

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

Ana-Marija Gotal Skoko

UTJECAJ PROFILA BIOAKTIVNIH KOMPONENTI
ODABRANIH TRADICIONALNIH I KOMERCIJALNIH
SORTI JABUKA NA MODULACIJU BIOSINTEZE PATULINA

DOKTORSKI RAD

Osijek, siječanj, 2026.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DOKTORSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek

Doktorski studij Prehrambena tehnologija i nutricionizam

Smjer: Prehrambena tehnologija

Zavod za prehrambene tehnologije

Katedra za tehnologiju ugljikohidrata

Franje Kuhača 18, 31000 Osijek, Hrvatska

UDK: 634.41 : 582.282.123.2 (043.3)

577.122.5 : 582.282.123.2 (043.3)

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Znanstvena grana: Inženjerstvo

Tema rada: prihvaćena je na I. sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek održanoj dana 31. listopada 2024.

Mentor: izv. prof. dr. sc. Ante Lončarić

UTJECAJ PROFILA BIOAKTIVNIH KOMPONENTI ODABRANIH TRADICIONALNIH I KOMERCIJALNIH SORTI JABUKA NA MODULACIJU BIOSINTEZE PATULINA

Ana-Marija Gotal Skoko, 0113141522

Sažetak: (najviše 200 riječi)

U ovom istraživanju analiziran je utjecaj bioaktivnih komponenti odabranih tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka na rast plijesni *Penicillium expansum* i produkciju patulina tijekom tri uzastopne kalendarske godine. Istraživanje je obuhvatilo pet tradicionalnih i pet komercijalnih sorti jabuka, a također je uključivalo utvrđivanje razlike između fizikalno-kemijskih svojstava, polifenolnog profila, antioksidacijske aktivnosti te ukupnih polifenola i flavonoida analiziranih sorti jabuka. Tijekom trogodišnjeg istraživanja utvrđena je otpornost odabranih sorti jabuka na rast i razvoj plijesni *P. expansum* tijekom šest mjeseci skladištenja te, u skladu s tim, udio patulina.

Rezultati su pokazali da, iako tradicionalne i komercijalne sorte jabuka imaju isti polifenolni profil, tradicionalne sorte imaju statistički značajno veći udio ukupnih polifenola, flavonoida, antioksidacijske aktivnosti te individualnih polifenola, osobito klorogenske kiseline, procijanidina B2, B1, epikatehina, floridzina te katehina. Ujedno, sorte s najvećim udjelom navedenih polifenola pokazale su najveću otpornost tijekom skladištenja na rast i razvoj plijesni *P. expansum* te produkciju patulina. Na produkciju patulina utjecao je kemijski sastav jabuka, koji uključuje udio ukupnih kiselina, topljive suhe tvari, pH vrijednosti, reducirajućih i ukupnih šećera te udio ukupnih flavonoida, individualnih polifenola, osobito floridzina, katehina, procijanidina B1 i epikatehina.

Ključne riječi: tradicionalne sorte jabuka, *Penicillium expansum*, polifenoli, patulin, antioksidacijska aktivnost

Rad sadrži: 218 stranica

71 slika
85 tablica
298 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Sastav Povjerenstva za ocjenu:

- | | | |
|----|----------------------|---------------|
| 1. | titula Ime i prezime | predsjednik |
| 2. | titula Ime i prezime | član |
| 3. | titula Ime i prezime | član |
| 4. | titula Ime i prezime | zamjena člana |

Datum obrane:

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Rektoratu Sveučilišta u Osijeku, Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu te u Gradskoj i sveučilišnoj knjižnici u Osijeku

BASIC DOCUMENTATION CARD

DOCTORAL THESIS

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Faculty of Food Technology Osijek

Doctoral Study Food Technology and Nutrition

Department of Food Technologies

Subdepartment of Carbohydrates Technology

Franje Kuhača 18, HR-31000 Osijek, Croatia

UDC: 634.41 : 582.282.123.2 (043.3)

577.122.5 : 582.282.123.2 (043.3)

Scientific area: Biotechnical sciences

Scientific field: Food technology

Thesis subject was approved by the Faculty Council of the Faculty of Food Technology at its session no. I. held on 31 October 2024.

Mentor: Ante Lončarić, PhD, associate prof.

THE INFLUENCE OF BIOACTIVE COMPOUNDS OF SELECTED TRADITIONAL AND COMMERCIAL APPLE VARIETIES ON THE MODULATION OF PATULIN BIOSYNTHESIS

Ana-Marija Gotal Skoko, 0113141522

Summary: (up to 200 words)

In this study, the influence of bioactive compounds from selected traditional and commercial apple cultivars on the growth of *Penicillium expansum* and patulin production was analyzed over three consecutive calendar years. The study included five traditional and five commercial apple cultivars. Also, it involved assessing differences in physicochemical properties, polyphenol profile, antioxidant activity, as well as total polyphenols and flavonoids among the analyzed apple cultivars. During the three-year study, the resistance of the selected apple cultivars to the growth and development of *P. expansum* over six months of storage was determined, as well as the patulin content accordingly.

The results showed that, although traditional and commercial apple cultivars have similar polyphenol profiles, traditional apple cultivars exhibit a statistically significantly higher content of total polyphenols, flavonoids, antioxidant activity, and individual polyphenols, particularly chlorogenic acid, procyanidin B2, B1, phloridzin, and catechin. Moreover, the cultivars with the highest levels of these polyphenols showed the greatest resistance during storage to the growth and development of *P. expansum* and to patulin production. Patulin production was influenced by the chemical composition of apples, which includes the content of total acids, soluble solids, pH, reducing and total sugars, as well as total flavonoids and individual polyphenols, particularly phloridzin, catechin, procyanidin B1, and epicatechin.

Key words: Traditional apple cultivars, *Penicillium expansum*, polyphenols, patulin, antioxidant activity

Thesis contains: 218 pages
71 figures
85 tables
298 references

Original in: Croatian

Review (Evaluation) committee:

- | | | |
|----|--|--------------|
| 1. | Name and surname, PhD, prof./associate prof./assistant prof. | chair person |
| 2. | Name and surname, PhD, prof./associate prof./assistant prof. | member |
| 3. | Name and surname, PhD, prof./associate prof./assistant prof. | member |
| 4. | Name and surname, PhD, prof./associate prof./assistant prof. | stand-in |

Defense date: date

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Food Technology Osijek, University of Osijek; Rector's office, University of Osijek; University Library in Zagreb and in University Library in Osijek

DOKTORSKI RAD JAVNO JE OBRANJEN DANA

Pred Povjerenstvom za obranu doktorskog rada:

1.

titula, Ime Prezime

predsjednik

(potpis)
2.

titula, Ime Prezime

član

(potpis)
3.

titula, Ime Prezime

član

(potpis)



Ovaj doktorski rad je izrađen u okviru projekta Hrvatske zaklade za znanost "Mogućnost iskorištavanja tradicionalnih sorti jabuka za proizvodnju jabuka i soka od jabuka sa smanjenim udjelom patulina" TRAPROCK (HRZZ-UIP-2020-02-8461).

Najiskrenije zahvaljujem svom dragom mentoru,

izv. prof. dr. sc. Ante Lončariću, na neprocjenjivoj podršci, povjerenju i stručnom vodstvu tijekom cijelog mog obrazovanja. Njegova nesebična pomoć, preneseno znanje i iskustvo bili su temelj mog profesionalnog i osobnog razvoja.

Cijenjenim članovima Povjerenstva iskreno zahvaljujem na konstruktivnim komentarima, koji su zasigurno unaprijedili kvalitetu ove disertacije.

Veliko hvala profesorima, asistentima i suradnicima Prehrambeno-tehnološkog fakulteta u Osijeku, kolegama s Agronomskog fakulteta Zagreb te Sveučilišta Sjever u Koprivnici na pomoći i suradnji tijekom izrade eksperimentalnog dijela disertacije.

Hvala mojim dragim prijateljicama Danieli, Zorici, Ivani, Mariji i svima ostalim na razumijevanju, podršci, razgovorima, smijehu i trenucima koji su ovaj put učinili ljepšim i lakšim.

Hvala mom suprugu Domagoju, sestrama i bratu na bezuvjetnoj ljubavi, strpljenju i podršci tijekom mog obrazovanja.

Najviše hvala mojim roditeljima, jer zbog njih sam danas ovdje gdje jesam!

Bez svih Vas, ovaj uspjeh ne bi imao jednako značenje i zato Vam od srca hvala!

Sadržaj

1.	UVOD	1
2.	TEORIJSKI DIO	5
2.1.	JABUKA	6
2.1.1.	Proizvodnja jabuka	7
2.1.2.	Tradicionalne sorte jabuka	8
2.1.3.	Kakvoća ploda jabuke	9
2.2.	ANATOMIJA PLODA JABUKE	10
2.3.	POLIFENOLI	14
2.3.1.	Biosinteza polifenola	15
2.3.2.	Kemijska struktura polifenola	18
2.4.	ANTIOKSIDACIJSKA AKTIVNOST	25
2.5.	ŠEĆERI	29
2.5.1.	Saharoza	29
2.5.2.	Fruktoza	30
2.5.3.	Glukoza	30
2.6.	SKLADIŠTENJE JABUKA	31
2.7.	<i>PENICILLIUM EXPANSUM</i>	34
2.7.1.	Biološke karakteristike plijesni <i>Penicillium expansum</i>	34
2.7.2.	Mikotoksini	36
3.1.	ZADATAK	46
3.2.	MATERIJALI	47
3.2.1.	Tradicionalne i komercijalne sorte jabuka	47
3.2.2.	Kemikalije i standardi	48
3.2.3.	Uređaji	49
3.3.	METODE	50
3.3.1.	Determinacija odabranih sorti jabuka	50
3.3.2.	Utvrđivanje agrometeoroloških prilika	50
3.3.3.	Analiza tla	51
3.3.4.	Priprema materijala za ekstrakciju	52
3.3.5.	Priprema kaše jabuka	53
3.3.6.	Određivanje suhe tvari sušenjem u vakuumu	53
3.3.7.	Mjerenje topljive suhe tvari refraktometrom	54

3.3.8. Određivanje kiselina iz kaše jabuke	54
3.3.9. Određivanje pH vrijednosti	55
3.3.10. Određivanje šećera po Luff-Schoorl-u	55
3.3.11. Određivanje teksture ploda jabuke	58
3.3.12. Određivanje aktiviteta vode (α_w)	58
3.3.13. Određivanje ukupnih polifenola u ekstraktu jabuke	59
3.3.14. Određivanje polifenolnog profila HPLC-PDA metodom.....	59
3.3.15. Određivanje ukupnih flavonoida	60
3.3.16. Određivanje ukupnih antocijana.....	60
3.3.17. Određivanje antioksidacijske aktivnosti.....	61
3.3.18. Određivanje otpornosti odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni <i>Penicillium expansum</i> CBS 325.48	65
3.3.19. Određivanje skladišne otpornosti odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni <i>P. expansum</i> CBS 325.48	65
3.3.20. Određivanje koncentracije patulina.....	66
3.3.21. Statistička obrada podataka	66
4. REZULTATI I RASPRAVA	67
4.1. Determinacija odabranih sorti jabuka	68
4.2. Agrometeorološke prilike	70
4.3. Fizikalno-kemijska i mikrobiološka analiza tla.....	76
4.4. Udio suhe tvari	80
4.5. Udio topljive suhe tvari	83
4.6. Udio ukupnih kiselina odabranih sorti jabuka.....	85
4.7. pH-vrijednosti odabranih sorti jabuka	87
4.8. Udio reducirajućih i ukupnih šećera.....	90
4.9. Tekstura ploda jabuke.....	95
4.10. Udio aktiviteta vode (α_w).....	99
4.11. Udio ukupnih polifenola.....	102
4.12. Udio ukupnih flavonoida.....	105
4.13. Polifenolni profil odabranih sorti jabuka	109
4.14. Antioksidacijska aktivnost odabranih sorti jabuka.....	147
4.15. Otpornost jabuka na infekciju s plijesni <i>Penicillium expansum</i>	154
4.16. Skladišna otpornost jabuka na infekciju s plijesni <i>Penicillium expansum</i>	164
4.18. Udio patulina u odabranim sortama jabuka.....	174

5. ZAKLJUČAK	177
6. LITERATURA	181

Popis oznaka, kratica i simbola

ABTS 2,2-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonat)

α_w aktivitet vode (engl. *Water activity*)

ANR antocijanidin reduktaza

DPPH 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil

DW Količina izražena na masu osušenog voća (engl. *Dry Weight*)

HPLC Tekućinska kromatografija visoke djelotvornosti (engl. *High-Performance Liquid Chromatography*)

PDA detektor (engl. *Photo Dioda Array Detector*)

ROS reaktivne vrste kisika

RNS reaktivne vrste dušika

TPC udio ukupni polifenoli (engl. *Total Polyphenol Content*)

MRM (engl. *Multiple Reaction Monitoring*)

TFC udio ukupnih flavonoida (engl. *Total Flavonoid Content*)

AOA Antioksidacijska aktivnost (engl. *Antioxidative Activity*)

LDL Lipoprotein niske gustoće (engl. *Low Denisty Lipoprotein*)

NA normalna atmosfera (engl. *Normal Atmosphere*)

CA kontrolirana atmosfera (engl. *Controlled Atmosphere*)

GLA D-glukonska kiselina (engl. *D-gluconic Acid*)

GOX enzim glukoza oksidaza (engl. *Enzyme Glucose Oxidase*)

1. UVOD

Jabuke su jedna od ekonomski najvažnijih voćnih vrsta na svijetu. Kao sirovina za proizvodnju širokog spektra prehrambenih proizvoda, odnosno kao namirnica, dostupne su tijekom cijele godine zahvaljujući mogućnosti dugotrajnog skladištenja u hladnjačama (Jakobek i sur. 2020.). Tijekom skladištenja dolazi do stvaranja gubitaka, budući da su jabuke podložne bakterijskim i gljivičnim infekcijama do kojih dolazi već u voćnjaku tijekom uzgoja, a koje se očituju nakon berbe, tijekom skladištenja. Procjenjuje se da je od 25 do 50 % gubitaka voća uzrokovano gljivičnim infekcijama, pri čemu je najčešći uzročnik plijesan *Penicillium expansum*. Osim što stvara ekonomske gubitke, ova plijesan predstavlja prijetnju za sigurnost hrane, odnosno zdravlja ljudi jer sekundarnim metabolizmom producira mikotoksin patulin (Carmona-Hernandez i sur. 2019.; Kovač i sur. 2020.; Li i sur. 2020.; Sohrabi i sur. 2022.). S obzirom na navedeno, sadržaj patulina u hrani regulirana je zakonom. Maksimalno dopuštene koncentracije patulina iznose do 50 µg/kg u soku od jabuke i jabučnom soku te 25 µg/kg u čvrstim proizvodima od jabuke i proizvodima za dojenčad i djecu (EC Commission Regulation, 2006). S obzirom na to da konzumacija proizvoda od jabuka započinje u od najranijoj dobi, prisutnost patulina u proizvodima na bazi jabuka izaziva veliku zabrinutost javnosti u pogledu sigurnosti hrane. S druge strane, konvencionalne metode kontrole gljivičnih infekcija primjenom fungicida predstavljaju potencijalni rizik za ljudsko zdravlje (Zhong i sur. 2018.). Kako bi se taj rizik smanjio, posljednjih su desetljeća istraživači usmjerili napore na razvoju strategija za smanjenje kontaminacije patulinom u proizvodima od jabuke. Jedna od takvih strategija jest kontrola rasta plijesni *P. expansum* odabirom sorti jabuka otpornijih na ovu zarazu. Glavni čimbenici koji utječu na biosintezu patulina u jabukama uključuju pogodne vanjske uvjete, izloženost plijesni *P. expansum* te podložnost sorte na bolesti (Gal i sur. 2025.). Klimatski čimbenici, poput oborina, mogu izravno utjecati na prinos, kvalitetu, aromu, okus, čvrstoću mesa jabuke i pojavnost bolesti (Zheng i sur. 2021.; Liu i sur. 2023.). Karakteristike ploda, poput veličine, boje kore, debljine kore i količine kutikularnog voska, djeluju kao implicitni čimbenici i tolerancije sorte na zarazu plijesni *P. expansum* i biosintezu patulina. Osim toga, čvrstoća kore i mesa jabuke, kao i faktor aktivnosti vode, pH, sadržaj organskih kiselina te stupanj zrelosti ploda, mogu značajno utjecati na biosintezu patulina. Šećeri, osobito saharoza, predstavljaju ključan dio topljive suhe tvari koja modulira nakupljanje patulina u jabukama. Na osnovi navedenoga može se zaključiti da pojavnost patulina u jabukama često korelira sa simptomima zaraze plijesni *P. expansum* te da ovisi o nizu čimbenika. Međutim, razumijevanje uloga tih čimbenika omogućuje razvoj učinkovitih mjera za kontrolu patulina (Xu i sur. 2022.; Benzai i sur. 2024.). Iako mehanizam otpornosti jabuka na gljivične infekcije nije do kraja

istražen, neka istraživanja su pokazala da sorte jabuka koje sadrže veći udio polifenola pokazuju i veću otpornost na zarazu uzrokovanu plijesni *P. expansum* (Delgado i sur. 2019.; Li i sur. 2020.; Lončarić i sur. 2021.). Primjerice, polifenoli prisutni u jabukama su uključeni u odgovor biljke na zarazu s plijesni *P. expansum* i producirani patulin kroz uklanjanje slobodnih radikala induciranih patulinom. Istraživanje 24 sorte jabuka otkrilo je da flavonoli i procijanidin B2 iz kore i mesa jabuke imaju značajnu ulogu u otpornosti jabuka na zarazu s *P. expansum* (Ahmadi-Afzadi i sur. 2015.). Viša koncentracija epikatehina i procijanidina B1 također je pronađena u rezistentnoj *M. sieversii* PI 369855, u usporedbi s osjetljivijom sortom 'Golden Delicious' (*M. domestica*) (Sun i sur. 2017.). Oba istraživanja podupiru tezu da polifenolni spojevi pozitivno pridonose otpornosti jabuka na zarazu s plijesni *P. expansum*. Shodno tome, sve veći broj znanstvenika usmjeren je na istraživanje kemijskog sastava tradicionalnih sorti jabuka. Na temelju dosadašnjih istraživanja, tradicionalne sorte jabuka pokazale su veću otpornost na zarazu uzrokovanu plijesni *P. expansum* (Mihaljević i sur. 2021.; Gotal Skoko i sur. 2024.). Tradicionalne i komercijalne sorte jabuka imaju slične skupine polifenola, poput flavonoli, fenolne kiseline, flavan-3-oli, antocijanini i dihidrokalkoni. Unatoč tim sličnostima, istraživanja su pokazala određene razlike, tradicionalne sorte jabuka sadrže veće udjele pojedinačnih polifenolnih spojeva, kao što su procijanidina B1 i B2, katehina, epikatehina, klorogenske kiseline, kvercetin-3-rutinozida i drugih (Jakobek i sur. 2020.; Ceci i sur. 2021.). Uz veći broj polifenolnih spojeva, tradicionalne sorte imaju i veću antioksidacijsku aktivnost u odnosu na komercijalne sorte (Jakobek i sur. 2020.; Kaeswurm i sur. 2023.). Također, tradicionalne sorte jabuka pokazale su i određenu gensku otpornost na temperaturne promjene, biljne bolesti i druge oblike abiotskog stresa (Snini i sur. 2016.; Nybom i sur. 2020.). Iako su dostupna brojna istraživanja u području fizikalno-kemijskog sastava ploda jabuke, fizikalno-kemijski sastav ploda Hrvatskih tradicionalnih sorti jabuka nije dovoljno istražen. Također, nedovoljno je znanstvenih istraživanja o utjecaju bioaktivnih komponenti tradicionalnih sorti jabuka na rast plijesni *P. expansum* i produkciju patulina.

S obzirom na navedeno, cilj ovog doktorskog radu je ispitati otpornost odabranih sorti jabuka na skladišnu zarazu tijekom šestomjesečnog perioda. U okviru istraživanja odredit će se otpornost sorti na infekciju uzrokovanu *P. expansum* te producirana koncentracija patulina. Također će se odrediti udio šećera, topljive suhe tvari, ukupna suha tvar, ukupni polifenoli, flavonoide, antocijanini, pH, tekstura ploda, aktivnost vode (α_w) te polifenolni profil odabranih sorti jabuka. Nakon temelju dobivenih rezultata odredit će se otpornije sorte jabuka te

procijeniti mogućnost njihovog korištenja za proizvodnju jabuka i proizvoda od jabuka uz manji rizik od razvoja plijesni *P. expansum*.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. JABUKA

Jabuka, lat. *Malus domestica* Borkh., jedna je od najuzgajanih jestivih biljnih vrsta u svijetu, s više od 8000 različitih sorti. Smatra se da potječe od divlje sorte jabuka, *Malus sieversii* Roem., koja se i danas može pronaći na području središnje Azije, na nadmorskim visinama oko 1200 m (Patočka i sur. 2020.). Nomadski način života ljudi na području Azije bio je ključan za širenje jabuke u druge zemlje (Luby, 2003). Jabuka pripada rodu *Malus*, potporodici *Maloideae* i porodici ruža (*Rosaceae*), kojoj također pripadaju šljive, maline, kruške, breskve, jagode i trešnje (Luby, 2003; Eccher i sur., 2014). Bile su omiljeno voće starih Grka i Rimljana, a njihova popularnost nije se smanjila ni do danas. Konzumirale su se svježe, ali su se više cijenile kuhane i dezintegrirane, uz dodatak začina i šećera, odnosno meda. Kroz povijest bile su poznate pod raznim nazivima, kao što su "zabranjeno voće", "voće znanja" i "voće koje obećava vječnu mladost" (Mateljan, 2009).

Stablo jabuke čine korijen, deblo i krošnja. Korijen ima osnovnu funkciju učvršćivanja voćke u tlu te fiziološke opskrbe vodom iz tla i u njoj otopljenim mineralnim tvarima. Deblo je nerazgranati dio voćke između korjenova vrata i krošnje, a njegova je osnovna funkcija provođenje i skladištenje hranjivih tvari. Prema visini debela, voćke se dijele na niskostablašice, srednjostablašice i visokostablašice. Krošnja predstavlja razgranati dio stabla, a sastoji se od skeletnih grana i ogranaka. Skeletne grane daju krošnji osnovni oblik, a čine ih provodnica i primarne grane. Ogranci su grane koje se razvijaju na skeletnim granama, a nose najmlađe izboje s pupovima, lišćem, cvjetovima i plodovima (Marini, 2009). Nadalje, pupovi prema organima koji će se iz njih razviti dijele na vegetativne, mješovite i generativne. Iz vegetativnih pupova razvijaju se mladice, korijen i lišće. Vegetativni pupovi mogu biti drvni i lisni. Iz generativnih pupova razvijaju se cvijet i cvat, dok se iz mješovitih razvijaju mladice s listovima i cvjetovima. Generativni pupovi mogu biti cvjetni, cvatni ili mješoviti (Andrés i Koskela, 2021; Luby, 2003). Vegetativni organ u kojem se odvijaju fotosinteza, disanje i transpiracija je list jabuke. Osnovni dijelovi lista su rukavac, peteljka i plojka (Fan i sur. 2025.). Nadalje, cvijet se dijeli na stapku, cvjetnu ložu, čašku, vjenčić, tučak i prašnik. Tučak, ženski rasplodni organ, sastoji se od plodnice, vrata i njuške. Površina tučka bogata je hranjivim tvarima kao što su polisaharidi, šećeri i glikoproteini, koji omogućuju pričvršćivanje peludnih zrnaca. Vrat tučka može biti jednostruki ili višestruki (Steven i sur. 2018.). Od mnogih različitih biljnih struktura i organa, cvjetovi predstavljaju jednu od najprivlačnijih meta istraživanja biljnog fitobioma. Iako su drugi biljni organi dostupni tijekom cijele sezone, cvjetovi su prolazna struktura koja služi kao reproduktivni organ biljke. Razvoj cvjetova često traje samo kratko, od nekoliko dana

do nekoliko tjedana. Nakon oplodnje, plodovi počinju rasti. Prosječna masa ploda iznosi od 150 do 160 g. Plodovi se mogu razlikovati prema veličini, boji, obliku, sadržaju nutritivnih tvari i drugim svojstvima (Luby, 2003). Sorte jabuka s obzirom na vrijeme dozrijevanja se dijele na: ljetne (rane), jesenske (srednje) i zimske (kasne) sorte. Razlika između ljetnih i zimskih sorti očituje se u činjenici da su ljetne sorte namijenjene za potrošnju odmah nakon berbe ili se mogu čuvati u hladnjači kraće vrijeme. S druge strane, jesenske i zimske sorte, ako se ubere u optimalnom roku berbe, mogu se čuvati u hladnjači nekoliko mjeseci, pa čak i do godinu dana (Morariu i sur. 2025.; Sjöstrand i sur. 2025.).

2.1.1. Proizvodnja jabuka

Jabuke se u ukupnoj svjetskoj proizvodnji voća nalaze na trećem mjestu, odmah iza agruma i banana. Proizvodnja jabuka u svijetu porasla je za oko 21 %, sa 77 na 93 milijuna tona u razdoblju od 2011. do 2021. godine (FAO, 2023). U 2021. godini Kina je bila najveći proizvođač jabuka, s udjelom od 49,37 % svjetske proizvodnje, a slijede je Turska, SAD i Poljska (FAO, 2023). Iako postoji više od 8000 sorti, samo se nekoliko njih proizvodi i dostupno je za konzumaciju tijekom cijele godine. U Europskoj uniji, u razdoblju od 2017. do 2021. godine, glavne proizvedene sorte jabuka bile su 'Golden Delicious', 'Gala', 'Idared', 'Red Delicious' i 'Šampion' (Europska komisija, 2022). Tijekom 2019. godine svjetska dostupnost jabuka iznosila je 22 g po stanovniku dnevno, u rasponu od 37 g po stanovniku dnevno (Europa) do 5 g po stanovniku dnevno (Afrika) (FAO, 2022). Oko 70-75 % jabuka konzumira se kao svježe voće, dok se oko 25-30 % prerađuje u različite proizvode, poput sokova, koncentrata, jabučnog octa, liofiliziranih jabuka, džema od jabuka i sličnog (Zhang i sur. 2021.).

U prosjeku, godišnja proizvodnja jabuka u Hrvatskoj iznosi oko 60 000 tona, što zadovoljava veći dio domaće potražnje (**Tablica 1**). Tijekom 2022. godine, proizvodnja jabuka u intenzivnim nasadima (namijenjenima tržištu) iznosila je 46 811 tona, dok je u ekstenzivnim nasadima (namijenjenima vlastitim potrebama) iznosila 981 tonu. Već u 2023. godini bilježi se porast proizvodnje u intenzivnim nasadima na 66 215 tona, dok se proizvodnja u ekstenzivnim nasadima znatno smanjila, na svega 295 tona (Državni zavod za statistiku, 2023). Tradicionalne sorte jabuka koje se uzgajaju u ekstenzivnim nasadima u velikoj su mjeri neistražena, osobito s obzirom na njihova fizikalno-kemijska i pomološka svojstva te sastav bioaktivnih tvari. Stoga je ključno očuvati tradicionalne sorte jabuka ne samo kao vrijedan izvor genetske varijabilnosti i bioaktivnih spojeva, već i kao čimbenik biološke raznolikosti teritorijalnog područja na kojemu rastu.

Tablica 1 Proizvodnja voća (t) u Hrvatskoj od 2017. do 2023. godine (Državni zavod za statistiku, 2023)

Godina	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.	2022.	2023.
Jabuke	56 570	93 467	69 167	67 123	61 323	47 792	61 822
Kruške	2 796	3 671	2 581	5 184	3 858	2 187	732
Marelice	726	132	771	907	132	699	275
Trešnje	1 436	1 360	1 254	1 493	615	2 042	889
Višnje	8 770	8 301	5 872	6 503	5 620	6 467	4 439

2.1.2. Tradicionalne sorte jabuka

Tradicionalne sorte jabuka nekoć su bile široko rasprostranjene, no posljednjih desetljeća njihov se uzgoj znatno smanjio, što je dovelo do nestajanja autohtonih voćaka i gubitka dijela voćarske tradicije (Lončarić i Piližota 2014.). Iako tradicionalne sorte jabuka nemaju veliku komercijalnu vrijednost, one predstavljaju bogat izvor genetskog materijala, kao što su geni za otpornost na štetočine i mnoge bolesti (Purdešová i Dömötörová 2017.). Prilagođene su lokalnim klimatskim i okolišnim uvjetima uzgoja te pokazuju dobru otpornost na biotičke i abiotičke čimbenike stresa. Uzgajaju se pretežito u privatnim dvorištima i malim voćnjacima, gdje su lokalno prilagođene svom okruženju. Osim toga, odlikuju se dobrim morfološkim i pomološkim svojstvima, smanjenom potrebom za kemijskim tretiranjem tijekom uzgoja (Duralija i sur. 2021.). Također sadrže viši udio polifenola te pokazuju veću antioksidacijske aktivnosti u usporedbi s komercijalnim sortama (Lončarić i sur. 2020.). Tradicionalne i komercijalne sorte jabuka sadrže iste skupine polifenola, među kojima su fenolne kiseline, flavonoli, dihidrohalkoni, flavan-3-oli i antocijani. Unatoč navedenim sličnostima, tradicionalne sorte jabuka pokazale su bogat polifenolni profil, a izdvajaju se sljedeći polifenolni spojevi: epikatehin, kvercetin-3-rutinozid, klorogenska kiselina, procijanidini B1, B2, A2 i dr. (Jakobek i sur. 2013.; Lončarić i sur. 2020.). Udio fenolnih kiselina i flavanola kod komercijalnih sorti jabuka smanjen je procesom oplemenjivanja, što je rezultiralo smanjenjem enzimskog posmeđivanja i trpkoga okusa (Kschonsek i sur. 2018.). Plodovi tradicionalnih sorti jabuka često su komercijalno manje privlačni potrošačima. Ipak, u posljednjih je nekoliko godina zabilježena promjena prehrambenih navika potrošača, pri čemu se, osim vanjskog izgleda proizvoda, sve više vrednuju i njegova nutritivna svojstva koja mogu pozitivno utjecati na ljudsko zdravlje. Također, potrošači sve više traže proizvode koji su organski, ekološki prihvatljivi i s manje pesticida (Lončarić i sur. 2020.).

2.1.3. Kakvoća ploda jabuke

Kakvoća ploda jabuke definirana je teksturom, aromom, izgledom i nutritivnom vrijednošću. Aroma, izgled i tekstura predstavljaju čimbenike senzorske prihvatljivosti hrane. Dvije ključne karakteristike kvalitete voća koje utječu na preferencije potrošača su tekstura i okus (Sredojevic i sur. 2024.). Istraživanja su pokazala da kakvoća ploda ne ovisi samo o sorti i vremenu dozrijevanja, već i o boji, veličini ploda, stupnju zrelosti, vremenskim uvjetima, fiziološkom stanju stabla te karakteristikama tla. Nadalje, istraživanja su pokazala da veće jabuke, tamnije boje, dozrele u sjeni, sadrže veće količine nutritivnih tvari u usporedbi s manjim, svjetlijim plodovima koji su dozreli na suncu (Ma i sur. 2021.; Shi i sur. 2023.; Sredojevic i sur. 2024.). Plod jabuke sadrži prosječno 85 % vode, 0,26 % bjelančevina, 14 % ugljikohidrata, 2,4 % biljnih vlakana, aromatične tvari, flavonoide te limunsku i jabučnu kiselinu. Od vitamina sadrži vitamine skupine B, karotenoide, vitamin C i E, a od minerala kalij, magnezij, željezo, fosfor i kalcij. Udio minerala ovisno o sorti, načinu proizvodnje i regiji uzgoja. U **Tablici 2** prikazano je da kalij dominira mineralnim sastavom jabuke (116 mg/100 g), što je u skladu s Fotirić Akšić i sur. (2022), koji su otkrili da su kalij i cink dva dominantna minerala u jabukama uzgojenim u Norveškoj. U jabukama uzgojenim u Etiopiji te onima uvezenim iz Južne Afrike uočene su razlike u sadržaju minerala između crvenih i zelenih plodova. Plodovi zelenih jabuka sadržavali su veće količine kalcija i aluminija nego plodovi crvenih jabuka, dok je udio nikla bio viši u plodovima crvenih jabuka (Arnold i Gramza-Michalowska 2024.). Vitamini imaju značajnu ulogu u imunološkom sustavu čovjeka te pružaju zaštitu od različitih infekcija i upala (Alpert 2017.). Vitamini B kompleksa ključni su za pravilno funkcioniranje stanica organizma, pri čemu je vitamin B₃ najzastupljeniji vitamin prisutan u plodu jabuke. Vitamin C pridonosi jačanju imuniteta, sudjeluje u prevenciji anemije te djeluje kao antioksidans i sredstvo protiv starenja (Patocka i sur. 2020.). Udio vitamina C u jabukama ovisi o sorti. Kschonsek i sur. (2018) analizirali su 15 sorti jabuka te utvrdili da je najveća koncentracija vitamina C prisutna u kori jabuke. Među sortama 'Granny Smith', 'Golden Delicious' i 'Fuji Rose', najveći udio vitamina C imala je sorta 'Golden Delicious' (31,48 mg/100 g), dok je najniži udio imala sorta 'Granny Smith' (14,97 mg/100 g) (Asale i sur. 2021.). Nadalje, na udio vitamina C uvelike ovisi i o položaju ploda na stablu, odnosno nalazi li se unutar ili izvan krošnje. Prema istraživanju Feng i sur. (2014), plodovi smješteni izvan krošnje imali su od 1,6 do 1,9 puta veći udio vitamina C nego one koje su rasle unutar krošnje. Većina voća sadrži veći udio glukoze i fruktoze nego saharoze. Prema istraživanju Pires i sur. (2018), udio glukoze i fruktoze u jabukama bio je 6 puta veći od udjela saharoze. Sadržaj šećera u plodovima jabuke ovisi o nizu čimbenika,

uključujući klimatske uvjete, položaj ploda (Feng i sur. 2014.), genotip (Akagić i sur. 2019.), stupanj zrelosti, godišnje doba, razdoblje cvatnje, temperaturu, nadmorsku visinu, uvjete skladištenja (Raj i sur. 2021.) te intenzitet svjetlosti (Jing i sur. 2020.). Nadalje, tijekom analize organskih kiselina utvrđeno je da je jabučna kiselina bila najzastupljenija, zatim limunska (4,6 %), pirogroždana (0,4 %), oksalna (0,3 %), maleinska (0,3 %) te šikiminska kiselina (0,1 %) (Oszmiański i sur. 2020.). U Kini je analizirana 101 sorta jabuka, pri čemu je 85,8 % njih sadržavalo organske kiseline sljedećim redoslijedom: jabučna, oksalna, limunska, mliječna, jantarna te fumarna kiselina (Ma i sur. 2018.a).

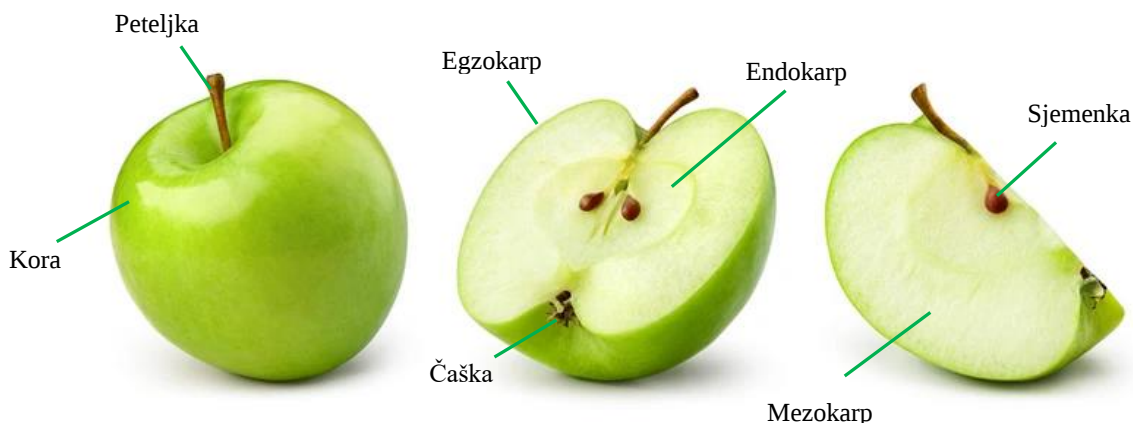
Tablica 2 Prosječni kemijski sastav ploda jabuke na 100 g ploda (Arya i sur. 2023.)

Sastav	Jedinica	Količina
Voda	g	83
Energija	kcal	62,38
Proteini	g	0,29
Ukupni lipidi (masti)	g	0,64
Ugljikohidrati	g	13,11
Ukupna prehrambena vlakna	g	2,59
Ukupni šećeri	g	11,12
Kalcij	mg	13,68
Željezo	mg	0,26
Magnezij	mg	8,09
Fosfor	mg	10,44
Kalij	mg	116,00
Natrij	mg	1,43
Cink	mg	0,09
Vitamin C, askorbinska kiselina	mg	3,57
Tiamin	mg	0,03
Riboflavin	mg	0,01
Niacin	mg	0,25
Vitamin B ₆	mg	0,04
Folati, DFE	μg	0
Vitamin E (α-tokoferol)	mg	0,02

2.2. ANATOMIJA PLODA JABUKE

Plod jabuke građen je od peteljke, kore, mesnatog usploda, sjeme lože, sjemenke i listića čaške (Luby, 2003) (**Slika 1**). Anatomija voća uglavnom se sastoji od perikarpa i sjemenke. Perikarp se sastoji od tri sloja: egzokarp, mezokarp i endokarp. Egzokarp predstavlja krajnji, vanjski sloj perikarpa ploda te se sastoji od kutikule, epidermisa, jednog od dva sloja stanica

subepidermalnog parenhima i prirodnog voska, koji ima funkciju zaštite od gubitka vode te obrane od insekata i mikroorganizama. Voskovi su lipofilni spojevi, koji su ugrađeni u matricu polimernog kutina, a taloženjem tvore epikutikularne slojeve. Oni predstavljaju glavnu barijeru za izmjenu plinova i vode te se dijele na prirodne i sintetske voskove (García-Coronado i sur. 2022.).



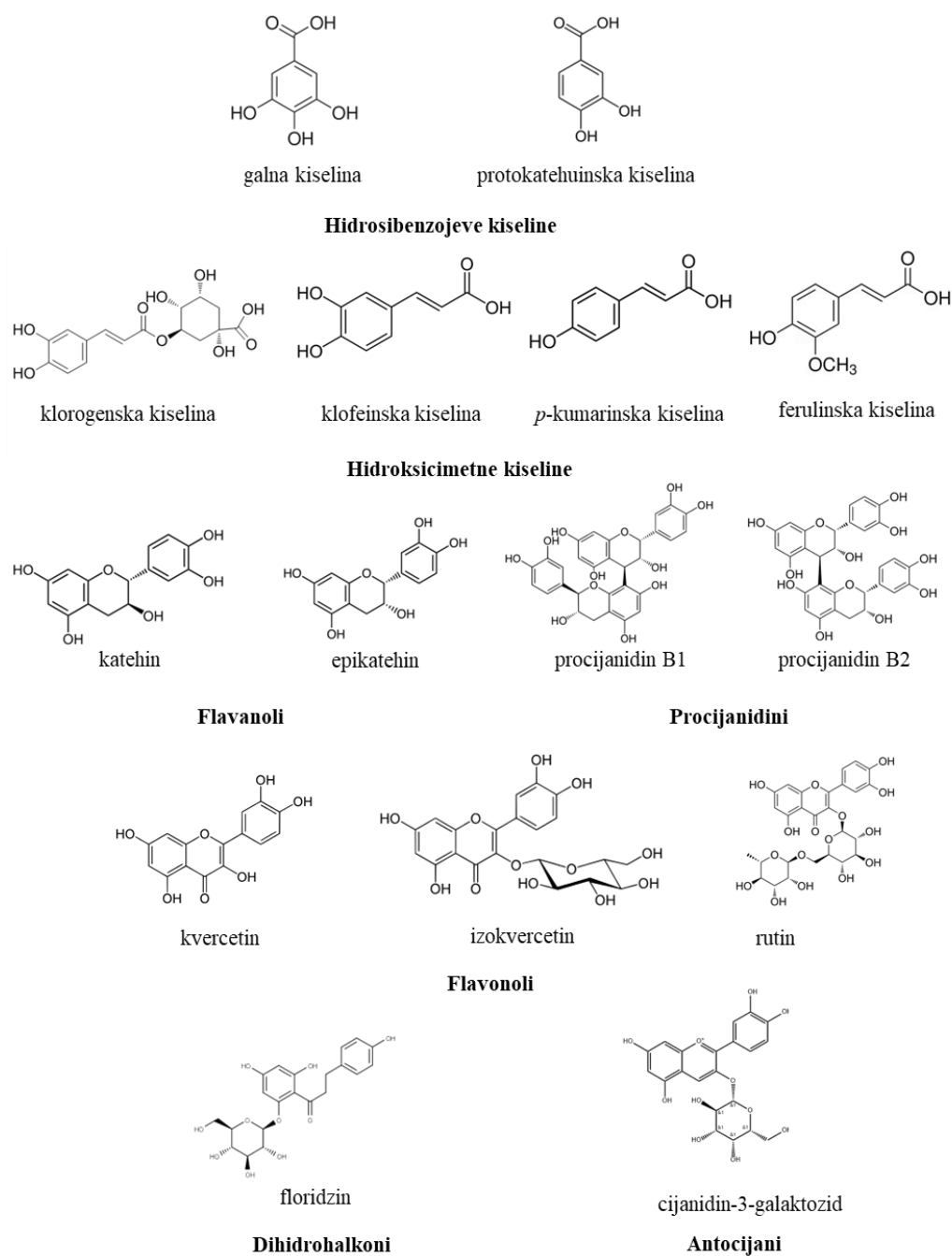
Slika 1 Građa ploda jabuke (Izvor: autor)

Nadalje, mezokarp jabuke je srednji sloj perikarpa, koji čini parenhimsko tkivo sastavljeno od stanica s organskim i anorganskim spojevima te predstavlja jestivi dio ploda. Sastoji se od dva do četiri sloja izduženih stanica, poredanih uzdužno, poprečno ili koso u plodu. Endokarp ploda jabuke građen je od vlaknastih stanica sa zadebljanim, nelignificiranim stijenkama i predstavlja unutarnji sloj perikarpa koji neposredno okružuje sjeme. Stanice ploda sastoje se od stanične stijenke i protoplasta (Bohinc i sur. 2022.). Stanična stijenka nalazi se izvan protoplasta i ima funkciju pružanja strukturne potpore i zaštite stanici. Stanična stijenka dijeli se na tri sloja: srednju lamelu, primarnu i sekundarnu staničnu stijenku. Funkcija srednje lamele je povezivanje primarnih staničnih stijenki susjednih stanica ploda, ona je tanka i bogata pektinom. Također, srednja lamela utječe na adheziju stanica i mehanička svojstva stanične stijenke. Primarna stanična stijenka bogata je hemicelulozom, pektinom i celulozom, dok sekundarna stanična stijenka predstavlja debeli sloj, također bogat celulozom (Su i sur. 2022.; Wang i sur. 2025.). U nezrelom stadiju ploda jabuke, stanične stijenke bogate su protopektinom čiji se udio postupno smanjuje tijekom dozrijevanja ploda, uslijed čega dolazi do povećanja udjela topljivog pektina, a tkivo ploda postupno postaje mekano.

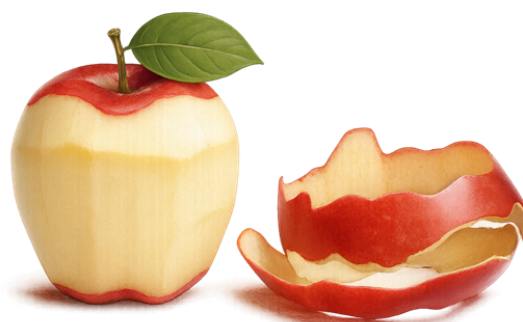
Nadalje, pigmenti se nalaze u plastidima biljaka, organelima s raznolikim fiziološkim i biokemijskim funkcijama. Boja kore jabuke određena je sadržajem antocijana, karotenoida i klorofila, kao i njihovom raspodjelom po površini kore (W. Wang i sur. 2020.). Klorofili i

karotenoidi su lipofilni spojevi koji doprinose boji (kore i mesa) ploda jabuke, a sintetiziraju se i akumuliraju u specijaliziranim organelama (kloroplastima i kromoplastima) unutar biljnih stanica. U zelenim sortama jabuka, karotenoidi se nalaze u kloroplastima, gdje je njihova boja maskirana većom prisutnošću klorofila, dok se kod žutih i crvenih sorti obično nalaze u kromoplastima. Crvene jabuke uglavnom akumuliraju cijanidin-3-*O*-galaktozid, reprezentativni antocijanin u kori jabuke odgovoran za pigmentaciju, u svojim epidermalnim stanicama tijekom procesa zrenja (Ryu i sur. 2022.). Sama boja ploda može ukazivati na zrelost, kvalitetu ili na potencijalno oboljenje. Na pigmentaciju izravno utječu čimbenici okoliša, poput temperature, nadmorske visine te izloženost svjetlosti (L. Wang i sur. 2020.).

Također, sadržaj polifenola u mesu i kori jabuke varira ovisno o sorti, lokaciji uzgoja, genetskim karakteristikama te okolišnim čimbenicima (Oszmiański i sur. 2018.). **Slika 2** prikazuje glavne skupine polifenola identificirane u jabuci, prema istraživanju Arnold i Gramza-Michalowska, (2024). Prema istraživanju Kschonsek *i sur.* (2018), u kori jabuke dominiraju flavonoli, koji čine više od 70 % ukupnog sastava, a slijede ih flavanoli, fenolne kiseline i floridzin. S druge strane, u mesu jabuke prevladavaju fenolne kiseline (više od 40 %), a slijede ih flavanoli i floridzin. Općenito, utvrđeno je da kora jabuke sadrži približno pet puta veći udio ukupnih polifenola u odnosu na meso ploda (Kalinowska i sur. 2020.). Nadalje, prema istraživanju Jakobek, García-Villalba i Tomás-Barberán, (2013), flavanoli i procijanidini činili su više od 70 % ukupnih polifenola u mesu i kori jabuke. Fenolne kiseline bile su uglavnom prisutne u mesu, zatim flavanoli i dihidrohalkoni (do 13 %). Antocijani su, pak, pronađeni isključivo u kori crvenih sorti jabuka. Prema istraživanju Bondonno *i sur.* (2020), u australskim jabukama ukupni procijanidini (uključujući flavanole i procijanidine) prevladavali su u sastavu mesa ploda jabuke (51,5 %), zatim hidroksicimetne kiseline (39,6 %). U kori, s druge strane, dominirali su flavonoli (66,7 %) te ukupni procijanidini (24,7 %).



- Epikatehin
- Procijanidin B2
- Klorogenska kiselina

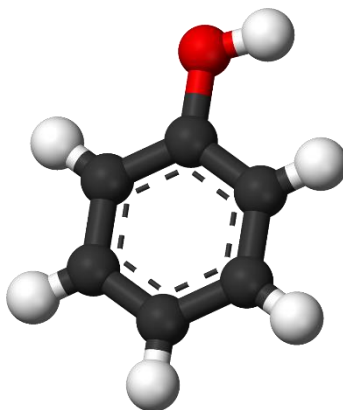


- Epikatehin
- Procijanidin B2
- Floridzin
- Kvercetin
- Cijanidin-3-galaktozid

Slika 2 Glave skupine polifenola prisutne u kori i mesu jabuke (Arnold i Gramza-Michalowska 2024.)

2.3. POLIFENOLI

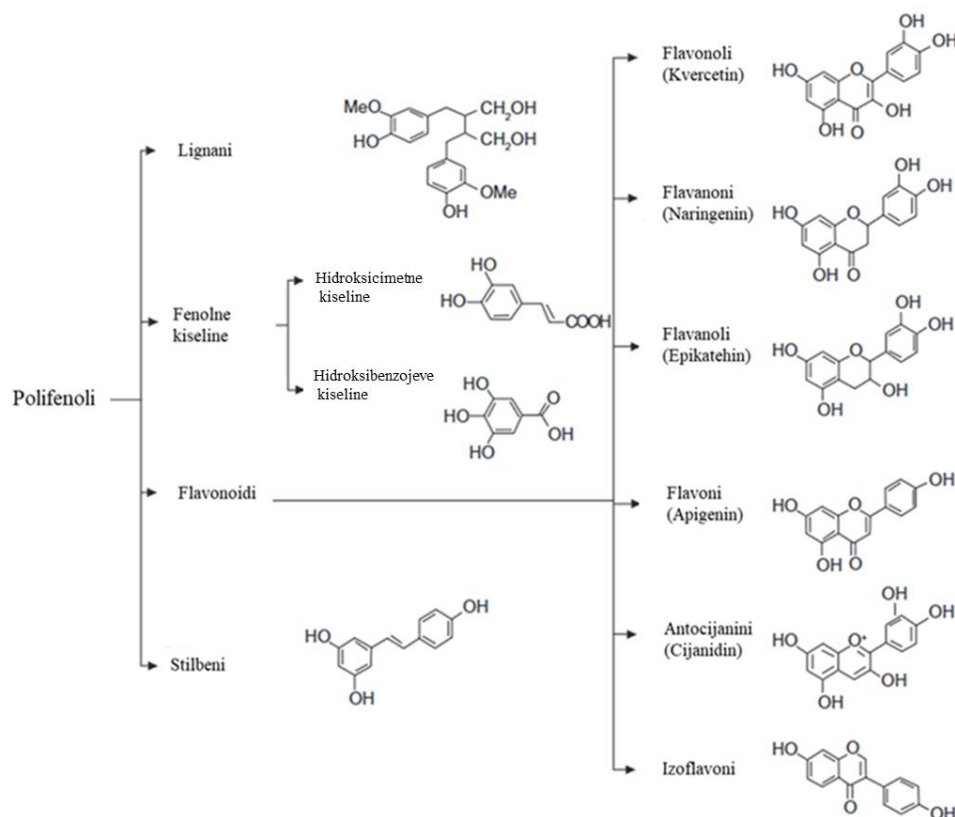
Polifenoli su prirodni spojevi koji sadrže najmanje jednu ili više hidroksilnih (-OH) skupina vezanih direktno na benzenski prsten (Haponska i sur. 2021.). Njihova opća formula je Ar-OH, gdje je Ar fenil, supstituirani fenil ili neka druga arilna skupina. Cijela skupina ima naziv po osnovnom predstavniku ove vrste, fenolu (**Slika 3**) (Stričević i Sever 2001.).



Slika 3 Kemijska struktura fenola (Khachay i sur. 2025.)

Polifenolni spojevi predstavljaju jednu od najbrojnijih i najraširenijih skupina spojeva prisutnih u biljkama. Do danas je identificirano više od 10 000 različitih polifenolnih spojeva, uključujući oblike topljive u vodi te one topljive ili netopljive u organskim otapalima (Singla i sur. 2019.). Polifenoli imaju ključnu ulogu u obrambenim mehanizmima biljaka te u njihovoj prilagodbi na različite abiotske i biotske stresne uvjete. Strukturno gledano, mogu biti jednostavni spojevi ili složeni polimeri, a klasificiraju se u različite klase i podklase na temelju kemijske strukture, broja fenolnih prstenova, položaja funkcionalnih skupina i tipu veza između tih skupina. Najjednostavniji predstavnik ove skupine je fenol. Ostali polifenoli jednostavnije kemijske strukture uključuju ksantone, fenolne kiseline, kumarine, kromone, benzokinine i stilbene (Balasundram i sur. 2006.; Šamec i sur. 2021.; Wang i sur. 2025.). Fenolne kiseline, osobito derivati hidroksibenzojeve kiseline i cimetne kiseline, karakterizira prisutnost jednog benzenskog prstena s bočnim lancem koji sadrži jedan ili tri ugljikova atoma (Tsimogiannis i Oreopoulou 2019.). Najzastupljenija fenolna kiselina u većini vrsta voća je kofeinska kiselina (Manach i sur. 2004.). S druge strane, flavonoidi imaju složeniju strukturu. U biljkama su široko rasprostranjene i dominantne tri podskupine flavonoida: flavonoli, antocijani i flava-3-oli (flavanoli) (Shen i sur. 2022.; Zagoskina i sur. 2023.). Uz monomerne polifenole, biljke sintetiziraju također i oligomerne i polimerne oblike. Među oligomerne polifenole ubrajaju se dimeri fenilpropanoida, flavona, flavonola i flava-3-ola, dok se u skupinu polimera ubrajaju

tanini, lignini i melanini (Yao i sur. 2021.; Han i sur. 2022.; Zagorskina i sur. 2023.). Na **Slici 4** prikazana je jedna od klasifikacija polifenolnih spojeva.

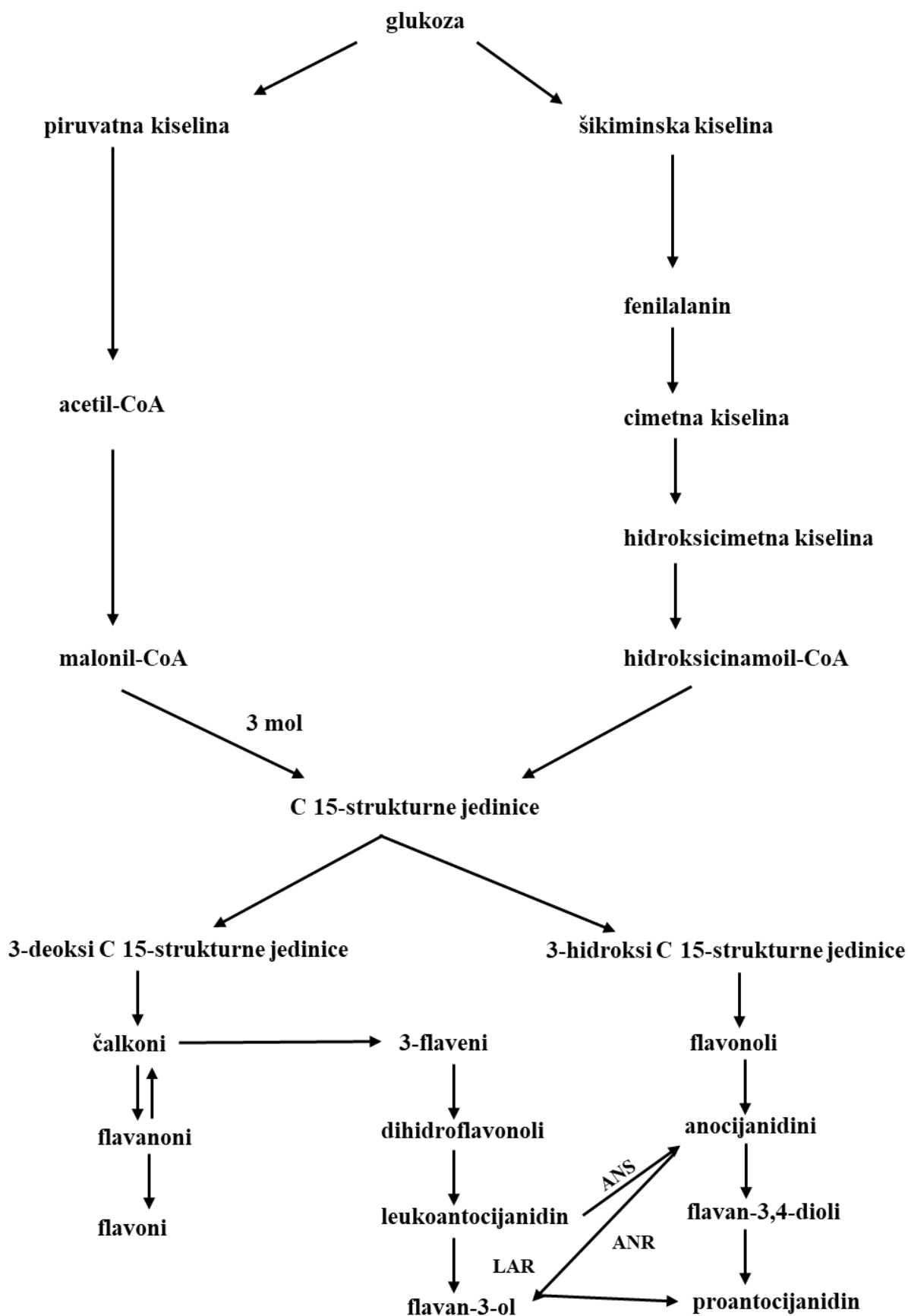


Slika 4 Klasifikacija polifenolnih spojeva (Martin 2009.)

2.3.1. Biosinteza polifenola

Polifenoli su najzastupljeniji sekundarni metaboliti prisutni u biljnom svijetu. Procjenjuje se da se približno 2 % ukupnog ugljika sintetiziranog u biljkama konvertira u flavonoide i srodne fenolne spojeve. Biosinteza polifenola odvija se putem dvaju glavnih metaboličkih putova: acilpolimalonatnog puta i putem šikiminske kiseline (Cheynier i sur. 2013.; Shen i sur. 2022.; Zagorskina i sur. 2023.). Šikiminska kiselina je ključni prekursor u biosintezi aromatskih aminokiselina, kao što su *L*-fenilalanin i *L*-triptofan, ali i brojnih polifenolnih spojeva. Glavni supstrati potrebni za sintezu šikiminske kiseline su proizvodi primarnog metabolizma: fosfoenolpiruvat iz glikolize i eritroza-4-fosfat iz pentoza-fosfatnog puta. Njihovom kondenzacijom nastaje 3-deoksi-*D*-arabinoheptuloza-7-fosfat, koji se dalje transformira u šikiminsku kiselinu. Daljnjim transformacijama šikiminske kiseline nastaju spojevi hidroksibenzojeve kiseline, uključujući *p*-hidroksibenzojevu, protokatehinsku i galnu kiselinu (Heleno i sur. 2015.; Valanciene i sur. 2020.). Početni spojevi u biosintezi flavonoida su fenilalanin, koji nastaje putem šikiminske kiseline, te malonil-CoA. Flavonoidi, kao krajnji

produkti biosintetskog puta, transportiraju se u različite subcelularne i ekstracelularne strukture. Prvi u biosintetskom nizu flavonoida su halkoni (C15), koji nastaju kondenzacijom *p*-kumaroil-CoA s tri molekule malonil-CoA. Na **Slici 5** prikazan je shematski prikaz biosinteze flavonoida. Naknadne reakcije hidroksilacije, redukcije i metilacije dovode do stvaranja različitih strukturnih varijanti flavonoida. Postoje dva moguća biosintetska puta za nastanak flavan-3-ola, a u oba slučaja polazna tvar je leukoantocijanidin. Djelovanjem enzima leukoantocijanidin reduktaze (LAR) iz leukoantocijanidina nastaju *trans*-izomeri flavanola. Leukoantocijanidin se djelovanjem enzima antocijanidin sintaza (ANS) transformira u antocijanidine, iz kojih nastaju *cis*-izomeri flavanola u reakciji koju katalizira antocijanidin reduktaza (ANR) (Zhao i sur. 2017.; Lu i sur. 2021.).

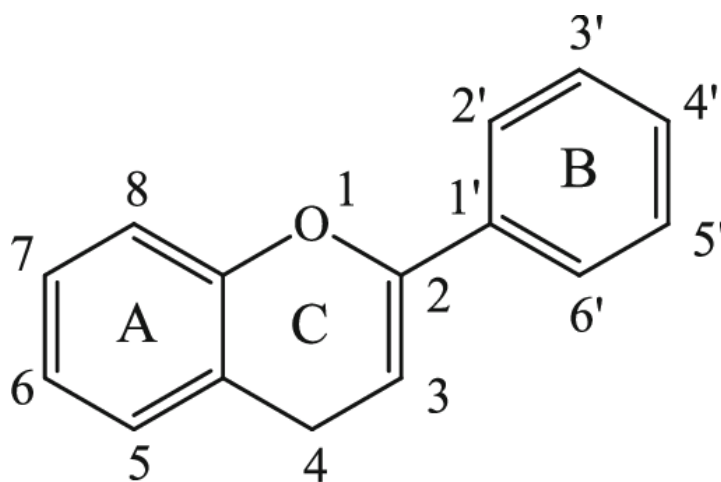


Slika 5 Biosinteza flavonoida (Wollgast i Anklam 2000.)

2.3.2. Kemijska struktura polifenola

2.3.2.1. Flavonoidi

Flavonoidi predstavljaju jedno od glavnih skupina sekundarnih biljnih metabolita. Građeni su od tri prstena, od kojih su dva benzenska (prsten A i prsten B), dok treći predstavlja heterociklički piranski prsten (prsten C), koji se sastoji od tri atoma ugljika i jednog atoma kisika te povezuje prva dva (Slika 6). Ovisno o stupnju nezasićenosti i stupnju oksidacije prstena C, flavonoidi se razvrstavaju u različite podgrupe: flavoni, flavonoli, flavan-3-oli, flavanonoli, flavanoni, halkoni, flavani, dihidrohalkoni, izoflavoni i antocijanidini (Shen i sur. 2022.; Hu i sur. 2025.) (Slika 7). Flavonoidi se u biljkama mogu nalaziti u slobodnom obliku, ali su češće prisutni u obliku derivata, koji nastaju biokemijskim procesima poput glikozidacije, acetilacije, metilacije i polimerizacije, što izravno utječe na njihovu stabilnost, topljivost i bioaktivnost. Oblik u kojem će se pojedini flavonoid nalaziti u biljci ovisi o vrsti biljnog tkiva te o lokalizaciji unutar biljke. Primjerice, flavonoidi koji se akumuliraju na površinskim dijelovima biljke često su u visokoj mjeri metilirani i rijetko sadržavaju glikozide. S druge strane, u prirodi flavonoidi se najčešće nalaze u obliku glikozida, gdje su povezani s različitim molekulama šećera, što pridonosi strukturnoj raznolikosti i velikom broju flavonoidnih spojeva (Tsao 2010.; Slámová i sur. 2018.; Dou i sur. 2019.).



Slika 6 Osnovna struktura flavonoida (Hu i sur. 2025.)

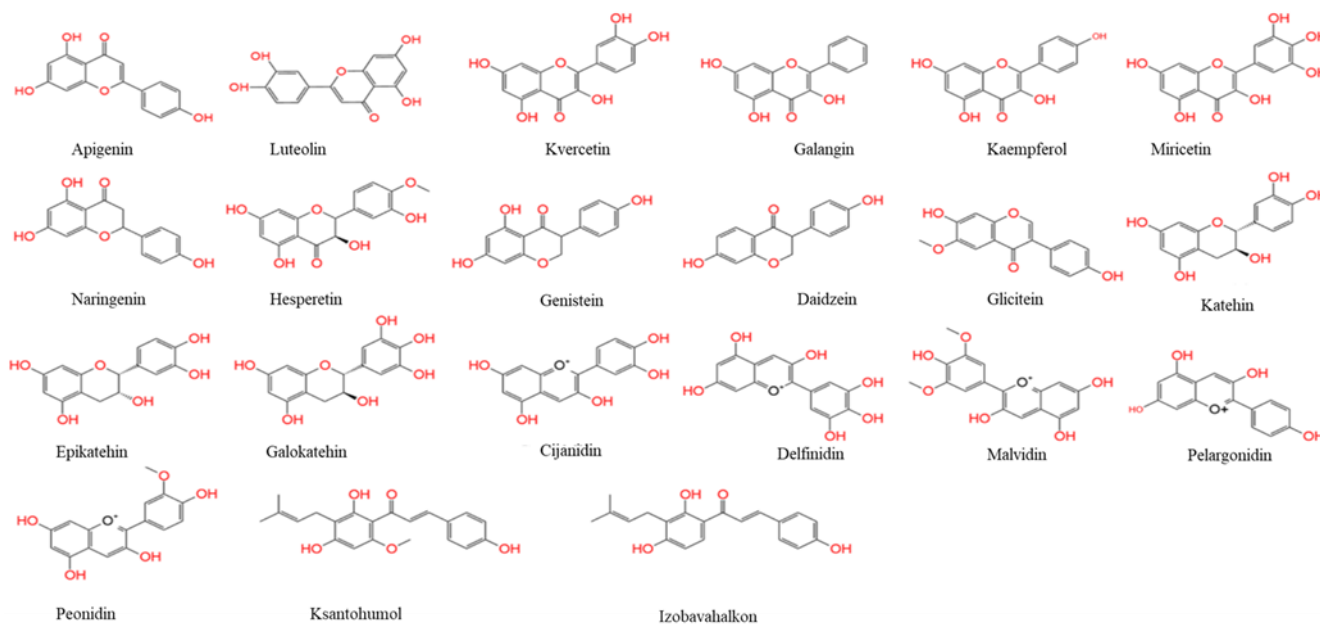
Vezanje šećera na flavonoide povećava polarnost molekule, što je važno za njihovu pohranu u vakuolama biljnih stanica. Glikozilacija se najčešće događa na poziciji C₃, a rjeđe na poziciji C₇. Najčešći šećer vezan za molekulu flavonoida je glukoza, no glikozilacija može uključivati i arabinozu, galaktozu, ramnozu, ksilozu i glukoramnozu. Također, na flavonoidne molekule mogu biti vezani disaharidi, pri čemu su najzastupljeniji rutinoza i neohesperidoza (Gattuso i sur. 2007.; Slámová i sur. 2018.).

2.3.2.2. Flavanoli

Flavanoli se često nazivaju i katehinima, odnosno flavan-3-olima. Karakterizira ih prisutnost hidroksilne skupine, najčešće vezane na C₃ atom. Za razliku od nekih drugih flavonoida, flavanoli nemaju dvostruku vezu između položaja 2 i 3 u C prstenu (Pico i sur. 2019.; Dutta i sur. 2022.). Katehini se javljaju u obliku dvaju epimera, ovisno o prostornoj konfiguraciji veza između B prstena i C₂ ugljikova, kao i orijentaciji hidroksilne skupine na mjestu C₃ (Mita i sur. 2024.). Epimeri, (-)-epikatehin i (+)-katehin zajedno sa svojim derivatima, epigalokatehin i galokatehin, zajednički se klasificiraju kao katehini. Galokatehin i epigalokatehin sadrže dodatnu hidroksilnu grupu na prstenu B. Jedno od važnih svojstava flavanola jest njihova sposobnost polimerizacije. Polimerni oblici flavanola poznati su kao procijanidini, a u literaturi se često nazivaju i proantocijanidini ili kondenzirani tanini. Procijanidini obično sadrže od dvije do šezdeset jedinica monomernih flavanola, a proces polimerizacija najčešće se odvija preko C-C veze između položaja C₈ i C₄. U voću se flavanoli najčešće nalaze u oligomernim ili polimernim oblicima, odnosno kao proantocijanidini ili tanini, no mogu se pronaći i u slobodnom monomernom obliku (Patanè i sur. 2023.; Osorio-Cruz i sur. 2024.).

2.3.2.3. Flavonoli

Flavonole karakterizira osnovna C₆C₃C₆ struktura (**Slika 7**). U biljnim stanicama pojavljuju se uglavnom u obliku glikozida, pri čemu je šećerna jedinica vezana na C₃ atom, dok je vezanje na poziciji C₇ rjeđe (Zhuang i sur. 2023.). Najčešći šećer vezan za molekulu aglikona flavonola je glukoza, no mogu biti prisutni i drugi monosaharidi poput galaktoze, arabinoze i ksiloze.

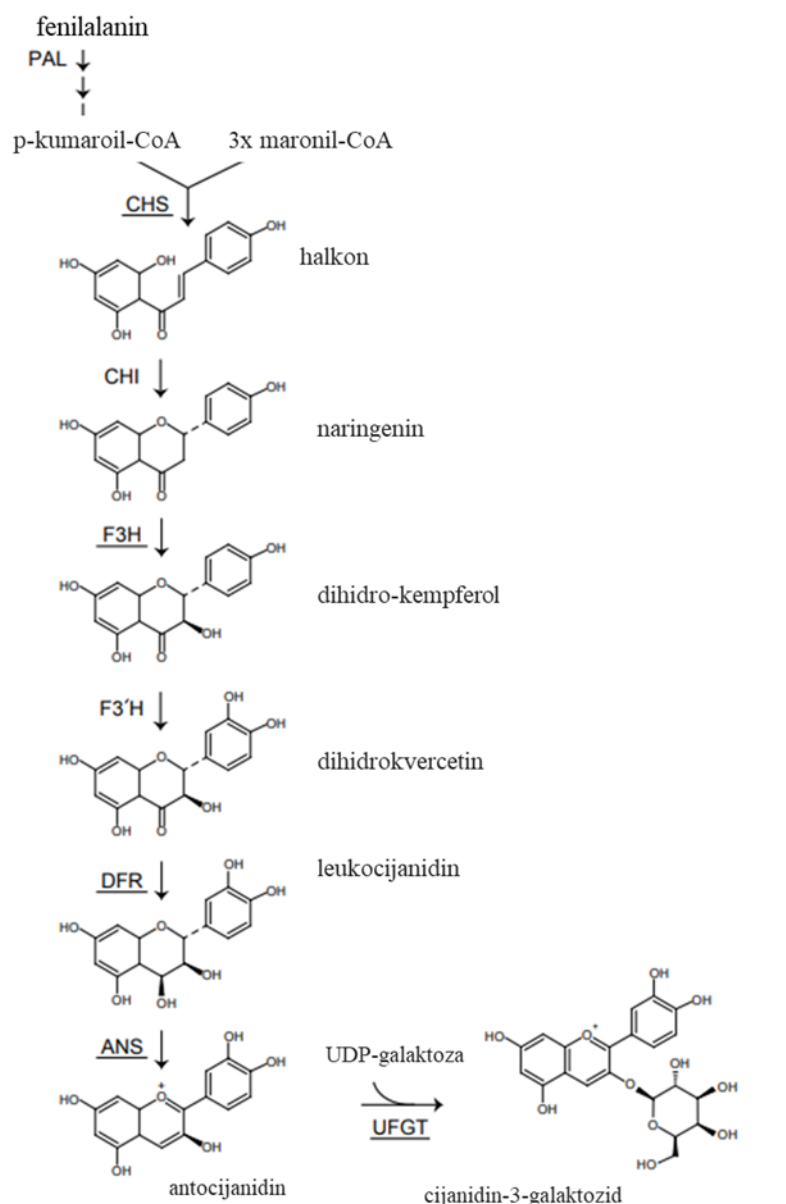


Slika 7 Osnovna struktura glavnih podgrupa flavonoida (Chen i sur. 2023.)

Slično kao i antocijani, flavonoli mogu biti acilirani različitim cimetnim ili drugim fenolnim kiselinama. U biljkama se najčešće nalaze u nadzemnim dijelovima, dok su u podzemnim dijelovima biljaka prisutni tek u tragovima. Flavonoli aglikona znatno se razlikuju u stupnju hidroksilacije i metilacije, zbog čega čine izrazito raznoliku i brojnu podskupinu flavonoidnih spojeva. Najproučavaniji predstavnici skupine flavonola su kvercetin, miricetin, fisetin i kaempferol (Berga i sur. 2023.; Chen i sur. 2023.). Prema istraživanju Kschonsek *i sur.* (2018) flavonoli su prisutni u kori jabuka, dok u mesu određenih sorti nisu detektirani. To je u skladu s rezultatima nekoliko istraživanja koja nisu identificirala prisutnost kvercetin u mesu nijedne od analiziranih sorti jabuka (Karaman i sur. 2013.; Zielińska i Turemko 2020.). S druge strane, Alarcón-Flores *i sur.* (2015) identificirali su kvercetin u mesu svih analiziranih sorti jabuka, u koncentracijama od 2,5 do 4,2 mg/kg DW. Također, Raudone *i sur.* (2017) identificirali su kvercitrin i rutin u mesu šest analiziranih sorti jabuka primjenom metode tekućinske kromatografije visoke djelotvornosti (HPLC).

2.3.2.4. Antocijani

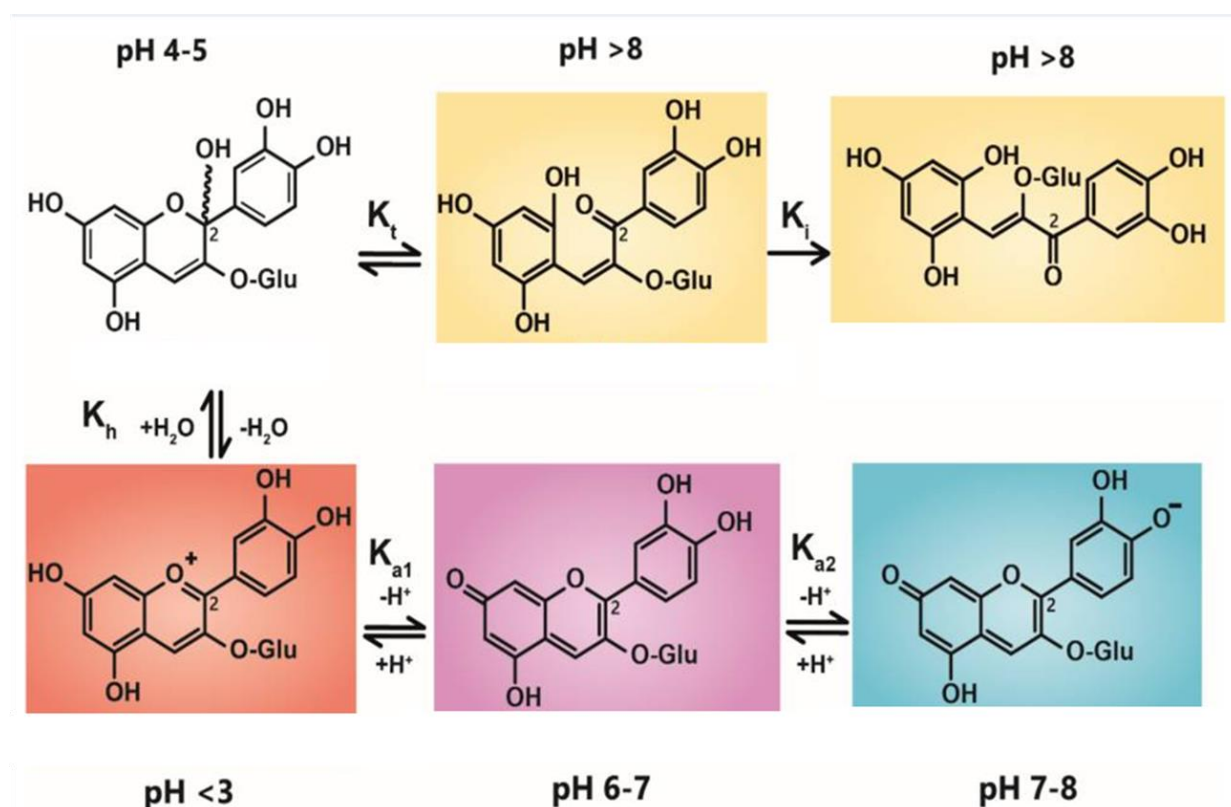
Antocijani (grčki: *anthos*- cvijeće, *kyanos*- plav) su flavonoidi topljivi u vodi koji se prirodno nalaze u biljkama i široko su rasprostranjeni. Imaju C₆C₃C₆ kostur tipičan za flavonoide. Antocijani su glikozilirani polihidroksi i polimetoksi derivati 2-fenilbenzopirilium kationa odnosno flavilium kationa (Islam 2016.). Glavni dio antocijana je njegov aglikon, flavium kation, koji sadrži konjugirane dvostruke veze odgovorne za apsorpciju svjetla pri valnim duljinama oko 500 nm. Antocijani su biljni pigmenti koji omogućavaju voću, povrću i cvijeću plavu, purpurnu i crvenu boju, ovisno o pH. Aglikoni se nazivaju antocijanidini te su građeni od dva aromatska benzenska prstena i oksigeniranog heterocikla (Tanaka i sur. 2008.; Stommel i sur. 2009.). Cijanidin, pelargonidin, delfinidin, malvidin, petunidin i peonidin najčešći su antocijanidini, pri čemu je cijanidin najzastupljeniji u voću te čini oko 50% ukupnog udjela (Gutierrez i sur. 2017.). Na **Slici 8** prikazana je biosinteza antocijanidina. Leukoantocijanidini koji nastaje u biosintetskom putu flavonoida, predstavljaju uobičajene prekursore antocijanidina i flavan-3-ola (Nabavi i sur. 2020.). Enzim, antocijanidin sintaza, poznat i pod nazivom leukoantocijanidin dioksigenaza, katalizira tri leukoantocijanidina u cijanidin, pelargonidin i delfinidin. Nadalje, leukoantocijanidini i antocijanidini mogu se reducirati u (+)-katehin i (-)-epikatehin pod djelovanjem enzima leukoantocijanidin reduktaze i antocijanidin reduktaze. U završnoj fazi biosinteze, antocijanidini podliježu strukturnim modifikacijama (Gutierrez i sur. 2017.; Nabavi i sur. 2020.).



Slika 8 Biosinteza antocijanidina (L. Wang i sur. 2020.)

Na proizvodnju antocijana u biljkama utječu različiti okolišni čimbenici poput niske temperature, suše i svjetlosti (Chen i Soltis 2020.). Antocijani mogu pružiti zaštitu biljkama od niskih temperatura te različitih abiotičkih i biotičkih stresova. U uvjetima stresnog okoliša, nakupljanje antocijana može imati važnu zaštitnu ulogu (Hoch i sur. 2003.; Steyn i sur. 2009.). Istraživanju su pokazala da antocijani mogu djelovati kao antioksidansi u biljnim stanicama, međutim, njihov udio s antioksidativnim svojstvima u jabukama doseže najviše do 20 %. Osim toga, antocijani se smatraju pokazateljima zrelosti ploda, pri čemu je njihov udio relativno visok u fazi potpune zrelosti (L. Wang i sur. 2020.).

