

GLJIVE IZ RODA *Fusarium* PRODUCENTI ZEARALENONA

Dina Konstantin, Igor Jajić, Renata Iličić, Ferenc Bagi

Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad

E-mail: djinakonstantin@gmail.com

Izvod

Mikotoksini su sekundarni hemijski metaboliti produkovani od strane različitih fitopatogenih gljiva. Najvažnije mikotoksigene gljive pripadaju rodovima: *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Claviceps* i *Alternaria*. Vrste iz roda *Fusarium* su najrasprostranjeniji patogeni žitarica koje se gaje širom sveta. Mikotoksini ovih vrsta, fumonizini, trihoteceni i zearalenon su najčešće prisutni fuzariotoksini u zrnu žitarica i hrani za životinje. Pojava toksičnih metabolita u hrani i hrani za životinje, predstavlja ozbiljan globalni problem za zdravlje ljudi i životinja zbog njihovog toksičnog dejstva. Mikotoksin zearalenon najčešće produkuje *Fusarium graminearum* i *F.culmorum*. Kukuruz je najčešće kontaminirana biljka zbog svoje rasprostranjenosti širom sveta. Kontaminirani proizvodi mogu dovesti do ogromnih ekonomskih gubitaka i predstavljaju rizik za životinje i ljude. Zearalenon utiče na zdravlje životinja, od kojih su svinje najviše ugrožene, mada ugroženi mogu biti i goveda i živina.

Ključne reči: zearalenon, kukuruz, uticaj na zdravlje životinja

UVOD

Mikotoksini su sekundarni metaboliti toksigenih vrsta gljiva. Žitarice i proizvodi od žitarica u ljudskoj ishrani, kao i u ishrani životinja, predstavljaju veoma pogodan supstrat za razvoj gljiva producenata mikotoksina. Do kontaminacije mikotoksinima može doći još u polju, ali i tokom žetve, transporta i skladištenja (Coffey i sar., 2009).

Veoma značajnu grupu mikotoksina predstavljaju fuzariotoksini, koje produkuju gljive iz roda *Fusarium*, koje su česte u severnim i umerenim područjima Amerike, Azije i Evrope (klima sa visokom količinom padavina i velikim temperaturnim amplitudama) (Geraldo i sar., 2006). Najznačajniji mikotoksini koje produkuju vrste iz roda *Fusarium* su: fumonizini (FB1, FB2 i FB3), deoksinivalenol (DON), zearalenon (ZON) i T-2 (T2) toksin. Većina gljiva iz roda *Fusarium* na istom supstratu može da produkuje jedan, dva ili više različitih mikotoksina (SCF, 2002).

Obzirom na toksičnost i učestalost pojavljivanja ZON-a u hrani za životinje, ZON spada u najznačajnije mikotoksine *Fusarium* vrsta koje su široko ras-

prostranjene u našem agroklimatskom području. ZON je metabolit različitih vrsta gljiva iz roda *Fusarium* (*F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. oxysporum*, *F. moniliforme* i dr.) (Haque i sar., 2020).

ZON pripada grupi makrocikličnih laktona i javlja se kao prirodni kontaminant zrna kukuruza, pšenice, ječma, raži, zobi, pirinča, soje i susama, od čega najveći značaj ima njegovo prisustvo u kukuruznom zrnu, koji je i najčešće kontaminiran (Kuiper-Goodman i sar., 1987). Hibridi kukuruza visokorodnog potencijala sa dugom vegetacijom i visokom vlagom u momentu žetve (skidanja) posebno su pogodne za rast *Fusarium* plesni. Zearalenon je nekada nazivan F-2 toksinom i predstavlja jedan od najznačajnijih mikotoksina koji utiču na zdravlje i plodnost životinja, naročito svinja (D'Mello i MacDonald, 1997).

Fusarium graminearum je najznačajnija gljiva iz roda *Fusarium* koja produkuje ZON. Pored ZON-a produkuje još i druge trihotecene B grupe: deoksini-valenol i nivalenol (Pleadin i sar., 2018). Patogen *F. graminearum* prouzrokuje fuzarioznu trulež korena i stabla strnih žita i kukuruza, plesnivost klipa kukuruza, fuzarioze klasa pšenice. Dovodi do smanjenja prinosa i pogoršanja kvaliteta zrna. Značajna je još i gljiva *Fusarium culmorum*, koja nije toliko česta u našim agroekološkim uslovima, jer se javlja u nešto vlažnijim i prohladnijim rejonima. Štete do kojih dovode ove gljive mogu biti izuzetno velike, a one najviše zavise od klimatskih uslova, osetljivosti sorte, odnosno hibrida (Balaž, 1976).

