

***Alternaria* spp. – PROUZROKOVAČI TRULEŽI PLODA JABUKE**
Milica Meseldžija, Dobrila Radić, Jozef Gašparovski, Miljan Miljanović,
Mila Grahovac, Snežana Rajkov, Marta Loc

Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Trg Dositeja Obradovića 8,
21000 Novi Sad
E-mail: milica.meseldzija@polj.edu.rs

Izvod

Vrste iz roda *Alternaria* prouzrokuju različite simptome pegavosti i truleži na velikom broju biljnih vrsta, kao i kvarenje nekih namirnica u čitavom lancu proizvodnje hrane. Osim kvantitativnih gubitaka, gljive iz roda *Alternaria* mogu prouzrokovati i kvalitativne gubitke u vidu kontaminacije mikotoksinima. Posležetvena fitopatologija plodova jabuke ima zadatak da pronade rešenja za suzbijanje većeg broja prouzrokovača truleži plodova jabuke tokom skladištenja, među kojima je i *Alternaria* spp. Identifikacija vrsta iz roda *Alternaria* na osnovu morfoloških karaktera nije dovoljno precizna, tek su molekularnom detekcijom jasno razdvojene vrste koje prouzrokuju trulež plodova jabuke. Simptomi oboljenja na plodovima jabuke obuhvataju pegavost pegavost lišća jabuke i plodova, koja se javlja tokom vegetacije, ali i trulež ploda koja se razvija nakon berbe, gde spada i trulež jezgra ploda jabuke. Vrste iz roda *Alternaria* su veoma metabolički aktivne i proizvode preko 70 različitih vrsta toksina kojima mogu kontaminirati biljke ili namirnice na kojima se razvijaju. Za suzbijanje *Alternaria* spp. na jabuci preporučuju se tretmani toplom vodom, primena neorganskih soli, kao i primena korisnih mikroorganizama sa izraženim antagonističkim delovanjem prema ovom patogenu.

Ključne reči: posležetvena fitopatologija, trulež plodova jabuke, *Alternaria alternata*, *Alternaria tenuissima*.

UVOD

Jabuka je jedna od najznačajnijih voćnih vrsta koja se u Srbiji gaji na preko 26 000 ha, a prosečan prinos za period 2023-2025 je iznosio 13,6 t/ha (Republički zavod za statistiku, 2025, <https://www.stat.gov.rs/>). Veoma je podložna infekcijama fitopatogenim gljivama i pre i nakon berbe, a ekonomski najštetnijim se smatraju one koje dovode do kvarenja plodova posle berbe (Patriarca, 2019a). Mnoge fitopatogene gljive, koje prouzrokuju trulež plodova, uključujući vrste roda *Alternaria* imaju sposobnost rasta i na niskim temperaturama, te do infekcije može doći i tokom skladištenja u hladnjačama ili tokom transporta. Ekonomski gubici koji nastaju od ovih prouzrokovača oboljenja dostižu 30-40%, pa i do 60% u najekstremnijim slučajevima (Köhl i sar., 2018; Naets i sar., 2018).

Fitopatogene vrste iz roda *Alternaria* na jabuci prouzrokuju više tipova simptoma: alternarijsku pegavost lišća i alternarijsku pegavost ploda, simptomi koji se javljaju pre berbe i alternarijsku trulež ploda, simptom koji se javlja nakon berbe, prilikom čuvanja i skladištenja plodova. Još jedan značajan tip simptoma je trulež semene kućice ploda, a prodor patogena se u ovom slučaju dešava prilikom formiranja plodova. Ove infekcije su skrivene, a primećuju se tek kada se plod preseče, uglavnom tokom konzumiranja ili prerade ploda (Harteveld, 2014). Pored vidljivih fizičkih oštećenja na plodovima jabuke, vrste roda *Alternaria* imaju visok potencijal stvaranja mikotoksina, a najpoznatiji od njih su alternarioli (alternariol i alternariol monometil etar), tenuazonska kiselina, altenuen, tentoksin i alterotoksin (Li i sar., 2025).

Zadatak ovog rada je da na osnovu dostupnih literaturnih podataka pruži pregled značaja i zastupljenosti vrsta fitopatogenih gljiva roda *Alternaria*, sa posebnim osvrtom na tipove simptoma, puteve infekcije i potencijal produkcije mikotoksina. Cilj rada je da analizira savremene pristupe u detekciji i kontroli ovih patogena, kao i da navede principe održive strategije u kontroli ovih prouzrokovaca truleži, koje su zasnovane prvenstveno na biološkim i fizičkim merama kao alternativni konvencionalnoj hemijskoj zaštiti.

ROD *Alternaria*

Rod *Alternaria* je prvi put opisao Nees 1816. godine proučavajući vrstu *A. alternata* (originalan naziv: *A. tenuis*). Danas, rod *Alternaria* obuhvata oko 300 različitih vrsta koje mogu biti izolovane iz velikog broja supstrata (Thomma, 2003; Simmons, 2007; Woudenberg i sar., 2013; Fontaine i sar., 2021). Vrste roda *Alternaria* najčešće su saprofiti koji se nalaze u zemljištu ili na raspadajućim biljnim tkivima, a energiju dobijaju kao rezultat celulitičke aktivnosti, što znači da su u velikoj meri uključeni u razlaganje različitih organskih materija.

Alternaria spp. su jedne od najprisutnijih patogenih gljiva u poljoprivredi i prehrambenoj industriji i prouzrokuju bolesti kod mnogih ekonomski važnih useva uključujući žitarice, ukrasno bilje, uljarice, povrće kao što su karfiol, brokoli, mrkva, krompir, ali i voće poput citrusa, lešnika i jabuke (Meena i sar., 2017; Thomma, 2003; Fontaine i sar., 2021). Vrste roda *Alternaria* su sposobne da izazovu i latentne infekcije koje rezultiraju bolestima nakon žetve ili tek nakon klijanja u slučaju zaraženog semena. *Alternaria* spp. su veoma česti skladišni patogeni gde mogu da prouzrokuju velike ekonomske gubitke pogotovo u hladnjačama u kojima se čuvaju plodovi jabuka.