Jedna od važnijih kemijskih karakteristika antocijana je pozitivan naboj na atomu kisika u heterocikličkom C-prstenu. Zahvaljujući toj strukturi, antocijani se u kiseloj sredini ponašaju kao kationi i tvore soli s kiselinama, dok se u alkalnoj sredini ponašaju kao anioni i tvore soli s bazama (**Slika 9**). U vakuoli biljne stanice antocijani su prisutni u četiri različita molekularna oblika koji su nalaze u ravnoteži. Svaka od ovih kemijskih formi pokazuje različitu boju, ovisno o pH vrijednosti okoliša. Pri pH 1 prevladava flavilium kation, koji je intenzivno crvene boje. U području pH vrijednosti između 2 i 3 dominira kinoidna forma. Pri pH 5 i 6 prisutne su dvije bezbojne forme: karbinolna pseudobaza i halkonska baza. Pri višim pH vrijednostima dolazi do raspada molekule antocijana (Houghton i sur. 2021.).



Slika 9 Ravnotežna raspodjela antocijanina u ovisnosti o pH vrijednosti (Houghton i sur. 2021.)

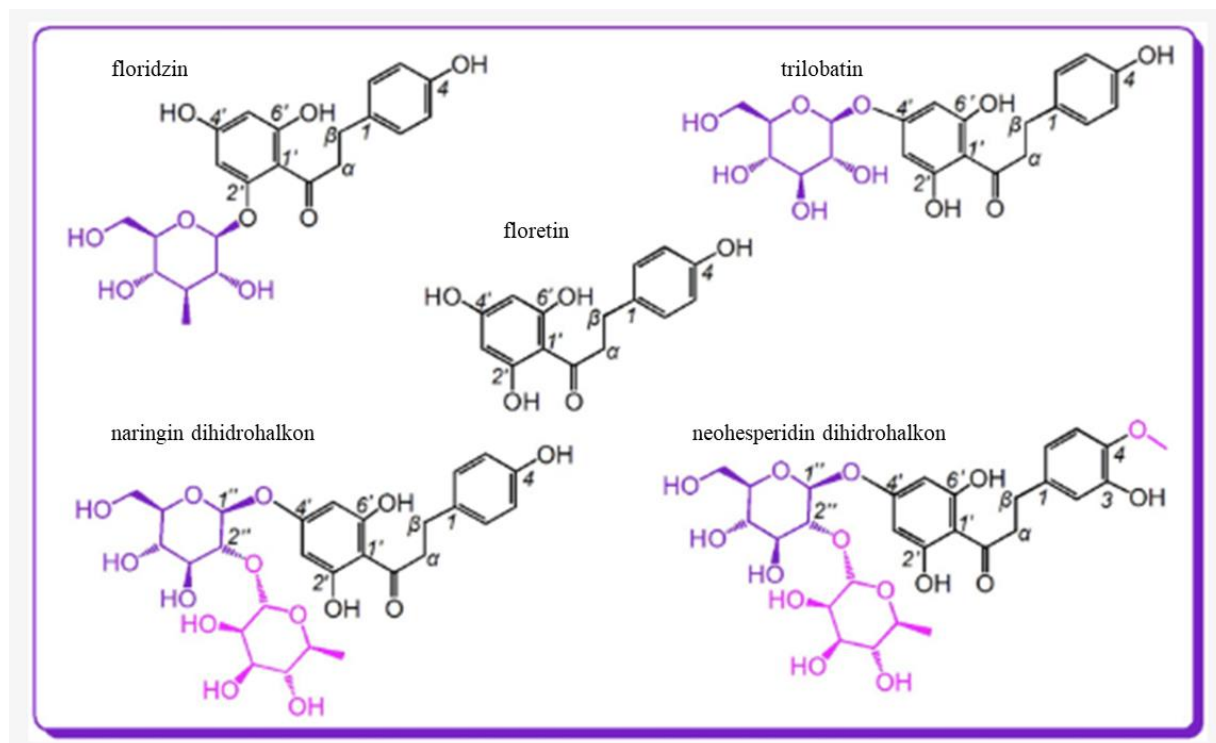
Antocijanini imaju značajan utjecaj na ljudsko zdravlje, prvenstveno zbog svojih izraženih antioksidativnih svojstava. Odnosno, posjeduju sposobnost izravne neutralizacije reaktivnih vrsta kisika (ROS) te indirektno potiču sintezu ključnih antioksidativnih enzima, uključujući katalazu, superoksid dismutazu i glutathion peroksidazu. Također, antocijanini mogu inhibirati djelovanje enzima odgovornih za stvaranje ROS-a (Merecz-Sadowska i sur. 2023.). Slobodni radikali, uključujući ROS i reaktivne vrste dušika (RNS), ključni su za uravnoteženo funkcioniranje organizma, pri čemu se njihova ravnoteža održava redoks reakcijama. Međutim,

oksidativni stres nastaje kada je ta ravnoteža narušena, što dovodi do biokemijske neravnoteže koja ima ključnu ulogu u razvoju i napredovanju kroničnih bolesti poput kardiovaskularnih bolesti, karcinoma i procesa starenja (Tena i sur. 2020.). Antocijanini najčešće djeluju kao donori vodikovih iona ili putem mehanizma prijenosa jednog elektrona, čime sprječavaju oksidacijske procese, neutraliziraju slobodne radikale i inhibiraju njihovu daljnju proizvodnju (Ali i sur. 2016.). Antioksidativni kapacitet antocijanina povezan je s rasporedom njihovih prstenova, koji određuju sposobnost prijenosa protona. Broj i položaj slobodnih hidroksilnih skupina na piranonskom prstenu dodatno utječu na njihovu učinkovitost u neutralizaciji slobodnih radikala. Nadalje, različite tehnike ekstrakcije imaju značajan utjecaj na antioksidacijska svojstva antocijanina (Blando i sur. 2018.). Utvrđeno je da ekstrakcija otapalom rezultira najvišom prosječnom stopom inhibicije oksidativnih procesa (90 %), zatim enzimska ekstrakcija (80 %) te ultrazvučna ekstrakcija sa samo 60 %. S obzirom da se antioksidativno djelovanje antocijanini oslanja na mehanizam prijenosa pojedinačnih elektrona i vodikovih iona, temperatura i pH predstavljaju ključne čimbenike koji utječu na njihovu stabilnost i učinkovitost (Lu i sur. 2021.).

2.3.2.5. Dihidrohalkoni

Dihidrohalkoni su karakteristični polifenolni spojevi prisutni u jabukama i proizvodima od jabuka, uključujući sok, vino i druge prerađevine. Do danas je iz biljaka izolirano manje od 100 različitih dihidrohalkona. Na **Slici 10** prikazane su strukture pet najčešće proučavanih dihidrohalkona, među kojima je floretin najjednostavniji predstavnik, dok ostali spojevi predstavljaju njegove derivate. U tu skupinu ubrajaju se floridzin, trilobatin, neohesperidin dihidrohalkon te naringin dihidrohalkon (Li i sur. 2018.). Prema istraživanju Nakamura *i sur.* (2003), dihidrohalkoni pokazuju jaču antioksidacijsku aktivnost od flavona, što se pripisuje prisutnosti 2'-OH skupine. U jabukama se dihidrohalkoni najčešće nalaze u kori i sjemenkama, gdje mogu činiti i do 60 % ukupnog sadržaja polifenola, dok je njihov udio u mesu jabuke znatno manji i iznosi do 3 % ukupnih polifenola. Floridzin je jedan od najvažnijih bioaktivnih spojeva prisutnih u jabuci koji pokazuje potencijalno antidijabetičko djelovanje jer smanjuje apsorpciju glukoze u crijevima, što ga čini posebno korisnim za osobe s dijabetesom tipa 2. Jabuke su ujedno i glavni izvor floridzina u prehrani europskih potrošača, s prosječnim dnevnim unosom koji se kreće od 0,7 do 7,5 mg (Niederberger i sur. 2020.). Također, floridzin se može koristiti kao kemotaksonomski marker za identifikaciju sorti jabuka te za autentifikaciju proizvoda od jabuke (Liaudanskas i sur. 2014.). Prema istraživanju (Lončarić i sur. 2021.),

floridzin je ujedno jedan od ključnih polifenolih spojeva odgovornih za otpornost jabuka na gljivične infekcije.

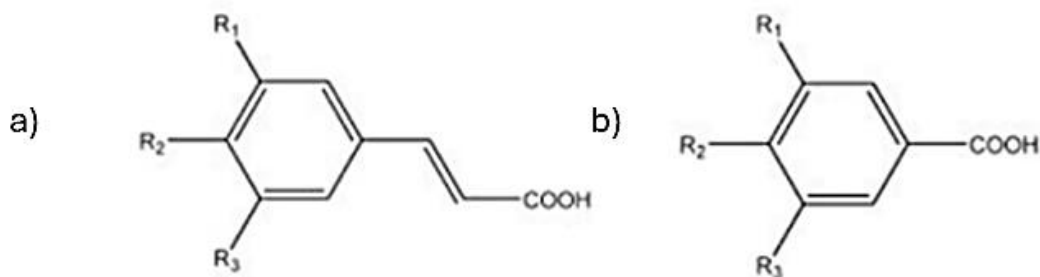


Slika 10 Kemijska struktura dihidrohalkona (Li i sur. 2018.)

2.3.2.6. Fenolne kiseline

Fenolne kiseline predstavljaju jednostavne spojeve male molekulske mase s jednim aromatskim prstenom. Rijetko su prisutne u slobodnom obliku, a najčešće se pojavljuju u obliku estera s vinskom kiselinom (Pereira i sur. 2009.; Kumar i Goel 2019.). Fenolne kiseline uglavnom se dijele u dvije podskupine: hidroksibenzojeva i hidroksicimetna kiselina (**Slika 11**) (Kumar i Goel 2019.). Hidroksicimetne kiseline su derivati cimetne kiseline, prisutne su u hrani često kao jednostavni esteri s kininskom kiselinom ili glukozom. Također, mogu biti prisutne u obliku amida ili glikozida. Četiri najčešće hidroksicimetne kiseline su ferulna, *p*-kumarna, kofeinska i sinapinska kiselina (Mattila i Hellström 2007.). S druge strane, hidroksibenzojeve kiseline imaju zajedničku C₆C₁ strukturu koja potječe izravno iz benzojeve kiseline. Razlike u strukturi pojedinih hidroksibenzojevih kiselina rezultat su hidroksilacije ili metilacije na aromatskom prstenu. Četiri najčešće prisutne hidroksibenzojeve kiseline su protokatehuinska, galna, vanilinska i siringična kiselina (Khoddami i sur. 2013.; Kumar i Goel 2019.). Fenolne kiseline imaju ključnu ulogu u otpornosti biljaka na patogene. Zahvaljujući svojim antimikrobnim, antifungalnim i antioksidativnim svojstvima, sudjeluju u inhibiciji rasta i razmnožavanja patogenih mikroorganizama te štite biljne stanice od oksidativnih oštećenja izazvanih stresnim

uvjetima (Liu i sur. 2022.). Fenolne kiseline, osobito one dobivene ekstrakcijom iz nusproizvoda voća, pokazale su značajan antioksidativni potencijal, što se prvenstveno pripisuje njihovoj molekularnoj strukturi, posebno broju i rasporedu hidroksilnih skupina. Navedene skupine doprinose uklanjanju slobodnih radikala te reguliraju aktivnost endogenih antioksidativnih enzima (Chen i sur. 2020.). Prema istraživanju Mathew, Abraham i Zakaria, (2015), uspoređena je sposobnost hvatanja radikala različitih fenolnih kiselina, uključujući derivate hidroksicimetne i hidroksibenzojeve kiseline. Rezultati su pokazali da hidroksimetne kiseline, posebno kofeinska i ferulna, imaju znatno veću sposobnost hvatanja DPPH • i superoksidnih radikala, što se pripisuje većem broju konjugiranih hidroksilnih skupina u njihovoj strukturi. Od hidroksibenzojevih kiselina, protokatehuinska i galna kiselina pokazale su značajnu aktivnost prema visoko reaktivnim vrstama kisika (ROS), osobito prema hidroksilnom radikalu (•OH).

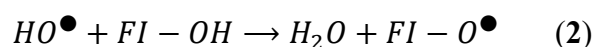
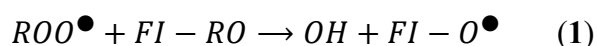


Slika 11 Struktura a) hidroksicimetna kiselina, b) hidroksibenzojeva kiselina (Nunes i sur. 2025.)

2.4. ANTIOKSIDACIJSKA AKTIVNOST

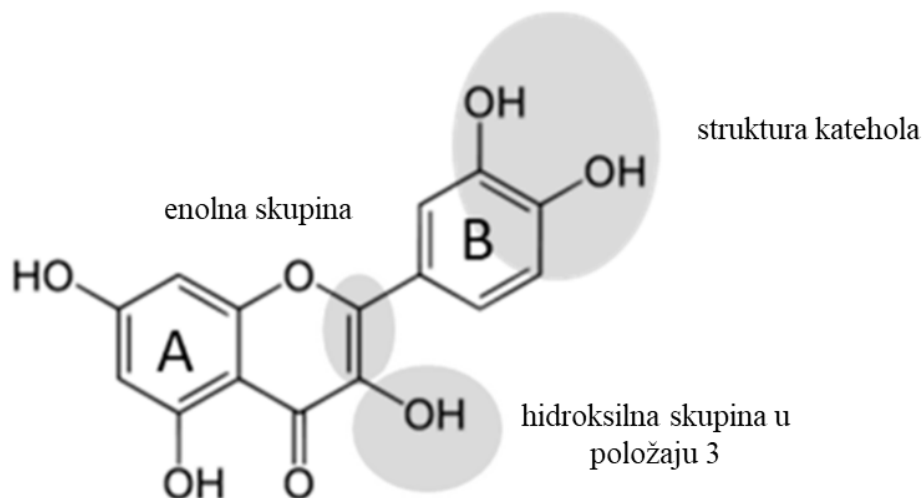
Halliwell i Gutteridge (1995) definirali su antioksidanse kao "bilo koju tvar koja, kada je prisutna u niskim koncentracijama u usporedbi s koncentracijama oksidabilnog supstrata, značajno odgađa ili inhibira oksidaciju tog supstrata". U kasnijoj definiciji, (Halliwell 2008.) opisuje antioksidanse kao "bilo koju tvar koja odgađa, sprječava ili uklanja oksidativno oštećenje ciljne molekule". Sličnu definiciju iznijeli su Khlebnikov *i sur.* (2007) navodeći da je antioksidans "bilo koja tvar koja izravno neutralizirano reaktivne kisikove vrste (ROS) ili neizravno djeluje pojačavanjem antioksidativne obrane organizma odnosno inhibicijom proizvodnje ROS-a". Jedno od ključnih svojstava koje spoj mora posjedovati kako bi se smatrao antioksidansom jest i sposobnost da, nakon hvatanja slobodnog radikala, formira novi radikal koji je stabilan. Vitamini, osobito A, C i E, zajedno s polifenolima, prepoznati su kao ključni sastojci voća i povrća koji značajno doprinose ukupnoj antioksidacijskoj aktivnosti tih namirnica. Posebno se ističu fenolni spojevi i flavonoidi, koji su među najzastupljenijim

prirodnim antioksidansima. Uz prirodne, razvijeni su i sintetski antioksidansi koji se u praksi koriste kao nadomjesci, lijekovi i aditivi. Ipak, opće je prihvaćeno stajalište da su prirodni antioksidansi učinkovitiji i sigurniji u usporedbi sa sintetskim (Shahidi i Ambigaipalan 2015.). Sintetski antioksidansi razvijeni su s ciljem produljenja roka trajanja prehrambenih proizvoda. Brojni spojevi koriste se u prehrambenoj i kozmetičkoj industriji za sprječavanje oksidacijskih procesa, pri čemu neki od njih posjeduju i antifungalna svojstva te sadrže barem jedan fenolni prsten u svojoj strukturi. Među najpoznatijim sintetskim antioksidansima nalaze se butilirani hidroksianizol, butilirani hidroksitoluen, propil galat, oktil galat i tert-butilhidrokinon (Carocho i Ferreira 2013.). Danas većina prerađene hrane sadrži sintetske antioksidanse. Iako su u prošlosti ti spojevi smatrani sigurnima za konzumaciju, danas postoje brojna istraživanja koja ukazuju na moguće štetne učinke na ljudsko zdravlje, uključujući oštećenje bubrega, jetre i pluća (Rodil i sur. 2010.; Biparva i sur. 2012.; Shahidi i Ambigaipalan 2015.). Uzimajući u obzir sve veći broj čimbenika rizika povezanih sa sintetskim antioksidansima, interes za prirodnim antioksidansima značajno je porastao. Antioksidacijska aktivnost (AOA) ne ovisi isključivo o strukturnim svojstvima samih antioksidansa, već i o nizu drugih čimbenika, kao što su prisutnost svjetlosti, temperatura, fizikalno stanje sustava, vrsta supstrata te interakcije s drugim mikrokomponentama koje mogu djelovati kao prooksidansi ili sinergisti (Ioannou i sur. 2020.). Glavne strukturne značajke flavonoida važne za sposobnost hvatanja slobodnih radikala su: hidroksilne grupe, O-metilacija, 2-3 dvostruka veza i 4-okso funkcija, jedinice ugljikohidrata te stupanj polimerizacije. Flavonoidi djeluju kao antioksidansi putem mehanizma hvatanja slobodnih radikala zbog čega nastaje manje reaktivni flavonoidni fenoksidni radikal (jednadžba 1 i 2)



Konfiguracija i broj fenolnih skupina predstavljaju važne parametre koji utječu na antioksidacijsku aktivnost spojeva. Kateholna struktura i enolna skupina (**Slika 12**) poboljšavaju sposobnost hvatanja slobodnog radikala (Heim i sur., 2002; Ioannou i sur., 2020). Kateholna struktura na B prstenu također je ključna za stabilnost flavonoidnih radikala nastalih oksidacijom. Flavonoidi bez kateholne ili o-trihidroksilne strukture stvaraju nestabilne radikale i imaju slabiju antioksidacijsku aktivnost. Iako A prsten doprinosi ukupnom broju hidroksilnih skupina, njegov utjecaj na antioksidacijsku aktivnost je manji. Također je utvrđeno da

flavonoidi koji imaju slobodnu 3-OH grupu i 3',4'-katehol strukturu imaju deset puta jaču sposobnost hvatanja slobodnih radikala (Chobot i sur. 2016.; Shen i sur. 2022.).



Slika 12 Glavna kemijska svojstva odgovorna za antioksidacijsko djelovanje (Ioannou i sur., 2020)

Razlika u antioksidacijskoj aktivnosti između polihidroksiliranih i polimetoksiliranih flavonoida prvenstveno proizlazi iz razlika u hidrofobnosti i molekularnoj planarnosti. Kvercetin, kao snažan hvatač peroksidnih radikala, pokazuje veću aktivnost u usporedbi sa svojim O-metiliranim i O-glikozidiranim derivatima. Smanjenje aktivnosti nakon O-metilacije pripisuje se narušavanju planarnosti molekule (Dugas i sur. 2000.; Dueñas i sur. 2010.). Osim toga, prisutnost odnosno odsustvo nezasićene dvostruke veze u kombinaciji s 4-okso funkcijom ima važnu ulogu u antioksidacijskoj aktivnosti flavonoida. Brojna istraživanja potvrđuju da flavonoidi kojima nedostaju navedena strukturna obilježja pokazuju znatno slabiju antioksidacijsku aktivnost (Yi i sur. 2011.). Aglikoni su, u pravilu, snažniji antioksidansi od odgovarajućih glikozida. Utvrđeno je da se antioksidacijska aktivnost flavonolnih glikozida smanjuje s porastom broja glikozidnih jedinica. Uobičajeno je da su glikozidne jedinice vezane na 3- ili 7- poziciju. Dodatno, vezivanje šećera na A prsten rezultira većim smanjenjem aktivnosti u odnosu na glikolaziju na poziciji 3. Glikolizacija, slično kao i O-metilacija, narušava planarnost molekule i smanjuje sposobnost premještanja elektrona. Šećerne jedinice zauzimaju slobodne hidroksilne skupine ključne za hvatanje slobodnih radikala, te istovremeno mijenjaju planarnost B prstena i hidrofilnost molekule, čime smanjuju dostupnost za lipidne radikale (Gao i sur. 1999.; Plumb i sur. 1999.; Xie i sur. 2022.).

Antioksidansi prisutni u hrani mogu se definirati kao bilo koji sastojci koji odgađaju, sprječavaju ili zaustavljaju kvarenje hrane, odnosno nastanak nepoželjnih aroma uzrokovanih

oksidacijskim procesima. Jabuke su bogat izvor različitih bioaktivnih spojeva koji pokazuju značajnu antioksidacijsku aktivnost. Udio ukupnih polifenola (TPC) najčešće se određuje primjenom Folin-Ciocalteu metode, koja je jednostavna i ponovljiva. Ipak, metoda ima određene nedostatke koje je potrebno uzeti u obzir, kao što su osjetljivosti na pH, temperaturu, trajanje reakcije te selektivnost (Zhong i Shahidi 2015.). Kada je u pitanju selektivnost, reducirajući šećeri i aminokiseline prisutne u ekstraktu mogu utjecati na krajnji rezultat TPC-a. Stoga se za potvrdu rezultata preporučuje primjena HPLC metodom. Dosadašnja istraživanja pokazala su da je udio ukupnih polifenola veći u kori nego u mesu ploda jabuke. Pretpostavlja se da je razlog tome barijerna funkcija kore, koja štiti plod od utjecaja vanjskih biotičkih i abiotičkih stresora (Kschonsek i sur. 2018.). Općenito, antioksidacijska aktivnost ekstrakta jabuke u korelaciji je s njegovim ukupnim udjelom polifenola. Antioksidacijska aktivnost može se odrediti primjenom različitih metodama temeljenima na uklanjanju reaktivnih kisikovih vrsta (ABTS, DPPH, ORAC), metodama temeljenima na redoks potencijalu (FRAP, CUPRAC, ciklička voltametrija) te metodama za procjenu kapaciteta keliranja metala (Zhong i Shahidi 2015.). Kschonsek i sur. (2018) analizirali su deset tradicionalnih i pet komercijalnih sorti jabuka. Prema dobivenim rezultatima, tradicionalne sorte jabuka sadržavale su viši udio ukupnih polifenola i vitamina C u usporedbi s komercijalnim sortama, što je rezultiralo većom antioksidacijskom aktivnošću. Navedena razlika pripisuje se nižem udjelu flavanola (u mesu ploda), ukupnih fenolnih kiselina i floridzina u komercijalnim sortama. Naime, monomerni i oligomerni flavanoli, kao i floridzin, poznati su kao jaki prirodni antioksidansi. Nkuimi Wandjou i sur. (2020) istraživali su antioksidacijsku aktivnost stare sorte jabuka *Mela Rosa dei Monti Sibillini* iz Italije. U okviru istraživanja usporedili su plodove pravilnog oblika, boje i veličine s plodovima koji se najčešće odbacuju zbog nepravilnog izgleda i boje. Na osnovu dobivenih rezultata, plodovi nepravilnog oblika imali su znatno veći udio pojedinačnih polifenola i triterpena (HPLC-DAD), ali nešto niži udio ukupnih polifenola te slabiju antioksidacijsku aktivnost u usporedbi s plodovima pravilnog oblika, boje i veličina. Također su usporedili antioksidacijsku aktivnost liofiliziranih i sušenih plodova jabuka (pri 45 °C). Rezultati su pokazali da liofilizirani plodovi imaju višu antioksidacijsku aktivnost u odnosu na konvencionalno sušene.

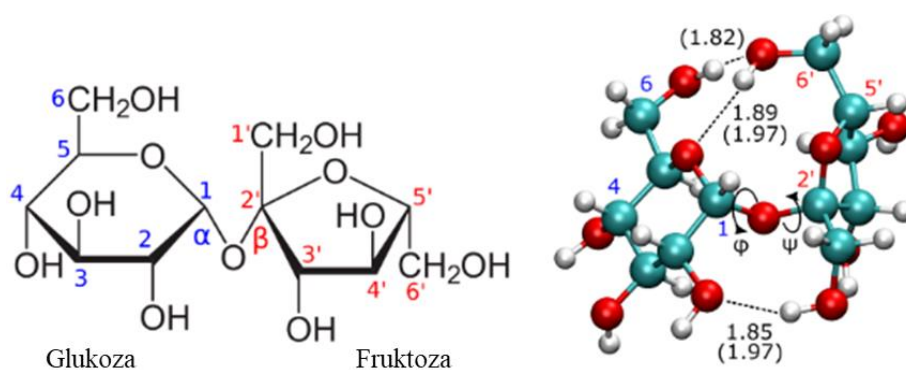
Antioksidanse, prema načinu inhibiranja ili usporavanja oksidacije, dijelimo na primarne i sekundarne. Primarni antioksidansi djeluju izravno uklanjanjem slobodnih radikala. Tijekom procesa neutralizacije, antioksidans gubi proton i transformira se u radikal. Radikal se obično stabiliziraju premještanjem elektrona, stvaranjem intramolekularnih vodikovih veza ili

daljnjom reakcijom s drugim lipidnim radikalima. Dok sekundarni antioksidansi koriste nekoliko mehanizam koji ne uključuju direktno uklanjanje slobodnih radikala (Hermund 2018.). Njihovo djelovanje često ovisi o prisutnosti drugih manjih komponenata. Iako imaju sposobnost usporavanja brzine oksidacije, nisu u stanju izravno pretvoriti reaktivne vrste u stabilnije produkte (Aguirre-Cruz i sur. 2020.). Na primjer, limunska kiselina pokazuje antioksidacijska svojstva tek u prisutnosti metalnih iona, dok je askorbinska kiselina učinkovita kada je prisutna u kombinaciji s tokoferolom ili drugim primarnim antioksidansima (Gao i sur. 2025.). Unatoč sve većem interesu za primjenu prirodnih antioksidansa u cilju smanjenja uporabe sintetskih, određena svojstva prirodnih antioksidansa mogu predstavljati izazov u tehnološkoj primjeni. Naime, prirodni antioksidansi često su osjetljivi na kisik, svjetlost, povišene temperature te procese sušenja. Njihova se degradacija može nastaviti i tijekom skladištenja prehrambenih proizvoda (Mrázková i sur., 2023).

2.5. ŠEĆERI

2.5.1. Saharoza

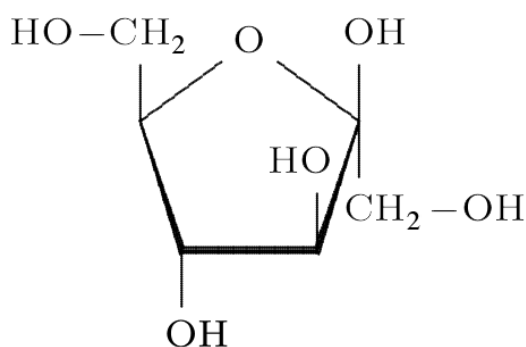
Saharoza je disaharid koji se sastoji od β -D-fruktoze i α -D-glukoze, povezanih glikozidnom vezom, kao što je prikazano na **Slici 13** (Lara-Cruz i Jaramillo-Botero 2022.). Saharoza je nereducirajući šećer, kemijske formule $C_{12}H_{22}O_{11}$ i molekulske mase 342,30 g/mol (Moreira i sur. 2012.). Dvije hidroksilne skupine unutar molekule međusobno su povezane u obliku etera, zbog čega saharoza ne pokazuje reducirajuća svojstva. Najčešće se ekstrahira, kristalizira i rafinira iz dva glavna biljna izvora: šećerne repe i šećerne trske (Lu i sur. 2017.). Kristal saharoze ima složenu strukturu te predstavlja kombinaciju šest kristalografskih oblika. Topljiva je u vodi, a netopljiva u većini organskih otapala (Babić, 2007).



Slika 13 Strukturni prikaz molekule glukoze, fruktoze i saharoze (Lara-Cruz i Jaramillo-Botero 2022.)

2.5.2. Fruktoza

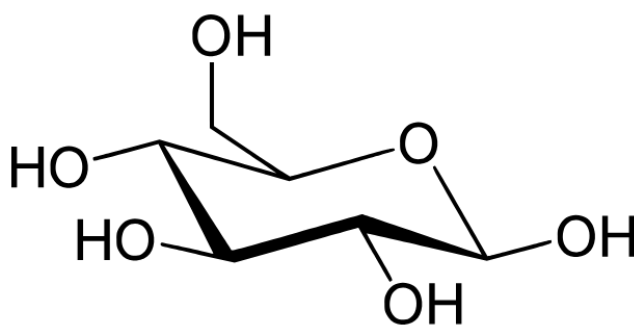
Fruktoza je monosaharid iz skupine heksoza, koji s glukozom dijeli molekulsku formulu $C_6H_{12}O_6$, ali se razlikuju po tipu funkcionalne skupine (**Slika 14**). Glukoza pripada aldohexozama zbog prisutnosti aldehidne skupine na prvom ugljikovom atomu, fruktoza je ketohexoza jer sadrži keto skupinu na drugom ugljikovom atomu. U usporedbi sa saharozom, fruktoza je do 1,7 puta slađa te lakše topljiva. Komercijalno se najviše proizvodi izomerizacijom glukoznog sirupa koji se dobiva hidrolizom škroba (Tappy i Lê 2010.). Zbog relativno niske cijene, izražene slatkoće te funkcionalnih svojstava koja pozitivno utječu na aromu i stabilnost proizvoda, fruktoza se sve više upotrebljava u proizvodnji prehrambenih proizvoda, osobito u proizvodnji bezalkoholnih pića. Budući da je njezina apsorpcija u crijevima i prijenos u stanice neovisna o inzulinu, fruktoza se često koristi i u proizvodnji prehrambenih proizvoda namijenjenih osobama oboljelim od dijabetesa (Sánchez-Lozada i sur. 2008.; Tappy i Lê 2010.).



Slika 14 Strukturni prikaz molekule β -D-fruktoze (Stick, 2001)

2.5.3. Glukoza

Glukoza je monosaharid i jedan od najvažnijih ugljikohidrata, kako u prirodi, tako i u prehrambenoj industriji. Predstavlja jedan od glavnih produkata fotosinteze, dok su polisaharidi poput celuloze, škroba i glikogena u potpunosti građeni od glukoznih jedinica. Prirodni izomer glukoze, D-glukoza, poznat je i pod nazivom dekstroza, osobito u prehrambenoj industriji (**Slika 15**) (Shcherbakova-Sandu i sur. 2025.). Glukoza je ključni prekursor niza proizvoda s dodanom vrijednošću koji nalaze primjenu u različitim granama industrijskog sektora (Gharib-Bibalan 2018.). Među njima se ističu glukonsku, glukuronsku i glukarinsku kiselinu, sorbitol, 5-hidroksimetilfurfural te vodik. U prehrambenoj industriji glukoza se koristi u proizvodnji različitih voćnih prerađevina i konditorskih proizvoda (Zhang i sur. 2021.; Machado i sur. 2023.; Shcherbakova-Sandu i sur. 2025.).



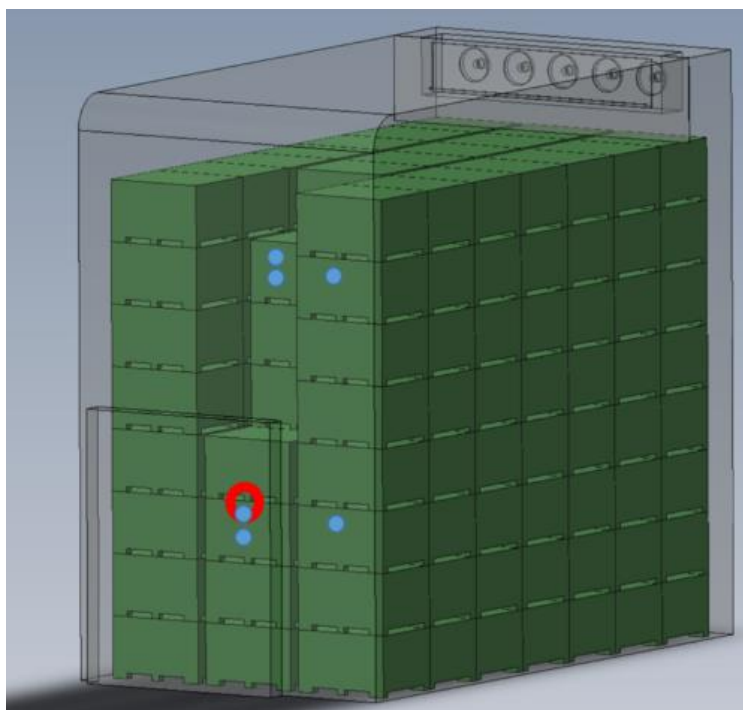
Slika 15 Strukturni prikaz molekule glukoze (Shcherbakova-Sandu i sur. 2025.)

2.6. SKLADIŠTENJE JABUKA

Svježe voće, osobito ono osjetljivije vrste koje se bere tijekom ljetnih mjeseci i namijenjeno je distribuciji na udaljena tržišta, zahtijeva hlađenje odmah nakon berbe. Ovim postupkom usporava se proces dozrijevanja, dok se kvarenje uzrokovano djelovanjem mikroorganizama smanjuje na najmanju moguću razinu. Kako plodovi sazrijevaju, njihov rok trajanja se skraćuje, čime se smanjuje i njihova komercijalna vrijednost. Stoga je izuzetno važno točno odrediti stupanj zrelosti ploda, kako u trenutku berbe, tako i tijekom skladištenja (Mattheis 2008.).

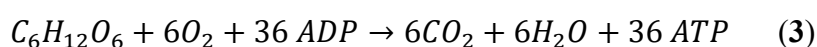
Odabir optimalnog vremena berbe ključan je za uspješno skladištenje. Jabuke ubrane u odgovarajućoj fiziološkoj fazi, osobito neposredno nakon početka klimakterijskog porasta sinteze etilena, pokazuju najbolja skladišna svojstva (Łysiak 2014.). Nasuprot tome, prerano ubrani plodovi često ne razvijaju karakterističnu boju, a organoleptička svojstva, posebno okus, ne zadovoljavaju očekivanja potrošača. S druge strane, prekasna berba rezultira ubrzanim gubitkom čvrstoće te povećanom osjetljivošću plodova na mehanička oštećenja i bolesti. Održavanje visoke kakvoće jabuka nakon dugotrajnog skladištenja i transporta na velike udaljenosti uvelike ovisi o točno određenom optimalnom datumu berbe. Međutim, to nije uvijek moguće zbog čimbenika neovisnih o uzgajivaču kao što su nepovoljni vremenski uvjeti ili nedovoljnog broja sezonskih radnika. Plodovi namijenjeni dugotrajnom čuvanju moraju biti zdravi, bez vidljivih oštećenja i znakova oboljenja (Małachowska i Tomala 2023.). U današnje vrijeme dugotrajno skladištenje i čuvanje svježeg voća provodi se u velikim hladnjačama, pri normalnoj atmosferi zraka (NA) ili u kontroliranoj atmosferi (CA). Skladištenje u kontroliranoj atmosferi podrazumijeva regulaciju koncentracija plinova (CO_2 i O_2), čime se izravno utječe na fiziološke procese plodova. Na taj se način usporava proces respiracije, smanjuje sinteza i djelovanje etilena, usporava proces starenja plodova te se produžuje vrijeme skladištenja (Pott i sur., 2020). Za svaku sortu voća postoji kritična temperatura ispod koje, u slučaju produljenog skladištenja, dolazi do pojave različitih negativnih fizioloških promjena. Optimalna

temperatura skladištenja za većinu sorti jabuka kreće se između 0 i 3 °C. Kako bi se spriječio gubitak mase uslijed isparavanja vode iz plodova, u rashladnim komorama potrebno je održavati visoku relativnu važnost zraka. Za većinu sorti jabuka preporučuje se relativna vlažnost zraka od 92 do 93 %, dok pojedini autori od 85 do 95 %. Relativna vlažnost ne smije biti ni previsoka ni preniska, budući da oba odstupanja mogu negativno utjecati na skladišnu sposobnost plodova. Niska vlažnost zraka potiče gubitak mase i pojavu ožeglina, dok previsoka vlažnost pogoduje razvoju mikroorganizama i ubrzanom propadanju plodova, čime se smanjuje njihova tržišna vrijednost i kvaliteta (Linke i sur. 2023.; Prange i Wright 2023.; Shu i sur. 2024.). Jabuke se najčešće skladište u velikim plastičnim spremnicima, do 12 vertikalnih razina (**Slika 16**). Takva organizacija skladištenja uzrokuje prostorne razlike u prijenosu topline i mase unutar komore, prvenstveno kao posljedicu neujednačenog protoka zraka (Praeger i sur. 2021.). Tijekom skladištenja pri niskim temperaturama često dolazi do kondenzacije vodene pare prisutne u vlažnom zraku. Kondenzirana voda na površini plodova može imati negativan utjecaj na njihov vanjski izgled, utječe na boju pokožice, površinsku strukturu i teksturu, te stvara povoljne uvjete za razvoj mikroorganizama. S druge strane, prisutnost kondenzirane vode na površini može privremeno smanjiti isparavanje i time odgoditi gubitak mase ploda, čime se potencijalno produžuje njegov rok (Linke i sur. 2021.; 2023.).



Slika 16 Grafički prikaz rashladne komore sa spremnicima za skladištenje jabuka (Linke i sur. 2023.)

Nakon berbe, voće i povrće nastavlja s fiziološkim procesima koji su bili aktivni i tijekom rasta na biljci. Dok su plodovi još uvijek bili pričvršćeni za biljku, gubitci uzrokovani respiracijom i transpiracijom nadoknađivali su se kontinuiranim dotokom sirovog soka, bogatog vodom, mineralima i produktima fotosinteze. Međutim, nakon odvajanja od biljke, plodovi postaju ovisni isključivo o vlastitim zalihama hranjivih tvari i vode. Gubitci tih resursa, koji se troše tijekom respiracije, nije ih moguće nadoknaditi, što dovodi do postupnog fiziološkog propadanja (Pott *i sur.*, 2020; Uarrotta *i sur.*, 2024). Respiracija je proces oksidativne razgradnje složenih organskih spojeva u prisutnosti kisika, pri čemu nastaju jednostavni konačni produkti, uključujući ugljikov dioksid (CO₂), uz oslobođenje topline i energije potrebne za stanične funkcije (Pott *i sur.*, 2020). Kemijski se proces respiracije može objasniti jednadžbom (3):



Respiracija izravno utječe na primarne metaboličke puteve, uključujući glikolizu, metabolizam škroba i ciklusa trikarboksilnih kiselina, pri čemu dolazi do promjena u razinama šećera, organskih kiselina i aminokiselina. Ugljikohidrati, organske kiseline, masti i proteini predstavljaju glavne respiratorne supstrate tijekom skladištenja plodova (Sun *i sur.* 2013.; Leisso *i sur.* 2017.). Sadržaj šećera u voću nakon berbe pokazuje varijabilnu dinamiku, koja primarno ovisi o vrsti ploda i uvjetima skladištenja. Primjerice, tijekom skladištenja banane dolazi do povećanja udjela šećera uslijed hidrolize škroba (Yuan *i sur.* 2017.). Tijekom zrenja i starenja plodova uočava se međusobna interakcija između šećera i biljnih hormona uključenih u procese zrenja i starenja, osobito etilena i auksina. Razgradnja saharoze nakon berbe može igrati ključnu ulogu u poticanju procesa starenja (Pott *i sur.*, 2020). Sun *i sur.* (2013) ispitivali su odnos između organskih kiselina i starenja ploda tijekom skladištenja na sobnoj i niskoj temperaturi. Autori su zabilježili pad koncentracija malata, citrata, akonitata i fumarata tijekom skladištenja, uz značajne fluktuacije u njihovim razinama. Navedene su promjene bile povezane s postupnim gubitkom kvalitete ploda. Dvije glavne skupine sekundarnih metabolita prisutnih u voću su polifenoli i terpenoidni spojevi, koji su odgovorni za privlačnu boju plodova te značajno pridonose organoleptičkim i nutritivnim svojstvima (Pott *i sur.*, 2019). Osim što imaju važnu ulogu u ljudskoj prehrani, ove molekule sudjeluju i u obrambenim mehanizmima biljaka te u njihovim odgovorima na biotičke i abiotičke stresove. U grožđu je akumulacija različitih stilbena tijekom hladnog skladištenja nakon berbe analizirana metodom UHPLC-MS/MS, pri čemu je zabilježeno povećanje razine stilbena, osobito kada su plodovi bili pohranjeni u uvjetima povišene koncentracije CO₂ (Maoz *i sur.* 2019.). S druge strane, skladištenje u kontroliranoj atmosferi pokazalo se nepovoljnim za akumulaciju antocijanina u plodovima

jagoda, spojeva ključnih za intenzitet boje zrelog ploda. U tom je kontekstu skladištenje pri niskim temperaturama nakon berbe prepoznato kao učinkovita strategija za povećanje sadržaja antocijanina u određenim vrstama voća (Li i sur. 2019.; L. Wang i sur. 2020.). Nadalje, rajčice s visokim udjelom antocijanina pokazale su smanjenu osjetljivost na infekciju uzrokovanu *Botrytis cinerea* (Zhang i sur. 2013.). Odnos između polifenola i otpornosti na truljenje nakon berbe, uzrokovano plijesni *Penicillium expansum*, opisano je i kod jabuka (Sun i sur. 2017.). Povećanje udjela polifenolnih spojeva tijekom skladištenja ne mora nužno biti univerzalan odgovor u svim vrstama voća. Naime, u nekoliko sorti manga pohranjenih na sobnoj temperaturi tijekom šest dana zabilježeno je povećanje sadržaja isključivo galne kiseline i epikatehina, dok kod ostalih polifenola nije došlo do značajnih promjena (Monribot-Villanueva i sur. 2019.).

2.7. *PENICILLIUM EXPANSUM*

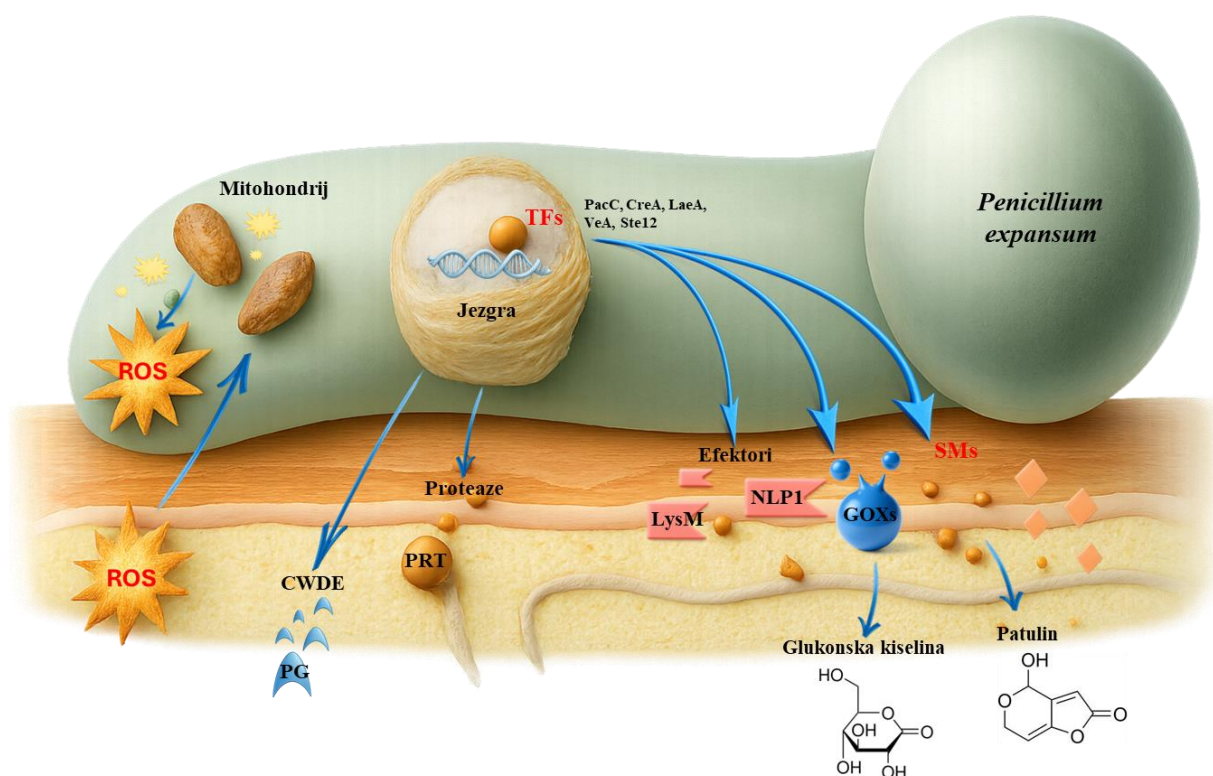
Penicillium expansum je sveprisutna saprofitska gljiva koja pripada rodu *Penicillium*, razredu *Eurotiomycetes*, podskupini *Ascomycote* te porodici *Aspergillaceae*. Predstavlja jednog od najvažnijih patogena koji uzrokuje kvarenje voća nakon berbe, osobito jabuka (Tannous i sur. 2020.). Kvaliteta i zdravstvena ispravnost voća jedne su od glavnih briga javnog zdravstva diljem svijeta. Od 20 do 50 % ukupne proizvodnje svježeg voća propadne uslijed truljenja izazvanog gljivičnim patogenima. Iako postoje različiti patogeni koji uzrokuju truljenje voća nakon berbe, *P. expansum* je jedan od najznačajnijih. Do infekcije najčešće dolazi nakon mehaničkog oštećenja plodova koja nastaju uslijed nepravilnog rukovanja i skladištenja. Također, *P. expansum* ima sposobnost rasta pri niskim temperaturama, što omogućuje njegov rast i tijekom skladištenja. Posljedično, dolazi do razvoja karakteristične plave plijesni i pojave meke truleži, što značajno smanjuje tržišnu vrijednost i zdravstvenu ispravnost proizvoda (Lai i sur. 2014.; Romanazzi i sur. 2016.).

2.7.1. Biološke karakteristike plijesni *Penicillium expansum*

Penicillium expansum je izrazito prilagodljiva saprofitska gljiva, sveprisutna u tlu i zraku. Pokazuje sposobnost rasta unutar širokog temperaturnog raspona, od ispod -2 °C i do 35 °C, pri čemu su optimalni uvjeti za njegov razvoj temperatura od 25 °C i relativna vlažnost zraka od 90% (Larous i sur. 2007.; Pitt i Hocking 2009.). Također, preživljava unutar širokog raspona pH vrijednosti. Najpovoljniji pH za klijanje spora i rast micelija nalazi se između 4,0 i 5,0, dok ekstremnije vrijednosti, poput 2,0 ili 8,0 inhibiraju klijanje spora (Tannous i sur. 2016.). Infekcija voćnih plodova najčešće se događa putem rana nastalih prije berbe, uslijed djelovanja

insekata, ptica ili nepovoljnih vremenskih uvjeta, kao i mehanička oštećenja tijekom berbe i transporta (Van Zeebroeck i sur. 2007.). *P. expansum* ne samo da uzrokuje trulež ploda, već može sintetizirati brojne sekundarne metabolite koji predstavljaju rizik za ljudsko zdravlje (Andersen i sur., 2004). Najznačajniji sekundarni metaboliti, mikotoksini, koji su ujedno pokazali citotoksične ili druge toksične učinke na životinjama su patulin, citrinin i rokfortin C (Vallone i sur., 2014; Janik i sur., 2020). Mikotoksini negativno djeluju na različite organske sustave, uključujući probavni sustav, jetru i imunološki sustav. Njihova istodobna prisutnost može rezultirati pojačanim toksičnim učinkom uslijed sinergizma. Jedan od mehanizama toksičnosti mikotoksina je izazivanje oksidativnog stresa, pri čemu dolazi do prekomjernog stvaranja slobodnih radikala i nepravilnog funkcioniranja antioksidacijskog sustava. Posljedično, nastaje oštećenje staničnih struktura, uključujući DNA, proteine i lipide. (Wen i sur., 2016).

P. expansum izlučuje različite čimbenike virulencije koji doprinose onesposobljavanju stanica domaćina i pospješuju kolonizaciju tkiva. Među najznačajnijima su enzimi za razgradnju stanične stijenke (CWDE), proteaze i organske kiseline (**Slika 17**) (Liang i sur. 2020.; Li i sur. 2020.). Stanične stijenke stanica voća sastoje se od celuloze, hemiceluloze i pektina. CWDE se smatraju ključnim čimbenicima virulencije gljivičnih patogena voća jer omogućavaju depolimerizaciju pektina i drugih komponenti stanične stijenke, čime patogen dobiva pristup hranjivim tvarima neophodnim za vlastiti rast i razvoj. Poligalakturonaza je najproučavaniji CWDE (Zhang i Van Kan 2013.). Veliki broj biljnih patogena povećava kiselost okoliša kao strategiju oštećenja tkiva domaćina izlučivanjem organskih kiselina. Istraživanja su pokazala da *P. expansum*, nakupljanjem D-glukonske kiseline (GLA) u zaraženom tkivu potiče aktivaciju više vrsta poligalakturonaza koje doprinose depolimerizaciji pektina. Sintezu glukonske kiseline katalizira enzim glukoza oksidaza (GOX), a reakcija uključuje oksidaciju β -D-glukoze u D-glukono- δ -lakton uz stvaranje vodikovog peroksida (H_2O_2) (Kobayashi i sur. 1998.; Li i sur. 2020.). Kao odgovor na infekciju, biljni domaćin aktivira oksidativni stres putem stvaranja reaktivnih kisikovih vrsta (ROS). Macarisin i sur. (2007) otkrili su da inokulacija *P. expansum* na agrumima potiče nakupljanje značajne količine H_2O_2 na mjestu infekcije. Nadalje, primjena egzogene katalaze rezultirala je uspješnijom kolonizacijom agruma navedenim patogenom. Dodatni egzogeni tretman s H_2O_2 smanjio je varijabilnost stanica i potaknuo unutarnje nakupljanje reaktivnih kisikovih vrsta, što dodatno potvrđuje kompleksnu međusobnu interakciju između virulencije patogena i obrambenog odgovora domaćina (Li i sur. 2020.).

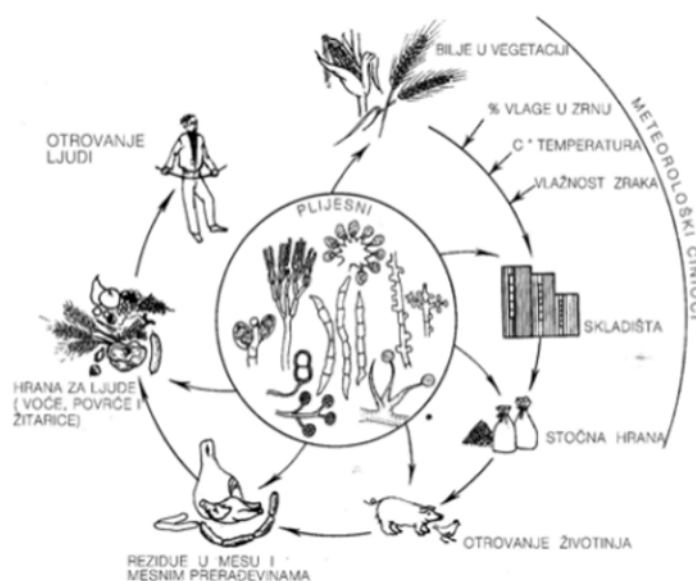


Slika 17 Čimbenici virulencije uključeni u patogenezu *P. expansum*. CWDE- enzimi koji razgrađuju staničnu stijenku; GOX- glukozne oksidaze; SM- sekundarni metaboliti; PG- poligalakturonaza; ROS- reaktivna vrsta kisika; PacC, CreA, LaeA, VeA i Ste12- transkripcijski čimbenici (Izvor: autor)

2.7.2. Mikotoksini

Mikotoksini (grč. *mykes* – gljiva, *toxicon* – otrov) su toksični produkti sekundarnog metabolizma određenih vrsta plijesni. Na temelju primarnog ciljanog organa, klasificiraju se kao hepatotoksični, nefrotoksični ili neurotoksični spojevi, a mogu imati kancerogena, mutagena, imunotoksična te teratogena svojstva (Habschied i sur. 2021.; Ruan i sur. 2022.). Ljudski organizam najčešće dolazi u kontakt s mikotoksinima putem konzumacije kontaminirane hrane, dok su udisanje i transdermalni put unosa znatno rjeđi. Bolesti koje uzrokuju mikotoksini nazivaju se mikotoksikoze. Kontaminacija hrane mikotoksinima dijeli se na primarnu i sekundarnu. Primarna kontaminacija odnosi se na prisutnost mikotoksina u hrani biljnog podrijetla kao rezultat rasta plijesni na voću, povrću i žitaricama. Sekundarna kontaminacija nastaje kada životinje konzumiraju kontaminiranu hranu, pri čemu mikotoksini mogu dospjeti u proizvode životinjskog podrijetla poput mesa, jaja i mlijeka (**Slika 18**) (Kępińska-Pacelik i Biel 2021.). U svijetu je poznato više od 400 mikotoksina, no zbog njihove učestalosti i toksičnosti kao kontaminanti hrane, najznačajni su: aflatoksini, okratoksini,

fuminozini, zearalenon, trihoteceni i patulin. Osim osnovnih oblika, mikotoksini mogu biti prisutni i u modificiranom obliku, pri čemu dolazi do promjene njihove kemijske strukture, što može rezultirati promjenama njihovih fizikalno-kemijskih, kemijskih i bioloških svojstava. Modificirani oblici mogu nastati u sirovinama namijenjenima za proizvodnju hrane, ali i tijekom različitih tehnoloških procesa (Freire i Sant'Ana 2018.). Kako bi se povećala sigurnost hrane, regulirane su maksimalno dopuštene koncentracije određenih mikotoksina sukladno Uredbi Komisije (EU) 2023/915 o najvećim dopuštenim količinama određenih kontaminanata u hrani. Osim u hrani, mikotoksini mogu kontaminirati i određene farmaceutske proizvode, osobito biljne droge koje se koriste u tradicionalnoj medicini. Smatra se da su proizvodi iz ekološkog uzgoja podložniji kontaminaciji mikotoksinima u odnosu na konvencionalne proizvode, ponajprije zbog izostanka primjene sintetskih fungicida tijekom uzgoja. Iz tog se razloga u ekološkoj poljoprivredi primjenjuju sorte otpornije na rast plijesni i sintezu njihovih toksina (Pleadin i sur. 2017.). Prema nekim istraživanjima, organsko mlijeko imalo je veću razinu kontaminacije u odnosu na konvencionalno mlijeko (Brodziak i sur. 2021.). Ghidini i sur. (2004) utvrdili su da je razina kontaminacija aflatoksinom M₁ u nekim, ali ne svim, uzorcima organskog mlijeka bila statistički značajno viša nego u uzorcima konvencionalnog mlijeka, iako na razlike mogu utjecati i drugi čimbenici, ne nužno povezani isključivo s načinom proizvodnje. Pojavnost mikotoksina ovisi o vrsti plijesni te okolišnim i klimatskim uvjetima, kao i o nizu fizikalno-kemijskih čimbenika, uključujući sastav sirovine, temperaturu, aktivitet vode i druge čimbenike (Nešić i sur. 2023.).



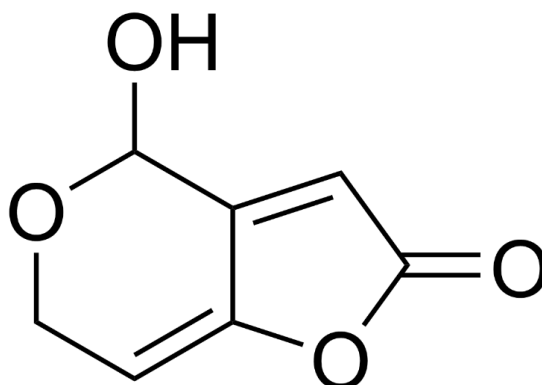
Slika 18 Put mikotoksina u hranidbenom lancu (Ožegović i Pepeljnjak 1995.)

Modificirani mikotoksini obuhvaćaju tzv. maskirane i vezane mikotoksine te metabolite mikotoksina. Naziv maskirani proizlazi iz činjenice da do nedavno nisu bili otkriveni tijekom rutinskih analiza hrane i stočne hrane, a budući da za njih nisu bile propisane maksimalno dopuštene granice, otkrivani su isključivo povremeno, i to tijekom ispitivanja prisutnih izvornih oblika mikotoksina (Nešić i sur. 2023.). Pojedince konvencionalne metode, poput ELISA testova, mogu reagirati i na maskirane oblike, dok je to znatno rjeđe kod metoda temeljenih na HPLC metodi. Modificirani mikotoksini mogu se definirati i kao metaboliti osnovnih mikotoksina koje sintetiziraju enzimi same biljke u okviru obrambene reakcije na infekciju plijesnima, ali ih također mogu stvarati i same plijesni. Osim toga, tijekom prerade hrane može doći do kemijskih transformacija mikotoksina koje rezultiraju spojevima manje toksičnosti u odnosu na njihove prekursore. Mikroorganizmi koji se koriste u tehnološkim postupcima poput fermentacije mogu dodatno mijenjati mikotoksine, pri čemu nastaju derivati koje standardne analitičke metode često ne mogu identificirati (Berthiller i sur. 2009.). Prvi identificirani modificirani mikotoksin bio je aflatoksin M, hidrolizirani metabolit aflatoksina B₁, koji nastaje u organizmu životinja nakon konzumiranja hrane kontaminirane ovim mikotoksinom (Freire i Sant'Ana 2018.). Glavni razlog za zabrinutost u vezi s maskiranim mikotoksinima leži u činjenici da se oni u probavnom sustavu mogu ponovo pretvoriti u slobodne, toksične oblike, čime se povećava njihova bioraspoloživost i potencijalni štetni učinak na ljudsko zdravlje (Angioni i sur. 2022.). Stoga, razumijevanje procesa stvaranja ili razgradnje slobodnih i modificiranih mikotoksina od iznimne je važnosti za unapređenje modela kvantitativne procjene rizika. Relevantnost ovog znanja temelji se na činjenici da su ukupne razine mikotoksina u prehrambenim proizvodima vrlo vjerojatno više od onih koje se analitički detektiraju, osobito ako su prisutni modificirani mikotoksini koji se konvencionalnim metodama ne otkrivaju (Freire i Sant'Ana 2018.).

2.7.2.1. Patulin

Patulin je poliketidni laktonski mikotoksin (**Slika 19**). Prvi je put izoliran 1943. godine iz plijesni *Penicillium griseofulvum* i *Penicillium expansum*, u okviru istraživanja usmjerenih na pronalazak novih metabolita plijesni s potencijalnim antibiotskim svojstvima (Birkinshaw i sur. 1943.). Dosadašnja istraživanja upućuju na sposobnost patulina da uzrokuje neurološke, gastrointestinalne i imunološke poremećaje kod ljudi i životinja, pri čemu dolazi do oštećenja vitalne organe poput jetre, bubrega, gastrointestinalnog sustava i mozga, a može imati i kancerogene učinke (Ramalingam i sur. 2019.; Cui i sur. 2021.; Lončarić i sur. 2021.). S obzirom na njegovu štetnost za ljudsko zdravlje, posebno u kontekstu dječje prehrane, razine

patulina u hrani strogo su regulirane. Prema Uredbi Komisije (EU) 2023/915, maksimalno dopuštena količina patulina u voćnim sokovima iznosi 50 µg/kg, a u čvrstim proizvodima od jabuka 25 µg/kg, te 10 µg/kg za sokove i hranu namijenjenu djeci.



Slika 19 Kemijska struktura patulina (C₇H₆O₄) (Gal i sur. 2025.)

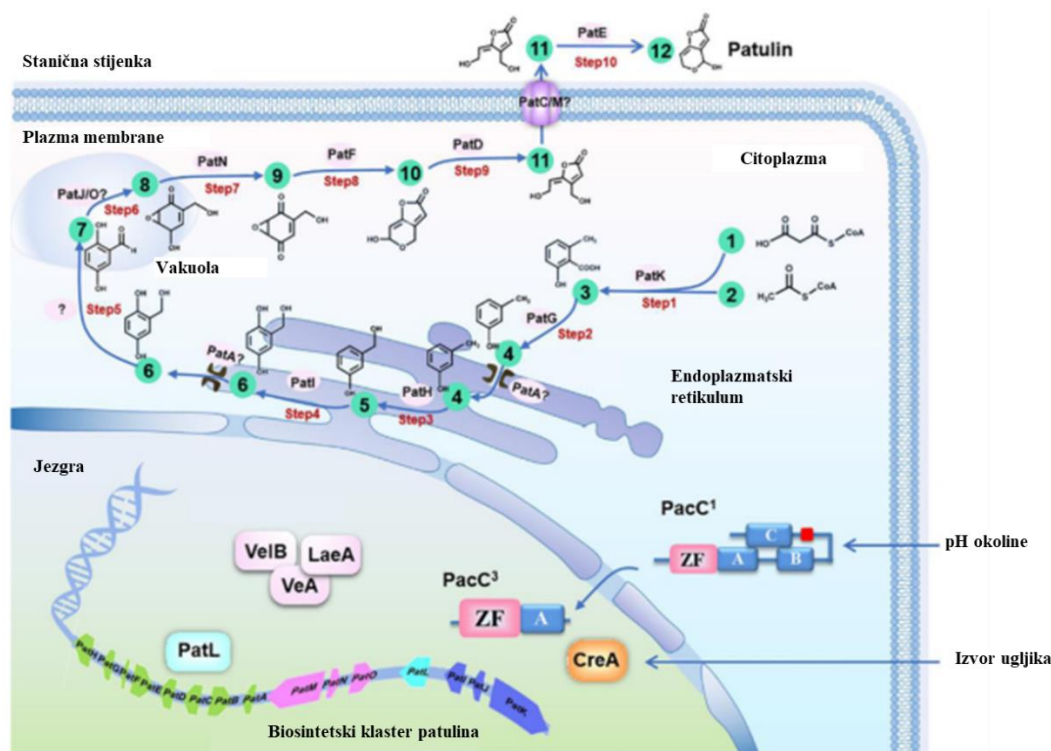
2.7.2.2. Biosinteza patulina

Biosintetski put patulina sastoji se od deset koraka i uključuje dvanaest metabolita (**Slika 20**). Prvi korak u biosintezi patulina uključuje stvaranje 6-metilsalicilne kiseline (6MSA) kondenzacijom jedne acetil-CoA i tri malonil-CoA jedinice. Enzim koji je odgovoran za prvi korak je poliketidna sintaza. Nakon toga, 6-metilsalicilna kiselina se modificira u m-krezol djelovanjem 6MSA dekarboksilaze, pri čemu se metilna skupina m-krezola oksidira u aldehidnu skupinu (Puel i sur., 2010). Slijedom toga, dolazi do reakcije hidroksilacije kojom nastaje gentisaldehyd. Izolacijom nekoliko patulin-minus mutanata iz plijesni *P. griseofulvum* identificirana su četiri post-aromska prekursora: izoepoksidon, filostin, neopatulin i askladiol (Sekiguchi i Gaucher 1978.; 1979.) Otkriće navedenih spojeva dovelo je do hipoteze da se epoksidacijski korak odvija nakon sinteze gentisaldehyda. Međutim, prirodna epoksidacija i dalje ostaje predmet rasprava, budući da još nije razjašnjeno je li supstrat reakcije gentisilni alkohol ili gentisaldehyd (Priest i Light 1989.). Do danas je samo pet enzima uključenih u biosintezu patulina djelomično ili potpuno pročišćeno, uključujući:

- 6-metilsalicilna kiselina sintazu,
- 6-metilsalicilna kiselina dekarboksilazu,
- *m*-hidroksibenzil dehidrogenazu,
- izoepoksidon dehidrogenazu,
- neopatulin sintazu.

Prema dosadašnjim istraživanjima, za biosintezu patulina neophodna su tri regulatorna čimbenika: PeVeA, PeLaeA i PeVeIB, dok su transkripcijski faktori PePacC i PeCreA,

odgovorni za prilagodbu biosinteze promjenama pH vrijednosti okoline te prisutnosti izvora ugljika (Puel *i sur.*, 2010).



Slika 20 Biosintetski put patulina. 1- acetil-CoA; 2- malonil-CoA; 3- 6-metilsalicilna kiselina; 4- m-krezol; 5- m-hidroksilbenzil; 6- gentizil alkohol; 7- gentisaldehyd; 8- izoeпокsidon; 9-filostin; 10- neopatulin; 11- E-askladiol ; 12- patulin (Puel *i sur.*, 2010)

Intenzitet biosinteze patulina ovisi o nizu čimbenika, uključujući aktivitet vode (α_w), sastav atmosfere, pH vrijednosti okoline te temperaturi. Povećanjem koncentracije ugljičnog dioksida (CO_2) tijekom skladištenja može utjecati na smanjenje biosinteze patulina. Međutim, visoke koncentracije CO_2 negativno utječu na kakvoću ploda jabuke, što se očituje promjenama na pokožici ploda. S druge strane, niže koncentracije CO_2 rezultiraju povećanom sintezom patulina te izazivaju fiziološke promjene na plodu, uključujući gubitak čvrstoće i pogoršanje organoleptičkih svojstava. Optimalna temperatura za biosintezu patulina je od 4 °C do 25 °C. Niže temperature ne inhibiraju u potpunosti biosintezu, nego ju odgađaju uslijed sporijeg rasta plijesni. Također, kisela sredina pozitivno utječe na sintezu patulina, a minimalan aktivitet vode za klijanje spora plijesni iznosi 0,82 (Gal *i sur.* 2025.). Morales *i sur.* (2008) objasnili su da izuzetno niske razine kisika tijekom skladištenja doprinose nižoj akumulaciji patulina zbog odgođenog dozrijevanja ploda. Iako se učinak niskih koncentracija kisika (3 %) na akumulaciju

patulina razlikuje ovisno o sorti, Baert *i sur.* (2007) otkrili su da 1 % O₂ u atmosferi značajno smanjuje akumulaciju patulina bez obzira na sortu.

Unutarnje komponentne koje utječu na proizvodnju patulina

Različite sorte jabuka pokazuju različitu osjetljivost na infekciju s *Penicillium expansum*. Nekoliko autora navodi da, u usporedbi sa sortom 'Fuji', sorta 'Golden Delicious' uvijek akumulira više patulina. To se pripisuje mekšoj teksturi mesa i većoj kiselosti plodova sorte 'Golden Delicious', što su neki od glavnih čimbenika koji utječu na količinu proizvedenog patulina (Marín *i sur.* 2006.; Cunha *i sur.* 2014.). Menniti *i sur.* (2010) utvrdili su tri puta veću količinu patulina u sorti 'Golden Delicious', u odnosu na sortu 'Royal Gala', što su također povezali s razlikama u kiselosti između navedenih sorti. Sorte 'Granny Smith' i 'Red Delicious' pokazale su veću otpornost na razvoj meke truleži, neovisno o temperaturi okoliša, u usporedbi sa sortama 'Golden Delicious' i 'Fuji' (Konstantinou *i sur.* 2011.). Na temelju navedenih istraživanja može se zaključiti kako postoji razlika u osjetljivosti pojedinih sorti jabuka na infekciju s *P. expansum* i na sintezu patulina. Međutim, o tim razlikama nije moguće donositi konačne zaključke bez uzimanja u obzir druge čimbenike, uključujući okolišne uvjete, mikrobiološko opterećenje površine ploda, njihovog biokemijskog i kemijskog sastava, kao i duljinu i uvjete skladištenja (Gal *i sur.* 2025.). Svježi plodovi jabuke imaju aktivitet vode (α_w) između 0,97 i 0,99 (Tannous *i sur.* 2016.), što ih svrstava unutar raspona minimalnih vrijednosti aktiviteta vode potrebnih za klijanje spora (0,83 – 0,85) i sintezu patulina (0,99) od strane *P. expansum* (Judet-Correia *i sur.* 2010.). Tannous *i sur.* (2016) postigli su najveću stopu rasta *P. expansum* (0,6 cm/dan), pri aktivitetu vode od 0,99. Kada je vrijednost aktivitet vode smanjena na 0,85 zabilježeno je značajno smanjenje rasta plijesni, a proizvodnja patulina izostala je u potpunosti. Osim aktiviteta vode, na rast, sporulacija i sinteza patulina kod *P. expansum* značajno utječe i pH vrijednost okoline (Zong *i sur.*, 2015). Sinteza patulina odvija se u rasponu pH od 2,5 do 6, pri čemu su jabuke, s prosječnim pH između 3,1 i 4,2, pogodne za sintezu patulina (Zong *i sur.*, 2015; Tannous *i sur.*, 2016). Prema istraživanju Zong *i sur.* (2015), najpovoljniji raspon za sintezu patulina je pH između 3 i 5, dok povišene pH vrijednosti negativno utječu na njegovu sintezu (Gal *i sur.* 2025.). Uzrok tome može biti prisutnost gena *pepgl* u genomu plijesni, koji se eksprimira isključivo pri kiselom pH. Slijedom toga, pH okoline izravno utječe na ekspresiju gena odgovornih za biosintezu patulina (Jimdjio *i sur.* 2021.). Tvrdoca mesa još je jedna karakteristika koja u velikoj mjeri utječe na otpornost plodova jabuke na razvoj plave plijesni te posljedično na akumulaciju patulina (Zhong *i sur.* 2018.). Omekšavanje mesa tijekom razdoblja zrenja plodova jabuke izravno utječe na povećanje

njihove osjetljivosti na infekcije različitim patogenima. Zbog toga općenito postoji negativna korelacija između čvrstoće mesa i intenziteta pojave meke truleži, kao i razine akumulacije patulina. Pearsonova korelacija, provedena u istraživanju Konstantinou *i sur.* (2011), pokazala je da su osjetljivost na *P. expansum* i razina biosinteze patulina kod nekih komercijalnih sorti jabuka statistički značajno negativno korelirane s čvrstoćom mesa ($r = 0,73$ odnosno $0,93$).

Osim čvrstoće mesa, udio etilena, šećera i polifenola ističu se kao najznačajnije kemijske komponente povezane s nakupljanjem patulina u plodovima jabuke (Zhong *i sur.*, 2018). Etilen je ključni hormon koji regulira procese zrenja i omekšavanja plodova te značajno doprinosi otpornosti na infekciju patogenima. Niža stopa emisije etilena identificirana je kao glavni razlog povećane otpornosti kasnih sorti jabuka na razvoj meke truleži (Gal *i sur.*, 2025). Prirodna proizvodnja etilena u jabukama može poslužiti kao pokazatelj brzine zacjeljivanja rana, pri čemu su plodovi s bržom sposobnošću zacjeljivanja izloženi manjoj akumulaciji patulina (Vilanova *i sur.* 2017.). Većina sorti jabuka tijekom procesa zrenja pokazuje porast, a ne stabilnu razinu etilena, što dodatno potvrđuje ulogu etilena u regulaciji fizioloških procesa povezanih s otpornošću na patogene (Johnston *i sur.* 2001.). Polifenoli prisutni u jabukama također imaju važnu ulogu u obrani od kontaminacije patulinom, prvenstveno putem neutralizacije slobodnih radikala koje patulin inducira. Istraživanja su pokazala da flavonoli, procijanidini B1 i B2, te epikatehin pridonose otpornosti ploda na *P. expansum* i inhibiciju akumulacije patulina (Ahmadi-Afzadi *i sur.* 2015.; Sun *i sur.* 2017.). U vlastitom preliminarnom istraživanju utvrđena je pozitivna korelacija između većeg udjela patulina i sadržaja galne kiseline ($r = 0,4226$, $p = 0,002$), katehina ($r = 0,3717$, $p = 0,008$) i epikatehina ($r = 0,3305$, $p = 0,019$) (Lončarić *i sur.* 2021.). Dobiveni rezultati su korelirani jer flavan-3-oli imaju prooksidativni učinak, koji potiče nakupljanje reaktivnih kisikovih vrsta u stanicama *P. expansum*, aktivirajući stanične antioksidativne mehanizme. Biosinteza patulina djeluje kao sekundarni obrambeni mehanizam, čime se smanjuje razina reaktivnih kisikovih vrsta u staničnoj sredini (Delgado *i sur.* 2019.; Li *i sur.* 2020.). Sanzani *i sur.* (2009) utvrdili su da kvercetin i umbeliferon mogu biti učinkoviti u smanjenju akumulacije patulina. Osim toga, šećeri, a posebno saharoza, predstavljaju još jednu važnu komponentu u regulaciji biosinteze patulina u jabukama. Zong *i sur.* (2015) utvrdili su da je maksimalna akumulacija patulina postignuta pri koncentraciji šećera (maltoza, saharoza i glukoza) od 10 g/L, što je oko 29,2 mM. Povećavanjem koncentracije šećera na 175 mM, došlo je do smanjenja akumulacije patulina za 96 %, čime je potvrđena inhibicijska uloga većih koncentracija šećera na biosintezu patulina.

Dozrijevanje plodova ima značajnu ulogu u osjetljivosti jabuka na gljivične infekcije, budući da je otpornost na infekcije tijekom skladištenja pod izravnim utjecajem faze razvoja ploda u trenutku berbe (Gal *i sur.*, 2025). Brojna istraživanja pokazala su da zreliji plodovi akumuliraju znatno veće količine patulina (Kumar *i sur.* 2018.). Također, dokazano je da jabuke komercijalne zrelosti pokazuju manju osjetljivost na infekciju s *P. expansum* u usporedbi s prezrelim plodovima. Prezreli plodovi karakterizirani su visokim udjelom šećera i smanjenom čvrstoćom mesa, što stvara idealne uvjete za prodiranje u rast patogena (Vilanova *i sur.* 2012.; Ahmadi-Afzadi *i sur.* 2013.; 2015.; Zhong *i sur.* 2018.; Gal *i sur.* 2025.). Visoka stopa respiracije, u kombinaciji s povećanim oslobađanjem etilena tijekom skladištenja, ubrzava procese zrenja, što posljedično dovodi do omekšavanja mesa ploda. Takve fiziološke promjene dodatno pogoduju razvoju gljivičnih infekcija, uključujući infekcije uzrokovane *P. expansum* (Gal *i sur.*, 2025).

2.7.2.3. Toksičnost patulina

Iako je patulin u početku bio predmet istraživanja zbog svog potencijalnog antibiotskog djelovanja, daljnja istraživanja ukazala su na njegovu izraženu toksičnost za ljude, uključujući pojavu mučnina, povraćanja i krvarenja (Puel *i sur.*, 2010). Osim toga, utvrđene su brojne druge vrste toksičnosti patulina, uključujući genotoksičnost, imunitoksičnost i reproduktivnu toksičnost, pri čemu dolazi do oštećenja crijeva, bubrega, jetre i drugih vitalnih organa (Ding *i sur.* 2023.). Subakutna primjena patulina najčešće je proučavana na štakorima, gdje su zabilježeni gubitci tjelesne mase, promjene u želucu i crijevima te poremećaji burežnih funkcija. Ponavljanje doze dovelo je do neurotoksičnih znakova, kao i do inhibicije aktivnosti nekoliko enzima u crijevima i mozgu (Puel *i sur.*, 2010). U istraživanju provedenom na majmunima nisu uočeni znakovi toksičnosti nakon dnevne primjene doza u rasponu od 5 do 500 µg/kg tjelesne mase tijekom četiri tjedna. Samo su majmuni koji su primili dozu od 5 mg/kg tjelesne mase pokazali znakove odbijanja hrane tijekom posljednja tri dana eksperimenta (Garza *i sur.* 1977.). Dostupni podaci o genotoksičnosti patulina su varijabilni. Dok su testovi provedeni na bakterijama uglavnom dali negativne rezultate, većina ispitivanja na stanicama sisavaca pokazala je pozitivne rezultate. Neka istraživanja potvrdila su da patulin oštećuje sintezu DNA, što se povezuje s njegovom sposobnošću reagiranja sa sulfhidrilnim skupinama te induciranjem oksidativnog stresa (Riley i Showker, 1991; Puel *i sur.*, 2010). Patulin, osim toga, može promijeniti imunološki odgovor domaćina (Puel *i sur.*, 2010). Brojna *in vitro* istraživanja pokazala su da patulin inhibira nekoliko funkcija makrofaga. Sorenson *i sur.* (1986) utvrdili su da izlaganje alveolarnih makrofaga štakora patulinu *in vitro* inhibira sintezu proteina

te uzrokuje promijene u funkciji stanične membrane. Također, ispitivanja provedena na miševima pokazala su brojne promjene u imunološkom odgovoru, uključujući povećanje broja spleničnih T-limfocita i smanjenje koncentracije imunoglobulina u serumu (Escoula i sur. 1988.). Reproductivna toksičnost patulina također je predmet brojnih istraživanja. (Reddy i sur. 1978.) utvrdili su da je kod štakora oralna primjena patulina u dozi od 1,5 mg patulina/ kg tjelesne mase izazvala pobačaj svih embrija. Ista doza kod miševa uzrokovala je smrtnost potomstva uz krvarenja u mozgu i plućima (Osswald i sur. 1976.). Viša oralna doza (3,8 mg/kg) nije promijenila broj implantacija i živorođenih fetusa niti je izazvala deformacije. Suprotno tome, intraperitonealna primjena rezultirala je pojavom rascjep nepca i malformacijama bubrega (Puel i sur., 2010).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

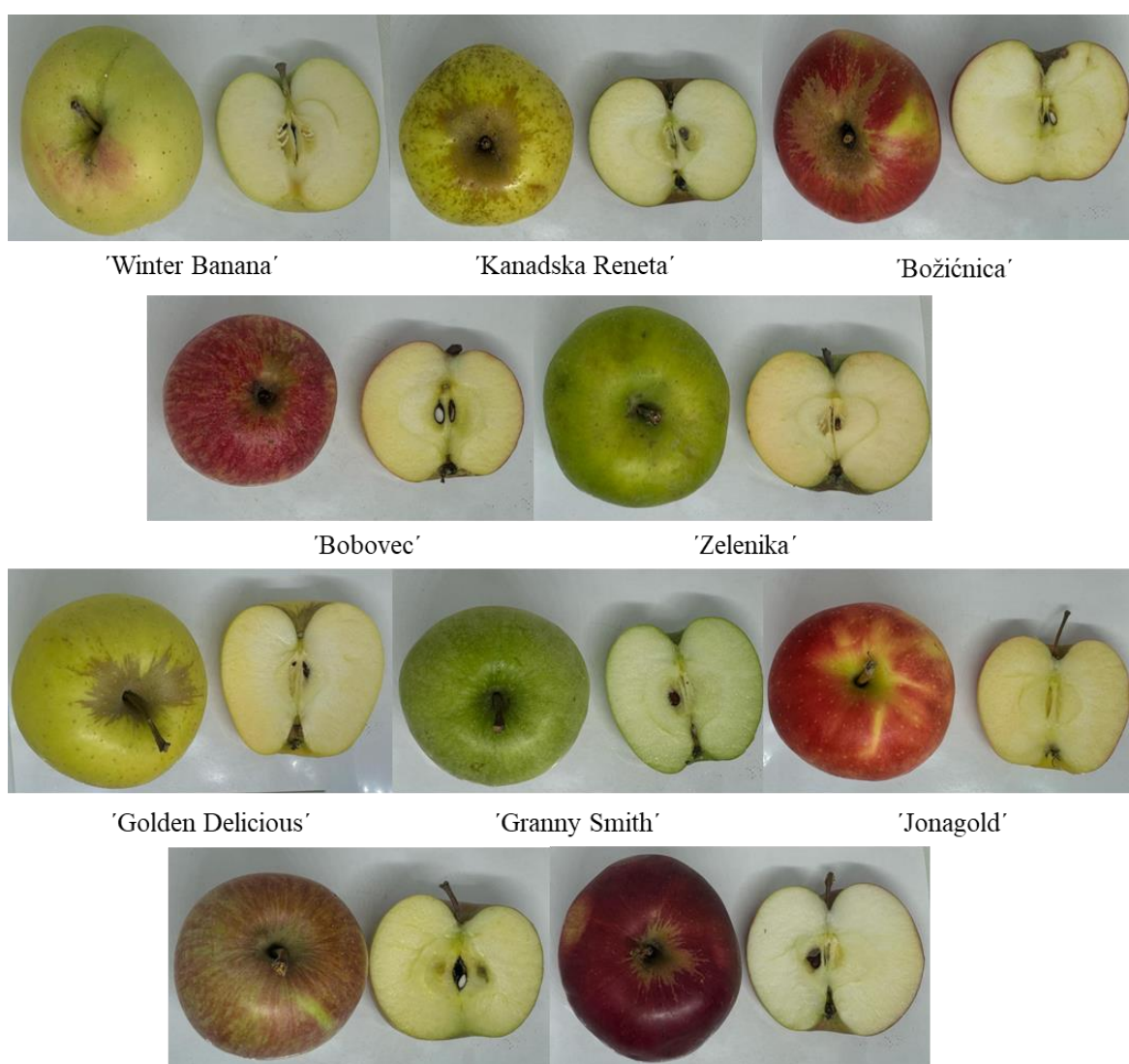
Zadatak ove doktorske disertacije bio je:

- prikupiti uzorke pet tradicionalnih i pet komercijalnih sorti jabuka tijekom tri uzastopne kalendarske godine (2021.-2023.).
- determinirati odabrane sorte jabuka te odrediti fizikalno-kemijska i mehanička svojstva tla s istraživačkih nasada.
- utvrditi agrometeorološke prilike za razdoblja od kretanje vegetacije do berbe.
- analizirati fizikalno-kemijska svojstva odabranih tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka nakon berbe te po isteku tri i šest mjeseci skladištenja.
- odrediti kiselost odabranih sorti jabuka metodom prema AOAC Official Method 981.12.
- odrediti teksturu ploda odabranih sorti jabuka.
- odrediti udio ukupnih kiselina odabranih sorti jabuka metodom prema AOAC Official Method 932.14.
- utvrditi udio ukupnih i prirodnih šećera ploda jabuke volumetrijskom metodom po Luff-Schoorl-u.
- utvrditi udio topljive suhe tvari, suhe tvari te aktiviteta vode odabranih sorti jabuka.
- Spektrofotometrijski odrediti udio ukupnih polifenola Folin-Ciocalteu metodom u odabranim sortama jabuka.
- identificirati i kvantificirati polifenolne spojeve (flavonola, flavanola, dihidrohalkona, procijanidina, fenolne kiseline) prisutne u odabranim sortama jabuka primjenom visoko djelotvorne tekućinske kromatografije (HPLC), validirane za njihovo kvantitativno i kvalitativno određivanje.
- utvrditi udio ukupnih flavonoida i antocijana u odabranim sortama jabuka.
- odrediti antioksidacijsku aktivnost odabranih sorti jabuka primjenom elektrokemijskog DNA biosenzora, DPPH i ABTS metode .
- odrediti otpornost plodova odabranih sorti jabuka na infekciju s *P. expansum* CBS 325.48 nakon berbe te po isteku tri i šest mjeseci skladištenja.
- utvrditi koncentraciju patulina u namjerno inokuliranim i kontrolnim uzorcima odabranih sorti jabuka nakon berbe te po isteku tri i šest mjeseci skladištenja pri 4 °C.
- statistički obraditi eksperimentalno dobivene podatke primjenom standardnih statističkih metoda analize primjenom programa Statistica®14.2 (TIBCO Software Inc, SAD).