Posebna pažnja u ovom radu biće data na rezultate nekih dosadašnjih istraživanja, kao i namere prevencije i zaštite od mikotoksina, iz razloga sve veće prisutnosti mikotoksina i problema do kojih oni dovode u hrani i/ili hranivima.

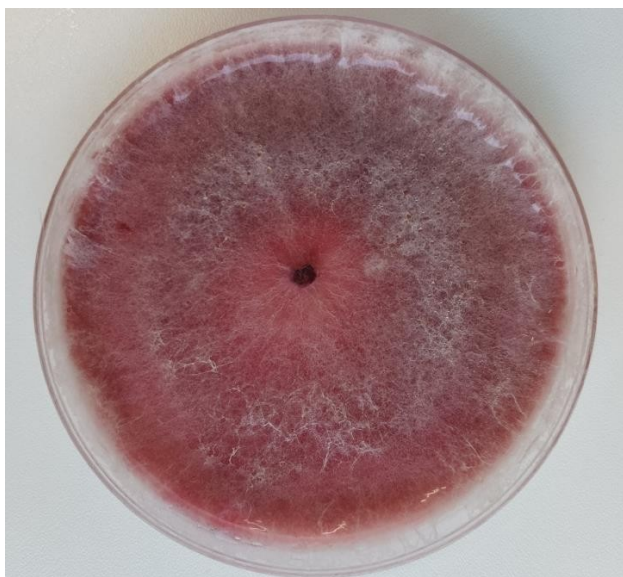
FUZARIOTOKSINI

Rod *Fusarium* obuhvata veoma različite vrste plesni (Joffe, 1978), od veoma specifičnih i patogenih za biljke, preko apsolutno saprofitnih, do onih koje se koriste prilikom degradacije industrijskih proizvoda (Thomas, 1984). Prilikom determinisanja vrste u obzir se uzima stvaranje mikrokonidija i terminalnih ili interkalarnih hlamidospora, stepen rasta i proizvodnje pigmenta pod određenim uslovima u definisanom medijumu, kao i veličina i oblik makrokonidija.

Plesni iz roda *Fusarium* su pretežno "poljske" plesni, jer imaju afinitet uglavnom prema biljkama, a takođe zahtevaju i visoku aktivnost vode za rast i razvoj. One mogu da izazovu velike probleme ukoliko dođe do kasnog ubiranja letine nakon vlažnog leta. Iako se najveći broj *Fusarium* plesni sreće u umereno toplim delovima sveta, postoje izuzeci kao što je *F. moniliforme* koji je prilagođen životu u tropskim zonama ili *F. sporotrichioides* koji je prilagođen hladnom klimatu (Sinovec i sar., 2006).

Iz više razloga, među najproučavanijim biljnim patogenim gljivama su upravo *Fusarium* vrste. Prvenstveno, gljive iz roda *Fusarium* svake godine u

manjem ili većem procentu prouzrokuju bolesti na kukuruzu, pšenici, ječmu i drugim vrstama žita, a koje su glavne komponente hrane za ljude i životinje. Kao drugo, u pojedinim godinama dovele su do masovne pojave mikotoksikoza životinja, posebno svinja. Najznačajnija vrsta iz roda *Fusarium* je *F. graminearum* (Slika 1.) koja produkuje mikotoksine trihotecene (deoksinivalenol, nivalenol) i zearalenon. Osim toga, dovodi do fuzarioze klasa pšenice i ostalih žitarica koja je od velikog značaja za kvalitet i kvantitet prinosa (Pleadin i sar., 2018).



Slika 1. Kolonija *F. graminearum* na PDA hranljivoj podlozi
(Foto: Đ. Konstantin)

Osim, *F. graminearum* značajne su i *F. poae* (pšenica, ječam) i *F. verticillioides*, *F. subglutinans* i *F. proliferatum* (kukuruz i sirak). Osim ovih, utvrđeno je i prisustvo drugih *Fusarium* vrsta, a koje su prisutne u malom procentu, ali su veoma toksigene i ne može se zanemariti njihovo prisustvo kao potencijalnih kontaminanata hrane za životinje.