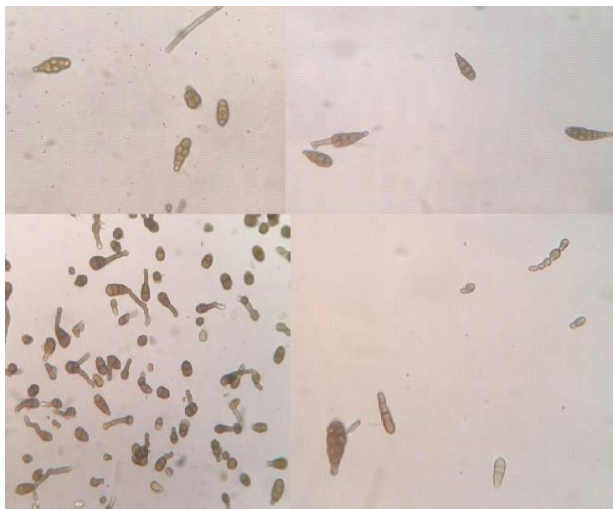
Li i sar. (2013) navode da vrsta *A. alternata* prouzrokuje pegavost lišća i pegavost plodova jabuke pre berbe. Hartevelde i sar. (2013) navode da su vrste: *A. mali*, *A. alternata*, *A. arborescens*, *A. longipes* i *A. tenuissima* najčešći patogeni jabuke. Rotondo i sar. (2012) u svom istraživanju navode da vrste *A. alternata*, *A. tenuissima* i *A. arborescens* prouzrokuju alternarijsku pegavost listova i pegavost voća pre berbe u Italiji. Isti patogeni se takođe navode kao najčešći prouzrokovajući alternarijske truleži ploda jabuke koja se javlja nakon berbe (Serdani i sar., 2002, Gao i sar., 2013). Pavicich i sar. (2019) navode da je populacija *Alternaria* spp. poreklom sa ploda jabuke pokazala nizak stepen biodiverziteta sa apsolutnom dominacijom vrste *A. tenuissima* (95%). U SAD na plodovima jabuke sa simptomima truleži, poreklom iz hladnjača, detektovane su vrste *Alternaria alternata* (Jurick i sar., 2014) i vrsta *Alternaria tenuissima* (Kou i sar., 2014). Da je vrsta *A. arborescens* patogena i da prouzrokuje trulež semene kućice na plodovima jabuke, kod sorte Svitango, dokazali su Ali i sar. (2021) u Novom Zelandu. U Srbiji, alternarijska pegavost lista jabuke je detaljno opisana od strane Bulajić i sar., 1996.

Neke *Alternaria* spp. su od kliničkog značaja, jer su poznate po proizvodnji toksičnih sekundarnih metabolita, od kojih su neki moćni mikotoksini štetni za ljude i životinje. Pored toga vrste roda *Alternaria* se povezuju sa alergijama kod ljudi kao i sa kožnim infekcijama (Schultze-Werninghaus, 2012).

Pravilna determinacija vrsta ovog roda se danas postiže proučavanjem morfoloških karakteristika i primenom molekularne identifikacije.

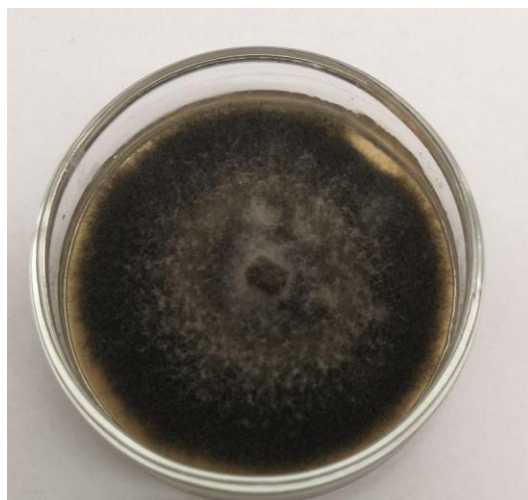
MORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Rod *Alternaria* se lako razlikuje od drugih rodova gljiva po karakterističnim konidijama koje produkuje. Konidije su tamno obojene, višćelijske, sa poprečnim i uzdužnim pregradama (Slika 1). Obično se pojavljuju u lancima, ili pojedinačno i sadrže apikalni kljun ili sužene apikalne ćelije (Elliott, 1917).



Slika 1. Konidije *Alternaria* (Orig.)

Kolonije su obično sive, zelenkaste, tamno maslinaste, tamno smeđe ili crne boje (Slika 2.) Micelija je površinska, a hife su bezbojne, maslinasto-braon ili braon boje (Lawrence et al., 2016).



Slika 2. Izgled micelije *Alternaria* spp. na KDA podlozi (Orig.)

MOLEKULARNA IDENTIFIKACIJA

Kroz istoriju bilo je mnogo neuspešnih pokušaja da se utvrde ključ identifikacije i sistem klasifikacije roda *Alternaria*, zasnovani na morfološkim, fiziološkim i genetičkim metodama. Razvoj molekularnih tehnika identifikacije pomogao je da se razjasni genetički diverzitet vrsta iz roda *Alternaria* (Woudenberg i sar., 2013). Razvojem biotehnologije dizajnirani su specifični parovi prajmera koji amplifikuju proizvode različitih veličina baznih parova za svaku vrstu i podvrstu, što olakšava i ubrzava detekciju vrsta unutar roda *Alternaria*.

Prilikom molekularne identifikacije mogu se koristiti različiti lokusi, kao što su rDNK, ITS, mala podjedinica mitohondrija i mnogi geni koji kodiraju proteine (Andrew i sar. 2009; Hong i sar. 2005; Lawrence i sar. 2013, Woudenberg i sar., 2013). Lawrence i sar. (2013) su u svojoj multi lokusnoj studiji pokazali da su pri identifikaciji *Alternaria* spp. najkorisniji geni koji kodiraju proteine kao što su: ATPaza plazma membrane (ATPaza), kalmodulin (CAL), glavni *Alternaria* alergen Alt a1 (Alt a1), gliceraldehid-3-fosfat dehidrogenaza i aktin. ATPaza i kalmodulin se preporučuju kao najprikladniji markeri za molekularnu identifikaciju unutar roda *Alternaria*. Geni kao što su β -tubulin i tef 1- α su se pokazali kao najmanje informativni za identifikaciju *Alternaria* spp. Gen histon 3 (HIS3) se uspešno upotrebljava za odvajanje *A. alternata* od *A. tenuissima* (Lawrence i sar. 2013).

