profiles of cultivated and wild rocket salad (*Eruca* and *Diplotaxis* spp.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 64*(29), 5824–5836. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b01737

Taylor, J. L., Massiah, A., Kennedy, S., Hong, Y., & Jackson, S. D. (2017). FLC expression is down-regulated by cold treatment in *Diplotaxis tenuifolia* (wild rocket), but flowering time is unaffected. *Journal of Plant Physiology, 214*, 7–15. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.03.015

Teixeira, A. F., de Souza, J., Dophine, D. D., de Souza Filho, J. D., & Saúde-Guimarães, D. A. (2022). Chemical analysis of *Eruca sativa* ethanolic extract and its effects on hyperuricaemia. *Molecules, 27*(5), 1506. https://doi.org/10.3390/molecules27051506

Terahara, N. (2015). Flavonoids in foods: A review. *Natural Product Communications, 10*(3), 521–528. https://doi.org/10.1177/1934578X1501000334

The Arabidopsis Genome Initiative. (2000). Analysis of the genome sequence of the flowering plant *Arabidopsis thaliana*. *Nature, 408*(6814), 796–815. https://doi.org/10.1038/35048692

Tian, M., Bai, Y., Tian, H., & Zhao, X. (2023). The chemical composition and health-promoting benefits of vegetable oils—A review. *Molecules, 28*(17), 6393. https://doi.org/10.3390/molecules28176393

Tomás-Navarro, M., Vallejo, F., & Tomás-Barberán, F. A. (2014). Bioavailability and metabolism of citrus fruit beverage flavanones in humans. In R. R. Watson, V. R. Preedy, & S. Zibadi (Eds.), *Polyphenols in Human Health and Disease* (pp. 537–551). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398456-2.00040-2

Tong, L., Li, J., Zhu, L., Zhang, S., Zhou, H., Lv, Y., & Zhu, K. (2022). Effects of organic cultivation on soil fertility and soil environment quality in greenhouses. *Frontiers in Soil Science, 2*, 1096735. https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.1096735

Torres-Montilla, S., & Rodriguez-Concepcion, M. (2021). Making extra room for carotenoids in plant cells: New opportunities for biofortification. *Progress in Lipid Research, 84*, 101128. https://doi.org/10.1016/j.plipres.2021.101128

Traka, M. H. (2016). Health benefits of glucosinolates. *Advances in Botanical Research, 80*, 247–279. https://doi.org/10.1016/bs.abr.2016.06.004

Tran, N., Pham, B., & Le, L. (2020). Bioactive compounds in anti-diabetic plants: From herbal medicine to modern drug discovery. *Biology, 9*(9), 252. https://doi.org/10.3390/biology9090252

Tripathi, D. K., Singh, S., Gaur, S., Singh, S., Yadav, V., Liu, S., Singh, V. P., Sharma, S., Srivastava, P., Prasad, S. M., Dubey, N. K., Chauhan, D. K., & Sahi, S. (2018). Acquisition and homeostasis of iron in higher plants and their probable role in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Environmental Science, 5*, 86. https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00086

Tripodi, P., Francese, G., & Mennella, G. (2017). Rocket salad: Crop description, bioactive compounds and breeding perspectives. *Advances in Horticultural Science, 31*(2), 107–113. https://doi.org/10.13128/ahs-21087

Tripodi, P., Plazas, M., Francese, G., Raigón, M. D., D'Alessandro, A., Adalid-Martínez, A. M., Cardi, T., Figàs, M. R., Leteo, F., García-Martínez, M. D., Soler, S., Campanelli, G., & Prohens, J. (2025). Impact of water regime, nitrogen supply and location on quality and nutritional composition in a tomato diversity panel in organic cultivation. *Scientia Horticulturae, 347*, 114187. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2025.114187

Tsaballa, A., Xanthopoulou, A., Sperdouli, I., Bantis, F., Boutsika, A., Chatzigeorgiou, I., Tsaliki, E., Koukounaras, A., Ntinas, G. K., & Ganopoulos, I. (2023). LED omics in rocket salad (*Diplotaxis tenuifolia*): Comparative analysis in different light-emitting diode (LED) spectrum and energy consumption. *Plants, 12*(6), 1203. https://doi.org/10.3390/plants12061203

Tsugawa, H., Kind, T., Nakabayashi, R., Yukihira, D., Tanaka, W., Cajka, T., Saito, K., Fiehn, O., & Arita, M. (2016). Hydrogen rearrangement rules: Computational MS/MS fragmentation and structure elucidation using MS-FINDER software. *Analytical Chemistry, 88*(16), 7946–7958. https://doi.org/10.1021/acs.analchem.6b00770

Upadhyay, R. K. (2018). Plant pigments as dietary anticancer agents. *International Journal of Green Pharmacy, 12*(1), S93–S108. https://doi.org/10.22377/ijgp.v12i01.1604

Vale, A. P., Santos, J., Brito, N. V., Fernandes, D., Rosa, E., & Oliveira, M. B. P. P. (2015). Evaluating the impact of sprouting conditions on the glucosinolate content of *Brassica oleracea* sprouts. *Phytochemistry, 115*, 252–260. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.02.004

van Poppel, G., Verhoeven, D. T. H., Verhagen, H., & Goldbohm, R. A. (1999). Brassica vegetables and cancer prevention: Epidemiology and mechanisms. *Advances in Experimental Medicine and Biology, 472*, 159–168. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3230-6_14

Variyar, P. S., Banerjee, A., Akkarakaran, J. J., & Suprasanna, P. (2014). Role of glucosinolates in plant stress tolerance. In *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance* (pp. 271–291). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800876-8.00012-6

Vauzour, D., Vafeiadou, K., Rodriguez-Mateos, A., Rendeiro, C., & Spencer, J. P. E. (2008). The neuroprotective potential of flavonoids: A multiplicity of effects. *Genes & Nutrition, 3*(3–4), 115–126. https://doi.org/10.1007/s12263-008-0091-4

Vendrame, S., Alaba, T., Marchi, N., Tsakiroglou, P., & Klimis-Zacas, D. (2024). In vitro and in vivo evaluation of bioactive compounds from berries for wound healing. *Current Developments in Nutrition, 8*(2), 102078. https://doi.org/10.1016/j.cdnut.2024.102078

Verardo, V., Riciputi, Y., Pasini, F., D'Antuono, L. F., & Caboni, M. F. (2011). Determination of flavonoids in *Eruca* and *Diplotaxis* rocket salad species: MEKC-DAD method establishment and comparison with HPLC-DAD-MS. *Italian Journal of Food Science, 23*(4), 352–359.

Veremeichik, G. N., Grigorchuk, V. P., Makhazen, D. S., Subbotin, E. P., Kholin, A. S., Subbotina, N. I., Bulgakov, D. V., Kulchin, Y. N., & Bulgakov, V. P. (2023). High production of flavonols and anthocyanins in *Eruca sativa* (Mill.) Thell. plants at high artificial LED light intensities. *Food Chemistry, 408*, 135216. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135216

Verma, A., Sharma, A., Rai, P. K., & Kumar, D. (2019). Effect of microwave pre-treatment on quality parameters in Indian mustard. *Journal of Food Science and Technology, 56*(11), 4956–4965. https://doi.org/10.1007/s13197-019-03967-4

Vijayakumar, S., Murugaiyan, V., Ilakkiya, S., Kumar, V., Sundaram, R. M., & Kumar, R. M. (2025). Opportunities, challenges, and interventions for agriculture 4.0 adoption. *Discover Food, 5*(1), 265. https://doi.org/10.1007/s44187-025-00576-3

Vijayalaxmi, S., Jayalakshmi, S. K., & Sreeramulu, K. (2015). Polyphenols from different agricultural residues: Extraction, identification and their antioxidant properties. *Journal of Food Science and Technology, 52*(5), 2761–2769. https://doi.org/10.1007/s13197-014-1295-9

Vlahović, B., Puškarić, A., & Červenski, J. (2010). Obeležja proizvodnje povrća u Republici Srbiji. *Ratarstvo i povrtarstvo, 47*(2), 461–466.