S obzirom na rasprostranjenost mikotoksigenih vrsta gljiva u Srbiji, od posebne važnosti su tri grupe mikotoksina koje proizvode gljive iz roda *Fusarium*. To su trihoteceni (deoksinivalenol - DON) usled koga dolazi do odbijanja hrane kod svinja, T-2 toksin koji uzrokuje poremećaje u reprodukciji krmača. U drugu grupu se ubraja zearalenon (ZON) koji uzrokuje estrogenizam, a u treću grupu spadaju fuminozini koji dovode do leukoencefalomalacija i edema pluća (Krnjaja i sar., 2011).

Zbog sve češće pojave i štetnim efektima koje imaju medicinski, nutritivni, ekološki i ekonomski značaj, ZON je poslednjih godina veoma aktuelna tema u brojnim istraživanjima širom sveta.

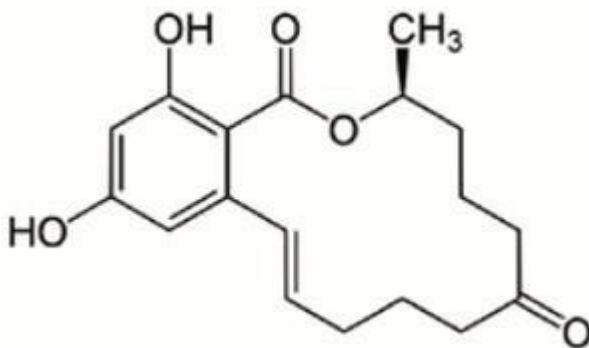
MIKOTOKSIN ZEARALENON I GLJIVE KOJE GA PRODUKUJU

Zearalenon (F-2 toksin, ZON) pripada grupi fitoestrogena zajedno sa izoflavonoidima, flavonoidima, lignanima, kumestanima i stilbenima (Srebočan, 1993). Fitoestrogeni su komponente prirodno prisutne u biljkama, a koje dele hemijsku sličnost sa prirodnim i sintetičkim estrogenskim hormonima. Prisutni su u biljnim vrstama kao što su žitarice, kupus, hmelj, spanać, soja, pasulj i brokoli.

Do sada je identifikovano 15 različitih derivata koji poseduju različitu biološku aktivnost (Betina, 1984). U osnovi, imaju konfiguraciju (fenolno jezgro) sličnu estrogenim supstancama. Takođe, postoje supstance koje su po strukturi vrlo slične ZON-u, ali poseduju različitu biološku aktivnost.

ZON je lakton rezorcilne kiseline, 6-(10-hidroksi-6-okso-trans-1-undecil)-β- rezorciklične kiseline (Alexander i sar., 2004). Produkt redukcije ZON-a je zearalenol, koji se javlja u dva stereoizomera alfa i beta, od kojih je α-zearalenol jedini prisutan u prirodi i četiri je puta aktivniji od ZON-a, dok je β-zearalenol samo neznatno aktivniji.

ZON je bela, kristalna supstanca, relativne molekulske mase 403.8 i tačke topljenja 164-165°C. Nerastvorljiv je u vodi, ugljenik disulfidu i ugljenik tetrahloridu, a rastvorljiv je u hloroformu, etil acetatu, acetonitrilu i alkoholima (Purchase, 1974). Molekulska formula ZON-a (Slika 2.) je C₁₈H₂₂O₅.



Slika 2. Zearalenon – strukturalna formula (Gilbert, 1984.)

Izolovan je 1962. godine iz kulture plesni *Giberella zeae* (polni stadijum plesni *F. graminearum*) (Bennet i Klich, 2003).

ZON nastaje kao toksični produkt plesni roda *Fusarium*. Plesni iz ovog roda imaju sposobnost da pod određenim uslovima, sintetišu veliki broj različitih

mikotoksina, pa tako neke gljive koje proizvode ZON mogu da proizvode i druge vrste mikotoksina što je prikazano u tabeli 1.