PATOGENEZA *Alternaria* spp.

Pripadnici roda *Alternaria* često izazivaju latentne infekcije tokom kojih gljiva prodire u tkivo biljke, gde ostaje neaktivna sve dok se ne stvore povoljni uslovi sredine koji podstiču početak infekcije. Gljive iz roda *Alternaria* prezimljavaju micelijom ili sporama koje se zadržavaju na biljnim ostacima, ili u semenu mnogih biljaka (Rotem, 1994). U proleće gljiva na mestu prezimljavanja formira konidije koje ostvaruju primarnu infekciju. Spore se veoma lako šire vetrom i kada dospeju na biljku mogu da ostvare infekciju. Broj zaraza se povećava nakon kišnih perioda, dok generalno razvoju bolesti pogoduje kišovito vreme tokom leta i povišene temperature. Optimalna temperatura za infekciju, porast micelije, sporulaciju i klijanje spora je 25-30 °C.

Oslabljena tkiva usled stresa, starenja ili ranjavanja su podložnija infekciji od zdravih tkiva. Saprofitne vrste *Alternaria* mogu postati parazitske u kontaktu sa oslabljenim domaćinom.

Uprkos taksonomskim i patogenim razlikama između vrsta *Alternaria*, one izazivaju slične obrasce infekcije. Dormantne spore koje imaju jako melanizovane zidove, pod povoljnim uslovima, stvaraju jednu ili više klicinih cevi, pomoću kojih prodiru u domaćina putem stoma, direktno kroz kutikulu ili rane, sa ili bez formiranja malih apresorija. Kod manje virulentnih vrsta mesto prodiranja su rane i stome, dok virulentnije vrste mogu da prodru direktno u biljku (Rotem, 1994). Enzimski procesi koji prate infekciju biljke vrstama iz roda *Alternaria* su u suštini slični kao i kod drugih biljnih bolesti (Trail i Köller, 1993; Yao i Köller, 1994). Fitopatogene vrste iz roda *Alternaria* na jabuci prouzrokuju više tipova simptoma: alternarijsku pegavost lišća, alternarijsku pegavost ploda i alternarijsku trulež ploda (Harteveld, 2014).

SIMPTOMI OBOLJENJA NA JABUCI

Simptom alternarijske pegavosti na listovima. Tokom kasnog proleća ili ranog leta u voćnjacima, na listovima jabuke se pojavljuju okrugle, ljubičaste ili crne tačkaste pege čiji se prečnik postepeno povećava, a ivica pege poprima ljubičastu boju. Lezije podležu sekundarnom uvećanju, poprimaju nepravilan oblika i postaju tamnije. Ovaj simptom je zbog specifičnog izgleda dobio naziv “žablje oko” (Slika 3). Ukoliko se infekcija proširi na peteljku, lišće žuti i prerano opada (Filajdić i sar., 1995).

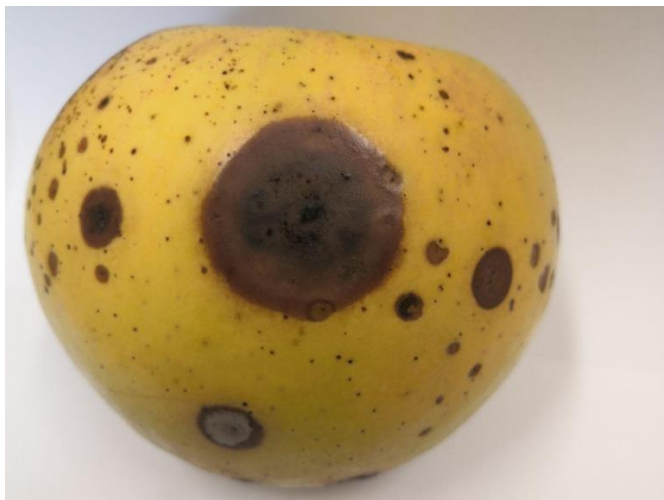


Slika 3. Alternarizona pegavost lista jabuke (Orig.)

Simptomi na plodu jabuke pre berbe. Infekcija ploda jabuke u voćnicama, fitopatogenim vrstama roda *Alternaria* uglavnom započinje u lenticelama, a manifestuje se simptomom alternarijske pegavosti. Simptom se odlikuje pojavom okruglih, tačkastih, tamnih, blago ulegnutih pega oko lenticela. Ova pegavost ploda jabuke započinje u lenticelama, a prouzrokovatelj ne izaziva truljenje ploda. Na plodu, u letnjem periodu, se uočavaju krastaste pege ili tačkasta suva trulež na mestu infekcije (Sawamura, 1990).

Simptom truleži jezgra ploda jabuke karakteriše se pojavom tamno smeđe boje tkiva unutar semene kućice. Ovaj simptom započinje u semenoj kućici i širi se po mezodermu ploda. Trulež jezgra ploda jabuke može biti suva (DCR, dry core rot eng.) i vlažna (WCR, wet core rot, eng.). Kod suve truleži jezgra ploda dolazi do pojave tamnosmeđih, suvih i plutastih tkiva. Ovaj tip simptoma se razvija sporo i trulež je ograničena na semenu kućicu i tkivo oko nje (Shtienberg, 2012). Vlažna trulež jezgra ploda se takođe karakteriše tamno smeđe obojenim tkivom, međutim, bolest napreduje brže i trulež se širi dublje u mezoderm. Spoljašnji simptomi nisu primetni do berbe, već se uglavnom identifikuju tek kada se plod preseče na pola, ili tokom skladištenja ukoliko se trulež proširi i na spoljašnji deo ploda. Pored DCR i WCR, postoji još jedna vrsta simptoma na jezgru ploda, a to je plesnivo jezgro (MC moldy core, eng.). Ovaj simptom karakteriše pojava i razvoj micelije gljive unutar semene kućice, bez širenja na mezoderm ploda. Ova bolest ima manji ekonomski značaj (Serdani i sar., 2002). Infekcija jezgra ploda uglavnom započinje prilikom zametanja ploda ili u kasnijim fazama razvoja ploda (Combrink i sar., 1984; Reuveni i sar., 2002). U nekim slučajevima može doći do preranog sazrevanja i opadanja plodova (Biggs i sar., 1993; Reuveni i sar., 2006a; Reuveni i sar., 2006b; Spotts, 1990; Shtienberg, 2012).