3.2. MATERIJALI

3.2.1. Tradicionalne i komercijalne sorte jabuka

Tradicionalne sorte jabuka, 'Zelenika', 'Bobovec', 'Kanadska Reneta', 'Božićnica', 'Winter Banana', ubrane su na području Požege (OPG Mladen Katić) te Zagreba (Pokušalište Zavoda za voćarstvo, Agronomski fakultet Zagreb), dok su komercijalne sorte jabuka, 'Idared', 'Jonagold', 'Fuji', 'Golden Delicious', 'Granny Smith', ubrane na području Donje Bistrice (Agro-Car) (**Slika 21**). Jabuke su čuvane u hladnjači Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek pri temperaturama od 4 °C. Eksperimenti su provedeni nakon berbe, te po isteku tri i šest mjeseci skladištenja tijekom tri uzastopne godine (2021.-2023.).



Slika 21 Uzorci tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka (Izvor: autor)

3.2.2. Kemikalije i standardi

Za ekstrakciju polifenolnih spojeva korišten je metanol, MS čistoće, proizvođača Scharlaub (Chemie SA, Barcelona, Španjolska).

Za spektrofotometrijske analize korišteni su:

- Folin-Ciocalteu reagens, Kemika (Zagreb, Hrvatska),
- 2,2-difenil-pikrilhidrazil (DPPH), 6-hidroksi-2,5,7,8-tetrametilkroman-2-karboksilna kiselina (Trolox) Sigma-Aldrich (Steinheim, Njemačka),
- aluminijski klorid 98 %, ekstra čisti, bezvodni prah, proizvođača Alfa Aesar (Massachusetts, SAD),
- natrijev hidroksid, T.T.T. d.o.o. (Sveta Nedjelja, Hrvatska),
- natrijev karbonat, natrijev nitrit, bezvodni natrijev acetat i kalijev klorid, GRAM-MOL d.o.o. (Zagreb, Hrvatska),
- 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonska kiselina) (ABTS),

Pri HPLC analizi korišteni su sljedeći standardi HPLC čistoće:

- katehin, ≥ 99 % čistoće,
- epikatehin, ≥ 90 % čistoće,
- procijanidin B1 i procijanidin B2, ≥ 90 % čistoće,
- procijanidin A2, ≥ 99 % čistoće,
- galna kiselina, ≥ 99 % čistoće,
- *trans*-ferulinska kiselina, ≥ 99 % čistoće,
- klorogenska kiselina, ≥ 95 % čistoće,
- epigalokatehin, $\geq 93,8$ % čistoće,
- kofeinska kiselina, ≥ 98 % čistoće,
- *p*-kumarinska kiselina, ≥ 98 % čistoće,
- floridzin, ≥ 99 % čistoće,
- miricetin, ≥ 96 % čistoće,
- kvercetin-3-rutinozid, ≥ 94 % čistoće,
- kvercetin-3-D-glukozid, ≥ 90 % čistoće,
- cijanidin-3-glukozid klorid, ≥ 90 % čistoće,
- cijanidin-3-galaktozid klorid, ≥ 90 % čistoće,
- kvercetin, ≥ 95 % čistoće,

- pelargonidin-3-glukozid, $\geq 90\%$ čistoće

Za pripremu mobilnih faza kod HPLC analiza korišten je metanol, Panareac (Barcelona, Španjolska), HPLC čistoće, ultračista Milipore voda, 0,054 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dobivena na uređaju Mili-Q Gradient sustav (Milipore, Bedford, MA, SAD) i acetonitril, J.T. Baker® (Deventer, Nizozemska), HPLC čistoće.

Za kvantitativno određivanje patulina primjenom tekućinske kromatografije ultravisokih performansi povezanih s tandem-masenom spektrofotomerijsom (UHPLC-MS/MS) korišten je standard patulina, 98% čistoće, proizvođača Sigma-Aldrich (Chemie Check GmbH, Steinheim, Germany).

Od ostalih kemikalija korišten je kalijev jodid (LabExpert), sumporna kiselina (LabExpert), kalij tiocijanat (Honeywell Fluka™), klorovodična kiselina (GRAM-MOL d.o.o.), kalij persulfat (Fischer Chemical), bakrov(II) sulfat pentahidrat (GRAM-MOL d.o.o.), škrob topljiv (GRAM-MOL d.o.o.), limunska kiselina monohidrat i cink acetat dihidrat (GRAM-MOL d.o.o.)

3.2.3. Uređaji

- ultrazvučna kupelja (ELMA, Elmasonic P 120 H)
- analitička vaga (Mettler Toledo MS1003TS/00)
- vodena kupelj (TIP HYDRO H6, Lauda Dr. R. Wobser GmbH & Co. KG)
- centrifuga (Thermo Scientific SL 8R)
- sušionik univerzalni (UF75 74L, Memmert GmbH & Co. KG)
- uređaj za ultračistu vodu (Milipore, Bedford, MA, SAD)
- uređaj za mjerenje aktiviteta vode (Rotronic, HygroPalm AW1)
- biozaštitni kabinet (Esco/ Airstream AC2-4E1)
- UV-VIS spektrofotometar (PerkinElmer LAMBDA 365 UVWinLab UOQ non-Pharma IQ/OQ).
- uređaj za tekućinsku kromatografiju (HPLC) (SHIMADZU d.o.o.)
- vakuum sušionik (Kambič, Slovenija, VS-50 SC)
- liofilizator (Christ, Alpha LSCplus)
- teksturometar (A. XT Stable Micro System, Velika Britanija)
- pH metar (Mettler Toledo, SevenExcellence)
- digitalni Abbe refraktometar DR-A1 (Atago Co. Ltd., DR-A1)

- vorteks (NEUATION, iSWIX VT)
- zamrzivač za ultraduboko smrzavanje (Thermo Scientific, TSE400VGP-ULTS)
- uređaj za tekućinsku kromatografiju ultravisokih performansi povezanih s tandem-masenom spektrofotometrijom (UHPLC-MS/MS) (Sigma-Aldrich, Chemie Check GmbH)
- inkubator (Mettmert Inkubator IN 30, GmbH)
- analitička vaga (Mettler Toledo, XS105 DualRange)
- tresilica (IKA, KS 260 basic)
- Acquity UPLC H-Class sustav (Waters, MA, SAD)
- rotavapor (Büchi, R-210)
- Xevo TQD spektrometrom masa (Waters, MA, SAD)
- rotator, programabilni (Multi RS 60e, Latvia)
- centrifuga (IKA mini G)
- laboratorijski mlin Grindomix GM200 (Retsch)

3.3. METODE

3.3.1. Determinacija odabranih sorti jabuka

U kolekcijskim nasadima na tri lokacije provedeno je uzimanje uzoraka listova za analizu. Uzorci, sastavljeni od 10 do 15 zdravih listova po sorti, prikupljeni su tijekom rujna 2021. godine. Nakon uzorkovanja, listovi su adekvatno pohranjeni u filter papir, zapakirani u prethodno označene zip vrećice te poslani na Institut East Maling u Engleskoj, gdje se utvrđuje genetska varijabilnost različitih sorti jabuka.

3.3.2. Utvrđivanje agrometeoroloških prilika

Budući da su temperatura zraka i oborine meteorološki elementi koji najviše utječu na formiranje klime, upravo se oni najčešće koriste za ocjenu pogodnosti klime za poljoprivrednu proizvodnju određenoga područja. Potrebni podaci prikupljeni su s agro-meteo stanica postavljenih u nasadima na istraživanim lokacijama (**Slika 22**).

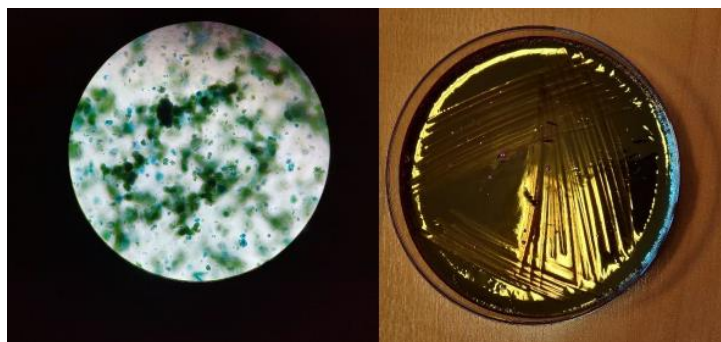


Slika 22 Postavljane meteo stanice za prikupljanje meteoroloških podataka u pokusnim nasadima (Izvor: autor)

3.3.3. Analiza tla

Uzorci tla za analizu fizikalno-kemijskih i mehaničkih svojstava prikupljeni su s istraživačkih lokacija nasada na dvjema različitim dubinama: 0-30 cm i 30-60 cm . Analiza tla s triju istraživačkih lokacija izvršena je u Analitičkom laboratoriju Zavoda za ishranu bilja, Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta. Analizirana su sljedeća svojstva: pH vrijednost, sadržaj humusa, ukupni dušik, fiziološki aktivni fosfor i kalij. Na istim uzorcima provedena je i mikrobiološka analiza prisutnosti plijesni te determinacija rodova plijesni iz izoliranih čistih kultura. U mikrobiološkoj analizi korišten je uzorak tla s dubine do 30 cm, gdje se očekuje najveća prisutnost mikroorganizama koji mogu utjecati na mikrobiološku stabilnost plodova jabuke.

Postupak: 5 g homogeniziranog uzorka tla ispirano je sa 50 mL sterilne fiziološke otopine radi ispiranja prisutnih mikroorganizama. Pripremljena su decimalna razrjeđenja u rasponu od 10^{-1} do 10^{-5} te su uzorci inkubirani na PDA agaru pri temperaturi od 25 °C u mraku. Kolonije su brojene svakoga dana zbog prisutnosti brzorastućih plijesni (npr. *Rhizopus* i *Mucor*), a prije prerastanja podloge izdvojene su čiste kolonije radi dobivanja čistih kultura. Broj jedinki koje tvore kolonije (CFU) određen je nakon sedmodnevne inkubacije te preračunat na CFG/g tla (**Slika 23**). Identifikacija rodova plijesni provedena je promatranjem dominantnih čistih kultura na mikroskopu, prije i/ili nakon bojanja metilenskim modrilom, radi lakše identifikacije konidiofora i/ili stanica hifa. U identifikaciji se koristio slikovni atlasa plijesni tla i sjemenki (Watanabe 2010. Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi).



Slika 23 Određivanje mikrobiološkog sastava tla (Izvor: autor)

3.3.4. Priprema materijala za ekstrakciju

Tradicionalne i komercijalne sorte jabuka skladištene su na temperaturi od 4 °C do provedbe eksperimenta. Prije pripreme uzorka, jabuke su držane sat vremena na sobnoj temperaturi. Od svake sorte uzete su po tri jabuke, koje su usitnjene te zamrznute na -80 °C tijekom 24 sata. Nakon 24 sata proveden je postupak sušenja smrzavanjem, tj. liofilizacije, kako bi se što bolje sačuvala senzorska svojstva i biološki aktivne komponente. Proces liofilizacije sastoji se iz nekoliko koraka, koji obuhvaćaju operacije zamrzavanja i dehidracije te kondicioniranje proizvoda (uključuje pranje i skladištenje). Sušenje zamrzavanjem, liofilizacija, provedena je u liofilizatoru (Christ, Alpha LSCplus). Tijekom glavnog sušenja tlak je iznosio 0,240 mbar, a tijekom završnog sušenja 0,060 mbar. Proces liofilizacije trajao je oko 48 sati i provodio se do postizanja udjela suhe tvari u uzorcima od 94 do 98%. Nakon procesa liofilizacije, svi uzorci mljeveni su u laboratorijskom mlinu (Grindomix GM200) te pohranjeni do daljnjih analiza.

3.3.4.1. Ekstrakcija potpomognuta ultrazvukom (UAE)

Ekstrakcija bioaktivnih spojeva iz tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka, potpomognuta ultrazvukom, provedena je na ultrazvučnoj kupelji ELMA, Elmasonic P 120 H (**Slika 24**) (Elma Schmidbauer GmbH, Njemačka). Ekstrakcija potpomognuta ultrazvukom korištena je za ekstrakciju polarnih spojeva, pri čemu je kao otapalo korišten 80 %-tni metanol. Tri grama liofiliziranog uzorka prenesena su u falkonicu od 50 mL, zajedno s 15 mL 80 %-tnog metanola. Nakon dodavanja ekstrakcijskog otapala, falkonice su postavljene u ultrazvučnu kupelj na istom razmaku te tijekom ekstrakcije nije primjenjivano dodatno miješanje.



Slika 24 Ultrasvučna kupelj ELMA, Elmasonic P 120 H (Katalog opreme Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, 2025.)

Ekstrakcija je provedena na frekvenciji od 37 kHz, tijekom 15 minuta. Po završetku ekstrakcije, uzorci su centrifugirani 15 minuta pri 17 000 rpm (Thermo Scientific SL 8R). Nakon centrifugiranja, uzorci su profiltrirani kroz filtar veličine pora 0,22 μm (**Slika 25**) (Chromafil Xtra, PTFE, 0,22 μm , 25 mm). Filtrat je pohranjen u zatvorenoj staklenoj epruveti s navojem, u hladnjaku na 4 °C, do daljnje analize. Dobiveni filtrat koristi se za određivanje udjela ukupnih polifenola, flavonoida, antioksidacijske aktivnosti, polifenolnog profila i antocijana. Ostatak liofiliziranog uzorka čuvan je u hermetički zatvorenim tamnim staklenim posudama, pri sobnoj temperaturi.



Slika 25 Grafički prikaz postupka ekstrakcije bioaktivnih spojeva (Izvor: autor)

3.3.5. Priprema kaše jabuka

Jabuke su prije same pripreme kaše držane sat vremena na sobnoj temperaturi. Nakon pranja, homogena kaša od jabuka je pripremljena laboratorijskim mlinom (Grindomix GM200). Od kaše su pripremljeni uzorci za određivanje udjela ukupnih kiselina, prirodnih i reducirajućih šećera, topljive suhe tvari, pH vrijednosti, aktiviteta vode (α_w) i suhe tvari. Pripremljeni uzorci kaša jabuka skladišteni su na temperaturi od 4 °C tijekom provedbe analiza.

3.3.6. Određivanje suhe tvari sušenjem u vakuumu

U prethodno osušenu i izvaganu aluminijsku posudicu odvažuje se 2 g kvarcnog pijeska, koji se, zajedno sa staklenim štapićem, stavlja na sušenje. Nakon sušenja, posudice se stavljaju u eksikator na hlađenje. Osušene i izvagane posude s pijeskom, staklenim štapićem i 2 g uzorka

kaše jabuke, stavljaju se u vakuum sušionik (Kambič, Slovenija, VS-50 SC) na 70 °C. Uzorci se suše pri tlaku od 30 mPa tijekom pet sati. Nakon sušenja, uzorci se stavljaju u eksikator na hlađenje tijekom 30 minuta, a zatim se važu s točnošću od 0,0002 g. Dosušivanje se radi pri istim uvjetima u trajanju od 1 sata. Postotak suhe tvari preračunava se pomoću jednadžbe (4):

$$\% \text{ Suhe tvari} = \frac{M_2 - M_1}{M_1 - M_0} \times 100 \quad (4)$$

M_0 - masa posude s pijeskom, staklenim štapićem i poklopcem (g),

M_1 - masa iste posude s uzorkom prije sušenja (g),

M_2 - masa iste posude s uzorkom poslije sušenja (g)

3.3.7. Mjerenje topljive suhe tvari refraktometrom

Na prizmu refraktometra (Abbe refraktometar DR-A1) nanese se nekoliko kapi soka kaše od jabuke, nakon čega se poklopac spusti, a svjetlost usmjeri prema prizmi. Refraktometrom se mjeri topljiva suha tvar na temelju loma zrake svjetlosti na granici dviju faza (zrak/tekućina), pri čemu se koristi odnos između brzine prolaska svjetlosti kroz zrak i tekućinu. Vrijednost topljive suhe tvari očitava se na ljestvici u % prema Brixu, tj. lom svjetlosti se očitava na skali od 0 do 30 % Brix.

3.3.8. Određivanje kiselina iz kaše jabuke

U Erlenmayerovu tikvicu s brušenim grlom odvaje se 10 g uzorka (kaše) s točnošću od 0,01 g, doda 100 mL destilirane vode, dobro promiješa i zagrijava na vodenoj kupelji do 80 °C. Nakon hlađenja, sadržaj iz tikvice prenese se u odmjernu tikvicu od 250 mL te se nadopuni do oznake destiliranom vodom. Sadržaj se zatim filtrira. Ovisno o očekivanoj kiselosti, otpipetira se 50 mL filtrata i prenese u Erlenmayerovu tikvicu. Uzorku se doda 3-4 kapi fenoftaleina i titrira se s 0,1 M natrijevim hidroksidom (NaOH) do promjene boje koja traje najmanje 30 sekundi. Udio ukupnih kiselina preračunava se prema jednadžbi (5):

$$\text{Kiselost} = \frac{A \times k \times 100}{O_k} \text{ g/100g} \quad (5)$$

A - mL 0,1 M NaOH trošenih za titraciju

O_k – količina uzorka (g)

K – udio kiseline koji odgovara 1 mL utrošene otopine NaOH za titraciju (jabučna kiselina) iznosi 0,0067

3.3.9. Određivanje pH vrijednosti

pH vrijednost kaše jabuka određena je pH metrom (**Slika 26**) (Mettler Toledo, SevenExcellence). Prije mjerenja pH vrijednosti uzorci su temperirani na sobnu temperaturu.



Slika 26 Grafički prikaz određivanja pH vrijednosti u kaši jabuke (Izvor: autor)

3.3.10. Određivanje šećera po Luff-Schoorl-u

3.3.10.1. Određivanje reducirajućih šećera

U laboratorijsku čašu od 250 mL odvaži se 7 g kaše od jabuka i doda 70 mL prethodno zagrijane destilirane vode na 70 °C. Sadržaj u čaši zagrijava se na vodenoj kupelji do 70° tijekom 15 minuta. Nakon hlađenja, sadržaj se kvantitativno prenese u odmjernu tikvicu od 200 mL, doda se 1-2 g kalcijeva karbonata CaCO_3 kako bi se postigla slabo kisela reakcija, te se potom promiješa. Doda se 5 mL reagensa I i 5 mL reagensa II, zatim se sadržaj promiješa i nadopuni destiliranom vodom do oznake. Sadržaj tikvice profiltrira se kroz suhi, nabrani filter papir. Dobiveni filtrat označava se kao F1. U odmjernu tikvicu od 300 mL pipetom se odmjeri 25 mL Luffove otopine, doda se otopina šećera koja treba sadržati manje od 100 mg šećera te toliko destilirane vode da ukupan volumen iznosi 50 mL. Za slijepu probu doda se 25 mL Luffove otopine i 25 mL destilirane vode. Nakon dodavanja staklenih kuglica za vrenje, sadržaj u tikvici zagrijava se tako da prokuha kroz dvije minute, a zatim se umjereno vrenje nastavi još 10 minuta. Nakon završetka zagrijavanja, sadržaj se naglo hladi pod mlazom hladne vode, a dvije minute kasnije doda se 3 mL otopine kalijeva jodida (KI). Nakon brzog miješanja pažljivo se doda 20 mL 25 %-tne sumporne kiseline (H_2SO_4) i 10 mL otopine kalij-tijocijanata (KCNS). Sadržaj tikvice mučka se do prestanka šuma. Istaloženi jod titrira se otopinom natrijeva tiosulfata, uz dodatak škroba kao indikatora, sve dok se ne izgubi plava boja. Utrošak natrijeva tiosulfata za slijepu probu treba iznositi oko 25 mL. Postotak reducirajućih šećera preračunava se pomoću jednadžbe (6):

$$\% \text{ reducirajućih šećera} = \frac{a \times 100}{m} \quad (6)$$

a - mg šećera izračunati iz Tablice 3

m – masa uzorka u mg

3.3.10.2. Određivanje ukupnih šećera

Otpipetira se 50 mL filtrata F1 u odmjernu tikvicu od 100 mL i doda 5 mL HCl-a te se sve dobro promiješa. Zatim se zagrijava na vodenoj kupelji pri 70 °C tijekom 10 minut. Temperatura ne smije prelaziti 70 °C jer pri višim temperaturama dolazi do degradacije fruktoze. Nakon zagrijavanja, sadržaj tikvice se brzo hladi u stalno miješanje te neutralizira s 20 % NaOH uz metiloranž kao indikator. Ohladi se na sobnu temperaturu i dopuni destiliranom vodom do oznake. Dobiveni filtrat je F2. Postupak dalje ide kao kod određivanja reducirajućih šećera. Postotak ukupnih šećera preračunava se pomoću jednadžbe (7) i (8):

$$\% \text{ ukupnih šećera} = \frac{a \times 100}{m} \quad (7)$$

a – mg šećera izračunati iz Tablice

m – masa uzorka u mg

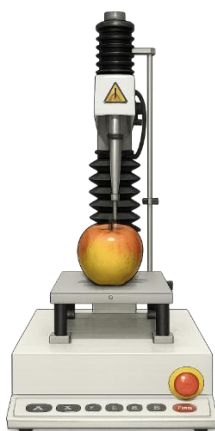
$$V (\text{slijepe probe}) - V (\text{uzorka}) = \text{mL Na-tiosulfata} \quad (8)$$

Tablica 3 Tablica za izračun udjela šećera

mL Na-tiosulfata	Glukoza, fruktoza ili invertni šećer		Laktoza		Maltoza	
	mg	razlika	mg	razlika	mg	razlika
1	2,4	2,4	3,6	3,7	3,9	3,9
2	4,8	2,4	7,3	3,7	7,8	3,9
3	7,2	2,5	11,0	3,7	11,7	3,9
4	9,7	2,5	14,7	3,7	15,6	3,9
5	12,2	2,5	18,4	3,7	19,6	4,0
6	14,7	2,5	22,1	3,7	23,5	4,0
7	17,2	2,6	25,8	3,7	27,5	4,0
8	19,8	2,6	29,5	3,7	31,5	4,0
9	22,4	2,6	33,2	3,8	35,5	4,0
10	25,0	2,6	37,0	3,8	39,5	4,0
11	27,6	2,7	40,8	3,8	43,5	4,0
12	30,3	2,7	44,6	3,8	47,5	4,1
13	33,0	2,7	48,4	3,8	51,6	4,1
14	35,7	2,8	52,5	3,8	55,7	4,1
15	38,5	2,8	56,0	3,9	59,8	4,1
16	41,3	2,9	58,9	3,9	63,9	4,1
17	44,2	2,9	63,8	3,9	68,0	4,2
18	47,1	2,9	67,7	4,0	72,2	4,3
19	50,0	3,0	71,7	4,0	75,5	4,4
20	53,0	3,0	75,7	4,1	80,9	4,5
21	56,0	3,1	79,8	4,1	85,4	4,6
22	59,1	3,1	83,9	4,1	90,0	4,6
23	62,2	3,1	88,0	4,1	94,6	4,6

3.3.11. Određivanje teksture ploda jabuke

Prije određivanja teksture tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka, uzorci su temperirani na sobnu temperaturu. Tekstura ploda, odnosno sila potrebna za probijanje kore i čvrstoće mesa ploda, određena je teksturometrom (**Slika 27**) (A. XT, Stable Micro System, Velika Britanija). Brzina kretanja instrumenta prije testiranja iznosila je 1,5 mm/s, brzina tijekom testiranja 1,5 mm/s, dok je brzina nakon testiranja iznosila 10,0 mm/s pri udaljenosti od 10,0 mm. Za provedbu analize korištena je cilindrična sonda promjera 2 mm, uz brzinu prikupljanja podataka od 200 ppm. Dobiveni podaci analizirani su pomoću softverskog paketa Texture expert (verzije 1.22; Stable Micro System, Velika Britanija).



Slika 27 Grafički prikaz određivanja teksture ploda jabuke (Izvor: autor)

3.3.12. Određivanje aktiviteta vode (a_w)

Aktivitet vode (a_w) određen je pomoću uređaja za mjerenje aktiviteta vode (**Slika 28**) (Rotronic, HygroPalm AW1). Aktivitet vode određuje se posredno, mjerenjem relativne vlažnosti zraka koji okružuje uzorak u zatvorenoj komori tijekom 20 minuta pri sobnoj temperaturi. Mjerenja su provedena na svježim kašama tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka.



Slika 28 Grafički prikaz uređaja za mjerenje aktiviteta vode u kaši jabuke (Izvor: autor)

3.3.13. Određivanje ukupnih polifenola u ekstraktu jabuke

Koncentracija ukupnih polifenola određena je spektrofotometrijski (PerkinElmer LAMBDA 365 UVWinLab UOQ non-Pharma IQ/OQ) primjenom Folin-Ciocalteu metodom. Princip metode temelji se na svojstvu fenolnih spojeva da tijekom reakcije s Folin-Ciocalteu reagensom, koji je smjesa fosfovolframove i fosfomolibdenske kiseline, nastaje plavo obojeni kompleks čiji je intenzitet obojenja proporcionalan koncentraciji fenola. Pri oksidaciji fenolnih spojeva u blago alkalnim uvjetima, navedene kiseline reduciraju se u volframov i molibdenov oksid (plavo obojeni). U staklenu epruvetu otpipetira se 0,2 mL ekstrakta jabuke, 1,8 mL destilirane vode, 2,5 mL Folin-Ciocalteu reagensa i 2 mL 7,5 %-tne otopine natrijeva karbonata. Smjesa se promućka i ostavi da stoji 2 sata na tamnom mjestu pri sobnoj temperaturi. Apsorbancija otopine mjeri se pri valnoj duljini od 765 nm. Slijepa proba pripravi se s destiliranom vodom (2 mL), uz ostale reagense u jednakim količinama. Za svaki uzorak provedena su tri mjerenja (**Slika 29**).

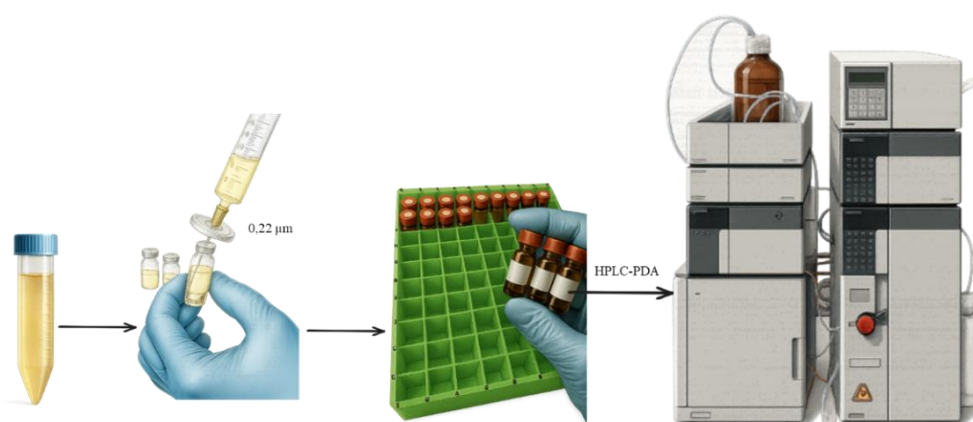


Slika 29 Grafički prikaz određivanja udjela ukupnih polifenola primjenom Folin-Ciocalteu metode (Izvor: autor)

3.3.14. Određivanje polifenolnog profila HPLC-PDA metodom

Tekućinska kromatografija visoke djelotvornosti danas predstavlja jednu od najčešće korištenih analitičkih metoda za određivanje različitih analita. HPLC metodom utvrđen je sadržaj pojedinačnih polifenolnih spojeva u tradicionalnim i komercijalnim sortama jabuka. Ekstrakti svakog uzorka pripremljeni su u tri paralele prema metodi 3.3.4. HPLC-PDA metoda uspostavljena je i validirana za kvantifikaciju 19 polifenolnih spojeva ekstrahiranih iz tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka (**Slika 30**). Određivanje polifenolnog profila provedeno je na Shimadzu HPL uređaju koji se sastoji od kvartarne pumpe LC-20AD, pećnice CTO-20AC, PDA detektora SPD-M20A te autosamplera SIL-10AF. Odjeljivanje komponenti

provedeno je pomoću kolone Inertsil ODS-3V proizvođača GL Sciences, dimenzije 250 x 4,6 cm, punjena česticama veličine 5 µm. Obrada podataka i upravljanje sustavom provedeno je pomoću računalnog programa LabSolution Life (Release 5.52). Za mobilnu fazu korištena je 1 %-tna otopina mravlje kiseline u vodi, čistoće 98-100% (Scharlau Chemie, Španjolska) kao otapalo A, te 1 %-tna otopina mravlje kiseline u metanolu, čistoće $\geq 99,9$ % (J. T. Baker, Nizozemska) kao otapalo B. Volumen injektiranja uzorka iznosio je 10 µL, temperatura kolone i detektora postavljena je na 50 °C, a protok mobilne faze na 0,8 mL/min. Polifenoli su detektirani pomoću detektora s nizom dioda (PDA) na 280, 320, 360 i 520 nm, ovisno o analiziranoj komponenti. Kvantifikacija polifenolnih spojeva provedena je preko kalibracijske krivulje pojedinačnih standarda.



Slika 30 Grafički prikaz određivanja polifenolnog profila HPLC-PDA metodom (Izvor: autor)

3.3.15. Određivanje ukupnih flavonoida

Ukupni flavonoidi određuju se metodom koja se temelji na reakciji flavona i flavonola s aluminijevim ionima iz reakcijske smjese, pri čemu dolazi do stvaranja kelata i obojenja reakcijske smjese u žuto. Promjena boje prati se mjerenjem apsorbancije pri valnoj duljini od 420 nm. U staklenu epruvetu doda se 0,5 mL uzorka (ekstrakta jabuke), 4 mL destilirane vode i 0,3 mL 5 %-tne otopine natrijeva nitrita (NaNO_2). Nakon pet minuta dodaje se 0,3 mL 10 %-tne otopine aluminijeva klorida (AlCl_3), a zatim, nakon dodatnih pet minuta, 2 mL 1M otopine natrijeva hidroksida (NaOH) i 2,4 mL destilirane vode. Za slijepu probu umjesto uzorka koristi se destilirana voda. Udio ukupnih flavonoida izračunava se pomoću prethodno izrađene kalibracijske krivulje katehina. Za svaki uzorak provedena su tri mjerenja.

3.3.16. Određivanje ukupnih antocijana

Ukupni antocijani određuju se primjenom pH-diferencijalne metode, koja se temelji na strukturnoj transformaciji kromofora antocijana ovisno o promjeni pH vrijednosti. Antocijani

podliježu reverzibilnoj strukturnoj transformaciji pri promjeni pH, što se očituje u promjeni spektra apsorbancije. Otpipetira se 0,2 mL uzorka u dvije kivete. U prvu kivetu dodaje se 2,8 mL puferne otopine kalij klorida (pH 1), a u drugu kivetu dodano je 2,8 mL puferne otopine natrij acetat (pH 4,5). Nakon 15 minuta mjeri se apsorbancija obje kivete pri valnim duljinama od 520 i 700 nm. Koncentracija ukupnih antocijana izražava se u mg/L.

$$\text{Koncentracija antocijana} = \frac{A \times M \times FR \times 1000}{\epsilon \times l} \quad (9)$$

A – apsorbancija uzorka, izračunava se prema: $A = (A_{520} - A_{700})_{\text{pH}1} - (A_{520} - A_{700})_{\text{pH}4,5}$

M – molekulska masa cijanidin-3-glukozida, iznosi 449,2 g/mol

FR – faktor razrjeđenja (ukupni volumen/ volumen uzorka)

ϵ – molarna apsorptivnost za cijanidin-3-glukozid, iznosi 26900 L/mol · cm

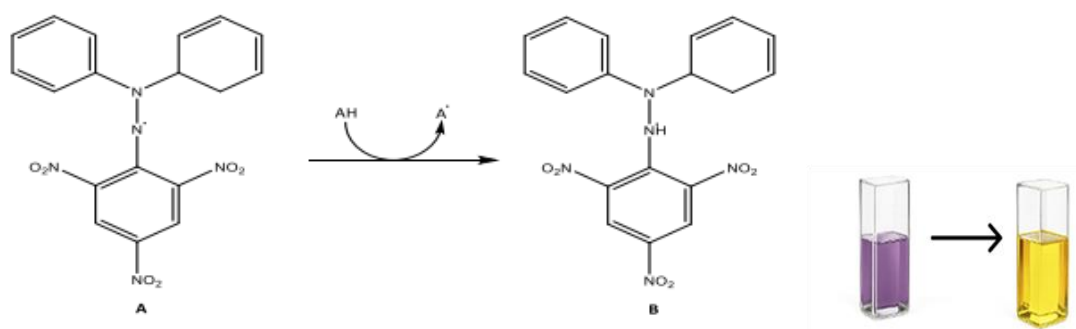
3.3.17. Određivanje antioksidacijske aktivnosti

Uklanjanje ili vezanje slobodnih radikala predstavlja glavni mehanizam djelovanja antioksidanasa u hrani. Razvijeno je nekoliko metoda za određivanje antioksidacijske aktivnosti, koje se temelje na uklanjanju sintetskih radikala u polarnom organskom otapalu pri sobnoj temperaturi. Antioksidacijska aktivnost određena je primjenom elektrokemijskog DNA biosenzora, ABTS i DPPH metodama.

DPPH metoda

Uklanjanje DPPH radikala prati se smanjenjem apsorbancije pri 517 nm, što je posljedica smanjenja koncentracije antioksidansa uslijed njihove reakcije s radikalima (**Slika 31**). Redukcija DPPH· radikala u molekulu DPPH dovodi do promjene boje otopine iz izrazito ljubičaste do žute.

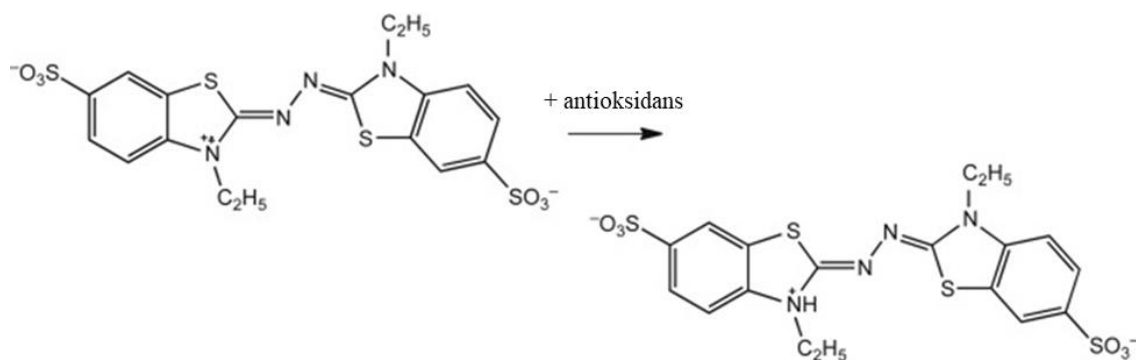
Postupak: u staklenu epruvetu otpipetira se 0,2 mL uzorka i doda 3 mL otopine DPPH. Smjesa se dobro promiješa i ostavi stajati 15 minuta na sobnoj temperaturi. Nakon 15 minuta mjeri se apsorbancija pri valnoj dulji od 517 nm. Za slijepu probu, umjesto uzorka dodaje se metanol. Rezultat se izračunava na temelju kalibracijske krivulje Troloxa. Za svaki uzorak provedena su tri mjerenja.



Slika 31 Reakcija antioksidansa i DPPH• radikala (Hamlaoui i sur. 2018.)

ABTS metoda

ABTS metoda temelji se na reakciji stabilnog plavozelenog ABTS^{•+} radikal kationa s antioksidansom, pri čemu ABTS^{•+} radikal kationa prelazi u bezbojan oblik (**Slika 32**).



Slika 32 Reakcija antioksidansa i ABTS radikala (Bessada i sur. 2015.)

Postupak: otpipetira se 0,2 mL uzorka (ekstrakta jabuke), kojemu se doda 3,2 mL otopine ABTS. Smjesa se dobro promiješa te ostavi 1h i 35 min na tamnom mjestu pri sobnoj temperaturi. Nakon toga mjeri se apsorbancija pri 734 nm. Rezultat se preračunava iz kalibracijske krivulje Troloxa. Za svaki uzorak provedena su tri mjerenja.

Određivanje antioksidacijske aktivnosti primjenom elektrokemijskog DNA biosenzora

Elektrokemijsko određivanje antioksidacijske aktivnosti provodi se uporabom elektrokemijskog DNA biosenzora primjenom cikličke voltametrije kao elektrokemijske metode kojom se prate oštećenja sloja molekule DNA na površini radne elektrode, nastale djelovanjem OH• radikala, kao i antioksidacijski utjecaj uzoraka sorti jabuka na stupanj oštećenja DNA molekula. Za pripremu DNA biosenzora koristi se dvolančana DNA (engl. *double-stranded* DNA, dsDNA), koncentracije 1 mg/mL pripremljena u 0,1 mol/L fosfatnom puferu (PBS) pH 7,0. Kao redoks sustav koristi se $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}/[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, koncentracije $1 \cdot 10^{-3}$ mol/L. Za stvaranje slobodnih hidroksil radikala (OH•) koristi se smjesa otopine

vodikovog peroksida (H_2O_2), koncentracije $2,5 \cdot 10^{-4}$ mol/L i otopina CuSO_3 , koncentracije $5 \cdot 10^{-6}$ mol/L, u PBS pH 7,0. Navedena smjesa koristi se za izazivanje oštećenja strukture DNA na površini radne elektrode. Za elektrokemijska mjerenja antioksidacijske aktivnosti primjenjuje se komercijalna "Screen Printed" ugljikova elektroda, na koju se nanosi sloj karboksiliranih jednostjenčanih ugljikovih nanočestica (engl. *Carboxylated Single-Walled Carbon Nanotubes*, SWCNT elektroda), komercijalne oznake DS-110SWCNT, proizvođača DropSens, Španjolska. Ciklička voltametrija omogućuje praćenje elektrokemijskih promjena u redoks sustavu $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}/[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ tijekom oštećenja i regeneracije sloja DNA na površini SWCNT elektrode. Elektrokemijska mjerenja provode se uporabom potenciostatu/galvanostatu $\mu\text{Autolab}$, uz korištenje programske podrške GPES, verzije 4.9.005 (Eco Chemie BV, Nizozemska). Sva mjerenja provode se u stacionarnoj elektrokemijskoj ćeliji volumena 25 mL. Postupak: DNA biosenzor priprema se tako da se na SWCNT-COOH/SPC elektrodu otpipetira 50 μL otopine dsDNA, koncentracije 1 mg/mL, nakon čega se ostavi stajati na sobnoj temperaturi tijekom 60 min. Nakon 60 min, provodi se CV. Pripremljeni DNA biosenzor ispiri se Mili-Q vodom te se uranja u otopinu $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}/[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ redoks sustava. Ciklička voltametrija provedena je prema eksperimentalnim uvjetima prikazanim u **Tablici 4**. Na taj se način dobiva početni odziv DNA biosenzora u otopini redoks sustava $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}/[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, koji se koristio kao referenca za daljnju analizu. U otopinu za stvaranje $\text{OH}\cdot$ radikala dodan je određeni volumen uzorka ekstrakta jabuke, nakon čega se u tako pripremljenu otopinu uranja DNA biosenzor u vremenskom trajanju od 2 min, 5 min i 15 min, uz konstantno miješanje pomoću magnetne miješalice. Postupak cikličke voltametrije ponavlja se nakon svake inkubacije DNA biosenzora u otopini. Na temelju elektrokemijskih parametara dobivenih cikličkom voltametrijom, određen je postotka oštećenja strukture DNA nastale djelovanjem $\text{OH}\cdot$ radikala, kao i antioksidacijski učinak uzoraka ekstrakta jabuke na oštećeni sloj DNA (**Slika 33**). Analiza i obrada eksperimentalnih podataka dobivenih cikličkom voltametrijom provedena je prema metodologiji opisanoj u literaturi (Šimkova i sur., 2009; Hlavatá i sur., 2014)

Tablica 4 Eksperimentalni uvjeti CV za određivanje antioksidacijske aktivnosti (Izvor: autor)

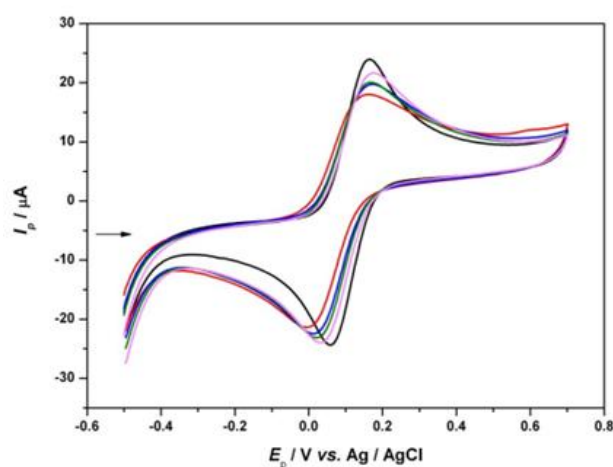
Uvjeti	DNA/SWCNT	DNA/SWCNT/Fe/Uzorak
Standby potencijal	-1 V	-1 V
Početni potencijal	0 V	-0,5 V
Konačni potencijal	1,4 V	0,7 V
Korak potencijal	0,005 V	0,005 V
Brzina polarizacije	0,1 V/s	0,05 V/s

Udio preživjele DNA (engl. *survived DNA*) (%), a izražen je kao relativni odziv DNA biosenzora, jednadžba (10):

$$\Delta I_{rel}(\%) = \frac{I_{surv\ DNA} - I_{SWCNT}}{I_{DNA} - I_{SWCNT}} \times 100 \quad (10)$$

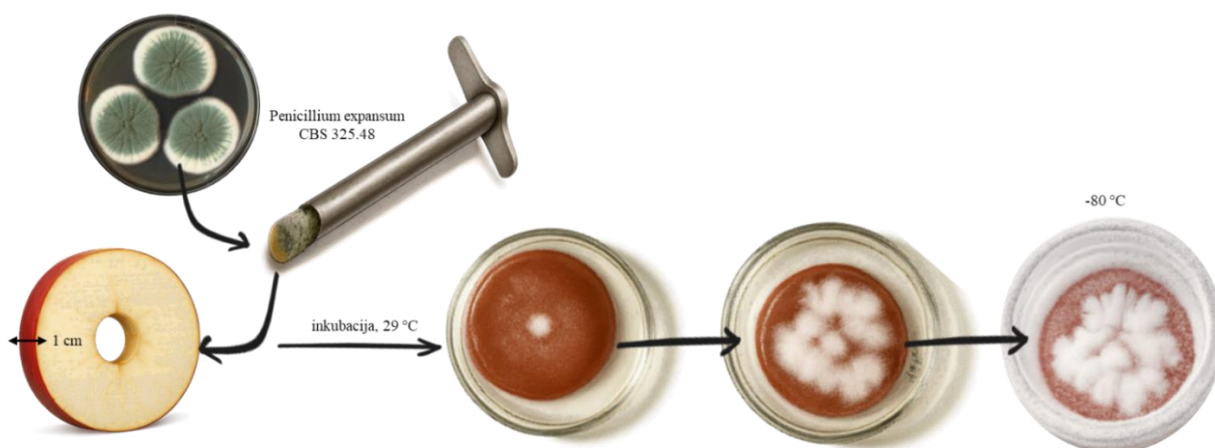
I_{SWCNT} , predstavlja struju anodnog pika u redoks sustavu $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}/[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, izmjerenu na SWCNT elektrodi bez sloja DNA. I_{DNA} , predstavlja struju anodnog pika izmjerenu u redoks sustavu $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}/[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ na DNA/SWCNT elektrodi, nakon perioda inkubacije od 2 min, 5 min i 15 min u otopini koja sadrži smjesu H_2O_2 i Cu^{2+} , odnosno otopinu u kojoj se stvaraju slobodni hidroksil radikali, zajedno s otopinama ekstrakta jabuka.

Za obradu cikličkih voltamograma redokssustava $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}/[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ u 0,1 mol/mL PBS pH 7,0 koristi se maksimalna vrijednost anodne struje za pojedine cikličke voltagrame. Očitana numerička vrijednost struje anodnog pika uvrštava se u prethodno navedenu jednadžbu (10).

**Slika 33** Grafički prikaz cikličkog voltagrama (Tomic i sur. 2023.)

3.3.18. Određivanje otpornosti odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *Penicillium expansum* CBS 325.48

Postupak: plodovi jabuka (10 sorti u triplicatu) narezani su na ploške debljine 1 cm, preneseni u Petrijeve zdjelice promjera 9 cm te sterilizirani u autoklavu pri 121 °C tijekom 20 minuta. Nakon hlađenja, u središte svake ploške jabuke stavljen je disk PDA podloge s micelijem plijesni *Penicillium expansum*, starosti 14 dana (**Slika 34**). Inkubacija se provela pri temperaturi od 29 °C sve do trenutka kada kolonija plijesni dostigne maksimalan promjer, odnosno, dok ne preraste plošku jabuke ili dosegne rub Petrijeve zdjelice, ovisno o pomološkim karakteristikama pojedine sorte jabuke. Vrijeme inkubacije bilježi se u danima, a uzorci se fotografiraju svakih 24 sata tijekom trajanja inkubacije. Nakon inkubacije, uzorci se skladište pri -80 °C do provođenja analize sadržaja sekundarnih metabolita metodom multimikotoksinske LC-MS/MS analize, prema principu „razrijedi i mjeri“, opisanoj u radu (Sulyok i sur. 2020.).



Slika 34 Grafički prikaz postupka određivanja otpornosti ploda jabuke na infekciju s plijesni *P. expansum* (Izvor: autor)

3.3.19. Određivanje skladišne otpornosti odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *P. expansum* CBS 325.48

Za određivanje skladišne otpornosti odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *P. expansum*, pripremljen je inokulum plijesni *P. expansum*, gustoće spora od $2,5 \times 10^6$. Odabrani plodovi jabuka zaraženi su pripremljenom suspenzijom spora (20 µL) nanošenjem na jabuku (**Slika 35**). Uzorci zaraženog ploda izuzimaju se svakih 15 dana sve do stupnja zaraze kada plod više neće biti željene kakvoće za plasiranje na tržište kao konzumne jabuke, odnosno kakvoće zadovoljavajuće za podvrgavanje tehnološki procesima prerade u sok.



Slika 35 Grafički prikaz postupka određivanja skladišne otpornosti ploda jabuke na infekciju s plijesni *P. expansum* (Izvor: autor)

3.3.20. Određivanje koncentracije patulina

Producirane koncentracije patulina određene su LC-MS/MS metodom nakon pripreme uzoraka zaraženih jabuka primjenom MycoSep®228 AlfaPat Push-through format (Romer Labs®, Tulin, Austrija), prema uputama proizvođača. Ukratko, 1 g homogeniziranog uzorka pomiješan je s 4 mL smjese acetonitril:voda:octena (79:20:1, v/v/v). Ekstrakcija je provedena primjenom uređaja Multi RS-60 (Biosan, Riga, Latvia) tijekom 90 minuta pri 250 okretaja u minuti. Nakon završene ekstrakcije uzorci su centrifugirani, a 500 µL supernatanta preneseno je u vialu i pomiješano sa smjesom acetonitril:voda:octena (20:79:1, v/v/v). Pripremljeni uzorci injektirani su u UHPLC-MS/MS sustav (20 µL), dok je razdvajanje patulina provedeno na uređaju Acquity UPLC H-Class sustav (Waters, MA, SAD), uz upotrebu Acquity BEH C18 kolone (2,1 x 100 mm, 1,7 µm) (Waters, MA, SAD) termostatisane na 40 °C, s protokom od 0,45 mL/min.

Detekcija i kvantifikacija provedene su Xevo TQD spektrometrom masa (Waters, MA, SAD), a ionizacija pomoću elektrosprejnog izvora u negativnom modu (ESI-). Odvajanje iona provodi se uz MRM (engl. *multiple reaction monitoring*) akviziciju.

3.3.21. Statistička obrada podataka

Pri obradi rezultata izračunate su srednje vrijednosti i standardna devijacija izmjerenih, odnosno izračunatih parametara u uzorcima. Rezultati su statistički obrađeni pomoću Fisher LSD testa ($p < 0,05$) u programu Statistica 14.2.0.18. Za obradu podataka korišten je program Microsoft Excel 2023.

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Determinacija odabranih sorti jabuka

Genetska identifikacija uzoraka provedena je uporabom 12 SSR markera (CH04c07, CH01h01, Hi02c07, CH01f02, CH01f03b, GD12, GD147, CH04e05, CH02d08 i CH02c09), a dobiveni podaci uspoređeni su s podacima iz baze DNA sorata jabuka NIAB EMR, koja obuhvaća više od 2000 sorata. Ukupno 40 prikupljenih uzoraka listova jabuke poslano je na genetsku analizu u NIAB EMR (East Malling Research Station, dio National Institute of Agricultural Botany, Engleska). Analizom je utvrđeno da 16 od 40 uzoraka nema odgovarajuću podudarnost u postojećoj bazi NIAB EMR podataka, dok je za preostalih 24 uzoraka utvrđena poklapanja s nekim od genetskih karakteriziranih sorata iz NIAB EMR baze (**Tablica 5**). Determinacija deset odabranih sorata jabuka provedena je prije berbe, i to isključivo tijekom prve godine istraživanja, budući da su tijekom sljedeće dvije godine plodovi brani s prethodno determiniranih stabala.

Tablica 5 Rezultati genetske analize uzoraka jabuke

	Uzorak ID	Naziv uzorka	Usporedba s bazom NIAB EMR
1	GF_058	Zuccalmaglios Renette	Reinette de Zuccalmaglio
2	GF_015	Majdofija	Nema poklapanja
3	GF_073	Rjavka	Leathercoat Russet
4	GF_030	Wagener	Nema poklapanja
5	GF_076	Kraljevčica	Nema poklapanja
6	GF_095	Paradija	Nema poklapanja, identično s GF 096
7	GF_089	Petrovnjača	Nema poklapanja
8	GF_087	Citronka	Poklapanje- Yellow Bellflower
9	GF_014	Brutinka	Nema poklapanja
10	GF_084	Vostanka	Poklapanje- Reubette du Canada (3n)
11	GF_043	Calville Madame Lesans	Nema poklapanja
12	GF_083	Trdika	Nema poklapanja

	Uzorak ID	Naziv uzorka	Usporedba s bazom NIAB EMR
13	GF_072	Carevic	Poklapanje- Kronprinz Rudolf
14	GF_040	Lederapfel	Poklapanje- Wheeler's Russet
15	GF_039	Steirische Pogatschen	Poklapanje- Kolacara
16	GF_016	Slastica	Nema poklapanja
17	GF_018	Slatka Srčika	Poklapanje- Szabadkai Szercsika
18	GF_054	Ilzer Rosenapfel	Nema poklapanja
19	GF_090	Kolacara 1	Nema poklapanja
20	GF_060	Siva jesenska kozara	Poklapanje- Leathercoat Russet
21	GF_049	Bistra Vesnik	Poklapanje- Nemes Szercsika Alma
22	GF_019	Ananas	Poklapanje- Reinette du Canada (3n)
23	GF_034	Pauler Weinapfel	Poklapanje- Nutmeg Pippin
24	GF_042	Bobovec	Poklapanje- Bohnapfe (3n)
25	GF_096	Paradija 2	Nema poklapanja, identično s GR_095
26	GF_081	Rajska	Nema poklapanja, poklapanje s HCPHS
27	GF_091	Kolacara 2	Poklapanje- Bismarck
28	GF_065	Mostapfel Denning	Poklapanje- Lord Clyde
29	GF_041	Klecker Masanka	Nema poklapanja
30	GF_062	Masanka	Poklapanje- Reinette du Canada (3n)
31	GF_093	XX2	Poklapanje- Baunen
32	GF_075	Reneta	Poklapanje- Baunen
33	GF_020	Northern Greening	Poklapanje- MM106
34	GF_038	Bomer Mašanka	Nema poklapanja

	Uzorak ID	Naziv uzorka	Usporedba s bazom NIAB EMR
35	GF_042	Bobovec	Poklapanje- Bohnapfe (3n)
36	GF_035	Winter Bananen	Poklapanje- Winter Banana
37	GF_070	Celenka	Nema poklapanja
38	GF_051	Crvena jesenska rebraca	Poklapanje- Delicious
39	GF_056	Zelena	Poklapanje- M26
40	GF_050	Canada Blanche	Poklapanje- Reinette du Canada (3n)

Potvrđeno

Poklapanje u bazi, ali drugi naziv sorte

Nema poklapanja, mogući izvorni genotip

4.2. Agrometeorološke prilike

Agrometeorološke prilike praćene su meteorološkim stanicama postavljenim u voćnjacima. Praćeni parametri su bili smjer i brzina vjetera (m/s), temperatura zraka (°C), temperatura tla (°C), relativna vlažnost zraka (%) i količina oborina (mm/m²).

Utvrđivanje agrometeoroloških prilika tijekom prve uzgojne godine

	Wind. Direc.	AirTemp. Avg (°C)	AirTemp. Min (°C)	AirTemp. Max (°C)	Humidity. Avg (%)	Humidity. Max (%)	Humidity. Min (%)	WindSpd. Avg (m/s)	WindSpd. Max (m/s)	WindSpd. Min (m/s)	Rainfall (mm)
Mar	SZ 64,2	8,2	0	21,8	19,4	40,1	0	2,35	4	0,7	0
Apr	Z 88,6	8,8	0,9	16,7	20,9	39,7	2,1	2,4	4	0,8	0
May	JZ 145	14,7	2,6	29	68,8	100	25,6	2,2	4	0,4	81,7
Jun	J 172,5	19,4	6,8	28,3	68,5	100	34,9	1	2	0	34,9
Jul	JZ 149,3	26,9	13,1	35,5	55,3	95,7	30,5	0,9	1,8	0	0,5
Aug	JZ 150,8	20,9	8,7	37,8	70,1	100	24,1	3,45	6,8	0,1	46,9
Sep	JZ 150,8	17,1	5,7	31,7	70,6	100	25,6	1,55	3	0,1	30,6
Oct	JZ 150,8	9,5	-0,7	27,7	84,4	100	32,9	1,65	3,2	0,1	846,2
Nov	JZ 150,8	6,1	-2,3	19,1	88,2	98,6	40,4	2,6	5	0,2	108,1
Dec	JZ 132,4	3,1	-4,3	13	78,9	97,8	41,1	4,25	7,8	0,7	58,8

Slika 36 Agrometeorološke prilike kolekcijskog nasada tradicionalnih sorti jabuka- Perenci, Požega, OPG Mladen Katić (45°23'45.0"N, 17°34'06.3"E), 2021. godine

	Wind. Direc.	AirTemp. Avg (°C)	AirTemp. Min (°C)	AirTemp. Max (°C)	Humidity. Avg (%)	Humidity. Max (%)	Humidity. Min (%)	WindSpd. Avg (m/s)	WindSpd. Max (m/s)	WindSpd. Min (m/s)	Rainfall (mm)
Jan	S 0,3	1,8	-8,4	15	87,8	94,2	57,5	3,4	6,6	0,2	84,4
Feb	S 0,4	4,5	-10,1	22	80,7	93,8	35,1	3,4	6,6	0,2	49,8
Mar	S 0,5	6,2	-7,4	23,8	69,4	92,2	27,6	3,4	6,6	0,2	50,4
Apr	S 0,3	9,2	-5,9	26,8	73,3	92,9	29,6	3,4	6,6	0,2	68
May	Z 92,1	14	2,1	29,9	76,2	93,2	34,3	3,4	6,6	0,2	139,1
Jun	JZ 115,3	22,7	7,9	37	66,6	91,9	22	1,7	3,2	0,2	11,1
Jul	Z 98,9	23,1	11	37,2	71,1	92	33,4	1,8	3,4	0,2	95,1
Aug	JZ 123,7	20,8	7,2	38,5	73,4	92,7	30,1	2,0	3,8	0,2	61,7
Sep	Z 91,5	17,2	4,5	33,4	74,6	92,5	34,2	1,6	3	0,2	48,4
Oct	Z 70,9	10,9	0,5	27,1	83,8	93	48,3	2,5	4,8	0,1	39,8

Slika 37 Agrometeorološke prilike kolekcijskog nasada tradicionalnih sorti jabuka Šašinovec-Pokušalište Zavoda za voćarstvo, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet (45°85'00.3"N, 16°17'75.2"E), 2021. godine

	AirTemp. Avg (°C)	AirTemp. Min (°C)	AirTemp. Max (°C)	Humidity. Avg (%)	Humidity. Max (%)	Humidity. Min (%)	WindSpd. Avg (m/s)	WindSpd. Max (m/s)	WindSpd. Min (m/s)	Rainfall (mm)
Jan	2.05	1.77	2.34	89.89	90.92	88.83	0.93	1.15	0.73	55.40
Feb	4.69	4.25	5.12	81.13	82.77	79.51	1.06	1.28	0.86	34.20
Mar	6.17	5.67	6.66	67.53	69.88	65.19	1.27	1.52	1.05	37.80
Apr	9.04	8.59	9.47	74.10	76.39	71.81	1.25	1.48	1.04	52.80
May	13.96	13.49	14.44	79.77	82.00	77.42	0.90	1.05	0.76	102.00
Jun	21.96	21.4	22.52	69.77	72.27	67.18	0.77	0.88	0.68	6.80
Jul	22.84	22.3	23.38	73.85	76.19	71.47	0.74	0.86	0.64	49.60
Aug	20.28	19.77	20.79	78.19	80.25	76.10	0.69	0.80	0.6	62.80
Sep	16.44	15.86	17.02	78.94	81.00	76.84	0.63	0.73	0.54	38.00
Oct	8.98	8.57	9.41	88.05	89.38	86.70	0.63	0.72	0.54	75.80
Nov	5.66	5.41	5.90	91.83	92.75	90.91	0.71	0.87	0.59	64.00
Dec	2.63	2.36	2.91	89.52	90.57	88.40	0.71	0.85	0.59	38.20

Slika 38 Agrometeorološke prilike kolekcijskog nasada komercijalnih sorti jabuka- Agro-Car, Novaki Bistranski, Donja Bistra (45°54'57.0"N, 15°52'56.0"E), 2021. godine



Slika 39 Izgled plodova tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuke kao posljedica nepovoljnog utjecaja niskih temperatura u travnju 2021. godine (Izvor: autor)

Na temelju analiza meteoroloških podataka prikupljenih s agro-meteo stanica postavljenih u nasadima na istraživanim lokacijama, utvrđeno je da je 2021. godina bila specifična zbog iznadprosječno visokih temperatura početkom kalendarske godine. Na lokaciji Perenci,

najhladniji su mjeseci bili studeni (6,1 °C) i prosinac (3,1 °C), dok su najtopliji mjeseci bili lipanj (20,9 °C) i srpanj (26,9 °C). Mjesečna količina oborina uglavnom je iznosila do 80 mm/m², osim u listopadu (846,2 mm/m²) i studenom (108,1 mm/m²). Vjetar je uglavnom bio jugozapad smjera, s prosječnom brzinom od 1,86 m/s (**Slika 36**). Na lokaciji Šešinovec, najhladniji su mjeseci bili siječanj (1,8 °C) i veljača (4,5 °C), dok su najtopliji mjeseci bili lipanj (22,7 °C) i srpanj (23,1 °C). Mjesečna količina oborina kretala se između 10 i 70 mm/m², osim u siječnju (84,8 mm/m²), svibnju (139,1 mm/m²) i srpnju (95,1 mm/m²). Vjetar je uglavnom bio sjevernog i zapadnog smjera, s prosječnom brzinom od 0,2 mm/m² (**Slika 37**). Na lokaciji Donja Bistra, najhladniji su mjeseci bili siječanj (2,05 °C) i prosinac (2,63 °C), dok su najtopliji mjeseci bili lipanj (21,9 °C) i srpanj (22,8 °C). Mjesečna količina oborina uglavnom se kretala između 30 i 80 mm/m², osim u svibnju (102,0 mm/m²) i lipnju (6,8 mm/m²). Utjecaj niskih temperatura razlikovao se ovisno o lokaciji. Na pojedinim lokacijama došlo je do djelomičnog ili potpunog smrzavanja cvjetova, odnosno do visokog postotka oštećenja cvjetova (90-100%), zametanja partenokarpnih plodova ili razvoja plodova nepravilnog oblika, s posljedicama nepovoljnog djelovanja niskih temperatura (mrazni prsten, plutasto tkivo i druge deformacije) (**Slika 38**). Osim negativnih posljedica niskih temperatura, tijekom oplodnje prevladavale su također nepovoljne vremenske prilike (kišno i hladno vrijeme), što je rezultiralo slabijom oplodnjom. Kao posljedica suše i visokih temperatura, kod plodova nekih sorti došlo je do pojave ožegotina, učestalog opadanja nedozrelih plodova te pojačano opadanje plodova neposredno prije berbe. Prosječne temperature tijekom vegetacije upućuju na umjereno tople do vruće uvjete. Uz odstupanja od prosječne količine oborina, problem je bila njihova neravnomjerna raspodjela tijekom vegetacije, što je u konačnici utjecalo na rast i razvoj voćaka, prinos, kvalitetu ploda, kao i na pojavu bolesti i štetnika. Osim iznadprosječnih temperatura i neravnomjerne raspodjele oborina, voćke su osobito osjetljive i na druge vremenske nepogode, poput mraz, tuča i jakih vjetrova.

S obzirom na navedeno, jasno su uočene negativne posljedice nepovoljnih vremenskih prilika koje su se očitavale u značajnom smanjenju ili potpunom izostanku prinosa kod nekih sorti jabuka, deformiranosti plodova te upitnoj kvaliteti plodova (**Slika 39**).

Nasadi tradicionalnih sorti jabuka, zbog svoje strukture, međurednog razmaka i visine stabala, najčešće nisu opremljeni sustavima za zaštitu od niskih temperatura ili tuča odnosno sustavima za navodnjavanje, za razliku od intenzivni nasadi s komercijalnim sortama. Stoga vrlo često dolazi do variranja prinosa ovisno o lokaciji, godini i sorti. Jedna od pretpostavki je da tradicionalne voćne vrste i sorte pokazuju bolju prilagodljivost ekološkim uvjetima.

Utvrđivanje agrometeoroloških prilika tijekom druge uzgojne godine

	Wind. Direc.	AirTemp. Avg (°C)	AirTemp. Min (°C)	AirTemp. Max (°C)	Humidity. Avg (%)	Humidity. Max (%)	Humidity. Min (%)	WindSpd. Avg (m/s)	WindSpd. Max (m/s)	WindSpd. Min (m/s)	Rainfall (mm)
Jan	Z 94,7	2,1	-9,9	18,4	70,9	96,4	0,0	3,7	6,8	0,5	21,6
Feb	Z 106,9	5,6	-2,5	17,2	67,5	97,2	35,2	4,0	7,2	0,8	34,4
Mar	SZ 66,9	6,3	-6,9	22,3	51,3	96,4	0,0	3,8	7,0	0,7	14,7
Apr	JZ 127	10,3	-1,7	23,9	65,6	97,1	0,0	3,3	6,0	0,6	74,7
May	J 180,6	17,6	0,0	30,8	65,8	96,5	0,0	1,5	2,8	0,1	29,6
Jun	JZ 130,7	27,4	0,0	31,3	27,3	96,2	0,0	1,6	3,0	0,1	88,6
Jul	Z 78,1	20,1	0,0	29,4	0,2	91,9	0,0	0,5	1,0	0,0	38,0
Aug	JZ 144,2	15,0	0,0	36,6	48,9	96,5	0,0	1,9	3,6	0,1	88,5
Sep	J 160,4	15,7	0,0	29,8	79,8	97,2	0,0	2,2	4,2	0,2	175,5
Oct	J 259,3	13,6	0,0	23,6	80,9	97,0	0,0	1,3	2,6	0,1	17,3
Nov	SZ 53,3	4,2	0,0	23,6	34,5	97,0	0,0	1,6	3,2	0,1	21,4
Dec	JZ 127,8	3,8	-4,6	16,8	54,1	97,6	0,0	2,3	4,4	0,2	108,7

Slika 40 Agrometeorološke prilike kolekcijskog nasada tradicionalnih sorti jabuka- Perenci, Požega, OPG Mladen Katić (45°23'45.0"N, 17°34'06.3"E), 2022. godine

	Wind. Direc.	AirTemp. Avg (°C)	AirTemp. Min (°C)	AirTemp. Max (°C)	Humidity. Avg (%)	Humidity. Max (%)	Humidity. Min (%)	WindSpd. Avg (m/s)	WindSpd. Max (m/s)	WindSpd. Min (m/s)	Rainfall (mm)
Jan	S 21,3	0,7	-8,4	16	51,3	92,9	0,0	2,3	4,4	0,2	4,8
Feb	JZ 155,2	5,4	-5,2	17,3	75,1	93,7	27,0	3,9	7,0	0,7	27,8
Mar	J 161,5	6,3	-8,5	24,3	59,2	92,4	0,0	3,6	6,4	0,7	3,7
Apr	J 165,1	10,5	-1,2	25,1	72,0	93,2	32,2	4,0	7,2	0,7	37,4
May	JZ 154,3	18,2	4,9	32,5	73,5	93,2	30,4	2,0	3,8	0,2	48,7
Jun	J 164,6	22,6	11,1	36,3	73,6	92,7	36,3	2,2	4,2	0,2	57,3
Jul	JZ 148,4	23,2	9,5	38,9	68,0	92,5	27,6	1,9	3,6	0,2	53,3
Aug	JZ 147,3	22,5	12,1	38,2	71,9	92,4	31,7	1,8	3,4	0,2	26,3
Sep	J 158,7	16,1	3,1	31,9	81,0	94,0	40,0	1,9	3,6	0,2	197,2
Oct	J 159,2	13,4	4,8	25,0	86,3	94,3	49,4	1,8	3,4	0,1	15,9
Nov	Z 88,1	7,3	-1,6	24,3	89,2	94,6	62,3	1,6	3,2	0,1	82,8
Dec	JZ 143,6	3,2	-6,9	17,6	61,8	94,8	0,0	1,7	3,2	0,1	24,1

Slika 41 Agrometeorološke prilike kolekcijskog nasada tradicionalnih sorti jabuka Šašinovec-Pokušalište Zavoda za voćarstvo, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet (45°85'00.3"N, 16°17'75.2"E), 2022. godine

	AirTemp. Avg (°C)	AirTemp. Min (°C)	AirTemp. Max (°C)	Humidity. Avg (%)	Humidity. Max (%)	Humidity. Min (%)	WindSpd. Avg (m/s)	WindSpd. Max(m/s)	WindSpd. Min (m/s)	Rainfall (mm)
Jan	2,05	1,77	2,34	89,89	90,92	88,83	0,93	1,15	0,73	55,40
Feb	4,69	4,25	5,12	81,13	82,77	79,51	1,06	1,28	0,86	34,20
Mar	6,17	5,67	6,66	67,53	69,88	65,19	1,27	1,52	1,05	37,80
Apr	9,04	8,59	9,47	74,10	76,39	71,81	1,25	1,48	1,04	52,80
May	13,96	13,49	14,44	79,77	82,00	77,42	0,90	1,05	0,76	102,00
Jun	21,96	21,40	22,52	69,77	72,27	67,18	0,77	0,88	0,68	6,80
Jul	22,84	22,30	23,38	73,85	76,19	71,47	0,74	0,86	0,64	49,60
Aug	20,28	19,77	20,79	78,19	80,25	76,10	0,69	0,80	0,60	62,80
Sep	16,44	15,86	17,02	78,94	81,00	76,84	0,63	0,73	0,54	38,00
Oct	8,98	8,57	9,41	88,05	89,38	86,70	0,63	0,72	0,54	75,80
Nov	5,66	5,41	5,90	91,83	92,75	90,91	0,71	0,87	0,59	64,00
Dec	2,63	2,36	2,91	89,52	90,57	88,44	0,71	0,85	0,59	38,20

Slika 42 Agrometeorološke prilike kolekcijskog nasada komercijalnih sorti jabuka- Agro-Car, Novaki Bistranski, Donja Bistra (45°54'57.0"N, 15°52'56.0"E), 2022. godine



Slika 43 Problemi tijekom 2022. godine- oštećenja plodova

Tijekom 2022. godine, na lokaciji Perenci najhladniji su mjeseci bili siječanj (2,1 °C), studeni (4,2 °C) i prosinac (3,8 °C), dok su najtopliji mjeseci bili svibanj (17,6 °C), rujan (15,7 °C) i listopad (13,6 °C). Mjesečna količina oborina uglavnom se kretala između 20 i 90 mm/m², osim u ožujku (14,7 mm/m²), rujnu (175,5 mm/m²) i prosincu (108,7 mm/m²). Ukupna godišnja količina oborina iznosila je 713 mm/m². Vjetar je uglavnom bio južnog, zapadnog i jugozapadnog smjera, s prosječnom brzinom od 0,3 m/s (**Slika 40**). Na lokaciji Šešinovec vidljivo je da su najhladniji mjeseci bili siječanj (0,7 °C), veljača (5,4 °C) i prosinac (3,2 °C), dok su najtopliji mjeseci bili lipanj (22,6 °C), srpanj (23,2 °C) i kolovoz (22,5 °C). Mjesečna količina oborina bila je relativno mala i kretala se uglavnom od 30 do 50 mm/m², osim u siječnju (4,8 mm/m²), ožujku (3,7 mm/m²) i listopadu (197 mm/m²). Ukupna godišnja količina oborina iznosila je 578 mm/m². Vjetar je bio pretežno sjevernog i sjeverozapadnog smjera, s prosječnom brzinom od 0,2 m/s (**Slika 41**). Na lokaciji Donja Bistra vidljivo je da su najhladniji mjeseci bili siječanj (1,8 °C) i prosinac (2,4 °C), dok su najtopliji mjeseci bili lipanj (21,9 °C) i srpanj (22,8 °C). Mjesečna količina oborina bila je relativno mala i kretala se od 30 do 70 mm/m²,

osim u svibnju (102,0 mm/m²) i lipnju (6,8 mm/m²). Ukupna godišnja količina oborina iznosila je 617,4 mm/m² (**Slika 42**).

Stanje nasada i plodova tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka tijekom 2022. godine pokazalo je nepovoljne posljedice vremenskih prilika. Zabilježeno je rano opadanje nezrelih plodova, oštećenja plodova uzrokovana stršljenima, pojave ožegotina uslijed toplinskog stresa (visoke temperature, suša i jaka insolacija), pucanje kutikule plodova nakon dugotrajne suše te obilnih oborina u završnim fazama rasta ploda (rujan) (**Slika 43**). Osim iznadprosječnih temperatura i neravnomjerne raspodjele oborina, voćke su bile osobit osjetljive i na druge vremenske neprilike, poput mraza, jakih vjetrova i tuče.

