

UTICAJ KLIMATSKIH PROMENA NA ZNAČAJ MIKOTOKSINA

Nikolina Arsenac

Univezitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad

E-mail: nikolina.arsenac94@gmail.com

Izvod

Mikotoksini predstavljaju toksične biološke supstance na zdravlje ljudi i životinja, a nastaju kao sekundarni produkti metabolizma gljiva. Postoje brojni tipovi mikotoksina, a do sada je identifikovano oko 650 različitih vrsta od kojih su najznačajniji: alflatoksini, fumozini, ohratoksin, zearalenon, trihoteceni, patulin i drugi. Najznačajnije mikotoksigene gljive su iz rodova: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Claviceps* i *Alternaria*. Za svaki od pomenutih rodova potrebni su određeni, povoljni uslovi za njihov rast i razvoj: temperatura, prisustvo vlage i ugljen – dioksida. Usled globalnog zagrevanja i promene klimatskih uslova u određenim geografskim područjima došlo je do pojave veće količine određenih mikotoksina. U poslednjih nekoliko decenija, izrazito topla i sušna leta dovela su do povećanja broja insekata koji štetama koje pričinjavaju dodatno doprinose naseljavanju mikotoksigenih gljiva na poljoprivredne proizvode, a samim tim i povećanju kontaminacije kukuruza i drugih biljnih vrsta mikotoksinima. Na osnovu dosadašnjih saznanja potrebno je preduzeti niz preventivnih mera sprečavanja i smanjenja kontaminacije mikotoksinima.

Ključne reči: mikotoksini, aflatoksin, klimatske promene

UVOD

Mikotoksini su supstance koje se stvaraju kao nusprodukt metabolizma filamentoznih gljiva, a mogu biti toksični i imati negativan uticaj na zdravlje ljudi i životinja. Naziv “mikotoksini” dolazi od grčke reči “mykes”, što znači gljiva, i latinske reči “toxicum”, što znači otrov. Postoje različite vrste mikotoksina, a one se međusobno razlikuju po vrsti gljiva koje ih sintetišu, hemijskoj strukturi, načinu delovanja i toksičnosti.

Većina mikotoksina proizvode gljive iz rodova: *Aspergillus*, *Penicillium* i *Fusarium*. Ostali rodovi koji su poznati po proizvodnji mikotoksina su *Claviceps*, *Alternaria* i drugi (Bhat i sar., 2010). Mikotoksini su sekundarni metaboliti i nisu neophodni za rast i razvoj gljiva (Fox i Howlett, 2008), što znači da nisu ključni za opstanak gljiva.

Pojava mikotoksina usko je povezana sa pojavom toksigenih vrsta gljiva i varira u odnosu na različite regione sveta u zavisnosti od klimatskih faktora odre-

đenog predela. *Aspergillus* vrste dominiraju u toplim i umerenim delovima sveta, dok su *Penicillium* vrste česte u hladnijim delovima sveta (Sweeney i Dobson, 1998).

Postoji oko 650 različitih mikotoksina, koji se mogu svrstati u otprilike 25 različitih grupa hemijskih jedinjenja na osnovu njihove hemijske strukture (Klaffke, 2010). Ti mikotoksini mogu imati negativan uticaj na bezbednost hrane, zdravlje ljudi i produktivnost životinja (Scudamore, 2005). Toksično delovanje mikotoksina koje produkuju fitopatogene gljive na organizam ljudi i životinja se uglavnom ispoljava nakon dužeg vremena usled hroničnog unošenja toksina čak i u niskim dozama, a to su: citoksičnost, hepatotoksičnost, neurotoksičnost, teratogenost, mutagenost i kancerogenost (Kocić-Tanackov i Dimić, 2013). Prati ih niz simptoma koji uključuju oštećenja nervnog sistema, krvarenje u mozgu, oštećenja jetre i karcinom, prekomernu proizvodnju estrogena, propadanje ćelija reproduktivnog sistema, oštećenja ćelija epitela, sluznice i crevnog trakta, oštećenja imunog sistema i disajnih puteva.

Tabela 1. Pregled najčešćih mikotoksina, gljiva koje ih sintetišu i namirnica u kojima se pojavljuju (Haque i sar., 2020)

Mikotoksin	Vrsta gljive	Usevi koje kontaminiraju
Aflatoksini	<i>Aspergillus</i> spp. (<i>A. flavus</i> , <i>A. nomius</i> , <i>A. parasiticus</i>) <i>Emericella</i> spp. (<i>E. astellata</i> , <i>E. venezuelensis</i> , <i>E. olivicola</i>)	Kukuruz, pšenica, pirinač, šećerna trska, kikiriki, mlečni proizvodi, jaja, meso
Ohratoksini	<i>Aspergillus</i> spp. (<i>A. alliaceus</i> , <i>A. niger</i> , <i>A. glaucus</i> , <i>A. citricus</i> , <i>A. ochraceus</i>) <i>Penicillium</i> spp. (<i>P. viridicatum</i> , <i>P. verrucosum</i>)	Ječam, pšenica, vino, kafa, raž, zob, začini
Fumonizini	<i>Fusarium</i> spp. (<i>F. graminearum</i> , <i>F. cerealis</i> , <i>F. moniliforme</i>) <i>Myrothecium</i> sp., <i>Trichoderma</i> sp.,	Kukuruz, proizvodi od kukuruza, šećerna trska, špagle, pirinač, mleko
Zearalenon	<i>Fusarium</i> spp. (<i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. cerealis</i> , <i>F. incarnatum</i>)	Ječam, zob, pirinač, šećerna trska, susam, soja
Citrinin	<i>Penicillium</i> spp. (<i>P. citrinum</i> , <i>P. expansum</i> , <i>P. radicicola</i> , <i>P. verrucosum</i>) <i>Monascus purpureus</i>	Skladištene žitarice, proizvodi od žitarica, sir, pokvareni mlečni proizvodi
Trihoteceni	<i>Fusarium</i> spp. (<i>F. graminearum</i> , <i>F. cerealis</i> , <i>F. moniliforme</i>)	Žitarice i proizvodi od žitarica