Simptom truleži ploda posle berbe. Alternarijska trulež ploda jabuke nakon berbe se javlja se širom sveta. Inicijalne infekcije se mogu javiti u voćnjaku pre berbe ili tokom skladištenja na hladnom, i manifestuju se pojavom crvenih tačkastih pega smeštenih oko lenticela. Kasnije, u toku skladištenja, na plodovima, dolazi do pojave okruglih, tamnih, suvih i sunderastih lezija (Slika 4).



Slika 4. Tamne pege oko lenticela, prouzrokovane gljivom iz roda *Alternaria* (Orig.)

U vlažnoj sredini, na površini ploda primećuje se prisustvo micelije svetlo-sive do maslinaste boje. Kada gljiva inficira oštećene plodove izaziva meku trulež, mrke boje koja se širi po površini ploda (Slika 5).



Slika 5. Simptom alternarijske truleži ploda jabuke tokom perioda skladištenja (Orig.)

MIKOTOKSIGENI POTENCIJAL

Alternaria je rod koji se odlikuje sposobnošću stvaranja izuzetno velikog broja sekundarnih metabolita (oko 70), od kojih su mnogi potencijalno štetni zagađivače hrane. Mnoga od tih jedinjenja su priznati mikotoksini (Tabela 1), dok su neki zbog sličnosti svoje hemijske strukture sa drugim poznatim toksičnim jedinjenjima, sumnjivi, i potrebno ih je detaljnije istraživati (Lopez i sar., 2016; Fernandez i sar., 2017; Patriarca i sar., 2019b).

Početak proučavanja *Alternaria* toksina datira iz 1960-1970-ih. U tom periodu je prvi put prijavljeno da neki metaboliti, koje proizvode *Alternaria* spp., ispoljavaju toksične efekte (Pero i sar., 1973). Najznačajniji mikotoksini koje proizvode vrste iz roda *Alternaria* su alternarioli (alternariol i alternariol monometil etar), tenuazonska kiselina, altenuen, tentoksin i alterotoksin.

Tabela 1 Mikotoksini i toksični sekundarni metaboliti koje proizvode vrste *Alternaria* se mogu svrstati u pet klasa supstanci (Puntscher et al., 2018)

Derivati dibenzo-a- pirona	Derivati perilen kinona	Derivati tetraminske kiseline	minopentol estri	Razne strukture
alternariol (AOH)	altertoksin I ATX-I	tenuazonska kiselina (TeA)	TA1	tentoksi n (TEN)
alternariol monometil etar (AME)	altertoksin II ATX-II	alo- tenuazonska kiselina (alloTeA)	TA2	altenuin ska kiselina III (AA-III)

altenuen (ALT)	altertoksin III ATX-III	altersetin (AST)	TB1
izoaltenuen (isoALT)	alterperilenol (ALP)		TB2
altenuzin (ALS)	stemfiltoksin III (STTX-III)		

Pavicich i sar. (2020) su u svom radu naveli da je većina ispitivanih *Alternaria* izolata bila u stanju da proizvede alternariol, alternariol monometil etar i tenuazonsku kiselinu *in vitro*, u medijumu sa jabučnim agarom. Ntasiou i sar. (2015) su objavili da su izolati *A. tenuissima* i *A. arborescens* su proizveli alternariol, alternariol monometil etar i tenuazonsku kiselinu *in vitro* i *in vivo*. Puntscher i sar. (2020) su prvi otkrili prisustvo altertoksina II (ATX-II) u prirodnom kontaminiranim jabukama poreklom iz voćnjaka. Ovaj toksin je visoko genotoksičan i ima sposobnost prekidanja lanca DNK. Fleck i sar. (2012) su zaključili da je altertoksin II najmanje 50 puta snažniji mutagen od alternariola (AOH) i alternariol metil-etra (AME). Alternarioli su genotoksični i mutageni *in vivo*, i povezani su sa pojavom raka jednjaka, što je proučavano u Kini.

Tenuazonska kiselina se dovodi u vezu sa akutnom toksičnošću kod životinja i sa hematološkim poremećajima kod ljudi u Africi (Fernandez i sar., 2017; Patriarca, 2016).

U poljoprivrednim proizvodima koncentracije *Alternaria* mikotoksina su niske. Za detekciju tragova mikotoksina, koriste se visoko osetljive analitičke tehnike detekcije. U upotrebi su gasna hromatografija (GC), tečna hromatografija (LC), tankoslojna hromatografija (TLC), enzimski imunosorbentni test (ELISA), tečna hromatografija zajedno sa masenom spektrometrijom (MS) i gasna hromatografija u kombinaciji sa masenom spektrofotometrijom (Chen i sar., 2021)

U aprilu 2022. godine usvojena je preporuka Evropske komisije (EU) 2022/553 o praćenju prisustva *Alternaria* toksina u hrani. Po ovoj preporuci države članice, u bliskoj saradnji sa subjektima u poslovanju sa hranom, treba da prate prisustvo

alternariola, alternariol monometil etra i tenuazonske kiseline u prerađenim proizvodima od paradajza, paprike u prahu, susama, suncokretovog semena, suncokretovog ulja, oraha, suvih smokvi i hrane na bazi žitarica za odojčad i malu decu. Količina alternariola i alternariola monometil etra ne bi trebalo da bude veća od 2 mg/kg, u hrani na bazi žitarica za odojčad i malu decu i 4 mg/kg u ostaloj hrani. Količina tenuazonske kiseline ne bi trebalo da bude veća od 20 mg/kg u svim ispitivanim namirnicama.

SUZBIJANJE *Alternaria* spp.

Suzbijanje gljivičnih infekcija ploda pre i posle berbe bi trebalo da podrazumeva primenu svih raspoloživih mera. Sintetički fungicidi se najčešće koriste prilikom zaštite bilja jer su efikasni i imaju nisku cenu, ali mnogi od njih, poput benzimidazola i dikarboksimida, gube svoju efikasnost usled razvoja rezistencije kod mnogih patogena. Pored toga česta pojava prilikom korišćenja fungicida je prisustvo ostataka fungicida u hrani što ugrožava zdravlje ljudi i šteti životnoj sredini (Banoo i sar., 2020).