Utvrđivanje agrometeoroloških prilika tijekom treće uzgojne godine

	Wind. Direc.	AirTemp. Avg (°C)	AirTemp. Min (°C)	AirTemp. Max (°C)	Humidity. Avg (%)	Humidity. Max (%)	Humidity. Min (%)	WindSpd. Avg (m/s)	WindSpd. Max (m/s)	WindSpd. Min (m/s)	Rainfall (mm)
Jan	SZ 48,8	3,8	-4,6	7,9	56,4	96,1	0,0	3,2	6,0	0,4	33,2
Feb	Z 106,6	4,3	-6,8	18,5	59,6	94,8	0,0	3,8	6,9	0,6	29,9
Mar	JZ 128,4	8,2	-1,9	24,0	61,9	96,4	0,0	3,7	7,0	0,5	16,4
Apr	Z 98,2	9,4	-0,8	23,3	65,9	94,8	0,0	3,5	6,4	0,6	70,4
May	JI 216,2	14,4	0,0	27,3	73,8	96,2	0,0	1,5	2,9	0,1	22,7
Jun	J 168,8	18,4	0,0	34,2	70,4	95,3	0,0	1,6	3,1	0,1	78,0
Jul	J 168,4	21,0	0,0	36,0	66,5	94,7	0,0	1,1	2,1	0,0	37,5
Aug	JI 221,1	20,6	0,0	36,1	68,9	94,4	0,0	1,8	3,4	0,2	151,1
Sep	SI 320,5	18,5	0,0	32,1	64,0	94,6	0,0	2,0	3,9	0,1	11,9
Oct	JZ 151,8	14,0	0,0	25,8	64,5	94,5	0,0	1,4	2,8	0,1	32,0
Nov	JZ 126,8	5,1	-2,1	20,1	41,1	95,2	0,0	1,7	3,4	0,0	24,3
Dec	JZ 143,3	4,2	-3,4	20,5	37,9	95,3	0,0	2,2	4,1	0,2	106,2

Slika 44 Agrometeorološke prilike kolekcijskog nasada tradicionalnih sorti jabuka- Perenci, Požega, OPG Mladen Katić (45°23'45.0"N, 17°34'06.3"E), 2023. godine

	Wind. Direc.	AirTemp. Avg (°C)	AirTemp. Min (°C)	AirTemp. Max (°C)	Humidity. Avg (%)	Humidity. Max (%)	Humidity. Min (%)	WindSpd. Avg (m/s)	WindSpd. Max (m/s)	WindSpd. Min (m/s)	Rainfall (mm)
Apr	N/A	1,3	-10,5	33,3	4,2	95,2	0,0	0,0	0,00	0,00	0,7
May	SI 313,8	14,4	0,0	33,3	64	100,0	0,0	0,1	0,2	0,00	21,5
Jun	I 275	20,5	0,0	35,0	76	100,0	0,0	0,4	0,45	0,30	51,8
Jul	J 181,7	22,8	9,4	37,5	77,4	100,0	33,4	0,4	0,5	0,2	111,2
Aug	I 261,7	21,4	9,3	36,1	82,4	100,0	41,9	0,3	0,4	0,25	104,9
Sep	I 257,6	18,5	0,0	31,1	82,0	100,0	0,0	0,3	0,35	0,25	66,8
Oct	JZ 154,6	14,3	-0,7	30,0	85,6	100,0	43,5	0,3	0,4	0,2	77,8
Nov	J 181,0	6,2	-7,1	20,7	91,0	100,0	46,3	0,2	0,25	0,15	118,4
Dec	JZ 146,3	3,5	-7,1	16,6	90,5	100,0	52,2	0,4	0,5	0,3	101,4

Slika 45 Agrometeorološke prilike kolekcijskog nasada tradicionalnih sorti jabuka Šašinovec- Pokušalište Zavoda za voćarstvo, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet (45°85'00.3"N, 16°17'75.2"E), 2023. godine

Mjesec	AirTemp. Avg (°C)	AirTemp. Min (°C)	AirTemp. Max (°C)	Humidity. Avg (%)	Humidity. Min (%)	Humidity. Max (%)	WindSpd. Avg (m/s)	WindSpd. Min (m/s)	WindSpd. Max (m/s)	Rainfall mm
Jan	1,53	-3,17	7,82	86,55	65,40	97,30	0,87	0,64	1,07	56,30
Feb	8,57	2,31	14,71	76,63	47,96	94,13	0,98	0,77	1,18	31,00
Mar	10,24	3,92	16,50	76,18	50,09	96,54	1,22	1,04	1,39	34,70
Apr	13,22	-6,09	20,87	71,42	45,34	94,51	1,20	1,02	1,37	50,10
May	16,41	4,72	25,19	75,47	18,58	95,23	0,88	0,74	1,02	99,80
Jun	20,27	11,85	28,04	75,41	40,23	98,08	0,77	0,68	0,85	11,20
Jul	22,60	15,97	30,41	77,45	49,48	98,73	0,76	0,66	0,86	44,60
Aug	20,34	13,56	28,96	79,73	49,81	99,19	0,69	0,60	0,78	59,00
Sep	18,53	12,61	26,62	83,39	55,71	99,03	0,66	0,54	0,77	43,80
Oct	15,13	9,19	22,28	84,04	59,39	98,45	0,64	0,53	0,75	72,40
Nov	7,31	2,05	12,73	85,99	62,94	99,44	0,71	0,60	0,82	59,00
Dec	4,29	0,14	8,96	89,70	72,52	97,79	0,70	0,52	0,88	28,14

Slika 46 Agrometeorološke prilike kolekcijskog nasada komercijalnih sorti jabuka- Agro-Car, Novaki Bistranski, Donja Bistra (45°54'57.0"N, 15°52'56.0"E), 2023. godine

Tijekom 2023. godine, na lokaciji Perenci najhladniji su mjeseci bili siječanj (3,8 °C) i prosinac (4,2 °C), dok su najtopliji mjeseci bili lipanj (18,4 °C), kolovoz (20,6 °C) i rujan (18,5 °C) (Slika 44). Vrlo slično je bilo i kretanje temperature u druga dva pokusna nasada. Minimalne temperature zraka tijekom travnja iznosile su – 0,8 °C (Perenci), -1,9 °C (Šašincev) te čak - 6,09 °C (Donja Bistra) (Slika 45- 46). Takve temperature i pojava kasnih proljetnih mrazova u nasadima uzrokovale su određena oštećenja, odnosno došlo je do smrzavanja lisnih i cvjetnih pupova odnosno cvjetova kod sorata ranije cvatnje, što je rezultiralo djelomičnim ili potpunim izostankom plodova, odnosno prinosa kod pojedinih sorata. Na lokaciji Šašincev, mjesečna količina oborina kretala se od 50 do 120 mm/m², osim u siječnju (0 mm/m²), travnju (0,7 mm/m²) i svibnju (21,5 mm/m²). Ukupna godišnja količina oborina iznosila je 654 mm/m².

4.3. Fizikalno-kemijska i mikrobiološka analiza tla

Fizikalno- kemijska i mikrobiološka analiza tla na sva tri nasada provedena je samo tijekom prve uzgojne godine. Analizom istraživanih svojstava tla utvrđeno je da je tlo u intenzivnom nasadu komercijalnih sorti jabuka na području Donje Bistre duboko, ilovaste te lake do teške teksture. Analizom kemijskih svojstava utvrđeno je da se radi o tlu kisele reakcije, kako u površinskom, tako i u podpovršinskom horizontu. Tlo je slabo do umjereno humozno, umjereno do dobro opskrbljeno ukupnim dušikom, vrlo slabo opskrbljeno fosforom te dobro opskrbljeno kalijem u oraničnom i podoraničnom sloju. Rezultati analize tla u kolekcijskom nasadu tradicionalnih sorti jabuka u Požegi ukazuju na to da se radi o dubokom tlu lake i rastresite teksture. Rezultati kemijskih analiza potvrđuju da je riječ o tlu jako kisele do kisele reakcije. Tla su slabo humozna te dobro opskrbljena ukupnim dušikom u oraničnom i podoraničnom sloju tla. Opskrbljenost tla biljci pristupačnim kalijem je dobra u cijelom profilu, dok je opskrbljenost tla biljci pristupačnim fosforom vrlo slaba. Rezultati analize tla u Šašincevu ukazuju da u tlu dominiraju čestice sitnog i krupnog praha, odnosno da se radi o ilovastom tlu

alkalne reakcije. Tlo je slabo do umjereno opskrbljeno humusom, dobro opskrbljeno dušikom, te bogato fosforom i kalijem.

Tablica 6 Rezultati kemijske analize tla nasada komercijalnih sorti jabuka, Agro-Car, Novaki Bistranski, Donja Bistra (45°54'57.0"N, 15°52'56.0"E)

Oznaka uzorka	pH		%		Al- mg/100g	
	H ₂ O	nKCl	humus	dušik	P ₂ O ₅	K ₂ O
I/I 0 - 30 cm	5,95	4,68	2,21	0,13	1,3	25,5
II/I 30 – 60 cm	5,96	4,56	1,67	0,10	0,3	18,0

Iz rezultata kemijske analize tla (**Tablica 6**) vidljivo je da se radi o tlu kisele reakcije, slabo do umjereno humoznom te umjereno do dobro opskrbljenom ukupnim dušikom. Opskrbljenost tla biljci pristupačnim fosforom vrlo je slaba, dok je opskrbljenost kalijem dobra u oraničnom i podoraničnom sloju tla. Na temeljenu dobivenih rezultata predlože se sljedeća gnojidba voćnjaka: zbog kompleksnog i pozitivnog utjecaja humusa na ukupnu plodnost tla preporučuje se gnojidba tla sa 30 t/ha zrelog stajskog gnoja svaku treću godinu. Stajski gnoj potrebno je ravnomjerno rasuti u trake širine 2,5 metara (1,25 metara sa svake strane debla) te ga, zajedno s vapnenim materijalom, unijeti u tlo. Količine gnojiva potrebno je prilagoditi površini koja se gnoji. U svrhu neutralizacije štetne kiselosti tla preporučuje se kalcizacija voćnjaka s 3,0 t/ha fino mljevenog vapnenca (npr. AGROCAL-HOLCIM, FERTDOLMIT- Petrokemija Kutina ili Dolomito Bračno). Osnovnu gnojidbu voćnjaka potrebno je provoditi u jesensko-zimskom razdoblju primjenom 600 kg/ha superfosfata i 200 kg/ha 60 %-tne kalijeve soli. Prvu prihranu dušičnim gnojivima treba provesti krajem ožujka s 300 kg/ha KAN-a, a drugu, prema potrebi, tijekom svibnja s dodatnih 200 kg/ha KAN-a. S obzirom na to da se radi o kiselom tlu, preporučuje se 2 do 3 folijarna tretiranja kalcijem. Prvo tretiranje potrebno je provesti kada je pup u fenofazi "mišijih ušiju". Za poboljšanje cvatnje i oplodnje preporučuje se provedba dva tretmana borom (npr. Fertina B, Borogreen). Prvo tretiranje bornim gnojivima potrebno je provesti prije cvatnje, a drugo neposredno nakon cvatnje u svrhu bolje oplodnje.

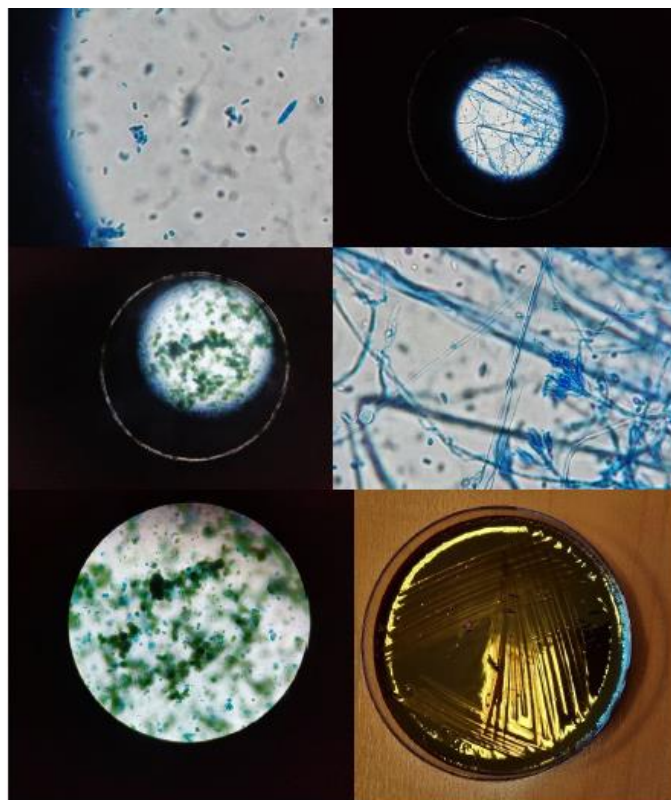
Tablica 7 Rezultati kemijske analize tla nasada tradicionalnih sorti jabuka, Perenci, Požega, OPG Mladen Katić (45°23'45.0"N, 17°34'06.3"E)

Oznaka uzorka	pH		%		Al- mg/100g	
	H ₂ O	nKCl	humus	dušik	P ₂ O ₅	K ₂ O
UZ. 1 0 - 30 cm	5,92	4,50	1,99	0,15	4,5	21,5
30 – 60 cm	5,74	4,18	1,79	0,12	4,3	16,2
UZ. 2 0 - 30 cm	5,77	4,62	1,91	0,14	4,9	21,5
30 – 60 cm	5,70	4,34	1,45	0,12	3,2	12,8
UZ. 3 0 – 30 cm	5,73	4,43	1,56	0,14	4,8	19,2
30 – 60 cm	5,89	4,47	1,26	0,11	3,0	12,8

Iz rezultata kemijske analize tla (**Tablica 7**) vidljivo je da se radi o tlima vrlo kisele do kisele reakcije, koja nisu pogodna za uzgoj voćnih vrsta, osobito jabuka, budući da su one izuzetno osjetljive na nedostatak kalcija. Tla su slabo humozna, ali dobro opskrbljena ukupnim dušikom u oraničnom i podoraničnom sloju. Opskrbljenost tla biljci pristupačnim kalijem ocijenjena je kao dobra u cijeloj dubini kod sva tri uzorka tla, dok je opskrbljenost tla biljci pristupačnim fosforom vrlo slaba i nedostatna za normalan rast i razvoj jabuka. Problem niske opskrbljenosti fosforom dodatno je izražen činjenicom da se radi o jako kiselom tlu u kojem, zbog visokih koncentracija manganovih i željeznih fosfata, dolazi do vezanja fosfora i smanjene njegove pristupačnosti biljkama. Stoga je kalcizacija tla nezaobilazna agrokemijska mjera koju je potrebno provesti na ovim tlima radi neutralizacije štetne kiselosti. Na temelju dobivenih rezultata predložena je sljedeća gnojidba voćnjaka: gnojidbu organskim gnojivima provesti svaku treću godinu u jesensko- zimskom razdoblju s 3 kg/ m² zrelog stajskog gnoja. Stajski gnoj rasuti ravnomjerno po cijeloj površini ili u trake širine 2,0 m (1,0 m sa svake strane stabla) i unijeti u tlo u sloj 0 – 20 cm dubine. S obzirom da se radi o jako kiselom tlu, preporučuje se kalcizacija s 3 t/ha fino mljevenog vapnenca svake godine, sve dok se ne postigne pH vrijednost od pH 5,5. Vapneni materijal potrebno je ravnomjerno rasuti po cijeloj površini i unijeti u oranični sloj tla. Budući da je tlo slabo opskrbljeno fiziološki aktivnim fosforom, a umjereno opskrbljeno kalijem predlože se gnojidba s 120 kg/ha P₂O₅ i 90kg/ha K₂O. U navedenu svrhu gnojidba se može provoditi s 600 kg/ha sirovih fosfata i od 150 do 200 kg/ha kalijeve 60 %-tne soli. Gnojidbu je poželjno provoditi u trakama. Nadalje, prihrana dušičnim gnojivom treba se obaviti tijekom ožujka, a prema potrebi i u svibnju.

Mikrobiološka analiza tla

Tlo za mikrobiološku analizu uzorkovano je iz površinskog i podpovršinskog sloja zajedno s uzorcima na kojima su se provodile ostale fizikalno-kemijske analize kako bi se dobili usporedivi podaci. Mikrobiološke analize uzoraka tla uključivale su određivanje amonifikatora, ukupnih plijesni, kvasaca i bakterija. Mikrobiološkom analizom prema broju stanica utvrđena je najveća prisutnost bakterija, zatim plijesni, dok je najmanje bilo prisutnih kvasaca. Na istraživanim lokacijama potvrđena je i prisutnost amonifikatora kojih je više bilo u površinskom sloju. Dodatak specijaliziranih mikroflornih pripravaka za amonifikatorske mikroorganizme mogao bi povećati dostupnost dušika iz bjelančevina za same voćke. Nakon provedenih analiza, broj plijesni po voćnjacima kretao se od $2,8 \times 10^3$ do $7,6 \times 10^4$ CFU/g. Dobiveni rezultati u skladu su s rezultatima ostalih istraživača koji su proučavali plijesni u tlu, bilo kao pojedine vrste (npr. *Asperigullus flavus*) ili kao ukupnu mikobiotu u voćnjacima (Nicola i sur. 2021.). Najzastupljeniji rodovi bili su *Rhizopus*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Mucor*, *Chaetomium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Xylaria*, *Cladosporium*. Slične vrste pojavljuju se i u radovima drugih istraživača (Tedersoo i sur. 2020.), uz napomenu da je zbog vremena uzorkovanja (rano proljeće) moguće da je broj CFU bio manji u odnosu na druge studije. Konkretno, plijesan *Penicillium expansum* nije bila detektirana (morfološkom usporedbom sa čistom kulturom CBS 325.48), iako bi se za definitivnu potvrdu trebala provesti i genetska analiza zbog mogućih varijacija unutar vrsta (**Slika 47**).



Slika 47 Određivanje mikrobiološkog sastava tla (Izvor: autor)

4.4. Udio suhe tvari

Udio suhe tvari određen je u svježim uzorcima odabranih sorti jabuka nakon berbe i tijekom šest mjeseci skladištenja pri temperaturi od 4 °C primjenom vakuum sušionika. Tijekom 2021. godine najveći udio suhe tvari tijekom skladištenja zabilježen je u sorti 'Kanadska Reneta' ($25,99 \pm 0,12$ %), dok je najmanji udio suhe tvari utvrđen u sorti 'Fuji' ($16,63 \pm 0,11$ %) (**Tablica 8**). Dobiveni rezultati usklađeni su s istraživanjem autora Bejaei i Xu, (2023), u kojem je vrijednost udjela suhe tvari ploda jabuke iznosila između 13,5 i 17,5 %. S druge strane, u istraživanju Dumitru Veleşcu *i sur.* (2023) za udio suhe tvari sorte 'Golden Delicious' dobivene su vrijednosti između 25,85 i 27,62 %. Takve razlike mogu se pripisati genetskim karakteristikama i fiziološkim svojstvima sorti. Visok udio suhe tvari ima potencijalno važnu ulogu u otpornosti plodova na zarazu s plijesni *P. expansum*, koja uzrokuje truljenje plodova tijekom skladištenja. Visok udio suhe tvari može pružiti veću otpornost plodova na ovu vrstu zaraze, jer suha tvar može ograničiti raspoloživost vode koja je potrebna za rast i razmnožavanje gljivice. Stoga, sorte s višim udjelom suhe tvari mogu pokazati manju osjetljivost na infekciju *P. expansum* i time imati duže razdoblje skladištenja bez truljenja. Suprotno tome, sorte s nižim udjelom suhe tvari mogu biti podložnije infekciji ovom plijesni, posebno ako su podložne stvaranju površinskih ozljeda ili oštećenja tijekom berbe i manipulacije. To može rezultirati

bržim širenjem infekcije i većim gubicima tijekom skladištenja i transporta. Tijekom skladištenja udio suhe tvari uglavnom je ostao nepromijenjen ili je zabilježen blagi porast. Najveći gubitak vode izmjeren je u sorti 'Granny Smith' (0,88 %), dok je kod ostalih komercijalnih sorti utvrđen manji intenzitet transpiracije u usporedbi s tradicionalnim sortama. Tijekom 2022. godine najveći udio suhe tvari tijekom skladištenja zabilježen je u sorti 'Kanadska Reneta' ($25,75 \pm 0,25$ %), jednako kao i tijekom 2021. godine. Najmanji udio suhe tvari utvrđen je u sorti 'Jonagold' ($14,66 \pm 2,13$ %) (**Tablica 9**). Tijekom 2022. godine nije utvrđeno statistički značajno smanjenje udjela suhe tvari tijekom skladištenja, ali je zabilježen statistički značajan rasta udjela suhe tvari kod sorte 'Kanadska Reneta' (+ 4,07 %). Tijekom 2023. godine najveći udio suhe tvari tijekom skladištenja zabilježen je u sorti 'Kanadska Reneta' ($22,93 \pm 0,09$ %), jednako kao i tijekom 2021. i 2022. godine. Najmanji udio suhe tvari utvrđen je ponovno u komercijalnim sortama jabuka, i to u sorti 'Golden Delicious' ($13,29 \pm 0,13$ %). Tijekom 2023. zabilježen je porast udjela suhe tvari tijekom skladištenja kod sorti 'Kanadska Reneta' (+ 3,04%) i 'Fuji' (+ 3,32 %) (**Tablica 10**). Na temelju trogodišnjeg istraživanja udjela suhe tvari u odabranim tradicionalnim i komercijalnim sortama jabuka, može se zaključiti da tradicionalne sorte jabuka imaju veći udio suhe tvari u odnosu na komercijalne te samim time posjeduju predispoziciju za veću otpornost na zarazu s plijesni *P. expansum*.

Tablica 8 Udio suhe tvari (%)^a u svježim uzorcima odabranih sorti jabuka ubranih 2021. godine

<i>mjesec skladištenja</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>6</i>
'Zelenika'	$19,55 \pm 0,44$	$20,84 \pm 0,07$	$21,95 \pm 0,15$
'Bobovec'	$20,01 \pm 0,20$	$21,40 \pm 0,17$	$20,18 \pm 0,21$
'Kanadska Reneta'	$19,24 \pm 0,05$	$25,99 \pm 0,12$	$21,76 \pm 0,83$
'Božićnica'	$19,75 \pm 0,13$	$19,63 \pm 0,12$	$21,29 \pm 0,37$
'Winter Banana'	$19,07 \pm 0,23$	$20,07 \pm 0,20$	$19,48 \pm 0,32$
'Jonagold'	$17,48 \pm 0,16$	$18,25 \pm 0,18$	$18,33 \pm 0,08$
'Idared'	$17,21 \pm 0,32$	$17,44 \pm 0,15$	$18,00 \pm 0,02$
'Golden Delicious'	$19,01 \pm 0,17$	$20,42 \pm 0,05$	$19,12 \pm 0,33$
'Fuji'	$18,83 \pm 0,11$	$16,63 \pm 0,11$	$21,66 \pm 0,03$
'Granny Smith'	$18,87 \pm 0,41$	$18,37 \pm 0,11$	$17,99 \pm 0,44$

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD)

Tablica 9 Udio suhe tvari (%)^a u svježim uzorcima odabranih sorti jabuka ubranih 2022. godine

<i>mjesec skladištenja</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>6</i>
<i>'Zelenika'</i>	20,60 ± 0,33	24,29 ± 0,79	24,37 ± 0,50
<i>'Bobovec'</i>	21,54 ± 0,27	19,99 ± 0,32	20,77 ± 0,17
<i>'Kanadska Reneta'</i>	21,68 ± 0,20	18,55 ± 0,14	25,75 ± 0,25
<i>'Božićnica'</i>	20,20 ± 0,20	21,49 ± 0,19	21,00 ± 0,12
<i>'Winter Banana'</i>	16,80 ± 0,11	17,37 ± 0,06	17,78 ± 0,11
<i>'Jonagold'</i>	17,01 ± 0,28	14,66 ± 2,13	17,42 ± 0,06
<i>'Idared'</i>	16,98 ± 0,60	16,82 ± 0,02	17,83 ± 0,09
<i>'Golden Delicious'</i>	19,72 ± 0,33	18,52 ± 0,65	19,20 ± 0,21
<i>'Fuji'</i>	21,54 ± 0,43	21,05 ± 0,05	21,26 ± 0,12
<i>'Granny Smith'</i>	18,65 ± 0,21	19,25 ± 0,41	19,15 ± 0,12

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Tablica 10 Udio suhe tvari (%)^a u svježim uzorcima odabranih sorti jabuka ubranih 2023. godine

<i>mjesec skladištenja</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>6</i>
<i>'Zelenika'</i>	18,39 ± 0,04	19,46 ± 0,16	19,17 ± 0,28
<i>'Bobovec'</i>	18,27 ± 0,21	18,38 ± 0,70	18,81 ± 1,09
<i>'Kanadska Reneta'</i>	19,89 ± 0,06	22,12 ± 0,12	22,93 ± 0,09
<i>'Božićnica'</i>	16,14 ± 0,03	15,53 ± 0,13	16,21 ± 0,14
<i>'Winter Banana'</i>	17,78 ± 0,08	16,53 ± 0,13	18,34 ± 0,04
<i>'Jonagold'</i>	15,63 ± 0,08	14,80 ± 0,19	14,90 ± 0,30
<i>'Idared'</i>	15,81 ± 0,06	15,03 ± 0,05	17,02 ± 0,13
<i>'Golden Delicious'</i>	14,70 ± 0,02	14,10 ± 0,16	13,29 ± 0,13
<i>'Fuji'</i>	18,55 ± 0,14	17,83 ± 0,15	21,87 ± 0,03
<i>'Granny Smith'</i>	16,21 ± 0,05	16,38 ± 0,06	16,40 ± 0,27

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

4.5. Udio topljive suhe tvari

Analizom udjela topljive suhe tvari u odabranim tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka tijekom 2021. godine utvrđeno je da je najveći udio tijekom šest mjeseci skladištenja imala sorta 'Kanadska Reneta' ($21,20 \pm 0,00$ % Brix), dok su najmanji udio imale sorte 'Jonagold' i 'Idared' ($14,60 \pm 0,00$ % Brix) (**Tablica 11**). Tijekom skladištenja zabilježen je porast udjela topljive suhe tvari u većini odabranih sorti jabuka, osim u komercijalnoj sorti 'Fuj', u kojoj je utvrđeno smanjenje udjela. Dobiveni rezultati usklađeni su s rezultatima istraživanja autora Kistechok *i sur.* (2023), u kojem je također potvrđen porast udjela topljive suhe tvari tijekom skladištenja jabuka, pri čemu se vrijednost udjela topljive suhe tvari kretala između 11,00 i 13,00 % Brix. Navedeno je potvrđeno i u radu Kistechok *i sur.* (2022), gdje je utvrđen udio topljive suhe tvari kod tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka između 11,2 i 14,2 % Brix. Razlike u udjelima topljive suhe tvari mogu ukazivati na različite kvalitativne značajke i fiziološke karakteristike između sorti. Prema istraživanju Wang *i sur.* (2025) utvrđeno je da udio topljive suhe tvari ima jednu od značajnih uloga u rastu i razvoju plijesni *P. expansum*. Istraživanje je provedeno na komercijalnoj sorti jabuka 'Fuji', gdje je nakon infekcije plodova navedenom plijesni zabilježeno smanjenje udjela topljive suhe tvari. Rezultati su pokazali da sorte jabuka s višim udjelom topljive suhe tvari mogu biti osjetljivije na zarazu plijesni *P. expansum*, što je od vitalnog značaja za proces skladištenja i očuvanja kvalitete plodova. Tijekom 2022. i 2023. godine, utvrđena je podudaranost između odabranih sorti jabuka i udjela topljive suhe tvari s rezultatima dobivenim tijekom 2021. godine (**Tablica 12- 13**). Najveći udio topljive suhe tvari tijekom 2022. godine zabilježen je u sorti 'Zelenika' ($21,10 \pm 0,10$ % Brix), dok je tijekom 2023. godine najveći udio topljive suhe tvari imala 'Kanadska Reneta' ($20,40 \pm 0,00$ % Brix). S druge strane, najmanji udio topljive suhe tvari tijekom 2022. i 2023. godine zabilježen je u komercijalnim sortama 'Idared' ($14,00 \pm 0,10$ % Brix) i 'Jonagold' ($13,20 \pm 0,30$ % Brix). Tijekom skladištenja udio topljive suhe tvari ostao je nepromijenjen ili je zabilježen blagi porast. Na temelju trogodišnjeg istraživanja, može se zaključiti da tradicionalne sorte jabuka imaju veći udio topljive suhe tvari u odnosu na komercijalne.

Tablica 11 Rezultati topljive suhe tvari (% Brix)^a u svježim uzorcima odabranih sorti jabuka tijekom 2021. godine

<i>mjesec skladištenja</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>6</i>
<i>'Zelenika'</i>	14,50 ± 0,00	19,00 ± 0,01	21,00 ± 0,00
<i>'Bobovec'</i>	16,70 ± 0,20	17,30 ± 0,00	18,10 ± 0,00
<i>'Kanadska Reneta'</i>	15,80 ± 0,00	21,20 ± 0,00	19,40 ± 0,01
<i>'Božićnica'</i>	15,20 ± 0,05	18,10 ± 0,20	18,90 ± 0,00
<i>'Winter Banana'</i>	16,00 ± 0,00	16,40 ± 0,00	16,50 ± 0,10
<i>'Jonagold'</i>	14,60 ± 0,10	16,70 ± 0,30	15,70 ± 0,00
<i>'Idared'</i>	15,30 ± 0,40	14,60 ± 0,00	16,30 ± 0,00
<i>'Golden Delicious'</i>	16,20 ± 0,10	17,10 ± 0,15	16,80 ± 0,20
<i>'Fuji'</i>	16,70 ± 0,10	17,50 ± 0,00	14,80 ± 0,00
<i>'Granny Smith'</i>	15,00 ± 0,30	15,90 ± 0,00	15,10 ± 0,00

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Tablica 12 Rezultati topljive suhe tvari (% Brix)^a u svježim uzorcima odabranih sorti jabuka tijekom 2022. godine

<i>mjesec skladištenja</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>6</i>
<i>'Zelenika'</i>	15,10 ± 0,30	20,30 ± 0,00	21,10 ± 0,10
<i>'Bobovec'</i>	17,10 ± 0,00	18,10 ± 0,00	17,30 ± 0,00
<i>'Kanadska Reneta'</i>	17,90 ± 0,00	15,00 ± 0,00	17,20 ± 0,10
<i>'Božićnica'</i>	16,00 ± 0,10	18,80 ± 0,10	18,10 ± 0,00
<i>'Winter Banana'</i>	15,10 ± 0,00	15,80 ± 0,00	15,70 ± 0,00
<i>'Jonagold'</i>	15,10 ± 0,10	14,90 ± 0,30	15,90 ± 0,20
<i>'Idared'</i>	14,00 ± 0,10	14,80 ± 0,00	16,50 ± 0,00
<i>'Golden Delicious'</i>	16,70 ± 0,00	15,90 ± 0,00	16,70 ± 0,00
<i>'Fuji'</i>	18,40 ± 0,00	18,40 ± 0,10	18,60 ± 0,00
<i>'Granny Smith'</i>	14,50 ± 0,20	14,70 ± 0,00	16,80 ± 0,00

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Tablica 13 Rezultati topljive suhe tvari (% Brix)^a u svježim uzorcima odabranih sorti jabuka tijekom 2023. godine

<i>mjesec skladištenja</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>6</i>
<i>'Zelenika'</i>	16,20 ± 0,00	17,70 ± 0,10	16,80 ± 0,30
<i>'Bobovec'</i>	15,50 ± 0,10	16,50 ± 0,00	14,40 ± 0,00
<i>'Kanadska Reneta'</i>	17,30 ± 0,00	20,10 ± 0,10	20,40 ± 0,00
<i>'Božićnica'</i>	14,00 ± 0,00	13,50 ± 0,00	13,80 ± 0,00
<i>'Winter Banana'</i>	15,30 ± 0,10	14,50 ± 0,00	15,80 ± 0,10
<i>'Jonagold'</i>	14,20 ± 0,40	13,70 ± 0,00	13,20 ± 0,30
<i>'Idared'</i>	14,70 ± 0,30	13,60 ± 0,30	14,80 ± 0,30
<i>'Golden Delicious'</i>	13,60 ± 0,00	12,40 ± 0,00	11,50 ± 0,00
<i>'Fuji'</i>	16,20 ± 0,00	16,10 ± 0,00	19,70 ± 0,20
<i>'Granny Smith'</i>	13,40 ± 0,10	14,60 ± 0,30	14,20 ± 0,00

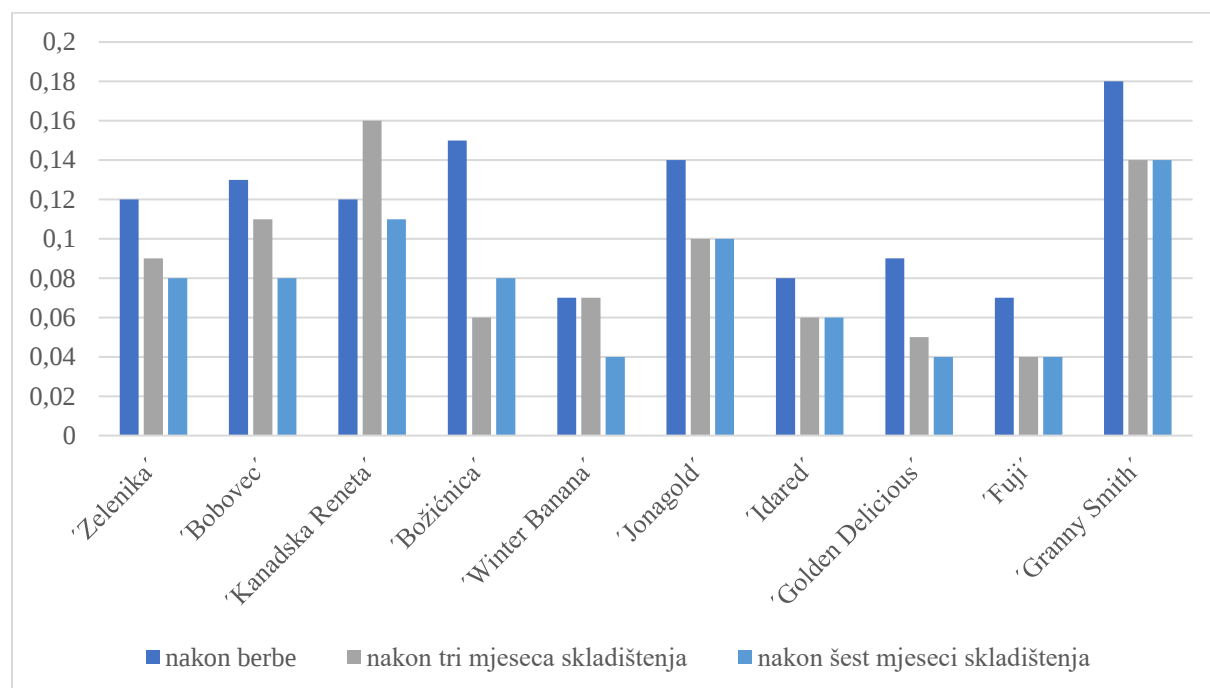
^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

4.6. Udio ukupnih kiselina odabranih sorti jabuka

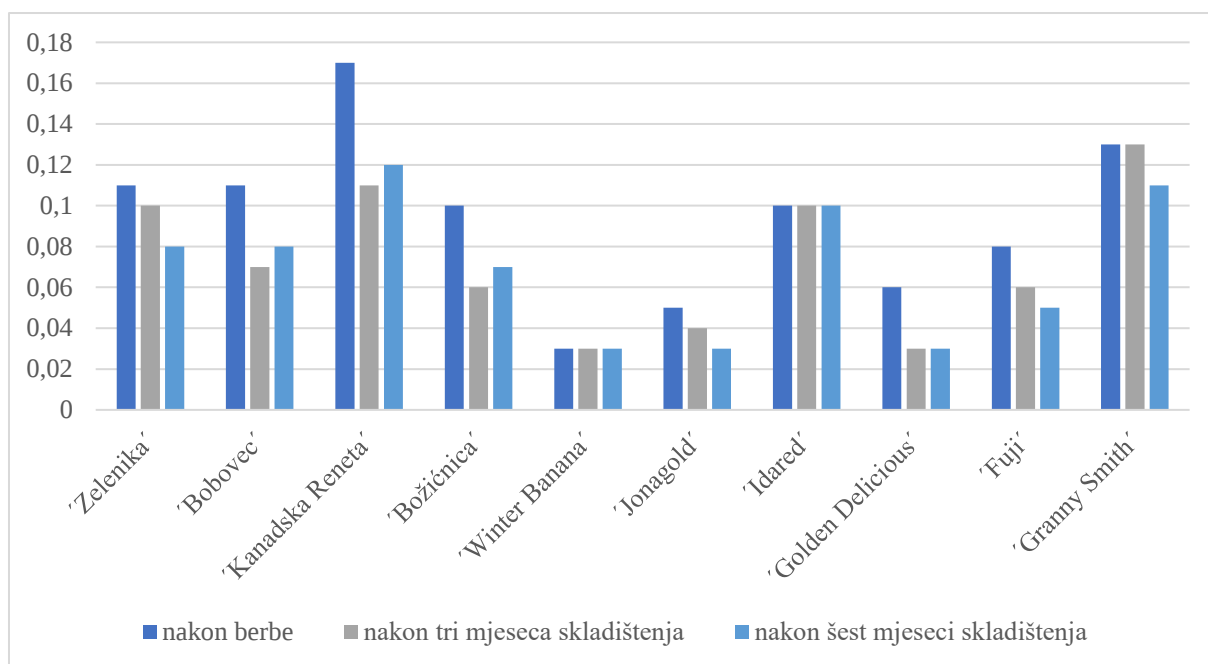
Udio ukupnih kiselina jedan je od ključnih parametara kada je u pitanju okus i kvaliteta voća. Različite vrste organskih kiselina u voću doprinose stvaranju različitih okusa (Bugaud i sur. 2011.; Tang i sur. 2015.). Glavna kiselina koja se nalazi u jabukama je jabučna kiselina, koja je ujedno kiselija od limunske kiseline. Nadalje, ustanovljeno je da jabučna kiselina čini približno 90% ukupnog sadržaja organskih kiselina u jabukama (Ma i sur. 2018.b). Također, jedan od ključnih parametara koji utječe na metabolizam plijesni *P. expansum*, odnosno biosintezu patulina je udio kiselina, odnosno udio jabučne kiseline. Analizom udjela ukupnih kiselina u odabranim sortama jabuka tijekom 2021. godine utvrđeno je da postoje značajne razlike između sorti u pogledu ukupnih kiselina. Najveći udio ukupnih kiselina tijekom skladištenja imala je sorta 'Granny Smith', dok je najmanji imala sorta ', dok je najmanji udio kiselina zabilježen u sortama 'Winter Banana', 'Golden Delicious' i 'Fuji'. Udio ukupnih kiselina tijekom skladištenja kretao se od 0,40 do 0,18 g/100 g (**Slika 48**). Dobiveni rezultati ukupnih kiselina u ispitivanim uzorcima jabuka u skladu su s podacima drugih istraživača (Kistechok i sur., 2022) Tijekom 2022. godine najveći udio ukupnih kiselina tijekom skladištenja zabilježen je u sorti 'Kanadska Reneta', dok su najmanji udio imale sorte 'Golden Delicious', 'Jonagold' i 'Winter Banana' (**Slika 49**). Iako tijekom skladištenja dolazi do pada vrijednosti udjela ukupnih

kiselina, kod sorte 'Winter Banana' udio je ostao nepromijenjen tijekom šest mjeseci skladištenja. Udio ukupnih kiselina tijekom 2022. godine kretao se između 0,30 i 0,17 g/100 g. Tijekom 2023. godine udio ukupnih kiselina bio je između 0,30 i 0,13 g/100 g ovisno o sorti. Najveći udio ukupnih kiselina tijekom skladištenja zabilježen je u sortama 'Zelenika' i 'Božićnica', dok je najmanji udio ukupnih kiselina zabilježen kod sorti 'Fuji', 'Golden Delicious', 'Idared' i 'Winter Banana' (Slika 50).

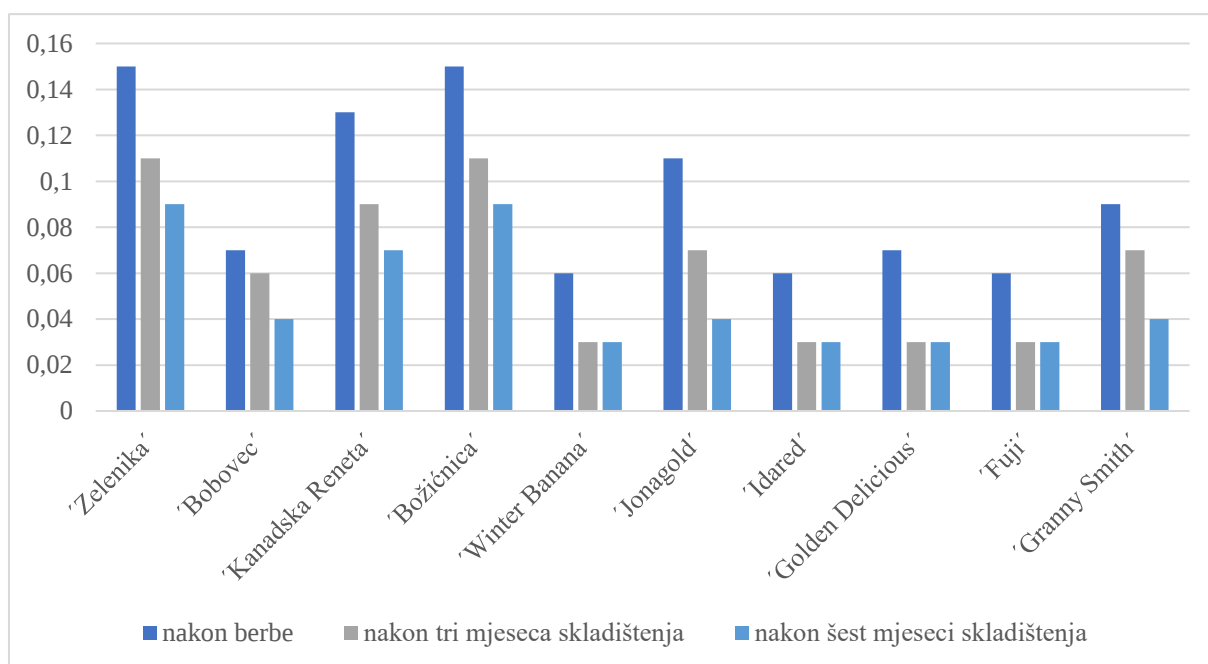
Na temelju trogodišnjeg istraživanja može se zaključiti da su tradicionalne sorte jabuka, kao što su 'Kanadska Reneta', 'Božićnica' i 'Zelenika', imale značajno veći udio ukupnih kiselina u odnosu na komercijalne sorte, kao što su 'Idared', 'Fuji' i 'Golden Delicious'. Utvrđeno je da navedene razlike u sadržaju ukupnih kiselina mogu utjecati na pH vrijednost voća, što posljedično može utjecati na razvoj plijesni. Veći udio ukupnih kiselina ploda jabuke može inhibirati rast plijesni, dok niža vrijednost ukupnih kiselina može stvoriti povoljne uvjete za rast i razvoj plijesni (Lončarić i sur. 2021.). Stoga, tradicionalne sorte jabuka, kao što je 'Kanadska Reneta' imaju veću otpornost na razvoj plijesni *P. expansum* u usporedbi s komercijalnom sortom 'Idared'. Otpornost voća na razvoj plijesni *P. expansum* kompleksan je fenomen koji ovisi o mnogim čimbenicima, poput strukture kore voća, mikrobiološkog sastava i okolišnih uvjeta skladištenja.



Slika 48 Udio ukupnih kiselina (g/100 g) odabranih tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka tijekom skladištenja, 2021. godina



Slika 49 Udio ukupnih kiselina (g/100 g) odabranih tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka tijekom skladištenja, 2022. godina



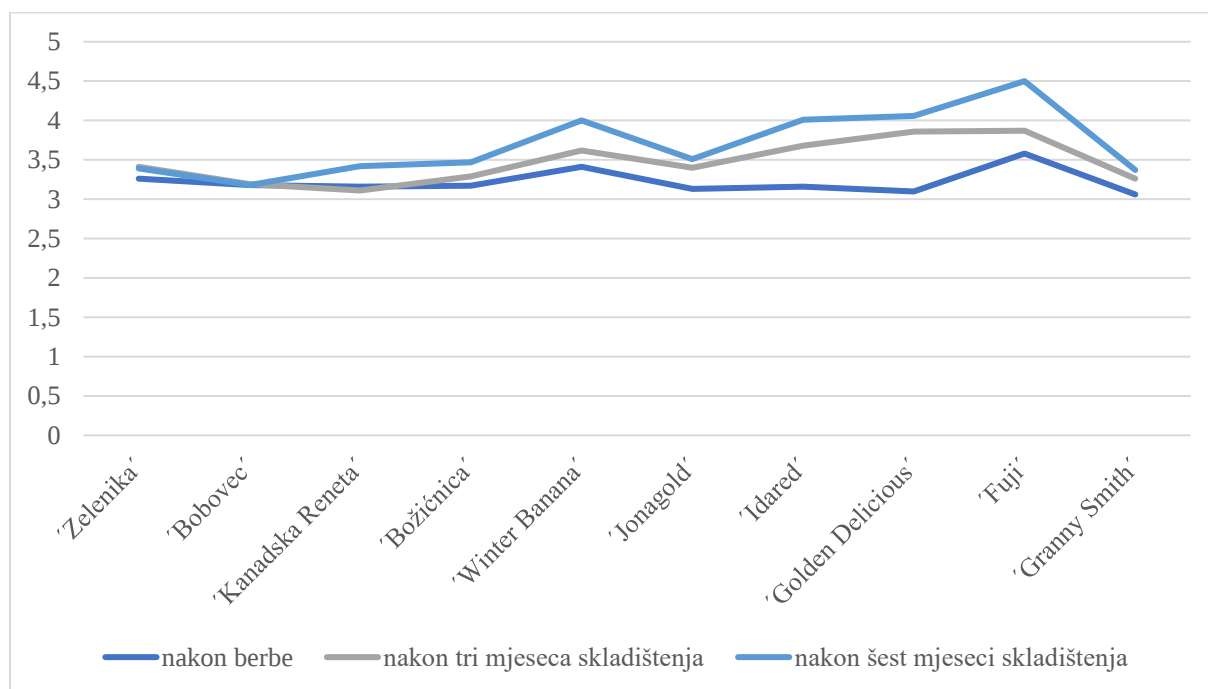
Slika 50 Udio ukupnih kiselina (g/100 g) odabranih tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka tijekom skladištenja, 2023. godina

4.7. pH-vrijednosti odabranih sorti jabuka

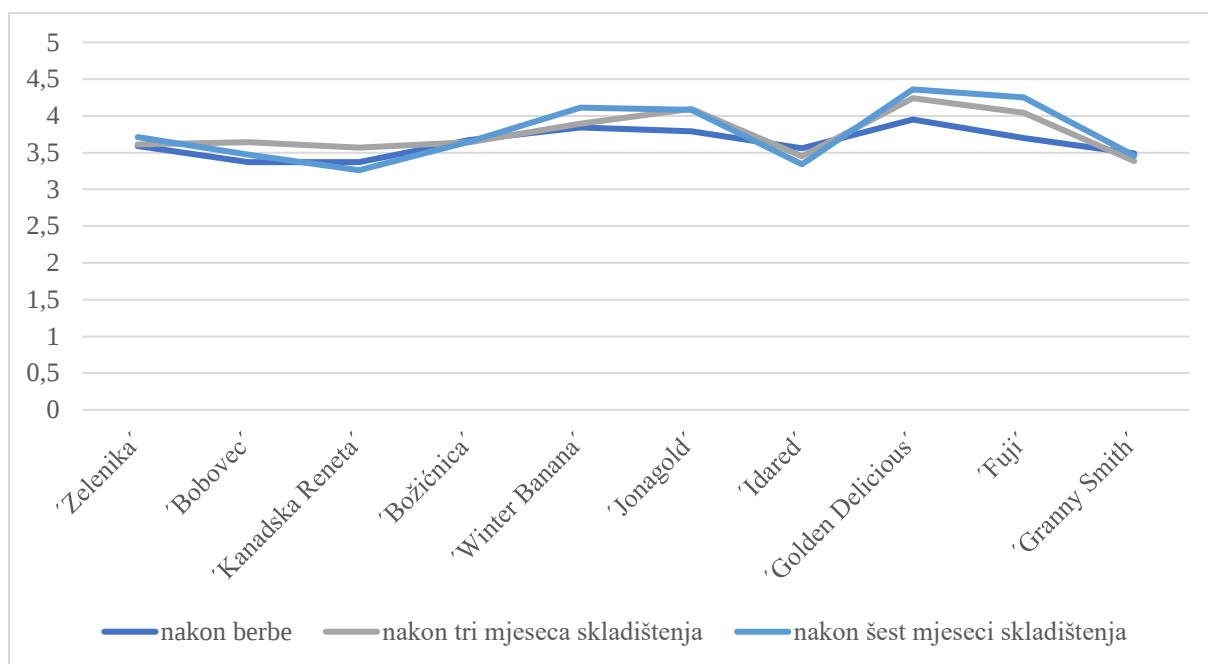
Rast, sporulacija i sinteza patulina kod plijesni *P. expansum* uvelike je pod utjecajem pH-vrijednosti (Zong i sur. 2015.). Sintaza patulina kod *P. expansum* odvija se u rasponu pH-

vrijednosti od 2,5 do 6, a budući da jabuka općenito ima pH-vrijednost između 3,1 i 4,1 smatra se dobrim okruženjem za sintezu patulina (Tannous i sur. 2016.). Dobiveni rezultati tijekom trogodišnjeg istraživanja potvrđuju navedeno, odnosno da se pH-vrijednost jabuka kreće u rasponu od 3,0 do 4,0. Prema istraživanju Diao i sur. (2021), utvrđeno je da patulin pokazuje veću stabilnost kada pH-vrijednost iznosi ispod 3,5. Navedeno je potvrđeno i u istraživanju Zong, Li i Tian, (2015), u kojem je utvrđeno da je optimalan raspon pH-vrijednosti za proizvodnju patulina između 3 i 5.

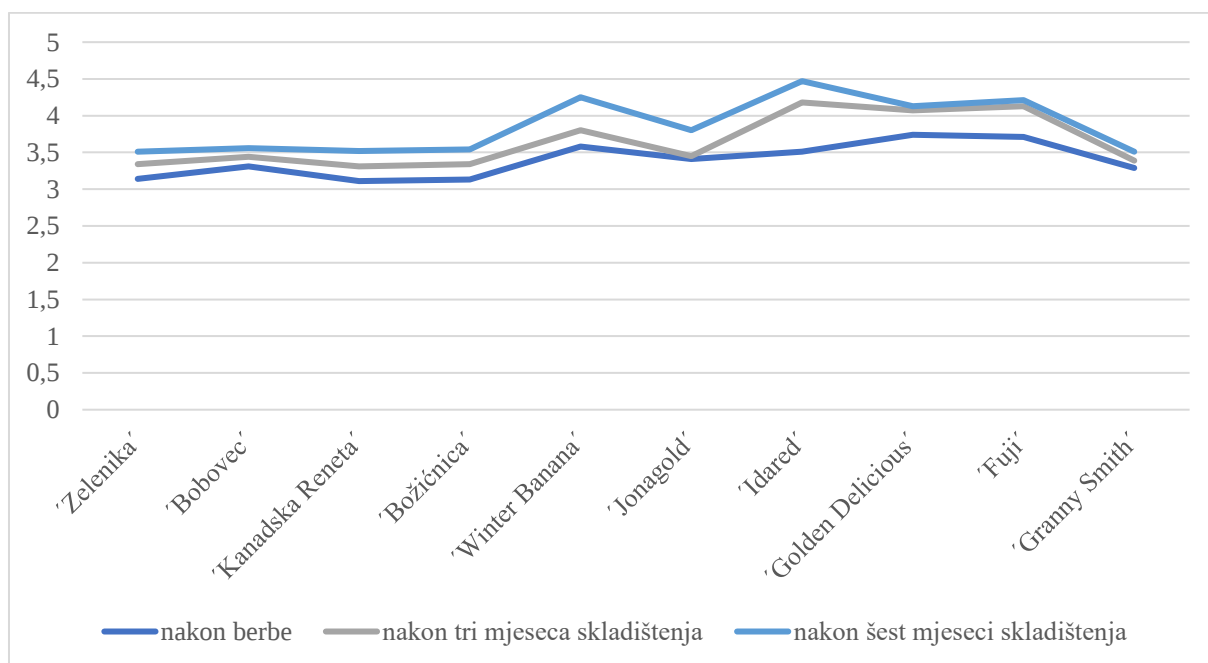
Usporedbom rezultata između odabranih sorti jabuka pri različitim vremenima skladištenja tijekom trogodišnjeg istraživanja ukazuje na značajne varijacije u pH-vrijednosti između sorti. Primjerice, tijekom 2021. godine najveću pH vrijednost imala je sorta 'Fuji', dok je najmanji pH imala sorta 'Kanadska Reneta' (Slika 51). Tijekom 2022. godine najveću pH-vrijednost imala je sorta 'Golden Delicious', dok je najmanji pH imala 'Kanadska Reneta' (Slika 52). Nadalje, tijekom šestomjesečnog skladištenja u 2023. godini, najveću pH-vrijednost imala je sorta 'Idared', dok je najmanju vrijednost kao i prve dvije godine imala 'Kanadska Reneta' (Slika 53). Tijekom trogodišnjeg istraživanja, tradicionalne sorte jabuka imale su manje oscilacije u promjeni pH vrijednosti, dok su komercijalne sorte imale veće oscilacije u vidu rasta pH-vrijednosti tijekom skladištenja.



Slika 51 Rezultati pH vrijednosti u svježim uzorcima odabranih sorti jabuka tijekom skladištenja, 2021. godina



Slika 52 Rezultati pH vrijednosti u svježim uzorcima odabranih sorti jabuka tijekom skladištenja, 2022. godina



Slika 53 Rezultati pH vrijednosti u svježim uzorcima odabranih sorti jabuka tijekom skladištenja, 2023. godina

4.8. Udio reducirajućih i ukupnih šećera

Jabuke su osjetljivije na različite bolesti nakon berbe, osobito tijekom dugotrajnog skladištenja. Zbog visokog sadržaja vode, ali i šećera, plodovi jabuka, osobito u uvjetima nepravilnog skladištenja, često postaju podložni napadu različitih mikroorganizama, uključujući plijesni. Prema dosadašnjim istraživanjima, veće koncentracije saharoze mogu negativno utjecati na biosintezu i akumulaciju patulina (Zong i sur. 2015.). **Tablica 14** prikazuje udjele reducirajućih i ukupnih šećera u odabranim sortama jabuka tijekom 2021. godine. Rezultati pokazuju statistički značajne razlike među sortama tijekom šestomjesečnog skladištenja. Najveći udio reducirajućih šećera neposredno nakon berbe imala je sorta 'Kanadska Reneta' ($10,68 \pm 0,02$ %), nakon tri mjeseca skladištenja sorta 'Winter Banana' ($12,30 \pm 0,00$ %), a nakon šest mjeseci skladištenja sorta 'Fuji' ($13,78 \pm 0,00$ %). S druge strane, najniži udio reducirajućih šećera neposredno nakon berbe zabilježen je kod sorte 'Jonagold' ($7,87 \pm 0,02$ %), nakon tri mjeseca skladištenja kod sorte 'Zelenika' ($10,11 \pm 0,02$ %), te nakon šest mjeseci skladištenja kod sorte 'Granny Smith' ($9,94 \pm 0,02$ %). Tijekom skladištenja dolazi do povećanja koncentracije prirodnih šećera, što je povezano s povećanjem udjela suhe tvari, odnosno gubitkom vode. Nadalje, viši udio šećera može biti posljedica toplijih i sušnijih agroklimatskih uvjeta tijekom vegetacijske sezone. Meteorološki podaci za 2021. godinu potvrđuju da je ta godina bila iznadprosječno topla, što je također moglo doprinijeti akumulaciji šećera u plodovima. Najveći udio ukupnih šećera neposredno nakon berbe i nakon tri mjeseca skladištenja imala je sorta 'Kanadska Reneta' ($15,25 \pm 0,00$; $18,40 \pm 0,03$ %) dok je nakon šest mjeseci skladištenja najviši udio imala sorta 'Winter Banana' ($18,33 \pm 0,00$ %). Najmanji udio ukupnih šećera nakon berbe zabilježen je kod sorte 'Božićnica' ($13,67 \pm 0,03$ %), dok je tijekom šest mjeseci skladištenja najnižu vrijednost imala sorta 'Granny Smith' ($13,26 \pm 0,03$; $13,83 \pm 0,00$ %). Promjena udjela ukupnih šećera tijekom skladištenja ovisi o sorti, kod većine sorti zabilježen je porast, no kod sorti 'Idared' i 'Granny Smith' zabilježen je pad vrijednosti. Udio šećera važan je čimbenik koji utječe na rast plijesni *P. expansum*. Istraživanja su pokazala da nedostatak hranjivih tvari, osobito šećera, može usporiti rast *P. expansum* (Gal i sur. 2025.). Gong i sur. (2022) utvrdili su da *P. expansum* koristi saharoze iz ploda jabuke kao izvor ugljika tijekom kolonizacije, što uzrokuje brzo smanjenje sadržaja saharoze u zaraženom tkivu. Štoviše, gljivična infekcija pospješuje proizvodnju etilena u plodu, što dodatno ubrzava razgradnju polisaharida i povećava sadržaj šećera. Smanjenje sadržaja saharoze, glukoze i fruktoze povezano je s povećanjem proces disanja inokuliranog ploda, što dovodi do većih energetske potreba i smanjene učinkovitosti obrambenih odgovora voća (Sun i sur. 2021.; Gong i sur. 2022.).

Najveći udio reducirajućih šećera tijekom 2022. godine zabilježen je kod sorte 'Fuji'. Najniži udio reducirajućih šećera nakon berbe utvrđen kod sorte 'Idared' ($8,12 \pm 0,00$ %), nakon tri mjeseca skladištenja kod sorte 'Granny Smith' ($9,13 \pm 0,02$ %), a nakon šest mjeseci skladištenja kod sorte 'Zelenika' ($10,48 \pm 0,05$ %) (**Tablica 15**). Što se tiče ukupnih šećera, najveći udio nakon berbe i nakon šest mjeseci skladištenja također je imala sorta 'Fuji' ($17,32 \pm 0,03$; $18,31 \pm 0,03$ %). Nakon tri mjeseca skladištenja najveći udio ukupnih šećera zabilježen je kod sorte 'Božićnica' ($18,09 \pm 0,06$ %). **Tablica 16** prikazuje udjele reducirajućih i ukupnih šećera u odabranim sortama jabuka tijekom 2023. godine. Najveći udio reducirajućih šećera tijekom šest mjeseci skladištenja zabilježen je u sorti 'Fuji'. Najniži udio nakon berbe i nakon tri mjeseca skladištenja utvrđen je kod sorte 'Božićnica', dok je nakon šest mjeseci skladištenja najniži udio reducirajućih šećera zabilježen kod sorte 'Idared'. S druge strane, najveći udio ukupnih šećera tijekom šest mjeseci skladištenja zabilježen je kod sorte 'Fuji', dok je najniži udio imala sorta 'Božićnica'.

Usporedba rezultata između odabranih tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka tijekom trogodišnjeg istraživanja pokazala je statistički značajne razlike među sortama u udjelu reducirajućih i ukupnih šećera. Kod većine sorti zabilježen je porast udjela šećera tijekom skladištenja. Dobiveni rezultati su u skladu s istraživanjem Butkeviciute *i sur.* (2021), koji potvrđuju da tijekom skladištenja jabuka dolazi do porasta udjela ukupnih šećera uslijed procesa dozrijevanja ploda i hidrolize škroba. Prema navedenom istraživanju, udio ukupnih šećera prije skladištenja iznosio je između 9,15 i 11,14 %, dok se nakon osam mjeseci skladištenja kretao između 12,62 i 13,92%. Slične rezultate dobili su i Jan i Rab (2012), koji su utvrdili porat ukupnog udjela šećera tijekom skladištenja jabuka u rasponu od 9,67 do 12,47 %. Nadalje, komercijalna sorta 'Fuji' je tijekom sve tri godine istraživanja dosljedno imala najviši udio reducirajućih i ukupnih šećera. Na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti kako komercijalna sorta 'Fuji', zbog visokog udjela šećera, predstavlja povoljnu podlogu za rast i razvoj plijesni *Penicillium expansum*.

Tablica 14 Udio reducirajućih i ukupnih šećera (%)^a u odabranim sortama jabuka tijekom šest mjeseci skladištenja, 2021. godina.

<i>udio reducirajućih šećera (%)</i>	<i>2021.</i>		
<i>mjesec skladištenja</i>	0	3	6
<i>'Zelenika'</i>	8,26 ± 0,02 ^b	10,11 ± 0,02 ^a	12,30 ± 0,02 ^f
<i>'Bobovec'</i>	8,26 ± 0,02 ^b	10,95 ± 0,03 ^c	12,55 ± 0,00 ^h
<i>'Kanadska Reneta'</i>	10,68 ± 0,02 ^h	11,36 ± 0,04 ^f	12,71 ± 0,00 ⁱ
<i>'Božićnica'</i>	8,82 ± 0,02 ^d	11,85 ± 0,02 ^g	12,43 ± 0,00 ^g
<i>'Winter Banana'</i>	10,48 ± 0,04 ^g	12,30 ± 0,00 ⁱ	12,11 ± 0,00 ^e
<i>'Jonagold'</i>	7,87 ± 0,02 ^a	10,43 ± 0,02 ^c	10,16 ± 0,00 ^b
<i>'Idared'</i>	10,39 ± 0,00 ^f	10,41 ± 0,05 ^c	11,23 ± 0,02 ^c
<i>'Golden Delicious'</i>	9,07 ± 0,02 ^e	10,48 ± 0,04 ^d	11,54 ± 0,02 ^d
<i>'Fuji'</i>	10,43 ± 0,02 ^g	12,10 ± 0,02 ^h	13,78 ± 0,00 ^j
<i>'Granny Smith'</i>	8,38 ± 0,02 ^c	10,24 ± 0,01 ^b	9,94 ± 0,02 ^a
<i>udio ukupnih šećera (%)</i>	0	3	6
<i>'Zelenika'</i>	14,10 ± 0,03 ^b	16,10 ± 0,07 ^g	17,85 ± 0,00 ^h
<i>'Bobovec'</i>	14,19 ± 0,00 ^c	16,01 ± 0,00 ^f	15,95 ± 0,00 ^e
<i>'Kanadska Reneta'</i>	15,25 ± 0,00 ^h	18,40 ± 0,03 ⁱ	16,51 ± 0,00 ^f
<i>'Božićnica'</i>	13,67 ± 0,03 ^a	15,31 ± 0,06 ^e	16,54 ± 0,00 ^f
<i>'Winter Banana'</i>	14,95 ± 0,36 ^g	15,15 ± 0,06 ^d	18,33 ± 0,00 ⁱ
<i>'Jonagold'</i>	14,53 ± 0,03 ^e	14,49 ± 0,06 ^c	15,20 ± 0,00 ^c
<i>'Idared'</i>	14,88 ± 0,00 ^f	14,56 ± 0,00 ^c	14,10 ± 0,00 ^b
<i>'Golden Delicious'</i>	14,28 ± 0,07 ^d	16,69 ± 0,06 ^h	15,66 ± 0,00 ^d
<i>'Fuji'</i>	14,18 ± 0,03 ^c	13,71 ± 0,00 ^b	16,86 ± 0,00 ^g
<i>'Granny Smith'</i>	14,07 ± 0,03 ^b	13,26 ± 0,03 ^a	13,83 ± 0,00 ^a

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-j) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 15 Udio reducirajućih i ukupnih šećera (%)^a u odabranim sortama jabuka tijekom šest mjeseci skladištenja, 2022. godina.

<i>udio reducirajućih šećera (%)</i>	<i>2022.</i>		
<i>mjesec skladištenja</i>	0	3	6
<i>'Zelenika'</i>	8,66 ± 0,02 ^b	9,29 ± 0,02 ^b	10,48 ± 0,05 ^a
<i>'Bobovec'</i>	10,61 ± 0,02 ^g	11,72 ± 0,02 ^g	12,07 ± 0,04 ^f
<i>'Kanadska Reneta'</i>	9,33 ± 0,02 ^d	9,32 ± 0,01 ^b	11,74 ± 0,06 ^c
<i>'Božićnica'</i>	8,94 ± 0,02 ^c	11,01 ± 0,00 ^d	12,62 ± 0,02 ^h
<i>'Winter Banana'</i>	9,76 ± 0,04 ^e	9,30 ± 0,10 ^b	10,56 ± 0,02 ^b
<i>'Jonagold'</i>	10,32 ± 0,00 ^f	10,55 ± 0,00 ^c	12,18 ± 0,05 ^g
<i>'Idared'</i>	8,12 ± 0,00 ^a	9,34 ± 0,02 ^b	10,96 ± 0,02 ^d
<i>'Golden Delicious'</i>	10,89 ± 0,04 ^h	11,29 ± 0,02 ^c	12,00 ± 0,02 ^f
<i>'Fuji'</i>	11,78 ± 0,02 ⁱ	11,66 ± 0,02 ^f	13,22 ± 0,04 ⁱ
<i>'Granny Smith'</i>	8,92 ± 0,02 ^c	9,13 ± 0,02 ^a	10,64 ± 0,06 ^c
<i>udio ukupnih šećera (%)</i>	0	3	6
<i>'Zelenika'</i>	13,87 ± 0,00 ^b	16,75 ± 0,03 ^h	17,11 ± 0,00 ^e
<i>'Bobovec'</i>	16,01 ± 0,00 ^f	15,73 ± 0,00 ^c	14,97 ± 0,06 ^a
<i>'Kanadska Reneta'</i>	16,08 ± 0,03 ^g	16,48 ± 0,04 ^g	17,83 ± 0,09 ^g
<i>'Božićnica'</i>	14,75 ± 0,03 ^d	18,09 ± 0,06 ⁱ	17,15 ± 0,06 ^f
<i>'Winter Banana'</i>	14,15 ± 0,03 ^c	14,53 ± 0,02 ^c	14,97 ± 0,06 ^a
<i>'Jonagold'</i>	14,95 ± 0,03 ^c	14,84 ± 0,06 ^d	15,04 ± 0,05 ^a
<i>'Idared'</i>	13,34 ± 0,00 ^a	14,79 ± 0,02 ^d	15,55 ± 0,03 ^b
<i>'Golden Delicious'</i>	16,73 ± 0,00 ^h	15,86 ± 0,03 ^f	16,58 ± 0,08 ^d
<i>'Fuji'</i>	17,32 ± 0,03 ⁱ	12,81 ± 0,03 ^a	18,31 ± 0,03 ^h
<i>'Granny Smith'</i>	13,87 ± 0,00 ^b	14,20 ± 0,06 ^b	16,01 ± 0,00 ^c

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 16 Udio reducirajućih i ukupnih šećera (%)^a u odabranim sortama jabuka tijekom šest mjeseci skladištenja, 2023. godina.

udio reducirajućih šećera (%)		2023.		
mjesec skladištenja		0	3	6
'Zelenika'		7,63 ± 0,02 ^a	9,66 ± 0,05 ^c	7,96 ± 0,08 ^b
'Bobovec'		10,12 ± 0,02 ⁱ	10,70 ± 0,00 ^g	10,07 ± 0,09 ^h
'Kanadska Reneta'		8,42 ± 0,02 ^e	11,30 ± 0,06 ^h	9,46 ± 0,05 ^f
'Božićnica'		7,79 ± 0,02 ^b	8,57 ± 0,05 ^a	8,68 ± 0,04 ^d
'Winter Banana'		8,63 ± 0,00 ^f	10,61 ± 0,02 ⁱ	9,79 ± 0,09 ^g
'Jonagold'		8,11 ± 0,02 ^c	9,47 ± 0,02 ^b	8,30 ± 0,05 ^c
'Idared'		9,55 ± 0,02 ^h	9,78 ± 0,04 ^e	6,85 ± 0,00 ^a
'Golden Delicious'		8,77 ± 0,02 ^g	9,85 ± 0,02 ^f	7,96 ± 0,00 ^b
'Fuji'		11,54 ± 0,02 ^j	11,94 ± 0,02 ^j	12,33 ± 0,05 ⁱ
'Granny Smith'		8,25 ± 0,02 ^d	9,72 ± 0,06 ^d	8,71 ± 0,04 ^e
udio ukupnih šećera (%)		0	3	6
'Zelenika'		14,74 ± 0,03 ^e	15,24 ± 0,06 ^d	12,64 ± 0,12 ^d
'Bobovec'		14,93 ± 0,00 ^f	16,95 ± 0,00 ^g	14,03 ± 0,11 ^f
'Kanadska Reneta'		16,06 ± 0,06 ^g	16,62 ± 0,00 ^e	14,60 ± 0,06 ^g
'Božićnica'		12,14 ± 0,03 ^a	12,96 ± 0,03 ^a	12,19 ± 0,012 ^b
'Winter Banana'		13,89 ± 0,03 ^c	13,85 ± 0,06 ^b	13,88 ± 0,06 ^c
'Jonagold'		14,17 ± 0,03 ^d	14,42 ± 0,06 ^c	12,57 ± 0,10 ^d
'Idared'		13,92 ± 0,00 ^c	17,28 ± 0,10 ^h	12,26 ± 0,11 ^c
'Golden Delicious'		12,83 ± 0,00 ^b	13,90 ± 0,03 ^b	11,61 ± 0,06 ^a
'Fuji'		16,56 ± 0,00 ^h	16,84 ± 0,06 ^f	16,99 ± 0,06 ^h
'Granny Smith'		12,83 ± 0,00 ^b	17,22 ± 0,06 ^h	12,71 ± 0,06 ^d

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-j) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

4.9. Tekstura ploda jabuke

Prezreli i mehanički oštećeni plodovi jabuka podložni su omekšavanju, zbog čega je indeks čvrstoće kore i mesa ploda važan kriterij u procjeni kvalitete, koji omogućuje odabir plodova prikladnih za konzumaciju (Butkeviciute i sur. 2021.). Jan i Rab (2012) utvrdili su da čvrstoća ploda tijekom skladištenja ovisi o sortnim karakteristikama. S produljenjem skladišnog razdoblja, jabuke postupno omekšavaju, što je posljedica promjena u sadržaju pektina, smanjenja udjela vode u plodu te povećane stope disanja (Billy i sur. 2008.; Butkeviciute i sur. 2021.). Gajewski i sur. (2010) su, iako na primjeru kore mrkve, pokazali da mehanička oštećenja mogu povećati sintezu etilena, što dovodi do intenzivnijeg metabolizma šećera tijekom disanja. Tijekom tog procesa dolazi do smanjenja slatkoće ploda i pojave gorkog okusa, čime se narušavaju organoleptička svojstva, a time i tržišna vrijednost jabuka (Butkeviciute i sur., 2021). **Tablica 17** prikazuje čvrstoću mesa i kore odabranih sorti jabuka tijekom 2021. godine. Prema dobivenim rezultatima, najčvršću koru neposredno nakon berbe imala je sorta 'Winter Banana' ($1295,29 \pm 11,99$ g), nakon tri mjeseca skladištenja sorta 'Zelenika' ($1479,40 \pm 201,00$ g), a nakon šest mjeseci skladištenja sorta 'Bobovec' ($1381,84 \pm 116,75$ g). Najmanja čvrstoća kore neposredno nakon berbe zabilježena je kod sorte 'Idared' ($1014,14 \pm 9,30$ g), dok je nakon tri i šest mjeseci skladištenja najniža vrijednost utvrđena kod sorte 'Jonagold' ($747,20 \pm 37,84$; $637,31 \pm 117,13$ g). S druge strane, rezultati mjerenja čvrstoće mesa ploda ukazuju na to da je najveća vrijednost nakon berbe zabilježena kod sorte 'Bobovec' ($429,77 \pm 22,20$ g), nakon tri mjeseca skladištenja kod sorte 'Winter Banana' ($288,96 \pm 153,48$ g), a nakon šest mjeseci skladištenja kod sorte 'Fuji' ($369,03 \pm 23,39$ g). Najmanja čvrstoća mesa nakon berbe utvrđena je kod sorte 'Idared' ($164,05 \pm 13,67$ g), nakon tri mjeseca skladištenja kod sorte 'Božićnica' ($132,84 \pm 10,74$ g), te nakon šest mjeseci skladištenja kod sorte 'Jonagold' ($109,40 \pm 19,23$ g). Rezultata mjerenja teksture jasno ukazuju da dolazi do omekšavanja plodova i kore jabuka tijekom skladištenja. Dobiveni rezultati su očekivani i sugeriraju da, zbog smanjene čvrstoće, tijekom skladištenja može lakše doći do mehaničkih oštećenja plodova, što u konačnici povećava rizik od infekcija plijesni *P. expansum*. Nadalje, tradicionalne sorte jabuka tijekom skladištenja pokazale su veću čvrstoću mesa i kore u usporedbi s komercijalnim sortama, što ih čini otpornijima na mehanička oštećenja i posljedičnu kontaminaciju plijesni *P. expansum*. Dobiveni rezultati u skladu su s istraživanjem Marín i sur. (2006), koji su istraživanjem na komercijalnim sortama jabuka 'Fuji' i 'Golden' utvrdili povećan udio patulina kod mekših plodova. Sličan trend čvrstoće kore i mesa ploda odabranih sorti jabuka zabilježen je i tijekom 2022. godine (**Tablica 18**). Najčvršća kora, neposredno nakon berbe i tijekom

cijelog razdoblja od šest mjeseci skladištenja, utvrđena je kod tradicionalne sorte jabuka 'Zelenika'. Nasuprot tome, najmanja čvrstoća kore nakon berbe zabilježena je kod sorte 'Jonagold' ($698,81 \pm 115,92$ g), dok je nakon tri i šest mjeseci skladištenja najniža vrijednost utvrđena kod sorte 'Winter Banana' ($729,66 \pm 19,62$; $532,65 \pm 14,32$ g). Najveća čvrstoća mesa, kako neposredno nakon berbe, tako i tijekom cijelog skladišnog razdoblja, također je utvrđeno kod sorte 'Zelenika'. S druge strane, najniža čvrstoća mesa tijekom svih šest mjeseci skladištenja zabilježena je kod komercijalne sorte 'Jonagold'. U usporedbi s prethodnom godinom, čvrstoća mesa i kore plodova bila je značajno manja, što ukazuje na negativan utjecaj suše i iznadprosječne temperature tijekom 2022. godine na teksturu plodova.

Tijekom 2023. godine najveća čvrstoća kore neposredno nakon berbe utvrđena je kod sorte 'Zelenika' ($1326,91 \pm 95,48$ g), dok je nakon tri i šest mjeseci skladištenja najviša vrijednost zabilježena kod sorte 'Granny Smith' ($1248,83 \pm 173,00$; $1032,38 \pm 190,67$ g) (**Tablica 19**). Nasuprot tome, najmanja čvrstoća kore nakon berbe utvrđena je kod sorte 'Idared' ($912,68 \pm 81,53$ g), dok su nakon tri i šest mjeseci skladištenja najniža vrijednost zabilježena kod sorte 'Kanadska Reneta' ($469,35 \pm 238,02$; $411,01 \pm 68,01$ g). Najveća čvrstoća mesa neposredno nakon berbe zabilježena je kod sorte 'Zelenika' ($371,73 \pm 95,39$ g), dok je nakon tri i šest mjeseci skladištenja najviša vrijednost utvrđena kod sorte 'Fuji'. Najniža čvrstoća mesa neposredno nakon berbe zabilježena je kod sorte 'Jonagold' ($173,62 \pm 15,69$ g), nakon tri mjeseca skladištenja kod sorte 'Idared' ($178,77 \pm 13,26$ g), a nakon šest mjeseci skladištenja kod sorte 'Kanadska Reneta' ($111,59 \pm 39,64$ g). Usporedbom rezultata trogodišnjeg istraživanja može se zaključiti da su tradicionalne sorte jabuka, osobito 'Zelenika', 'Winter Banana', 'Bobovec', imale značajno veću čvrstoću kore i mesa ploda u usporedbi s komercijalnim sortama. Najniže vrijednosti čvrstoće, i kore i mesa, tijekom tri godine istraživanja utvrđene su kod sorti 'Jonagold' i 'Idared'.