Vogt, T. (2010). Phenylpropanoid biosynthesis. *Molecular Plant, 3*(1), 2–20. https://doi.org/10.1093/mp/ssp106

Wallace, G., & Fry, S. C. (1994). Phenolic components of the plant cell wall. In K. W. Jeon & J. Jarvik (Eds.), *International Review of Cytology* (Vol. 151, pp. 229–267). Academic Press. https://doi.org/10.1016/S0074-7696(08)62634-0

Wang, P., Xiong, X., Zhang, X., Wu, G., & Liu, F. (2022). A review of erucic acid production in Brassicaceae oilseeds: Progress and prospects for the genetic engineering of high and low-erucic acid rapeseeds (*Brassica napus*). *Frontiers in Plant Science, 13*, 899076. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.899076

Wang, Y., Chen, L., Li, Z., Duan, S., Zhang, X., Fang, J., & Xiao, Y. (2024). The role of iron-rich organic fertilizer in promoting the growth of Chinese cabbage and inhibiting the transformation of cadmium. *Science of the Total Environment, 908*, 168430. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168430

Weaver, C. M. (2013). Potassium and health. *Advances in Nutrition, 4*(3), 368S–377S. https://doi.org/10.3945/an.112.003533

Webster, R., & Lark, R. M. (2019). Analysis of variance in soil research: Examining the assumptions. *European Journal of Soil Science, 70*(5), 990–1000. https://doi.org/10.1111/ejss.12804

Weckerle, B., Michel, K., Balázs, B., Schreier, P., & Tóth, G. (2001). Quercetin 3,3′,4′-tri-O-β-D-glucopyranosides from leaves of *Eruca sativa* (Mill.). *Phytochemistry, 57*(4), 547–551. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(01)00059-0

Weiss, J., & Gruda, N. S. (2025). Enhancing nutritional quality in vegetables through breeding and cultivar choice in protected cultivation. *Scientia Horticulturae, 339*, 113914. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113914

Wieczorek, M. N., Walczak, M., Skrzypczak-Zielińska, M., & Jeleń, H. H. (2018). Bitter taste of *Brassica* vegetables: The role of genetic factors, receptors, isothiocyanates, glucosinolates, and flavor context. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 58*(18), 3130–3140. https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1353478

Won, H. S., Lee, E., Lee, S., Nam, J.-H., Jung, J., Cho, Y., Evert, T., Kan, N., Kim, S., & Kim, D. S. (2025). Image analysis using smartphones: Relationship between leaf color and fresh weight of lettuce under different nutritional treatments. *Frontiers in Plant Science, 16*, 1589825. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1589825

World Flora Online. (2025). *World Flora Online*. Retrieved September 30, 2025, from World Flora Online taxon record

Xu, L., & Wang, X. (2025). A comprehensive review of phenolic compounds in horticultural plants. *International Journal of Molecular Sciences, 26*(12), 5767. https://doi.org/10.3390/ijms26125767

Yahya, M., Bouziani, A., Ocak, C., Seferoğlu, Z., & Sillanpää, M. (2021). Organic/metal-organic photosensitizers for dye-sensitized solar cells (DSSC): Recent developments, new trends, and future perceptions. *Dyes and Pigments, 192*, 109227. https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2021.109227

Yaschenko, A. E., Alonso, J. M., & Stepanova, A. N. (2025). Arabidopsis as a model for translational research. *The Plant Cell, 37*(5), koae065. https://doi.org/10.1093/plcell/koae065

Yildirim, B., Dural, H., & Yilmaz Çitak, B. (2021). Morphological, anatomical, palynological, and micromorphological study on *Diplotaxis tenuifolia* (Brassicaceae). *Biological Diversity and Conservation, 14*(3), 365–371. https://doi.org/10.46309/biodicon.2021.897954

Yimer, A., Forsido, S. F., Addis, G., & Ayelign, A. (2023). Nutritional composition of some wild edible plants consumed in Southwest Ethiopia. *Heliyon, 9*(6), e16541. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16541

Zengin, G., Cvetanović, A., Gašić, U., Dragićević, M., Stupar, A., Uysal, A., Şenkardes, I., Sinan, K. I., Picot-Allain, M. C. N., Ak, G., & Mahomoodally, M. F. (2020). UHPLC-LTQ OrbiTrap MS analysis and biological properties of *Origanum vulgare* subsp. *viridulum* obtained by different extraction methods. *Industrial Crops and Products, 154*, 112747. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112747

Zhang, G., Qiu, Y., Boireau, P., Zhang, Y., Ma, X., Jiang, H., Xin, T., Zhang, M., Tadesse, Z., Wani, N. A., Song, J., & Ding, J. (2024). Modern agriculture and One Health. *Infectious Diseases of Poverty, 13*(1), 74. https://doi.org/10.1186/s40249-024-01240-1

Zhang, H., Wang, L., Jin, X., Bian, L., & Ge, Y. (2023). High-throughput phenotyping of plant leaf morphological, physiological, and biochemical traits on multiple scales using optical sensing. *The Crop Journal, 11*(5), 1303–1318. https://doi.org/10.1016/j.cj.2023.04.014

Zhao, C., Liu, J., Zhu, F., & Wang, S. (2025). Effects of foliar application of potassium fertilizer on anatomical and physiological changes of *Neosinocalamus affinis* leaves. *Forests, 16*(3), 388. https://doi.org/10.3390/f16030388

Zhao, H., Jiang, Z., Chang, X., Xue, H., Yahefu, W., & Zhang, X. (2018). 4-Hydroxyphenylacetic acid prevents acute APAP-induced liver injury by increasing phase II and antioxidant enzymes in mice. *Frontiers in Pharmacology, 9*, 653. https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00653

Zhao, Y., Wu, Y., & Wang, M. (2014). Bioactive substances of plant origin. In P. C. K. Cheung & B. M. Mehta (Eds.), *Handbook of Food Chemistry* (pp. 1–35). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41609-5_13-1

Zheng, X., Zhang, X., & Zeng, F. (2025). Biological functions and health benefits of flavonoids in fruits and vegetables: A contemporary review. *Foods, 14*(2), 155. https://doi.org/10.3390/foods14020155

Zhou, L., Wang, Y., Chen, C., Tong, S., & Kang, F. (2024). Influence of leaf area index inversion and the light transmittance mechanism in the apple tree canopy. *Forests, 15*(5), 823. https://doi.org/10.3390/f15050823

Zhou, Y., Nie, K., Geng, L., Wang, Y., Li, L., & Cheng, H. (2025). Selenium's role in plant secondary metabolism: Regulation and mechanistic insights. *Agronomy, 15*(1), 54. https://doi.org/10.3390/agronomy15010054

Zielińska-Dawidziak, M., & Siger, A. (2012). Effect of elevated accumulation of iron in ferritin on the antioxidants content in soybean sprouts. *European Food Research and Technology, 234*(6), 1005–1012. https://doi.org/10.1007/s00217-012-1706-y

Zietz, M., Weckmüller, A., Schmidt, S., Rohn, S., Schreiner, M., Krumbein, A., & Kroh, L. W. (2010). Genotypic and climatic influence on the antioxidant activity of flavonoids in kale (*Brassica*

oleracea var. *sabellica*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58*(4), 2123–2130. https://doi.org/10.1021/jf9033909