Tabela 1. *Fusarium* gljive proizvođači zearalenona (Sinovec i sar., 2006)

Vrsta plesni Anamorfni stadijum	Mikotoksini	Vrsta plesni Teleomorfni stadijum
<i>F. moniliforme</i>	Zearalenon + moniliformin, fuzarin	<i>Gibberella fujikuroi</i>
<i>F. oxysporum</i>	Zearalenon + trihoteceni, moniliformin	/
<i>F. culmorum</i>	Zearalenon + trihoteceni	/
<i>F. avenaceum</i>	Zearalenon + trihoteceni	<i>Giberella avenacea</i>
<i>F. equiseti</i>	Zearalenon + trihoteceni, moniliformin	<i>Giberella intricans</i>
<i>F. graminearum</i>	Zearalenon + trihoteceni	<i>Giberella zeae</i>
<i>F. lateritium</i>	Zearalenon + trihoteceni	<i>Giberella baccata</i>

Najvažniji proizvođač ovog mikotoksina je gljiva *Fusarium graminearum*, koja prouzrokuje fuzarioznu trulež korena i stabla strnih žita i kukuruza, plesnivost klipa kukuruza i fuzariozu klasa pšenice. S obzirom da je najznačajniji prouzročivač plesnivosti klipa u polju, a pojedinih godina i u skladištima, može se sa velikom sigurnošću tvrditi da je u našoj zemlji pomenuta vrsta osnovni proizvođač mikotoksina u zaraženom kukuruzu. Pored kukuruza i strnih žita može parazitirati i mnoge druge gajene biljke (Marić i sar., 1975).

Na površini zaraženih delova biljaka obrazuje septiranu ružičastu miceliju sa sporodohijama u kojima obrazuje izdužene na krajevima blago savijene makrokonidije sa izraženim "stopalom" na jednom kraju. Veličina im se kreće od 35-62 x 2,5-5,0 µm i imaju 3-7 poprečnih septi (pregrada), u masi su svetlo crvene boje. Mikrokonidije ne formira, ali obrazuje okrugle hlamidospore čija se veličina kreće 10-12 µm. Pri razvoju savršenog stadijuma (*Gibberella zeae*) na površini zaraženih biljnih delova formira tamne peritecije (prečnik 140-250 µm) sa hrapavim zidovima. Izduženo-zaobljeni askusi (60-85 x 8-11 µm) nalaze se u peritecijama, a u njima se obrazuje do 8 askospora koje su blago izvijene sa zaobljenim krajevima, imaju tri septe i veličine su 19-24 x 3-4 µm (Balaž i sar., 2010).

Parazit se održava u zaraženim biljnim ostacima i u zemljištu u obliku peritecija, micelije, makrokonidija i hlamidospora (Stojšin i sar., 2008).

Pored *F. graminearum*, veoma je značajna i gljiva *F. culmorum*, prouzročivač fuzariozne truleži korena i stabla strnih žita i kukuruza, kao i fuzarioze klasa pšenice. U našim krajevima dominira *F. graminearum*, jer se javlja u nešto suvljim i toplijim rejonima, dok u vlažnijim i prohladnijim dominira *F. culmorum*.

F. culmorum u odnosu na *F. graminearum* formira nešto kraće i šire, srpasto savijene makrokonidije sa zašiljenim vrhom s jedne i sa izraženim “stopalom” s druge strane. Veličina makrokonidija kreće se od 30-60 x 4-7 µm i imaju 3-5 septi. Takođe, ne obrazuje mikrokonidije, ali ni peritecije. U zemljištu formira hlamidospore koje služe za održavanje parazita. Hlamidospore (10-14 x 9-12 µm) formira pojedinačno ili u kraćim nizovima, blago ovalnog oblika (Balaž i sar., 2010).

Parazit se održava micelijom i hlamidosporama u zaraženim biljnim ostacima i u zemljištu kao saprofit. Ređe putem zaraženog semena (Stojšin i sar., 2008).

Pored stvaranja mikotoksina koji predstavljaju opasnost po zdravlje životinja i ljudi, štetnost *F. graminearum* i *F. culmorum* ispoljava se i u smanjenju prinosa i pogoršanju kvaliteta zrna, smanjenju klijavosti. Kod kukuruza usled destruktivnog delovanja prouzrokovača, koren i prizemni deo stabla se razgrađuje i biljke u vreme rane tehnološke zrelosti masovno poležu. Klip usled nedovoljnog nalivanja zrna gubi čvrstinu i postaje savitljiv (Balaž i sar., 2010).

UTICAJ KLIMATSKIH FAKTORA NA POJAVU ZEARALENONA U KUKURUZU

Gljive iz roda *Fusarium* producenti ZON-a najčešće kontaminiraju kukuruz, ali treba uzeti u obzir činjenicu da su spore ubikvitarne, tako da se ZON nalazi i u drugim žitaricama pšenica, proso, ječam, zob, raž, pirinač, šećerna trska, ali i u soji, kelju i kupusu (Haque i sar., 2020). Ova pojava dovodi se u vezu sa aminokiselinским sastavom žitarica, a pri istim klimatskim uslovima kontaminacija je izraženija kod hibrida kukuruza sa kasnijim zrenjem.