Tablica 17 Tekstura plodova odabranih sorti jabuka tijekom skladištenja, 2021. godina

<i>čvrstoća kore (g)^a</i>	<i>2021.</i>		
<i>mjesec skladištenja</i>	0	3	6
<i>'Zelenika'</i>	1054,23 ± 27,78	1479,40 ± 201,00	903,47 ± 185,52
<i>'Bobovec'</i>	1207,12 ± 23,43	1280,24 ± 31,55	1381,84 ± 116,75
<i>'Kanadska Reneta'</i>	1128,16 ± 67,41	1043,30 ± 97,27	925,96 ± 56,94
<i>'Božićnica'</i>	1188,19 ± 7,71	977,88 ± 121,28	886,44 ± 14,02
<i>'Winter Banana'</i>	1295,29 ± 11,99	1231,74 ± 118,84	1108,82 ± 219,37
<i>'Jonagold'</i>	1219,04 ± 19,66	747,20 ± 37,84	637,31 ± 117,13
<i>'Idared'</i>	1014,14 ± 9,30	975,89 ± 156,05	820,22 ± 169,49
<i>'Golden Delicious'</i>	1147,23 ± 27,41	893,12 ± 57,48	813,06 ± 52,92
<i>'Fuji'</i>	1066,03 ± 57,12	1163,02 ± 169,30	1245,39 ± 131,96
<i>'Granny Smith'</i>	1249,88 ± 54,57	1151,42 ± 104,62	1058,96 ± 131,96
<i>čvrstoća mesa (g)^a</i>	0	3	6
<i>'Zelenika'</i>	231,30 ± 15,82	231,03 ± 30,15	271,52 ± 127,33
<i>'Bobovec'</i>	429,77 ± 22,20	224,71 ± 24,62	221,23 ± 83,84
<i>'Kanadska Reneta'</i>	226,69 ± 31,13	167,70 ± 29,81	182,58 ± 19,02
<i>'Božićnica'</i>	302,10 ± 33,97	132,84 ± 10,74	181,61 ± 40,24
<i>'Winter Banana'</i>	225,43 ± 19,77	288,96 ± 153,48	303,81 ± 75,51
<i>'Jonagold'</i>	216,98 ± 16,77	134,49 ± 12,75	109,40 ± 19,23
<i>'Idared'</i>	164,05 ± 13,67	183,69 ± 44,66	186,01 ± 27,55
<i>'Golden Delicious'</i>	239,16 ± 23,49	248,44 ± 23,11	196,77 ± 10,87
<i>'Fuji'</i>	262,39 ± 20,25	225,13 ± 55,28	369,03 ± 23,39
<i>'Granny Smith'</i>	306,19 ± 3,98	194,00 ± 45,05	208,10 ± 57,99

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Tablica 18 Tekstura plodova odabranih sorti jabuka tijekom skladištenja, 2022. godina

<i>čvrstoća kore (g)^a</i>	<i>2022.</i>		
<i>mjesec skladištenja</i>	0	3	6
<i>'Zelenika'</i>	1326,91 ± 95,48	1251,39 ± 81,35	913,51 ± 59,40
<i>'Bobovec'</i>	890,22 ± 109,58	775,75 ± 28,03	566,30 ± 20,46
<i>'Kanadska Reneta'</i>	1104,86 ± 137,39	997,43 ± 36,11	728,13 ± 26,36
<i>'Božićnica'</i>	1022,16 ± 190,04	823,08 ± 31,28	600,85 ± 22,83
<i>'Winter Banana'</i>	1023,81 ± 335,55	729,66 ± 19,62	532,65 ± 14,32
<i>'Jonagold'</i>	698,81 ± 115,92	753,81 ± 21,80	550,28 ± 15,91
<i>'Idared'</i>	811,23 ± 126,15	842,96 ± 167,23	615,36 ± 122,08
<i>'Golden Delicious'</i>	739,79 ± 97,81	794,72 ± 64,09	580,14 ± 46,78
<i>'Fuji'</i>	952,82 ± 144,41	839,41 ± 44,85	612,77 ± 32,74
<i>'Granny Smith'</i>	1085,53 ± 158,67	989,29 ± 61,38	722,18 ± 44,81
<i>čvrstoća mesa (g)^a</i>	0	3	6
<i>'Zelenika'</i>	512,17 ± 176,19	461,34 ± 20,11	337,00 ± 14,68
<i>'Bobovec'</i>	242,89 ± 18,10	168,30 ± 16,43	122,86 ± 11,99
<i>'Kanadska Reneta'</i>	244,60 ± 20,34	221,73 ± 31,77	161,86 ± 23,19
<i>'Božićnica'</i>	283,97 ± 42,63	179,55 ± 30,43	131,07 ± 22,21
<i>'Winter Banana'</i>	238,97 ± 38,27	110,35 ± 17,22	80,55 ± 12,57
<i>'Jonagold'</i>	130,26 ± 35,92	104,00 ± 17,32	75,92 ± 12,64
<i>'Idared'</i>	193,48 ± 39,62	107,88 ± 10,16	78,76 ± 7,42
<i>'Golden Delicious'</i>	179,95 ± 23,65	132,19 ± 22,13	96,50 ± 16,16
<i>'Fuji'</i>	274,79 ± 54,68	220,76 ± 8,17	161,15 ± 5,97
<i>'Granny Smith'</i>	278,46 ± 39,40	147,14 ± 30,70	107,42 ± 22,41

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Tablica 19 Tekstura plodova odabranih sorti jabuka tijekom skladištenja, 2023. godina

<i>čvrstoća kore (g)^a</i>	<i>2023.</i>		
<i>mjesec skladištenja</i>	0	3	6
<i>'Zelenika'</i>	1190,57 ± 72,25	718,72 ± 155,36	811,23 ± 408,14
<i>'Bobovec'</i>	1048,67 ± 76,80	1139,72 ± 82,92	843,72 ± 151,05
<i>'Kanadska Reneta'</i>	1116,51 ± 115,19	469,35 ± 238,02	411,01 ± 68,01
<i>'Božićnica'</i>	1105,17 ± 117,56	881,39 ± 140,37	561,27 ± 260,69
<i>'Winter Banana'</i>	1159,55 ± 202,70	852,13 ± 66,39	771,92 ± 257,62
<i>'Jonagold'</i>	958,93 ± 73,03	873,09 ± 118,77	824,30 ± 160,69
<i>'Idared'</i>	912,68 ± 81,53	492,84 ± 129,16	585,39 ± 52,37
<i>'Golden Delicious'</i>	943,51 ± 60,23	695,59 ± 95,99	635,57 ± 165,20
<i>'Fuji'</i>	1009,42 ± 109,66	1194,82 ± 148,90	991,89 ± 211,87
<i>'Granny Smith'</i>	1167,70 ± 103,00	1248,83 ± 173,00	1032,38 ± 190,67
<i>čvrstoća mesa (g)^a</i>	0	3	6
<i>'Zelenika'</i>	371,73 ± 95,39	188,26 ± 43,78	183,96 ± 51,27
<i>'Bobovec'</i>	336,33 ± 9,16	287,33 ± 37,99	348,18 ± 72,06
<i>'Kanadska Reneta'</i>	235,64 ± 5,84	171,51 ± 112,91	111,59 ± 39,64
<i>'Božićnica'</i>	293,04 ± 27,54	233,97 ± 20,97	196,94 ± 14,48
<i>'Winter Banana'</i>	232,20 ± 24,56	263,66 ± 41,15	187,96 ± 88,04
<i>'Jonagold'</i>	173,62 ± 15,69	172,86 ± 16,48	162,78 ± 8,43
<i>'Idared'</i>	178,77 ± 13,26	144,81 ± 27,24	138,08 ± 22,27
<i>'Golden Delicious'</i>	209,56 ± 23,44	180,21 ± 64,95	252,03 ± 44,67
<i>'Fuji'</i>	268,59 ± 37,04	475,71 ± 173,06	570,74 ± 120,41
<i>'Granny Smith'</i>	292,33 ± 19,57	248,51 ± 32,73	216,72 ± 45,45

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

4.10. Udio aktiviteta vode (α_w)

Aktivitet vode (α_w) pokazuje koliko je voda u plodu vezana, odnosno koliko je dostupna za mikrobiološke i biokemijske procese. Svježi plodovi jabuke imaju vrijednost aktiviteta vode između 0,97 i 0,99, što ih svrstava unutar granica pogodnih za klijanje spora (0,83-0,85) te

sintezu patulina (0,99) od strane *P. expansum* (Judet-Correia i sur. 2010.; Tannous i sur. 2016.). Kada su vrijednost aktiviteta vode niže od 0,80 to znači da hrana ima niski aktivitet vode i da se većina enzimskih reakcija usporava (Royen i sur. 2020.). Prema istraživanju Rodríguez-Andrade i sur. (2021), plijesan *P. expansum* ima sposobnost rasta pri minimalnom aktivitetu vode od 0,81 do 0,82. Kontroliranje aktiviteta vode tijekom skladištenja, osobito u uvjetima kontrolirane atmosfere pri određenoj temperaturi i relativnoj vlažnosti, od ključne je važnosti za sprječavanje razvoja plijesni tijekom skladištenja. Tijekom 2021. godine, aktiviteta vode u odabranim sortama jabuka tijekom šest mjeseci skladištenja nalazio se uvijek unutar raspona pogodnog za rast i razvoj plijesni *P. expansum* (**Tablica 20**). Najviši aktivitet vode neposredno nakon berbe zabilježen je kod sorti 'Fuji' i 'Bobovec' (0,980), nakon tri mjeseca skladištenja kod sorte 'Winter Banana' (0,951), a nakon šest mjeseci skladištenja ponovo kod sorte 'Bobovec' (0,954). Nasuprot tome, najniži aktivitet vode nakon berbe utvrđen je kod sorte 'Jonagold' (0,910), nakon tri mjeseca skladištenja kod sorte 'Golden Delicious' (0,911), a nakon šest mjeseci skladištenja kod sorte 'Zelenika' (0,815). Dobiveni rezultati su u skladu s rezultatima Ghinea i sur. (2022), koji su za svježi uzorak sorte 'Golden Delicious' utvrdili vrijednost aktiviteta vode od 0,910. Prema rezultatima za 2021. godinu, vrijednosti aktiviteta vode kretale su se od 0,815 do 0,980, što je unutar granica pogodnih za rast i razvoj plijesni *P. expansum*. Tijekom 2022. i 2023. godine vrijednosti aktiviteta vode, također su se nalazile unutar raspona pogodnog za rast i razvoj plijesni *P. expansum* (**Tablica 21- 22**). Najviši aktivitet vode, tijekom 2022. godine, neposredno nakon berbe, zabilježen je kod sorte 'Golden Delicious' (0,943), dok je najniža vrijednost utvrđena kod sorte 'Zelenika' (0,870). Nakon tri mjeseca skladištenja najviši aktivitet vode utvrđen je kod sorte 'Fuji' (0,924), a najniži kod sorte 'Idared' (0,833). Nakon šest mjeseci skladištenja najviši aktivitet vode zabilježen je kod sorte 'Granny Smith' (0,933), dok je najniži utvrđen kod sorte 'Golden Delicious' (0,814). Tijekom 2023. godine, najviši aktivitet vode neposredno nakon berbe zabilježen je kod sorte 'Granny Smith' (0,937), dok je najniža vrijednost utvrđena kod sorte 'Golden Delicious' (0,872). Nakon tri mjeseca skladištenja najviši aktivitet vode zabilježen je kod sorte 'Kanadska Reneta' (0,913), dok je najniža vrijednost utvrđena kod sorte 'Idared' (0,834). Nakon šest mjeseci skladištenja najviši aktivitet vode utvrđen je kod sorte 'Božićnica' (0,957), a najniži kod sorte 'Fuji' (0,852). Usporedbom rezultata trogodišnjeg istraživanja može se zaključiti da su se vrijednosti aktivitet vode odabranih sorti jabuka tijekom cijelog razdoblja skladištenja kretale u rasponu od 0,814 i 0,980. Svrstavajući jabuke unutar granica pogodnih za rast i razvoj plijesni *P. expansum*.

Tablica 20 Aktivitet vode odabranih sorti jabuka tijekom šest mjeseci skladištenja, 2021.
godina

<i>mjesec skladištenja</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>6</i>
<i>'Zelenika'</i>	0,950	0,941	0,815
<i>'Bobovec'</i>	0,980	0,946	0,954
<i>'Kanadska Reneta'</i>	0,930	0,944	0,877
<i>'Božićnica'</i>	0,911	0,930	0,934
<i>'Winter Banana'</i>	0,953	0,951	0,895
<i>'Jonagold'</i>	0,910	0,940	0,951
<i>'Idared'</i>	0,955	0,930	0,912
<i>'Golden Delicious'</i>	0,942	0,911	0,921
<i>'Fuji'</i>	0,980	0,925	0,826
<i>'Granny Smith'</i>	0,944	0,940	0,939

Tablica 21 Aktivitet vode odabranih sorti jabuka tijekom šest mjeseci skladištenja, 2022.
godina

<i>mjesec skladištenja</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>6</i>
<i>'Zelenika'</i>	0,870	0,864	0,924
<i>'Bobovec'</i>	0,936	0,857	0,921
<i>'Kanadska Reneta'</i>	0,938	0,884	0,929
<i>'Božićnica'</i>	0,942	0,860	0,932
<i>'Winter Banana'</i>	0,880	0,866	0,924
<i>'Jonagold'</i>	0,934	0,845	0,876
<i>'Idared'</i>	0,917	0,833	0,930
<i>'Golden Delicious'</i>	0,943	0,897	0,814
<i>'Fuji'</i>	0,932	0,924	0,824
<i>'Granny Smith'</i>	0,902	0,857	0,933

Tablica 22 Aktivitet vode odabranih sorti jabuka tijekom šest mjeseci skladištenja, 2023. godina

<i>mjesec skladištenja</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>6</i>
<i>'Zelenika'</i>	0,889	0,887	0,933
<i>'Bobovec'</i>	0,910	0,860	0,921
<i>'Kanadska Reneta'</i>	0,913	0,917	0,911
<i>'Božićnica'</i>	0,922	0,895	0,957
<i>'Winter Banana'</i>	0,901	0,899	0,925
<i>'Jonagold'</i>	0,913	0,866	0,915
<i>'Idared'</i>	0,913	0,834	0,908
<i>'Golden Delicious'</i>	0,872	0,915	0,916
<i>'Fuji'</i>	0,932	0,874	0,852
<i>'Granny Smith'</i>	0,937	0,862	0,907

4.11. Udio ukupnih polifenola

Polifenoli, molekule snažnog antioksidativnog djelovanja, sintetiziraju se u biljkama kao odgovor na različite oblike stresa. Iako mehanizma otpornosti jabuka na gljivične infekcije još uvijek nije u potpunosti istražen, istraživanja su pokazala da su polifenolni spojevi uključeni u odgovor biljke na kontaminaciju patulinom, budući da neutraliziraju slobodne radikale izazvane patulinom (Ahmadi-Afzadi *i sur.*, 2015). Sun *i sur.* (2017) utvrdili su da sorte jabuka s većim udjelom polifenola, osobito procijanidina, flavonola, fenolnih kiselina i dihidrohalkona, otpornije na infekciju uzrokovanu *P. expansum*. Tijekom 2021. godine udio ukupnih polifenola (TPC) u odabranim tradicionalnim i komercijalnim sortama jabuka tijekom skladištenja prikazan je u **Tablici 23**. Najveći udio ukupnih polifenola neposredno nakon berbe i nakon šest mjeseci skladištenja utvrđen je u sorte 'Bobovec' ($609,74 \pm 13,01$; $650,56 \pm 9,85$ mg/L), dok je nakon tri mjeseca skladištenja najveći udio ukupnih polifenola zabilježen kod sorte 'Božićnica' ($691,37 \pm 8,98$ mg/L). Suprotno tome, najniži udio ukupnih polifenola tijekom šest mjeseci skladištenja utvrđen je kod komercijalne sorte 'Idared'. Rezultati pokazuju statistički značajnu razliku u udjelu ukupnih polifenola između tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka. Dobiveni rezultati u skladu su s istraživanjima Millán-Laleona *i sur.* (2023), Jakobek *i sur.* (2020), Iacopini *i sur.* (2010) te Lončarić *i sur.* (2020), koji su potvrdili veći udio polifenolnih spojeva u tradicionalnim sortama u usporedbi s komercijalnim. Prema istraživanju Feliciano *i*

sur. (2010), tradicionalne sorte jabuka iz Portugala imale su visoki udio ukupnih polifenola. Iako tradicionalne sorte jabuka općenito sadrže veći udio polifenola, potrebno je naglasiti da uvjeti okoliša mogu značajno utjecati na njihov sadržaj. Osim toga, razlike između konvencionalnog i tradicionalnog načina uzgoja mogu također uzrokovati varijacije u sadržaju polifenola (Jakobek i sur., 2020). Jabuke uzgojene tradicionalno i konvencionalno pokazale su sličan polifenolni profil, ali udio polifenola se razlikovao, što potvrđuje utjecaj poljoprivredne prakse na udio polifenola u jabukama (Santarelli i sur. 2020.).

Tablica 23 Udio ukupnih polifenola (mg/L)^a u odabranim sortama jabuka tijekom šest mjeseci skladištenja, 2021. godina

<i>mjesec skladištenja</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>6</i>
<i>'Zelenika'</i>	372,88 ± 15,86 ^d	641,15 ± 5,01 ^h	402,69 ± 8,88 ^d
<i>'Bobovec'</i>	609,74 ± 13,01 ^g	654,83 ± 8,12 ⁱ	650,56 ± 9,85 ^h
<i>'Kanadska Reneta'</i>	604,62 ± 8,01 ^g	571,07 ± 7,06 ^g	600,13 ± 23,35 ^g
<i>'Božićnica'</i>	540,09 ± 15,30 ^f	691,37 ± 8,98 ^j	645,43 ± 14,76 ^h
<i>'Winter Banana'</i>	454,83 ± 19,66 ^e	491,58 ± 3,03 ^e	503,97 ± 15,87 ^e
<i>'Jonagold'</i>	250,77 ± 22,66 ^b	411,88 ± 3,76 ^d	399,49 ± 13,97 ^d
<i>'Idared'</i>	193,72 ± 13,60 ^a	364,44 ± 4,36 ^a	259,32 ± 2,96 ^a
<i>'Golden Delicious'</i>	330,68 ± 14,58 ^c	381,11 ± 11,05 ^b	283,25 ± 8,84 ^b
<i>'Fuji'</i>	333,89 ± 19,63 ^c	399,91 ± 1,33 ^c	337,31 ± 15,07 ^c
<i>'Granny Smith'</i>	462,74 ± 25,78 ^e	526,20 ± 9,71 ^f	531,75 ± 13,93 ^f

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-j) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Udio ukupnih polifenola u odabranim sortama jabuka tijekom 2022. godine pokazao je statistički značajnu razliku među sortama (**Tablica 24**). Najveći udio ukupnih polifenola neposredno nakon berbe i nakon šest mjeseci skladištenja zabilježen je kod sorte 'Božićnica' ($1102,63 \pm 16,91$ mg/L), dok je nakon tri mjeseca skladištenja najveći udio ukupnih polifenola utvrđen kod sorte 'Kanadska Reneta' ($517,37 \pm 21,57$ mg/L). Suprotno tome, najniži udio ukupnih polifenola neposredno nakon berbe zabilježen je kod sorte 'Fuji' ($518,88 \pm 18,50$ mg/L), dok je nakon tri i šest mjeseci skladištenja najniži udio ukupnih polifenola utvrđen kod sorte 'Golden Delicious' ($226,43 \pm 20,93$; $165,40 \pm 3,34$ mg/L). Dobiveni rezultati u skladu su

s onima zabilježenima tijekom 2021. godine, pri čemu su tradicionalne sorte jabuka imale značajno veći udio ukupnih polifenola u odnosu na komercijalne sorte.

Tablica 24 Udio ukupnih polifenola (mg/L)^a u odabranim sortama jabuka tijekom šest mjeseci skladištenja, 2022. godina

<i>mjesec skladištenja</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>6</i>
<i>'Zelenika'</i>	776,38 ± 26,60 ^d	384,72 ± 20,43 ^d	326,94 ± 17,57 ^c
<i>'Bobovec'</i>	871,38 ± 2,17 ^e	502,84 ± 34,50 ^e	365,74 ± 18,25 ^d
<i>'Kanadska Reneta'</i>	997,63 ± 21,32 ^f	517,37 ± 21,57 ^f	324,72 ± 22,66 ^c
<i>'Božićnica'</i>	1102,63 ± 16,91 ^g	467,79 ± 22,63 ^d	475,66 ± 13,53 ^e
<i>'Winter Banana'</i>	666,38 ± 9,92 ^c	296,34 ± 47,44 ^b	179,76 ± 6,81 ^a
<i>'Jonagold'</i>	550,13 ± 29,29 ^a	289,16 ± 6,96 ^b	183,18 ± 12,12 ^a
<i>'Idared'</i>	607,63 ± 15,16 ^b	372,92 ± 24,89 ^c	273,61 ± 4,76 ^b
<i>'Golden Delicious'</i>	595,13 ± 23,42 ^b	226,43 ± 20,93 ^a	165,40 ± 3,34 ^a
<i>'Fuji'</i>	518,88 ± 18,50 ^a	287,11 ± 83,42 ^b	181,81 ± 6,61 ^a
<i>'Granny Smith'</i>	552,63 ± 25,53 ^a	311,73 ± 69,53 ^b	200,96 ± 3,85 ^a

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-g) su statistički značajno različite (p < 0,05) ANOVA, Fisher's LSD.

Slični rezultati zabilježeni su i tijekom 2023. godine (**Tablica 25**). Najveći udio ukupnih polifenola tijekom cijelog perioda skladištenja utvrđen je kod sorte 'Bobovec'. Nasuprot tome, najniži udio ukupnih polifenola neposredno nakon berbe utvrđen je kod sorte 'Idared' (367.73 ± 8,54 mg/L), dok je nakon tri i šest mjeseci skladištenja najniži udio utvrđen kod sorte 'Fuji' (337,30 ± 2,58; 373,54 ± 7,18 mg/L). Usporedbom rezultata trogodišnjeg istraživanja utvrđeno je da tradicionalne sorte jabuka imaju značajno veći udio ukupnih polifenola u odnosu na komercijalne sorte. Tijekom skladištenja dolazi do blagih oscilacija u udjelu ukupnih polifenola, ovisno o sorti, tijekom 2021. i 2023. godine. Porast udjela ukupnih polifenola neposredno nakon berbe i nakon tri mjeseca skladištenja može biti posljedica djelovanja etilena koji potiče aktivnost ključnog enzima u biosintezi polifenola, fenilalanin amonij liaza. Na nižim temperaturama aktivnost fenilalanin amonij liaze je izraženija (Leja i sur. 2003.), dok je aktivnost enzima polifenol oksidaze, koji je odgovoran za razgradnju polifenola, smanjena (Awad i De Jager 2000.). Tijekom 2022. godine zabilježen je pad udjela ukupnih polifenola kod svih analiziranih sorti jabuka, što se može pripisati osjetljivosti na razgradnju i nestabilnosti

polifenola. Stabilnost polifenola ovisi o raznim parametrima kao što su temperatura, enzimi, kisik, pH, svjetlost, proteini, metalni ioni ili interakcija s drugim (Deng i sur. 2018.; Lončarić i sur. 2023.). Na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti da tradicionalne sorte jabuka, koje tijekom skladištenja zadržavaju veći udio ukupnih polifenola, imaju i veću otpornost na infekciju s *P. expansum*.

Tablica 25 Udio ukupnih polifenola (mg/L)^a u odabranim sortama jabuka tijekom šest mjeseci skladištenja, 2023. godina

mjesec skladištenja	0	3	6
'Zelenika'	554,05 ± 2,71 ^e	578,32 ± 13,23 ^d	520,55 ± 10,68 ^e
'Bobovec'	691,83 ± 12,36 ^h	746,87 ± 9,78 ^f	660,72 ± 10,85 ^g
'Kanadska Reneta'	626,87 ± 7,74 ^g	584,82 ± 7,18 ^d	577,98 ± 13,39 ^f
'Božićnica'	511,66 ± 12,91 ^d	609,78 ± 7,70 ^e	564,65 ± 15,70 ^f
'Winter Banana'	605,68 ± 4,27 ^f	433,03 ± 8,88 ^c	472,00 ± 15,49 ^c
'Jonagold'	407,38 ± 8,76 ^b	394,74 ± 8,54 ^b	445,33 ± 12,44 ^b
'Idared'	367,73 ± 8,54 ^a	396,44 ± 6,83 ^b	520,55 ± 3,60 ^e
'Golden Delicious'	413,54 ± 11,42 ^b	390,97 ± 2,05 ^b	467,90 ± 12,44 ^c
'Fuji'	398,84 ± 7,20 ^b	337,30 ± 2,58 ^a	373,54 ± 7,18 ^a
'Granny Smith'	435,08 ± 16,12 ^c	434,74 ± 10,53 ^c	493,88 ± 8,84 ^d

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-h) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

4.12. Udio ukupnih flavonoida

Raznolikost genotipova jabuka nudi širok raspon biokemijskih karakteristika, uključujući sadržaj polifenola, flavonoida, vitamina, organskih kiselina i šećera, čime se doprinosit nutritivnom profilu ploda (Murešan i sur. 2022.). Jabuke sadrže brojne fenolne spojeve, među kojima se ističu flavonoida, fenolnih kiselina i tanina, koji doprinose antioksidacijskoj aktivnosti voća neutralizirajući slobodne radikale, štiteći stanice od oksidativnog stresa te smanjujući rizik od razvoja kroničnih bolesti. Istovremeno, poboljšavaju nutritivnu vrijednost ploda i pridonose pozitivnim učincima na zdravlje (Arnold i Gramza-Michalowska, 2024; Gavrilă i sur., 2025). Jabuke sadrže šest podskupina flavonoida, uključujući flavanone, monomerne i oligomerne flavanole, flavanole, flavone, dihidrochalkone i antocijanine (Kalinowska i sur. 2014.; Jakobek i Matić 2024.). Prema istraživanju Gavrilă i sur. (2025),

flavonoidi predstavljaju ključne bioaktivne spojeve koji značajno doprinose antioksidacijskoj aktivnosti. Oni sprječavaju oštećenja uzorkovana slobodnim radikalima hvatanjem reaktivnih vrsta kisika, aktivacijom antioksidativnih enzima, inhibicijom oksidaza te redukcijom α -tokoferil radikala (Shen i sur. 2022.).

Tijekom 2021. godine udio ukupnih flavonoida u odabranim tradicionalnim i komercijalnim sortama jabuka prikazan je u **Tablici 26**. Najveći udio ukupnih flavonoida neposredno nakon berbe i nakon tri mjeseca skladištenja zabilježen je kod sorte 'Božićnica' ($388,81 \pm 6,71$; $261.75 \pm 4,57$ g/kg). Nakon šest mjeseci skladištenja najveći udio ukupnih flavonoida utvrđeno je kod sorte 'Bobovec' ($184,11 \pm 1,48$ g/kg). Suprotno tome, najniži udio ukupnih flavonoida tijekom cijelog razdoblja skladištenja zabilježen je kod komercijalne sorte 'Idared'. Rezultati su pokazali statistički značajne razlike u udjelu ukupnih flavonoida između analiziranih komercijalnih i tradicionalnih sorti jabuka. Tradicionalne sorte jabuka imale su značajno veći udio ukupnih flavonoida u usporedbi s komercijalnim sortama. Tijekom skladištenja uočen je trend smanjenja udjela ukupnih flavonoida, što je u skladu s našim preliminarnim rezultatima istraživanja Gotal Skoko i sur. (2024), u kojem je također potvrđeno smanjenje sadržaja flavonoida tijekom skladištenja. Slični rezultati zabilježeni su i tijekom 2022. godine (**Tablica 27**). Najveći udio ukupnih flavonoida neposredno nakon berbe i nakon šest mjeseci skladištenja utvrđen je kod sorte 'Božićnica' ($294,02 \pm 4,42$; $95,48 \pm 9,67$ g/kg), dok je nakon tri mjeseca skladištenja najveći udio flavonoida zabilježen kod sorte 'Bobovec' ($243,84 \pm 11,12$ g/kg). Najniži udio ukupnih flavonoida neposredno nakon berbe utvrđen je kod sorte 'Jonagold' ($104,74 \pm 3,11$ g/kg), dok je nakon tri i šest mjeseci skladištenja najniži udio flavonoida zabilježen kod sorte 'Golde Delicious'. Tijekom skladištenja zabilježen je pad udjela ukupnih flavonoida u svim analiziranim sortama, što je u skladu s rezultatima dobivenim tijekom 2021. godine. Nadalje, tradicionalne sorte jabuka, osobito 'Božićnica' i 'Bobovec', imale su značajno veći udio ukupnih flavonoida u odnosu na komercijalne sorte. Dobiveni rezultati u skladu su s istraživanjem Butkeviciute i sur. (2022), koji su također utvrdili smanjenje udjela ukupnih flavonoida tijekom skladištenja.

Tablica 26 Udio ukupnih flavonoida (g/kg)^a u odabranim sortama jabuka tijekom skladištenja, 2021. godina

<i>mjesec skladištenja</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>6</i>
<i>'Zelenika'</i>	190,68 ± 3,69 ^d	195,38 ± 3,67 ^g	68,13 ± 1,19 ^e
<i>'Bobovec'</i>	359,30 ± 14,22 ^g	198,42 ± 0,45 ^g	184,11 ± 1,48 ^g
<i>'Kanadska Reneta'</i>	374,89 ± 1,51 ^h	160,97 ± 5,29 ^e	183,91 ± 1,64 ^g
<i>'Božićnica'</i>	388,81 ± 6,71 ⁱ	261,75 ± 4,57 ^h	179,01 ± 3,14 ^g
<i>'Winter Banana'</i>	214,50 ± 3,98 ^e	134,60 ± 4,22 ^d	117,74 ± 4,62 ^e
<i>'Jonagold'</i>	130,77 ± 0,90 ^b	95,87 ± 2,95 ^b	76,56 ± 2,70 ^d
<i>'Idared'</i>	85,58 ± 4,42 ^a	76,66 ± 4,16 ^a	42,44 ± 5,60 ^a
<i>'Golden Delicious'</i>	129,01 ± 2,09 ^b	81,75 ± 1,22 ^a	48,91 ± 2,81 ^b
<i>'Fuji'</i>	165,28 ± 1,51 ^c	105,06 ± 4,07 ^c	126,56 ± 3,31 ^f
<i>'Granny Smith'</i>	235,87 ± 4,65 ^f	175,19 ± 2,90 ^f	71,17 ± 4,71 ^{c,d}

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 27 Udio ukupnih flavonoida (g/kg)^a u odabranim sortama jabuka tijekom skladištenja, 2022. godina

<i>mjesec skladištenja</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>6</i>
<i>'Zelenika'</i>	217,30 ± 4,17 ^e	120,71 ± 6,23 ^e	57,54 ± 5,03 ^e
<i>'Bobovec'</i>	234,89 ± 6,55 ^f	243,84 ± 11,12 ^g	74,99 ± 6,97 ^d
<i>'Kanadska Reneta'</i>	280,48 ± 6,38 ^g	227,37 ± 17,02 ^{f,g}	55,77 ± 0,61 ^e
<i>'Božićnica'</i>	294,02 ± 4,42 ^h	217,18 ± 17,76 ^f	95,48 ± 9,67 ^e
<i>'Winter Banana'</i>	159,76 ± 1,43 ^d	72,86 ± 10,61 ^c	28,03 ± 0,51 ^a
<i>'Jonagold'</i>	104,74 ± 3,11 ^a	54,82 ± 9,41 ^{b,c}	28,91 ± 1,53 ^a
<i>'Idared'</i>	141,51 ± 6,83 ^c	101,10 ± 9,51 ^d	46,17 ± 0,95 ^b
<i>'Golden Delicious'</i>	119,97 ± 4,98 ^b	30,51 ± 4,90 ^a	24,01 ± 3,53 ^a
<i>'Fuji'</i>	111,00 ± 2,35 ^a	52,47 ± 11,76 ^b	25,77 ± 3,72 ^a
<i>'Granny Smith'</i>	139,77 ± 0,23 ^c	64,24 ± 7,06 ^{b,c}	25,48 ± 2,36 ^a

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-h) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tijekom 2023. godine najveći udio ukupnih flavonoida neposredno nakon berbe i nakon šest mjeseci skladištenja zabilježen je kod tradicionalne sorte jabuka 'Bobovec', dok je najniži udio ukupnih flavonoida tijekom cijelog perioda skladištenja utvrđen kod komercijalne sorte 'Fuji' (Tablica 28). Usporedbom rezultata trogodišnjeg istraživanja utvrđeno je da tradicionalne sorte jabuka, osobito 'Božićnica' i 'Bobovec', imaju značajno veći udio ukupnih flavonoida u odnosu na komercijalne sorte poput 'Fuji', 'Idared' i 'Golden Delicious'.

Tablica 28 Udio ukupnih flavonoida (g/kg)^a u odabranim sortama jabuka tijekom skladištenja, 2023. godina

mjesec skladištenja	0	3	6
'Zelenika'	361,49 ± 5,92 ^d	679,14 ± 11,84 ^e	671,71 ± 6,20 ^g
'Bobovec'	460,31 ± 12,96 ^g	850,12 ± 12,45 ^g	782,88 ± 10,64 ⁱ
'Kanadska Reneta'	387,37 ± 21,35 ^e	679,92 ± 8,91 ^e	739,94 ± 4,67 ^h
'Božićnica'	316,78 ± 9,51 ^c	732,47 ± 0,00 ^f	660,53 ± 29,16 ^g
'Winter Banana'	434,43 ± 9,51 ^f	503,45 ± 5,43 ^d	620,53 ± 7,13 ^f
'Jonagold'	287,76 ± 22,45 ^b	461,88 ± 8,48 ^b	572,88 ± 10,34 ^e
'Idared'	268,16 ± 14,18 ^b	465,02 ± 9,51 ^b	502,29 ± 8,15 ^b
'Golden Delicious'	286,98 ± 13,38 ^b	480,71 ± 7,06 ^c	578,76 ± 13,71 ^e
'Fuji'	233,65 ± 10,78 ^a	437,57 ± 10,61 ^a	473,47 ± 9,83 ^a
'Granny Smith'	274,43 ± 17,82 ^b	471,29 ± 4,08 ^{b,c}	617,00 ± 8,88 ^f

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite (p < 0,05) ANOVA, Fisher's LSD.

4.13. Polifenolni profil odabranih sorti jabuka

Tradicionalne sorte jabuka, u odnosu na komercijalne sorte, bogatije su pojedinačnim polifenolnim spojevima, kao što su procijanidin B1, B2 i A2 (Jakobek *i sur.*, 2013). Na udio polifenola prisutnih u jabukama utječe niz čimbenika, uključujući količinu oborina i udio vode u sezoni berbe, stupanj zrelosti ploda, geografski položaj te drugi okolišni uvjeti. Udio procijanidina smanjuje se tijekom procesa sazrijevanja (Shoji *i sur.* 2021.). Nadalje, jabuke s crvenom korom sadrže veći udio klorogenske kiseline, antocijanina, dihidrohalkona i organskih kiselina, ali niži udio flavan-3-ola u odnosu na ostale sorte jabuka (Bars-Cortina *i sur.* 2017.). Udio procijanidina pozitivno korelira s antioksidativnom aktivnošću. Navedeno potvrđuje i istraživanje Starowicz *i sur.* (2020), u kojem je utvrđena veća antioksidacijska aktivnost procijanidina u usporedbi s katehinom i epikatehinom. Prema istraživanjima, procijanidini su povezani s brojnim pozitivnim učincima na ljudsko zdravlje, uključujući prevenciju kardiovaskularnih bolesti, dijabetesa tipa II, demencije i raka (Choi *i sur.* 2012.; Shoji *i sur.* 2017.; 2021.). Dosadašnja istraživanja pokazala su da skladištenje jabuka uzrokuje može uzrokovati porast ili tek minimalne promjene u udjelu polifenola (Butkeviciute *i sur.*, 2022). U **Tablicama 29-31** prikazani su rezultati udjela procijanidina A2, B1 i B2 u odabranim sortama jabuka tijekom skladištenja. Tijekom 2021. godine, najveći udio procijanidina A2 neposredno nakon berbe i nakon tri mjeseca skladištenja zabilježen je kod sorte 'Kanadska Reneta' ($41,30 \pm 9,51$; $50,40 \pm 5,23$ $\mu\text{g/g}$), dok je nakon šest mjeseci skladištenja najveći udio procijanidina A2 utvrđeno kod sorte 'Zelenika' ($18,60 \pm 0,64$ $\mu\text{g/g}$). Suprotno tome, najniži udio procijanidina A2 nakon berbe i tijekom skladištenja zabilježen je kod komercijalne sorte 'Golden Delicious'. Najveći udio procijanidina B1 neposredno nakon berbe i nakon tri mjeseca skladištenja utvrđen je kod sorte 'Kanadska Reneta' ($563,22 \pm 12,67$; $648,88 \pm 7,46$ $\mu\text{g/g}$), dok je nakon šest mjeseci skladištenja najveći udio zabilježen kod sorte 'Granny Smith' ($676,37 \pm 19,43$ $\mu\text{g/g}$). Procijanidin B1 je bio ispod granice detekcije kod sorti 'Zelenika', 'Winter Banana', 'Idared', 'Golden Delicious' i 'Fuji'. Najveći udio procijanidina B2 neposredno nakon berbe i nakon šest mjeseci skladištenja utvrđen je kod sorte 'Bobovec', dok je najniži udio procijanidina B2 tijekom skladištenja zabilježen kod sorte 'Idared'. Dobiveni rezultati upućuju na trend porasta udjela procijanidina nakon tri mjeseca skladištenja, uz pad nakon šest mjeseci. Nadalje, udio procijanidina bio je statistički značajno veći u tradicionalnim sortama u usporedbi s komercijalnim.

Tablica 29 Udio procijanidina A2, B1 i B2 ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon berbe, 2021. godina

<i>Nakon berbe</i>	<i>Procijanidin A2</i>	<i>Procijanidin B1</i>	<i>Procijanidin B2</i>
'Zelenika'	9,11 $\pm$ 0,74 ^h	<LOD	776,57 $\pm$ 32,01 ^b
'Bobovec'	6,64 $\pm$ 0,46 ^g	128,70 $\pm$ 10,78 ^a	2687,72 $\pm$ 46,61 ⁱ
'Kanadska Reneta'	41,30 $\pm$ 9,51 ⁱ	563,22 $\pm$ 12,67 ^d	2590,49 $\pm$ 114,90 ^h
'Božićnica'	4,31 $\pm$ 1,21 ^f	224,98 $\pm$ 82,79 ^c	2307,91 $\pm$ 79,96 ^g
'Winter Banana'	1,38 $\pm$ 0,05 ^e	<LOD	1306,58 $\pm$ 48,22 ^c
'Jonagold'	1,08 $\pm$ 0,04 ^c	162,75 $\pm$ 21,75 ^b	768,72 $\pm$ 4,20 ^b
'Idared'	0,85 $\pm$ 0,43 ^b	<LOD	527,44 $\pm$ 15,98 ^a
'Golden Delicious'	0,75 $\pm$ 0,05 ^a	<LOD	828,66 $\pm$ 6,43 ^c
'Fuji'	0,88 $\pm$ 0,08 ^b	<LOD	976,11 $\pm$ 6,46 ^d
'Granny Smith'	1,28 $\pm$ 0,05 ^d	195,46 $\pm$ 11,15 ^b	1470,84 $\pm$ 6,83 ^f

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 30 Udio procijanidina A2, B1 i B2 ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon tri mjeseca skladištenja, 2021. godina

<i>Nakon tri mjeseca</i>	<i>Procijanidin A2</i>	<i>Procijanidin B1</i>	<i>Procijanidin B2</i>
'Zelenika'	10,38 $\pm$ 0,47 ^f	<LOD	1445,47 $\pm$ 4,74 ^c
'Bobovec'	12,01 $\pm$ 2,24 ^g	79,78 $\pm$ 4,95 ^b	3409,56 $\pm$ 10,62 ⁱ
'Kanadska Reneta'	50,40 $\pm$ 5,23 ^h	648,88 $\pm$ 7,46 ^e	1957,22 $\pm$ 24,70 ^g
'Božićnica'	7,25 $\pm$ 0,88 ^d	71,98 $\pm$ 9,08 ^a	2821,29 $\pm$ 14,36 ^h
'Winter Banana'	2,14 $\pm$ 0,06 ^c	<LOD	1519,36 $\pm$ 2,76 ^f
'Jonagold'	2,27 $\pm$ 0,59 ^c	221,54 $\pm$ 1,41 ^c	1596,95 $\pm$ 29,43 ^d
'Idared'	1,15 $\pm$ 0,36 ^b	<LOD	921,68 $\pm$ 10,75 ^a
'Golden Delicious'	0,63 $\pm$ 0,02 ^a	<LOD	1445,47 $\pm$ 4,74 ^c
'Fuji'	2,06 $\pm$ 0,38 ^c	<LOD	1403,48 $\pm$ 5,07 ^b
'Granny Smith'	9,62 $\pm$ 1,04 ^e	273,33 $\pm$ 20,52 ^d	1710,71 $\pm$ 5,33 ^e

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 31 Udio procijanidina A2, B1 i B2 ($\mu\text{g/g}$)a u odabranim sortama jabuka nakon šest mjeseci skladištenja, 2021. godina

<i>Nakon šest mjeseci</i>	<i>Procijanidin A2</i>	<i>Procijanidin B1</i>	<i>Procijanidin B2</i>
<i>'Zelenika'</i>	$18,60 \pm 0,64^i$	<LOD	$969,06 \pm 18,02^c$
<i>'Bobovec'</i>	$10,46 \pm 3,97^h$	$186,32 \pm 19,93^d$	$2989,49 \pm 11,72^i$
<i>'Kanadska Reneta'</i>	$13,09 \pm 7,32^i$	$109,39 \pm 22,97^a$	$2571,75 \pm 20,13^g$
<i>'Božićnica'</i>	$4,56 \pm 2,67^g$	$128,68 \pm 27,39^b$	$2694,63 \pm 11,40^h$
<i>'Winter Banana'</i>	$3,08 \pm 0,10^e$	<LOD	$1612,11 \pm 25,12^f$
<i>'Jonagold'</i>	$3,36 \pm 0,07^f$	$156,32 \pm 28,26^c$	$1207,07 \pm 11,70^e$
<i>'Idared'</i>	$1,54 \pm 0,11^c$	<LOD	$709,98 \pm 4,25^a$
<i>'Golden Delicious'</i>	$0,51 \pm 0,04^a$	<LOD	$874,30 \pm 5,40^b$
<i>'Fuji'</i>	$0,99 \pm 0,04^b$	<LOD	$1178,23 \pm 15,41^d$
<i>'Granny Smith'</i>	$7,77 \pm 1,74^d$	$676,37 \pm 19,43^e$	$1621,35 \pm 10,59^f$

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Udio procijanidina A2, B1 i B2 u odabranim sortama jabuka tijekom skladištenja određen je i tijekom 2022. godine (**Tablica 32-35**). Najveći udio procijanidina A2 neposredno nakon berbe utvrđen je kod sorte 'Bobovec' ($5,89 \pm 1,3 \mu\text{g/g}$), dok je nakon tri i šest mjeseci skladištenja najveći udio zabilježen kod sorte 'Kanadska Reneta' ($18,06 \pm 3,77$; $66,03 \pm 9,57 \mu\text{g/g}$). Suprotno tome, najniži udio procijanidina A2 nakon berbe i nakon tri mjeseca skladištenja utvrđen je kod sorte 'Golden Delicious' ($0,34 \pm 0,00$; $0,49 \pm 0,04 \mu\text{g/g}$), dok je nakon šest mjeseci najniži udio zabilježen kod sorte 'Granny Smith' ($0,42 \pm 0,01 \mu\text{g/g}$). Najveći udio procijanidina B1 neposredno nakon berbe i nakon tri mjeseca skladištenja utvrđeno je kod sorte 'Božićnica' ($574,63 \pm 14,48$; $689,73 \pm 53,31 \mu\text{g/g}$), dok je nakon šest mjeseci skladištenja najveći udio utvrđen kod sorte 'Zelenika' ($356,74 \pm 14,21 \mu\text{g/g}$). Najniži udio procijanidina B1 nakon berbe i nakon tri mjeseca skladištenja utvrđen je kod sorte 'Golden Delicious' ($68,42 \pm 1,94$; $69,44 \pm 1,63 \mu\text{g/g}$), dok je nakon šest mjeseci skladištenja najniži udio zabilježen kod sorte 'Bobovec' ($19,10 \pm 2,14 \mu\text{g/g}$). Najveći udio procijanidina B2 nakon berbe utvrđen je kod sorte 'Bobovec' ($1484,70 \pm 6,74 \mu\text{g/g}$), nakon tri mjeseca skladištenja kod sorte 'Kanadska

Reneta' ($1887,41 \pm 12,76 \mu\text{g/g}$), dok je nakon šest mjeseci skladištenja najveći udio zabilježen kod sorte 'Božićnica' ($2032,25 \pm 28,53 \mu\text{g/g}$). Najniži udio procijanidina B2 nakon berbe utvrđeno je kod sorte 'Jonagold' ($496,39 \pm 0,65 \mu\text{g/g}$), nakon tri mjeseca skladištenja kod sorte 'Golden Delicious' ($463,12 \pm 6,29 \mu\text{g/g}$), dok je nakon šest mjeseci skladištenja najniži udio zabilježen kod sorte 'Granny Smith' ($0,11 \pm 0,02 \mu\text{g/g}$). Dobiveni rezultati upućuju na isti trend kao i 2020. godine gdje dolazi do porasta udjela procijanidina tijekom trećeg mjeseca skladištenja, uz pad udjela nakon šest mjeseci. Udio procijanidina bio je statistički značajno veći u tradicionalnim sortama u usporedbi s komercijalnim. Tradicionalne sorte, poput 'Bobovec', 'Kanadska Reneta' i 'Božićnica', sadržavale su značajno veći udio procijanidina u odnosu na komercijalne sorte 'Golden Delicious' i 'Granny Smith'. Dobiveni rezultati u skladu su s istraživanjem Lv (2016), koji su utvrdili da se nakon četiri mjeseca skladištenja udio procijanidina B2 u jabukama sorti 'Amorosa' i 'Santana' povećao s $264,2 \mu\text{g/g}$ na $277,8 \mu\text{g/g}$, odnosno sa $166,3 \mu\text{g/g}$ na $203,7 \mu\text{g/g}$. Nadalje, prema istraživanju Butkeviciute *i sur.* (2022), udio procijanidina B1 u sorti 'Connell Red' porastao je nakon skladištenja s $69,8 \mu\text{g/g}$ na $519 \mu\text{g/g}$.

Tablica 32 Udio procijanidina A2, B1 i B2 ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon berbe, 2022. godina

<i>Nakon berbe</i>	<i>Procijanidin A2</i>	<i>Procijanidin B1</i>	<i>Procijanidin B2</i>
'Zelenika'	$0,79 \pm 0,02^d$	$426,34 \pm 1,89^i$	$1151,47 \pm 4,72^f$
'Bobovec'	$5,89 \pm 1,3^g$	$320,81 \pm 7,43^h$	$1484,70 \pm 6,74^h$
'Kanadska Reneta'	$1,02 \pm 0,06^f$	$258,59 \pm 56,70^f$	$1229,57 \pm 76,69^g$
'Božićnica'	$0,64 \pm 0,02^c$	$574,63 \pm 14,48^j$	$1458,90 \pm 39,40^i$
'Winter Banana'	$0,50 \pm 0,02^b$	$234,67 \pm 19,30^e$	$577,71 \pm 0,90^c$
'Jonagold'	$0,59 \pm 0,02^{b,c}$	$84,82 \pm 0,82^b$	$496,39 \pm 0,65^a$
'Idared'	$0,76 \pm 0,02^d$	$142,05 \pm 0,47^d$	$574,97 \pm 1,94^c$
'Golden Delicious'	$0,34 \pm 0,00^a$	$68,42 \pm 1,94^a$	$643,99 \pm 15,73^d$
'Fuji'	$0,54 \pm 0,04^b$	$93,69 \pm 1,31^c$	$529,45 \pm 7,89^b$
'Granny Smith'	$0,98 \pm 0,06^e$	$285,62 \pm 36,81^g$	$775,04 \pm 10,58^e$

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 33 Udio procijanidina A2, B1 i B2 ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon tri mjeseca skladištenja, 2022. godina

<i>Nakon tri mjeseca</i>	<i>Procijanidin A2</i>	<i>Procijanidin B1</i>	<i>Procijanidin B2</i>
<i>'Zelenika'</i>	0,95 $\pm$ 0,03 ^c	571,81 $\pm$ 44,30 ⁱ	1145,66 $\pm$ 14,73 ^g
<i>'Bobovec'</i>	6,53 $\pm$ 0,59 ^h	307,71 $\pm$ 1,94 ^g	1871,04 $\pm$ 9,57 ⁱ
<i>'Kanadska Reneta'</i>	18,06 $\pm$ 3,77 ⁱ	197,62 $\pm$ 33,68 ^f	1887,41 $\pm$ 12,76 ^j
<i>'Božićnica'</i>	0,80 $\pm$ 0,03 ^b	689,73 $\pm$ 53,31 ^j	1597,42 $\pm$ 6,16 ^h
<i>'Winter Banana'</i>	3,43 $\pm$ 0,00 ^g	169,60 $\pm$ 6,98 ^c	551,15 $\pm$ 15,57 ^b
<i>'Jonagold'</i>	2,18 $\pm$ 0,09 ^f	148,11 $\pm$ 3,36 ^d	707,70 $\pm$ 3,62 ^e
<i>'Idared'</i>	0,82 $\pm$ 0,02 ^b	136,71 $\pm$ 3,52 ^c	686,25 $\pm$ 4,07 ^d
<i>'Golden Delicious'</i>	0,49 $\pm$ 0,04 ^a	69,44 $\pm$ 1,63 ^a	463,12 $\pm$ 6,29 ^a
<i>'Fuji'</i>	1,29 $\pm$ 0,03 ^d	95,00 $\pm$ 7,57 ^b	560,29 $\pm$ 17,11 ^c
<i>'Granny Smith'</i>	1,84 $\pm$ 0,08 ^c	443,82 $\pm$ 16,81 ^h	729,88 $\pm$ 3,19 ^f

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-j) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 34 Udio procijanidina A2, B1 i B2 ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon šest mjeseci skladištenja, 2022. godina

<i>Nakon šest mjeseci</i>	<i>Procijanidin A2</i>	<i>Procijanidin B1</i>	<i>Procijanidin B2</i>
<i>'Zelenika'</i>	1,58 $\pm$ 0,10 ^d	356,74 $\pm$ 14,21 ^h	1107,90 $\pm$ 66,08 ^f
<i>'Bobovec'</i>	1,94 $\pm$ 0,13 ^f	19,10 $\pm$ 2,14 ^a	1451,09 $\pm$ 30,58 ^g
<i>'Kanadska Reneta'</i>	66,03 $\pm$ 9,57 ⁱ	238,98 $\pm$ 6,85 ^f	1069,05 $\pm$ 24,12 ^e
<i>'Božićnica'</i>	1,89 $\pm$ 0,04 ^{e,f}	256,36 $\pm$ 19,34 ^g	2032,25 $\pm$ 28,53 ^h
<i>'Winter Banana'</i>	0,60 $\pm$ 0,02 ^b	170,19 $\pm$ 10,49 ^c	506,36 $\pm$ 5,86 ^c
<i>'Jonagold'</i>	4,71 $\pm$ 0,71 ^g	119,60 $\pm$ 1,85 ^d	383,85 $\pm$ 5,76 ^b
<i>'Idared'</i>	1,87 $\pm$ 0,74 ^c	179,93 $\pm$ 3,19 ^f	515,18 $\pm$ 7,54 ^d
<i>'Golden Delicious'</i>	7,91 $\pm$ 0,09 ^h	111,02 $\pm$ 3,92 ^c	386,36 $\pm$ 1,46 ^b
<i>'Fuji'</i>	0,94 $\pm$ 0,02 ^c	78,94 $\pm$ 5,06 ^b	509,97 $\pm$ 10,19 ^{c,d}
<i>'Granny Smith'</i>	0,42 $\pm$ 0,01 ^a	19,80 $\pm$ 0,45 ^a	0,11 $\pm$ 0,02 ^a

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Sličan trend rasta, a potom i pada udjela procijanidina nakon šest mjeseci skladištenja, zabilježen je i tijekom 2023. godine (**Tablica 35-37**). Najveći udio procijanidina A2 nakon berbe utvrđen je kod sorte 'Božićnica' ($2,87 \pm 0,14 \mu\text{g/g}$), dok je nakon tri i šest mjeseci skladištenja najveći udio zabilježen kod sorte 'Bobovec' ($1,66 \pm 0,05$; $1,58 \pm 0,03 \mu\text{g/g}$). Suprotno tome, udio procijanidina A2 tijekom šest mjeseci skladištenja bio je ispod granice detekcije kod sorte 'Golden Delicious'. Najveći udio procijanidina B1 neposredno nakon berbe i nakon tri mjeseca skladištenja utvrđen je kod sorte 'Božićnica' ($1322,69 \pm 20,72$; $1693,61 \pm 17,43 \mu\text{g/g}$), dok je nakon šest mjeseci skladištenja najviši udio zabilježen kod sorte 'Bobovec' ($726,89 \pm 41,08 \mu\text{g/g}$). Najniži udio procijanidina B1 tijekom šest mjeseci skladištenja zabilježen je kod sorte 'Winter Banana'. Najveći udio procijanidina B2 neposredno nakon berbe i nakon šest mjeseci skladištenja utvrđen je kod sorte 'Bobovec'. Najniži udio procijanidina B2 nakon berbe utvrđen je kod sorte 'Idared' ($513,22 \pm 5,80 \mu\text{g/g}$), dok je nakon tri i nakon šest mjeseci skladištenja najniži udio zabilježen kod sorte 'Fuji' ($543,34 \pm 1,43$; $577,64 \pm 2,01 \mu\text{g/g}$).

Rezultati trogodišnjeg istraživanja potvrdili su statistički značajne razlike u udjelima procijanidina A2, B1 i B2 između tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka. Tradicionalne sorte jabuka pokazale su veći udio procijanidina u odnosu na komercijalne, osobito procijanidina B2. Prema ukupnim udjelima, najveći udio čini procijanidin B2, zatim B1, dok je procijanidin A2 zastupljen u najmanjoj količini.

Tablica 35 Udio procijanidina A2, B1 i B2 ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon berbe, 2023. godina

<i>Nakon berbe</i>	<i>Procijanidin A2</i>	<i>Procijanidin B1</i>	<i>Procijanidin B2</i>
'Zelenika'	0,24 ± 0,00 ^a	389,79 ± 6,06 ^e	1087,87 ± 1,86 ^h
'Bobovec'	0,81 ± 0,05 ^d	354,17 ± 2,75 ^c	1504,40 ± 3,46 ⁱ
'Kanadska Reneta'	0,97 ± 0,03 ^e	565,38 ± 24,10 ^f	1023,94 ± 5,33 ^g
'Božićnica'	2,87 ± 0,14 ^f	1322,69 ± 20,72 ^h	965,96 ± 4,02 ^e
'Winter Banana'	0,75 ± 0,01 ^c	233,42 ± 41,42 ^a	1000,50 ± 0,45 ^f
'Jonagold'	0,86 ± 0,01 ^d	370,06 ± 2,24 ^d	673,91 ± 4,84 ^d
'Idared'	<LOD	294,61 ± 13,49 ^b	513,22 ± 5,80 ^a
'Golden Delicious'	<LOD	356,61 ± 4,92 ^c	614,95 ± 1,00 ^b
'Fuji'	0,82 ± 0,05 ^d	382,72 ± 54,46 ^e	641,89 ± 1,45 ^c
'Granny Smith'	0,68 ± 0,08 ^b	640,26 ± 19,47 ^g	678,07 ± 1,56 ^d

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 36 Udio procijanidina A2, B1 i B2 ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon tri mjeseca skladištenja, 2023. godina

<i>Nakon tri mjeseca</i>	<i>Procijanidin A2</i>	<i>Procijanidin B1</i>	<i>Procijanidin B2</i>
'Zelenika'	<LOD	119,347 ± 6,73 ^b	1284,49 ± 2,78 ^g
'Bobovec'	1,66 ± 0,05 ^e	430,08 ± 2,01 ⁱ	1699,39 ± 5,21 ^h
'Kanadska Reneta'	0,54 ± 0,04 ^a	386,37 ± 47,62 ^g	997,63 ± 4,05 ^e
'Božićnica'	1,04 ± 0,05 ^d	1693,61 ± 17,43 ^j	1145,24 ± 6,47 ^f
'Winter Banana'	0,95 ± 0,01 ^c	27,32 ± 4,48 ^a	675,57 ± 1,80 ^c
'Jonagold'	4,75 ± 0,14 ^f	161,50 ± 8,86 ^d	649,32 ± 2,47 ^b
'Idared'	0,68 ± 0,01 ^b	146,68 ± 11,86 ^c	733,62 ± 31,60 ^d
'Golden Delicious'	<LOD	227,49 ± 3,80 ^e	738,98 ± 1,72 ^d
'Fuji'	0,96 ± 0,09 ^c	402,36 ± 5,74 ^h	543,34 ± 1,43 ^a
'Granny Smith'	0,57 ± 0,17 ^a	297,81 ± 37,09 ^f	642,71 ± 1,74 ^b

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-j) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 37 Udio procijanidina A2, B1 i B2 ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon šest mjeseci skladištenja, 2023. godina

<i>Nakon šest mjeseci</i>	<i>Procijanidin A2</i>	<i>Procijanidin B1</i>	<i>Procijanidin B2</i>
'Zelenika'	<LOD	$55,51 \pm 4,73^b$	$980,98 \pm 5,00^f$
'Bobovec'	$1,58 \pm 0,03^h$	$726,89 \pm 41,08^j$	$1504,13 \pm 9,67^i$
'Kanadska Reneta'	$1,28 \pm 0,02^e$	$335,45 \pm 13,17^g$	$1025,88 \pm 4,17^g$
'Božićnica'	$0,59 \pm 0,01^b$	$398,19 \pm 52,03^h$	$1040,52 \pm 10,61^h$
'Winter Banana'	$0,36 \pm 0,03^a$	$32,24 \pm 3,18^a$	$790,51 \pm 5,01^e$
'Jonagold'	$1,34 \pm 0,01^f$	$103,83 \pm 17,16^c$	$842,89 \pm 2,00^{c,d}$
'Idared'	$1,18 \pm 0,06^d$	$137,45 \pm 19,00^d$	$824,06 \pm 3,74^b$
'Golden Delicious'	<LOD	$201,64 \pm 21,64^f$	$836,77 \pm 5,84^{b,c}$
'Fuji'	$1,17 \pm 0,22^d$	$400,82 \pm 5,86^i$	$577,64 \pm 2,01^a$
'Granny Smith'	$0,90 \pm 0,02^c$	$170,26 \pm 29,19^e$	$855,32 \pm 8,92^d$

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-j) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Procijanidin B1, katehin i epikatehin glavni su spojevi prisutni u jabukama koji doprinose smanjenju razine kolesterola. Istraživanja provedena na životinjama i ljudima pokazala su da konzumacija jabuka značajno smanjuje koncentracije kolesterola u plazmi, LDL kolesterola te triglicerida (Serra i sur. 2012.). Gacnik *i sur.* (2021), utvrdili su da flavan-3-oli u uzorcima jabuka čine i do 67 % ukupne količine fenolnih spojeva. Tijekom 2021. godine najveći udio epigalokatehina, katehina i floridzina nakon berbe i tijekom skladištenja zabilježen je kod sorte 'Kanadska Reneta', dok je najveći udio epikatehina nakon berbe i tijekom skladištenja utvrđen kod sorte 'Bobovec' (**Tablica 38-40**). Suprotno tome, najniži udio epigalokatehina nakon berbe i tijekom skladištenja utvrđen je kod sorte 'Jonagold'. Najniži udio katehina neposredno nakon berbe zabilježen je kod sorte 'Idared' ($12,65 \pm 0,25 \mu\text{g/g}$), dok je nakon tri, odnosno šest mjeseci skladištenja najniži udio utvrđen kod sorte 'Golden Delicious' ($16,40 \pm 0,39$; $9,25 \pm 0,12 \mu\text{g/g}$). Najniži udio epikatehina i floridzina, kako nakon berbe tako i nakon šest mjeseci skladištenja utvrđen je kod sorte 'Idared'. Tijekom šest mjeseci skladištenja, udio flavanola i dihidrohalkona, kao i udio procijanidina, povećavao se do trećeg mjeseca, nakon čega je došlo

do njegova smanjenja. Dobiveni rezultati u skladu su s istraživanjem Butkeviciute *i sur.* (2022), koji su utvrdili da se udio katehina i epikatehina povećao nakon četiri mjeseca skladištenja. Udio katehina i epikatehina prije skladištenja bio je od 14,5 do 240,9 µg/g, odnosno od 95,4 do 314,9 µg/g. Nakon četiri mjeseca skladištenja, najveći porast udjela katehina zabilježen je kod sorte 'Ligol' (s 14,5 na 105,7 µg/g), dok je najveći porast epikatehina utvrđen kod sorte 'Rubin' (s 99,9 na 369,4 µg/g). S druge strane, van der Sluis *i sur.* (2001), utvrdili su da se udio katehina i epikatehina nakon 46 tjedana skladištenja u uvjetima kontrolirane atmosfere smanjio za 18 do 40 %. Udio flavanola i dihidrohalkona bio je statistički značajno veći u tradicionalnim sortama jabuka u usporedbi s komercijalnim. Kao i kod procijanidina, tijekom prva tri mjeseca skladištenja zabilježen je značajan porasta udjela flavanola i dihidrohalkona, dok je tijekom sljedeća tri mjeseca došlo do pada njihovih vrijednosti. Takav trend porasta, a zatim smanjenja tijekom šestomjesečnog razdoblja skladištenja, uočen je kod većine analiziranih sorti. S druge strane, kod pojedinih sorti, poput 'Božićnice', zabilježeno je smanjenje udjela flavanola i dihidrohalkona već tijekom prva tri mjeseca skladištenja.

Tablica 38 Udio flavanola i dihidrohalkona (µg/g)^a u odabranim sortama jabuka nakon berbe, 2021. godina

Nakon berbe	epigalokatehin	katehin	floridzin	epikatehin
'Zelenika'	18,54 ± 4,03 ^c	62,11 ± 0,50 ^c	142,17 ± 4,41 ^e	290,22 ± 7,80 ^c
'Bobovec'	379,13 ± 19,93 ^f	126,09 ± 4,17 ^g	147,50 ± 2,69 ^f	972,55 ± 19,92 ⁱ
'Kanadska Reneta'	1186,69 ± 97,34 ^h	206,86 ± 8,59 ⁱ	580,41 ± 97,44 ^h	791,70 ± 29,20 ^h
'Božićnica'	495,92 ± 38,64 ^g	151,06 ± 11,49 ^h	370,54 ± 2,85 ^g	775,56 ± 26,42 ^g
'Winter Banana'	18,24 ± 3,94 ^c	42,58 ± 0,38 ^c	126,84 ± 3,45 ^d	440,80 ± 13,94 ^c
'Jonagold'	8,01 ± 0,19 ^a	50,19 ± 0,57 ^d	145,49 ± 2,34 ^{e,f}	248,10 ± 4,03 ^b
'Idared'	12,69 ± 2,72 ^b	12,65 ± 0,25 ^a	65,93 ± 1,69 ^a	161,92 ± 4,76 ^a
'Golden Delicious'	18,42 ± 4,08 ^c	14,20 ± 0,43 ^a	126,76 ± 0,39 ^d	253,93 ± 1,66 ^b
'Fuji'	45,95 ± 1,36 ^d	33,15 ± 0,77 ^b	109,79 ± 0,90 ^c	334,51 ± 5,04 ^d
'Granny Smith'	76,12 ± 2,55 ^e	93,81 ± 0,71 ^f	81,44 ± 0,61 ^b	522,75 ± 4,48 ^f

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite (p < 0,05) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 39 Udio flavanola i dihidrohalkona ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon tri mjeseca skladištenja, 2021. godina

<i>Nakon tri mjeseca</i>	<i>epigalokatehin</i>	<i>katehin</i>	<i>floridzin</i>	<i>epikatehin</i>
<i>'Zelenika'</i>	45,40 $\pm$ 0,62 ^d	94,78 $\pm$ 0,63 ^d	290,72 $\pm$ 0,29 ^g	533,66 $\pm$ 2,02 ^e
<i>'Bobovec'</i>	97,82 $\pm$ 5,54 ^f	146,26 $\pm$ 0,21 ^f	171,47 $\pm$ 0,80 ^d	1233,02 $\pm$ 8,70 ⁱ
<i>'Kanadska Reneta'</i>	1206,47 $\pm$ 91,43 ⁱ	183,29 $\pm$ 9,48 ^g	474,15 $\pm$ 2,53 ⁱ	644,83 $\pm$ 11,27 ^g
<i>'Božićnica'</i>	143,79 $\pm$ 13,65 ^h	147,33 $\pm$ 1,37 ^f	457,86 $\pm$ 1,34 ^h	955,11 $\pm$ 6,51 ^h
<i>'Winter Banana'</i>	27,14 $\pm$ 1,12 ^e	41,50 $\pm$ 0,51 ^b	198,22 $\pm$ 0,98 ^f	539,31 $\pm$ 2,73 ^e
<i>'Jonagold'</i>	7,96 $\pm$ 0,75 ^a	68,39 $\pm$ 0,37 ^c	126,92 $\pm$ 1,26 ^c	385,23 $\pm$ 9,70 ^c
<i>'Idared'</i>	40,87 $\pm$ 7,12 ^d	16,72 $\pm$ 0,65 ^a	83,90 $\pm$ 0,05 ^a	281,90 $\pm$ 2,03 ^a
<i>'Golden Delicious'</i>	17,12 $\pm$ 6,06 ^b	16,40 $\pm$ 0,39 ^a	180,63 $\pm$ 1,03 ^c	330,54 $\pm$ 0,17 ^b
<i>'Fuji'</i>	70,28 $\pm$ 1,69 ^c	41,66 $\pm$ 0,59 ^b	182,69 $\pm$ 0,22 ^c	491,77 $\pm$ 0,25 ^d
<i>'Granny Smith'</i>	130,16 $\pm$ 3,61 ^g	117,92 $\pm$ 0,51 ^c	115,73 $\pm$ 0,30 ^b	655,08 $\pm$ 1,05 ^f

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 40 Udio flavanola i dihidrohalkona ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon šest mjeseci skladištenja, 2021. godina

<i>Nakon šest mjeseci</i>	<i>epigalokatehin</i>	<i>katehin</i>	<i>floridzin</i>	<i>epikatehin</i>
<i>'Zelenika'</i>	35,41 $\pm$ 1,87 ^b	53,13 $\pm$ 1,09 ^c	180,68 $\pm$ 1,77 ^c	350,39 $\pm$ 12,48 ^c
<i>'Bobovec'</i>	164,42 $\pm$ 3,78 ^f	134,55 $\pm$ 3,37 ^c	137,55 $\pm$ 1,11 ^c	1077,84 $\pm$ 7,87 ⁱ
<i>'Kanadska Reneta'</i>	524,13 $\pm$ 41,9 ^g	99,25 $\pm$ 8,33 ^c	465,31 $\pm$ 4,18 ^h	771,92 $\pm$ 6,93 ^h
<i>'Božićnica'</i>	129,01 $\pm$ 5,28 ^d	160,88 $\pm$ 1,72 ^f	351,99 $\pm$ 4,82 ^g	720,29 $\pm$ 16,89 ^g
<i>'Winter Banana'</i>	140,43 $\pm$ 2,46 ^c	36,93 $\pm$ 0,84 ^b	180,09 $\pm$ 2,06 ^c	486,27 $\pm$ 9,82 ^e
<i>'Jonagold'</i>	5,69 $\pm$ 0,15 ^a	101,40 $\pm$ 2,12 ^c	216,41 $\pm$ 0,39 ^f	305,46 $\pm$ 1,45 ^b
<i>'Idared'</i>	32,50 $\pm$ 2,15 ^b	13,45 $\pm$ 0,50 ^a	74,20 $\pm$ 2,25 ^a	211,10 $\pm$ 4,39 ^a
<i>'Golden Delicious'</i>	31,39 $\pm$ 1,29 ^b	9,25 $\pm$ 0,12 ^a	90,05 $\pm$ 0,45 ^b	221,61 $\pm$ 0,87 ^a
<i>'Fuji'</i>	79,47 $\pm$ 1,54 ^c	36,48 $\pm$ 0,19 ^b	165,98 $\pm$ 0,92 ^d	447,38 $\pm$ 7,09 ^d
<i>'Granny Smith'</i>	153,26 $\pm$ 11,52 ^f	85,14 $\pm$ 0,49 ^d	92,04 $\pm$ 1,93 ^b	595,98 $\pm$ 9,19 ^f

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tijekom 2022. godine u većini analiziranih sorti jabuka zabilježeno je smanjenje udjela flavanola i dihidrohalkona tijekom šestomjesečnog skladištenja (**Tablica 41-43**). Dosadašnja istraživanja potvrdila su da na udio polifenola u jabukama najveći utjecaj ima sorta, dok ostali čimbenici, kao što su vremenski uvjeti, podloga i uzgojna praksa, također imaju određeni utjecaj, ali ne u jednakoj mjeri (Commisso i sur. 2021.; Laužiké i sur. 2021.; Karl i Peck 2022.). Prema Karl i Peck (2022), većina polifenola sintetizira se tijekom faze diobe stanica u plodu. Koncentracije enzima povezanih sa sintezom polifenola, kao što su fenilalanin amonijak-liaza, dihidroflavonol reduktaza i halkan-sintaza, najviše su u mladom voću. Visoke koncentracije navedenih enzima te dostupnost ugljikohidrata tijekom diobe stanica ploda odgovaraju razdobljima intenzivne sinteze polifenola u svježim plodovima jabuka.

Najveći udio epikatehina nakon berbe i tijekom skladištenja utvrđeno je kod sorte 'Božićnica', dok je najveći udio floridzina, kao i tijekom 2021. godine, zabilježen kod sorte 'Kanadska Reneta'. Suprotno tome, najniži udio floridzina nakon berbe i tijekom skladištenja utvrđen je kod sorte 'Granny Smith', dok je najniži udio epikatehina zabilježen kod sorte 'Winter Banana'. Najveći udio epigalokatehina neposredno nakon berbe utvrđen je kod sorte 'Zelenika', dok je nakon tri i šest mjeseci skladištenja najveći udio zabilježen kod sorte 'Kanadska Reneta'. Najveći udio katehina nakon berbe i nakon šest mjeseci skladištenja utvrđen je kod sorte 'Božićnica', dok je nakon tri mjeseca skladištenja najveći udio katehina zabilježen kod sorte 'Zelenika'. S druge strane, najniži udio epigalokatehina tijekom šest mjeseci skladištenja zabilježen je kod sorte 'Golden Delicious', dok je najniži udio katehina tijekom istog razdoblja utvrđen kod sorti 'Golden Delicious', 'Jonagold' i 'Granny Smith'. Usporedbom dobivenih rezultata s podacima iz 2021. godine može se zaključiti da udio flavanola i dihidrohalkona ne ovisi isključivo o sorti, već i o vremenski uvjetima tijekom uzgoja, uvjetima skladištenja te drugim čimbenicima. Udio katehina tijekom šestomjesečnog skladištenja uglavnom pokazuje tendenciju smanjenja, dok je kod epigalokatehin, floridzin i epikatehin zabilježen porast njihovih udjela.

Tablica 41 Udio flavanola i dihidrohalkona ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon berbe, 2022. godina

<i>Nakon bebre</i>	<i>epigalokatehin</i>	<i>katehin</i>	<i>floridzin</i>	<i>epikatehin</i>
<i>'Zelenika'</i>	154,80 $\pm$ 3,40 ^f	72,01 $\pm$ 0,33 ^e	90,31 $\pm$ 1,35 ^e	451,99 $\pm$ 2,54 ^g
<i>'Bobovec'</i>	103,08 $\pm$ 2,47 ^e	53,02 $\pm$ 0,98 ^d	78,05 $\pm$ 1,90 ^c	413,09 $\pm$ 5,54 ^f
<i>'Kanadska Reneta'</i>	93,47 $\pm$ 0,67 ^d	40,37 $\pm$ 0,52 ^c	279,42 $\pm$ 14,43 ^h	511,18 $\pm$ 28,73 ^h
<i>'Božićnica'</i>	94,86 $\pm$ 2,69 ^d	75,61 $\pm$ 0,51 ^e	212,74 $\pm$ 0,44 ^g	528,11 $\pm$ 1,65 ^h
<i>'Winter Banana'</i>	49,96 $\pm$ 7,38 ^d	12,37 $\pm$ 0,15 ^b	80,14 $\pm$ 0,31 ^d	103,81 $\pm$ 0,11 ^a
<i>'Jonagold'</i>	12,82 $\pm$ 0,85 ^a	13,60 $\pm$ 0,17 ^b	64,21 $\pm$ 0,05 ^b	134,61 $\pm$ 0,79 ^b
<i>'Idared'</i>	13,80 $\pm$ 1,54 ^a	39,77 $\pm$ 0,55 ^c	142,71 $\pm$ 0,40 ^f	139,93 $\pm$ 1,68 ^b
<i>'Golden Delicious'</i>	<LOD	6,44 $\pm$ 0,48 ^a	65,36 $\pm$ 0,14 ^b	172,06 $\pm$ 3,52 ^c
<i>'Fuji'</i>	23,34 $\pm$ 0,19 ^b	13,94 $\pm$ 0,36 ^b	65,94 $\pm$ 0,24 ^b	180,63 $\pm$ 1,25 ^d
<i>'Granny Smith'</i>	41,41 $\pm$ 0,37 ^c	55,92 $\pm$ 0,32 ^d	41,41 $\pm$ 0,32 ^a	252,29 $\pm$ 0,55 ^e

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 42 Udio flavanola i dihidrohalkona ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon tri mjeseca skladištenja, 2022. godina

<i>Nakon tri mjeseca</i>	<i>epigalokatehin</i>	<i>katehin</i>	<i>floridzin</i>	<i>epikatehin</i>
<i>'Zelenika'</i>	166,23 $\pm$ 10,80 ^e	97,69 $\pm$ 1,76 ^f	81,87 $\pm$ 0,71 ^c	519,39 $\pm$ 4,52 ^g
<i>'Bobovec'</i>	84,21 $\pm$ 12,28 ^c	44,37 $\pm$ 0,47 ^c	114,54 $\pm$ 0,36 ^d	678,32 $\pm$ 4,98 ⁱ
<i>'Kanadska Reneta'</i>	575,51 $\pm$ 61,19 ^f	82,58 $\pm$ 8,92 ^{e,f}	259,77 $\pm$ 7,96 ^h	588,50 $\pm$ 10,84 ^h
<i>'Božićnica'</i>	121,25 $\pm$ 2,58 ^d	75,27 $\pm$ 1,46 ^e	182,25 $\pm$ 7,75 ^g	598,90 $\pm$ 6,36 ^h
<i>'Winter Banana'</i>	77,45 $\pm$ 13,89 ^{b,c}	9,91 $\pm$ 1,79 ^{a,b}	68,07 $\pm$ 0,11 ^b	80,87 $\pm$ 0,48 ^a
<i>'Jonagold'</i>	<LOD	<LOD	80,17 $\pm$ 1,58 ^c	156,12 $\pm$ 0,76 ^c
<i>'Idared'</i>	<LOD	36,18 $\pm$ 1,16 ^c	153,18 $\pm$ 1,31 ^f	191,73 $\pm$ 0,77 ^d
<i>'Golden Delicious'</i>	<LOD	3,90 $\pm$ 0,36 ^a	68,75 $\pm$ 1,31 ^b	128,95 $\pm$ 1,55 ^b
<i>'Fuji'</i>	28,60 $\pm$ 3,11 ^a	11,38 $\pm$ 0,57 ^b	125,22 $\pm$ 0,55 ^c	223,59 $\pm$ 2,67 ^c
<i>'Granny Smith'</i>	71,32 $\pm$ 0,58 ^b	65,06 $\pm$ 0,42 ^d	49,00 $\pm$ 0,71 ^a	294,48 $\pm$ 2,22 ^f

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 43 Udio flavanola i dihidrohalkona ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon šest mjeseci skladištenja, 2022. godina

Nakon šest mjeseci	epigalokatehin	katehin	floridzin	epikatehin
'Zelenika'	24,68 ± 1,70 ^a	45,64 ± 1,79 ^{c,d}	46,50 ± 2,29 ^{b,c}	448,94 ± 23,87 ^h
'Bobovec'	453,75 ± 25,95 ^e	43,30 ± 3,49 ^c	71,50 ± 1,67 ^d	392,83 ± 8,03 ^g
'Kanadska Reneta'	571,76 ± 21,01 ^f	52,18 ± 2,24 ^d	247,92 ± 3,01 ^g	355,15 ± 9,80 ^f
'Božićnica'	176,86 ± 9,82 ^d	80,37 ± 1,90 ^e	233,90 ± 0,39 ^f	761,53 ± 37,56 ⁱ
'Winter Banana'	21,24 ± 2,10 ^a	7,10 ± 0,18 ^a	40,83 ± 0,28 ^b	157,85 ± 1,34 ^b
'Jonagold'	28,68 ± 2,70 ^{a,b}	2,51 ± 0,15 ^a	47,28 ± 0,13 ^{b,c}	178,47 ± 8,43 ^c
'Idared'	<LOD	16,58 ± 0,10 ^b	91,88 ± 0,67 ^e	254,79 ± 2,46 ^e
'Golden Delicious'	<LOD	2,79 ± 0,08 ^a	45,91 ± 0,26 ^b	165,09 ± 1,13 ^b
'Fuji'	35,79 ± 9,46 ^b	8,18 ± 0,15 ^a	53,65 ± 0,39 ^c	196,31 ± 7,25 ^d
'Granny Smith'	112,60 ± 0,53 ^c	1,54 ± 0,00 ^a	0,10 ± 0,00 ^a	23,30 ± 0,20 ^a

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tijekom 2023. godine, tendenciju smanjenja tijekom šestomjesečnog razdoblja skladištenja kod analiziranih sorti jabuka pokazivao je floridzin (**Tablica 44-46**). Najveći udio epigalokatehina i epikatehina tijekom skladištenja zabilježeno je u sorti 'Bobovec', dok je najniži udio utvrđen kod sorte 'Jonagold'. Najveći udio floridzina, kao i tijekom 2021. i 2022. godine, utvrđen je kod sorte 'Kanadska Reneta', dok je najniži udio neposredno nakon berbe zabilježen kod sorte 'Idared', a nakon tri i šest mjeseci skladištenja kod sorte 'Granny Smith'. Najveći udio katehina tijekom skladištenja, kao i tijekom 2021. godine, utvrđen je kod sorte 'Božićnica'. S druge strane, najniži udio katehina neposredno nakon berbe utvrđen je kod sorte 'Idared', dok je nakon tri i nakon šest mjeseci najniži udio zabilježen kod sorte 'Golden Delicious'. Tijekom trogodišnjeg istraživanja uočeno je da udio flavanola i dihidrohalkona ovisi ne samo o sorti, nego i drugim čimbenicima. Najveći udjeli flavanola i dihidrohalkona zabilježeni su kod tradicionalnih sorti jabuka, kao što su 'Kanadska Reneta', 'Božićnica' i 'Bobovec', u usporedbi s komercijalnim sortama.

Tablica 44 Udio flavanola i dihidrohalkona ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon berbe, 2023. godina

Nakon berbe	epigalokatehin	katehin	floridzin	epikatehin
‘Zelenika’	244,89 ± 6,54 ^c	38,96 ± 0,41 ^d	126,45 ± 0,12 ^f	273,38 ± 19,63 ^g
‘Bobovec’	698,80 ± 11,64 ^h	39,53 ± 0,91 ^d	123,12 ± 0,20 ^f	315,25 ± 9,09 ^h
‘Kanadska Reneta’	520,50 ± 13,60 ^f	25,27 ± 0,77 ^c	366,97 ± 4,15 ⁱ	199,45 ± 4,07 ^e
‘Božićnica’	651,23 ± 9,36 ^g	64,78 ± 0,55 ^e	93,14 ± 3,38 ^c	222,22 ± 4,74 ^f
‘Winter Banana’	290,17 ± 14,32 ^d	27,76 ± 1,64 ^c	234,95 ± 0,52 ^h	187,77 ± 1,27 ^c
‘Jonagold’	<LOD	19,67 ± 0,15 ^{b,c}	168,61 ± 7,48 ^g	72,84 ± 0,67 ^a
‘Idared’	28,22 ± 2,35 ^a	4,72 ± 0,19 ^a	49,77 ± 0,13 ^a	81,96 ± 2,34 ^a
‘Golden Delicious’	31,06 ± 3,40 ^a	5,95 ± 0,08 ^a	104,84 ± 2,39 ^d	98,88 ± 13,69 ^b
‘Fuji’	95,80 ± 1,23 ^b	15,34 ± 1,14 ^b	115,38 ± 0,31 ^c	161,51 ± 12,46 ^d
‘Granny Smith’	345,70 ± 0,76 ^c	42,71 ± 0,12 ^d	62,83 ± 0,12 ^b	124,33 ± 5,58 ^c

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher’s LSD.