Biološke mere kontrole. U poslednjim godinama sve veću pažnju dobijaju mikrobni agensi za biokontrolu, posebno u proizvodnji voća i u suzbijanju skladišnih patogena, jer biofungicidi imaju dobru efikasnost i kratku karencu. U tu svrhu sve više se ispituje međusobni odnos mikroorganizama, koji su prirodno prisutni na površini voća i povrća. Ovi mikroorganizmi su poznati kao epifiti, a njihova efikasnost u suzbijanju fitopatogenih gljiva je dokazana u mnogim istraživanjima. Preparati koji sadrže mikrobne antagoniste se mogu primeniti pre ili posle berbe, mada se primena posle berbe pokazala efikasnijom od primene pre berbe (Abano i sar., 2012). Nakon berbe, preparati koji sadrže mikrobne kulture se mogu primeniti prskanjem plodova ili portapanjem plodova u rastvor antagonista (Barkai-Golan i sar., 2001).

Biasi i sar. (2021) su u svom ogledu primenili kvasac *Metschnikowia fructicola* kao agens za biokontrolu skladišnih patogena jabuke i dokazali su da je primenjeni kvasac opstao na površini ploda jabuke tokom čitavog perioda skladištenja i da je značajno smanjio populaciju nekoliko gljivičnih patogena jabuke, među kojima su i vrste iz roda *Alternaria*.

Pojedini bakterijski sojevi *Pseudomonas* spp. i *Bacillus* spp. su sposobni da inhibiraju radikalni rast micelije fitopatogenih gljiva iz roda *Alternaria*, koje ugrožavaju plodove jabuke posle berbe (Banoo i sar., 2020).

Vrsta *Trichoderma asperellum*, koja je prirodno prisutna u zemljištu je pokazala antagonističko delovanje prema izolatu *Alternaria* spp. poreklom sa zaraženih listova jabuke. Prema rezultatima testa biokontrole efikasnost inhibicije je bila između 50% i 93% (Matas-Baca i sar., 2021). Pandey (2010) je u svom istraživačkom radu otkrio da vrste *Trichoderma harzianum* i *T. viride* inhibiraju razvoj vrste *A. alternata*.

Fizičke mere kontrole. Sa istim ciljem smanjenja upotrebe sintetičkih hemijskih aktivnih materija u suzbijanju fitopatogenih gljiva, efikasne mere pri suzbijanju vrsta *Alternaria* na jabukama posle berbe su upotreba toplotnih tretmana i upotreba neorganskih soli.

Temperatura je veoma bitan faktor, čija promena utiče na rast i razvoj gljiva. Abdulla i Alhdad (2022) su uspešno primenili toplotni tretman u cilju suzbijanja truleži na plodovima jabuka, prouzrokovane vrstama *Alternaria porri* i *Alternaria mali*, na temperaturi 55°C, a vreme izlaganja plodova tim temperaturama je bilo od 4 do 6 minuta. Uspešnu kontrolu prouzrokovača truleži plodova jabuke primenom toplotnih tretmana su zabeležili Petreš i sar. (2020).

Fallik i sar. (2001) navode da je tretman toplom vodom i četkicama značajno umanjio trulež plodova jabuke, ali da je i usporio proces sazrevanja, kao i promenu u boju plodova koja je karakteristična za postizanje pune zrelosti.

Kalijum-bikarbonat, kalcijum-hlorid, natrijum-bikarbonat i amonijum-bikarbonat su soli koje su se pokazale kao koristan agens u prevenciji gljivičnih oboljenja biljaka (Ziv i Zitter 1992; Palmer i sar., 1997, Zaker, 2014). Zaker (2014) je ispitivao antifungalno delovanje kalcijum-hlorida, natrijum-bikarbonata, kalijum-bikarbonata i amonijum-bikarbonata na plodovima jabuke koje su inokulisane vrstama *Alternaria porri* i *Alternaria mali*. U svim tretmanima rast gljiva se smanjivao sa povećanjem koncentracije soli, a najbolji antifungalni efekat je pokazao kalijum-bikarbonat u suzbijanju *Fusarium oxysporum*, *Alternaria alternata* i *B. cinerea*. Slične rezultate koji pokazuju efikasnost neorganskih soli kalcijum-hlorida i natrijum-bikarbonata dobili su Nahal i sar., (2009). Inhibitorni uticaj koji imaju bikarbonatne soli na mikroorganizme može biti posledica smanjenja turgora u ćelijama mikroorganizama kada se nađu u slanoj sredini, što prouzrokuje sušenje i dehidrataciju hifa i spora i dovodi do ograničenja sposobnosti rasta gljive i kljivanja spora, tj. do fungistaze (Abdulla i Alhdad, 2022).