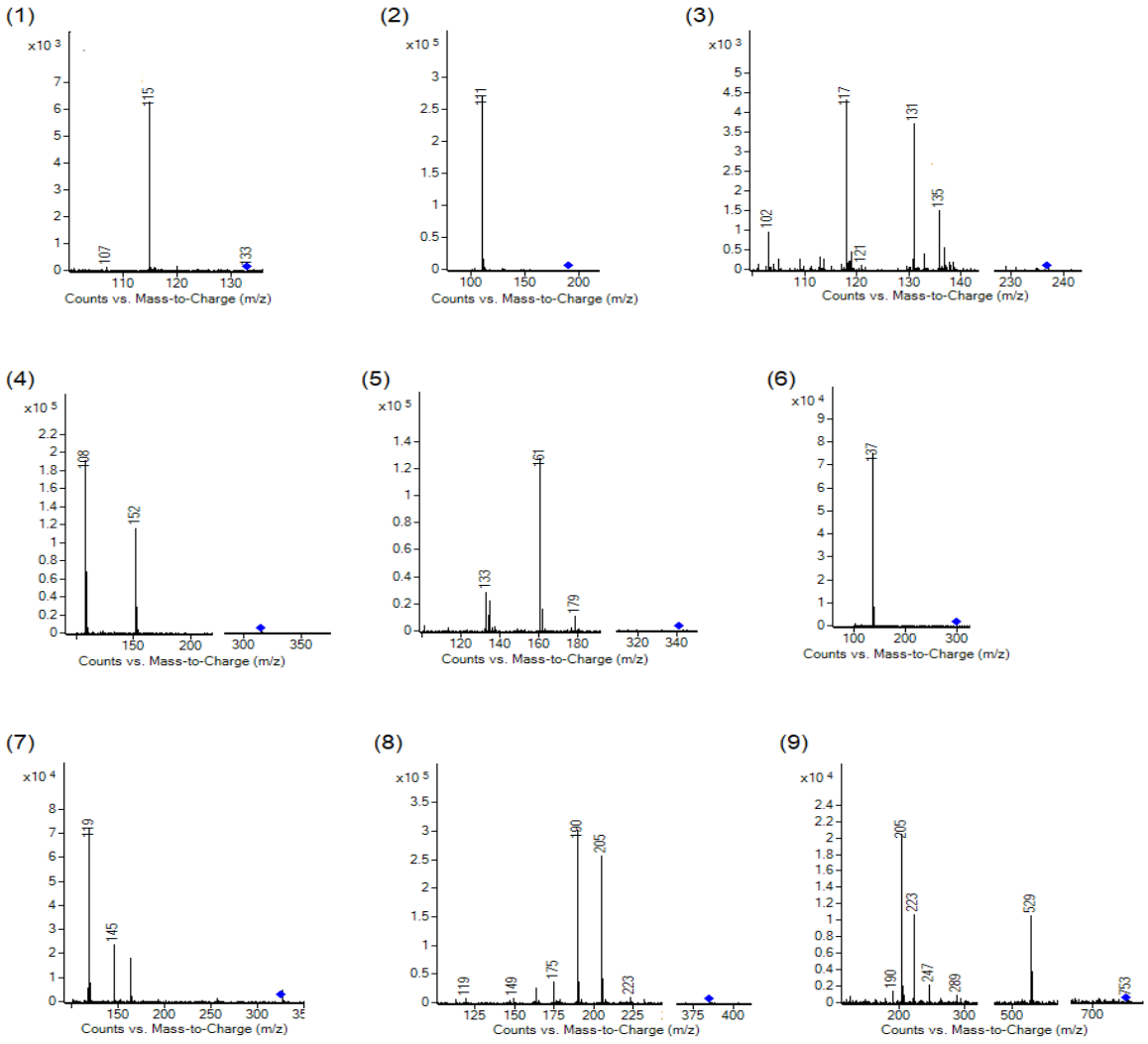
Zoong Lwe, Z., Sah, S., Persaud, L., Li, J., Gao, W., Raja Reddy, K., & Narayanan, S. (2021). Alterations in the leaf lipidome of *Brassica carinata* under high-temperature stress. *BMC Plant Biology, 21*(1), 404. https://doi.org/10.1186/s12870-021-03189-x

Zörb, C., Senbayram, M., & Peiter, E. (2014). Potassium in agriculture – Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology, 171*(9), 656–669. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.08.008

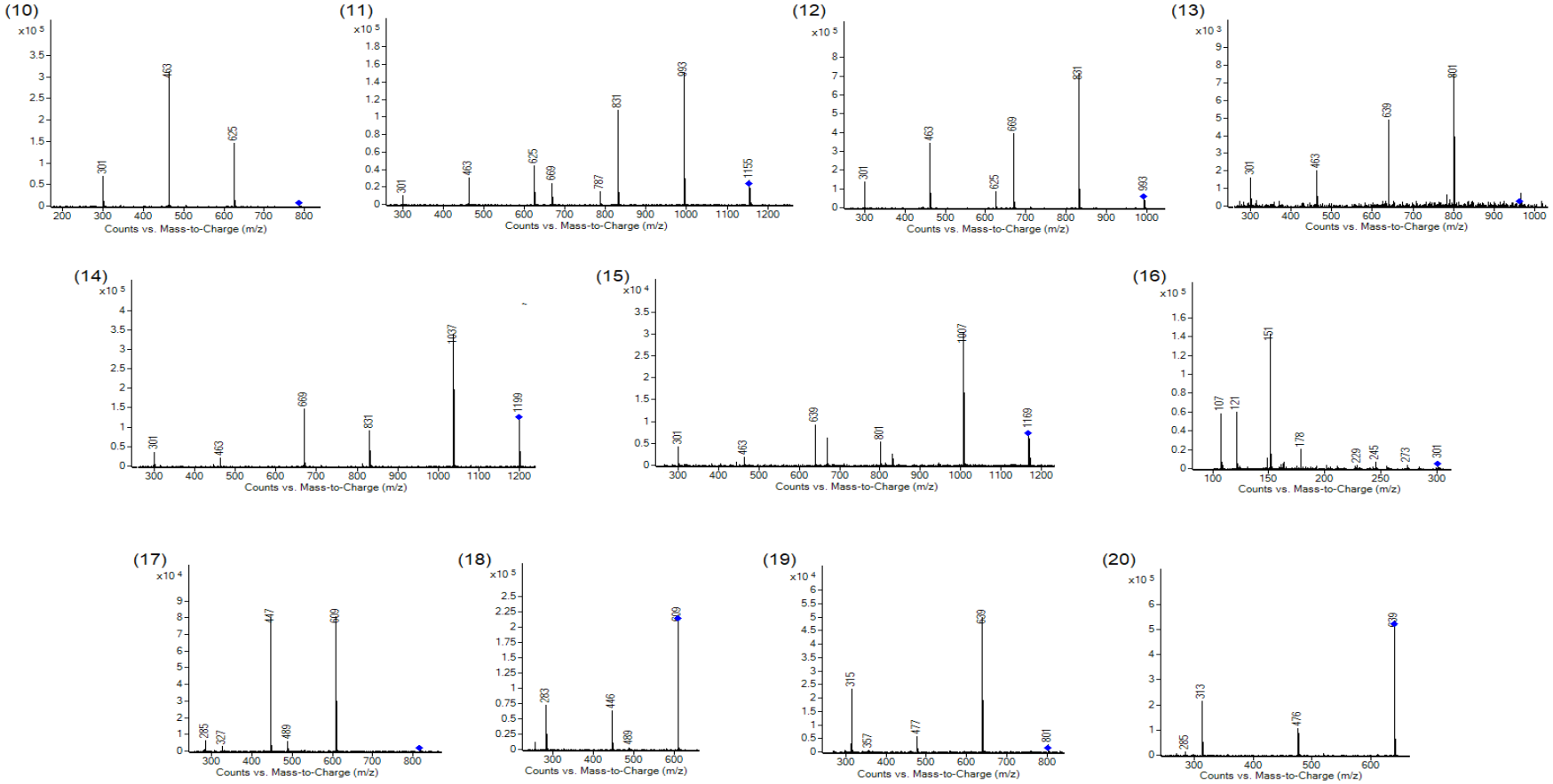
Моравчевић, Ђ. (2026). *Добре пољопривредне праксе у светлу климатских промена. Повртарство*. FAO.

Моравчевић, Ђ., & Тодоровић, В. (2022). *Производња расада поврћа*. Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду.