Do kontaminacije zrna dolazi još u polju, ali se rast *Fusarium* gljiva nastavlja i u skladištima, posebno u koševima (Natori i sar., 1989). Najintenzivniji rast *Fusarium* gljiva odvija se pri visokoj relativnoj vlažnosti vazduha od preko 70%, dok rosa i magla u periodu vegetacije žitarica pogoduju razvoju gljiva (Abramson i Mills, 1985). Optimalna temperatura za razvoj gljiva iz ove grupe je 18-24 °C, ali najveća produkcija ZON-a zapažena je kada su se naizmenično smenjivale srednje i više temperature (Steyin, 1984). Dokazano je da vrsti *F. graminearum* pogoduju temperaturne oscilacije između 15 i 30 °C pri čemu se povećava produkcija ZON-a (Pepeljnjak i sar., 2008).

Količina ZON-a u kontaminiranom kukuruzu je različita, a najčešće se kreće od 2 do 4 mg/kg, mada može biti i 12 mg/kg, pa i veća (Pozzi i sar., 1995), što zavisi kako od vrste i izolata gljive, tako i od klimatskih faktora i hibrida kukuruza. Na prostorima naše zemlje, kukuruz može da sadrži i preko 10 ppm ZON-a (Bočarov-Stančić i sar., 1997).

Ispitivanje koje je izvršeno tokom 1999. i 2000. godine pokazalo je prisustvo ZON-a u 74,5% ispitivanih uzoraka sa prosečnim sadržajem od 0,66 odnosno 2,39 mg/kg, ali su pojedini uzorci sadržali i 3,2 odnosno 12,8 mg/kg toksina (Bočarov-Stančić i sar., 2000). S druge strane, ispitivanja koja su izvedena 2002. godine pokazala su da je od ukupno 585 uzoraka 15,04% kontaminirano ZON-om (Mašić i sar., 2003).

U 100 uzoraka kukuruza (rod iz 2016. godine) poreklom iz Autonomne pokrajine Vojvodine ispitivan je sadržaj aflatoksina, zearalenona, deoksinivalenola i fumonizina. Analizom je utvrđeno da je čak 78% uzoraka bilo kontaminirano bar jednim od četiri navedena mikotoksina. Utvrđeno je da je 52% ispitivanih uzoraka bilo kontaminirano ZON-om u koncentracionom opsegu 275,2-882,1 µg/kg (Kos i sar., 2017). Dobijeni rezultati mogu se dovesti u vezu sa vremenskim uslovima koji su zabeleženi tokom 2016. godine koja je bila topla i kišna (RHMZ, 2016).

Globalne klimatske promene poslednjih godina dovele su i do varijabilnosti agroklimatskih uslova. Posledice varijabilnosti agroklimatskih uslova mogu biti: sinteza viših koncentracija mikotoksina u zrnu kukuruza u toku vegetacije, ekonomski gubici u proizvodnji, ali i povećan rizik po zdravlje ljudi i životinja. Pomenuti razlozi ukazuju na potrebu kontinuiranog monitoringa mikotoksigenih gljiva u proizvodnji kukuruza ali i drugih žitarica.

UTICAJ ZEARALENONA U KUKURUZU NA ZDRAVSTVENI STATUS SVINJA

Svinje su najosetljivija vrsta životinja na dejstvo ZON-a (Ožegović i Pepeljnjak, 1995), dok su preživari i živina, znatno manje osetljivi (Lukić i sar., 2006). Toksični efekti ispoljavaju se već kod nivoa od 1-5 ppm ZON-a u hrani, što zavisi od vrste i doba života životinja, pola, zdravstvenog stanja, kao i količine konzumirane hrane (Pasteiner, 1998).