Tablica 45 Udio flavanola i dihidrohalkona ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon tri mjeseca skladištenja, 2023. godina

Nakon tri mjeseca	epigalokatehin	katehin	floridzin	epikatehin
‘Zelenika’	592,34 ± 23,77 ^e	38,49 ± 1,02 ^c	83,91 ± 0,55 ^d	260,27 ± 4,20 ^h
‘Bobovec’	853,07 ± 21,11 ^g	53,96 ± 1,07 ^d	68,21 ± 0,31 ^c	346,64 ± 0,73 ⁱ
‘Kanadska Reneta’	523,23 ± 15,34 ^d	34,08 ± 0,76 ^c	192,15 ± 0,92 ^e	193,35 ± 1,34 ^f
‘Božićnica’	744,14 ± 62,11 ^f	61,91 ± 2,27 ^d	46,17 ± 1,62 ^b	228,84 ± 0,56 ^g
‘Winter Banana’	160,08 ± 0,29 ^a	17,19 ± 0,88 ^b	77,16 ± 0,35 ^d	178,81 ± 0,56 ^e
‘Jonagold’	<LOD	38,44 ± 0,08 ^c	73,87 ± 0,38 ^c	117,56 ± 1,05 ^b
‘Idared’	259,12 ± 28,99 ^b	10,19 ± 1,85 ^{a,b}	49,62 ± 0,27 ^b	96,14 ± 0,59 ^a
‘Golden Delicious’	<LOD	7,50 ± 0,16 ^a	75,54 ± 0,24 ^{c,d}	137,92 ± 0,56 ^c
‘Fuji’	153,53 ± 1,84 ^a	19,47 ± 0,05 ^b	50,86 ± 2,12 ^b	159,48 ± 0,44 ^d
‘Granny Smith’	374,53 ± 6,97 ^c	37,72 ± 0,65 ^c	34,09 ± 0,22 ^a	129,60 ± 2,56 ^c

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 46 Udio flavanola i dihidrohalkona ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon šest mjeseci skladištenja, 2023. godina

Nakon šest mjeseci	epigalokatehin	katehin	floridzin	epikatehin
'Zelenika'	339,85 ± 3,90 ^b	41,19 ± 0,25 ^c	56,28 ± 0,11 ^b	275,68 ± 23,56 ^f
'Bobovec'	643,09 ± 19,87 ^f	46,34 ± 1,05 ^c	107,92 ± 0,56 ^f	353,16 ± 3,35 ^g
'Kanadska Reneta'	652,48 ± 5,85 ^f	34,41 ± 0,45 ^d	224,71 ± 0,98 ^g	191,62 ± 1,47 ^d
'Božićnica'	609,24 ± 68,05 ^c	43,21 ± 3,35 ^c	57,61 ± 0,07 ^{b,c}	222,86 ± 0,31 ^c
'Winter Banana'	190,50 ± 4,19 ^a	10,68 ± 0,72 ^{a,b}	68,04 ± 0,34 ^{c,d}	199,74 ± 1,83 ^d
'Jonagold'	<LOD	21,34 ± 6,26 ^c	78,02 ± 0,27 ^d	102,47 ± 0,57 ^a
'Idared'	382,27 ± 31,45 ^c	17,42 ± 1,95 ^{b,c}	70,86 ± 0,23 ^d	100,31 ± 0,49 ^a
'Golden Delicious'	<LOD	6,79 ± 0,06 ^a	80,16 ± 0,30 ^c	142,21 ± 0,36 ^b
'Fuji'	188,30 ± 1,48 ^a	22,17 ± 0,23 ^c	74,50 ± 0,11 ^d	172,07 ± 0,42 ^c
'Granny Smith'	474,66 ± 1,11 ^d	42,93 ± 4,57 ^c	36,59 ± 0,46 ^a	166,69 ± 6,07 ^c

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-g) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Gacnik *i sur.* (2021), utvrdili su da flavonoli mogu činiti od 13 do 26 % ukupnih fenolnih spojeva u jabukama. Kvercetin, koji je najviše prisutan u kori ploda jabuke, snažan je antioksidans, a procijenjena antioksidacijska aktivnost 100 g jabuke ekvivalentna je 1500 mg vitamina C (Patocka *i sur.* 2020.). Udio analiziranih flavanola tijekom trogodišnjeg istraživanja kretao se od 0,07 do 370 $\mu\text{g/g}$ (**Tablica 47-49**). Najveći udio među flavanolima zauzimao je kvercetin-3-rutinozid, zatim kvercetin-3-D-glukozid, miricetin te kvercetin, koji je bio zastupljen u najmanjem udjelu. Najveći udio kvercetin-3-rutinozida i kvercetin-3-D-glukozida, neposredno nakon berbe i tijekom skladištenja, utvrđen je kod sorte 'Winter Banana'. Najveći udio miricetina nakon berbe i nakon šest mjeseci skladištenja utvrđen je kod sorte 'Bobovec', dok je nakon tri mjeseca skladištenja zabilježen kod sorte 'Idared'. Suprotno tome, najniži udio kvercetin-3-rutinozida i kvercetin-3-D-glukozida, neposredno nakon berbe i nakon šest mjeseci skladištenja, utvrđen je kod sorte 'Idared', dok je nakon tri mjeseca zabilježeno kod sorte 'Jonagold'. Najveći udio kvercetina neposredno nakon berbe utvrđen je kod sorte 'Granny Smith', dok je nakon tri i šest mjeseci skladištenja najveći udio zabilježen kod sorte 'Idared'.

Najniži udio kvercetina nakon berbe i tijekom skladištenja zabilježen je kod sorte 'Golden Delicious'. Tijekom šestomjesečnog razdoblja skladištenja, udio miricetina kretao se od 9,67 do 69,26 µg/g, kvercetin-3-rutinozida od 43,96 do 369,99 µg/g, kvercetin-3-D-glukozida od 7,16 do 145,42 µg/g, dok se udio kvercetina kretao od 0,13 do 1,21 µg/g.

Tablica 47 Udio flavonola (µg/g)^a u odabranim sortama jabuka nakon berbe, 2021. godina

Nakon berbe	miricetin	kvercetin-3-rutinozid	kvercetin-3-D-glukozid	kvercetin
'Zelenika'	14,80 ± 0,46 ^a	136,40 ± 4,06 ^e	50,26 ± 1,54 ^c	0,45 ± 0,05 ^b
'Bobovec'	55,62 ± 0,50 ^c	323,76 ± 1,76 ^g	78,59 ± 0,69 ^d	0,66 ± 0,03 ^c
'Kanadska Reneta'	16,06 ± 0,32 ^{a,b}	50,34 ± 1,19 ^c	14,40 ± 0,43 ^a	0,16 ± 0,02 ^a
'Božićnica'	20,39 ± 0,13 ^b	221,76 ± 0,68 ^f	93,19 ± 0,89 ^e	0,47 ± 0,12 ^b
'Winter Banana'	41,91 ± 1,86 ^d	369,66 ± 10,13 ^h	145,42 ± 4,91 ^f	0,86 ± 0,01 ^d
'Jonagold'	9,67 ± 0,16 ^a	36,65 ± 0,60 ^b	9,09 ± 0,13 ^a	0,60 ± 0,02 ^c
'Idared'	18,90 ± 1,02 ^{a,b}	25,54 ± 0,78 ^a	7,16 ± 0,38 ^a	0,57 ± 0,01 ^c
'Golden Delicious'	32,18 ± 0,24 ^{c,d}	100,61 ± 0,39 ^d	28,34 ± 0,31 ^b	0,13 ± 0,01 ^a
'Fuji'	25,54 ± 1,08 ^{b,c}	139,06 ± 1,15 ^e	28,16 ± 0,44 ^b	0,15 ± 0,03 ^a
'Granny Smith'	45,20 ± 0,81 ^d	228,00 ± 1,14 ^f	82,94 ± 0,29 ^{d,e}	1,21 ± 0,07 ^e

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-h) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 48 Udio flavonola ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon tri mjeseca skladištenja, 2021. godina

Nakon tri mjeseca	miricetin	kvercetin-3-rutinozid	kvercetin-3-D-glukozid	kvercetin
‘Zelenika’	20,93 $\pm$ 0,03 ^a	120,87 $\pm$ 0,55 ^{d,e}	56,81 $\pm$ 0,39 ^d	0,41 $\pm$ 0,02 ^b
‘Bobovec’	37,80 $\pm$ 0,06 ^b	110,06 $\pm$ 0,08 ^{c,d}	35,50 $\pm$ 0,18 ^c	0,18 $\pm$ 0,02 ^a
‘Kanadska Reneta’	17,99 $\pm$ 0,84 ^a	58,88 $\pm$ 0,08 ^b	15,09 $\pm$ 0,49 ^a	3,36 $\pm$ 0,09 ^g
‘Božićnica’	15,96 $\pm$ 0,00 ^a	100,01 $\pm$ 0,05 ^c	52,20 $\pm$ 0,31 ^d	0,35 $\pm$ 0,15 ^b
‘Winter Banana’	35,95 $\pm$ 1,35 ^b	285,18 $\pm$ 2,67 ^g	85,74 $\pm$ 0,43 ^e	0,32 $\pm$ 0,13 ^b
‘Jonagold’	17,55 $\pm$ 0,10 ^a	40,09 $\pm$ 0,16 ^a	14,73 $\pm$ 0,20 ^a	0,17 $\pm$ 0,02 ^a
‘Idared’	40,90 $\pm$ 0,10 ^b	67,57 $\pm$ 0,23 ^b	20,01 $\pm$ 0,15 ^a	1,21 $\pm$ 0,01 ^f
‘Golden Delicious’	37,11 $\pm$ 0,22 ^b	64,07 $\pm$ 0,32 ^b	24,47 $\pm$ 0,18 ^{a,b}	0,16 $\pm$ 0,03 ^a
‘Fuji’	21,93 $\pm$ 0,04 ^a	130,24 $\pm$ 0,07 ^c	28,43 $\pm$ 0,14 ^{b,c}	0,16 $\pm$ 0,04 ^a
‘Granny Smith’	40,36 $\pm$ 0,09 ^b	155,75 $\pm$ 0,27 ^f	54,42 $\pm$ 0,06 ^d	0,33 $\pm$ 0,03 ^b

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-h) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher’s LSD.

Tablica 49 Udio flavonola ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon šest mjeseci skladištenja, 2021. godina

Nakon šest mjeseci	miricetin	kvercetin-3-rutinozid	kvercetin-3-D-glukozid	kvercetin
‘Zelenika’	47,33 $\pm$ 0,05 ^{b,c}	137,88 $\pm$ 0,35 ^e	51,21 $\pm$ 0,60 ^d	0,22 $\pm$ 0,03 ^b
‘Bobovec’	69,26 $\pm$ 0,41 ^d	230,39 $\pm$ 1,82 ^h	59,76 $\pm$ 0,81 ^d	0,25 $\pm$ 0,02 ^b
‘Kanadska Reneta’	44,54 $\pm$ 0,14 ^b	193,14 $\pm$ 0,69 ^g	42,58 $\pm$ 0,91 ^c	0,20 $\pm$ 0,04 ^b
‘Božićnica’	42,29 $\pm$ 0,34 ^b	153,09 $\pm$ 1,48 ^f	70,51 $\pm$ 0,14 ^e	0,21 $\pm$ 0,04 ^b
‘Winter Banana’	56,85 $\pm$ 0,15 ^c	304,83 $\pm$ 0,76 ⁱ	103,49 $\pm$ 0,97 ^f	0,15 $\pm$ 0,01 ^a
‘Jonagold’	52,11 $\pm$ 0,11 ^c	122,71 $\pm$ 0,59 ^d	23,23 $\pm$ 0,24 ^{a,b}	0,15 $\pm$ 0,00 ^a
‘Idared’	26,83 $\pm$ 0,11 ^a	43,96 $\pm$ 0,19 ^a	14,45 $\pm$ 0,14 ^a	0,95 $\pm$ 0,04 ^d
‘Golden Delicious’	24,22 $\pm$ 0,13 ^a	52,38 $\pm$ 0,32 ^b	21,08 $\pm$ 0,12 ^a	0,14 $\pm$ 0,01 ^a
‘Fuji’	41,79 $\pm$ 0,41 ^b	97,18 $\pm$ 0,34 ^c	27,42 $\pm$ 0,60 ^b	0,16 $\pm$ 0,03 ^a
‘Granny Smith’	65,98 $\pm$ 0,43 ^d	245,70 $\pm$ 0,94 ^h	99,21 $\pm$ 1,23 ^f	0,58 $\pm$ 0,01 ^c

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tijekom 2022. godine, najveći udio analiziranih flavonola u jabukama imao je kvercetin-3-rutinozid, kao i tijekom 2021. godine (**Tablica 50-52**). Tijekom šestomjesečnog razdoblja skladištenja, najveći udio miricetina utvrđen je kod sorte 'Granny Smith' ($284,31 \pm 11,21 \mu\text{g/g}$), kvercetin-3-rutinozida kod sorte 'Bobovec' ($164,69 \pm 0,75 \mu\text{g/g}$), kvercetin-3-D-glukozida kod sorte 'Božićnica' ($66,63 \pm 0,15 \mu\text{g/g}$) te kvercetina kod sorte 'Jonagold' ($1,14 \pm 0,04 \mu\text{g/g}$). Prema Jakobek *i sur.* (2013), tradicionalne sorte jabuka bogate su pojedinačnim polifenolima, među kojima se ističu kvercetin-3-rutinozid, procijanidin B1, B2 i A2, epikatehin te klorogenska kiselina. Dobiveni rezultati potvrđuju statistički značajno veći udio kvercetin-3-rutinozida u tradicionalnim sortama jabuka u odnosu na komercijalne. Kvercetin-3-rutinozid pokazuje izražena antimikrobno, antifungalno i antialergijsko svojstvo (Gullón i sur. 2017.).

Tablica 50 Udio flavonola ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon berbe, 2022. godina

Nakon berbe	miricetin	kvercetin-3-rutinozid	kvercetin-3-D-glukozid	kvercetin
'Zelenika'	$4,80 \pm 0,01^a$	$21,56 \pm 0,02^a$	$11,84 \pm 0,07^{a,b}$	$0,12 \pm 0,02^{a,b}$
'Bobovec'	$13,23 \pm 0,09^{b,c}$	$81,16 \pm 0,58^d$	$46,33 \pm 0,38^f$	$0,17 \pm 0,01^b$
'Kanadska Reneta'	$15,60 \pm 0,38^c$	$67,58 \pm 0,23^c$	$18,69 \pm 0,11^{c,d}$	$0,10 \pm 0,02^a$
'Božićnica'	$11,12 \pm 0,05^b$	$131,70 \pm 0,56^h$	$66,63 \pm 0,15^g$	$0,12 \pm 0,01^a$
'Winter Banana'	$19,67 \pm 0,18^d$	$101,48 \pm 0,18^f$	$33,82 \pm 0,31^e$	$0,16 \pm 0,04^b$
'Jonagold'	$27,43 \pm 0,2^c$	$29,86 \pm 0,09^a$	$9,61 \pm 0,09^a$	$1,14 \pm 0,04^c$
'Idared'	$10,11 \pm 0,06^b$	$32,58 \pm 0,12^b$	$7,04 \pm 0,12^a$	$0,09 \pm 0,01^a$
'Golden Delicious'	$23,42 \pm 0,22^c$	$73,88 \pm 0,17^c$	$16,68 \pm 0,15^{b,c}$	$0,11 \pm 0,01^a$
'Fuji'	$15,70 \pm 0,06^c$	$124,48 \pm 0,62^g$	$22,67 \pm 0,19^d$	$0,57 \pm 0,00^d$
'Granny Smith'	$18,51 \pm 0,16^{c,d}$	$91,93 \pm 0,68^e$	$36,90 \pm 0,24^c$	$0,29 \pm 0,01^c$

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-h) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 51 Udio flavonola ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon tri mjeseca skladištenja, 2022. godina

Nakon tri mjeseca	miricetin	kvercetin-3-rutinozid	kvercetin-3-D-glukozid	kvercetin
‘Zelenika’	5,79 $\pm$ 0,26 ^a	12,50 $\pm$ 0,06 ^a	9,80 $\pm$ 0,12 ^a	0,38 $\pm$ 0,02 ^c
‘Bobovec’	29,67 $\pm$ 0,80 ^c	164,69 $\pm$ 0,75 ^g	50,36 $\pm$ 1,00 ^c	0,36 $\pm$ 0,01 ^c
‘Kanadska Reneta’	16,10 $\pm$ 0,53 ^b	38,88 $\pm$ 0,06 ^c	15,35 $\pm$ 0,36 ^{b,c}	0,14 $\pm$ 0,01 ^a
‘Božićnica’	7,99 $\pm$ 0,41 ^a	48,01 $\pm$ 0,41 ^d	27,59 $\pm$ 0,12 ^d	0,12 $\pm$ 0,03 ^a
‘Winter Banana’	14,93 $\pm$ 0,09 ^b	67,22 $\pm$ 0,75 ^f	29,73 $\pm$ 0,39 ^d	0,12 $\pm$ 0,02 ^a
‘Jonagold’	30,51 $\pm$ 0,34 ^c	56,95 $\pm$ 1,03 ^e	17,03 $\pm$ 0,37 ^c	0,13 $\pm$ 0,01 ^a
‘Idared’	11,09 $\pm$ 0,11 ^{a,b}	50,12 $\pm$ 0,55 ^{d,e}	10,50 $\pm$ 0,30 ^{a,b}	0,15 $\pm$ 0,01 ^a
‘Golden Delicious’	14,12 $\pm$ 0,15 ^b	29,92 $\pm$ 0,45 ^b	8,91 $\pm$ 0,23 ^a	0,09 $\pm$ 0,01 ^a
‘Fuji’	10,65 $\pm$ 0,02 ^a	58,47 $\pm$ 0,13 ^c	14,79 $\pm$ 0,12 ^b	0,14 $\pm$ 0,02 ^a
‘Granny Smith’	7,34 $\pm$ 0,09 ^a	10,91 $\pm$ 0,13 ^a	7,51 $\pm$ 0,09 ^a	0,26 $\pm$ 0,08 ^b

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher’s LSD.

Tablica 52 Udio flavonola ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon šest mjeseci skladištenja, 2022. godina

Nakon šest mjeseci	miricetin	kvercetin-3-rutinozid	kvercetin-3-D-glukozid	kvercetin
‘Zelenika’	4,61 $\pm$ 0,27 ^a	21,88 $\pm$ 1,28 ^b	11,39 $\pm$ 0,62 ^b	0,19 $\pm$ 0,03 ^c
‘Bobovec’	15,94 $\pm$ 0,05 ^b	135,14 $\pm$ 0,32 ^g	79,08 $\pm$ 0,42 ^g	0,22 $\pm$ 0,01 ^c
‘Kanadska Reneta’	16,47 $\pm$ 0,62 ^{b,c}	52,40 $\pm$ 0,17 ^d	19,81 $\pm$ 0,43 ^{c,d}	0,15 $\pm$ 0,01 ^b
‘Božićnica’	13,50 $\pm$ 0,13 ^b	135,27 $\pm$ 2,34 ^g	67,71 $\pm$ 1,06 ^f	0,15 $\pm$ 0,01 ^b
‘Winter Banana’	7,29 $\pm$ 0,05 ^a	11,02 $\pm$ 0,15 ^a	8,18 $\pm$ 0,03 ^a	0,11 $\pm$ 0,01 ^a
‘Jonagold’	29,53 $\pm$ 0,78 ^d	44,08 $\pm$ 0,61 ^c	13,96 $\pm$ 0,28 ^b	0,07 $\pm$ 0,02 ^a
‘Idared’	19,89 $\pm$ 0,13 ^c	87,13 $\pm$ 0,82 ^e	16,41 $\pm$ 0,11 ^{b,c}	0,37 $\pm$ 0,02 ^d
‘Golden Delicious’	20,50 $\pm$ 0,22 ^c	45,12 $\pm$ 0,20 ^c	13,67 $\pm$ 0,21 ^b	0,10 $\pm$ 0,01 ^a
‘Fuji’	15,05 $\pm$ 0,16 ^b	115,25 $\pm$ 1,23 ^f	25,89 $\pm$ 0,32 ^d	0,10 $\pm$ 0,01 ^a
‘Granny Smith’	284,31 $\pm$ 11,21 ^e	11,22 $\pm$ 0,11 ^a	54,09 $\pm$ 0,31 ^e	<LOD

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-h) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

U **Tablicama 53-55** prikazani su rezultati udjela flavonola u odabranim sortama jabuka tijekom šest mjeseci skladištenja u 2023. godini. Tijekom skladištenja, najveći udio miricetina i kvercetin-2-rutinozida utvrđen je kod sorte 'Bobovec', dok je najniži udio kvercetin-3-rutinozida utvrđen kod sorte 'Golden Delicious'. Najniži udio miricetina zabilježen je neposredno nakon berbe kod sorte 'Golden Delicious', nakon tri mjeseca skladištenja kod sorte 'Božićnica', te nakon šest mjeseci skladištenja kod sorte 'Fuji'. Najveći udio kvercetina tijekom šestomjesečnog razdoblja skladištenja utvrđen je kod sorte 'Idared'. Suprotno tome, najniži udio kvercetina neposredno nakon berbe utvrđen je kod sorte 'Zelenika', nakon tri mjeseca skladištenja kod sorte 'Bobovec', a nakon šest mjeseci skladištenja kod sorte 'Božićnica'. Najveći udio kvercetin-3-D-glukozida tijekom skladištenja utvrđen je kod sorte 'Winter Banana', dok je najniži udio utvrđen kod sorte 'Fuji'.

Tijekom trogodišnjeg istraživanja utvrđeno je da tradicionalne sorte jabuka imaju statistički značajno veći udio flavonola u usporedbi s komercijalnim sortama ($p < 0.05$). Najveće udjele flavonola tijekom tri godine istraživanja imale su sorte 'Bobovec', 'Božićnica' i 'Winter Banana', dok su najniže vrijednosti zabilježene kod sorti 'Jonagold', 'Golden Delicious' i 'Fuji'. Flavonoli se uglavnom nalaze u pokožici ploda jabuke, a povećana izloženost plodova sunčevoj svjetlosti tijekom 2021. godine doprinijela je intenzivnijoj sintezi flavonola, što je rezultiralo većim ukupnim udjelom ovih spojeva u jabukama ubranim te godine. Iako je povećana insolacija zabilježena i tijekom 2022. godine, zbog prevelikih temperatura i suše dolazilo je do oštećenja pokožice jabuka, što je rezultiralo smanjenim udjelom flavonola u odnosu na 2021. godinu. Slična situacija se dogodila i tijekom 2023. godine, zbog dugotrajne suše i visokih temperatura došlo je do nastanka ožegotina na pokožici ploda, pucanje kutikule, što je rezultiralo smanjenjem udjela flavonola u odnosu na 2021. godinu.

Tablica 53 Udio flavonola ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon berbe, 2023. godina

Nakon berbe	miricetin	kvercetin-3-rutinozid	kvercetin-3-D-glukozid	kvercetin
‘Zelenika’	27,57 $\pm$ 0,09 ^c	119,90 $\pm$ 0,42 ^g	46,11 $\pm$ 0,30 ^e	0,18 $\pm$ 0,03 ^{a,b}
‘Bobovec’	37,49 $\pm$ 0,07 ^d	145,36 $\pm$ 2,03 ^h	53,63 $\pm$ 2,29 ^f	0,98 $\pm$ 0,04 ^f
‘Kanadska Reneta’	17,00 $\pm$ 0,07 ^b	52,27 $\pm$ 0,39 ^d	19,97 $\pm$ 0,67 ^b	0,73 $\pm$ 0,03 ^e
‘Božićnica’	11,12 $\pm$ 0,05 ^a	31,40 $\pm$ 0,31 ^c	14,54 $\pm$ 0,23 ^{a,b}	0,35 $\pm$ 0,03 ^c
‘Winter Banana’	27,95 $\pm$ 0,05 ^c	106,11 $\pm$ 1,14 ^f	58,73 $\pm$ 1,54 ^f	0,15 $\pm$ 0,06 ^a
‘Jonagold’	33,07 $\pm$ 0,26 ^d	87,04 $\pm$ 4,82 ^e	29,51 $\pm$ 3,98 ^c	0,71 $\pm$ 0,01 ^e
‘Idared’	16,02 $\pm$ 0,07 ^{a,b}	20,65 $\pm$ 0,52 ^{a,b}	9,72 $\pm$ 0,64 ^a	1,03 $\pm$ 0,01 ^g
‘Golden Delicious’	11,75 $\pm$ 0,03 ^a	16,38 $\pm$ 0,07 ^a	8,36 $\pm$ 0,03 ^a	0,33 $\pm$ 0,00 ^d
‘Fuji’	12,65 $\pm$ 0,05 ^a	23,58 $\pm$ 0,74 ^b	9,15 $\pm$ 0,69 ^a	0,24 $\pm$ 0,01 ^b
‘Granny Smith’	18,05 $\pm$ 0,04 ^b	83,95 $\pm$ 0,37 ^e	44,57 $\pm$ 0,19 ^d	0,55 $\pm$ 0,03 ^d

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-g) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher’s LSD.

Tablica 54 Udio flavonola ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon tri mjeseca skladištenja, 2023. godina

Nakon tri mjeseca	miricetin	kvercetin-3-rutinozid	kvercetin-3-D-glukozid	kvercetin
‘Zelenika’	29,63 $\pm$ 0,11 ^d	118,96 $\pm$ 0,69 ^f	43,20 $\pm$ 0,28 ^e	0,15 $\pm$ 0,02 ^{b,c}
‘Bobovec’	34,57 $\pm$ 0,08 ^e	137,13 $\pm$ 0,55 ^g	33,21 $\pm$ 0,03 ^d	0,09 $\pm$ 0,01 ^a
‘Kanadska Reneta’	13,71 $\pm$ 0,07 ^b	50,77 $\pm$ 0,23 ^d	13,36 $\pm$ 0,30 ^b	0,57 $\pm$ 0,02 ^e
‘Božićnica’	7,57 $\pm$ 0,02 ^a	18,86 $\pm$ 1,13 ^b	10,21 $\pm$ 0,17 ^b	0,26 $\pm$ 0,01 ^d
‘Winter Banana’	27,46 $\pm$ 0,07 ^{c,d}	115,48 $\pm$ 0,74 ^f	49,30 $\pm$ 0,32 ^e	0,18 $\pm$ 0,02 ^c
‘Jonagold’	11,65 $\pm$ 0,05 ^{a,b}	12,69 $\pm$ 0,15 ^{a,b}	4,48 $\pm$ 0,10 ^a	0,20 $\pm$ 0,01 ^c
‘Idared’	20,58 $\pm$ 0,07 ^c	34,92 $\pm$ 0,55 ^c	8,68 $\pm$ 0,63 ^{a,b}	1,07 $\pm$ 0,01 ^f
‘Golden Delicious’	9,14 $\pm$ 0,02 ^a	7,00 $\pm$ 0,05 ^a	4,87 $\pm$ 0,03 ^a	0,20 $\pm$ 0,04 ^c
‘Fuji’	9,22 $\pm$ 0,21 ^a	19,52 $\pm$ 0,09 ^b	4,53 $\pm$ 0,20 ^a	0,14 $\pm$ 0,01 ^b
‘Granny Smith’	16,58 $\pm$ 0,05 ^{b,c}	63,89 $\pm$ 0,26 ^e	24,47 $\pm$ 0,29 ^c	0,14 $\pm$ 0,01 ^b

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-g) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 55 Udio flavonola ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon šest mjeseci skladištenja, 2023. godina

Nakon šest mjeseci	miricetin	kvercetin-3-rutinozid	kvercetin-3-D-glukozid	kvercetin
'Zelenika'	13,54 ± 0,06 ^b	41,85 ± 0,41 ^{c,d}	20,04 ± 0,48 ^d	0,39 ± 0,01 ^c
'Bobovec'	40,63 ± 0,25 ^e	164,54 ± 2,30 ^h	44,61 ± 1,79 ^f	0,20 ± 0,00 ^b
'Kanadska Reneta'	20,12 ± 0,16 ^c	86,14 ± 0,75 ^g	22,34 ± 1,04 ^d	0,20 ± 0,01 ^b
'Božićnica'	9,38 ± 0,02 ^a	29,81 ± 0,17 ^{b,c}	11,60 ± 0,18 ^{b,c}	0,13 ± 0,01 ^a
'Winter Banana'	20,13 ± 0,08 ^c	72,64 ± 0,33 ^f	32,80 ± 0,63 ^e	0,15 ± 0,02 ^{a,b}
'Jonagold'	30,16 ± 0,08 ^d	27,49 ± 0,07 ^b	9,05 ± 0,13 ^{a,b}	0,69 ± 0,02 ^e
'Idared'	31,33 ± 0,06 ^d	47,77 ± 0,64 ^d	14,82 ± 0,19 ^c	1,73 ± 0,01 ^f
'Golden Delicious'	13,42 ± 0,05 ^b	14,06 ± 0,12 ^a	7,60 ± 0,10 ^a	0,47 ± 0,00 ^d
'Fuji'	9,30 ± 0,04 ^a	14,33 ± 1,73 ^a	3,78 ± 0,18 ^a	0,22 ± 0,05 ^b
'Granny Smith'	21,58 ± 0,06 ^c	61,95 ± 0,32 ^c	18,37 ± 0,33 ^{c,d}	0,22 ± 0,04 ^b

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-h) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

U prirodi fenolne kiseline imaju važnu ulogu u otpornosti biljaka na patogene i različite oblike abiotičkog stres. Fenolne kiseline imaju antimikrobna, antioksidativna i antifungalna svojstva koja pomažu u inhibiranju rasta i razmnožavanja patogena te štite biljne stanice od oksidativnog oštećenja uzrokovanog stresnim uvjetima okoliša (Liu i sur. 2022.). Prirodni spojevi poput kofeinske, *p*-kumarinske i ferulinske kiseline pokazuju snažan inhibitorski učinak na rast plijesni. Prema istraživanju Yadav i sur. (2021), ferulinska i *p*-kumarinska kiselina značajno su smanjile rast *Alternaria* in vivo te pojavu crne pjegavosti u uskladištenom voću. Lou i sur. (2012), utvrdili su da antibakterijski mehanizma *p*-kumarinske kiseline uključuje dva procesa: narušavanje integriteta bakterijske stanične membrane te vezanje na bakterijsku genomsku DNA, čime se inhibira funkcija stanica, što u konačnici dovodi do stanične smrti. Klorogenska kiselina pokazuje antibakterijska, antihipertenzivna i antioksidativna svojstva (Zhao i sur. 2012.; Cai i sur. 2019.). Nadalje, kofeinska kiselina i epikatehin dokazano povećavaju otpornost plodova jabuka na infekciju uzrokovanu s *Botrytis cinerea* (Zhang i sur. 2020.). Prema istraživanju (Báidez i sur. 2007.), promjene u razinama fenolnih spojeva u zaraženim biljkama

te njihova antifungalna aktivnost protiv *Verticillium dahliae* potvrđuje da je *p*-kumarinska kiselina uključena u mehanizam otpornosti biljaka.

U **Tablicama 56-64** prikazani su rezultati udjela fenolnih kiselina u odabranim sortama jabuka tijekom trogodišnjeg istraživanja, od 2021. do 2023. godine, te njihova promjena tijekom skladištenja. Udio galne kiseline tijekom navedenog razdoblja kretao se od 0,00 do 16,62 µg/g, *trans*-ferulinske kiseline od 0,08 do 1,59 µg/g, klorogenske kiseline od 0,22 do 3184,54 µg/g, kofeinske kiseline od 0,35 do 259,05 µg/g te *p*-kumarinske od 0,04 do 51,60 µg/g. Navedene fenolne kiseline bile su prisutne i u jabukama prema istraživanju Geană *i sur.* (2021), no u nižim koncentracijama. Prema istraživanju Butkeviciute *i sur.* (2022), promjene u sastavu pojedinih fenolnih spojeva posljedica su čimbenika kao što su geografski položaj, sorta, navodnjavanje, vrijeme berbe, temperature i vrijeme skladištenja. Povoljni vremenski uvjeti, uz manju učestalost tuča, mraza i suše, rezultirali su najvišim udjelima fenolnih kiselina u plodovima jabuka tijekom 2021. godine, dok 2022. i 2023. godina zabilježile smanjenje udjela fenolnih kiselina. Tijekom trogodišnjeg istraživanja najveći udio galne kiseline utvrđen je kod sorte 'Golden Delicious' ($16,62 \pm 0,31$ µg/g). Tijekom skladištenja dolazi do smanjenje udjela galne kiseline u svim analiziranim sortama, pri čemu je nakon šest mjeseci skladištenja njezina koncentracija u svim analiziranim sortama bila ispod granice detekcije. Suprotno tome, udio *trans*-ferulinske, klorogenske, kofeinske i *p*-kumarinske kiseline povećava se tijekom prvih tri mjeseca skladištenja, a zatim postepeno pada tijekom posljednja tri mjeseca skladištenja. Usporedbom vrijednosti neposredno nakon berbe i nakon šest mjeseci skladištenja, utvrđeno je da udjeli *trans*-ferulinske, klorogenske, kofeinske i *p*-kumarinske kiseline bilježe minimalne promjene. Tijekom trogodišnjeg istraživanja najveći udio klorogenske kiseline zabilježen je u sorti 'Winter Banana' ($3184,54 \pm 9,86$ µg/g), dok je najniži udio utvrđen u sorti 'Granny Smith' ($340,43 \pm 2,33$ µg/g). Prema istraživanju Tsao *i sur.* (2005) klorogenska kiselina činila je od 21 do 90 % ukupne količine fenolnih spojeva u uzorcima jabuka, što potvrđuje da najveći udio ukupnih fenolnih kiselina u jabukama čini klorogenska kiselina. Bars-Cortine *i sur.* (2017), utvrdili su značajno niže vrijednosti klorogenske kiseline u analiziranim tradicionalnim i komercijalnim sortama jabuka, u rasponu od 52,3 µg/g do 306,0 µg/g. Dobiveni rezultati u skladu su s istraživanjem Butkeviciute *i sur.* (2022), u kojem je zabilježeno povećanje udjela klorogenske kiseline tijekom skladištenja. Prema Vondráková *i sur.* (2020) udio fenolnih kiselina u uzorcima jabuka nakon sedam mjeseci skladištenja značajno se smanjio, no ostao je blizu količina detektiranih prije skladištenja.

Tablica 56 Udio fenolnih kiselina ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon berbe, 2021. godina

Nakon berbe	galna kiselina	<i>trans</i> -ferulinska kiselina	klorogenska kiselina	kofeinska kiselina	<i>p</i> -kumarinska kiselina
‘Zelenika’	9,67 ± 3,81 ^b	0,67 ± 0,03 ^c	1259,42 ± 38,64 ^f	1,40 ± 0,04 ^c	0,66 ± 0,02 ^d
‘Bobovec’	<LOD	0,56 ± 0,04 ^d	2327,41 ± 12,48 ^h	1,46 ± 0,01 ^c	0,93 ± 0,02 ^f
‘Kanadska Reneta’	<LOD	0,65 ± 0,04 ^e	2234,35 ± 56,29 ^g	5,72 ± 0,13 ^h	0,89 ± 0,04 ^e
‘Božićnica’	<LOD	0,55 ± 0,25 ^d	2301,39 ± 14,35 ^h	3,74 ± 0,01 ^g	0,87 ± 0,02 ^e
‘Winter Banana’	0,62 ± 0,11 ^a	1,11 ± 0,04 ^f	2452,22 ± 70,76 ⁱ	2,47 ± 0,07 ^f	0,47 ± 0,01 ^c
‘Jonagold’	5,26 ± 1,82 ^a	0,31 ± 0,02 ^b	1163,73 ± 27,96 ^c	1,31 ± 0,02 ^{b,c}	0,16 ± 0,03 ^a
‘Idared’	9,36 ± 2,25 ^b	0,15 ± 0,03 ^a	469,04 ± 16,18 ^b	1,25 ± 0,38 ^{a,b}	0,12 ± 0,00 ^a
‘Golden Delicious’	13,18 ± 3,69 ^c	0,42 ± 0,10 ^c	994,98 ± 3,85 ^c	1,86 ± 0,02 ^d	0,27 ± 0,03 ^b
‘Fuji’	<LOD	0,42 ± 0,01 ^c	1107,89 ± 9,92 ^d	2,00 ± 0,01 ^c	0,23 ± 0,03 ^b
‘Granny Smith’	12,48 ± 2,99 ^c	0,32 ± 0,09 ^b	340,43 ± 2,33 ^a	1,19 ± 0,01 ^a	0,87 ± 0,02 ^c

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher’s LSD.

Tablica 57 Udio fenolnih kiselina ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon tri mjeseca skladištenja, 2021. godina

Nakon tri mjeseca	galna kiselina	<i>trans</i> -ferulinska kiselina	klorogenska kiselina	kofeinska kiselina	<i>p</i> -kumarinska kiselina
‘Zelenika’	<LOD	0,79 ± 0,29 ^c	2062,34 ± 4,23 ^f	4,32 ± 0,02 ^f	1,28 ± 0,20 ^c
‘Bobovec’	<LOD	0,30 ± 0,04 ^{a,b}	2484,39 ± 23,54 ^g	1,79 ± 0,02 ^b	1,49 ± 0,07 ^g
‘Kanadska Reneta’	<LOD	1,18 ± 0,18 ^c	2995,60 ± 2,00 ⁱ	2,29 ± 0,02 ^d	0,81 ± 0,02 ^d
‘Božićnica’	<LOD	0,38 ± 0,20 ^b	2570,98 ± 5,56 ^h	4,50 ± 0,00 ^g	1,35 ± 0,06 ^f
‘Winter Banana’	<LOD	0,81 ± 0,14 ^c	3184,54 ± 9,86 ^j	3,40 ± 0,03 ^e	0,33 ± 0,03 ^b
‘Jonagold’	13,93 ± 3,01 ^b	0,38 ± 0,01 ^b	1616,92 ± 11,89 ^c	2,10 ± 0,01 ^c	0,36 ± 0,07 ^b
‘Idared’	<LOD	0,25 ± 0,03 ^a	973,13 ± 19,42 ^b	1,78 ± 0,07 ^b	0,25 ± 0,04 ^a
‘Golden Delicious’	16,62 ± 0,31 ^b	0,31 ± 0,01 ^b	1058,42 ± 2,14 ^c	2,36 ± 0,01 ^d	0,26 ± 0,00 ^a
‘Fuji’	<LOD	0,78 ± 0,23 ^c	1480,48 ± 23,40 ^d	4,32 ± 1,39 ^f	0,29 ± 0,05 ^{a,b}
‘Granny Smith’	6,80 ± 0,46 ^a	0,93 ± 0,05 ^d	376,38 ± 0,34 ^a	1,49 ± 0,00 ^a	0,72 ± 0,02 ^c

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-j) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 58 Udio fenolnih kiselina ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon šest mjeseci skladištenja, 2021. godina

Nakon šest mjeseci	galna kiselina	<i>trans</i> -ferulinska kiselina	klorogenska kiselina	kofeinska kiselina	<i>p</i> -kumarinska kiselina
'Zelenika'	<LOD	0,42 ± 0,01 ^c	1596,39 ± 2,13 ^f	1,60 ± 0,01 ^c	0,84 ± 0,04 ^c
'Bobovec'	<LOD	0,44 ± 0,21 ^c	2658,52 ± 19,26 ⁱ	1,40 ± 0,02 ^b	2,21 ± 0,01 ⁱ
'Kanadska Reneta'	<LOD	1,22 ± 0,44 ^f	2937,83 ± 12,91 ^j	4,73 ± 0,02 ^g	1,40 ± 0,02 ^g
'Božićnica'	<LOD	0,71 ± 0,06 ^d	1874,59 ± 13,90 ^h	3,89 ± 0,03 ^f	1,67 ± 0,02 ^h
'Winter Banana'	<LOD	0,81 ± 0,10 ^c	3754,50 ± 6,95 ^a	2,39 ± 0,03 ^c	0,68 ± 0,05 ^d
'Jonagold'	<LOD	0,43 ± 0,07 ^c	1758,28 ± 1,93 ^g	1,23 ± 0,01 ^a	0,91 ± 0,31 ^c
'Idared'	<LOD	0,10 ± 0,01 ^a	634,04 ± 3,26 ^b	1,17 ± 0,01 ^a	0,35 ± 0,01 ^b
'Golden Delicious'	<LOD	0,11 ± 0,01 ^a	936,46 ± 18,09 ^d	1,80 ± 0,02 ^d	0,48 ± 0,00 ^c
'Fuji'	<LOD	0,32 ± 0,19 ^b	1403,07 ± 32,91 ^c	1,57 ± 0,08 ^c	0,21 ± 0,01 ^a
'Granny Smith'	<LOD	0,71 ± 0,28 ^d	756,65 ± 4,68 ^c	1,21 ± 0,02 ^a	1,29 ± 0,01 ^f

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-j) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Ferulinska kiselina ima antioksidacijska, protuupalna, antimikrobna i antialergijska svojstva te doprinosi povećanju održivosti spermija (Kumar i Pruthi 2014.). Najveći udio *trans*-ferulinske kiseline tijekom trogodišnjeg istraživanja utvrđen je u sorti 'Zelenika' ($1,59 \pm 0,10 \mu\text{g/g}$), dok je najniži udio zabilježen u sorti 'Fuji' ($0,08 \pm 0,02 \mu\text{g/g}$). Prema istraživanju Geană *i sur.* (2021), udio ferulinske kiseline u analiziranim jabukama kretao se od 0,39 do 7,27 mg/100 g DW, od 1,09 do 16,31 mg/100 g DW za *p*-kumarinsku kiseline te od 0,49 do 21,74 mg/100 g DW za kofeinsku kiselinu. Najveći udio kofeinske kiseline tijekom trogodišnjeg istraživanja utvrđen je u sorti 'Granny Smith' ($259,05 \pm 41,39 \mu\text{g/g}$), dok je najniži udio utvrđen kod sorte 'Fuji' ($0,35 \pm 0,01 \mu\text{g/g}$). Nadalje, najveći udio *p*-kumarinske kiseline tijekom trogodišnjeg istraživanja zabilježen je u sorti 'Granny Smith' ($51,60 \pm 0,11 \mu\text{g/g}$), dok je najniži udio utvrđen u sorti 'Fuji' ($0,04 \pm 0,00 \mu\text{g/g}$).

Tablica 59 Udio fenolnih kiselina ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon berbe, 2022. godina

Nakon berbe	galna kiselina	<i>trans</i> -ferulinska kiselina	klorogenska kiselina	kofeinska kiselina	<i>p</i> -kumarinska kiselina
'Zelenika'	0,52 ± 0,02 ^b	0,40 ± 0,04 ^b	886,00 ± 1,19 ^f	0,80 ± 0,01 ^c	0,48 ± 0,13 ^c
'Bobovec'	6,00 ± 0,37 ^e	0,50 ± 0,03 ^{c,d}	536,31 ± 9,05 ^e	3,22 ± 0,03 ^g	0,33 ± 0,02 ^d
'Kanadska Reneta'	<LOD	0,94 ± 0,10 ^f	1666,37 ± 26,39 ⁱ	1,46 ± 0,13 ^f	0,91 ± 0,11 ^g
'Božićnica'	<LOD	0,57 ± 0,02 ^d	1163,08 ± 2,80 ^g	1,08 ± 0,06 ^e	0,57 ± 0,04 ^f
'Winter Banana'	3,43 ± 0,11 ^d	0,84 ± 0,02 ^c	1579,46 ± 3,34 ^h	0,99 ± 0,01 ^d	0,17 ± 0,03 ^b
'Jonagold'	0,33 ± 0,02 ^a	0,17 ± 0,05 ^a	411,27 ± 1,27 ^b	0,71 ± 0,01 ^b	0,10 ± 0,00 ^a
'Idared'	0,31 ± 0,03 ^a	0,48 ± 0,01 ^{b,c}	812,79 ± 5,69 ^f	1,04 ± 0,01 ^c	0,17 ± 0,02 ^b
'Golden Delicious'	<LOD	0,24 ± 0,02 ^a	504,16 ± 6,11 ^d	0,74 ± 0,00 ^b	0,11 ± 0,01 ^a
'Fuji'	3,05 ± 0,15 ^c	0,24 ± 0,02 ^a	460,25 ± 1,87 ^c	0,50 ± 0,01 ^a	0,10 ± 0,00 ^a
'Granny Smith'	<LOD	0,20 ± 0,01 ^a	161,39 ± 1,74 ^a	1,06 ± 0,25 ^c	0,25 ± 0,01 ^c

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 60 Udio fenolnih kiselina ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon tri mjeseca skladištenja, 2022. godina

Nakon tri mjeseca	galna kiselina	<i>trans</i> -ferulinska kiselina	klorogenska kiselina	kofeinska kiselina	<i>p</i> -kumarinska kiselina
‘Zelenika’	0,54 ± 0,14 ^b	0,29 ± 0,09 ^b	817,02 ± 10,61 ^e	0,68 ± 0,02 ^b	1,02 ± 0,02 ^d
‘Bobovec’	<LOD	0,41 ± 0,01 ^d	1313,17 ± 7,34 ^g	1,26 ± 0,01 ^e	0,83 ± 0,01 ^c
‘Kanadska Reneta’	<LOD	0,86 ± 0,09 ^f	1788,88 ± 9,97 ⁱ	1,98 ± 0,01 ^g	1,17 ± 0,02 ^e
‘Božićnica’	<LOD	0,50 ± 0,04 ^e	1156,37 ± 10,12 ^f	1,61 ± 0,02 ^f	1,04 ± 0,05 ^d
‘Winter Banana’	3,81 ± 0,12 ^e	0,15 ± 0,00 ^a	1702,38 ± 15,47 ^h	0,79 ± 0,00 ^c	0,12 ± 0,00 ^a
‘Jonagold’	3,15 ± 0,32 ^d	0,26 ± 0,02 ^b	475,55 ± 8,34 ^b	0,95 ± 0,01 ^d	0,14 ± 0,01 ^a
‘Idared’	<LOD	0,46 ± 0,01 ^{d,e}	773,60 ± 9,21 ^d	1,28 ± 0,01 ^e	0,28 ± 0,01 ^b
‘Golden Delicious’	0,12 ± 0,01 ^a	0,35 ± 0,01 ^c	451,46 ± 6,89 ^b	0,62 ± 0,01 ^b	0,10 ± 0,01 ^a
‘Fuji’	2,57 ± 0,50 ^c	0,31 ± 0,00 ^{b,c}	503,79 ± 2,14 ^c	0,36 ± 0,01 ^a	0,10 ± 0,00 ^a
‘Granny Smith’	3,18 ± 0,32 ^d	0,27 ± 0,01 ^b	157,39 ± 0,53 ^a	0,78 ± 0,00 ^c	0,16 ± 0,01 ^a

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher’s LSD.

Tablica 61 Udio fenolnih kiselina ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon šest mjeseci skladištenja, 2022. godina

Nakon šest mjeseci	galna kiselina	<i>trans</i> -ferulinska kiselina	klorogenska kiselina	kofeinska kiselina	<i>p</i> -kumarinska kiselina
'Zelenika'	<LOD	1,59 ± 0,10 ^e	783,49 ± 41,19 ^e	0,42 ± 0,02 ^a	0,35 ± 0,03 ^b
'Bobovec'	<LOD	0,74 ± 0,02 ^d	441,11 ± 0,47 ^c	2,64 ± 0,01 ^f	0,13 ± 0,02 ^a
'Kanadska Reneta'	<LOD	0,23 ± 0,02 ^b	1132,83 ± 2,17 ^f	1,58 ± 0,01 ^e	0,17 ± 0,02 ^a
'Božićnica'	<LOD	0,51 ± 0,02 ^c	1355,08 ± 1,52 ^g	1,60 ± 0,02 ^e	0,49 ± 0,01 ^b
'Winter Banana'	<LOD	0,25 ± 0,00 ^b	1178,24 ± 9,23 ^f	1,14 ± 0,01 ^d	0,06 ± 0,00 ^a
'Jonagold'	<LOD	0,08 ± 0,01 ^a	381,22 ± 1,73 ^b	0,58 ± 0,01 ^b	0,08 ± 0,00 ^a
'Idared'	<LOD	0,20 ± 0,01 ^b	578,68 ± 187,09 ^d	0,97 ± 0,01 ^c	0,10 ± 0,01 ^a
'Golden Delicious'	<LOD	0,12 ± 0,00 ^a	352,97 ± 0,64 ^b	0,58 ± 0,00 ^b	0,06 ± 0,00 ^a
'Fuji'	<LOD	0,13 ± 0,01 ^a	454,08 ± 2,35 ^c	0,35 ± 0,01 ^a	0,04 ± 0,00 ^a
'Granny Smith'	<LOD	0,22 ± 0,01 ^b	0,22 ± 0,01 ^a	259,05 ± 41,39 ^g	51,60 ± 0,11 ^c

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tijekom trogodišnjeg istraživanja utvrđeno je da su tradicionalne sorte jabuka imale statistički značajno veći udio klorogenske, *p*-kumarinske i *trans*-ferulinske kiseline u odnosu na komercijalne sorte ($p < 0,05$). S druge strane, komercijalne sorte jabuka tijekom skladištenja pokazivale su veći udio galne kiseline.

Tablica 62 Udio fenolnih kiselina ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon berbe, 2023. godina

Nakon berbe	galna kiselina	<i>trans</i> -ferulinska kiselina	klorogenska kiselina	kofeinska kiselina	<i>p</i> -kumarinska kiselina
'Zelenika'	6,15 $\pm$ 0,03 ^b	0,29 $\pm$ 0,02 ^b	704,34 $\pm$ 6,65 ^d	1,77 $\pm$ 0,01 ^f	0,22 $\pm$ 0,01 ^c
'Bobovec'	7,11 $\pm$ 0,03 ^c	0,42 $\pm$ 0,15 ^d	1374,84 $\pm$ 14,73 ^h	0,57 $\pm$ 0,00 ^b	0,45 $\pm$ 0,07 ^d
'Kanadska Reneta'	<LOD	0,34 $\pm$ 0,01 ^c	1210,12 $\pm$ 16,67 ^g	0,62 $\pm$ 0,01 ^b	0,65 $\pm$ 0,15 ^e
'Božićnica'	<LOD	0,26 $\pm$ 0,03 ^b	846,44 $\pm$ 50,53 ^f	2,93 $\pm$ 0,02 ^f	0,23 $\pm$ 0,06 ^c
'Winter Banana'	8,63 $\pm$ 0,19 ^d	0,25 $\pm$ 0,06 ^b	2356,19 $\pm$ 3,49 ⁱ	1,13 $\pm$ 0,02 ^d	0,14 $\pm$ 0,06 ^b
'Jonagold'	8,82 $\pm$ 0,18 ^d	0,21 $\pm$ 0,01 ^b	771,55 $\pm$ 2,11 ^e	0,51 $\pm$ 0,00 ^{a,b}	0,07 $\pm$ 0,01 ^a
'Idared'	8,51 $\pm$ 2,33 ^d	1,00 $\pm$ 0,04 ^c	433,76 $\pm$ 88,35 ^b	0,74 $\pm$ 0,00 ^c	0,08 $\pm$ 0,00 ^a
'Golden Delicious'	<LOD	0,22 $\pm$ 0,01 ^b	538,80 $\pm$ 1,48 ^c	1,62 $\pm$ 0,01 ^c	0,08 $\pm$ 0,00 ^a
'Fuji'	5,95 $\pm$ 0,56 ^b	0,08 $\pm$ 0,02 ^a	679,61 $\pm$ 1,45 ^d	0,75 $\pm$ 0,00 ^c	0,07 $\pm$ 0,01 ^a
'Granny Smith'	3,81 $\pm$ 1,18 ^a	0,11 $\pm$ 0,00 ^a	215,69 $\pm$ 0,36 ^a	0,46 $\pm$ 0,01 ^a	0,14 $\pm$ 0,00 ^b

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 63 Udio fenolnih kiselina ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon tri mjeseca skladištenja, 2023. godina

Nakon tri mjeseca	galna kiselina	<i>trans</i> -ferulinska kiselina	klorogenska kiselina	kofeinska kiselina	<i>p</i> -kumarinska kiselina
'Zelenika'	<LOD	0,32 $\pm$ 0,01 ^c	686,16 $\pm$ 2,16 ^d	1,94 $\pm$ 0,01 ^f	0,27 $\pm$ 0,04 ^b
'Bobovec'	8,75 $\pm$ 0,12 ^d	0,08 $\pm$ 0,01 ^a	1535,42 $\pm$ 4,73 ^h	0,80 $\pm$ 0,01 ^b	0,41 $\pm$ 0,00 ^d
'Kanadska Reneta'	<LOD	0,30 $\pm$ 0,01 ^{b,c}	1219,53 $\pm$ 5,24 ^f	1,18 $\pm$ 0,01 ^d	0,38 $\pm$ 0,01 ^c
'Božićnica'	<LOD	0,42 $\pm$ 0,00 ^d	1220,01 $\pm$ 6,25 ^f	4,29 $\pm$ 0,03 ^h	0,44 $\pm$ 0,01 ^d
'Winter Banana'	<LOD	0,16 $\pm$ 0,00 ^a	1276,35 $\pm$ 3,60 ^g	1,81 $\pm$ 0,01 ^f	0,07 $\pm$ 0,00 ^a
'Jonagold'	0,36 $\pm$ 0,07 ^a	0,29 $\pm$ 0,00 ^b	654,08 $\pm$ 2,30 ^d	1,44 $\pm$ 0,01 ^e	0,11 $\pm$ 0,00 ^a
'Idared'	8,70 $\pm$ 0,46 ^d	0,39 $\pm$ 0,01 ^c	463,90 $\pm$ 35,00 ^b	1,25 $\pm$ 0,01 ^d	0,10 $\pm$ 0,00 ^a
'Golden Delicious'	<LOD	0,28 $\pm$ 0,01 ^b	501,49 $\pm$ 0,29 ^c	2,14 $\pm$ 0,01 ^g	0,07 $\pm$ 0,00 ^a
'Fuji'	1,87 $\pm$ 0,05 ^b	0,13 $\pm$ 0,04 ^a	715,28 $\pm$ 1,80 ^e	0,69 $\pm$ 0,01 ^a	0,08 $\pm$ 0,01 ^a
'Granny Smith'	3,66 $\pm$ 0,02 ^c	0,12 $\pm$ 0,00 ^a	165,30 $\pm$ 0,69 ^a	1,05 $\pm$ 0,01 ^c	0,07 $\pm$ 0,01 ^a

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-h) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 64 Udio fenolnih kiselina ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon šest mjeseci skladištenja, 2023. godina

Nakon šest mjeseci	galna kiselina	<i>trans</i> -ferulinska kiselina	klorogenska kiselina	kofeinska kiselina	<i>p</i> -kumarinska kiselina
'Zelenika'	<LOD	0,21 $\pm$ 0,03 ^{c,d}	757,08 $\pm$ 3,37 ^d	1,45 $\pm$ 0,04 ^d	0,07 $\pm$ 0,00 ^a
'Bobovec'	<LOD	0,48 $\pm$ 0,14 ^e	1180,11 $\pm$ 8,51 ^g	0,86 $\pm$ 0,02 ^b	0,38 $\pm$ 0,02 ^c
'Kanadska Reneta'	<LOD	0,44 $\pm$ 0,04 ^e	1110,88 $\pm$ 6,70 ^f	1,10 $\pm$ 0,00 ^c	0,38 $\pm$ 0,01 ^c
'Božićnica'	<LOD	0,27 $\pm$ 0,01 ^d	1101,82 $\pm$ 2,08 ^f	3,33 $\pm$ 0,01 ^g	0,37 $\pm$ 0,00 ^c
'Winter Banana'	<LOD	0,12 $\pm$ 0,01 ^{a,b}	1395,46 $\pm$ 11,59 ^h	1,71 $\pm$ 0,02 ^c	0,06 $\pm$ 0,01 ^a
'Jonagold'	0,43 $\pm$ 0,08 ^b	0,17 $\pm$ 0,02 ^{b,c}	747,28 $\pm$ 2,32 ^d	1,13 $\pm$ 0,01 ^c	0,10 $\pm$ 0,00 ^{a,b}
'Idared'	0,20 $\pm$ 0,02 ^a	0,44 $\pm$ 0,02 ^e	640,61 $\pm$ 1,48 ^c	1,10 $\pm$ 0,01 ^c	0,19 $\pm$ 0,01 ^b
'Golden Delicious'	<LOD	0,19 $\pm$ 0,02 ^c	566,82 $\pm$ 0,78 ^b	2,20 $\pm$ 0,01 ^f	0,15 $\pm$ 0,00 ^b
'Fuji'	0,78 $\pm$ 0,05 ^c	0,18 $\pm$ 0,04 ^c	830,70 $\pm$ 3,09 ^e	0,55 $\pm$ 0,01 ^a	0,08 $\pm$ 0,00 ^a
'Granny Smith'	4,28 $\pm$ 1,26 ^d	0,08 $\pm$ 0,00 ^a	170,64 $\pm$ 2,72 ^a	0,55 $\pm$ 0,00 ^a	0,09 $\pm$ 0,02 ^a

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-h) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Raznolika obojenost kore jabuke prvenstveno se pripisuje prisutnosti antocijanina. Osim antocijanina, na boju kore jabuke utječu i klorofili te karotenoidi (Delgado-Pelayo *i sur.*, 2014). Na primjer, razvoj crvene boje kod sorte 'Royal Gala' nije isključivo posljedica nakupljanja antocijana tijekom zrenja, već je povezan i sa značajnom degradacijom klorofila (Fernández-Cancelo *i sur.* 2025.). Kora jabuke sadrži pet glavnih antocijanin, uključujući cijanidin-3-galaktozid, cijanidin-D-ksilozid, cijanidin-3-rutinozid, cijanidin-3-arabinozid i cijanidin-3-glukozid. Među njima je cijanidin-3-galaktozid najzastupljeniji te čini više od 85 % ukupnog udjela antocijanina (Honda i Moriya 2018.). Dobiveni rezultati trogodišnjeg istraživanja potvrđuju najveću prisutnost cijanidin-3-galaktozida u analiziranim sortama jabuka (**Tablica 65-73**). Kao i kod flavonola, najveći udio antocijanina zabilježen je tijekom 2021. godine, što se može povezati s povoljnim, sunčanim vremenskim uvjetima.

Tablica 65 Udio antocijana ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon berbe, 2021. godina

Nakon berbe	cijanidin-3-galaktozid	cijanidin-3-glukozid klorid	pelargonidin-3-glukozid
'Zelenika'	<LOD	<LOD	<LOD
'Bobovec'	62,58 $\pm$ 0,90 ^c	0,61 $\pm$ 0,03 ^b	<LOD
'Kanadska Reneta'	<LOD	<LOD	<LOD
'Božićnica'	126,88 $\pm$ 0,65 ^d	0,80 $\pm$ 0,03 ^c	<LOD
'Winter Banana'	8,07 $\pm$ 2,62 ^a	<LOD	<LOD
'Jonagold'	141,48 $\pm$ 2,45 ^c	1,04 $\pm$ 0,05 ^d	7,41 $\pm$ 0,08
'Idared'	3,70 $\pm$ 0,77 ^a	<LOD	<LOD
'Golden Delicious'	<LOD	<LOD	<LOD
'Fuji'	18,34 $\pm$ 1,03 ^b	0,36 $\pm$ 0,02 ^a	<LOD
'Granny Smith'	<LOD	<LOD	<LOD

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-e) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 66 Udio antocijana ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon tri mjeseca skladištenja, 2021. godina

Nakon tri mjeseca	cijanidin-3-galaktozid	cijanidin-3-glukozid klorid	pelargonidin-3-glukozid
'Zelenika'	<LOD	<LOD	<LOD
'Bobovec'	61,36 $\pm$ 1,60 ^c	0,73 $\pm$ 0,03 ^b	<LOD
'Kanadska Reneta'	<LOD	<LOD	<LOD
'Božićnica'	132,65 $\pm$ 0,25 ^d	0,91 $\pm$ 0,01 ^c	<LOD
'Winter Banana'	18,01 $\pm$ 0,12 ^a	<LOD	<LOD
'Jonagold'	223,72 $\pm$ 0,11 ^c	1,59 $\pm$ 0,10 ^d	12,06 $\pm$ 0,12
'Idared'	13,54 $\pm$ 1,72 ^a	<LOD	<LOD
'Golden Delicious'	<LOD	<LOD	<LOD
'Fuji'	30,32 $\pm$ 0,53 ^b	0,32 $\pm$ 0,01 ^a	<LOD
'Granny Smith'	<LOD	<LOD	<LOD

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-e) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 67 Udio antocijana ($\mu\text{g/g}$)a u odabranim sortama jabuka nakon šest mjeseci skladištenja, 2021. godina

Nakon šest mjeseci	cijanidin-3-galaktozid	cijanidin-3-glukozid klorid	pelargonidin-3-glukozid
'Zelenika'	<LOD	<LOD	<LOD
'Bobovec'	$80,28 \pm 0,87\text{b}$	$0,87 \pm 0,05\text{b}$	<LOD
'Kanadska Reneta'	<LOD	<LOD	<LOD
'Božićnica'	$174,42 \pm 1,73\text{c}$	$1,70 \pm 0,11\text{c}$	<LOD
'Winter Banana'	$8,90 \pm 0,84\text{a}$	<LOD	<LOD
'Jonagold'	$276,10 \pm 12,75\text{d}$	$2,14 \pm 0,03\text{d}$	$16,56 \pm 0,05$
'Idared'	$20,54 \pm 2,14\text{a}$	<LOD	<LOD
'Golden Delicious'	<LOD	<LOD	<LOD
'Fuji'	$12,72 \pm 0,88\text{a}$	$0,23 \pm 0,03\text{a}$	<LOD
'Granny Smith'	<LOD	<LOD	<LOD

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-d) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Najveći udio cijanidin-3-galaktozida tijekom trogodišnjeg istraživanja utvrđen je u komercijalnoj sorti 'Jonagold' ($276,10 \pm 12,75 \mu\text{g/g}$), dok je među tradicionalnim sortama jabuka najveći udio zabilježen kod sorte 'Božićnica' ($174,42 \pm 1,73 \mu\text{g/g}$). Najveći udio cijanidin-3-glukozid klorida i pelargonidin-3-glukozida tijekom trogodišnjeg istraživanja također je utvrđen kod sorte 'Jonagold' ($2,14 \pm 0,03$; $16,56 \pm 0,05 \mu\text{g/g}$). Suprotno tome, najniži udio antocijanina imale su sorte koje nemaju crvenu koru. Tijekom skladištenja zabilježen je blagi porast ili pad udjela antocijanina, ovisno o sorti. Svjetlost je jedan od najvažnijih čimbenika koji potiče akumulaciju antocijanina (Ju i sur. 1999.). Prema istraživanju Ubi i sur. (2006), umjereno niska temperatura u kombinaciji sa svjetlom može održavati ili povećavati udio antocijanina nakon berbe. Reyes i Cisneros-Zevallos, (2007), utvrdili su da viši pH ubrzava razgradnju antocijanina. Također, ključni hormon u zrenju ploda jabuka, etilen, potiče sintezu antocijanina (Whale i Singh 2007.). Prema istraživanju Arnold i Gramza-Michalowska (2024), udio flavonola u sortama jabuka s crvenom korom bio je niži u odnosu na ostale sorte. Navedeno može biti posljedica kompetitivne sinteze između antocijanina i proantocijanidina unutar

flavonoidnog biosintetskog puta. Zbog kompetitivne interakcije supstrata između enzima antocijanidin reduktaze i antocijanidin sintaze, može doći do smanjenog udjela flavanola i proantocijanidina u sortama s crvenom korom, koje stoga pokazuju veći udio antocijanina u odnosu na ostale sorte. Dobiveni rezultati u skladu su s navedenim istraživanjem, budući da je komercijalna sorta 'Jonagold', koja je imala najveći udio antocijanina, ujedno pokazala i najniži udio flavanola.

Tablica 68 Udio antocijana ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon berbe, 2022. godina

Nakon berbe	cijanidin-3-galaktozid	cijanidin-3-glukozid klorid	pelargonidin-3-glukozid
'Zelenika'	<LOD	<LOD	<LOD
'Bobovec'	33,72 $\pm$ 1,31 ^b	<LOD	<LOD
'Kanadska Reneta'	<LOD	<LOD	<LOD
'Božićnica'	74,15 $\pm$ 0,40 ^c	0,73 $\pm$ 0,01 ^b	1,50 $\pm$ 0,08 ^b
'Winter Banana'	<LOD	<LOD	<LOD
'Jonagold'	30,36 $\pm$ 0,95 ^b	0,43 $\pm$ 0,02 ^a	1,23 $\pm$ 0,07 ^a
'Idared'	73,97 $\pm$ 0,50 ^c	0,68 $\pm$ 0,03 ^b	3,25 $\pm$ 0,05 ^c
'Golden Delicious'	<LOD	<LOD	<LOD
'Fuji'	18,82 $\pm$ 2,34 ^a	<LOD	<LOD
'Granny Smith'	<LOD	<LOD	<LOD

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-c) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 69 Udio antocijana ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon tri mjeseca skladištenja, 2022. godina

Nakon tri mjeseca	cijanidin-3-galaktozid	cijanidin-3-glukozid klorid	pelargonidin-3-glukozid
'Zelenika'	<LOD	<LOD	<LOD
'Bobovec'	34,32 $\pm$ 5,31 ^b	0,28 $\pm$ 0,02 ^a	1,06 $\pm$ 0,15 ^a
'Kanadska Reneta'	<LOD	<LOD	<LOD
'Božićnica'	72,98 $\pm$ 1,20 ^c	0,60 $\pm$ 0,02 ^c	<LOD
'Winter Banana'	<LOD	<LOD	<LOD
'Jonagold'	70,64 $\pm$ 2,17 ^c	0,40 $\pm$ 0,03 ^b	<LOD
'Idared'	97,17 $\pm$ 1,19 ^d	0,74 $\pm$ 0,03 ^d	3,12 $\pm$ 0,07 ^b
'Golden Delicious'	<LOD	<LOD	<LOD
'Fuji'	13,07 $\pm$ 2,67 ^a	0,24 $\pm$ 0,02 ^a	<LOD
'Granny Smith'	<LOD	<LOD	<LOD

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-d) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 70 Udio antocijana ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon šest mjeseci skladištenja, 2022. godina

Nakon šest mjeseci	cijanidin-3-galaktozid	cijanidin-3-glukozid klorid	pelargonidin-3-glukozid
'Zelenika'	<LOD	<LOD	<LOD
'Bobovec'	63,35 $\pm$ 0,57 ^c	0,18 $\pm$ 0,03 ^a	7,60 $\pm$ 0,20 ^c
'Kanadska Reneta'	<LOD	<LOD	<LOD
'Božićnica'	139,41 $\pm$ 0,19 ^d	1,11 $\pm$ 0,02 ^d	1,43 $\pm$ 0,05 ^a
'Winter Banana'	<LOD	<LOD	<LOD
'Jonagold'	46,66 $\pm$ 0,45 ^b	0,31 $\pm$ 0,01 ^b	1,49 $\pm$ 0,03 ^a
'Idared'	65,28 $\pm$ 0,57 ^c	0,77 $\pm$ 0,07 ^c	2,40 $\pm$ 0,01 ^b
'Golden Delicious'	<LOD	<LOD	<LOD
'Fuji'	24,43 $\pm$ 0,95 ^a	<LOD	<LOD
'Granny Smith'	<LOD	<LOD	<LOD

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-d) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 71 Udio antocijana ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon berbe, 2023. godina

Nakon berbe	cijanidin-3-galaktozid	cijanidin-3-glukozid klorid	pelargonidin-3-glukozid
'Zelenika'	<LOD	<LOD	<LOD
'Bobovec'	$4,05 \pm 0,48^a$	<LOD	LOD
'Kanadska Reneta'	<LOD	<LOD	<LOD
'Božićnica'	$10,36 \pm 0,07^a$	$0,22 \pm 0,02^a$	$0,27 \pm 0,05^a$
'Winter Banana'	<LOD	<LOD	<LOD
'Jonagold'	$129,77 \pm 1,67^c$	$1,11 \pm 0,03^c$	$2,59 \pm 0,09^c$
'Idared'	$28,01 \pm 0,44^b$	$0,44 \pm 0,01^b$	$1,50 \pm 0,12^b$
'Golden Delicious'	<LOD	<LOD	<LOD
'Fuji'	$24,53 \pm 0,40^b$	$0,25 \pm 0,03^a$	<LOD
'Granny Smith'	<LOD	<LOD	<LOD

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-c) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 72 Udio antocijana ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon tri mjeseca skladištenja, 2023. godina

Nakon tri mjeseca	cijanidin-3-galaktozid	cijanidin-3-glukozid klorid	pelargonidin-3-glukozid
'Zelenika'	<LOD	<LOD	<LOD
'Bobovec'	4,07 ± 0,15 ^a	<LOD	<LOD
'Kanadska Reneta'	<LOD	<LOD	<LOD
'Božićnica'	6,71 ± 0,35 ^b	<LOD	0,30 ± 0,03 ^a
'Winter Banana'	<LOD	<LOD	<LOD
'Jonagold'	39,88 ± 0,72 ^d	0,41 ± 0,03 ^b	0,86 ± 0,11 ^b
'Idared'	47,83 ± 0,01 ^c	0,56 ± 0,01 ^c	3,03 ± 0,04 ^c
'Golden Delicious'	<LOD	<LOD	<LOD
'Fuji'	17,37 ± 0,43 ^c	0,26 ± 0,04 ^a	<LOD
'Granny Smith'	<LOD	<LOD	<LOD

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-e) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 73 Udio antocijana ($\mu\text{g/g}$)^a u odabranim sortama jabuka nakon šest mjeseci skladištenja, 2023. godina

Nakon tri mjeseca	cijanidin-3-galaktozid	cijanidin-3-glukozid klorid	pelargonidin-3-glukozid
'Zelenika'	<LOD	<LOD	<LOD
'Bobovec'	5,65 ± 0,02 ^a	<LOD	<LOD
'Kanadska Reneta'	<LOD	<LOD	<LOD
'Božićnica'	6,89 ± 0,16 ^a	<LOD	0,39 ± 0,01 ^a
'Winter Banana'	<LOD	<LOD	<LOD
'Jonagold'	119,49 ± 0,54 ^c	1,30 ± 0,04 ^c	6,63 ± 0,04 ^c
'Idared'	40,51 ± 0,09 ^b	0,46 ± 0,03 ^b	2,63 ± 0,11 ^b
'Golden Delicious'	<LOD	<LOD	<LOD
'Fuji'	5,12 ± 1,10 ^a	0,12 ± 0,02 ^a	<LOD
'Granny Smith'	<LOD	<LOD	<LOD

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD); <LOD: limit detekcije

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-c) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

4.14. Antioksidacijska aktivnost odabranih sorti jabuka

Antioksidansi pomažu u neutralizaciji štetnih slobodnih radikala u organizmu, čime smanjuju oksidativni stres i potencijalno rizik od razvoja kroničnih bolesti (Cvetković i sur. 2024.). Prema istraživanju Kschonsek i sur. (2018), glavni antioksidansi prisutni u jabukama su klorogenska kiselina, epikatehin, kvercetin, procijanidin B2 te floretin. Razlike u sadržaju polifenolnih spojeva, ukupnih antioksidansa, šećera i organskih kiselina između različitih sorti jabuka mogu biti izrazito raznolike, što je posljedica genetskih čimbenika, uvjeti uzgoja te načina rukovanja i skladištenja nakon berbe (Cvetković i sur., 2024). U **Tablici 74 i 77** prikazani su rezultati antioksidacijske aktivnosti odabranih sorti jabuka tijekom 2021. godine, određene DPPH i ABTS metodama. Tradicionalne sorte jabuka pokazale su statistički značajno veću antioksidacijsku aktivnost u usporedbi s komercijalnim sortama ($p < 0,05$). Najviša antioksidacijska aktivnost tijekom skladištenja u 2021. i 2022. godini zabilježena je kod sorte 'Božićnica', prema rezultatima dobivenima primjenom DPPH metode (**Tablica 74-75**). Tradicionalna sorta 'Božićnica' ujedno je imala i najveći udio katehina, epikatehina, procijanidina B1 i A2 te kvercetin-3-D-glukozida. Suprotno tome, najniža antioksidacijska aktivnost u 2021. godini zabilježena je kod sorte 'Idared', dok je u 2022. godini najniža vrijednost zabilježena kod sorte 'Fuji'. Tijekom 2021. godine, kod sorte 'Idared', utvrđen je najniži udio kvercetin-3-rutinozida, kvercetin-3-D-glukozida, katehina, epikatehina te floridzina, dok je tijekom 2022. godine kod sorte 'Fuji' utvrđen najniži udio kofeinske kiseline, procijanidina B1 i B, floridzina, kvercetina te kvercetin-3-D-glukozida. Dobiveni rezultati u skladu su s istraživanjem Kschonsek i sur. (2018), prema kojem tradicionalne sorte jabuka, poput 'Oldenburger', pokazuju značajno veću antioksidacijsku aktivnost u odnosu na komercijalne sorte, poput 'Golden Delicious'. Prema istraživanju Panzella i sur. (2013), utvrđena je pozitivna korelacija između antioksidacijske aktivnosti određene DPPH metode i koncentracije ukupnih polifenola ($r = 0,79$). Dobiveni rezultati potvrđuju navedeno, odnosno tijekom 2021. godine najveću antioksidacijsku aktivnost i udio ukupnih polifenola utvrđeni su kod sorte 'Božićnica'. Suprotno tome, najniža antioksidacijska aktivnost i ujedno najmanji udio ukupnih polifenola zabilježeni su kod sorte 'Idared'. Tijekom 2022. godine najniža antioksidacijska aktivnost, kao i najmanji udio ukupnih polifenola, utvrđeni su kod sorte 'Fuji'. Tijekom 2023. godine najveća antioksidacijska aktivnost neposredno nakon berbe utvrđena je kod sorte 'Winter Banana', dok je nakon tri i šest mjeseci skladištenja najveća vrijednost zabilježena kod sorte 'Bobovec' (**Tablica 76**). Tradicionalna sorta jabuka 'Winter Banana'

neposredno nakon berbe u 2023. godini imala je i najveći udio floridzina, kvercetin-3-D-glukozida, klorogenske kiseline i ukupnih polifenola. Nakon tri i šest mjeseci skladištenja sorta 'Bobovec' imala najveći udio ukupnih polifenola i flavonoida, epigalokatehina, epikatehina, klorogenske kiseline, procijanidina B2, kvercetin-3-D-glukozida te kvercetin-3-rutinozida. Suprotno tome, najniža antioksidacijska aktivnost neposredno nakon berbe utvrđen je kod sorte 'Jonagold', dok je nakon tri i nakon šest mjeseci skladištenja najniža vrijednost utvrđena kod sorte 'Fuji'.

Tablica 74 Antioksidacijska aktivnost plodova odabranih sorti jabuka određena primjenom DPPH metode (mmol TE/kg)^a, 2021. godina

<i>mjesec skladištenja</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>6</i>
'Zelenika'	0,455 ± 0,04 ^b	0,616 ± 0,00 ^{e,f}	0,629 ± 0,01 ^c
'Bobovec'	0,557 ± 0,00 ^c	0,610 ± 0,00 ^c	0,692 ± 0,00 ^{d,e}
'Kanadska Reneta'	0,561 ± 0,00 ^c	0,595 ± 0,01 ^d	0,705 ± 0,00 ^c
'Božićnica'	0,581 ± 0,00 ^c	0,619 ± 0,00 ^f	0,712 ± 0,00 ^c
'Winter Banana'	0,514 ± 0,02 ^c	0,599 ± 0,00 ^d	0,703 ± 0,00 ^c
'Jonagold'	0,389 ± 0,05 ^a	0,528 ± 0,00 ^a	0,591 ± 0,02 ^b
'Idared'	0,350 ± 0,04 ^a	0,542 ± 0,00 ^b	0,529 ± 0,03 ^a
'Golden Delicious'	0,465 ± 0,01 ^b	0,596 ± 0,00 ^d	0,610 ± 0,01 ^{b,c}
'Fuji'	0,442 ± 0,02 ^b	0,608 ± 0,00 ^c	0,673 ± 0,02 ^d
'Granny Smith'	0,447 ± 0,01 ^b	0,561 ± 0,01 ^c	0,685 ± 0,00 ^d

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-f) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 75 Antioksidacijska aktivnost plodova odabranih sorti jabuka određena primjenom DPPH metode (mmol TE/kg)^a, 2022. godina

mjesec skladištenja	0	3	6
'Zelenika'	0,330 ± 0,00 ^c	0,538 ± 0,02 ^b	0,332 ± 0,01 ^b
'Bobovec'	0,356 ± 0,00 ^d	0,654 ± 0,13 ^{c,d}	0,346 ± 0,01 ^{b,c}
'Kanadska Reneta'	0,363 ± 0,01 ^d	0,684 ± 0,08 ^{c,d}	0,324 ± 0,02 ^b
'Božićnica'	0,370 ± 0,00 ^d	0,717 ± 0,07 ^d	0,364 ± 0,00 ^c
'Winter Banana'	0,333 ± 0,00 ^c	0,475 ± 0,02 ^b	0,276 ± 0,01 ^a
'Jonagold'	0,295 ± 0,01 ^b	0,482 ± 0,09 ^b	0,250 ± 0,00 ^a
'Idared'	0,270 ± 0,00 ^a	0,459 ± 0,02 ^b	0,269 ± 0,01 ^a
'Golden Delicious'	0,318 ± 0,00 ^c	0,414 ± 0,01 ^{a,b}	0,286 ± 0,01 ^a
'Fuji'	0,267 ± 0,01 ^a	0,320 ± 0,11 ^a	0,292 ± 0,02 ^b
'Granny Smith'	0,272 ± 0,02 ^a	0,312 ± 0,04 ^a	0,210 ± 0,01 ^a

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-d) su statistički značajno različite (p < 0,05) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 76 Antioksidacijska aktivnost plodova odabranih sorti jabuka određena primjenom DPPH metode (mmol TE/kg)^a, 2023. godina

mjesec skladištenja	0	3	6
'Zelenika'	0,776 ± 0,05 ^c	0,907 ± 0,04 ^c	1,018 ± 0,02 ^c
'Bobovec'	1,024 ± 0,04 ^c	1,437 ± 0,05 ^c	1,403 ± 0,02 ^c
'Kanadska Reneta'	0,934 ± 0,01 ^d	0,928 ± 0,03 ^c	1,181 ± 0,02 ^d
'Božićnica'	0,709 ± 0,04 ^b	1,058 ± 0,04 ^d	1,139 ± 0,02 ^d
'Winter Banana'	1,124 ± 0,06 ^f	0,762 ± 0,08 ^b	0,756 ± 0,02 ^a
'Jonagold'	0,606 ± 0,03 ^a	0,591 ± 0,03 ^a	0,837 ± 0,03 ^b
'Idared'	0,667 ± 0,03 ^b	0,678 ± 0,02 ^b	1,194 ± 0,07 ^d
'Golden Delicious'	0,678 ± 0,05 ^b	0,629 ± 0,11 ^a	1,103 ± 0,02 ^c
'Fuji'	0,678 ± 0,05 ^b	0,542 ± 0,03 ^a	0,803 ± 0,02 ^{a,b}
'Granny Smith'	0,727 ± 0,03 ^{b,c}	0,717 ± 0,06 ^b	0,999 ± 0,01 ^c

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-f) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Dosadašnja istraživanja utvrdila su pozitivne korelacije između ABTS i DPPH metoda (Sawicka i sur. 2023.). U **Tablicama 77-79** prikazani su rezultati antioksidacijske aktivnosti odabranih sorti jabuka tijekom skladištenja, dobiveni primjenom ABTS metode. Dobiveni rezultati u skladu su s onima dobivenima DPPH metodom, odnosno najveća antioksidacijska aktivnost tijekom 2021. i 2022. godine utvrđena je kod tradicionalne sorte jabuka 'Božićnica'. Tijekom 2023. godine najveća antioksidacijska aktivnost neposredno nakon berbe i nakon tri mjeseca skladištenja utvrđena je kod sorte 'Bobovec', dok je nakon šest mjeseci skladištenja najveća vrijednost zabilježena kod sorte 'Božićnica'. Suprotno tome, najniža antioksidacijska aktivnost tijekom 2023. godine tvrdjena je kod sorti 'Idared' i 'Fuji'. Iz dobivenih rezultata može se uočiti da su vrijednosti antioksidacijske aktivnosti određene primjenom ABTS metode znatno veće od vrijednosti dobivenih DPPH metode. Razlika u prirodi primijenjenih radikala pri određivanju antioksidacijske aktivnosti mogu biti uzrok uočenih odstupanja između navedenih metoda. Naime, slično kao i $ABTS^{*+}$, DPPH radikal reagira i s elektronima i s H-donorima, no reakcija se odvija sporije, zbog čega DPPH radikal može podcijeniti prisutnost brzo reaktivnih spojeva. Osim toga, DPPH radikal pokazuje veću selektivnost u reakcijama s H-donorima u usporedbi s $ABTS^{*+}$ radikalom.