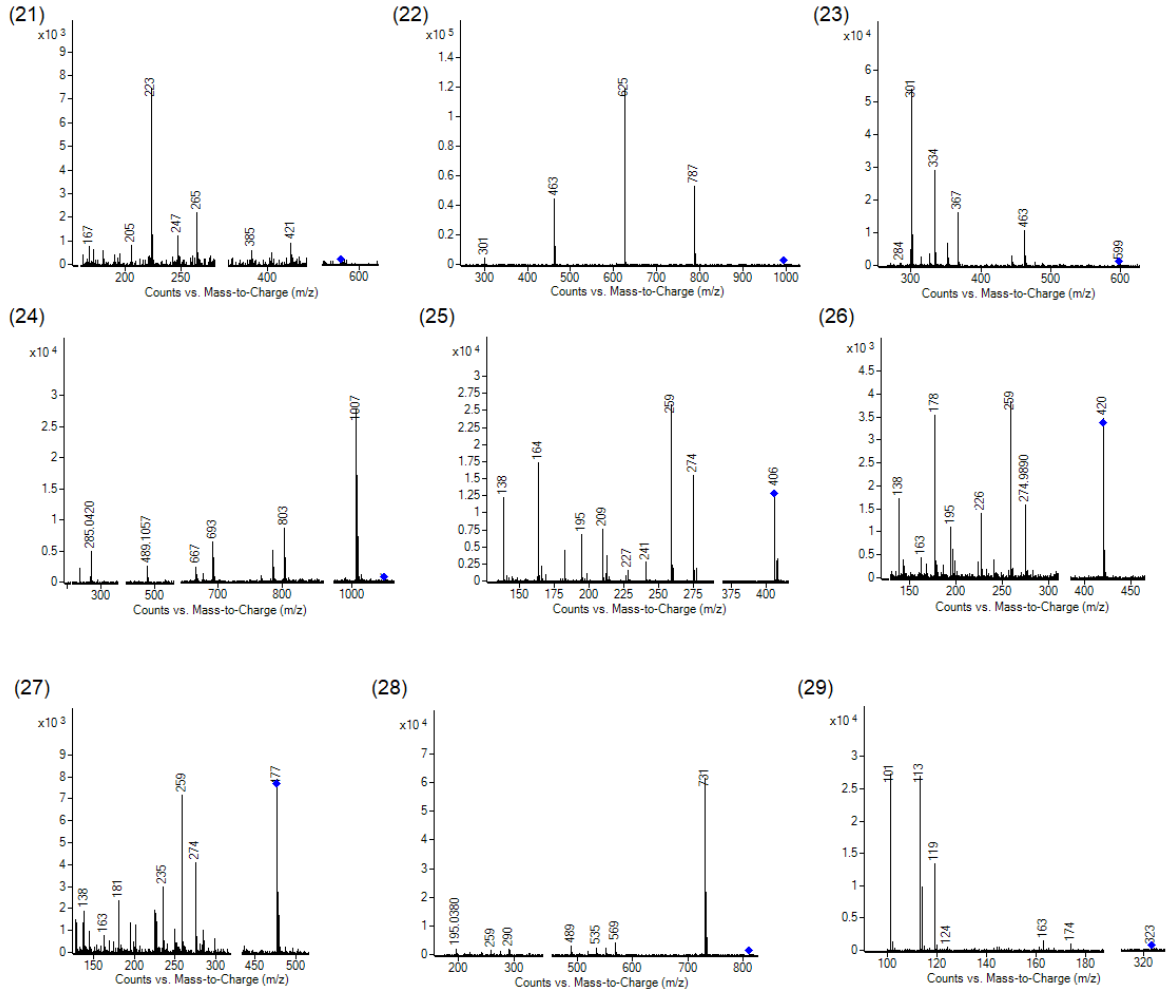
8. Прилог



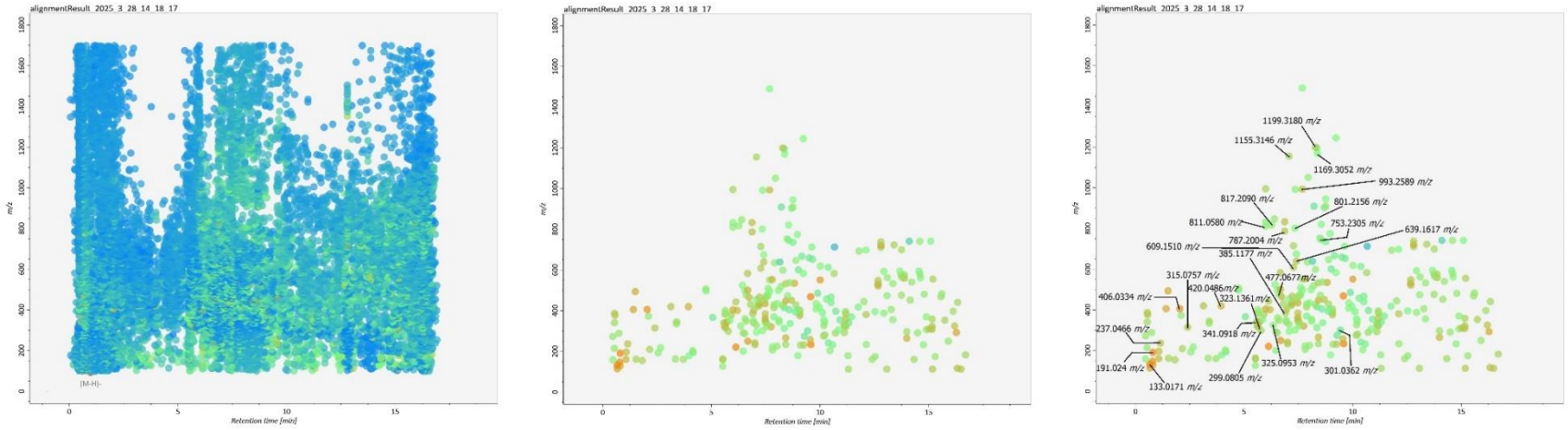
Слика П1. Фрагментациони обрасци (MS/MS спектри) условно идентификованих органских киселина и гликозида фенолних киселина (деривата), приказаних у Табели 28.: (1) јабучна киселина; (2) лимунска киселина; (3) бензоилјабучна киселина; (4) хексозид дихидроксибензоеве киселине; (5) хексозид кафеинске киселине; (6) хексозид хидроксибензоеве киселине; (7) хексозид *p*-кумаринске киселине; (8) хексозид синапинске киселине; (9) дисинапоил-дихексозид. (Agilent, Q-ToF, ESI(–), CE = 30 eV)



Слика П2. Фрагментациони обрасци (MS/MS спектри) условно идентификованих флавоноида (флавонолних агликона и њихових деривата), приказаних у Табели 28.: (10) кверцетин 3,3',4'-три-*O*-хексозид; (11) кверцетин-3,7,4'-три-*O*-хексозид-3'-*O*-(6"-синапоил)-хексозид; (12) кверцетин-3,4'-ди-*O*-хексозид-3'-*O*-(6"-синапоил)-хексозид; (13) кверцетин-3,4'-ди-*O*-хексозид-3'-*O*-(6"-феруолоил)-хексозид; (14) кверцетин-3-*O*-(2"-синапоил-хексозид)-3'-*O*-(6"-синапоил-хексозид)-4'-*O*-хексозид; (15) кверцетин-3-*O*-(2"-феруолоил-хексозид)-3'-*O*-(6"-синапоил-хексозид)-4'-*O*-хексозид; (16) кверцетин; (17) кампферол-3,7,4'-три-*O*-хексозид + HCOOH; (18) кампферол-3,4'-ди-*O*-хексозид; (19) изорамнетин-3-*O*-хексозид-4'-*O*-гентобиозид; (20) изорамнетин-3,4'-ди-*O*-хексозид. (Agilent, Q-ToF, ESI(–), CE = 30 eV)



Слика П3. Фрагментациони обрасци (MS/MS спектри) идентификованих глукозинолата и других непознатих деривата (ова непозната једињења су препозната као деривати фенолних киселина и флавонола), приказаних у Табели 28.: (21) дериват синапинске киселине; (22) дериват кверцетина I; (23) дериват кверцетина II; (24) дериват кампферола; (25) глукосативин (4-меркаптобутил GLS); (26) глукоеруцин; (27) неоглукобрасицин; (28) димерни 4-меркаптобутил GLS (DMB-GLS); (29) 1,8-дипропоксиантрахинон. (Agilent, Q-ToF, ESI(–), CE = 30 eV)