ZAKLJUČAK

Alternaria spp. su jedne od najprisutnijih patogenih gljiva u poljoprivredi i prehrambenoj industriji i prouzrokuju bolesti kod mnogih ekonomski važnih biljnih vrsta, među kojima je i jabuka. Pored direktnih šteta koje se ogledaju u smanjenju prinosa, ove gljive proizvode mikotoksine koji su dokazano štetni po zdravlje ljudi i životinja. Dobra poljoprivredna praksa, dobri uslovi skladištenja i transporta, kao i dobra proizvodna praksa mogu smanjiti ili sprečiti prisustvo toksina u hrani. Patogene vrste roda *Alternaria* su prisutne u svim regionima gajenja jabuke, a posebno u državama koje su najveći proizvođači ovog voća. Tokom prošlog veka identifikacija vrsta iz roda *Alternaria* se zasnivala na morfološkim karakteristikama i izgledu konidija, što je pogrešno, jer se po tim karakteristikama ove vrste veoma teško definišu zbog njihove sposobnosti da formiraju različite oblike konidija pod različitim uslovima sredine. Tek krajem prošlog veka, upotrebom molekularnih metoda identifikacije, postiglo se preciznije definisanje vrsta unutar roda. Upotrebom molekularnih metoda identifikacije i proverom patogenosti utvrđeno je da su vrste: *A. mali*, *A. alternata*, *A. arborescens*, *A. longipes* i *A. tenuissima* najčešće fitopatogene gljive iz roda *Alternaria* na jabuci. U našoj zemlji prvi opis štetnosti vrste *Alternaria mali* na lišću i plodu jabuke datira iz 1996 godine. Od tada ova vrsta, kao i oboljenje koje izaziva, se sve češće detektuje, a pogotovo u periodu kišovito i toplog leta. Ostale nabrojane vrste su pretežno patogeni koji prouzrokuju trulež plodova jabuke nakon berbe, u uslovima skladištenja gde su temperature značajno niže, posebno u hladnjačama. Primena odgovarajućih mera kontrole patogena posle berbe, predstavlja osnovu profitabilne proizvodnje jabuke. Nove tehnologije i njihova primena u zaštiti bilja teže ka smanjenju upotrebe sintetičkih fungicida i pronalaženju dovoljno efikasnih alternativnih mera. Jedna od tih alternativnih mera je i biološka kontrola (biokontrola). Biokontrola je važna strategija upravljanja bolestima biljaka, jer podrazumeva upotrebu živih mikroorganizama za smanjenje i održavanje populacije fitopatogenih vrsta ispod nivoa koji izaziva ekonomske gubitke. Poslednjih godina, sve više istraživanja se bazira na otkrivanju mikroorganizama antagonista štetnih vrsta, pa su tako mikroorganizmi *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., *Trichoderma* spp. i *Metschnikowia fructicola* našli svoju primenu u suzbijanju štetnih vrsta *Alternaria* na jabuci.

LITERATURA

- Abano EE, Amoah LK. (2012): Application of antagonistic micro-organism for the control of post-harvest decays in fruits and vegetables. *Int J Adv Biol Res.*2:1-8.
- Abdulla, A., Alhdad, G. (2022): Control of Apple Fruit Rot Caused By *Alternaria porri* And *Alternaria mali* By Using Hot Water Treatment And Some Inorganic Salts. *Scientific Journal for the Faculty of Science-Sirte University.* 2, 1, 47-56.
- Ali S, Abbasi P, Rehman S, Ellouze W. (2021): First Report of Moldy Core of Sweet Tango Apples from New Zealand Caused by *Alternaria arborescens*. *Plant Disease*. DOI: 10.1094/pdis-01-21-0025-pdn. PMID: 33761775.
- Andrew, M., Peever, T. L., Pryor, B. M. (2009): An expanded multilocus phylogeny does not resolve morphological species within the small-spored *Alternaria* species complex. *Mycologia* 101:95-109.
- Banoo A, Shahnaz E, Banday S, Rasool R, Bashir T, Latif R (2020): Studies on Predominant Epiphytic Micro-flora as Antagonists to Post-harvest Pathogens of Apple. *J Plant Pathol Microbiol.* 11:512. doi: 10.35248/2157-7471.20.11.512
- Barkai-Golan R. (2001): Biological Control. In: *Post-harvest diseases of fruit and vegetables: Development and Control*. Elsevier, Amsterdam. 2001;147-188.
- Biasi, A.; Zhimo, V.Y.; Kumar, A.; Abdelfattah, A.; Salim, S.; Feygenberg, O.; Wisniewski, M.; Droby, S. (2021): Changes in the Fungal Community Assembly of Apple Fruit Following Postharvest Application of the Yeast Biocontrol Agent *Metschnikowia fructicola*. *Horticulturae*, 7, 360.
- Biggs, A. R., Ingle, M., Solihati, W. D. (1993): Control of *Alternaria* infection of fruit of apple cultivar Nittany with calcium chloride and fungicides. *Plant Dis.* 77:976- 980.
- Bulajic A, Flajdic N, Babovic M, Sutton TB, (1996): First report of *Alternaria mali* on apples in Yugoslavia. *Plant Disease* 80, 709.
- Chen Anqi, Xin Mao, Qinghui Sun, Zixuan Wei, Juan Li, Yanli You, Jiqiang Zhao, Guibin Jiang, Yongning Wu, Liping Wang, Yanshen Li (2021): *Alternaria* Mycotoxins: An Overview of Toxicity, Metabolism, and Analysis in Food *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2021 69 (28), 7817-7830 DOI: 10.1021/acs.jafc.1c03007
- Combrink, J.C., Visagie, T.R., Grobbelaar, C.C. (1984): Variation in the incidence and occurrence in different production areas of core rot in Starking apples. *Deciduous Fruit Grow.* 34, 88–89.
- Commission Recommendation (EU) 2022/553 of 5 April 2022 on monitoring the presence of *Alternaria* toxins in food C/2022/2020, OJ L 107, 6.4.2022, p. 90–92
- Elliott JA (1917): Taxonomic characters of the genera *Alternaria* and *Macrosporium*. *American Journal of Botany* 4: 439–476.