Tablica 77 Antioksidacijska aktivnost plodova odabranih sorti jabuka određena primjenom ABTS metode (mmol TE/kg)^a, 2021. godina

mjesec skladištenja	0	3	6
'Zelenika'	1,182 ± 0,03 ^e	1,043 ± 0,05 ^a	1,117 ± 0,04 ^d
'Bobovec'	1,705 ± 0,03 ^g	1,519 ± 0,01 ^d	2,004 ± 0,04 ^h
'Kanadska Reneta'	1,794 ± 0,01 ^h	1,654 ± 0,06 ^e	1,648 ± 0,05 ^g
'Božićnica'	1,938 ± 0,01 ⁱ	1,692 ± 0,01 ^e	2,028 ± 0,01 ^h
'Winter Banana'	1,118 ± 0,04 ^d	1,157 ± 0,03 ^b	1,301 ± 0,03 ^c
'Jonagold'	0,636 ± 0,00 ^b	1,207 ± 0,01 ^b	1,019 ± 0,02 ^c
'Idared'	0,554 ± 0,02 ^a	1,040 ± 0,03 ^a	0,671 ± 0,02 ^a
'Golden Delicious'	0,811 ± 0,03 ^c	1,159 ± 0,04 ^b	0,728 ± 0,06 ^a
'Fuji'	0,775 ± 0,01 ^c	1,325 ± 0,05 ^c	0,915 ± 0,02 ^b
'Granny Smith'	1,487 ± 0,04 ^f	1,628 ± 0,04 ^c	1,517 ± 0,02 ^f

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-i) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 78 Antioksidacijska aktivnost plodova odabranih sorti jabuka određena primjenom ABTS metode (mmol TE/kg)^a, 2022. godina

mjesec skladištenja	0	3	6
'Zelenika'	1,169 ± 0,01 ^d	0,437 ± 0,04 ^a	0,408 ± 0,04 ^b
'Bobovec'	1,155 ± 0,06 ^d	0,492 ± 0,04 ^a	0,486 ± 0,06 ^b
'Kanadska Reneta'	1,183 ± 0,01 ^d	0,580 ± 0,05 ^b	0,425 ± 0,05 ^b
'Božićnica'	1,180 ± 0,00 ^d	0,620 ± 0,05 ^b	0,548 ± 0,01 ^c
'Winter Banana'	0,889 ± 0,04 ^c	0,765 ± 0,05 ^c	0,181 ± 0,02 ^a
'Jonagold'	0,761 ± 0,01 ^b	0,756 ± 0,02 ^c	0,240 ± 0,01 ^a
'Idared'	0,833 ± 0,04 ^c	0,903 ± 0,10 ^d	0,265 ± 0,05 ^a
'Golden Delicious'	0,801 ± 0,02 ^{b,c}	0,552 ± 0,04 ^{a,b}	0,193 ± 0,03 ^a
'Fuji'	0,695 ± 0,01 ^a	0,629 ± 0,03 ^b	0,379 ± 0,04 ^b
'Granny Smith'	0,879 ± 0,04 ^c	0,770 ± 0,19 ^c	0,303 ± 0,13 ^a

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-d) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 79 Antioksidacijska aktivnost plodova odabranih sorti jabuka određena primjenom ABTS metode (mmol TE/kg)^a, 2023. godina

mjesec skladištenja	0	3	6
'Zelenika'	0,895 ± 0,03 ^c	0,370 ± 0,01 ^f	0,315 ± 0,00 ^c
'Bobovec'	1,136 ± 0,06 ^c	0,394 ± 0,00 ^g	0,360 ± 0,00 ^c
'Kanadska Reneta'	1,003 ± 0,02 ^d	0,340 ± 0,00 ^e	0,364 ± 0,01 ^c
'Božićnica'	0,718 ± 0,03 ^b	0,364 ± 0,00 ^f	0,374 ± 0,01 ^d
'Winter Banana'	0,898 ± 0,04 ^c	0,241 ± 0,00 ^d	0,252 ± 0,01 ^a
'Jonagold'	0,561 ± 0,04 ^a	0,203 ± 0,00 ^b	0,287 ± 0,00 ^b
'Idared'	0,567 ± 0,02 ^a	0,202 ± 0,00 ^b	0,356 ± 0,00 ^c
'Golden Delicious'	0,768 ± 0,02 ^b	0,214 ± 0,00 ^c	0,306 ± 0,00 ^{b,c}
'Fuji'	0,560 ± 0,03 ^a	0,161 ± 0,01 ^a	0,287 ± 0,01 ^b
'Granny Smith'	0,560 ± 0,03 ^a	0,246 ± 0,00 ^d	0,334 ± 0,00 ^c

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD)

Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-g) su statistički značajno različite ($p < 0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Korištenje nekonvencionalne metode za određivanje antioksidacijske aktivnosti primjenom elektrokemijskog DNA biosenzora pokazalo je nešto drugačiju tendenciju (**Tablica 80-82**). Tijekom 2021. godine najveći relativni postotak preživjele DNA neposredno nakon berbe utvrđeno je kod sorte 'Zelenika', što upućuje na to da navedena sorta vjerojatno posjeduje najveću antioksidacijsku aktivnost u odnosu na ostale ispitane uzorke. Nakon tri i šest mjeseci skladištenja, najveći relativni postotak preživjele DNA utvrđen je kod sorti 'Fuji' i 'Golden Delicious'. Suprotno tome, najniži relativni postotak preživjele DNA neposredno nakon berbe i nakon tri mjeseca skladištenja zabilježen je kod sorte 'Winter Banana', dok je nakon šest mjeseci skladištenja najniža vrijednost utvrđena kod sorte 'Bobovec'. Tijekom 2022. godine najveći relativni postotak preživjele DNA tijekom šest mjeseci skladištenja utvrđen je kod sorte 'Zelenika', dok je najniži postotak zabilježen kod sorte 'Granny Smith'.

Tablica 80 Antioksidacijska aktivnost plodova odabranih sorti jabuka određena primjenom elektrokemijskog DNA biosenzora, 2021. godina

<i>Relativno % preživjele DNA</i>	<i>2021.</i>		
<i>mjesec skladištenja</i>	0	3	6
<i>'Zelenika'</i>	95	84	99
<i>'Bobovec'</i>	50	91	98
<i>'Kanadska Reneta'</i>	71	98	96
<i>'Božićnica'</i>	76	58	72
<i>'Winter Banana'</i>	43	76	86
<i>'Jonagold'</i>	69	74	79
<i>'Idared'</i>	47	70	79
<i>'Golden Delicious'</i>	87	68	80
<i>'Fuji'</i>	53	87	86
<i>'Granny Smith'</i>	75	58	62

Tablica 81 Antioksidacijska aktivnost plodova odabranih sorti jabuka određena primjenom elektrokemijskog DNA biosenzora, 2022. godina

<i>Relativno % preživjele DNA</i>	<i>2022.</i>		
<i>mjesec skladištenja</i>	0	3	6
<i>'Zelenika'</i>	84	89	87
<i>'Bobovec'</i>	90	46	75
<i>'Kanadska Reneta'</i>	98	74	80
<i>'Božićnica'</i>	58	74	69
<i>'Winter Banana'</i>	76	78	78
<i>'Jonagold'</i>	74	79	79
<i>'Idared'</i>	71	79	75
<i>'Golden Delicious'</i>	68	67	68
<i>'Fuji'</i>	87	65	65
<i>'Granny Smith'</i>	58	74	36

Tijekom 2023. godine najveći relativni postotak preživjele DNA neposredno nakon berbe, kao i kod DPPH metode, utvrđen je kod sorte 'Winter Banana', dok je najniža vrijednost utvrđena kod sorte 'Fuji'. Nakon tri i šest mjeseci skladištenja, najveći relativni postotak preživjele DNA utvrđen je kod sorti 'Božićnica' i 'Granny Smith', dok je najmanji relativni postotak preživjele DNA zabilježen kod sorti 'Zelenika' i 'Fuji'.

Tablica 82 Antioksidacijska aktivnost plodova odabranih sorti jabuka određena primjenom elektrokemijskog DNA biosenzora, 2023. godina

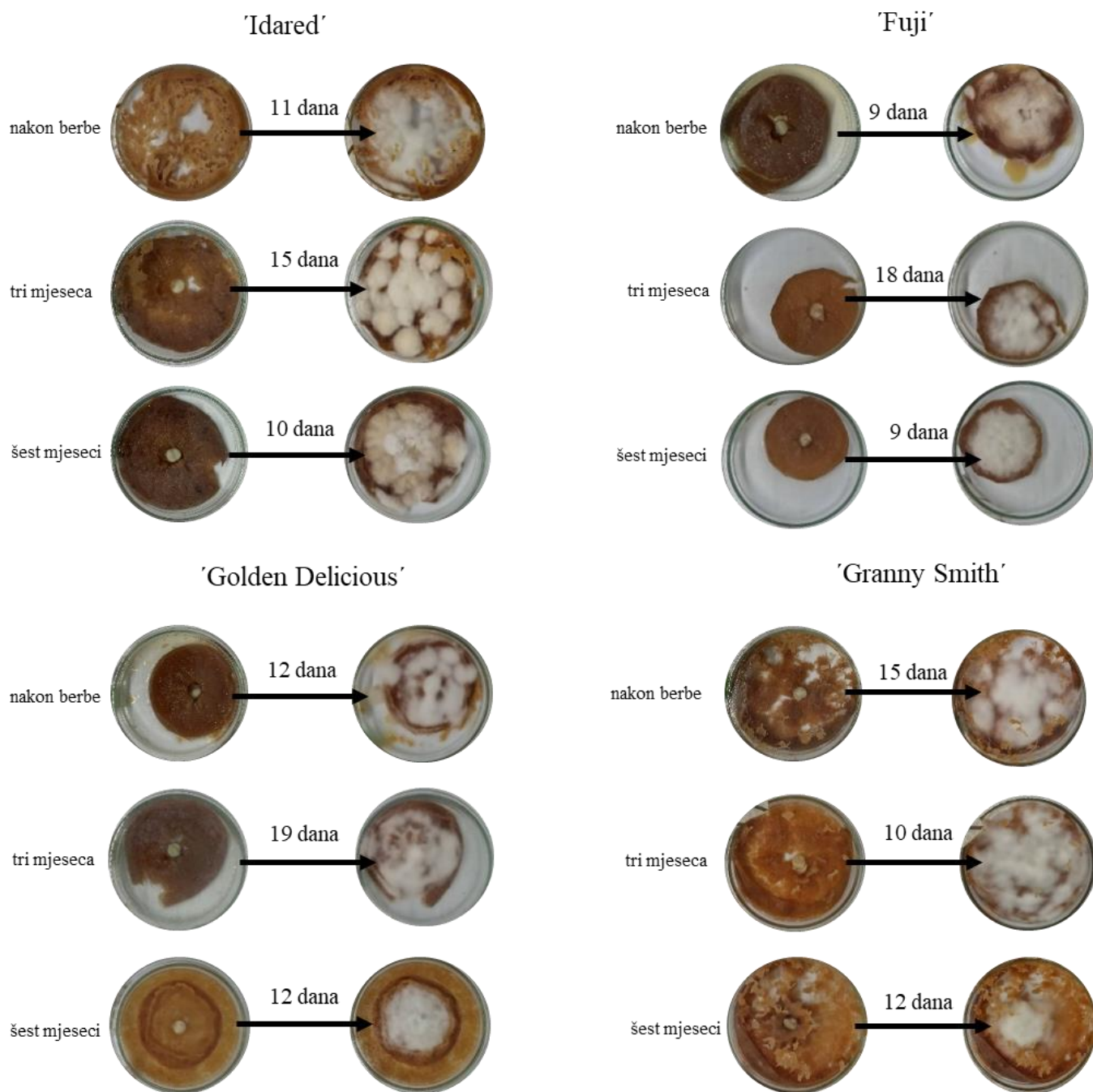
<i>Relativno % preživjele DNA</i>	<i>2023.</i>		
<i>mjesec skladištenja</i>	0	3	6
<i>'Zelenika'</i>	64	69	56
<i>'Bobovec'</i>	64	72	62
<i>'Kanadska Reneta'</i>	69	78	82
<i>'Božićnica'</i>	73	84	59
<i>'Winter Banana'</i>	83	73	74
<i>'Jonagold'</i>	75	87	73
<i>'Idared'</i>	65	82	76
<i>'Golden Delicious'</i>	83	77	72
<i>'Fuji'</i>	59	82	53
<i>'Granny Smith'</i>	82	84	87

4.15. Otpornost jabuka na infekciju s plijesni *Penicillium expansum*

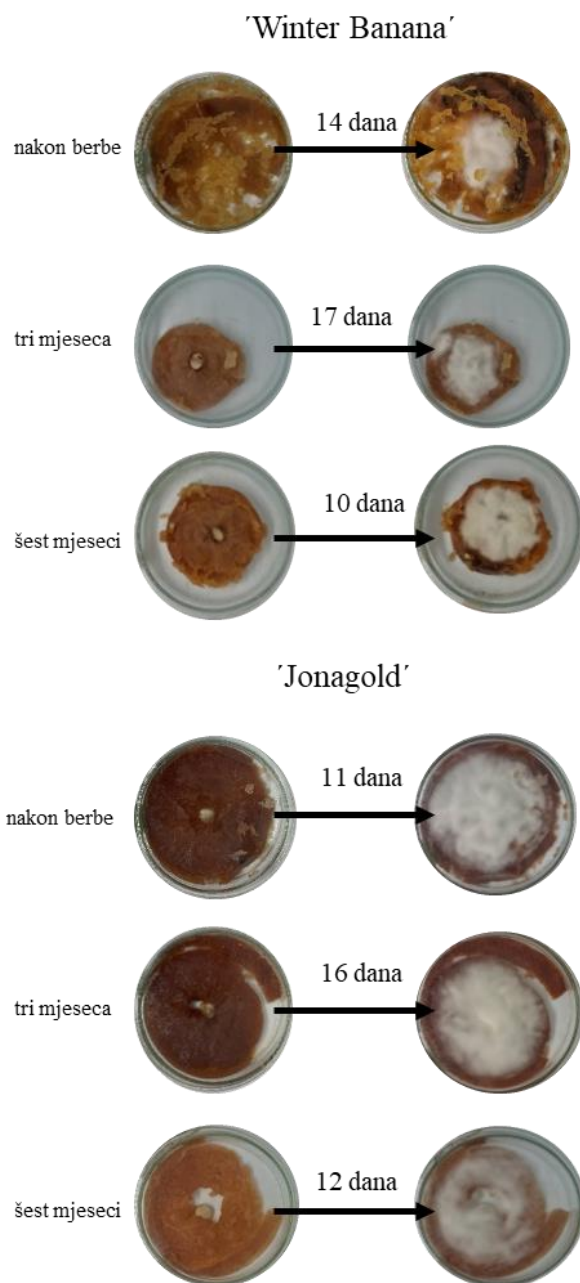
Otpornosti odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *Penicillium expansum* CBS 325.48 ispitivana je neposredno nakon berbe, nakon tri te nakon šest mjeseci skladištenja, tijekom inkubacije sterilnih ploški jabuka pri temperaturi od 29 °C. Vrijeme inkubacije bilježeno je u danima, a uzorci su fotografirani svakih 24 sata. Na **Slikama 54- 56** prikazana je otpornost ispitivanih sorti jabuka tijekom 2021. godine. Sve sorte jabuka pokazale su najveću otpornost na rast plijesni *P. expansum* tijekom trećeg mjeseca skladištenja, što je ujedno razdoblje u kojem je zabilježen i najveći udio ukupnih polifenola i flavonoida. Među tradicionalnim sortama, najveća otpornost zabilježena je kod sorte 'Božićnica' (18 dana), dok je najmanja otpornost utvrđena kod sorti 'Zelenika' i 'Kanadska Reneta' (8 dana). Sorta 'Božićnica' pokazala se i sortom s najvećim udjelom ukupnih kiselina, najmanjim udjelom reducirajućih šećera te najvećim udjelom ukupnih polifenola i flavonoida, katehina i floridzina tijekom 2021. godine. Kod komercijalnih sorti jabuka, najveća otpornost na rast plijesni *P. expansum* zabilježena je kod sorte 'Golden Delicious' (19 dana), dok je najmanja otpornost utvrđena kod sorte 'Fuji' (9 dana). Sorta 'Golden Delicious' imala je najveći udio floridzina te najmanji udio reducirajućih šećera među ispitivanim komercijalnim sortama.



Slika 54 Otpornost odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *P. expansum*, 2021. godine

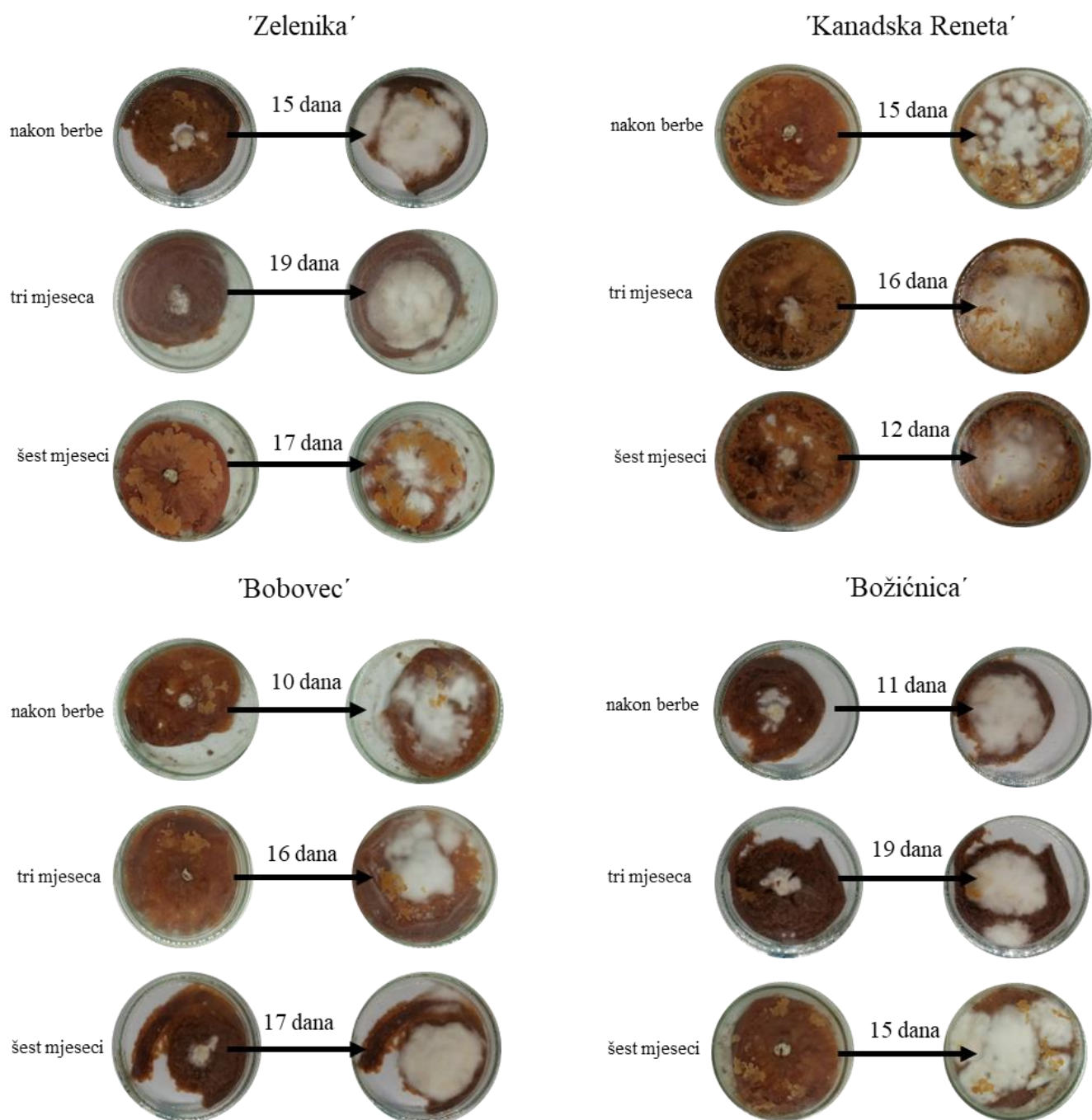


Slika 55 Otpornost odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *P. expansum*, 2021. godine

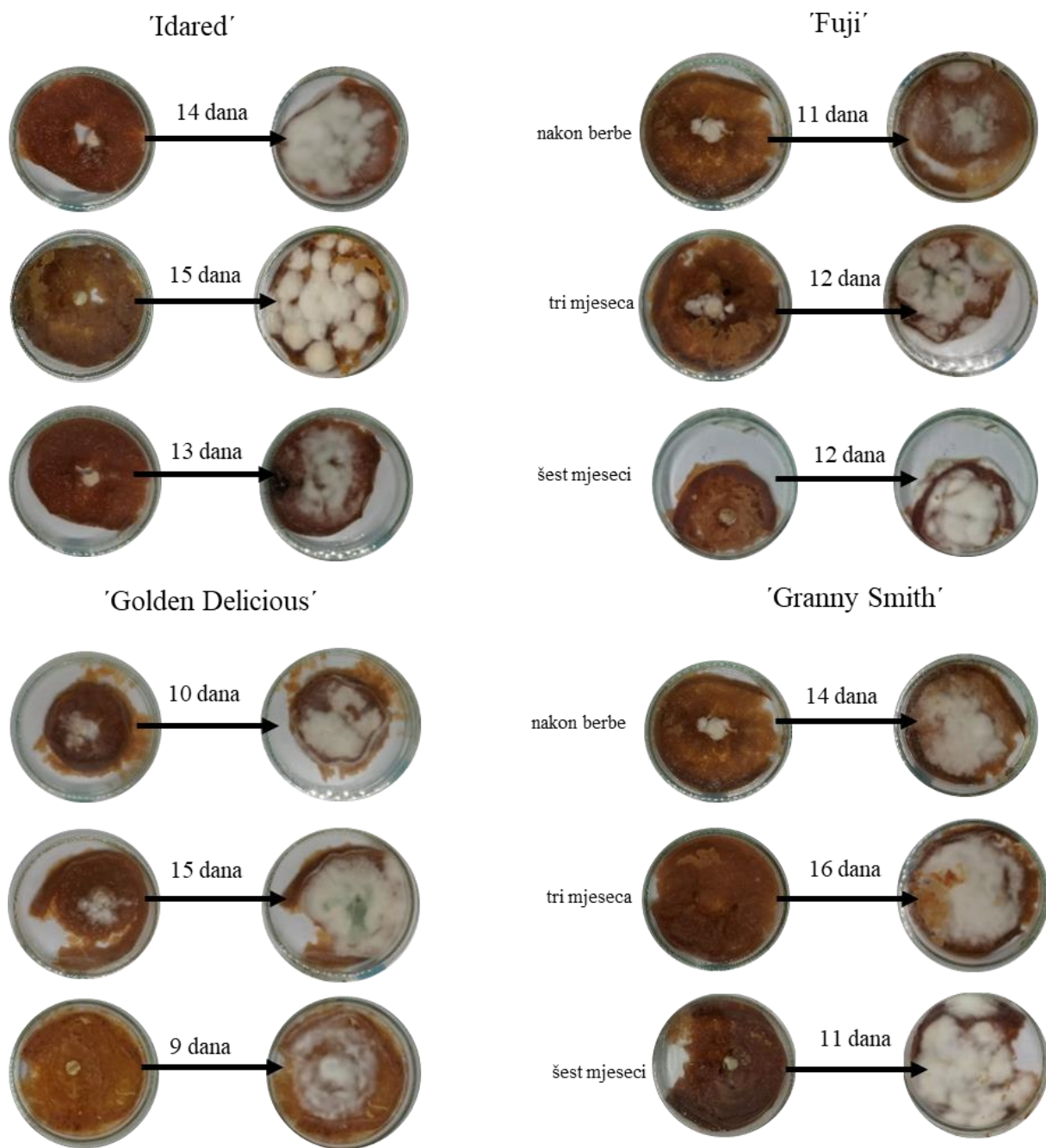


Slika 56 Otpornost odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *P. expansum*, 2021. godine
Tijekom 2022. godine najveća otpornost na rast i razvoj plijesni *P. expansum* zabilježena je kod sorti 'Zelenika' i 'Božićnica' (19 dana). Sličan trend kao i 2021. godine, uočen je i 2022. godine, pri čemu je tijekom trećeg mjeseca skladištenja zabilježena povećana otpornost odabranih sorti jabuka na rast i razvoj plijesni, što je bilo u skladu s povećanjem udjela ukupnih polifenola i flavonoida. Sorta 'Božićnica' ujedno je tijekom 2022. godine imala najveći udio ukupnih polifenola i flavonoida, najmanji udio reducirajućih šećera (zajedno sa sortom 'Zelenikom') te najveći udio procijanidina B1, katehina te epikatehina. Najmanja otpornost na rast i razvoj plijesni *P. expansum* tijekom 2022. godine zabilježena je kod sorte 'Golden Delicious' (9 dana).

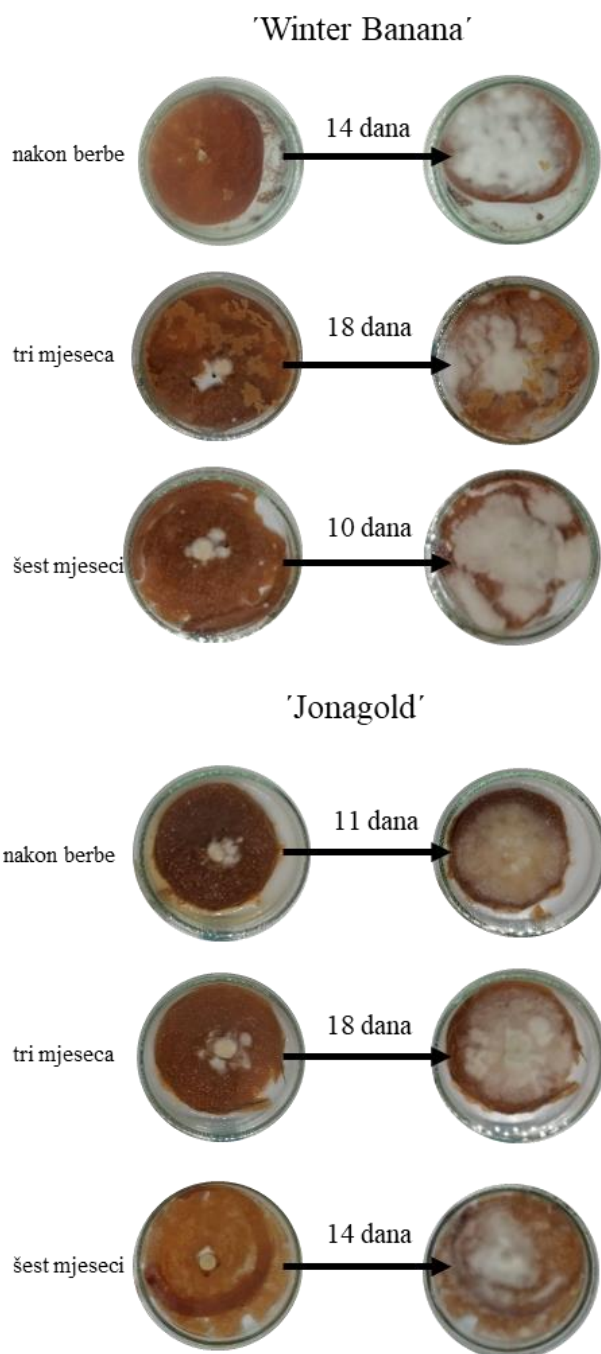
U usporedbi s 2021. godinu, sorta 'Golden Delicious' tijekom 2022. godine imala je najniži udio procijanidina A2, B1 i B2, ukupnih flavonoida i polifenola, dok je zabilježen najveći udio reducirajućih i ukupnih šećera (uz 'Fuji') te najmanji udio ukupnih kiselina.



Slika 57 Otpornost odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *P. expansum*, 2022. godine

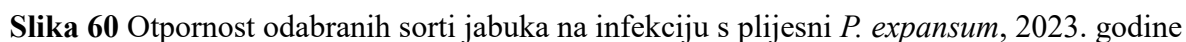


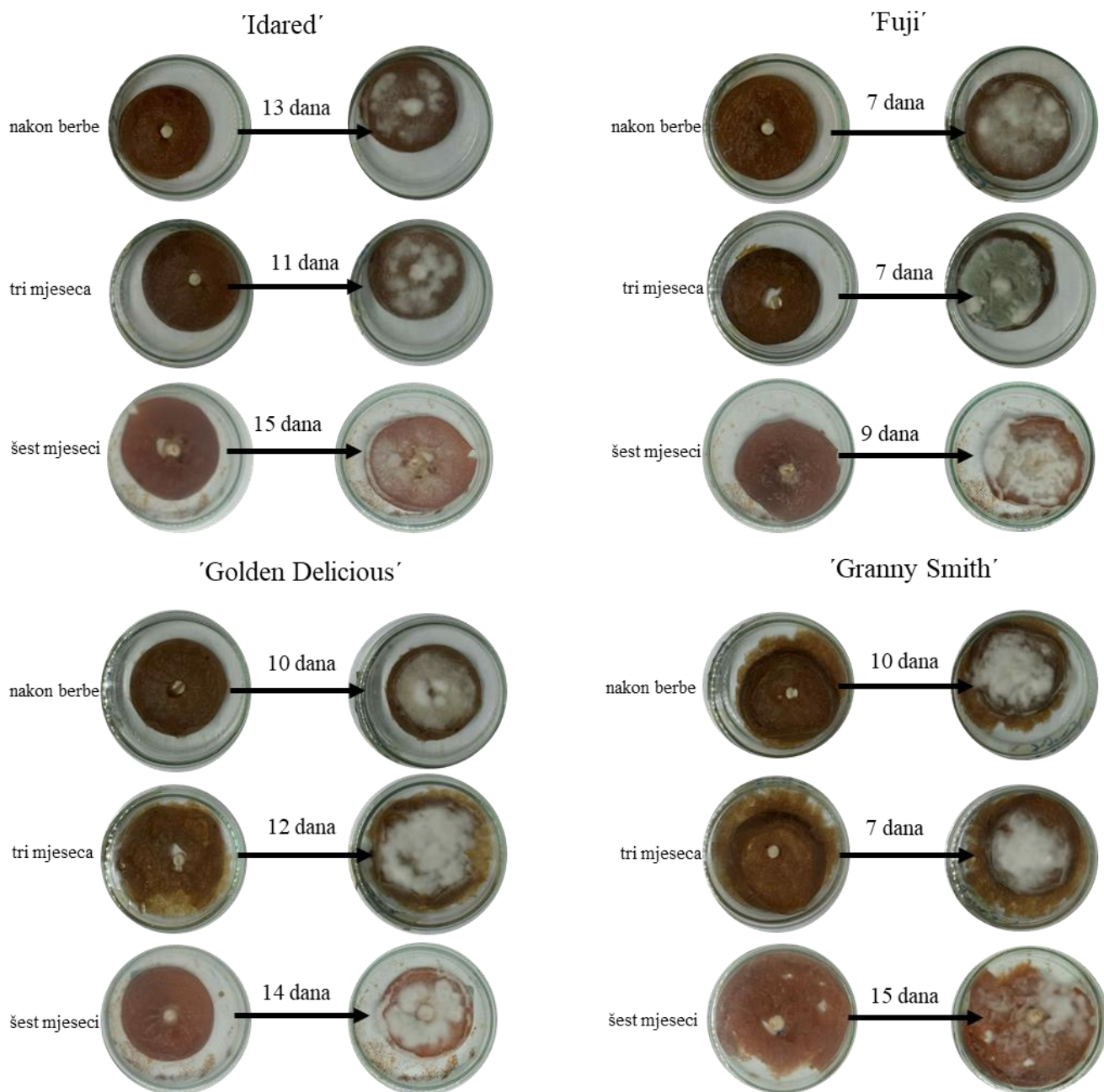
Slika 58 Otpornost odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *P. expansum*, 2022. godine



Slika 59 Otpornost odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *P. expansum*, 2022. godine
Tijekom 2023. godine najveća otpornost na rast i razvoj plijesni *P. expansum* utvrđena je kod sorte 'Božićnica' (16 dana), dok je najmanja otpornost zabilježena kod sorte 'Fuji' (7 dana). Sorta 'Božićnica' tijekom 2023. godine imala je najveći udio ukupnih kiselina, dok je sorta 'Fuji' imala najmanji udio ukupnih kiselina. Nadalje, sorta 'Božićnica' je imala najmanji udio reducirajućih i ukupnih šećera, dok je sorta 'Fuji' imala najveći udio navedenih spojeva. Također, sorta 'Božićnica' tijekom 2023. godine imala je najveći udio ukupnih flavonoida, epigalokatehin, katehina te procijanidin B1. Dobiveni rezultati trogodišnjega istraživanja

'Zelenika' 'Kanadska Reneta'





Slika 61 Otpornost odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *P. expansum*, 2023. godine



Slika 62 Otpornost odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *P. expansum*, 2023. godine

4.16. Skladišna otpornost jabuka na infekciju s plijesni *Penicillium expansum*

Skladišna otpornost odabranih sorti jabuka na infekciju plijesni *Penicillium expansum* CBS 325.48 određena je neposredno nakon berbe te nakon tri i nakon šest mjeseci skladištenja pri temperaturi od 4 °C. S obzirom na to da je *P. expansum* psihrofilna gljiva koja ima sposobnost rasta pri temperaturi od 0 °C, infekcija jabuka navedenom plijesni moguća je i tijekom skladištenja (Morales i sur. 2008.). Jedan od čimbenika koji je povezan s otpornošću jabuka na infekcije s plijesni *P. expansum* jest čvrstoća mesa ploda. Rizik od infekcije raste sa sazrijevanjem i omekšavanjem mesa ploda jabuke (Wei i sur. 2010.). Prema istraživanju Vilanova i sur. (2017), utvrđena je pozitivna korelacija između udjela patulina i čvrstoće ploda jabuke. Na temelju dobivenih rezultata tijekom trogodišnjeg razdoblja istraživanja, najveću čvrstoću kore i mesa ploda jabuke imale su sorte 'Winter Banana', 'Bobovec' i 'Zelenika', dok su najmanju čvrstoću imale sorte 'Idared', 'Jonagold' i 'Fuji'. Na **Slikama 63-65** prikazani su rezultati skladišne otpornosti odabranih sorti jabuka tijekom 2021. godine. Najveća skladišna otpornost neposredno nakon berbe zabilježena je kod sorte 'Kanadska Reneta' (57 dana), dok je najmanja otpornost utvrđena kod sorti 'Fuji' i 'Idared' (40 dana). Nakon tri i nakon šest mjeseci skladištenja najveća skladišna otpornost zabilježena je kod sorte 'Bobovec', koja je ujedno imala i najveću čvrstoću mesa i kore ploda. Suprotno tome, najniža skladišna otpornost utvrđena je kod sorti 'Fuji', 'Golden Delicious', 'Granny Smith', 'Božićnica' te 'Winter Banana'. Tijekom 2021. godine prosječan broj dana potreban da plijesan *P. expansum* inficira jabuku do razine neupotrebljivosti iznosio je 49 dana kod tradicionalnih sorti, a 42 dana kod komercijalnih sorti jabuka. Nadalje, odabrane sorte jabuka pokazale su najmanju otpornost tijekom šestog mjeseca skladištenja, kada je ujedno došlo do smanjenja čvrstoće kore i mesa ploda, aktiviteta vode te ukupnih kiselina. Sličan trend zabilježen je i tijekom 2022. i 2023. godine (**Slika 66-71**). Najveća skladišna otpornost na rast plijesni *P. expansum* tijekom šest mjeseci skladištenja utvrđeno je kod sorte 'Winter Banana'. Suprotno tome, najmanja skladišna otpornost neposredno nakon berbe zabilježena je kod sorte 'Fuji', koja je ujedno imala i najmanju čvrstoću mesa i kore ploda jabuke tijekom promatranog razdoblja. Tijekom 2022. godine prosječan broj dana potreban za infekciju jabuka do razine neupotrebljivosti iznosio je 52 dana kod tradicionalnih, a 50 dana kod komercijalnih sorti jabuka.

'Winter Banana' (53 dana)



'Jonagold' (51 dan)



'Zelenika' (43 dana)



'Idared' (40 dana)



'Bobovec' (50 dana)



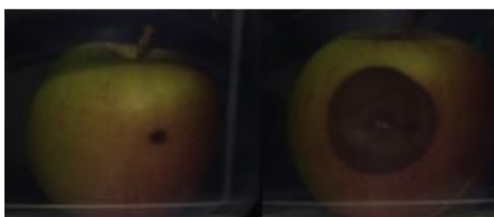
'Golden Delicious' (41 dan)



'Kanadska Reneta' (57 dana)



'Fuji' (40 dana)



'Božićnica' (49 dana)



'Granny Smith' (42 dana)



Slika 63 Skladišna otpornost odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *P. expansum* nakon berbe, 2021. godina

'Winter Banana' (43 dana)



'Jonagold' (53 dana)



'Zelenika' (51 dan)



'Idared' (45 dana)



'Bobovec' (56 dana)



'Golden Delicious' (43 dana)



'Kanadska Reneta' (51 dan)



'Fuji' (43 dana)



'Božićnica' (53 dana)

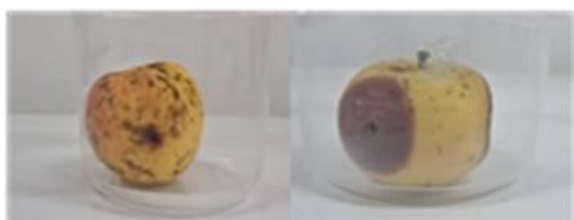


'Granny Smith' (45 dana)

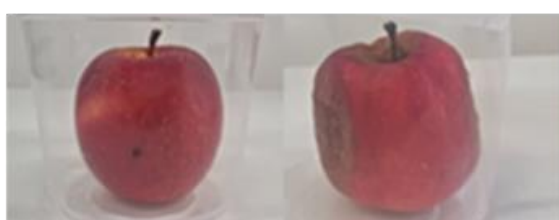


Slika 64 Skladišna otpornost odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *P. expansum* nakon tri mjeseca skladištenja, 2021. godina

'Winter Banana' (42 dana)



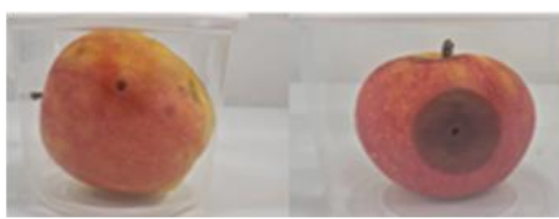
'Jonagold' (46 dana)



'Zelenika' (49 dan)



'Idared' (42 dana)



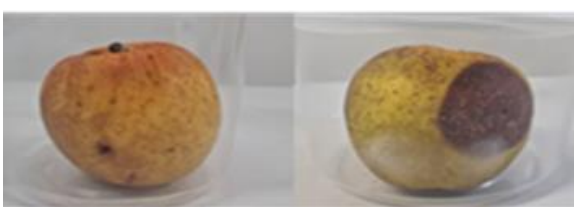
'Bobovec' (56 dana)



'Golden Delicious' (40 dana)



'Kanadska Reneta' (49 dan)



'Fuji' (34 dana)



'Božićnica' (34 dan)



'Granny Smith' (34 dana)



Slika 65 Skladišna otpornost odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *P. expansum* nakon šest mjeseci skladištenja, 2021. godina

'Winter Banana' (72 dana)



'Jonagold' (50 dana)



'Zelenika' (45 dan)



'Idared' (65 dana)



'Bobovec' (45 dana)



'Golden Delicious' (49 dana)



'Kanadska Reneta' (56 dana)



'Fuji' (47 dana)



'Božićnica' (57 dana)

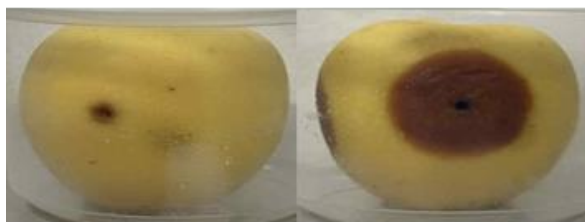


'Granny Smith' (57 dana)



Slika 66 Skladišna otpornost odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *P. expansum* nakon berbe, 2022. godina

'Winter Banana' (64 dana)



'Jonagold' (50 dana)



'Zelenika' (49 dana)



'Idared' (58 dana)



'Bobovec' (48 dana)



'Golden Delicious' (54 dana)



'Kanadska Reneta' (53 dana)



'Fuji' (41 dana)



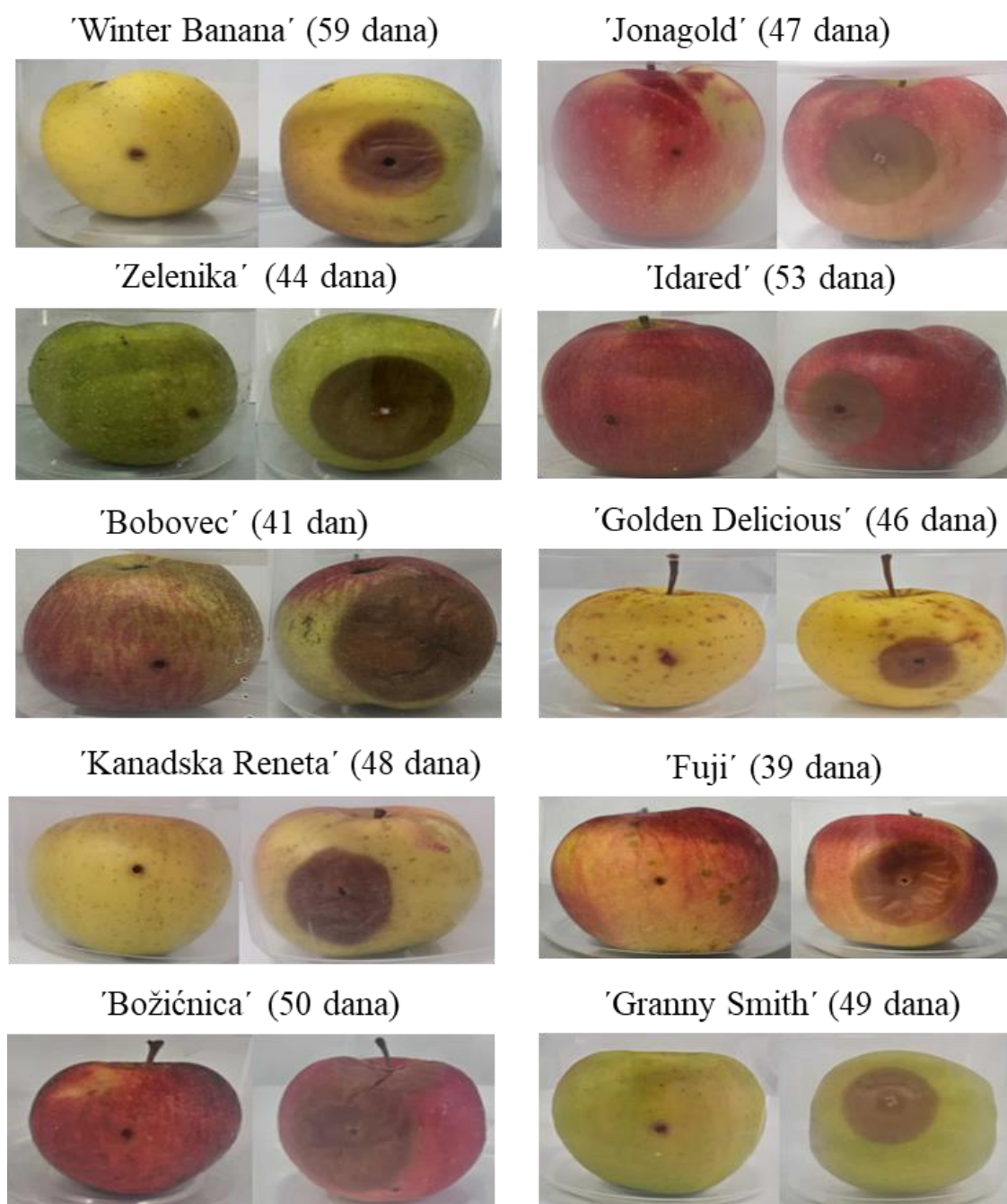
'Božićnica' (54 dana)



'Granny Smith' (53 dana)

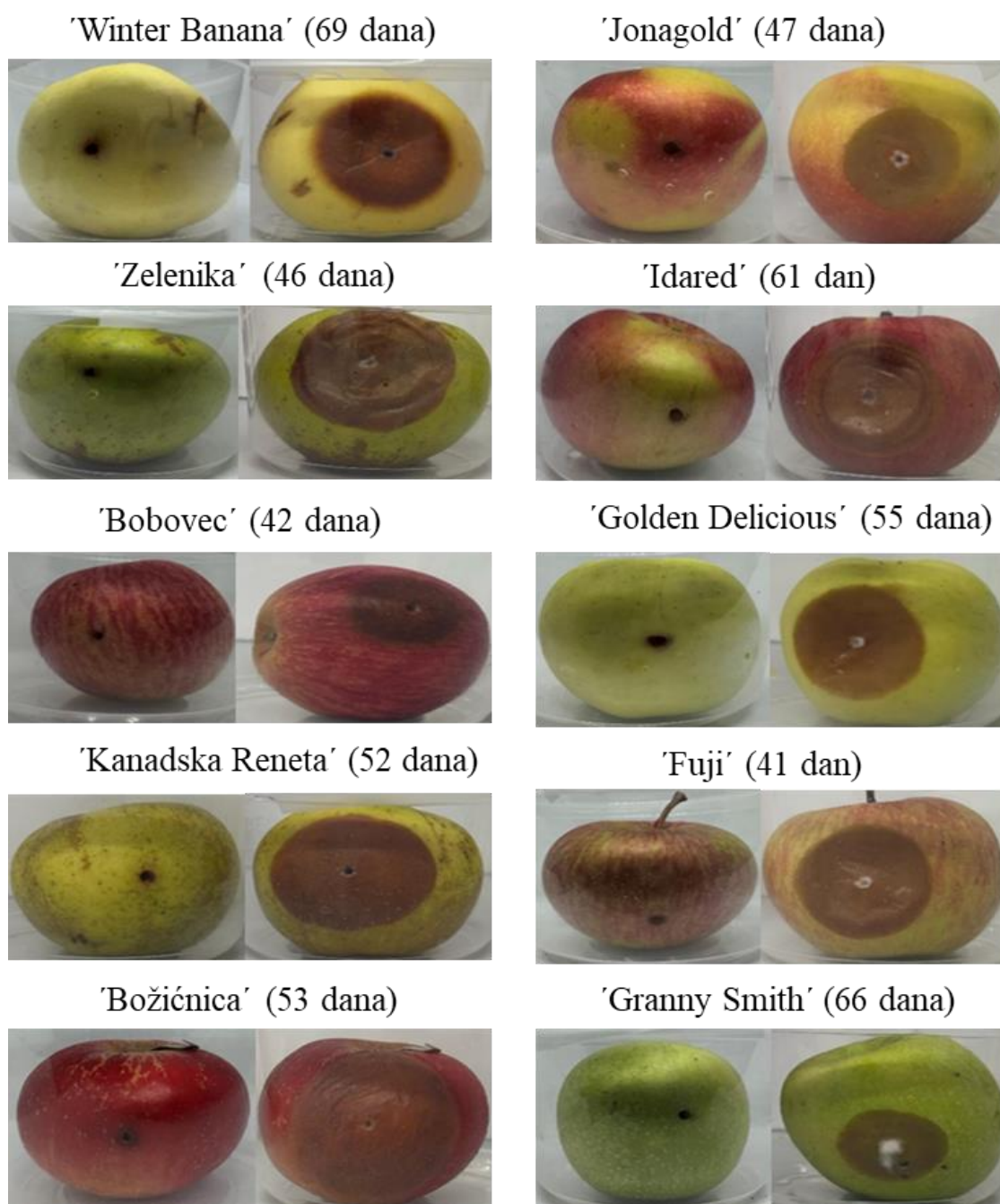


Slika 67 Skladišna otpornost odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *P. expansum* nakon tri mjeseca skladištenja, 2022. godina



Slika 68 Skladišna otpornost odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *P. expansum* nakon šest mjeseci skladištenja, 2022. godina

Tijekom šestomjesečnog razdoblja skladištenja u 2023. godini najveća skladišna otpornost zabilježena je kod sorte 'Winter Banana', što je u skladu s rezultatima dobivenima i tijekom 2022. godine. Suprotno tome, najmanja skladišna otpornost neposredno nakon berbe te nakon tri mjeseci skladištenja utvrđena je kod sorte 'Fuji', dok je nakon šest mjeseci skladištenja najmanja skladišna otpornost zabilježena kod sorte 'Bobovec' i 'Golden Delicious'.



Slika 69 Skladišna otpornost odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *P. expansum* nakon berbe, 2023. godina

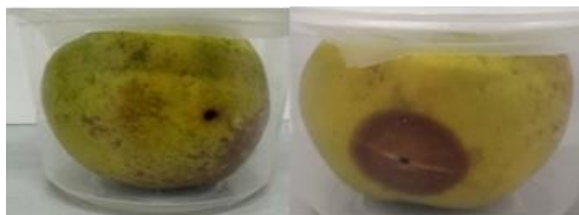
'Winter Banana' (78 dana)



'Jonagold' (53 dana)



'Zelenika' (45 dana)



'Idared' (65 dana)



'Bobovec' (47 dana)



'Golden Delicious' (51 dan)



'Kanadska Reneta' (55 dana)



'Fuji' (43 dana)



'Božićnica' (59 dana)



'Granny Smith' (67 dana)



Slika 70 Skladišna otpornost odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *P. expansum* nakon tri mjeseca skladištenja, 2023. godina

'Winter Banana' (67 dana)



'Jonagold' (41 dan)



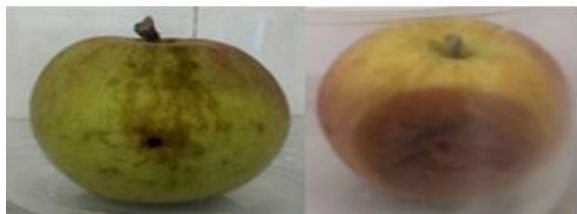
'Zelenika' (47 dana)



'Idared' (53 dana)



'Bobovec' (40 dana)



'Golden Delicious' (35 dana)



'Kanadska Reneta' (42 dana)



'Fuji' (38 dana)



'Božićnica' (54 dana)



'Granny Smith' (51 dana)



Slika 71 Skladišna otpornost odabranih sorti jabuka na infekciju s plijesni *P. expansum* nakon šest mjeseci skladištenja, 2023. godina

4.18. Udio patulina u odabranim sortama jabuka

Prema dosadašnjim istraživanjima, proizvodnja patulina odvija se i tijekom skladištenja, ali tek nakon što *P. expansum* dosegne kritičnu micelijsku masu (Morales i sur. 2008.). Istraživanje Dos Santos i sur. (2022), pokazalo je da udio patulina nije u korelaciji s intenzitetom rasta plijesni *P. expansum*, odnosno da se visoke koncentracije patulina mogu detektirati i u uzorcima s niskom prisutnošću plijesni, kao i obrnuto. U **Tablici 83** prikazani su rezultati udjela patulina u odabranim sortama jabuka tijekom 2021. godine. Najveći udio patulina tijekom šestomjesečno razdoblja skladištenja utvrđen je kod sorte 'Winter Banana' ($1224,00 \pm 49,50$ ng/g) nakon tri mjeseca skladištenja. Tijekom 2021. godine 'Winter Banana' je ujedno imala i najveću skladišnu otpornost na infekciju s plijesni *P. expansum*, najmanji udio ukupnih kiselina, katehina, floridzina te procijanidina A2 i B1 među tradicionalnim sortama jabuka. Suprotno tome najmanji detektirani udio patulina tijekom 2021. godine zabilježen je kod sorte 'Zelenika' ($0,11 \pm 0,00$ ng/g). Sorta 'Zelenika' je ujedno tijekom 2021. godine imala najveći udio procijanidina A2, najnižu pH vrijednost te relativno visok udio ukupnih kiselina, ukupnih polifenola, floridzina, te katehina u odnosu na ostale analizirane sorte. Usporedbom tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka utvrđeno je da tradicionalne sorte jabuka imaju manji broj detektiranih uzoraka s prisutnim patulinom. Dobiveni rezultati u skladu su s preliminarnim rezultatima Gotal Skoko i sur. (2024), gdje je udio patulina kod tradicionalnih sorti zabilježen kod sorte 'Winter Banana', dok je kod komercijalnih sorti prisutnost patulina zabilježena kod sorti 'Idared' i 'Fuji'. Tijekom 2022. godine najveći udio patulina tijekom šest mjeseci skladištenja utvrđen je kod sorte 'Granny Smith' ($4732,00 \pm 57,13$ ng/g), koji je značajno iznad maksimalne regulatorne razine od 50 µg/kg. Prema rezultatima iz **Tablice 84**, vidljivo je da su gotovo sve analizirane sorte tijekom 2022. godine imale detektiran patulin u uzorcima nakon tri mjeseca skladištenja. Navedena godina ujedno je bila i godina kada su sorte jabuka imale najveći udio topljive suhe tvari te reducirajućih i ukupnih šećera, što je zasigurno utjecalo na sintezu patulina. Prema istraživanju Morales i sur. (2008) i Dos Santos i sur. (2022), visoke koncentracije reducirajućih i ukupnih šećera u plodovima mogu djelovati kao izvor ugljika za rast i razvoj plijesni *P. expansum*, što može pospješiti sintezu patulina. Dosadašnja istraživanja također su utvrdila da veći udio šećera i topljive suhe tvari ne proizvodi uvijek, proporcionalno veće količine patulina, što ukazuje na složenost regulacije biosinteze ovog mikotoksina (Dos Santos i sur. 2022.). Iako visoki udio šećera može poticati rast micelija, prisutnost određenih polifenola i flavonoida može inhibirati biosintezu patulina.

Tablica 83 Udio patulina (ng/g)^a u odabranim sortama jabuka tijekom šest mjeseci skladištenja, 2021. godina

<i>Patulin (ng/g)</i>	<i>2021.</i>		
<i>mjesec skladištenja</i>	0	3	6
'Zelenika'	<LOD	<LOD	0,11 ± 0,00
'Bobovec'	<LOD	<LOD	<LOD
'Kanadska Reneta'	<LOD	<LOD	<LOD
'Božićnica'	5,14 ± 0,49	<LOD	<LOD
'Winter Banana'	<LOD	1224,00 ± 49,50	<LOD
'Jonagold'	<LOD	<LOD	<LOD
'Idared'	10,93 ± 0,15	62,11 ± 7,54	<LOD
'Golden Delicious'	<LOD	<LOD	<LOD
'Fuji'	<LOD	35,51 ± 6,29	<LOD
'Granny Smith'	<LOD	<LOD	<LOD

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Tablica 84 Udio patulina (ng/g)^a u odabranim sortama jabuka tijekom šest mjeseci skladištenja, 2022. godina

<i>Patulin (ng/g)</i>	<i>2022.</i>		
<i>mjesec skladištenja</i>	0	3	6
'Zelenika'	<LOD	9,47 ± 2,93	<LOD
'Bobovec'	<LOD	162,46 ± 73,16	<LOD
'Kanadska Reneta'	<LOD	49,27 ± 2,69	<LOD
'Božićnica'	<LOD	23,79 ± 11,17	<LOD
'Winter Banana'	<LOD	352,4 ± 256,11	23,86 ± 1,44
'Jonagold'	293,00 ± 20,93	79,98 ± 39,62	46,28 ± 4,43
'Idared'	<LOD	53,77 ± 17,19	478,55 ± 129,47
'Golden Delicious'	<LOD	<LOD	<LOD
'Fuji'	<LOD	<LOD	<LOD
'Granny Smith'	4732,00 ± 57,13	620,70 ± 9,62	<LOD

^a srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)

Tijekom 2023. godine najveći udio patulina tijekom šest mjeseci skladištenja utvrđen je kod komercijalne sorte 'Golden Delicious' ($581,20 \pm 10,18$ ng/g) (**Tablica 85**). Tradicionalne sorte jabuka imale su značajno manji broj uzoraka u kojima je detektiran patulin tijekom šest mjeseci skladištenja u odnosu na 2022. godinu. Također, analizirane sorte jabuka tijekom 2023. godine imale su i značajno niži udio reducirajućih i ukupnih šećera te topljive suhe tvari, dok su tradicionalne sorte statistički značajno imale veći udio ukupnih kiselina, klorogenske kiseline, flavonola, flavanol i dihidrohalkona u odnosu na komercijalne sorte. Navedeno se odrazilo i na udio patulina. Dosadašnja istraživanja utvrdila su da pH vrijednost, temperatura skladištenja i udio organskih kiselina utječu na metabolizam plijesni *P. expansum* te na aktivnost enzima uključenih u biosintezu patulina. Plodovi s višim udjelom kiselina stvaraju nepovoljne uvjete za rast i razvoj plijesni, što može djelomično inhibirati biosintezu patulina (Morales *i sur.*, 2008). Prema istraživanju Oteiza *i sur.* (2017.), detektirali su patulin u 40,3% uzoraka plodova jabuka, s prosječnim udjelom od 26 $\mu\text{g/kg}$ i maksimalnom vrijednošću od 19 622 $\mu\text{g/kg}$. (Vaclavikova *i sur.* 2015.) analizirali su udio patulina u svježem voću i prerađevinama od voća namijenjenima prodaji u Češkoj Republici. Udio patulina u svježim jabukama kretao se od 1,3 do 415,2 $\mu\text{g/kg}$, dok je u soku jabuke udio patulina bio od 3,8 do 28,4 $\mu\text{g/kg}$. U oba istraživanja udio patulina bio je iznad dopuštenih granica.

Tablica 85 Udio patulina (ng/g)^a u odabranim sortama jabuka tijekom šest mjeseci skladištenja, 2023. godina

Patulin (ng/g)	2023.		
	0	3	6
mjesec skladištenja			
'Zelenika'	<LOD	<LOD	<LOD
'Bobovec'	$44,44 \pm 19,37$	<LOD	<LOD
'Kanadska Reneta'	<LOD	<LOD	<LOD
'Božićnica'	<LOD	$36,26 \pm 0,33$	$106,30 \pm 3,54$
'Winter Banana'	<LOD	<LOD	<LOD
'Jonagold'	<LOD	$27,99 \pm 0,02$	$40,07 \pm 0,26$
'Idared'	$88,95 \pm 2,85$	$66,08 \pm 1,92$	$4,78 \pm 0,63$
'Golden Delicious'	<LOD	$10,02 \pm 0,75$	$581,20 \pm 10,18$
'Fuji'	<LOD	<LOD	$373,70 \pm 8,63$
'Granny Smith'	$124,60 \pm 15,59$	$101,11 \pm 5,50$	<LOD

^a srednje vrijednosti tri mjerenja $\pm$ standardna devijacija (SD)

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu ispitan je utjecaj profila bioaktivnih komponenti odabranih tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka tijekom tri proizvodne sezone (2021., 2022. i 2023. godine) na modulaciju biosinteze patulina.

Na temelju istraživanja, dobivenih rezultata te provedene rasprave može se zaključiti sljedeće:

- Agrometerološke prilike tijekom tri uzastopne godine bile su pretežno povoljne, uz povremene vremenske nepogode (mraz, tuča i sl.), što je imalo utjecaj na teksturu ploda.
- Vremenski uvjeti nisu utjecali na polifenolni profil tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka, već samo na udjele pojedinačnih polifenolnih spojeva.
- U jabukama ubranim 2021. godine, kada je zabilježena veća izloženost sunčevu svjetlu, udio šećera, ukupnih kiselina, flavonola, antocijanina i tekstura bili su znatno veći u usporedbi s jabukama ubranim 2022. i 2023. godine.
- Tijekom 2023. godine, kada su zabilježeni kasni proljetni mrazovi, vremenske neprilike i oštećenja cvjetnih pupova, utvrđeni su i najmanji udjeli ukupnih i reducirajućih šećera, ukupnih kiselina, suhe tvari, topljive suhe tvari te flavonoida.
- Iako su tradicionalne sorte jabuka imale tlo vrlo kisele do kisele reakcije, koje nije pogodno za uzgoj voćnih vrsta, osobito jabuka, imale su plodove svake godine.
- Mikrobiološkom analizom tla u nasadima tradicionalnih i komercijalnih sorti jabuka nije detektirana prisutnost plijesan *Penicillium expansum*, što je potvrđeno morfološkom usporedbom s čistom kulturom CBS 325.48. Najzastupljeniji rodovi bili su *Rhizopus* te *Alternaria*.
- Proučavane sorte jabuka razlikovale su se u udjelu suhe tvari, ukupnih kiselina, pH vrijednosti, aktiviteta vode, teksturi te u udjelu reducirajućih i ukupnih šećera.
- Iako se proučavane sorte jabuke nisu razlikovale u polifenolnom profilu, zabilježene su razlike u udjelima pojedinačnih polifenolnih spojeva.
- Utvrđena je pozitivna korelacija između udjela ukupnih polifenola i flavonoida s antioksidacijskom aktivnošću odabranih sorti jabuka. Sorte s najvećim udjelom ukupnih polifenola i flavonoida, 'Božićnica', 'Bobovec' i 'Kanadska Reneta', imale su ujedno i najveću antioksidacijsku aktivnost, te obrnuto.
- Tijekom šestomjesečnog skladištenja jabuka zabilježene su relativno male promjene u sadržaju ukupnih polifenola. Udio ukupnih polifenola povećava se tijekom prva tri mjeseca što je posljedica pojačane aktivnosti PAL enzima te promjena okoline ploda

koja uzrokuje mehanički stres, inducirajući proizvodnju sekundarnih metabolita, uključujući polifenola.

- Tradicionalne sorte jabuka imale su statistički značajno veći udio fenolnih kiselina, flavanola, procijanidina B1, B2 i A2, dihidrohalkona, flavonola i antocijina u odnosu na komercijalne sorte ($p < 0,05$).
- U ukupnom udjelu ispitanih procijanidina u odabranim sortama jabuka najveći udio čini je procijanidin B2, zatim B1, dok je najmanji udio utvrđen za procijanidin A2.
- Udio epikatehina pokazao je korelaciju s procijanidinom B2, što se može objasniti činjenicom da je molekula procijanidina B2 građena od dvije molekule epikatehina. Sorte 'Božićnica', 'Bobovec' i 'Kanadska Reneta', koje su imale najveći udio procijanidina B2, ujedno su imale i najveći udio epikatehina.
- Od ispitanih flavonola, najveći udio u analiziranim sortama jabuka čini kvercetin-3-rutinozid, zatim kvercetin-3-*D*-glukozid, miricetin, dok je najmanji udio utvrđen za kvercetin.
- Najveći udio fenolnih kiselina u analiziranim sortama, posebno tradicionalnim, čini klorogenska kiselina što je u skladu s dosadašnjim istraživanjima.
- Udio antocijanina bio je povezan s crvenim pigmentom kore jabuka, a najveći udio čini je cijanidin-3-galaktozid.
- Tijekom skladištenja udio antocijanina je opadao, što može biti rezultat djelovanja polifenol oksidaze, izloženost svjetlosti tijekom skladištenja i drugi čimbenici.
- Analizirane sorte jabuka koje su imale najveći udio katehina, epikatehina, procijanidina B1, B2, kvercetina, floridzina te kvercetin-3-*D*-glukozida imale su najveću antioksidacijsku aktivnost.
- Antioksidacijska aktivnost dobivena mjerenjem pomoću ABTS metode imala je znatno veće vrijednosti od dobivenih mjerenjem pomoću DPPH metode.
- Značajan utjecaj na otpornost analiziranih sorti jabuka na rast i razvoj plijesni *P. expansum* imao je udio ukupnih kiselina, reducirajućih i ukupnih šećera, topljive suhe tvari, katehina, epikatehina, floridzina, procijanidina B1 i B2.
- Tradicionalne sorte jabuka imale su veću otpornost na rast i razvoj plijesni *P. expansum* tijekom šest mjeseci skladištenja u odnosu na komercijalne sorte.
- Biosinteza patulina osim što je pod utjecajem kemijskog sastava ploda jabuka, kao što su udio ukupnih kiselina, šećera, topljive suhe tvari, pH vrijednosti bila je i pod

utjecajem individualnih polifenola posebice floridzina, katehina, procijanidina B1 te epikatehina.

6. LITERATURA

- Aguirre-Cruz, Gabriel, Arely León-López, Verónica Cruz-Gómez, Rubén Jiménez-Alvarado, i Gabriel Aguirre-Álvarez. 2020. „Collagen Hydrolysates for Skin Protection: Oral Administration and Topical Formulation“. *Antioxidants* 9 (2): 181. <https://doi.org/10.3390/antiox9020181>.
- Ahmadi-Afzadi, Masoud, Hilde Nybom, Anders Ekholm, Ibrahim Tahir, i Kimmo Rumpunen. 2015. „Biochemical Contents of Apple Peel and Flesh Affect Level of Partial Resistance to Blue Mold“. *Postharvest Biology and Technology* 110 (prosinac): 173–82. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.08.008>.
- Ahmadi-Afzadi, Masoud, Ibrahim Tahir, i Hilde Nybom. 2013. „Impact of Harvesting Time and Fruit Firmness on the Tolerance to Fungal Storage Diseases in an Apple Germplasm Collection“. *Postharvest Biology and Technology* 82 (kolovoz): 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.03.001>.
- Akagić, Asima, Senad Murtić, Osman Musić, i sur. 2019. „Sugars, acids and polyphenols profile of commercial and traditional apple cultivars for processing“. *Acta agriculturae Slovenica* 113 (2). <https://doi.org/10.14720/aas.2019.113.2.5>.
- Alarcón-Flores, María Isabel, Roberto Romero-González, José Luis Martínez Vidal, i Antonia Garrido Frenich. 2015. „Evaluation of the Presence of Phenolic Compounds in Different Varieties of Apple by Ultra-High-Performance Liquid Chromatography Coupled to Tandem Mass Spectrometry“. *Food Analytical Methods* 8 (3): 696–709. <https://doi.org/10.1007/s12161-014-9931-6>.
- Ali, Hussein M., Wafaa Almagribi, i Mona N. Al-Rashidi. 2016. „Antiradical and Reductant Activities of Anthocyanidins and Anthocyanins, Structure–Activity Relationship and Synthesis“. *Food Chemistry* 194 (ožujak): 1275–82. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.003>.
- Alpert, Patricia T. 2017. „The Role of Vitamins and Minerals on the Immune System“. *Home Health Care Management & Practice* 29 (3): 199–202. <https://doi.org/10.1177/1084822317713300>.
- Andersen, Birgitte, Jørn Smedsgaard, i Jens C. Frisvad. 2004. „Penicillium Expansum: Consistent Production of Patulin, Chaetoglobosins, and Other Secondary Metabolites in Culture and Their Natural Occurrence in Fruit Products“. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52 (8): 2421–28. <https://doi.org/10.1021/jf035406k>.
- Angioni, Alberto, Mariateresa Russo, Cinzia La Rocca, Ornella Pinto, i Alberto Mantovani. 2022. „Modified Mycotoxins, a Still Unresolved Issue“. *Chemistry* 4 (4): 1498–514. <https://doi.org/10.3390/chemistry4040099>.
- Arnold, Marcellus, i Anna Gramza-Michalowska. 2024. „Recent Development on the Chemical Composition and Phenolic Extraction Methods of Apple (*Malus Domestica*)—A Review“. *Food and Bioprocess Technology* 17 (9): 2519–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03208-9>.
- Arya, Shalini S., Nachal Nachiappan, Roji Waghmare, i Mohmad Sayeed Bhat. 2023. „Recent Progress and Future Perspectives on Non-Thermal Apple Juice Processing Techniques“.

Food Production, Processing and Nutrition 5 (1): 36. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00149-w>.

- Asale, Yishak, Engeda Dessalegn, Daniel Assefa, i Mitiku Abdisa. 2021. „Phytochemicals and Antioxidant Activity of Different Apple Cultivars Grown in South Ethiopia: Case of the Wolayta Zone“. *International Journal of Food Properties* 24 (1): 354–63. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1885440>.
- Awad, Mohamed A, i Anton De Jager. 2000. „Flavonoid and Chlorogenic Acid Concentrations in Skin of ‘Jonagold’ and ‘Elstar’ Apples during and after Regular and Ultra Low Oxygen Storage“. *Postharvest Biology and Technology* 20 (1): 15–24. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00116-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00116-2).
- Babić Jurislav. 2007. „Utjecaj acetiliranja i dodataka na reološka i termofizikalna svojstva škroba kukuruza i tapioke“. *Disertacija. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek*.
- Baert, Katleen, Frank Devlieghere, Heidi Flyps, i sur. 2007. „Influence of Storage Conditions of Apples on Growth and Patulin Production by *Penicillium Expansum*“. *International Journal of Food Microbiology* 119 (3): 170–81. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.061>.
- Báidez, Ana G., Pedro Gómez, José A. Del Río, i Ana Ortuño. 2007. „Dysfunctionality of the Xylem in *Olea europaea* L. Plants Associated with the Infection Process by *Verticillium dahliae* Kleb. Role of Phenolic Compounds in Plant Defense Mechanism“. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55 (9): 3373–77. <https://doi.org/10.1021/jf063166d>.
- Balasundram, Nagendran, Kalyana Sundram, i Samir Samman. 2006. „Phenolic Compounds in Plants and Agri-Industrial by-Products: Antioxidant Activity, Occurrence, and Potential Uses“. *Food Chemistry* 99 (1): 191–203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042>.
- Bars-Cortina, David, Alba Macià, Ignasi Iglesias, Maria Paz Romero, i Maria José Motilva. 2017. „Phytochemical Profiles of New Red-Fleshed Apple Varieties Compared with Traditional and New White-Fleshed Varieties“. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 65 (8): 1684–96. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02931>.
- Bejaei, Masoumeh, i Hao Xu. 2023. „Internal Quality Attributes and Sensory Characteristics of ‘Ambrosia’ Apples with Different Dry Matter Content after a Two-Week and a Ten-Week Air Storage at 1 °C“. *Foods* 12 (1): 219. <https://doi.org/10.3390/foods12010219>.
- Benzai, S.R.R., R. Giménez, P. Mignard, i sur. 2024. „Biochemical Characterization and Differential Expression of Genes Associated with Apple Tolerance to *Penicillium Expansum*“. *Scientia Horticulturae* 327 (ožujak): 112853. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.112853>.
- Berga, Marta, Konstantins Logviss, Liga Lauberte, Artūrs Paulausks, i Valentyn Mohylyuk. 2023. „Flavonoids in the Spotlight: Bridging the Gap between Physicochemical Properties and Formulation Strategies“. *Pharmaceuticals* 16 (10): 1407. <https://doi.org/10.3390/ph16101407>.
- Berthiller, Franz, Rainer Schuhmacher, Gerhard Adam, i Rudolf Krska. 2009. „Formation, Determination and Significance of Masked and Other Conjugated Mycotoxins“. *Analytical*

and Bioanalytical Chemistry 395 (5): 1243–52. <https://doi.org/10.1007/s00216-009-2874-x>.

- Bessada, Sílvia M.F., João C.M. Barreira, i M. Beatriz P.P. Oliveira. 2015. „Asteraceae Species with Most Prominent Bioactivity and Their Potential Applications: A Review“. *Industrial Crops and Products* 76 (prosinac): 604–15. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.073>.
- Billy, Ludivine, Emira Mehinagic, Gaëlle Royer, i sur. 2008. „Relationship between Texture and Pectin Composition of Two Apple Cultivars during Storage“. *Postharvest Biology and Technology* 47 (3): 315–24. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.07.011>.
- Biparva, Pourya, Mahjoobeh Ehsani, i Mohammad Reza Hadjmohammadi. 2012. „Dispersive Liquid–Liquid Microextraction Using Extraction Solvents Lighter than Water Combined with High Performance Liquid Chromatography for Determination of Synthetic Antioxidants in Fruit Juice Samples“. *Journal of Food Composition and Analysis* 27 (1): 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.04.002>.
- Birkinshaw, J. H., S. E. Michael, A. Bracken, i H. Raistrick. 1943. „Patulin in the Common Cold. Collaborative Research on a Derivative of Penicillium patulum Bainier. II. Biochemistry and Chemistry.“ *Journal article, Lancet*, 625–30.
- Blando, Federica, Nadia Calabriso, Helge Berland, i sur. 2018. „Radical Scavenging and Anti-Inflammatory Activities of Representative Anthocyanin Groupings from Pigment-Rich Fruits and Vegetables“. *International Journal of Molecular Sciences* 19 (1): 169. <https://doi.org/10.3390/ijms19010169>.
- Bohinc, Klemen, Roman Štukelj, Anže Abram, Ivan Jerman, Nigel Van De Velde, i Rajko Vidrih. 2022. „Biophysical Characterization of Autochthonous and New Apple Cultivar Surfaces“. *Agronomy* 12 (9): 2051. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092051>.
- Bondonno, Catherine P., Nicola P. Bondonno, Sujata Shinde, i sur. 2020. „Phenolic Composition of 91 Australian Apple Varieties: Towards Understanding Their Health Attributes“. *Food & Function* 11 (8): 7115–25. <https://doi.org/10.1039/D0FO01130D>.
- Brodziak, Aneta, Joanna Wajs, Maria Zuba-Ciszewska, Jolanta Król, Magdalena Stobiecka, i Anna Jańczuk. 2021. „Organic versus Conventional Raw Cow Milk as Material for Processing“. *Animals* 11 (10): 2760. <https://doi.org/10.3390/ani11102760>.
- Bugaud, Christophe, Emeline Deverge, Marie-Odette Daribo, Fabienne Ribeyre, Bernard Fils-Lycaon, i Didier Mbéguié-A-Mbéguié. 2011. „Sensory Characterisation Enabled the First Classification of Dessert Bananas“. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91 (6): 992–1000. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4270>.
- Butkeviciute, Aurita, Jonas Viskelis, Pranas Viskelis, Mindaugas Liaudanskas, i Valdimaras Janulis. 2021. „Changes in the Biochemical Composition and Physicochemical Properties of Apples Stored in Controlled Atmosphere Conditions“. *Applied Sciences* 11 (13): 6215. <https://doi.org/10.3390/app11136215>.
- Cai, Rui, Miao Miao, Tianli Yue, i sur. 2019. „Antibacterial Activity and Mechanism of Cinnamic Acid and Chlorogenic Acid against *Alicyclobacillus Acidoterrestris* Vegetative Cells in

Apple Juice“. *International Journal of Food Science & Technology* 54 (5): 1697–705. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14051>.

- Carmona-Hernandez, Saul, Juan Reyes-Pérez, Roberto Chiquito-Contreras, Gabriel Rincon-Enriquez, Carlos Cerdan-Cabrera, i Luis Hernandez-Montiel. 2019. „Biocontrol of Postharvest Fruit Fungal Diseases by Bacterial Antagonists: A Review“. *Agronomy* 9 (3): 121. <https://doi.org/10.3390/agronomy9030121>.
- Carocho, Márcio, i Isabel C.F.R. Ferreira. 2013. „A Review on Antioxidants, Prooxidants and Related Controversy: Natural and Synthetic Compounds, Screening and Analysis Methodologies and Future Perspectives“. *Food and Chemical Toxicology* 51 (siječanj): 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.09.021>.
- Ceci, Adriana Teresa, Michele Bassi, Walter Guerra, i sur. 2021. „Metabolomic Characterization of Commercial, Old, and Red-Fleshed Apple Varieties“. *Metabolites* 11 (6): 378. <https://doi.org/10.3390/metabo11060378>.
- Chen, Jinxiang, Jing Yang, Lanlan Ma, Jun Li, Nasir Shahzad, i Chan Kyung Kim. 2020. „Structure-Antioxidant Activity Relationship of Methoxy, Phenolic Hydroxyl, and Carboxylic Acid Groups of Phenolic Acids“. *Scientific Reports* 10 (1): 2611. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59451-z>.
- Chen, Shen, Xiaojing Wang, Yu Cheng, Hongsheng Gao, i Xuehao Chen. 2023. „A Review of Classification, Biosynthesis, Biological Activities and Potential Applications of Flavonoids“. *Molecules* 28 (13): 4982. <https://doi.org/10.3390/molecules28134982>.
- Chen, Zhong-Hua, i Douglas E. Soltis. 2020. „Evolution of Environmental Stress Responses in Plants“. *Plant, Cell & Environment* 43 (12): 2827–31. <https://doi.org/10.1111/pce.13922>.
- Cheyrier, Véronique, Gilles Comte, Kevin M. Davies, Vincenzo Lattanzio, i Stefan Martens. 2013. „Plant Phenolics: Recent Advances on Their Biosynthesis, Genetics, and Ecophysiology“. *Plant Physiology and Biochemistry* 72 (studeni): 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.05.009>.
- Chobot, Vladimir, Franz Hadacek, Gert Bachmann, Wolfram Weckwerth, i Lenka Kubicova. 2016. „Pro- and Antioxidant Activity of Three Selected Flavan Type Flavonoids: Catechin, Eriodictyol and Taxifolin“. *International Journal of Molecular Sciences* 17 (12): 1986. <https://doi.org/10.3390/ijms17121986>.
- Choi, Dong-Young, Young-Jung Lee, Jin Tae Hong, i Hwa-Jeong Lee. 2012. „Antioxidant Properties of Natural Polyphenols and Their Therapeutic Potentials for Alzheimer's Disease“. *Brain Research Bulletin* 87 (2–3): 144–53. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2011.11.014>.
- Commisso, Mauro, Martino Bianconi, Stefania Poletti, i sur. 2021. „Metabolomic Profiling and Antioxidant Activity of Fruits Representing Diverse Apple and Pear Cultivars“. *Biology* 10 (5): 380. <https://doi.org/10.3390/biology10050380>.
- Cui, Jinling, Shutao Yin, Chong Zhao, Lihong Fan, i Hongbo Hu. 2021. „Combining Patulin with Cadmium Induces Enhanced Hepatotoxicity and Nephrotoxicity In Vitro and In Vivo“. *Toxins* 13 (3): 221. <https://doi.org/10.3390/toxins13030221>.