Svetska zdravstvena organizacija (WHO) procenjuje da je u svetu mikotoksina kontaminirano 25% ukupne hrane, međutim, nedavna istraživanja pokazala su da je na globalnom nivou 30-100% uzoraka hrane kontaminirano mikotoksini-
ma (Magnoli i sar., 2019).

Iako tačna uloga mikotoksina u gljivama još uvek nije potpuno razjašnjena, njihovo stvaranje je povezano sa ekološkim uslovima i preživljavanjem organizama pod različitim uslovima (Magan i sar., 2003). Takođe, važno je napomenuti da se mikotoksini često javljaju zajedno i da mogu imati sinergetske efekte u organizmu (Pleadin i sar., 2018).

Genetski mehanizmi regulišu sekundarni metabolizam gljiva, što omogućava organizmu da odgovori na promene u okruženju (Shwab i Keller, 2008). Temperatura i aktivnost vode su glavni faktori koji utiču na nastajanje mikotoksina (Sanchis i Magan, 2004; Vrdoljak, 2017). Mikotoksini mogu kontaminirati veliki broj različitih poljoprivrednih i prehrambenih proizvoda, kao i hranu za životinje, usled čega se ubrajaju u grupu najpoznatijih i najučestalijih hemijskih kontaminanata hrane (Sypecka i sar., 2004; Masoero i sar., 2007; Fink-Gremmels, 2008; Volkel i sar., 2011).

NAJZNAČAJNIJE MIKOTOKSIGENE GLJIVE I NJIHOVI MIKOTOKSINI

Svaka vrsta gljiva koja proizvodi mikotoksine ima specifične karakteristike i uslove rasta i razvoja, koji utiču na sintezu i kontaminaciju poljoprivrednih useva (Van der Fels-Klerx i sar., 2016). Nekoliko vrsta gljiva može proizvesti isti mikotoksin, dok se jedna vrsta može povezati sa više različitih mikotoksina. Rodovi *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Claviceps* i *Alternaria* su najčešće povezani sa proizvodnjom mikotoksina (Weaver i sar., 2020). U tabeli 1 prikazan je pregled najčešćih mikotoksina, njihovo poreklo i namirnica u kojima se obično javljaju.

Alternaria, *Fusarium*, *Rhizopus* i *Cladosporium* su rodovi gljiva koje često uzrokuju oboljenja u poljoprivredi, posebno na žitaricama, tokom kišnih godina. Nedavna istraživanja su pokazala da se tokom kišnih godina, vrste iz roda *Fusarium* često javljaju i kontaminiraju između 20 i 82% uzoraka kukuruza (Kuvedžić, 2020).

Rod *Aspergillus*. Rod *Aspergillus* sadrži više od 200 vrsta gljiva. Ove gljive su od izuzetnog značaja u farmaceutskoj, poljoprivrednoj i prehrambenoj industriji, kao i u razgradnji organskih supstrata, posebno mrtvog biljnog materijala (Baker i Bennett, 2008).

Među najznačajnijim vrstama *Aspergillus* koje proizvode mikotoksine su *Aspergillus niger* i *Aspergillus ochraceus*. *A. niger* može izazvati crnu trulež na voću i povrću. *A. ochraceus* proizvodi ohratoksin A (OTA) i citrinin (CTN), a njegove spore u vazduhu mogu izazvati plućne bolesti kod ljudi (Pleadin i sar., 2018).

Među mnogim vrstama roda *Aspergillus*, aflatoksine grupe B najčešće sintetizira *A. flavus*, dok aflatoksine grupe G sintetizira *A. parasiticus* (Sinovec i sar., 2006). Ovi organizmi su sveprisutni i mogu sintetizirati aflatoksine u kukuruzu, raznim vrstama žitarica i proizvoda od žitarica, uljaricama, suvom voću, džemovima, začinima, kakau, suhomesnatim proizvodima i siru (Jovanović i sar., 2018).

Vrste gljiva *Aspergillus flavus* i *Aspergillus parasiticus* su najvažniji proizvođači aflatoksina, koji se javljaju u tropskim i suptropskim područjima (Scazzocchio, 2019). U prirodi, *A. flavus* se obično pojavljuje na uvenulim biljkama i uginulim životinjama, i kao takav ima značajnu ulogu u prirodnom ciklusu hranljivih materija. Takođe, *A. flavus* se može razvijati u širokom temperaturnom rasponu (12 - 48 °C), što objašnjava njegovu globalnu rasprostranjenost (Pleadin i sar., 2018). *A. flavus*, iako se smatra skladišnim patogenom, uz odgovarajuće klimatske faktore može ostvariti infekcije i u polju. Na kukuruzu gljiva se širi od vrha klipa ka osnovi, a retko kad prodire do same srži šepurike (Marsh i Payne, 1984). Optimalni temperaturni uslovi za razvoj ovog patogena su temperature u opsegu od 30 do 34 °C i tada je širenje infekcije od svile do klipa najbrže i traje svega 4 dana (Savić, 2022).