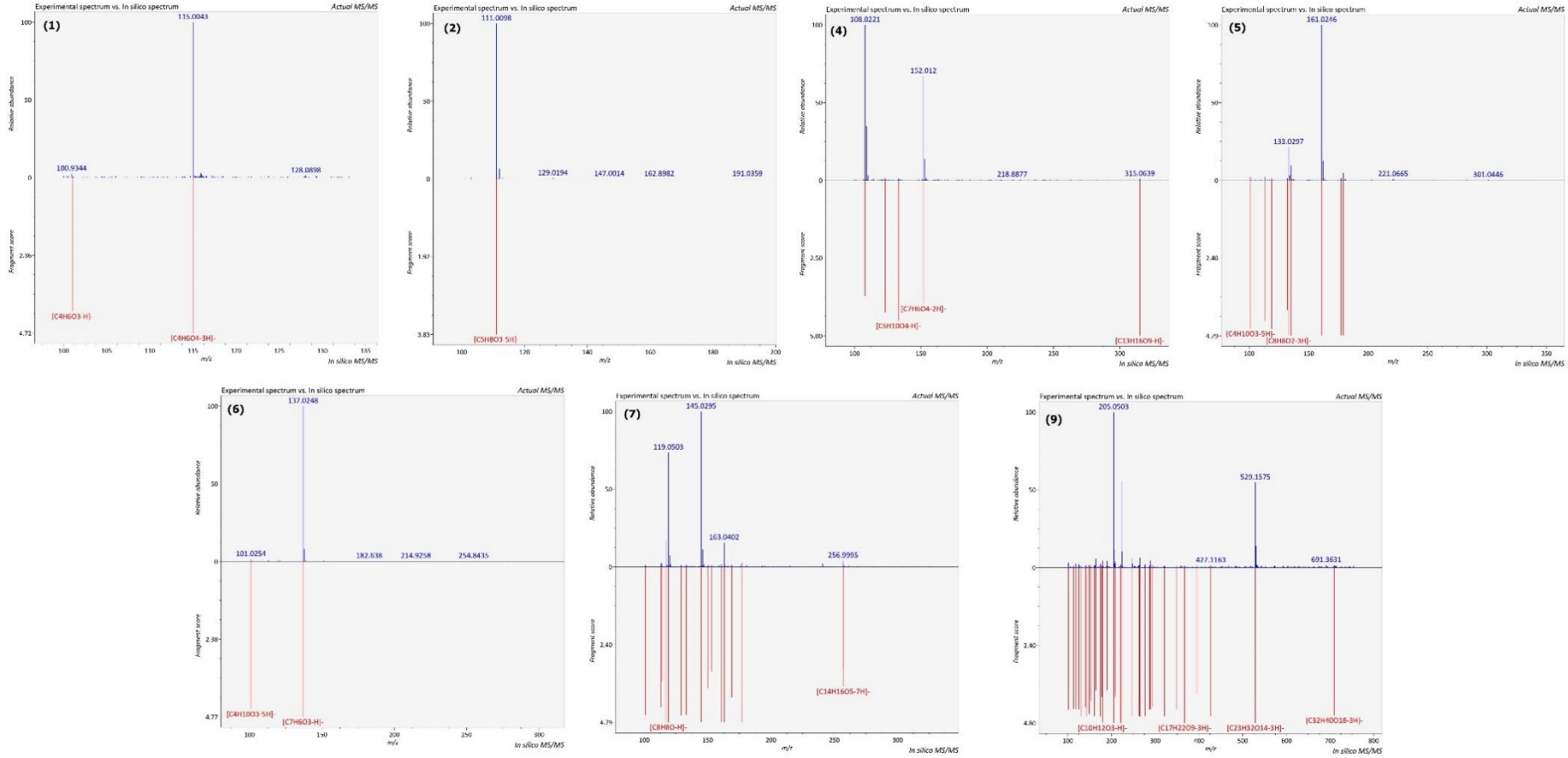
Слика П4. Резултати метаболомског профилисања приказани су *scatter plot* дијаграмом на основу ретенционог времена и *m/z* вредности (*Peak Spot Viewer*): **(a)** пре филтрирања; **(b)** након примене филтера и уклањања сигнала (моноизотопских маса) пореклом од фрагмената из blank-а; **(c)** *scatter plot* дијаграм са означеним моноизотопским масама једињења од интереса

Табела П1. Идентификација, структурна карактеризација и додатна потврда биоактивних једињења (органских киселина, фенолних једињења и глукозинолата) из листова дивље руколе различитих сорти и примењених фолијарних третмана применом софтвера MS-DIAL и MS-FINDER

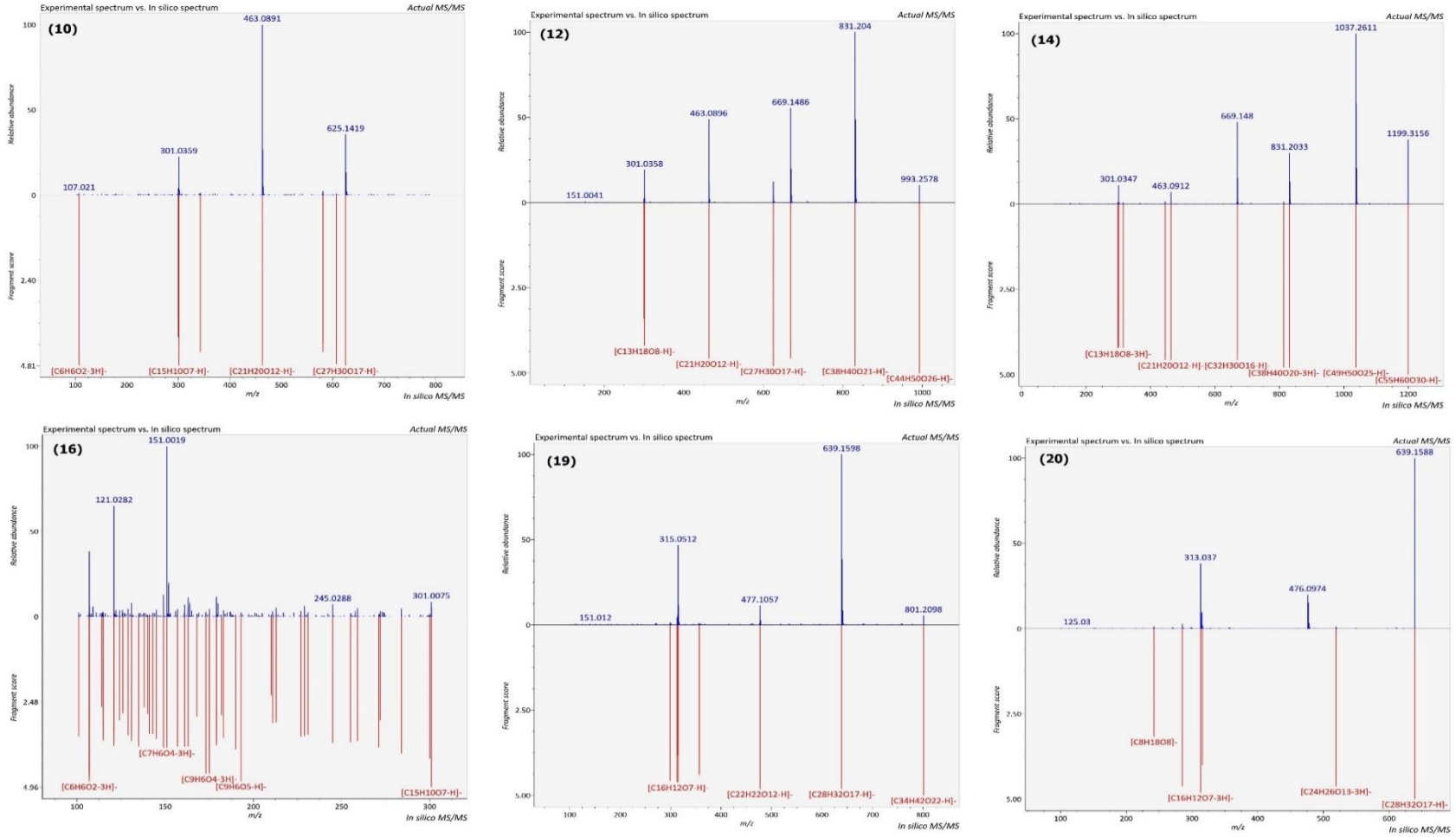
Број једињења	Условно идентификована једињења (из Табеле 28.)	Идентификовано једињење (потврђено) уз MS-FINDER**	Оцена према MS-FINDER-у (макс. = 10)	Тачна *m/z* маса (MS-DIAL)	Одређивање молекулске формуле (MS-FINDER)	Грешка (mDa)	Извор
		Органске киселине и деривати					
1	**Јабучна киселина**	*Јабучна киселина (L-јабучна киселина)*	6.47	133.0171	$C_4H_5O_5^-$	-2.35	1-8
2	**Лимунска киселина**	*Лимунска киселина (изоцитратна киселина)*	7.46	191.024	$C_6H_7O_7^-$	-3.57	1-8
		Phenolic acid and derivatives					
3	**Бензоил јабучна киселина**	/	/	237.0466	$C_{11}H_9O_6^-$	-5.44	/
4	**Дихидрокси-бензоева киселина хексозид**	*Гентизинска киселина-5-О-глукозид; Протокатехинска киселина 4-О-β-глукозид*	8.42; 8.32	315.0757	$C_{13}H_{15}O_9^-$	-2.24	1,2,4,6,7,8
5	**Кафеинска киселина хексозид**	*1-О-кафеоилглукоза; Кафеинска киселина 3-глукозид*	8.41; 8.22	341.0918	$C_{15}H_{17}O_9^-$	-3.49	1,2,4,6,8
6	**Хидрокси-бензоева киселина хексозид**	*4-хидроксибензоилглукоза*	8.08	299.0805	$C_{13}H_{15}O_8^-$	-4.36	1,2,4,6,7,8
7	***p*-кумаринска киселина хексозид**	*1-О-p-кумароил-β-D-глукоза; trans-o-кумаринска киселина 2-глукозид; trans-p-кумаринска киселина 4-глукозид*	8.11; 7.89; 7.89	325.0953	$C_{15}H_{17}O_8^-$	-2.41	1,2,4,6,7,8
8	**Синапинска киселина хексозид**	*1-О-синапоилглукозид;*	7.04;	385.1177	$C_{17}H_{21}O_{10}^-$	-4.08	1,2,4,6,7,8