- Fallik, E., Tuvia-Alkalai, S., Feng, X., Lurie, S. (2001). Ripening characterisation and decay development of stored apples after a short pre-storage hot water rinsing and brushing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2(2), 127-132.
- Fernandez Pinto VE, Patriarca A. (2017): *Alternaria* species and their associated mycotoxins. In *Mycotoxigenic Fungi: Methods and Protocols*, Methods in Molecular Biology, , vol 1542. Edited by Moretti A, Susca A. Springer Science+Business Media; http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4939-6707-0_2.
- Filajdić N, Sutton TB, Walgenbach JF, Unrath CR (1995): The influence of European red mites on intensity of *Alternaria* blotch of apple and fruit quality and yield. *Plant Disease* 79, 683-90.
- Fleck, B. Burkhardt, E. Pfeiffer, M. Metzler (2012): *Alternaria* toxins: altertoxin II is a much stronger mutagen and DNA strand breaking mycotoxin than alternariol and its methyl ether in cultured mammalian cells, *Toxicol. Lett.* 214 (1) 27e32.
- Fontaine K, Fourrier-Jeandel C, Armitage AD, Boutigny A, Crépet M, Caffier V, Gnide DC, Shiller J, Le Cam B, Giraud M, Ioos R, Aguayo J. (2021): Identification and pathogenicity of *Alternaria* species associated with leaf blotch disease and premature defoliation in French apple orchards. *PeerJ* 9:e12496 <https://doi.org/10.7717/peerj.12496>
- Gao LL, Zhang Q, Sun XY, Jiang L, Zhang R, Sun GY, Zha YL, Biggs AR (2013): Etiology of moldy core, core browning and core rot of Fuji apple in China. *Plant Disease* 97, 510-6.
- Harteveld DOC, Akinsanmi OA, Drenth A, (2013): Multiple *Alternaria* species groups are associated with leaf blotch and fruit spot diseases of apple in Australia. *Plant Pathology* 62, 289-97
- Harteveld, Dalphy. (2014): Etiology and diversity of *Alternaria* leaf blotch and fruit spot of apples in Australia. 10.13140/RG.2.1.4183.9129.
- Hong SG, Cramer RA, Lawrence CB, Pryor BM. (2005): Alta 1 allergen homologs from *Alternaria* and related taxa: analysis of phylogenetic content and secondary structure. *Fungal Genetics and Biology* 42:119–129 DOI 10.1016/j.fgb.2004.10.009.
- Jurick, W. M., Kou, L. P., Gaskins, V. L., Luo, Y. G. (2014): First Report of *Alternaria alternata* Causing Postharvest Decay on Apple Fruit During Cold Storage in Pennsylvania. *Plant Disease*, 98(5), 690–690. doi:10.1094/pdis-08-13-0817-pdn
- Köhl, J., Wenneker, M., Groenenboom-de Haas, B.H., Anbergen, R., Goossen-van de Geijn, H.M., Lombaers-van der Plas, C.H., Pinto, F.A.M.F. Kastelein, P. (2018): Dynamics of post-harvest pathogens *Neofabraea* spp. and *Cadophora* spp. in plant residues in Dutch apple and pear orchards. *Plant Pathol*, 67: 1264-1277. <https://doi.org/10.1111/ppa.12854>
- Kou LP, Gaskins VL, Luo YG, Jurick WM 2nd. (2014): First Report of *Alternaria tenuissima* Causing Postharvest Decay on Apple Fruit from Cold Storage in

- the United States. *Plant Dis.* 98(5):690. doi: 10.1094/PDIS-07-13-0802-PDN. PMID: 30708506.
- Lawrence DP, Gannibal PB, Peever TL, Pryor BM (2013): The sections of *Alternaria*: formalizing species-group concepts. *Mycologia* 105: 530–546
- Lawrence, D.P.; Rotondo, F.; Gannibal, P.B. (2016): Biodiversity and taxonomy of the pleomorphic genus *Alternaria*. *Mycol. Prog.* 15
- Li, Y., Cai, Y., Yu, K., Chao, Y., Li, J., Zhang, L. (2025): Identification, mycotoxigenic ability and biosynthesis genes of *Alternaria* spp. from apples in China. *International Journal of Food Microbiology*, 111491.
- Li Y, Aldwinckle HS, Sutton T, Tsuge T, Kang G, Cong P, Cheng Z, (2013): Interactions of apple and the *Alternaria alternata* apple pathotype. *Critical Reviews in Plant Sciences* 32, 141-50.
- Lopez P, Venema D, de Rijk T, de Kok A, Scholten JM, Mol HGJ, de Nijs M (2016): Occurrence of *Alternaria* toxins in food products in The Netherlands. *Food Control*, 60:196-204.
- Matas-Baca, Miguel & Urías García, Crescencio & Pérez Álvarez, Sandra & Flores Cordova, Maria & Escobedo-Bonilla, César & Magallanes-Tapia, Marco, Sánchez- Chávez, Esteban. (2021): Morphological and molecular characterization of a new autochthonous *Trichoderma* sp. isolate and its biocontrol efficacy against *Alternaria* sp. *Saudi Journal of Biological Sciences.* 29. 10.1016/j.sjbs.2021.12.052.
- Meena M, Gupta SK, Swapnil P, Zehra A, Dubey MK, Upadhyay RS. (2017): *Alternaria* toxins: potential virulence factors and genes related to pathogenesis. *Frontiers in Microbiology* 8:1451 DOI 10.3389/fmicb.2017.01451.
- Naets M, van Dael M, Vanstreels E, Daelemans D, Verboven P, Nicolai B, Keulemans W, Geeraerd A. (2017): To disinfect or not to disinfect in postharvest research on the fungal decay of apple? *Int J Food Microbiol* 266:190-199. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2017.12.003.
- Nahal, S. .El-Mougy and Mokhtar M. Abdel-Kader. (2009): Salts application for suppressing potato early blight disease. *J. of Pl. Prot. Res.* 49(4):353-361. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10045-009-0055-8>.
- Nees von Esenbeck CG. (n.d.) 1816 (“1817” in some copies). *Das System der Pilze und Schwämme*:72.
- Ntasiou P, Myresiotis C, Konstantinou S, Papadopoulou-Mourkidou E, Karaoglanidis GS. (2015): Identification, characterization and mycotoxigenic ability of *Alternaria* spp. causing core rot of apple fruit in Greece. *Int J Food Microbiol* 16, 197:22-9. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2014.12.008.
- Palmer CL, Horst RK and Langhans RW. (1997): Use of bicarbonates to inhibit in vitro growth of *Botrytis cinerea*. *Plant Dis.* 81: 1432–1438. DOI: 10.1094/PDIS.1997.81.12.143 2.
- Pandey A. (2010): Antagonism of two *Trichoderma* species against *Alternaria alternata* on *Capsicum frutescens* *J. Exp. Sci.*, 1 (5) pp. 18-19