Aflatoksini (AFT) su mikotoksini od najvećeg toksikološkog značaja zbog njihovog negativnog uticaja na zdravlje ljudi i životinja. Vrste *A. flavus*, *A. parasiticus* i *A. nominus* su najčešći proizvođači aflatoksina u tropskim i suptropskim regionima (Nleya i sar., 2018). Aflatoksini se najbolje razvijaju u temperaturnom opsegu između 26 i 38 °C, uz vlažnost vazduha od najmanje 18%.

Aflatoksini mogu imati sve učestalije posledice po zdravlje zbog česte kontaminacije hrane i hrane za životinje aflatoksigenim gljivama i njihovim toksinima. Osim uticaja na zdravlje, aflatoksini su takođe ozbiljan problem, jer prouzrokuju oko 25% svetskih useva zdravstveno neispravnim svake godine. (Kuvedžić, 2020).

Rod *Penicillium*. Predstavlja jedan od najpoznatijih rodova mikotoksigenih gljiva.

Naseljavaju raznolika staništa, uključujući zemlju, vazduh i prehrambene proizvode, a mogu preživeti i u ekstremnim uslovima poput visokih temperatura, saliniteta, kiselosti ili nedostatka vode. Ovaj rod je stekao popularnost zbog revolucionarnih otkrića u lečenju bakterijskih infekcija, ali takođe je važan u prehrambenoj industriji, gde se koristi za proizvodnju raznih vrsta sireva i fermentisanih kobasica (Yadav i sar., 2018).

Ohratoksin A (OTA) je vrsta mikotoksina koji se proizvodi od strane gljive *Penicillium verrucosum*. Ovaj mikotoksin se najčešće javlja u hladnijim klimatskim područjima i kontaminira žitarice i krmne smese. S druge strane, mikotoksin patulin proizvodi *Penicillium expansum* i može se naći u voću koje je nepravilno skladišteno. Konzumacija takvog voća može dovesti do probavnih smetnji i oslabljene funkcije nervnog sistema.

Ohratoksin A je najznačajniji predstavnik ohratoksina, a slično aflatoksinima, njegova pojava povezana je sa visokom vlažnosti vazduha i temperature tokom vegetacije, skladištenja i prerade sirovina (Pietsch, 2019). Prvi put je otkriven 1965. godine kao metabolit vrste *Aspergillus ochraceus*, kao moćan nefrotoksin (Bennet i Klich, 2003).

Rod *Fusarium* je jedan od najpoznatijih rodova gljiva koje proizvode mikotoksine, uključujući fumonizine (FB1, FB2 i FB3), deoksinivalenol (DON), zearalenon (ZEA) i T-2 (T2) toksin. Ove gljive najčešće se nalaze u severnim i umerenim delovima Severne Amerike, Evrope i Azije, gde je klima karakteristična po velikoj količini padavina i velikim temperaturnim oscilacijama. Sinteza mikotoksina počinje u polju i može se nastaviti u skladištima. Količina mikotoksina proizvedenih u polju zavisi od temperature, vlažnosti vazduha i količine padavina, a najveća količina se obično proizvodi tokom toplih i sušnih dana sa povećanom vlažnošću vazduha (Janjčec, 2018). *Fusarium graminearum* je najvažnija vrsta u rodu *Fusarium* i proizvodi mikotoksine kao što su deoksinivalenol, nivalenol i zearalenon. Takođe uzrokuje fuzariozu klasa pšenice (Slika 1) i drugih žitarica, što značajno utiče na kvalitet i kvantitet prinosa (Pleadin i sar., 2018).



Slika 1. Fuzarioza klasa pšenice (Foto: Arsenac, N.)

Vlažno i toplo vreme u fazi cvetanja pšenice pogoduje pojavi patogena. Najveće štete nastaju u godinama kada u cvetanju vladaju visoke temperature (iznad 25°C) uz visoku relativnu vlažnost vazduha (iznad 85%).

Najvažnija je prisutnost zearalenona kao prirodnog kontaminanta zrna kukuruza, pšenice, ječma, zobi, raži, pirinča, soje i susama, kao i u kelju i kupusu. Do kontaminacije dolazi u polju, ali se razvoj gljiva i stvaranje mikotoksina nastavlja i tokom skladištenja, naročito ukoliko je ono neadekvatno (Zinedine i sar., 2007).

Rod *Alternaria*. Obuhvata vrste fitopatogenih gljiva koje su značajni kontaminanti žitarica. Pored uzrokovane štete na polju, ove gljive takođe mogu dovesti do kvarljivosti proizvoda u procesu prerade, tokom transporta i skladištenja. Proizvode više od 70 sekundarnih metabolita. Međutim, samo neki od ovih metabolita svrstavaju se u kategoriju mikotoksina zbog njihovog štetnog uticaja na ljude i životinje. Neki od tih mikotoksina uključuju alternariol (AOH), alternariol monometil etar (AME), tentoksin (TEN), tenuazoničnu kiselinu (TeA) i altenuen (ALT). Evropska agencija za bezbednost hrane (EFSA, 2016) u periodu 2010.–2015. godine objavila je da su najveći nivoi TeA utvrđeni u paradajzu, orašastim plodovima, semenkama ulja, žitaricama i voću. Utvrđeno je i da su začini i začinsko bilje takođe kontaminiran toksinima koje sintetišu gljive iz roda *Alternaria*. U Srbiji tokom 2011., 2012. i 2013. godine ustanovljena je prisutnost *Alternaria* toksina na pšenici. Najveći procenat zaraze bio je sa TeA (68,5%), zatim AOH (12%) i na kraju AME toksinom (6,5%) (Janić Hajnal i sar., 2015). Na osnovu istraživanja sprovedenog tokom 2016. i 2017. godine ustanovljena je prisutnost toksina pripadnika roda *Alternaria* na kukuruzu u Srbiji upoređujući odnos zaraze u Sremu i Bačkoj. U toku obe ispitivane godine ustanovljeno je veće prisustvo toksina ovih gljiva u Sremu, 48 i 47%, dok je u Bačkoj intezitet kontaminacije bio niži: 29 i 23% (Janić Hajnal i sar., 2021).