		trans-p-синапоил-β-D-глукопиранозид	6.76				
9	**Дисинапоил-дихексозид***	*3',6-дисинапоилсахароза*	6.98	753.2305	$C_{34}H_{41}O_{19}^-$	-5.55	1,4,8
		Флавоноли и деривати					
		Кверцетин деривати					
10	**Кверцетин 3,3',4'-три-*O*-хексозид***	*Кверцетин 3-глукозил-(1→2)-галактозил-(1→2)-глукозид*	8.52	787.2004	$C_{33}H_{39}O_{22}^-$	-6.85	1,2,4,6,7,8
11	**Кверцетин -3,7,4'-три-*O*-хексозид-3'-*O*-(6"-синапоил)-хексозид**	/	/	1155.3146	$C_{50}H_{59}O_{31}^-$	/	/
12	**Кверцетин -3,4'-ди-*O*-хексозид-3'-*O*-(6"-синапоил)-хексозид***	*UNPD196402*	6.68	993.2589	$C_{44}H_{49}O_{26}^-$	-8.04	1,4,8
13	**Кверцетин -3,4'-ди-*O*-хексозид-3'-*O*-(6"-ферулоил)-хексозид**	/	/	-	$C_{43}H_{47}O_{25}^-$	/	/
14	**Кверцетин -3-*O*-(2"-синапоил-хексозид)-3'-*O*-(6"-синапоил-хексозид)-4'-*O*-хексозид***	*Кверцетин 3-(2"-синапоилглукозид)-3'-(6"-синапоилглукозид)-4'-глукозид*	6.42	1199.3180	$C_{55}H_{59}O_{30}^-$	-9.33	1,8
15	**Кверцетин -3-*O*-(2"-ферулоил-хексозид)-3'-*O*-(6"-синапоил-хексозид)-4'-*O*-хексозид**	/	/	1169.3052	$C_{54}H_{57}O_{29}^-$	-5.90	/
16	**Кверцетин**	*Кверцетин*	7.55	301.0362	$C_{15}H_9O_7^-$	-0.82	1-8
		Кампферол и изорамнетин деривати					
17	**Кампферол-3,7,4'-три-*O*-хексозид + HCOOH**	/	/	817.2090	$C_{34}H_{41}O_{23}^-$	-5.19	/
18	**Кампферол-3,4'-ди-*O*-хексозид***	/	/	609.1510	$C_{27}H_{29}O_{16}^-$	-5.49	/
19	**Изорамнетин-3-*O*-хексозид-4'-*O*-гентобиозид**	*Брасикозид*	7.92	801.2156	$C_{34}H_{41}O_{22}^-$	-4.70	1,2,4,8
20	**Изорамнетин-3,4'-ди-*O*-хексозид**	*Изорамнетин 3-глукозил-(1→2)-галактозид*	7.80	639.1617	$C_{28}H_{31}O_{17}^-$	-6.03	1,2,4,8
		Глукозинолати (GLSs)					
25	**Глукосативин (4-меркаптобутил GLS)**	*4-Mercaptobutyl glucosinolate*	6.47	406.0334	$C_{11}H_{20}NO_9S_3^-$	-3.03	1,2,4,6,8
26	**Глукоеруцин**	*Глукоеруцин*	7.00	420.0486	$C_{12}H_{22}NO_9S_3^-$	-3.78	1,2,4,6,8
27	**Неоглукобрасицин**	*Неоглукобрасицин*	6.89	477.0677	$C_{17}H_{21}N_2O_{10}S_2^-$	-2.68	1,2,4,6,7,8
28	**Димерни 4-меркаптобутил GLS (DMB-GLS)**	/	/	811.0580	$C_{22}H_{39}N_2O_{18}S_6^-$	/	/
		Остала детектована једињења					
29	**1,8-дипропоксиантрахинон**	/	/	323.1361	$C_{20}H_{19}O_4^-$	-7.32	/

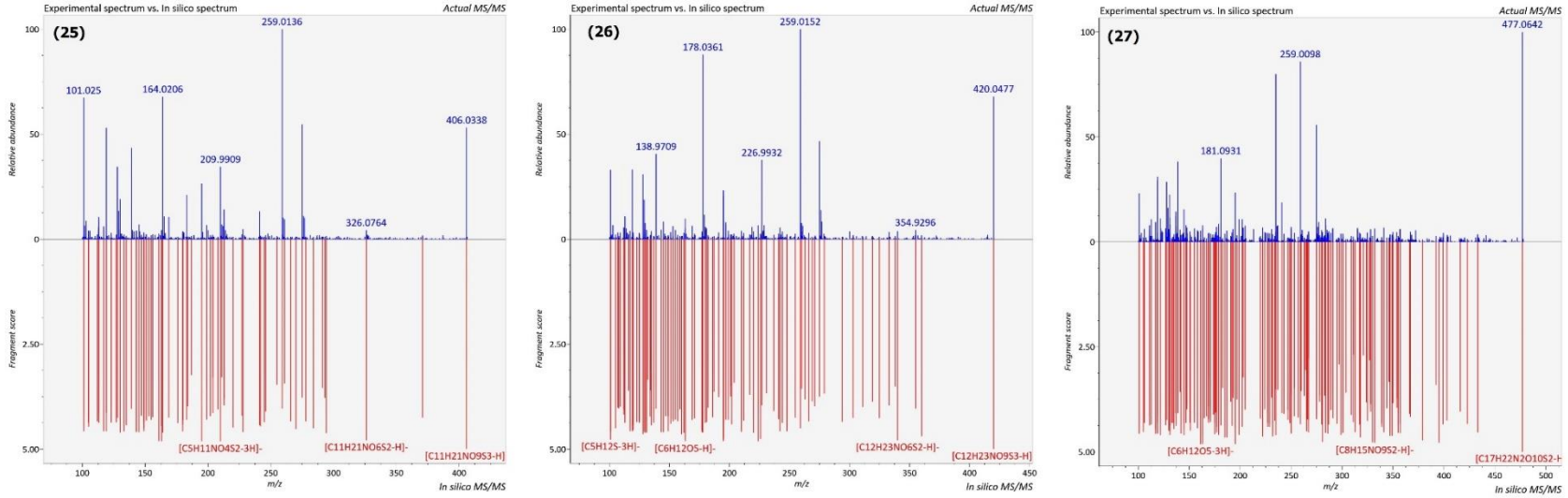
Извори: KNApSAcK (1), ChEBI (2), DrugBank (3), FooDB (4), STOFF (5), PubChem (6), PlantCyc (7), UNPD (8); *Највероватнија структура идентификованог једињења. „/" – једињење није идентификовано помоћу MS-FINDER софтвера