- Patriarca A, da Cruz Cabral L, Pavicich MA, Nielsen KF, Andersen B. (2019a): Secondary metabolite profiles of small-spored *Alternaria* support the new phylogenetic organization of the genus. *Int J Food Microbiol*, 291:135-143.
- Patriarca A. (2016): *Alternaria* in food products. *Curr Opin Food Sci*, 11:1-9.
- Patriarca, A. (2019a). Fungi and mycotoxin problems in the apple industry. *Current Opinion in Food Science*.
- Pavicich, María & Boevre, Marthe & Vidal, Arnau & Iturmendi, Facundo & Mikula, Hannes & Warth, Benedikt & Saeger, Sarah & Patriarca, Andrea. (2020): Fate of free and modified *Alternaria* mycotoxins during the production of apple concentrates. *Food Control*. 118. 107388. 10.1016/j.foodcont.2020.107388.
- Pero R, Posner H, Blois M, Harvan D, Spalding J. (1973): Toxicity of metabolites produced by the *Alternaria*^ . *Environ Health Perspect*; 4:87.
- Petreš, M., Kalajdžić, J., Milić, B., Magazin, N., Stankov, A., Vukotić, J., Grahovac, M. (2020): Effect of hot water treatments on apple fruit rot caused by *Fusarium* spp. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 127(5), 651-655.
- Puntscher H, Kütt ML, Skrinjar P, Mikula H, Podlech J, Fröhlich J, Marko D, Warth B. (2018): Tracking emerging mycotoxins in food: development of an LC-MS/MS method for free and modified *Alternaria* toxins. *Anal Bioanal Chem*. 410(18):4481- 4494. doi: 10.1007/s00216-018-1105-8.
- Puntscher, Hannes & Marko, Doris, Warth, Benedikt. (2020): First determination of the highly genotoxic fungal contaminant altertoxin II in a naturally infested apple sample. *Emerging Contaminants*. 6. 82-86. 10.1016/j.emcon.2020.01.002.
- Reuveni, M. (2006a): Inhibition of germination and growth of *Alternaria alternata* and mouldy-core development in Red Delicious apple fruit by Bromuconazole and Syngnum. *Crop Prot*. 25:253-258
- Reuveni, M., Sheglov, D., Sheglov, N., Ben-Arie, R., Prusky, D., (2002): Sensitivity of Red Delicious apple fruit at various phenologic stages to infection by *Alternaria alternata* and moldy-core control. *Eur. J. Plant Pathol*. 108, 421–427
- Reuveni, M., Sheglov, N., Eshel, D., Prusky, D., and Ben-Arie, R. (2006b): Virulence and the production of endo-1,4- β -glucanase by isolates of *Alternaria alternata* involved in the moldy-core disease of apples. *J. Phytopathol*. 155:50-55
- Rotem J (1994): *The genus Alternaria: biology, epidemiology, and pathogenicity*. APS, St. Paul
- Rotondo F, Collina M, Brunelli A, Pryor BM. (2012): Comparison of *Alternaria* spp. collected in Italy from apple with *A. mali* and other AM-toxin producing strains. *Phytopathology* 102:1130–1142 DOI 10.1094/PHYTO-04-12-0076-R.
- Sawamura K, (1990): *Alternaria blotch*. In: Jones AL, Aldwinckle HS, eds. *Compendium of Apple and Pear diseases*. St Paul, MN, USA: American Phytopathology Society Press, 24-5.

- Schultze-Werninghaus G, 2012. Allergic airway and lung diseases by airborne molds. *Allergologie* 35, 624-8.
- Serdani M, Kang JC, Andersen B, Crous PW. (2002): Characterisation of *Alternaria* species- groups associated with core rot of apples in South Africa. *Mycological Research* 106:561–569.
- Shtienberg, D., (2012): Effects of host physiology on the development of Core rot caused by *Alternaria alternata*, in Red Delicious apples. *Phytopathology* 102, 769– 778
- Simmons EG. (2007): *Alternaria: an identification manual*. Utrecht: CBS Fungal Biodiversity Centre.
- Spotts, R. A. (1990): Moldy core and core rot. Pages 29-30 in: *Compendium of Apple and Pear Diseases*. A. L. Jones and H. S. Aldwinckle, eds. American Phytopathology Society, St. Paul, MN
58. Thomma, B.P.H.J. (2003): *Alternaria* spp.: from general saprophyte to specific parasite. *Molecular Plant Pathology*, 4: 225-236. <https://doi.org/10.1046/j.1364-3703.2003.00173.x>
- Trail, F. and Köller, W. (1993): Diversity of cutinases from plant pathogenic fungi: purification and characterization of two cutinases from *Alternaria brassicicola*. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 42, 205 –220.
- Woudenberg JHC, Groenewald JZ, Binder M, Crous PW. (2013): *Alternaria* redefined. *Studies in Mycology* 75:171–212 DOI 10.3114/sim0015.
- Yao, C. and Köller, W. (1994): Diversity of cutinases from plant pathogenic fungi: Cloning and sequence analysis of a cutinase gene from *Alternaria brassicicola*. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 44, 81–92.
- Zaker M. (2014): Antifungal evaluation of some inorganic salts against three phyto- pathogenic fungi. *International Journal of Agric. And Crop Sci.*7:(14):1352-1358.
- Ziv O. and Zitter T.A. (1992): Effects of Bicarbonates and film-forming polymers on cucurbit foliar diseases. *Plant Dis.* 76: 513–517. DOI:10.1094/PD-76-0513.

Abstract

***Alternaria* spp. – CAUSATIVE AGENTS OF APPLE FRUIT ROT**

**Milica Meseldžija, Dobrila Radić, Jozef Gašparovski, Miljan Miljanović,
Mila Grahovac, Snežana Rajkov, Marta Loc**

Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Trg Dositeja Obradovića 8,
21000 Novi Sad

E-mail: milica.meseldzija@polj.edu.rs

Alternaria species cause various symptoms of spotting and rotting on a large number of plant species, as well as spoilage of some foods throughout the food production chain. In addition to quantitative losses, *Alternaria* fungi can also cause qualitative losses in the form of mycotoxin contamination. The post-harvest phytopathology of apple fruits has the task of finding solutions for controlling a number of causes of apple fruit rot during storage, among which *Alternaria* spp. The identification of species from the genus *Alternaria* based on morphological characters is not precise enough, only by molecular detection were the species that cause apple fruit rot clearly separated. Disease symptoms on apple fruits include spotting, spotting of apple leaves and fruit, which occurs during the growing season, but also fruit rot that develops after harvest, which also includes apple core rot. Species from the genus *Alternaria* are very metabolically active and produce over 70 different types of toxins that can contaminate the plants or foods on which they grow. For the control of *Alternaria* spp. on the apple, warm water treatments, the application of inorganic salts, as well as the application of beneficial microorganisms with pronounced antagonistic action against this pathogen are recommended.

Key words: post-harvest phytopathology, apple fruit rot, *Alternaria alternata*, *Alternaria tenuissima*.