KLIMATSKE PROMENE

Klimatske promene postale su ozbiljna globalna pretnja za opstanak čovečanstva. Promene su delimično rezultat antropogenog faktora (intenzivno krčenje šuma, sagorevanje fosilnih goriva (Russel i sar., 2009).

Tokom poslednjeg veka, globalna temperatura je porasla za 0,7°C, dok je u Evropi porast iznosio 1°C. Količina padavina u severnoj Evropi se u tom periodu povećala za 10-40%, dok se u južnoj Evropi smanjila. Učestalost sušnih perioda, toplotnih talasa i ekstremnih padavina u Evropi je porasla, dok se učestalost hladnih ekstrema smanjila. Najtoplija godina u Evropi bila je 2000. godina, dok se sedam najtoplijih godina beleži u poslednjih 14 godina. Prema projekcijama, globalna prosečna godišnja temperatura bi mogla da se poveća za 1,4 - 5,8°C, dok bi u Evropi taj porast iznosio od 2,0 - 6,3°C tokom narednog veka. Projekcije takođe ukazuju na to da će se hladne zime gotovo potpuno izgubiti do kraja veka, dok će topla leta biti učestalija (MZOP, 2020).

UTICAJ KLIMATSKIH PROMENA NA PRODUKCIJU MIKOTOKSINA

Rast toksigenih gljiva i produkcija mikotoksina zavisi od interakcije između domaćina, gljive i stresnih uslova spoljašne sredine za razvoj biljaka (Bryden, 2012; Magani sar., 2011). Ovi stresovi podrazumevaju promene temperature, ekstremne količine padavina, vlažnost vazduha i varijacija CO₂. Dosadašnje studije su pokazale da na rast i razvoj toksigenih gljiva i produkciju mikotoksina veliki uticaj imaju: temperatura, prisustvo CO₂, količina padavina ili kombinacija sva tri faktora (Medina i sar., 2013, 2015; Verheecke-Vaessen i sar., 2019). Ovi faktori zavise prvenstveno od geografskog položaja i variraju na godišnjem nivou (Pleadin i sar., 2020). Prema predviđanjima Patersona i Lime (2010), najveći rizik od kontaminacije mikotoksinima geografski gledano biće prisutan u razvijenim zemljama s umerenom klimom. Produkcija alflatoksina od strane *Aspergillus* vrsta zavisi od kombinacije tri faktora: temperature, vlažnosti i prisustva CO₂ (Gilbert i sar., 2018). Dugotrajna sušna razdoblja tokom godine pogoduju proizvodnji aflatoksina, dok kišna razdoblja pogoduju nastanku *Fusarium* mikotoksina (Binder i sar., 2007; Bhat i sar., 2010). Glavni faktor je temperatura, koja zajedno sa količinom vode utiče na rast gljiva i proizvodnju mikotoksina (Northolt i Bullerman, 1982). Pri temperaturama od 12 do 41 °C *Aspergillus flavus* može sintetisati aflatoksine, dok je optimum za njihovu sintezu između 25 i 32 °C (Lillehoj, 1983).

Iako su prirodne pojave aflatoksina neuobičajene u klimatskim uslovima Srbije, nakon sušne 2012. godine u Srbiji, ustanovljena je izuzetno visoka prisutnost *Aspergillus* vrsta na kukuruza, ali i visoka koncentracija mikotoksina AFB1 u hrani za životinje bazirane na kukuruza (Kršnjaja i sar., 2013). Na osnovu podataka ustanovljeno je da su te godine pored kukuruza, *Aspergillus* vrstama zaraženi: suncokret, pšenica i soja. Slični rezultati dobijeni su širom sveta (Gursoy i Bicici, 2004; Mateo i sar., 2004; Pepeljnjak i Šegvić, 2004; Hajihassani i sar., 2012).

Veruje se da su porast temperature i vlage, koji su povezani sa klimatskim promenama, najverovatnije doveli do povećane kontaminacije aflatoksinima u južnoj Evropi početkom 2000-ih, a od tada se primećuje njihovo sve veće prisustvo i u severnom delu Evrope (Battilani i sar., 2012., 2016). U južnoj Evropi su izuzetno topla leta već rezultirala promenama u ekosistemu gajenja kukuruza, što je dovelo do promena, u uobičajenoj pojavi vrsta *Fusarium* i *Fusarium* mikotoksina i učestalijoj pojavi *A. flavus* i kontaminaciji izrazito toksičnim aflatoksinom B1 (Pleadin i sar., 2020). Pored temperature, visoka relativna vlažnost vazduha, od 80 do 90%, predstavlja neophodan faktor za sintezu alflatoksina (Sinovec i sar., 2006).