- Cunha, S.C., M.A. Faria, V.L. Pereira, T.M. Oliveira, A.C. Lima, i E. Pinto. 2014. „Patulin Assessment and Fungi Identification in Organic and Conventional Fruits and Derived Products“. *Food Control* 44 (listopad): 185–90. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.03.043>.
- Cvetković, Biljana, Aleksandra Bajić, Miona Belović, i sur. 2024. „Assessing Antioxidant Properties, Phenolic Compound Profiles, Organic Acids, and Sugars in Conventional Apple Cultivars (*Malus Domestica*): A Chemometric Approach“. *Foods* 13 (14): 2291. <https://doi.org/10.3390/foods13142291>.
- Delgado, Josué, Ana-Rosa Ballester, Félix Núñez, i Luis González-Candelas. 2019. „Evaluation of the Activity of the Antifungal PgAFP Protein and Its Producer Mould against *Penicillium* Spp Postharvest Pathogens of Citrus and Pome Fruits“. *Food Microbiology* 84 (prosinac): 103266. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.103266>.
- Delgado-Pelayo, Raúl, Lourdes Gallardo-Guerrero, i Dámaso Hornero-Méndez. 2014. „Chlorophyll and Carotenoid Pigments in the Peel and Flesh of Commercial Apple Fruit Varieties“. *Food Research International* 65 (studeni): 272–81. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.025>.
- Deng, Jianjun, Haixia Yang, Esra Capanoglu, Hui Cao, i Jianbo Xiao. 2018. „Technological Aspects and Stability of Polyphenols“. U *Polyphenols: Properties, Recovery, and Applications*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813572-3.00009-9>.
- Diao, Enjie, Kun Ma, Hui Zhang, i sur. 2021. „Thermal Stability and Degradation Kinetics of Patulin in Highly Acidic Conditions: Impact of Cysteine“. *Toxins* 13 (9): 662. <https://doi.org/10.3390/toxins13090662>.
- Ding, Wenli, Luxi Lin, Ke Yue, i sur. 2023. „Ferroptosis as a Potential Therapeutic Target of Traditional Chinese Medicine for Mycotoxicosis: A Review“. *Toxics* 11 (4): 395. <https://doi.org/10.3390/toxics11040395>.
- Dos Santos, Ingrid D., Marlos E.Z. Fontana, Bruna Klein, i sur. 2022. „Fungal Growth, Patulin Accumulation and Volatile Profile in ‘Fuji Mishima’ Apples under Controlled Atmosphere and Dynamic Controlled Atmosphere“. *Food Additives & Contaminants: Part A* 39 (1): 170–84. <https://doi.org/10.1080/19440049.2021.1987533>.
- Dou, Fangmin, Zhi Wang, Guiying Li, i Baoqing Dun. 2019. „Microbial Transformation of Flavonoids by *Isaria Fumosorosea* ACCC 37814“. *Molecules* 24 (6): 1028. <https://doi.org/10.3390/molecules24061028>.
- Dueñas, Montserrat, Susana González-Manzano, Ana González-Paramás, i Celestino Santos-Buelga. 2010. „Antioxidant Evaluation of O-Methylated Metabolites of Catechin, Epicatechin and Quercetin“. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 51 (2): 443–49. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2009.04.007>.
- Dugas, Alton J. Jr., José Castañeda-Acosta, Gloria C. Bonin, Kimberly L. Price, Nikolaus H. Fischer, i Gary W. Winston. 2000. „Evaluation of the Total Peroxyl Radical-Scavenging Capacity of Flavonoids: Structure–Activity Relationships“. *Journal of Natural Products* 63 (3): 327–31. <https://doi.org/10.1021/np990352n>.

- Dumitru Veleşcu, Ionuț, Roxana Nicoleta Rațu, Vlad-Nicolae Arsenoiaia, Radu Roșca, Petru Marian Cârlescu, i Ioan Țenu. 2023. „Research on the Process of Convective Drying of Apples and Apricots Using an Original Drying Installation“. *Agriculture* 13 (4): 820. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040820>.
- Duralija, Boris, Predrag Putnik, Dora Brdar, i sur. 2021. „The Perspective of Croatian Old Apple Cultivars in Extensive Farming for the Production of Functional Foods“. *Foods* 10 (4): 708. <https://doi.org/10.3390/foods10040708>.
- Dutta, Madhu Sudan, Prithwish Mahapatra, Ashutosh Ghosh, i Soumalee Basu. 2022. „Estimation of the Reducing Power and Electrochemical Behavior of Few Flavonoids and Polyhydroxybenzophenones Substantiated by Bond Dissociation Energy: A Comparative Analysis“. *Molecular Diversity* 26 (2): 1101–13. <https://doi.org/10.1007/s11030-021-10232-4>.
- Escoula, Louis, Mogens Thomsen, Dominique Bourdiol, Bernard Pipy, Sylviane Peuriere, i Francis Roubinet. 1988. „Patulin Immunotoxicology: Effect on Phagocyte Activation and the Cellular and Humoral Immune System of Mice and Rabbits“. *International Journal of Immunopharmacology* 10 (8): 983–89. [https://doi.org/10.1016/0192-0561\(88\)90045-8](https://doi.org/10.1016/0192-0561(88)90045-8).
- Fan, Yuerong, Huimin Li, Jingze Ma, Ting Zhou, Junjun Fan, i Wangxiang Zhang. 2025. „Macrostructure of Malus Leaves and Its Taxonomic Significance“. *Plants* 14 (13): 1918. <https://doi.org/10.3390/plants14131918>.
- Feliciano, Rodrigo P., C. Antunes, A. Ramos, i sur. 2010. „Characterization of Traditional and Exotic Apple Varieties from Portugal. Part 1 – Nutritional, Phytochemical and Sensory Evaluation“. *Journal of Functional Foods* 2 (1): 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2009.12.004>.
- Feng, Fengjuan, Mingjun Li, Fengwang Ma, i Lailiang Cheng. 2014. „Effects of Location within the Tree Canopy on Carbohydrates, Organic Acids, Amino Acids and Phenolic Compounds in the Fruit Peel and Flesh from Three Apple (*Malus × domestica*) Cultivars“. *Horticulture Research* 1 (1): 14019. <https://doi.org/10.1038/hortres.2014.19>.
- Fernández-Cancelo, Pablo, Jordi Giné-Bordonaba, Neus Teixidó, i M. Carmen Alamar. 2025. „An Insight into the Hormonal Interplay Regulating Pigment Changes and Colour Development in the Peel of ‘Granny Smith’, ‘OPAL®’ and ‘Royal Gala’ Apples“. *Journal of Plant Growth Regulation* 44 (3): 1116–32. <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11270-6>.
- Fotirić Akšić, Milica, Milica Nešović, Ivanka Ćirić, i sur. 2022. „Polyphenolics and Chemical Profiles of Domestic Norwegian Apple (*Malus × domestica* Borkh.) Cultivars“. *Frontiers in Nutrition* 9 (lipanj): 941487. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.941487>.
- Freire, Luísa, i Anderson S. Sant’Ana. 2018. „Modified Mycotoxins: An Updated Review on Their Formation, Detection, Occurrence, and Toxic Effects“. *Food and Chemical Toxicology* 111 (siječanj): 189–205. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.11.021>.
- Gacnik, Sasa, Robert Veberič, Metka Hudina, Silvija Marinovic, Heidi Halbwirth, i Maja Mikulič-Petkovšek. 2021. „Salicylic and Methyl Salicylic Acid Affect Quality and Phenolic Profile of Apple Fruits Three Weeks before the Harvest“. *Plants* 10 (9): 1807. <https://doi.org/10.3390/plants10091807>.

- Gajewski, Marek, Paweł Szymczak, i Honorata Danilcenko. 2010. „Changes of Physical and Chemical Traits of Roots of Different Carrot Cultivars Under Cold Store Conditions“. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 72 (1): 115–27. <https://doi.org/10.2478/v10032-010-0011-1>.
- Gal, Tamara Edina, Ersilia Călina Alexa, Renata Maria Șumălan, Ionuț Dascălu, i Olimpia Alina Iordănescu. 2025. „Factors Affecting Patulin Production by *Penicillium Expansum* in Apples“. *Foods* 14 (13): 2310. <https://doi.org/10.3390/foods14132310>.
- Gao, Xuyang, Yong Xiao, Wen Li, Liting Xu, i Jianmin Yuan. 2025. „Synergistic Effects of Antioxidant Blends: A Comparative Study on Oxidative Stability of Lipids in Feed Matrices“. *Antioxidants* 14 (8): 981. <https://doi.org/10.3390/antiox14080981>.
- Gao, Zhonghong, Kaixun Huang, Xiangliang Yang, i Huibi Xu. 1999. „Free Radical Scavenging and Antioxidant Activities of Flavonoids Extracted from the Radix of *Scutellaria Baicalensis* Georgi“. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects* 1472 (3): 643–50. [https://doi.org/10.1016/S0304-4165\(99\)00152-X](https://doi.org/10.1016/S0304-4165(99)00152-X).
- García-Coronado, Heriberto, Julio César Tafolla-Arellano, Miguel Ángel Hernández-Oñate, Alexel Jesús Burgara-Estrella, Jesús Martín Robles-Parra, i Martín Ernesto Tiznado-Hernández. 2022. „Molecular Biology, Composition and Physiological Functions of Cuticle Lipids in Fleshy Fruits“. *Plants* 11 (9): 1133. <https://doi.org/10.3390/plants11091133>.
- Garza, H. C., B. G. Swanson, i A. L. Branen. 1977. „TOXICOLOGICAL STUDY OF PATULIN IN MONKEYS“. *Journal of Food Science* 42 (5): 1229–31. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1977.tb14467.x>.
- Gattuso, Giuseppe, Davide Barreca, Claudia Gargiulli, Ugo Leuzzi, i Corrado Caristi. 2007. „Flavonoid Composition of Citrus Juices“. *Molecules* 12 (8): 1641–73. <https://doi.org/10.3390/12081641>.
- Gavrilă, Marian Florin, Loredana Elena Vijan, i Sina Cosmulescu. 2025. „Biochemical Profile and Antioxidant Activity of Fresh Fruits from Apple Genotypes“. *Applied Sciences* 15 (5): 2534. <https://doi.org/10.3390/app15052534>.
- Geană, Elisabeta-Irina, Corina Teodora Ciucure, Roxana Elena Ionete, i sur. 2021. „Profiling of Phenolic Compounds and Triterpene Acids of Twelve Apple (*Malus Domestica* Borkh.) Cultivars“. *Foods* 10 (2): 267. <https://doi.org/10.3390/foods10020267>.
- Gharib-Bibalan, Saadi. 2018. „High Value-Added Products Recovery from Sugar Processing By-Products and Residuals by Green Technologies: Opportunities, Challenges, and Prospects“. *Food Engineering Reviews* 10 (2): 95–111. <https://doi.org/10.1007/s12393-018-9174-1>.
- Ghidini, S., E. Zanardi, A. Battaglia, G. Varisco, G. Campanini, i R. Chizzolini. 2004. *Monitoring of some environmental pollutants and aflatoxin M1 in organic and conventional milk*. Wageningen Academic. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-534-5_025.
- Ghinea, Cristina, Ancuta Elena Prisacaru, i Ana Leahu. 2022. „Physico-Chemical and Sensory Quality of Oven-Dried and Dehydrator-Dried Apples of the Starkrimson, Golden Delicious and Florina Cultivars“. *Applied Sciences* 12 (5): 2350. <https://doi.org/10.3390/app12052350>.

- Gong, Di, Yang Bi, Yuanyuan Zong, Yongcai Li, Edward Sionov, i Dov Prusky. 2022. „Dynamic Change of Carbon and Nitrogen Sources in Colonized Apples by *Penicillium Expansum*“. *Foods* 11 (21): 3367. <https://doi.org/10.3390/foods11213367>.
- Gotal Skoko, Ana-Marija, Martina Skendrović Babojelić, Bojan Šarkanj, i sur. 2024. „Influence of Polyphenols on the Resistance of Traditional and Conventional Apple Varieties to Infection by *Penicillium Expansum* during Cold Storage“. *Sustainability* 16 (12): 5019. <https://doi.org/10.3390/su16125019>.
- Gullón, Beatriz, Thelmo A. Lú-Chau, María Teresa Moreira, Juan M. Lema, i Gemma Eibes. 2017. „Rutin: A Review on Extraction, Identification and Purification Methods, Biological Activities and Approaches to Enhance Its Bioavailability“. *Trends in Food Science & Technology* 67 (rujan): 220–35. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.008>.
- Gutierrez, Enrique, Ana García-Villaraco Velasco, Jose Antonio Lucas, F. Javier Gutierrez-Mañero, i Beatriz Ramos-Solano. 2017. „The Flavonol-Anthocyanin Pathway in Blackberry and Arabidopsis: State of the Art“. U *Flavonoids - From Biosynthesis to Human Health*, uredio Goncalo C. Justino. InTech. <https://doi.org/10.5772/67902>.
- Habschied, Kristina, Gabriella Kanižai Šarić, Vinko Krstanović, i Krešimir Mastanjević. 2021. „Mycotoxins—Biomonitoring and Human Exposure“. *Toxins* 13 (2): 113. <https://doi.org/10.3390/toxins13020113>.
- Halliwell, Barry. 2008. „Are Polyphenols Antioxidants or Pro-Oxidants? What Do We Learn from Cell Culture and in Vivo Studies?“. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 476 (2): 107–12. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2008.01.028>.
- Halliwell, Barry, i John M.C. Gutteridge. 1995. „The Definition and Measurement of Antioxidants in Biological Systems“. *Free Radical Biology and Medicine* 18 (1): 125–26. [https://doi.org/10.1016/0891-5849\(95\)91457-3](https://doi.org/10.1016/0891-5849(95)91457-3).
- Hamlaoui, Ikram, Reguia Bencheraiet, Rafik Bensegueni, i Mustapha Bencharif. 2018. „Experimental and Theoretical Study on DPPH Radical Scavenging Mechanism of Some Chalcone Quinoline Derivatives“. *Journal of Molecular Structure* 1156 (ožujak): 385–89. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.11.118>.
- Han, Xiaojiao, Yanqiu Zhao, Yinjie Chen, i sur. 2022. „Lignin biosynthesis and accumulation in response to abiotic stresses in woody plants“. *Forestry Research* 2 (1): 0–0. <https://doi.org/10.48130/FR-2022-0009>.
- Haponska, Monika, Paulina Modrakowska, Karolina Balik, i sur. 2021. „Medical Plaster Enhancement by Coating with *Cistus L.* Extracts within a Chitosan Matrix: From Natural Complexity to Health Care Simplicity“. *Materials* 14 (3): 582. <https://doi.org/10.3390/ma14030582>.
- Heim, Kelly E, Anthony R Tagliaferro, i Dennis J Bobilya. 2002. „Flavonoid Antioxidants: Chemistry, Metabolism and Structure-Activity Relationships“. *The Journal of Nutritional Biochemistry* 13 (10): 572–84. [https://doi.org/10.1016/S0955-2863\(02\)00208-5](https://doi.org/10.1016/S0955-2863(02)00208-5).

- Heleno, Sandrina A., Anabela Martins, Maria João R.P. Queiroz, i Isabel C.F.R. Ferreira. 2015. „Bioactivity of Phenolic Acids: Metabolites versus Parent Compounds: A Review“. *Food Chemistry* 173 (travanj): 501–13. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.057>.
- Hermund, Ditte B. 2018. „Antioxidant Properties of Seaweed-Derived Substances“. U *Bioactive Seaweeds for Food Applications*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813312-5.00010-8>.
- Hlavatá, Lenka, Vlastimil Vyskočil, Katarína Beníková, Monika Borbélyová, i Ján Labuda. 2014. „DNA-Based Biosensors with External Nafion and Chitosan Membranes for the Evaluation of the Antioxidant Activity of Beer, Coffee, and Tea“. *Open Chemistry* 12 (5): 604–11. <https://doi.org/10.2478/s11532-014-0516-4>.
- Hoch, William A., Eric L. Singaas, i Brent H. McCown. 2003. „Resorption Protection. Anthocyanins Facilitate Nutrient Recovery in Autumn by Shielding Leaves from Potentially Damaging Light Levels“. *Plant Physiology* 133 (3): 1296–305. <https://doi.org/10.1104/pp.103.027631>.
- Honda, Chikako, i Shigeki Moriya. 2018. „Anthocyanin Biosynthesis in Apple Fruit“. *The Horticulture Journal* 87 (3): 305–14. <https://doi.org/10.2503/hortj.OKD-R01>.
- Houghton, Alan, Ingo Appelhagen, i Cathie Martin. 2021. „Natural Blues: Structure Meets Function in Anthocyanins“. *Plants* 10 (4): 726. <https://doi.org/10.3390/plants10040726>.
- Hu, Lei, Yiqing Luo, Jiaxin Yang, i Chunsong Cheng. 2025. „Botanical Flavonoids: Efficacy, Absorption, Metabolism and Advanced Pharmaceutical Technology for Improving Bioavailability“. *Molecules* 30 (5): 1184. <https://doi.org/10.3390/molecules30051184>.
- Iacopini, Patrizia, Fabiano Camangi, Agostino Stefani, i Luca Sebastiani. 2010. „Antiradical Potential of Ancient Italian Apple Varieties of Malus×domestica Borkh. in a Peroxynitrite-Induced Oxidative Process“. *Journal of Food Composition and Analysis* 23 (6): 518–24. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.05.004>.
- Ioannou, Irina, Leila Chekir, i Mohamed Ghoul. 2020. „Effect of Heat Treatment and Light Exposure on the Antioxidant Activity of Flavonoids“. *Processes* 8 (9): 1078. <https://doi.org/10.3390/pr8091078>.
- Islam, Shahidul. 2016. „Anthocyanin Compositions in Different Colored Gladiolus Species: A Source of Natural Food Colorants“. *American Journal of Food Science and Technology* 4 (4): 109–14. <https://doi.org/10.12691/ajfst-4-4-4>.
- Jakobek, Lidija, Rocio García-Villalba, i Francisco A. Tomás-Barberán. 2013. „Polyphenolic Characterisation of Old Local Apple Varieties from Southeastern European Region“. *Journal of Food Composition and Analysis* 31 (2): 199–211. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.05.012>.
- Jakobek, Lidija, Jozo Ištuk, Ivana Buljeta, Sandra Voća, Jana Šic Žlabur, i Martina Skendrović Babojelić. 2020. „Traditional, Indigenous Apple Varieties, a Fruit with Potential for Beneficial Effects: Their Quality Traits and Bioactive Polyphenol Contents“. *Foods* 9 (1): 52. <https://doi.org/10.3390/foods9010052>.

- Jakobek, Lidija, i Petra Matić. 2024. „Phenolic Compounds from Apples: From Natural Fruits to the Beneficial Effects in the Digestive System“. *Molecules* 29 (3): 568. <https://doi.org/10.3390/molecules29030568>.
- Jan, I., i A. Rab. 2012. „Influence of storage duration on physico-chemical changes in fruit of apple cultivars“. *The Journal of Anima and Plant Sciences* 22 (3): 708–14.
- Janik, Edyta, Marcin Niemcewicz, Michal Ceremuga, i sur. 2020. „Molecular Aspects of Mycotoxins—A Serious Problem for Human Health“. *International Journal of Molecular Sciences* 21 (21): 8187. <https://doi.org/10.3390/ijms21218187>.
- Jimdjio, Carelle Kouasseu, Huali Xue, Yang Bi, i sur. 2021. „Effect of Ambient pH on Growth, Pathogenicity, and Patulin Production of *Penicillium Expansum*“. *Toxins* 13 (8): 550. <https://doi.org/10.3390/toxins13080550>.
- Jing, Chenjuan, Depeng Feng, Zhengyang Zhao, Xiaohong Wu, i Xuefeng Chen. 2020. „Effect of Environmental Factors on Skin Pigmentation and Taste in Three Apple Cultivars“. *Acta Physiologiae Plantarum* 42 (5): 69. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03039-7>.
- Johnston, Jason W, Errol W Hewett, Maarten L.A.T.M Hertog, i F Roger Harker. 2001. „Temperature Induces Differential Softening Responses in Apple Cultivars“. *Postharvest Biology and Technology* 23 (3): 185–96. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(01\)00127-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00127-2).
- Ju, Zhiqiang, Yousheng Duan, i Zhiguo Ju. 1999. „Effects of Covering the Orchard Floor with Reflecting Films on Pigment Accumulation and Fruit Coloration in 'Fuji' Apples“. *Scientia Horticulturae* 82 (1–2): 47–56. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00038-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00038-2).
- Judet-Correia, Daniela, Sophie Bollaert, Alison Duquenne, Claudine Charpentier, Maurice Bensoussan, i Philippe Dantigny. 2010. „Validation of a Predictive Model for the Growth of *Botrytis Cinerea* and *Penicillium Expansum* on Grape Berries“. *International Journal of Food Microbiology* 142 (1–2): 106–13. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.06.009>.
- Kaeswurm, Julia Anna Helene, Rebecca Sempio, Federica Manca, Melanie Regina Burandt, i Maria Buchweitz. 2023. „Analyzing Bioaccessibility of Polyphenols in Six Commercial and Six Traditional Apples (*Malus Domestica* Borkh.) during In Vitro and Ex Vivo Oral Digestion“. *Molecular Nutrition & Food Research* 67 (22): 2300055. <https://doi.org/10.1002/mnfr.202300055>.
- Kalinowska, Monika, Aleksandra Bielawska, Hanna Lewandowska-Siwkiewicz, Waldemar Priebe, i Włodzimierz Lewandowski. 2014. „Apples: Content of Phenolic Compounds vs. Variety, Part of Apple and Cultivation Model, Extraction of Phenolic Compounds, Biological Properties“. *Plant Physiology and Biochemistry* 84 (studenii): 169–88. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.09.006>.
- Kalinowska, Monika, Kamila Gryko, Anna M. Wróblewska, Agata Jabłońska-Trypuć, i Danuta Karpowicz. 2020. „Phenolic Content, Chemical Composition and Anti-/pro-Oxidant Activity of Gold Milenium and Papierowka Apple Peel Extracts“. *Scientific Reports* 10 (1): 14951. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71351-w>.
- Karaman, Şeyda, Esmâ Tütem, Kevser Sözgen Başkan, i Reşat Apak. 2013. „Comparison of Antioxidant Capacity and Phenolic Composition of Peel and Flesh of Some Apple

Varieties“. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93 (4): 867–75. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5810>.

Karl, Adam Duerr, i Gregory Michael Peck. 2022. „Greater Sunlight Exposure during Early Fruit Development Increases Polyphenol Concentration, Soluble Solid Concentration, and Fruit Mass of Cider Apples“. *Horticulturae* 8 (11): 993. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8110993>.

Kępińska-Pacelik, Jagoda, i Wioletta Biel. 2021. „Mycotoxins—Prevention, Detection, Impact on Animal Health“. *Processes* 9 (11): 2035. <https://doi.org/10.3390/pr9112035>.

Khachay, Abdelhak, Radia Yous, Razika Khalladi, i sur. 2025. „Understanding the Adsorption Mechanism of Phenol and Para-Chlorophenol onto Sepiolite Clay: A Combined DFT Calculations, Molecular Dynamics Simulations, and Isotherm Analysis“. *Water* 17 (9): 1335. <https://doi.org/10.3390/w17091335>.

Khlebnikov, Andrei I., Igor A. Schepetkin, Nina G. Domina, Liliya N. Kirpotina, i Mark T. Quinn. 2007. „Improved Quantitative Structure–Activity Relationship Models to Predict Antioxidant Activity of Flavonoids in Chemical, Enzymatic, and Cellular Systems“. *Bioorganic & Medicinal Chemistry* 15 (4): 1749–70. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2006.11.037>.

Khoddami, Ali, Meredith Wilkes, i Thomas Roberts. 2013. „Techniques for Analysis of Plant Phenolic Compounds“. *Molecules* 18 (2): 2328–75. <https://doi.org/10.3390/molecules18022328>.

Kistechok, Andrii, Dariusz Wrona, i Tomasz Krupa. 2022. „Quality and Nutritional Value of ‘Chopin’ and Clone ‘JB’ in Relation to Popular Apples Growing in Poland“. *Agriculture* 12 (11): 1876. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111876>.

Kistechok, Andrii, Dariusz Wrona, i Tomasz Krupa. 2023. „Effect of Storage Conditions on the Storability and Nutritional Value of New Polish Apples Grown in Central Poland“. *Agriculture* 14 (1): 59. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010059>.

Kobayashi, Michihiko, Makoto Shinohara, Chigusa Sakoh, Michihiko Kataoka, i Sakayu Shimizu. 1998. „Lactone-Ring-Cleaving Enzyme: Genetic Analysis, Novel RNA Editing, and Evolutionary Implications“. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 95 (22): 12787–92. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.22.12787>.

Konstantinou, S., G. S. Karaoglanidis, G. A. Bardas, I. S. Minas, E. Doukas, i A. N. Markoglou. 2011. „Postharvest Fruit Rots of Apple in Greece: Pathogen Incidence and Relationships Between Fruit Quality Parameters, Cultivar Susceptibility, and Patulin Production“. *Plant Disease* 95 (6): 666–72. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-10-0856>.

Kovač, Tihomir, Bojan Šarkanj, Ivana Borišev, i sur. 2020. „Fullerol C60(OH)₂₄ Nanoparticles Affect Secondary Metabolite Profile of Important Foodborne Mycotoxigenic Fungi In Vitro“. *Toxins* 12 (4): 213. <https://doi.org/10.3390/toxins12040213>.

Kschonsek, Josephine, Theresa Wolfram, Annette Stöckl, i Volker Böhm. 2018. „Polyphenolic Compounds Analysis of Old and New Apple Cultivars and Contribution of Polyphenolic

Profile to the In Vitro Antioxidant Capacity“. *Antioxidants* 7 (1): 20. <https://doi.org/10.3390/antiox7010020>.

Kumar, Dilip, Joanna Tannous, Edward Sionov, Nancy Keller, i Dov Prusky. 2018. „Apple Intrinsic Factors Modulating the Global Regulator, LaeA, the Patulin Gene Cluster and Patulin Accumulation During Fruit Colonization by *Penicillium expansum*“. *Frontiers in Plant Science* 9 (srpanj): 1094. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01094>.

Kumar, Naresh, i Nidhi Goel. 2019. „Phenolic Acids: Natural Versatile Molecules with Promising Therapeutic Applications“. *Biotechnology Reports* 24 (prosinac): e00370. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00370>.

Kumar, Naresh, i Vikas Pruthi. 2014. „Potential Applications of Ferulic Acid from Natural Sources“. *Biotechnology Reports* 4 (prosinac): 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.09.002>.

Lai, Tongfei, Yong Chen, Boqiang Li, Guozheng Qin, i Shiping Tian. 2014. „Mechanism of *Penicillium Expansum* in Response to Exogenous Nitric Oxide Based on Proteomics Analysis“. *Journal of Proteomics* 103 (svibanj): 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.jpro.2014.03.012>.

Lara-Cruz, Gustavo A., i Andres Jaramillo-Botero. 2022. „Molecular Level Sucrose Quantification: A Critical Review“. *Sensors* 22 (23): 9511. <https://doi.org/10.3390/s22239511>.

Larous, L., N. Hendel, J.K. Abood, i M. Ghoul. 2007. „The growth and production of patulin mycotoxin by *Penicillium expansum* on apple fruits and its control by the use of propionic acid and sodium benzoate.“ *Arab Journal of Plant Protection*, 25 (1): 123–28.

Laužikè, Kristina, Nobertas Uselis, i Giedrè Samuolienè. 2021. „The Influence of Rootstock and High-Density Planting on Apple Cv. Auksis Fruit Quality“. *Plants* 10 (6): 1253. <https://doi.org/10.3390/plants10061253>.

Leisso, Rachel S., Ines Hanrahan, James P. Mattheis, i David R. Rudell. 2017. „Controlled Atmosphere Storage, Temperature Conditioning, and Antioxidant Treatment Alter Postharvest ‘Honeycrisp’ Metabolism“. *HortScience* 52 (3): 423–31. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI11436-16>.

Leja, M, A Mareczek, i J Ben. 2003. „Antioxidant Properties of Two Apple Cultivars during Long-Term Storage“. *Food Chemistry* 80 (3): 303–7. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00263-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00263-7).

Li, Boqiang, Yong Chen, Zhanquan Zhang, Guozheng Qin, Tong Chen, i Shiping Tian. 2020. „Molecular Basis and Regulation of Pathogenicity and Patulin Biosynthesis in *Penicillium Expansum*“. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 19 (6): 3416–38. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12612>.

Li, Dong, Xiaochen Zhang, Li Li, i sur. 2019. „Elevated CO₂ Delayed the Chlorophyll Degradation and Anthocyanin Accumulation in Postharvest Strawberry Fruit“. *Food Chemistry* 285 (srpanj): 163–70. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.150>.

- Li, Xican, Ban Chen, Hong Xie, Yuhua He, Dewei Zhong, i Dongfeng Chen. 2018. „Antioxidant Structure–Activity Relationship Analysis of Five Dihydrochalcones“. *Molecules* 23 (5): 1162. <https://doi.org/10.3390/molecules23051162>.
- Liang, Wenou, Lichao Zhao, Jingfeng Zhang, i sur. 2020. „Colonization Potential to Reconstitute a Microbe Community in Pseudo Germ-Free Mice After Fecal Microbe Transplant From Equol Producer“. *Frontiers in Microbiology* 11 (lipanj): 1221. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01221>.
- Liaudanskas, Mindaugas, Pranas Viškelis, Raimondas Raudonis, Darius Kviklys, Norbertas Uselis, i Valdimaras Janulis. 2014. „Phenolic Composition and Antioxidant Activity of *Malus Domestica* Leaves“. *The Scientific World Journal* 2014: 1–10. <https://doi.org/10.1155/2014/306217>.
- Linke, Manfred, Ulrike Praeger, Pramod V. Mahajan, i Martin Geyer. 2021. „Water Vapour Condensation on the Surface of Bulky Fruit: Some Basics and a Simple Measurement Method“. *Journal of Food Engineering* 307 (listopad): 110661. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110661>.
- Linke, Manfred, Ulrike Praeger, Daniel A. Neuwald, i Martin Geyer. 2023. „Measurement of Water Vapor Condensation on Apple Surfaces during Controlled Atmosphere Storage“. *Sensors* 23 (3): 1739. <https://doi.org/10.3390/s23031739>.
- Liu, Saifei, Jincheng Jiang, Zihui Ma, i sur. 2022. „The Role of Hydroxycinnamic Acid Amide Pathway in Plant Immunity“. *Frontiers in Plant Science* 13 (lipanj): 922119. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.922119>.
- Liu, Xiaoshuang, Leran Wang, Saiqun Wang, i sur. 2023. „Detoxification of Patulin in Apple Juice by Enzymes and Evaluation of Its Degradation Products“. *Food Control* 145 (ožujak): 109518. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109518>.
- Lončarić, Ante, Ivana Flanjak, Tihomir Kovač, i sur. 2023. „Unveiling Apple Diversity: The Quality of Juice Produced from Old vs. Commercial Apple Cultivars“. *Plants* 12 (21): 3733. <https://doi.org/10.3390/plants12213733>.
- Lončarić, Ante, Katarina Matanović, Perla Ferrer, i sur. 2020. „Peel of Traditional Apple Varieties as a Great Source of Bioactive Compounds: Extraction by Micro-Matrix Solid-Phase Dispersion“. *Foods* 9 (1): 80. <https://doi.org/10.3390/foods9010080>.
- Lončarić, Ante, i Vlasta Piližota. 2014. „Effect of variety, growing season and storage on polyphenol profile and antioxidant activity of apple peels“. *Hrana u zdravlju i bolesti* 3 (2): 96–105.
- Lončarić, Ante, Bojan Šarkanj, Ana-Marija Gotal, i sur. 2021. „Penicillium Expansum Impact and Patulin Accumulation on Conventional and Traditional Apple Cultivars“. *Toxins* 13 (10): 703. <https://doi.org/10.3390/toxins13100703>.
- Lou, Zaixiang, Hongxin Wang, Shengqi Rao, Juntao Sun, Chaoyang Ma, i Jing Li. 2012. „P-Coumaric Acid Kills Bacteria through Dual Damage Mechanisms“. *Food Control* 25 (2): 550–54. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.11.022>.

- Lu, Wang, Yuan Shi, Rui Wang, i sur. 2021. „Antioxidant Activity and Healthy Benefits of Natural Pigments in Fruits: A Review“. *International Journal of Molecular Sciences* 22 (9): 4945. <https://doi.org/10.3390/ijms22094945>.
- Lu, Yingshuang, LeiLei Yin, Danielle L. Gray, Leonard C. Thomas, i Shelly J. Schmidt. 2017. „Impact of Sucrose Crystal Composition and Chemistry on Its Thermal Behavior“. *Journal of Food Engineering* 214 (prosinac): 193–208. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.016>.
- Luby JJ. 2003. „Taxonomic Classification and brief history, Apples botany, production and uses“. *University of Minnesota, USA* 1-12.
- Łysiak, Grzegorz. 2014. „Measurement of Ethylene Production as a Method for Determining the Optimum Harvest Date of ‘Jonagored’ Apples“. *Folia Horticulturae* 26 (2): 117–24. <https://doi.org/10.1515/fhort-2015-0002>.
- Ma, Baiquan, Yangyang Yuan, Meng Gao, i sur. 2018.a. „Determination of Predominant Organic Acid Components in Malus Species: Correlation with Apple Domestication“. *Metabolites* 8 (4): 74. <https://doi.org/10.3390/metabo8040074>.
- Ma, Baiquan, Yangyang Yuan, Meng Gao, i sur. 2018.b. „Determination of Predominant Organic Acid Components in Malus Species: Correlation with Apple Domestication“. *Metabolites* 8 (4): 74. <https://doi.org/10.3390/metabo8040074>.
- Ma, Yanyun, Xu Ma, Xiang Gao, Weilin Wu, i Bo Zhou. 2021. „Light Induced Regulation Pathway of Anthocyanin Biosynthesis in Plants“. *International Journal of Molecular Sciences* 22 (20): 11116. <https://doi.org/10.3390/ijms222011116>.
- Macarisin, D., L. Cohen, A. Eick, i sur. 2007. „Penicillium Digitatum Suppresses Production of Hydrogen Peroxide in Host Tissue During Infection of Citrus Fruit“. *Phytopathology*® 97 (11): 1491–500. <https://doi.org/10.1094/PHTO-97-11-1491>.
- Machado, Júlio Viana, Maria Luiza Andrade Da Silva, Caio Luis Santos Silva, Maria Carolina Granja Correia, Alisson Dias Da Silva Ruy, i Luiz Antônio Magalhães Pontes. 2023. „Catalysts and Processes for Gluconic and Glucaric Acids Production: A Comprehensive Review of Market and Chemical Routes“. *Catalysis Communications* 182 (rujan): 106740. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2023.106740>.
- Małachowska, Maria, i Kazimierz Tomala. 2023. „Apple Quality during Shelf-Life after Long-Term Storage and Simulated Transport“. *Agriculture* 13 (11): 2045. <https://doi.org/10.3390/agriculture13112045>.
- Manach, Claudine, Augustin Scalbert, Christine Morand, Christian Rémésy, i Liliana Jiménez. 2004. „Polyphenols: Food Sources and Bioavailability“. *The American Journal of Clinical Nutrition* 79 (5): 727–47. <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727>.
- Maoz, Itay, Mirko De Rosso, Tatiana Kaplunov, i sur. 2019. „Metabolomic and Transcriptomic Changes Underlying Cold and Anaerobic Stresses after Storage of Table Grapes“. *Scientific Reports* 9 (1): 2917. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39253-8>.

- Marín, S., H. Morales, H. A. H. Hasan, A. J. Ramos, i V. Sanchis. 2006. „Patulin Distribution in Fuji and Golden Apples Contaminated with *Penicillium Expansum*“. *Food Additives and Contaminants* 23 (12): 1316–22. <https://doi.org/10.1080/02652030600887610>.
- Martin, Keith R. 2009. „Polyphenols as Dietary Supplements: A Double-Edged Sword“. *Nutrition and Dietary Supplements*, prosinac, 1. <https://doi.org/10.2147/NDS.S6422>.
- Mathew, Sindhu, T. Emilia Abraham, i Zainul Akmar Zakaria. 2015. „Reactivity of Phenolic Compounds towards Free Radicals under in Vitro Conditions“. *Journal of Food Science and Technology* 52 (9): 5790–98. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1704-0>.
- Mattheis, James P. 2008. „How 1-Methylcyclopropene Has Altered the Washington State Apple Industry“. *HortScience* 43 (1): 99–101. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.1.99>.
- Mattila, Pirjo, i Jarkko Hellström. 2007. „Phenolic Acids in Potatoes, Vegetables, and Some of Their Products“. *Journal of Food Composition and Analysis* 20 (3–4): 152–60. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.05.007>.
- Menniti, Anna M, Fiorella Neri, Roberto Gregori, i Massimo Maccaferri. 2010. „Some Factors Influencing Patulin Production by *Penicillium Expansum* in Pome Fruits“. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90 (13): 2183–87. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4067>.
- Merecz-Sadowska, Anna, Przemysław Sitarek, Tomasz Kowalczyk, i sur. 2023. „Food Anthocyanins: Malvidin and Its Glycosides as Promising Antioxidant and Anti-Inflammatory Agents with Potential Health Benefits“. *Nutrients* 15 (13): 3016. <https://doi.org/10.3390/nu15133016>.
- Mihaljević, Ines, Marija Viljevac Vuletić, Domagoj Šimić, i sur. 2021. „Comparative Study of Drought Stress Effects on Traditional and Modern Apple Cultivars“. *Plants* 10 (3): 561. <https://doi.org/10.3390/plants10030561>.
- Millán-Laleona, Adrián, Francisco Bielsa, Eduardo Aranda-Cañada, Carlota Gómez-Rincón, Pilar Errea, i Víctor López. 2023. „Antioxidant, Antidiabetic, and Anti-Obesity Properties of Apple Pulp Extracts (*Malus Domestica* Bork): A Comparative Study of 15 Local and Commercial Cultivars from Spain“. *Biology* 12 (7): 891. <https://doi.org/10.3390/biology12070891>.
- Mita, Soraya Ratnawulan, Patihul Husni, Norisca Aliza Putriana, Rani Maharani, Ryan Proxy Hendrawan, i Dian Anggraeni Dewi. 2024. „A Recent Update on the Potential Use of Catechins in Cosmeceuticals“. *Cosmetics* 11 (1): 23. <https://doi.org/10.3390/cosmetics11010023>.
- Monribot-Villanueva, Juan L., José M. Elizalde-Contreras, Martín Aluja, i sur. 2019. „Endorsing and Extending the Repertory of Nutraceutical and Antioxidant Sources in Mangoes during Postharvest Shelf Life“. *Food Chemistry* 285 (srpanj): 119–29. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.136>.
- Morales, Hector, Vicente Sanchis, Joan Coromines, Antonio J. Ramos, i Sonia Marín. 2008. „Inoculum Size and Intraspecific Interactions Affects *Penicillium Expansum* Growth and Patulin Accumulation in Apples“. *Food Microbiology* 25 (2): 378–85. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2007.09.008>.

- Morariu, Paula A., Andruța E. Mureșan, Adriana F. Sestras, i sur. 2025. „A Comprehensive Morphological, Biochemical, and Sensory Study of Traditional and Modern Apple Cultivars“. *Horticulturae* 11 (3): 264. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11030264>.
- Moreira, Leonardo M., Juliana P. Lyon, Patrícia Lima, Vanessa J. S. V. Santos, i Fabio V. Santos. 2012. „CHAPTER 9. Sucrose Chemistry“. U *Food and Nutritional Components in Focus*, uredio Victor R. Preedy. Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781849734929-00138>.
- Mrázková, Martina, Daniela Sumczynski, i Jana Orsavová. 2023. „Influence of Storage Conditions on Stability of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity Values in Nutraceutical Mixtures with Edible Flowers as New Dietary Supplements“. *Antioxidants* 12 (4): 962. <https://doi.org/10.3390/antiox12040962>.
- Mureșan, Andruța E., Adriana F. Sestras, Mădălina Militaru, i sur. 2022. „Chemometric Comparison and Classification of 22 Apple Genotypes Based on Texture Analysis and Physico-Chemical Quality Attributes“. *Horticulturae* 8 (1): 64. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8010064>.
- Nabavi, Seyed Mohammad, Dunja Šamec, Michał Tomczyk, i sur. 2020. „Flavonoid Biosynthetic Pathways in Plants: Versatile Targets for Metabolic Engineering“. *Biotechnology Advances* 38 (siječanj): 107316. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.11.005>.
- Nakamura, Yoshimasa, Shigeo Watanabe, Nobuyuki Miyake, Hiroyuki Kohn, i Toshihiko Osawa. 2003. „Dihydrochalcones: Evaluation as Novel Radical Scavenging Antioxidants“. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 (11): 3309–12. <https://doi.org/10.1021/jf0341060>.
- Nešić, Ksenija, Kristina Habschied, i Krešimir Mastanjević. 2023. „Modified Mycotoxins and Multitoxin Contamination of Food and Feed as Major Analytical Challenges“. *Toxins* 15 (8): 511. <https://doi.org/10.3390/toxins15080511>.
- Nicola, Lidia, Angela Yaneth Landínez-Torres, Francesco Zambuto, Enrica Capelli, i Solveig Tosi. 2021. „The Mycobiota of High Altitude Pear Orchards Soil in Colombia“. *Biology* 10 (10): 1002. <https://doi.org/10.3390/biology10101002>.
- Niederberger, Katherine E., David R. Tennant, i Phillip Bellion. 2020. „Dietary Intake of Phloridzin from Natural Occurrence in Foods“. *British Journal of Nutrition* 123 (8): 942–50. <https://doi.org/10.1017/S0007114520000033>.
- Nkuimi Wandjou, Joice Guileine, Laura Lancioni, Maria Cristina Barbalace, i sur. 2020. „Comprehensive Characterization of Phytochemicals and Biological Activities of the Italian Ancient Apple ‘Mela Rosa Dei Monti Sibillini’“. *Food Research International* 137 (studeni): 109422. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109422>.
- Nunes, Ana R., Gilberto Alves, Amílcar Falcão, João A. Lopes, i Luís R. Silva. 2025. „Phenolic Acids from Fruit By-Products as Therapeutic Agents for Metabolic Syndrome: A Review“. *International Journal of Molecular Sciences* 26 (8): 3834. <https://doi.org/10.3390/ijms26083834>.

- Nybo, Hilde, Masoud Ahmadi-Afzadi, Kimmo Rumpunen, i Ibrahim Tahir. 2020. „Review of the Impact of Apple Fruit Ripening, Texture and Chemical Contents on Genetically Determined Susceptibility to Storage Rots“. *Plants* 9 (7): 831. <https://doi.org/10.3390/plants9070831>.
- Osorio-Cruz, Yazmin, Ivonne María Olivares-Corichi, José Correa-Basurto, i sur. 2024. „The Autoxidized Mixture of (-)-Epicatechin Contains Procyanidins and Shows Antiproliferative and Apoptotic Activity in Breast Cancer Cells“. *Pharmaceuticals* 17 (2): 258. <https://doi.org/10.3390/ph17020258>.
- Osswald, H., H.K. Frank, D. Komitowski, i H. Winter. 1976. „Long-Term Testing of Patulin Administered Orally to Sprague-Dawley Rats and Swiss Mice“. *Food and Cosmetics Toxicology* 16 (3): 243–47. [https://doi.org/10.1016/S0015-6264\(76\)80520-2](https://doi.org/10.1016/S0015-6264(76)80520-2).
- Oszmianański, Jan, Sabina Lachowicz, i Hannes Gamsjäger. 2020. „Phytochemical Analysis by Liquid Chromatography of Ten Old Apple Varieties Grown in Austria and Their Antioxidative Activity“. *European Food Research and Technology* 246 (3): 437–48. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03411-z>.
- Oszmianański, Jan, Sabina Lachowicz, Ewa Gławdel, Tomasz Cebulak, i Ireneusz Ochmian. 2018. „Determination of Phytochemical Composition and Antioxidant Capacity of 22 Old Apple Cultivars Grown in Poland“. *European Food Research and Technology* 244 (4): 647–62. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2989-9>.
- Oteiza, Juan M., Amin M. Khaneghah, Fernanda B. Campagnollo, i sur. 2017. „Influence of Production on the Presence of Patulin and Ochratoxin A in Fruit Juices and Wines of Argentina“. *LWT* 80 (srpanj): 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.025>.
- Ožegović, Ladislav, i Stjepan Pepeljnjak. 1995. *Mikotoksikoze*. Školska knjiga.
- Panzella, Lucia, Milena Petriccione, Pietro Rega, Marco Scortichini, i Alessandra Napolitano. 2013. „A Reappraisal of Traditional Apple Cultivars from Southern Italy as a Rich Source of Phenols with Superior Antioxidant Activity“. *Food Chemistry* 140 (4): 672–79. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.121>.
- Patanè, Giuseppe Tancredi, Stefano Putaggio, Ester Tellone, i sur. 2023. „Catechins and Proanthocyanidins Involvement in Metabolic Syndrome“. *International Journal of Molecular Sciences* 24 (11): 9228. <https://doi.org/10.3390/ijms24119228>.
- Patocka, Jiri, Kanchan Bhardwaj, Blanka Klimova, i sur. 2020. „Malus Domestica: A Review on Nutritional Features, Chemical Composition, Traditional and Medicinal Value“. *Plants* 9 (11): 1408. <https://doi.org/10.3390/plants9111408>.
- Pereira, David M., Patrícia Valentão, José A. Pereira, i Paula B. Andrade. 2009. „Phenolics: From Chemistry to Biology“. *Molecules* 14 (6): 2202–11. <https://doi.org/10.3390/molecules14062202>.
- Pico, Joana, Kang Xu, Mengmeng Guo, Zulfiqar Mohamedshah, Mario G. Ferruzzi, i Mario M. Martinez. 2019. „Manufacturing the Ultimate Green Banana Flour: Impact of Drying and Extrusion on Phenolic Profile and Starch Bioaccessibility“. *Food Chemistry* 297 (studeni): 124990. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124990>.

- Pires, Tânia C.S.P., Maria Inês Dias, Lillian Barros, i sur. 2018. „Antioxidant and Antimicrobial Properties of Dried Portuguese Apple Variety (Malus Domestica Borkh. Cv Bravo de Esmolfe)“. *Food Chemistry* 240 (veljača): 701–6. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.010>.
- Pitt, John I., i Ailsa D. Hocking. 2009. „Penicillium and Related Genera“. U *Fungi and Food Spoilage*, od John I. Pitt i Ailsa D. Hocking. Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-92207-2_7.
- Pleadin, Jelka, Mladenka Malenica Staver, Ksenija Markov, i sur. 2017. „Mycotoxins in Organic and Conventional Cereals and Cereal Products Grown and Marketed in Croatia“. *Mycotoxin Research* 33 (3): 219–27. <https://doi.org/10.1007/s12550-017-0280-3>.
- Plumb, G.W., K.R. Price, i G. Williamson. 1999. „Antioxidant Properties of Flavonol Glycosides from Tea“. *Redox Report* 4 (1–2): 13–16. <https://doi.org/10.1179/135100099101534684>.
- Pott, Delphine M., José G. Vallarino, i Sonia Osorio. 2020. „Metabolite Changes during Postharvest Storage: Effects on Fruit Quality Traits“. *Metabolites* 10 (5): 187. <https://doi.org/10.3390/metabo10050187>.
- Praeger, Ulrike, Reiner Jedermann, Marc Sellwig, i sur. 2021. „Influence of Room Layout on Airflow Distribution in an Industrial Fruit Store“. *International Journal of Refrigeration* 131 (studeni): 714–22. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.06.016>.
- Prange, Robert K., i A. Harrison Wright. 2023. „A Review of Storage Temperature Recommendations for Apples and Pears“. *Foods* 12 (3): 466. <https://doi.org/10.3390/foods12030466>.
- Priest, Jeffrey W., i Robley J. Light. 1989. „Patulin Biosynthesis: Epoxidation of Toluquinol and Gentisyl Alcohol by Particulate Preparations from *Penicillium Patulum*“. *Biochemistry* 28 (23): 9192–200. <https://doi.org/10.1021/bi00449a035>.
- Puel, Olivier, Pierre Galtier, i Isabelle Oswald. 2010. „Biosynthesis and Toxicological Effects of Patulin“. *Toxins* 2 (4): 613–31. <https://doi.org/10.3390/toxins2040613>.
- Purdešová, Andrea, i Milena Dömötöróvá. 2017. „MSPD as Sample Preparation Method for Determination of Selected Pesticide Residues in Apples“. *Acta Chimica Slovaca* 10 (1): 41–46. <https://doi.org/10.1515/acs-2017-0007>.
- Raj, Yog, Anil Kumar, Sampa Das, Vidyashankar Srivatsan, Dinesh Kumar, i Rakesh Kumar. 2021. „A Comparative Analysis of Compositional and Phytochemical Attributes in Fruits of Low Chilling Apple Varieties Cultivated in the Eastern and Western Himalaya“. *Scientia Horticulturae* 286 (kolovoz): 110221. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110221>.
- Ramalingam, Srinivasan, Ashutosh Bahuguna, i Myunghee Kim. 2019. „The Effects of Mycotoxin Patulin on Cells and Cellular Components“. *Trends in Food Science & Technology* 83 (siječanj): 99–113. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.10.010>.
- Raudone, Lina, Raimondas Raudonis, Mindaugas Liaudanskas, Valdimaras Janulis, i Pranas Viskelis. 2017. „Phenolic Antioxidant Profiles in the Whole Fruit, Flesh and Peel of Apple Cultivars Grown in Lithuania“. *Scientia Horticulturae* 216 (veljača): 186–92. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.005>.

- Reddy, Chada S., Ping Kwong Chan, i A. Wallace Hayes. 1978. „Teratogenic and Dominant Lethal Studies of Patulin in Mice“. *Toxicology* 11: 219–23. [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(78\)91339-2](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(78)91339-2).
- Reyes, L. Fernando, i L. Cisneros-Zevallos. 2007. „Degradation Kinetics and Colour of Anthocyanins in Aqueous Extracts of Purple- and Red-Flesh Potatoes (*Solanum Tuberosum* L.)“. *Food Chemistry* 100 (3): 885–94. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.11.002>.
- Riley, Ronald T., i Jency L. Showker. 1991. „The Mechanism of Patulin’s Cytotoxicity and the Antioxidant Activity of Indole Tetramic Acids“. *Toxicology and Applied Pharmacology* 109 (1): 108–26. [https://doi.org/10.1016/0041-008X\(91\)90195-K](https://doi.org/10.1016/0041-008X(91)90195-K).
- Rodil, Rosario, José Benito Quintana, Giulia Basaglia, Maria Chiara Pietrogrande, i Rafael Cela. 2010. „Determination of Synthetic Phenolic Antioxidants and Their Metabolites in Water Samples by Downscaled Solid-Phase Extraction, Silylation and Gas Chromatography–Mass Spectrometry“. *Journal of Chromatography A* 1217 (41): 6428–35. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2010.08.020>.
- Rodríguez-Andrade, Ernesto, Alberto M. Stchigel, i José F. Cano-Lira. 2021. „New Xerophilic Species of *Penicillium* from Soil“. *Journal of Fungi* 7 (2): 126. <https://doi.org/10.3390/jof7020126>.
- Romanazzi, Gianfranco, Simona Marianna Sanzani, Yang Bi, Shiping Tian, Porfirio Gutiérrez Martínez, i Noam Alkan. 2016. „Induced Resistance to Control Postharvest Decay of Fruit and Vegetables“. *Postharvest Biology and Technology* 122 (prosinac): 82–94. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.08.003>.
- Royen, Mohammad Jafar, Abdul Wasim Noori, i Juma Haydary. 2020. „Experimental Study and Mathematical Modeling of Convective Thin-Layer Drying of Apple Slices“. *Processes* 8 (12): 1562. <https://doi.org/10.3390/pr8121562>.
- Ruan, Haonan, Qian Lu, Jiashuo Wu, i sur. 2022. „Hepatotoxicity of Food-Borne Mycotoxins: Molecular Mechanism, Anti-Hepatotoxic Medicines and Target Prediction“. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 62 (9): 2281–308. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1960794>.
- Ryu, Jung-A, Shucheng Duan, Ho-Young Jeong, Chanhui Lee, In-Kyu Kang, i Seok Hyun Eom. 2022. „Pigmentation and Flavonoid Metabolite Diversity in Immature ‘Fuji’ Apple Fruits in Response to Lights and Methyl Jasmonate“. *International Journal of Molecular Sciences* 23 (3): 1722. <https://doi.org/10.3390/ijms23031722>.
- Sánchez-Lozada, Laura Gabriela, MyPhuong Le, Mark Segal, i Richard J Johnson. 2008. „How Safe Is Fructose for Persons with or without Diabetes?“ *The American Journal of Clinical Nutrition* 88 (5): 1189–90. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.26812>.
- Santarelli, Veronica, Lilia Neri, Giampiero Sacchetti, Carla D. Di Mattia, Dino Mastrocola, i Paola Pittia. 2020. „Response of Organic and Conventional Apples to Freezing and Freezing Pre-Treatments: Focus on Polyphenols Content and Antioxidant Activity“. *Food Chemistry* 308 (ožujak): 125570. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125570>.

- Sanzani, Simona M., Leonardo Schena, Franco Nigro, Annalisa De Girolamo, i Antonio Ippolito. 2009. „Effect of Quercetin and Umbelliferone on the Transcript Level of *Penicillium Expansum* Genes Involved in Patulin Biosynthesis“. *European Journal of Plant Pathology* 125 (2): 223–33. <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9475-6>.
- Sawicka, Monika, Piotr Latocha, i Barbara Łata. 2023. „Peel to Flesh Bioactive Compounds Ratio Affect Apple Antioxidant Potential and Cultivar Functional Properties“. *Agriculture* 13 (2): 478. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020478>.
- Sekiguchi, Junichi, i G. Maurice Gaucher. 1978. „Identification of phyllostine as an intermediate of the patulin pathway in *Penicillium urticae*“. *Biochemistry* 17 (9): 1785–91. <https://doi.org/10.1021/bi00602a033>.
- Sekiguchi, Junichi, i G. Maurice Gaucher. 1979. „Isoepoxydon, a New Metabolite of the Patulin Pathway in *Penicillium Urticae*“. *Biochemical Journal* 182 (2): 445–53. <https://doi.org/10.1042/bj1820445>.
- Serra, Ana Teresa, J. Rocha, B. Sepodes, i sur. 2012. „Evaluation of Cardiovascular Protective Effect of Different Apple Varieties – Correlation of Response with Composition“. *Food Chemistry* 135 (4): 2378–86. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.07.067>.
- Shahidi, Fereidoon, i Priyatharini Ambigaipalan. 2015. „Phenolics and Polyphenolics in Foods, Beverages and Spices: Antioxidant Activity and Health Effects – A Review“. *Journal of Functional Foods* 18 (listopad): 820–97. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>.
- Shcherbakova-Sandu, Mariya P., Eugene P. Meshcheryakov, Semyon A. Gulevich, i sur. 2025. „Use of Glucose Obtained from Biomass Waste for the Synthesis of Gluconic and Glucaric Acids: Their Production, Application, and Future Prospects“. *Molecules* 30 (14): 3012. <https://doi.org/10.3390/molecules30143012>.
- Shen, Nan, Tongfei Wang, Quan Gan, Sian Liu, Li Wang, i Biao Jin. 2022. „Plant Flavonoids: Classification, Distribution, Biosynthesis, and Antioxidant Activity“. *Food Chemistry* 383 (srpanj): 132531. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132531>.
- Shi, Caiyun, Zhifeng Wei, Li Liu, Ming Li, Junwei Liu, i Dengtao Gao. 2023. „Metabolomic and Transcriptomic Analysis Reveals the Mechanisms Underlying the Difference in Anthocyanin Accumulation in Apple Fruits at Different Altitudes“. *Horticulturae* 9 (4): 475. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040475>.
- Shoji, Toshihiko, Mina Obara, Tadashi Takahashi, Saeko Masumoto, Hironaka Hirota, i Tomisato Miura. 2021. „The Differences in the Flavan-3-Ol and Procyanidin Contents of the Japanese ‘Fuji’ and ‘Orin’ Apples Using a Rapid Quantitative High-Performance Liquid Chromatography Method: Estimation of the Japanese Intake of Flavan-3-Ols and Procyanidins from Apple as Case Study“. *Foods* 10 (2): 274. <https://doi.org/10.3390/foods10020274>.
- Shoji, Toshihiko, Mitsuhiro Yamada, Tomisato Miura, i sur. 2017. „Chronic Administration of Apple Polyphenols Ameliorates Hyperglycaemia in High-Normal and Borderline Subjects: A Randomised, Placebo-Controlled Trial“. *Diabetes Research and Clinical Practice* 129 (srpanj): 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2017.03.028>.

- Shu, Chang, Bangdi Liu, Handong Zhao, Kuanbo Cui, i Weibo Jiang. 2024. „Effect of Near-Freezing Temperature Storage on the Quality and Organic Acid Metabolism of Apple Fruit“. *Agriculture* 14 (7): 1057. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071057>.
- Singla, Rajeev K., Ashok K. Dubey, Arun Garg, i sur. 2019. „Natural Polyphenols: Chemical Classification, Definition of Classes, Subcategories, and Structures“. *Journal of AOAC International* 102 (5): 1397–400. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.19-0133>.
- Sjöstrand, Joakim, Ibrahim Tahir, Henrik Stridh, i Marie E. Olsson. 2025. „Evaluating Maturity Index IAD for Storability Potential in Mid-Season and Late-Season Apple Cultivars in the Light of Climate Change“. *Agriculture* 15 (8): 889. <https://doi.org/10.3390/agriculture15080889>.
- Slámová, Kristýna, Jana Kapešová, i Kateřina Valentová. 2018. „“Sweet Flavonoids”: Glycosidase-Catalyzed Modifications“. *International Journal of Molecular Sciences* 19 (7): 2126. <https://doi.org/10.3390/ijms19072126>.
- Sluis, Addie A. van der, Matthijs Dekker, Anton de Jager, i Wim M. F. Jongen. 2001. „Activity and Concentration of Polyphenolic Antioxidants in Apple: Effect of Cultivar, Harvest Year, and Storage Conditions“. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49 (8): 3606–13. <https://doi.org/10.1021/jf001493u>.
- Snini, Selma P., Joanna Tannous, Pauline Heuillard, i sur. 2016. „Patulin Is a Cultivar-dependent Aggressiveness Factor Favours the Colonization of Apples by *P. Enicillium Expansum*“. *Molecular Plant Pathology* 17 (6): 920–30. <https://doi.org/10.1111/mp.12338>.
- Sohrabi, Hessamaddin, Omid Arbabzadeh, Pegah Khaaki, Alireza Khataee, Mir Reza Majidi, i Yasin Orooji. 2022. „Patulin and Trichothecene: Characteristics, Occurrence, Toxic Effects and Detection Capabilities via Clinical, Analytical and Nanostructured Electrochemical Sensing/Biosensing Assays in Foodstuffs“. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 62 (20): 5540–68. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1887077>.
- Sorenson, W G, G F Gerberick, D M Lewis, i V Castranova. 1986. „Toxicity of Mycotoxins for the Rat Pulmonary Macrophage in Vitro.“ *Environmental Health Perspectives* 66 (travanj): 45–53. <https://doi.org/10.1289/ehp.866645>.
- Sredojevic, Ana, Dragan Radivojevic, Steva M. Levic, Milica Fotiric Aksic, Jasminka Milivojevic, i Ilija Djekic. 2024. „Effects of the Fruit Harvest Date and Shelf-Life Nexus of Apples on Different Quality Perspectives“. *Applied Sciences* 14 (24): 11737. <https://doi.org/10.3390/app142411737>.
- Starowicz, Małgorzata, B. Achrem–Achremowicz, M.K. Piskula, i H Zieliński. 2020. „Phenolic compounds from apples: reviewing their occurrence, absorption, bioavailability, processing, and antioxidant activity—a review“. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 70 (4): 321–36.
- Steven, Blaire, Regan B. Huntley, i Quan Zeng. 2018. „The Influence of Flower Anatomy and Apple Cultivar on the Apple Flower Phytobiome“. *Phytobiomes Journal* 2 (3): 171–79.
- Steyn, Willem J., Stephanie J.E. Wand, Gerard Jacobs, Richard C. Rosecrance, i Stephanie C. Roberts. 2009. „Evidence for a Photoprotective Function of Low-temperature-induced

Anthocyanin Accumulation in Apple and Pear Peel“. *Physiologia Plantarum* 136 (4): 461–72. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2009.01246.x>.

Stick, R.V. 2001. *Carbohydrates: The Sweet Molecules of Life*. Academic Press/ Elsevier.

Stommel, John R., Gordon J. Lightbourn, Brenda S. Winkel, i Robert J. Griesbach. 2009. „Transcription Factor Families Regulate the Anthocyanin Biosynthetic Pathway in *Capsicum annuum*“. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 134 (2): 244–51. <https://doi.org/10.21273/JASHS.134.2.244>.

Stričević, D., i B. Sever. 2001. *Organska kemija*. Profil International.

Su, Qiufang, Xianglu Li, Lexing Wang, i sur. 2022. „Variation in Cell Wall Metabolism and Flesh Firmness of Four Apple Cultivars during Fruit Development“. *Foods* 11 (21): 3518. <https://doi.org/10.3390/foods11213518>.

Sulyok, Michael, David Stadler, David Steiner, i Rudolf Krska. 2020. „Validation of an LC-MS/MS-Based Dilute-and-Shoot Approach for the Quantification of > 500 Mycotoxins and Other Secondary Metabolites in Food Crops: Challenges and Solutions“. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 412 (11): 2607–20. <https://doi.org/10.1007/s00216-020-02489-9>.

Sun, Jianghao, Wojciech J. Janisiewicz, Breyn Nichols, Wayne M. Jurick Li, i Pei Chen. 2017. „Composition of Phenolic Compounds in Wild Apple with Multiple Resistance Mechanisms against Postharvest Blue Mold Decay“. *Postharvest Biology and Technology* 127 (svibanj): 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.01.006>.

Sun, Xiaohua, Andan Zhu, Shuzhen Liu, i sur. 2013. „Integration of Metabolomics and Subcellular Organelle Expression Microarray to Increase Understanding the Organic Acid Changes in Post-harvest Citrus Fruit“. *Journal of Integrative Plant Biology* 55 (11): 1038–53. <https://doi.org/10.1111/jipb.12083>.

Sun, Yingjie, Zedong Shi, Yaping Jiang, Xinhua Zhang, Xiaoan Li, i Fujun Li. 2021. „Effects of Preharvest Regulation of Ethylene on Carbohydrate Metabolism of Apple (*Malus Domestica* Borkh Cv. Starkrimson) Fruit at Harvest and during Storage“. *Scientia Horticulturae* 276 (siječanj): 109748. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109748>.

Šamec, Dunja, Erna Karalija, Ivana Šola, Valerija Vujčić Bok, i Branka Salopek-Sondi. 2021. „The Role of Polyphenols in Abiotic Stress Response: The Influence of Molecular Structure“. *Plants* 10 (1): 118. <https://doi.org/10.3390/plants10010118>.

Šimkova D, Beinrohr E, i Labuda J. 2009. „Flow-through electrochemical system with DNA-based biosensor for the evaluation of deep DNA damage by chemicals and effect of antioxidants“. *Acta Chimica Slovaca* 2: 129–38.

Tanaka, Yoshikazu, Nobuhiro Sasaki, i Akemi Ohmiya. 2008. „Biosynthesis of Plant Pigments: Anthocyanins, Betalains and Carotenoids“. *The Plant Journal* 54 (4): 733–49. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03447.x>.

Tang, Ke, Lei Ma, Ye-Hui Han, Yao Nie, Ji-Ming Li, i Yan Xu. 2015. „Comparison and Chemometric Analysis of the Phenolic Compounds and Organic Acids Composition of Chinese Wines“. *Journal of Food Science* 80 (1). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12691>.

- Tannous, Joanna, Ali Atoui, André El Khoury, i sur. 2016. „A Study on the Physicochemical Parameters for *Penicillium expansum* Growth and Patulin Production: Effect of Temperature, pH, and Water Activity“. *Food Science & Nutrition* 4 (4): 611–22. <https://doi.org/10.1002/fsn3.324>.
- Tannous, Joanna, Omer Barda, Dianiris Luciano-Rosario, Dov B. Prusky, Edward Sionov, i Nancy P. Keller. 2020. „New Insight Into Pathogenicity and Secondary Metabolism of the Plant Pathogen *Penicillium expansum* Through Deletion of the Epigenetic Reader SntB“. *Frontiers in Microbiology* 11 (travanj): 610. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00610>.
- Tappy, Luc, i Kim-Anne Lê. 2010. „Metabolic Effects of Fructose and the Worldwide Increase in Obesity“. *Physiological Reviews* 90 (1): 23–46. <https://doi.org/10.1152/physrev.00019.2009>.
- Tedersoo, Leho, Sten Anslan, Mohammad Bahram, i sur. 2020. „Regional-Scale In-Depth Analysis of Soil Fungal Diversity Reveals Strong pH and Plant Species Effects in Northern Europe“. *Frontiers in Microbiology* 11 (rujan): 1953. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01953>.
- Tena, Noelia, Julia Martín, i Agustín G. Asuero. 2020. „State of the Art of Anthocyanins: Antioxidant Activity, Sources, Bioavailability, and Therapeutic Effect in Human Health“. *Antioxidants* 9 (5): 451. <https://doi.org/10.3390/antiox9050451>.
- Tomac, Ivana, Lea Budić, Josipa Bobovec, Lidija Jakobek, i Petra Matić. 2023. „Determination of Sage Tea Polyphenols and Their Antioxidant Effects Using an Electrochemical DNA-Based Biosensor“. *Beverages* 9 (3): 76. <https://doi.org/10.3390/beverages9030076>.
- Tsao, Rong. 2010. „Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols“. *Nutrients* 2 (12): 1231–46. <https://doi.org/10.3390/nu2121231>.
- Tsao, Rong, Raymond Yang, Sheery Xie, Emily Sockovie, i Shahrokh Khanizadeh. 2005. „Which Polyphenolic Compounds Contribute to the Total Antioxidant Activities of Apple?“ *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (12): 4989–95. <https://doi.org/10.1021/jf048289h>.
- Tsimogiannis, Dimitrios, i Vassiliki Oreopoulou. 2019. „Classification of Phenolic Compounds in Plants“. U *Polyphenols in Plants*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813768-0.00026-8>.
- Uarrota, Virgilio G., Noshin Ilyas, i Marcelo Maraschin. 2024. „Postharvest Physiology, Biochemistry and Sustainable Management of Plant Genetic Resources“. *Horticulturae* 10 (9): 916. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10090916>.
- Ubi, Benjamin Ewa, Chikako Honda, Hideo Bessho, i sur. 2006. „Expression Analysis of Anthocyanin Biosynthetic Genes in Apple Skin: Effect of UV-B and Temperature“. *Plant Science* 170 (3): 571–78. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.10.009>.
- Vaclavikova, Marta, Zbynek Dzuman, Ondrej Lacina, i sur. 2015. „Monitoring Survey of Patulin in a Variety of Fruit-Based Products Using a Sensitive UHPLC–MS/MS Analytical Procedure“. *Food Control* 47 (siječanj): 577–84. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.07.064>.

- Valanciene, Egle, Ilona Jonuskiene, Michail Syrpas, i sur. 2020. „Advances and Prospects of Phenolic Acids Production, Biorefinery and Analysis“. *Biomolecules* 10 (6): 874. <https://doi.org/10.3390/biom10060874>.
- Vallone, Lisa, Alberto Giardini, i Gabriella Soncini. 2014. „Secondary metabolites from *Penicillium roqueforti*, a starter for the production of Gorgonzola cheese“. *Italian Journal of Food Safety* 3 (3). <https://doi.org/10.4081/ijfs.2014.2118>.
- Van Zeebroeck, M., V. Van Linden, H. Ramon, J. De Baerdemaeker, B.M. Nicolai, i E. Tijskens. 2007. „Impact Damage of Apples during Transport and Handling“. *Postharvest Biology and Technology* 45 (2): 157–67. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.01.015>.
- Vilanova, L., N. Teixidó, R. Torres, J. Usall, i I. Viñas. 2012. „The Infection Capacity of *P. expansum* and *P. digitatum* on Apples and Histochemical Analysis of Host Response“. *International Journal of Food Microbiology* 157 (3): 360–67. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.06.005>.
- Vilanova, Laura, Núria Vall-Illaura, Rosario Torres, i sur. 2017. „*Penicillium expansum* (Compatible) and *Penicillium digitatum* (Non-Host) Pathogen Infection Differentially Alter Ethylene Biosynthesis in Apple Fruit“. *Plant Physiology and Biochemistry* 120 (studeni): 132–43. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.09.024>.
- Vondráková, Zuzana, Alena Trávníčková, Jiří Malbeck, Daniel Haisel, Radek Černý, i Milena Cvikrová. 2020. „The Effect of Storage Conditions on the Carotenoid and Phenolic Acid Contents of Selected Apple Cultivars“. *European Food Research and Technology* 246 (9): 1783–94. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03532-w>.
- Wang, Limin, Weina Sang, Ranran Xu, i Jiankang Cao. 2020. „Alteration of Flesh Color and Enhancement of Bioactive Substances via the Stimulation of Anthocyanin Biosynthesis in ‘Friar’ Plum Fruit by Low Temperature and the Removal“. *Food Chemistry* 310 (travanj): 125862. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125862>.
- Wang, Wuqian, Jean-Marc Celton, Gerhard Buck-Sorlin, Sandrine Balzergue, Etienne Bucher, i François Laurens. 2020. „Skin Color in Apple Fruit (*Malus × domestica*): Genetic and Epigenetic Insights“. *Epigenomes* 4 (3): 13. <https://doi.org/10.3390/epigenomes4030013>.
- Wang, Xumin, Da Zhang, Tiantian Liu, i sur. 2025. „Advances in Cell Wall Dynamics and Gene Expression in Postharvest Fruit Softening“. *Plants* 14 (18): 2831. <https://doi.org/10.3390/plants14182831>.
- Wei, Jianmei, Fengwang Ma, Shouguo Shi, Xiudong Qi, Xiangqiu Zhu, i Junwei Yuan. 2010. „Changes and Postharvest Regulation of Activity and Gene Expression of Enzymes Related to Cell Wall Degradation in Ripening Apple Fruit“. *Postharvest Biology and Technology* 56 (2): 147–54. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.12.003>.
- Wen, Jikai, Peiqiang Mu, i Yiqun Deng. 2016. „Mycotoxins: Cytotoxicity and Biotransformation in Animal Cells“. *Toxicology Research* 5 (2): 377–87. <https://doi.org/10.1039/c5tx00293a>.
- Whale, Suparna K., i Zora Singh. 2007. „Endogenous Ethylene and Color Development in the Skin of ‘Pink Lady’ Apple“. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 132 (1): 20–28. <https://doi.org/10.21273/JASHS.132.1.20>.

- Wollgast, Jan, i Elke Anklam. 2000. „Review on Polyphenols in Theobroma Cacao: Changes in Composition during the Manufacture of Chocolate and Methodology for Identification and Quantification“. *Food Research International* 33 (6): 423–47. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00068-5](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00068-5).
- Xie, Liangqin, Zeyuan Deng, Jie Zhang, i sur. 2022. „Comparison of Flavonoid O-Glycoside, C-Glycoside and Their Aglycones on Antioxidant Capacity and Metabolism during In Vitro Digestion and In Vivo“. *Foods* 11 (6): 882. <https://doi.org/10.3390/foods11060882>.
- Xu, Meng, Kaili Wang, Jun Li, Zhuqing Tan, Esa Abiso Godana, i Hongyin Zhang. 2022. „Proteomic Analysis of Apple Response to Penicillium Expansum Infection Based on Label-Free and Parallel Reaction Monitoring Techniques“. *Journal of Fungi* 8 (12): 1273. <https://doi.org/10.3390/jof8121273>.
- Yadav, Akhilesh, Anton Fennec, Rachel Davidovich-Rikanati, i sur. 2021. „Phenylpropanoid Metabolism in Astringent and Nonstringent Persimmon (*Diospyros Kaki*) Cultivars Determines Sensitivity to *Alternaria* Infection“. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 69 (20): 5628–37. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c01312>.
- Yanrong Lv. 2016. „Triterpenes and Phenolic Compounds in Apple Fruit (Malus domestica Borkh.)“. *Doctoral Thesis Swedish University of Agricultural Sciences*.
- Yao, Tao, Kai Feng, Meng Xie, i sur. 2021. „Phylogenetic Occurrence of the Phenylpropanoid Pathway and Lignin Biosynthesis in Plants“. *Frontiers in Plant Science* 12 (kolovoz): 704697. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.704697>.
- Yi, Long, Xin Jin, Chun-Ye Chen, i sur. 2011. „Chemical Structures of 4-Oxo-Flavonoids in Relation to Inhibition of Oxidized Low-Density Lipoprotein (LDL)-Induced Vascular Endothelial Dysfunction“. *International Journal of Molecular Sciences* 12 (9): 5471–89. <https://doi.org/10.3390/ijms12095471>.
- Yuan, Yunfei, Yupeng Zhao, Jiali Yang, i sur. 2017. „Metabolomic Analyses of Banana during Postharvest Senescence by 1H-High Resolution-NMR“. *Food Chemistry* 218 (ožujak): 406–12. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.080>.
- Zagoskina, Natalia V., Maria Y. Zubova, Tatiana L. Nechaeva, i sur. 2023. „Polyphenols in Plants: Structure, Biosynthesis, Abiotic Stress Regulation, and Practical Applications (Review)“. *International Journal of Molecular Sciences* 24 (18): 13874. <https://doi.org/10.3390/ijms241813874>.
- Zhang, Fan, Tao Wang, Xin Wang, i Xin Lü. 2021. „Apple Pomace as a Potential Valuable Resource for Full-Components Utilization: A Review“. *Journal of Cleaner Production* 329 (prosinac): 129676. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129676>.
- Zhang, Lisha, i Jan A. L. Van Kan. 2013. „Botrytis cinerea Mutants Deficient in D-galacturonic Acid Catabolism Have a Perturbed Virulence on Nicotiana benthamiana and Arabidopsis, but Not on Tomato“. *Molecular Plant Pathology* 14 (1): 19–29. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2012.00825.x>.
- Zhang, Mengyu, Dajiang Wang, Xixi Gao, Zhengyang Yue, i Huiling Zhou. 2020. „Exogenous Caffeic Acid and Epicatechin Enhance Resistance against Botrytis Cinerea through

- Activation of the Phenylpropanoid Pathway in Apples“. *Scientia Horticulturae* 268 (lipanj): 109348. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109348>.
- Zhang, Yang, Eugenio Butelli, Rosalba De Stefano, i sur. 2013. „Anthocyanins Double the Shelf Life of Tomatoes by Delaying Overripening and Reducing Susceptibility to Gray Mold“. *Current Biology* 23 (12): 1094–100. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.04.072>.
- Zhao, Lei, Xiao-Lan Jiang, Yu-Mei Qian, i sur. 2017. „Metabolic Characterization of the Anthocyanidin Reductase Pathway Involved in the Biosynthesis of Flavan-3-Ols in Elite Shuchazao Tea (*Camellia Sinensis*) Cultivar in the Field“. *Molecules* 22 (12): 2241. <https://doi.org/10.3390/molecules22122241>.
- Zhao, Youyou, Junkuan Wang, Olivier Balleve, Hongliang Luo, i Weiguo Zhang. 2012. „Antihypertensive Effects and Mechanisms of Chlorogenic Acids“. *Hypertension Research* 35 (4): 370–74. <https://doi.org/10.1038/hr.2011.195>.
- Zheng, Xiangfeng, Wanning Wei, Wenyan Zhou, i sur. 2021. „Prevention and Detoxification of Patulin in Apple and Its Products: A Review“. *Food Research International* 140 (veljača): 110034. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110034>.
- Zhong, Lei, Jason Carere, Zhaoxin Lu, Fengxia Lu, i Ting Zhou. 2018. „Patulin in Apples and Apple-Based Food Products: The Burdens and the Mitigation Strategies“. *Toxins* 10 (11): 475. <https://doi.org/10.3390/toxins10110475>.
- Zhong, Y., i F. Shahidi. 2015. „Methods for the Assessment of Antioxidant Activity in foods11This Chapter Is Reproduced to a Large Extent from an Article in Press by the Authors in the Journal of Functional Foods.“ U *Handbook of Antioxidants for Food Preservation*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-089-7.00012-9>.
- Zhuang, Wei-Bing, Yu-Hang Li, Xiao-Chun Shu, i sur. 2023. „The Classification, Molecular Structure and Biological Biosynthesis of Flavonoids, and Their Roles in Biotic and Abiotic Stresses“. *Molecules* 28 (8): 3599. <https://doi.org/10.3390/molecules28083599>.
- Zielińska, Danuta, i Marcin Turemko. 2020. „Electroactive Phenolic Contributors and Antioxidant Capacity of Flesh and Peel of 11 Apple Cultivars Measured by Cyclic Voltammetry and HPLC–DAD–MS/MS“. *Antioxidants* 9 (11): 1054. <https://doi.org/10.3390/antiox9111054>.
- Zong, Yuanyuan, Boqiang Li, i Shiping Tian. 2015. „Effects of Carbon, Nitrogen and Ambient pH on Patulin Production and Related Gene Expression in *Penicillium Expansum*“. *International Journal of Food Microbiology* 206 (kolovoz): 102–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.05.007>.