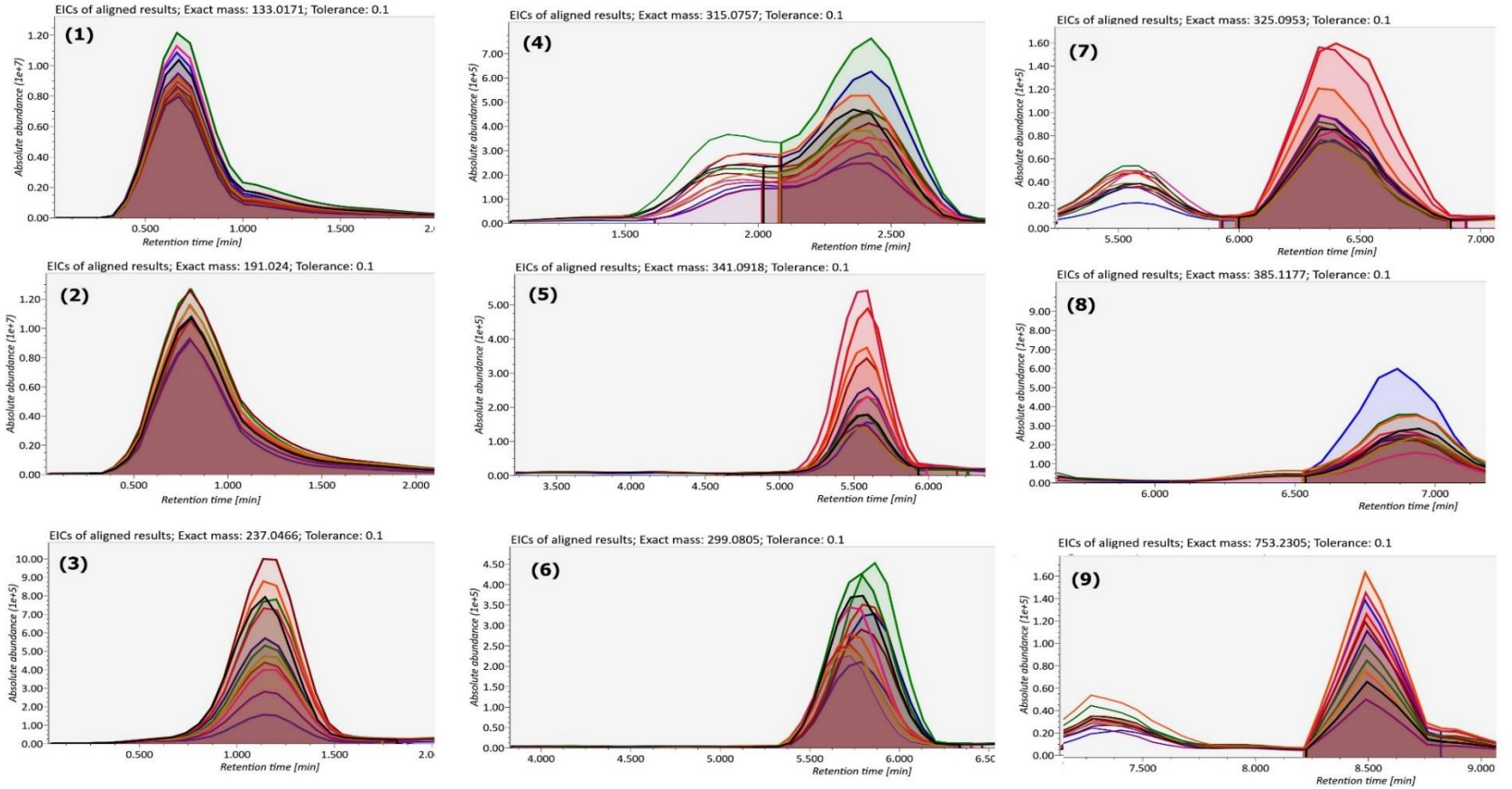
Слика П5. Експериментални и *in silico* спектри органских киселина и фенолних киселина идентификованих/потврђених помоћу софтвера MS-FINDER (једињења 1, 2, 4, 5, 6, 7 и 9 у **Табели П1.**)



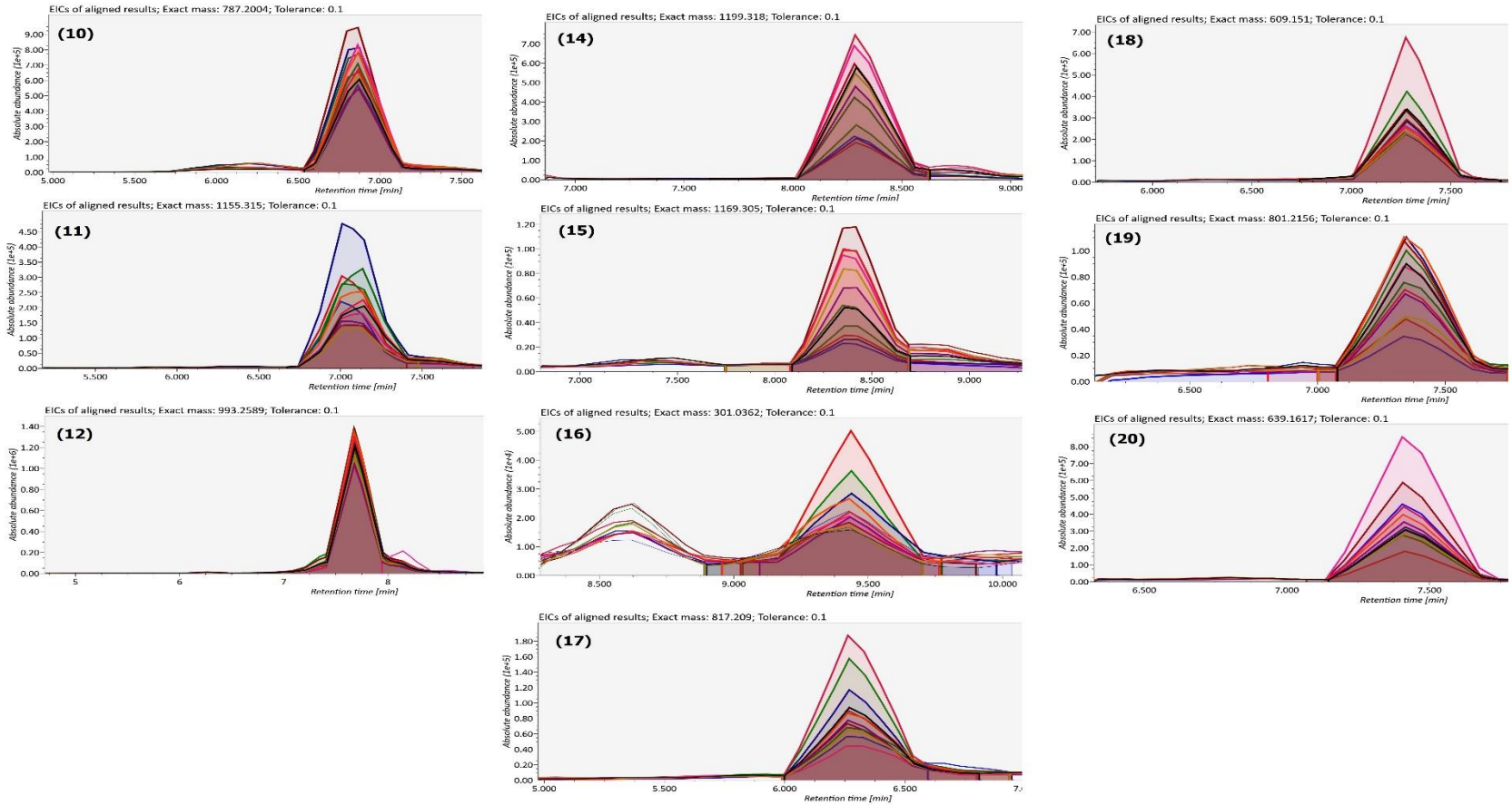
Слика П6. Експериментални и in silico спектри флавоноида (флавонол агликона и деривата) идентификованих/потврђених помоћу софтвера MS-FINDER (једињења 10, 12, 14, 16, 19 и 20 у **Табели П1.**)