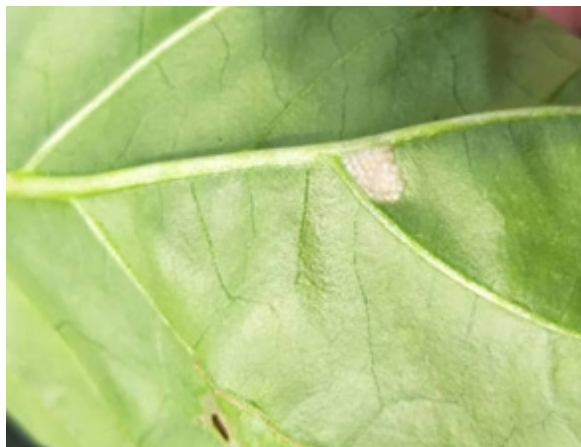
Veoma malo podataka je prikupljeno o uticaju klimatskih faktora na produkciju ohratoksina A od strane gljiva iz roda *Aspergillus* (Battilani i sar., 2003).

Jedan od važnih faktora koji treba razmotriti jeste uticaj nivoa CO₂ na različite vrste biljaka i njegov uticaj na imunitet biljaka i podložnost gljivičnim infekcijama. Ovo je slučaj kod kukuruza gde prilikom povećane koncentracije CO₂ dolazi do povišene osetljivosti biljke na *Fusarium verticillioides* (Vaughan i sar., 2014).

Iako su gljive generalno otporne na povećanu koncentraciju CO₂, ovaj gas može imati značajan indirektan uticaj na proizvodnju mikotoksina u kombinaciji sa drugim faktorima stresa, kao što su suša, oštećenja biljaka od strane insekata i promene u fenologiji useva, poput promena u vremenu cvetanja i zrenja žitarica (Van Der Fels-Klerx i sar., 2016; Medina i sar., 2017).

Najnovija istraživanja ukazuju na to da će u narednim decenijama doći do porasta koncentracije CO₂ u atmosferi za dva do tri puta (sa 350-400 na 800-1200 ppm) i porasta temperature za 2 - 5 °C, uz povećanje sušnih perioda (Gregory i sar., 2009; Bebbber i sar., 2013, 2014; Medina i sar., 2014; Bebbber i Gurr, 2015; Medina i sar., 2017).

Globalnim zagrevanjem i indirektnim povećanjem srednje vrednosti temperature dolazi do stvaranja povoljnih uslova za razvoj štetočina. Jedna od njih jeste kukuruzni plamenac – *Ostrinia nubilalis* (Trnka i sar., 2007). Odrasla jedinka polaže jaja na listove kukuruza, paprike i drugih povrtarskih kultura (Slika 2).



Slika 2. Kukuruzni plamenac (*Ostrinia nubilalis*), jajno leglo
(Foto: Arsenac, N.)

Glavne štete na usevima prave larve ovog insekta, praveći otvore na klipovima kukuruza, ali i drugim delovima biljaka. Toplija klima predstavlja povoljne uslove za brži rast i razvoj insekata čime dolazi i do povećanja šteta koje oni prouzrokuju što samim tim dovodi do povećanja potencijala zaraze biljaka patogenim gljivama i povećanja produkcije mikotoksina (Paterson i Lima, 2010).

Predviđa se da će globalne klimatske promene značajno uticati na povećanje kontaminacije različitih žitarica aflatoksinima. To bi moglo dovesti do toga da aflatoksin B1, koji je najtoksičniji oblik aflatoksina, postane značajna pretnja bezbednosti hrane u narednom veku, posebno na području istočne Evrope, Balkanskog poluostrva i Mediterana (Battilani i sar., 2012).

HERE PREVENCIJE STVARANJA I ŠIRENJA MIKOTOKSINA

Sprečavanje i kontrola kontaminacije prehrambenih sirovina mikotoksinima se smatra važnijim od njihovog uklanjanja nakon kontaminacije. Zbog toga je neophodno primenjivati i razvijati procese analize i kontrole kritičnih tačaka putem sistema HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point). Važno je znati optimalne i granične uslove temperature i relativne vlažnosti za rast i proizvodnju mikotoksina, posebno kod ključnih vrsta gljiva (*Aspergillus*, *Penicillium* i *Fusarium*). Otkriveno je da postoji preko 100 hemijskih jedinjenja koja mogu sprečiti rast mikotoksigenih gljiva i sintezu mikotoksina. Fungicidi poput natrijum-sorbata ili kalcijum-propionata (Arroyo i sar., 2005), antioksidansi poput vanilinske i 4-hidroksi benzojeve kiseline (Palumbo i sar., 2007) ili esencijalna ulja biljaka *Thymus vulgaris* i *Aframomum danielli* (Aroyeun i Adegoke, 2007) se koriste u tu svrhu.

Strategija minimalizacije prisustva mikotoksina obuhvata: gajenje otpornih sorti, pravilno odrađene agrotehničke mere pre žetve, primena hemijskih i bioloških mera suzbijanja prouzrokovaca bolesti, ali i štetočina na osnovu praćenja povoljnih uslova za njihov rast i razvoj (Pleadin i sar., 2020).

Na osnovu ranije pomenutog značaja prisustva CO₂, prevenciju kontaminacije mikotoksinima treba sagledati i u smeru globalnog smanjenja emisije CO₂, odnosno, generalnog smanjenja zagađenja životne sredine (Pleadin i sar., 2020).

ZAKLJUČAK

Na osnovu dosadašnjih istraživanja može se zaključiti da su klimatski faktori: temperatura, prisustvo CO₂, količina padavina i vlaga od najvećeg značaja za razvoj mikotoksigenih gljiva. Promenom klime i prisustvom sve toplijih i sušnijih leta dolazi do povećanja određenih mikotoksina u hrani. Pored fiziološkog stresa, visoke temperature doprinose razvoju štetnih insekata koji patogenim mikotoksigenim gljivama omogućuju lakšu zarazu biljaka, a samim tim i sintezu mikotoksina. Mere prevencije su osnovne mere zaštite: manje osetljive sorte ili hibridi, odgovarajući fungicidni i insekticidni tretmani, smanjenje globalnog zagrevanja.

LITERATURA

- Aroyeun S. O., Adegoke G. O. (2007): Reduction of ochratoxin A (OTA) in spiked cocoa powder and beverage using aqueous extracts and essential oils of *Aframomum danielli*. *African Journal of Biotechnology* 6, 612–616.
- Arroyo M., Aldred D., Magan N. (2005): Environmental factors and weak organic acid interactions have differential effects on control of growth and ochratoxin A production by *Penicillium verrucosum* isolates in bread. *International Journal of Food Microbiology*, 98, 223–231.
- Baker S.E., Bennett J.W. (2008): Genomics of the Aspergilli. U: An overview of the Genus *Aspergillus*. 3-11
- Battilani, P., A. Pietri, P. Giorni, T. Bertuzzi, C. Carbanò (2003): Growth and ochratoxin A production of *Aspergillus* section *Nigri* isolates from Italian grapes. *Asp. Appl. Biol.* 6 8, 175-180
- Battilani, P., V. Rossi, P. Giorni, A. Pietri, A. Gualla, H. J. Van Der Felsklerx, C. J. H. Booij, A. Moretti, A. Logrieco, P. Toscano, M. (2012): Modelling, predicting and mapping the emergence of aflatoxins in cereals in the EU due to climate change, Efsa Supporting Publications, Volume 9, Issue 1
- Battilani, P., P. Toscano, H. J. Van Der Felsklerx, A. Moretti, M. C. Leggieri, C. Brera, A. Rortais, T. Goumperis, T. Robinkson (2016): Aflatoxin B1 contamination in maize in Europe increases due to climate change. *Sci. Rep.* 6, 24328. 4.
- Bebber, D. P., M. A. T. Ramatowski and S. J. Gurr (2013): Crop pests and pathogens move poleward in a warming world. *Nat. Clim. Change* 3, 985-988.
- Bebber, D. P., T. Holmes and S. J. Gurr (2014): The global spread of crop pests and pathogens. *Global Ecol. Biogeogr.* 23, 1398–1407.
- Bebber, D. P. and S. J. Gurr (2015): Cropdestroying fungal and oomycete pathogens challenge food security. *Fungal Gen. Biol.* 74, 62-64.
- Bennet J. W., Klich M. (2003): Mycotoxins. *Clinic. Microbio.* 16, 497-516.
- Bhat R., Rai R. V., Karim A. A. (2010): Mycotoxins in food and feed: present status and future concerns. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(1), 57- 81.
- Binder, E. M., L. M. Tan, L. J. Chin, J. Handl, J. Richard (2007): Worldwide occurrence of mycotoxins in commodities, feeds and feed ingredients. *Anim. Feed Sci. Technol.* 137, 265-282.
- Bryden, W. L. (2012): Mycotoxin contamination of the feed supply chain: Implications for animal productivity and feed security. *Animal Feed Science and Technology*, 173 (1– 2), 134–158.
- EFSA, (2016): Dietary exposure assessment to *Alternaria* toxins in the European population, Scientific report, European Food Safety Authority, *EFSA Journal* 2016;14(12), 4654.
- Fink-Gremmels, J. (2008): Mycotoxins in cattle feeds and carry-over to dairy milk: A review. *Food Additives & Contaminants Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 25(2), 172–180
- Fox, E. M., Howlett B. J. (2008): Secondary metabolism: regulation and role in fungal biology. *Current Opinion in Microbiology*, 11(6), 481-487.