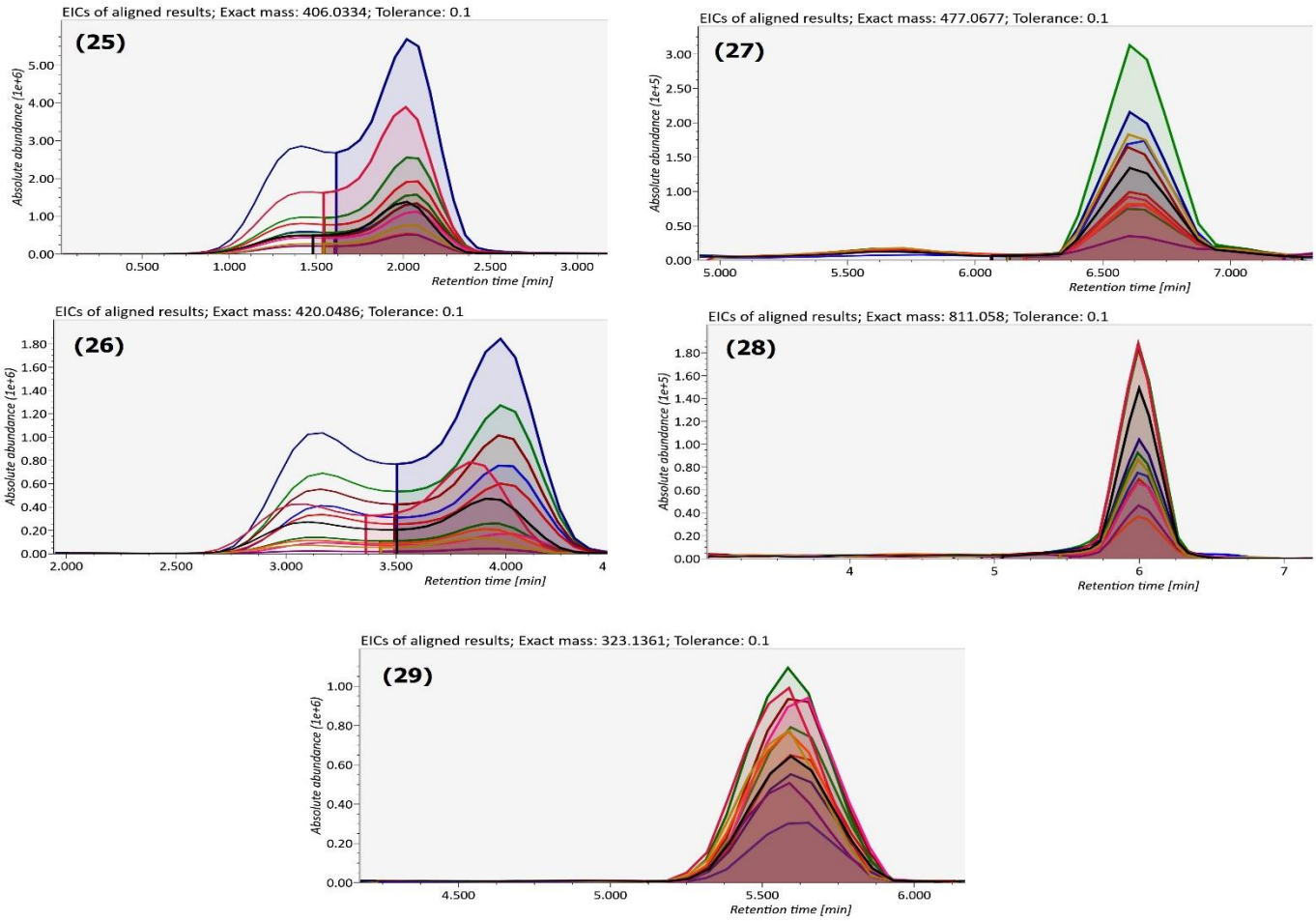
Слика П7. Експериментални и *in silico* спектри глукозинолата идентификованих/потврђених помоћу софтвера MS-FINDER (једињења 25, 26 и 27 у **Табели П1**)



Слика П8. Екстраховани пикови (јон хроматограми-EICs) свих узорака руколе, за масе које одговарају условно идентификованим органским киселинама и фенолним киселинама приказаним у Табели 28 и Табели П1: (1) јабучна киселина; (2) лимунска киселина; (3) бензоилјабучна киселина; (4) хексозид дихидроксибензојеве киселине; (5) хексозид кафеинске киселине; (6) хексозид хидроксибензојеве киселине; (7) хексозид *p*-кумаринске киселине; (8) хексозид синапинске киселине; (9) дисинапоил-дихексозид. Површине пикова за свако једињење упоређене су између узорака, нормализоване, обрађене под истим условима и извезене из софтвера MS-DIAL



Слика П9. Екстраховани пикови (јон хроматограми-EICs) свих узорака руколе, за масе које одговарају претпостављено идентификованим флавоноидима приказаним у **Табели 28** и **Табели П1**: (10) кверцетин 3,3',4'-три-*O*-хексозид; (11) кверцетин 3,7,4'-три-*O*-хексозид-3'-*O*-(6"-синапоил)-хексозид; (12) кверцетин 3,4'-ди-*O*-хексозид-3'-*O*-(6"-синапоил)-хексозид; (14) кверцетин-3-*O*-(2"-синапоил-хексозид)-3'-*O*-(6"-синапоил-хексозид)-4'-*O*-хексозид; (15) кверцетин-3-*O*-(2"-ферулоил-хексозид)-3'-*O*-(6"-синапоил-хексозид)-4'-*O*-хексозид; (16) кверцетин; (17) кампферол-3,7,4'-три-*O*-хексозид + HCOOH; (18) кампферол-3,4'-ди-*O*-хексозид; (19) изорамнетин-3-*O*-хексозид-4'-*O*-гентобиозид; (20) изорамнетин-3,4'-ди-*O*-хексозид. Површине пикова за свако једињење упоређене су између узорака, нормализоване, обрађене под истим условима и извезене из софтвера MS-DIAL



Слика П10. Екстраховани пикови (јон хроматограми-EICs) свих узорака руколе, за масе које одговарају претпостављено идентификованим глукозинолатима и другим једињењима приказаним у Табели 28. и Табели П1: (25) глукосативин (4-меркаптобутил GLS); (26) глукоеруцин; (27) неоглукобрасицин; (28) димерни 4-меркаптобутил GLS (DMB-GLS); (29) 1,8-дипропоксиантрахинон. Површине пикова за свако једињење упоређене су између узорака, нормализоване, обрађене под истим условима и извезене из софтвера MS-DIAL

Биографија аутора

Софија Килибарда рођена је 27. априла 1993. године у Београду, где је завршила основну школу и Земунску гимназију. Звање дипломираног, а потом и мастер инжењера пољопривреде стекла је на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду. Школске 2019/2020. године уписује докторске академске студије на истом факултету, на студијском програму Пољопривредне науке, определивши се за модул Ратарство и повртарство, где остварује просечну оцену 10,00. Током докторских студија постаје стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије и стиче звање истраживач приправник. Као демонстратор ангажована је у извођењу наставе (вежби) из више предмета на различитим модулима. Учествовала је у реализацији више националних и међународних пројеката, укључујући пројекат Фонда за науку Републике Србије „Novel Raman chemometrics-based approach in food quality assessment: carotenoids as model nutrients for application to functional products“ (R-SPECT, #7750160), као и Erasmus+ пројекат „HEAL-in-ONE“. Током докторских студија активно учествује на радионицама, као и на националним и међународним научним скуповима. До сада је, као аутор и коаутор, објавила 80 научних радова, од чега 11 радова у часописима са SCI листе категорија M21a, M21, M22 и M23. Коаутор је поглавља у књигама водећих издавача (M13), ангажована је и као рецензент научних радова. Добитник је награде за најбоље усмено излагање младих научника на научном скупу, додељене од стране издавачке куће MDPI. Члан је организационих одбора више националних и међународних научних скупова. Тренутно је запослена као асистент на Катедри за ратарство и повртарство Пољопривредног факултета Универзитета у Београду.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора: Софија Килибарда

Број индекса: RA190007

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом:

Производне карактеристике, фитохемијски профил и антиоксидативна својства дивље руколе (*Diplotaxis tenuifolia*)

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

У Београду, _____ **Потпис аутора**

_____

Изјава о истоветности штампе и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: Софија Килибарда

Број индекса: RA 190007

Студијски програм: Пољопривредне науке

Наслов рада: Производне карактеристике, фитохемијски профил и антиоксидативна својства дивље руколе (*Diplotaxis tenuifolia*)

Ментор 1: проф. др Ђорђе Моравчевић

Ментор 2: проф. др Александар Ж. Костић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањивања у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду.**

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

У Београду, _____ **Потпис аутора**

_____

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Производне карактеристике, фитохемијски профил и антиоксидативна својства дивље руколе (*Diplotaxis tenuifolia*)

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци. Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

У Београду, _____ **Потпис аутора**

_____

1. **Ауторство**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима**. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.