- Gilbert M.K., Majumdar R., Rajasekaran K., Chen Z., Wei Q., Sickler C.M., Lebar M. D., Cary J.W., Frame B.R., Wang K. (2018): RNA interference-based silencing of the alpha-amylase (*amy1*) gene in *Aspergillus flavus* decreases fungal growth and aflatoxin production in maize kernels, *Planta* 247, 1465-1473.
- Gregory, P. J., S. N. Johnson, A. C. Newton and J. S. I. Ingram (2009): Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate. *J. Exp. Bot.* 60, 2827-2838.
- Gursoy, N., Bicici, M. (2004): A review on current situation of toxigenic fungi and mycotoxins formation in Turkey. In A. Logrieco; A. Visconti (Eds.), *An Overview on Toxigenic Fungi and Mycotoxins in Europe*, 237-246.
- Hajhihasani, M., Hajihassani, A., Khaghani, S. (2012): Incidence and distribution of seed-borne fungi associated with wheat in Markazi Province, Iran. *African Journal of Biotechnology*, 11(23), 6290-6295.
- Haque A.M., Wang Y., Shen Z., Li X., Kashif Saleemi M., He C. (2020): Mycotoxin contamination and control strategy in human, domestic animal and poultry: A review, *Microbial Pathogenesis*. 142, 104095.
- Janić Hajnal, E., Orčić, D., Torbica, A., Kos, J., Mastilović J., Škrinjar M. (2015): *Alternaria* toxins in wheat from the Autonomous Province of Vojvodina, Serbia: a preliminary survey, *Food Additives & Contaminants: Part A*, 32:3, 361-370,
- Janić Hajnal, E., Kos, J., Pezo, L., Radić, B., Malachová, A., Krska, R., Sulyok, M. (2021): Presence of *Alternaria* toxins in maize from Republic of Serbia during 2016–2017. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(10), 15827
- Janjčec A. (2018): Put mikotoksina u prehrambenom lancu. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb.
- Jovanović D., Marković Radmila, Radulović S. , Grdović Svetlana, Krstić Milena, Šefer D. (2018): Aflatoxins in feed, *Veterinarski Glasnik* 2018, 72 (1), 14-21
- Klaffke H. (2010): Biotokine und herstellungsbedingte Kontaminanten. In: *Handbuch für Lebensmittelchemiker* (Frede, W., eds.), 449-489, Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Kocić-Tanackov Sunčica, Dimić Gordana (2013): Gljive i mikotoksini – kontaminanti hrane, *Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki Fakultet, Hem. Ind.* 67 (4), 639–653.
- Krnjaja, V.S., Lević, J.T., Stanković, S.Ž., Petrović, T.S., Lukić, M.D. (2013): Molds and mycotoxins in freshly harvested maize. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke*, 124, 111-119.
- Kuveždić T. (2020): Mikotoksini i utjecaj klimatskih promjena na njihovu produkciju, Master's thesis , University of Zagreb, Faculty of Agriculture.
- Lillehoj, E.B. (1983): "Effect of environmental and cultural factors on aflatoxin contamination of developing corn kernels," in *Aflatoxin and Aspergillus in corn*. Southern Cooperative Series Bulletin 279, eds Diener, U. L., Asquith, R. L., and Dickens J. W. (Auburn, AL: Alabama Agricultural Experiment Station), 27–34.
- Magan, N., R. Hope, V. Cairns and D. Aldred (2003): Post-harvest fungal ecology: impact of fungal growth and mycotoxin accumulation in stored grain. *European J. Plant Pathol.*, 109, 723-730.
- Magan, N., Medina, A., Aldred, D. (2011): Possible climate-change effects on mycotoxin contamination of food crops pre- and postharvest. *Plant Pathology*, 60(1), 150–163.

- Magnoli A.P., Poloni V.L., Cavaglieri L. (2019): Impact of mycotoxin contamination in the animal feed industry. *Current opinion in Food Science* 29, 99-108.
- Marsh, S., Payne, G. (1984): Preharvest infection of corn silks and kernels by *Aspergillus flavus*, *Phytopathology* 74, 1284-1289.
- Masoero, F., Gallo, A., Moschini, M., Piva, G., Diaz, D. (2007): Carryover of aflatoxin from feed to milk in dairy cows with low or high somatic cell counts. *Animal*, 1 (9), 1344–1350.
- Mateo, R., Medina, Á., Gimeno-Adelantado, J.V., Jiménez, M. (2004): An overview on the status of toxigenic fungi and mycotoxins in Spain. In A. Logrieco & A. Visconti (Eds.), *An Overview of Toxigenic Fungi and Mycotoxins in Europe*. (pp. 219-235). Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Medina, A., Schmidt-Heydt, M., C'ardenas-Chavez, D. L., Parra, R., Geisen, R., Magan, N. (2013): Integrating toxin gene expression, growth and fumonisin B1 and B2 production by a strain of *Fusarium verticillioides* under different environmental factors. *Journal of The Royal Society Interface*, 10(85).
- Medina, A., A. Rodríguez and N. Magan (2014): Effect of climate change on *Aspergillus flavus* and aflatoxins. *Front. Microbiol.* 5, 348, 1-7
- Medina, A., Schmidt-Heydt, M., Rodríguez, A., Parra, R., Geisen, R., Magan, N. (2015): Impacts of environmental stress on growth, secondary metabolite biosynthetic gene clusters and metabolite production of xerotolerant/xerophilic fungi. *Current Genetics*, 61 (3), 325–334.
- Medina, A., A. Akbar, A. Baazeem, A. Rodríguez and N. Magan (2017): Climate change, food security and mycotoxins: Do we know enough? *Fungal Biol. Rev.* 31, 143-154.
- Miraglia, B. De Santis and C. Brera (2012): Modelling, predicting and mapping the emergence of aflatoxins in cereals in the EU due to climate change. Scientific/-Technical Report submitted to EFSA.
- MZOP (Ministarstvo zaštite okoliša i prirode) (2020): Više o učinku staklenika. Dostupno na: <http://klima.mzoip.hr/default.aspx?id=43>.
- Nleya N, Adetunji M.C., Mwanza M. (2018): Current status of mycotoxin contamination of food commodities in Zimbabwe, *Toxins*, 10(5), 89.
- Northolt, M. D. and L. B. Bullerman (1982): Prevention of mould growth and toxin production through control of environmental conditions. *J. Food Prot.* 45, 519-526.
- Palumbo J. D., O'Keeffe T. L., Mahoney N. E., (2007): Inhibition of ochratoxin A production and growth of *Aspergillus* species by phenolic antioxidant compounds. *Mycopathologia*, 164, 241–248
- Paterson, R. R. M., Lima, N. (2010): How will climate change affect mycotoxins in food? *Food Research International*, 43(7), 1902–1914.
- Pepeljnjak, S., Šegvić, M. (2004): An overview of mycotoxins and toxigenic fungi in Croatia. In A. Logrieco & A. Visconti (Eds.), *An Overview on Toxigenic Fungi and Mycotoxins in Europe*, 11-32).
- Pietsch, C. (2019): The Risk of Mycotoxin Contamination in Fish, *Mycotoxins and Food Safety*, Chapter 3, 17-25.
- Pleadin, J., V. Vasilj i D. Petrović (2018): Mikotoksini: pojavnost, prevencija i redukcija. Mostar: Sveučilište u Mostaru.

- Pleadin J., Zadavec M., T. Lešić, J. Frece, V. Vasilj i K. Markov (2020): Klimatske promjene - Potencijalna prijetnja još znatnijoj pojavnosti mikotoksina, Veterinarska stanica 51 (6), 659-671, 2020.
- Russel R., Paterson M., Lima N. (2009): How will climate change affect mycotoxins in food? Food Research International 43, 1902-1914.
- Sanchis, V., Magan, N. (2004): Environmental profiles for growth and mycotoxin production. In Mycotoxins in food: detection and control (Magan, N., Olsen, M., eds.), 174- 189, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, U.K.
- Savić, Z. (2022): Primena atoksigenih izolata *Aspergillus flavus* u cilju smanjenja kontaminacije kukuruza aflatoksinima, Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- Scazzocchio C. (2019): *Aspergillus*: A Multifaceted Genus. Encyclopedia of Microbiology, 401-421.
- Scudamore K. A., (2005): Principles and Applications of Mycotoxin Analysis. The Mycotoxin Blue Book, Edited by Duarte Diaz, 157–185, Nottingham University Press.
- Sinovec Z., Resanović R., Sinovec S. (2006): Mikotoksini, pojava, efekti i prevencija, Monografija, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu.
- Shwab, E. K., Keller, N. P. (2008): Regulation of secondary metabolite production in filamentous ascomycetes. Mycological Research, 112(2), 225-230.
- Sypecka, Z., Kelly, M., Brereton, P. (2004): Deoxynivalenol and zearalenone residues in eggs of laying hens fed with a naturally contaminated diet: Effects on egg production and estimation of transmission rates from feed to eggs. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52(17), 5463–5471.
- Sweeney M. J. and A. D. W. Dobson (1998): Mycotoxin production by *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium* species. Int. J. Food Microbiol. 43, 141-158
- Trnka, M., Muška, F., Semerádová, D., Dubrovský, M., Kocmankova, E., Zalud, Z. (2007): European Corn Borer life stage model: Regional estimates of pest development and spatial distribution under present and future climate. Ecological Modelling, 207 (2–4), 61–84.
- Van Der Fels-Klerx H.J., Liu C., Battilani P. (2016): Modelling climate change impacts on mycotoxin contamination. World Mycotoxin Journal. 9 (5), 717-726.
- Vaughan, M. M., Huffaker, A., Schmelz, E. A., Dafoe, N. J., Christensen, S., Sims, J., Martins, V. F., Swerbilow, J., Romero, M., Alborn, H. T., Allen, L. H., Teal, P. E. A. (2014): Effects of elevated [CO₂] on maize defence against mycotoxigenic *Fusarium verticillioides*. Plant, Cell and Environment, 37(12), 2691–2706.
- Verheecke-Vaessen, C., Diez-Gutierrez, L., Renaud, J., Sumarah, M., Medina, A., Magan, N. (2019): Interacting climate change environmental factors effects on *Fusarium langsethiae* growth, expression of Tri genes and T-2/HT-2 mycotoxin production on oat-based media and in stored oats. Fungal Biology, 123(8), 618–624.
- Volkel, I., Schroer-Merker, E., Czerny, C.-P. (2011): The carry-over of mycotoxins in products of animal origin with special regard to its implications for the European food safety legislation. Food and Nutrition Sciences, 852–867.
- Vrdoljak J. (2017): Utjecaj mikotoksina na fermentacijsku aktivnost bakterija mliječne kiseline. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu Prebrambeno-Biotehnološki fakultet.

Zagreb.

- Weaver A.C., Adams N., Yiannikouris A. (2020): Invited Review: Use of technology to assess and monitor multimycotoxin and emerging mycotoxin challenges in feed-stuffs. *Applied Animal Science*. 36(1), 19-25.
- Yadav A.N., Verma P., Kumar V., Sangwan P., Mishra S., Panijar N., Gupta V.K., Saxena A.K. (2018): New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering. Biodiversity of the Genus *Penicillium* in Different Habitats, 3-18.
- Zinedine A., Soriano J.M., Molto J.C., Manes J. (2007): Review on the toxicity, occurrence, metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: An oestrogenic mycotoxin. *Food and Chemical Toxicology* 45, 1-18.

Abstract

THE INFLUENCE OF CLIMATE CHANGES ON THE SIGNIFICANCE OF MYCOTOXINS

Nikolina Arsenac

University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Novi Sad

E-mail: nikolina.arsenac94@gmail.com

Mycotoxins are secondary products of fungal metabolism that are toxic or have other negative biological effects on human or animal health. To date, about 650 different mycotoxins have been discovered, the most important of which are: aflatoxins, fumosins, ochratoxin, zearalenone, trichothecenes, patulin and others. The most important mycotoxigenic fungi are from the genera: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Claviceps* and *Alternaria*. For each of the mentioned genera, certain, favorable conditions are needed for their growth and development: temperature, presence of moisture and carbon dioxide. As a result of global warming and changes in climatic conditions in some geographical areas, a greater amount of certain mycotoxins have appeared. In the last few decades, extremely hot and dry summers have led to an increase in the number of insects, which additionally contribute to the damage they cause by the settlement of mycotoxigenic fungi on agricultural products, and thus to an increase in the contamination of corn and other plant species with mycotoxins. Based on the knowledge so far, it is necessary to undertake a series of preventive measures to prevent and reduce contamination with mycotoxins.

Key words: mycotoxins, aflatoxin, climate change