Oštećenja zdravlja životinja (akutna ili hronična) izazvana mikotoksinima, nazivaju se mikotoksikoze. ZON ima uterotropno, estrogeno i anaboličko delovanje na domaće životinje. Dovodi do reproduktivnih poremećaja kod domaćih životinja, naročito svinja. Dominantna pojava u kliničkoj slici je pojava estrogenog sindroma (Korgh, 1987). ZON se vezuje za estrogene receptore uzrokujući hormonski disbalans, što dovodi do hiperestrogenizma, prolapsusa vagine i rektuma, resorpcije fetusa i pobačaja. U kliničkoj slici trovanja ZON-om javljaju se i dijareja, povraćanje, odbijanje hrane, gubitak telesne mase i hemoragije (Pepeljnjak i sar., 2008). Ipak, svi nabrojani simptomi ne mogu se pripisati isključivo delovanju ZON-a, već je neophodno sagledati sinergističko dejstvo sa ostalim mikotoksinima prisutnim u hrani kontaminiranoj *Fusarium* gljivama.

Obolevaju svinje oba pola i kategorija (suprasne i dojne krmače, nerastovi, prasad, nazimad i svinje u tovu). Najosetljivije su suprasne krmače. Pojava vulvo-

vaginitisa kod ženske prasadi zapaža se već trećeg dana korišćenja kontaminirane hrane, a promene se ispoljavaju i nakon 10-15 dana po prestanku konzumiranja kontaminirane hrane (Nešić i sar., 2004). Prve opise dejstva ovog mikotoksina na krmačama (vulvovaginitis) u našoj zemlji dao je Stamatović i sar. (1963).

Krmače koje su hranjene kontaminiranim smešama, metabolite ZON-a izlučuju mlekom, što za posledicu ima pojavu edema i hiperemije vulve kod prasadi. Pod dejstvom ZON-a kod nerastova može da se javi atrofija testisa i povećanje mamarnih žlezda (feminizirajući efekat), a vrlo čest nalaz je i edem prepucijuma (Mihaljević i sar., 2015).

Prilikom konzumacije kontaminiranog kukuruza roda 1968. i 1972. godine došlo je do pojave hiperestrogenizma kod svinja u znatno širim razmerama u svim područjima zemlje (Ožegović, 1971; Brodник i Klemenc, 1972; Popović, 1970).

Opsežna istraživanja sprovedena na mađarskim farmama (Glavitis i Vanyi, 1995) su ukazala na simptome poput otečenosti vulve i mlečne žlezde te na poneki slučaj vaginalnog i rektalnog prolapsusa kod polno zrelih nazimica hranjenim kukuruzom kontaminiranim ZON-om.

Poseban problem prilikom trovanja ZON-om predstavlja slabiji kvalitet mesa i prisustvo rezidua (Mašić i sar., 1996) koji se uočava tek nakon klanja životinja. Konzumacijom hrane sa 3,84-5,12 ppm ZON-a postižu se slabiji proizvodni rezultati svinja koji su direktno proporcionalni sadržaju ZON-a u hrani (Nešić, 2003).

Vremenski uslovi koji su zabeleženi tokom 2014. godine (vrlo vlažna i kišna godina) na području Hrvatske usloveli su kontaminaciju kukuruza ZON-om. U ovom slučaju, kliničkim pregledom utvrđeni su znaci estrogenizma, crvenilo i oštećenje vulve, nemir i nimfomanija kod svih ženskih životinja. Laboratorijskom analizom utvrđene su znatno veće količine ZON-a u kukuruzu koji je korišćen kao hrana za životinje. Nakon toga, hrana je bilazamenjena, ali je čak i sedam dana nakon toga u urinu utvrđena vrlo visoka koncentracija ZON-a, pri čemu su količine u mesu bile znatno manje čak i zanemarljive u odnosu na prihvatljiv dnevni unos (TDI) za ljude (Mihaljević i sar., 2015).

Ovakvi slučajevi ukazuju na neophodnost prevencije i sistematsko praćenje mikotoksina uhrani i hrani za životinje.

PREVENCIJA I ZAŠTITA OD KONTAMINACIJE ZEARALENONOM

Postoje različite preventivne mere pomoću kojih se kontaminacija može svesti na najmanju moguću meru, ali je dosta teže da se mikotoksini nakon kontaminacije eliminišu iz proizvoda, tako da je prevencija stvaranja mikotoksina od suštinskog značaja (Pleadin i sar., 2014.).

Prevenција kontaminacije hraniva zasniva se na smanjenju rizika za infekciju biljaka gljivama još na polju, brzim sušenjem i pravilnim skladištenjem skitnutih biljaka, ili korišćenjem efikasnih konzervanasa (Vandegraft i sar., 1973).

Neke od preventivnih mera su: upotreba hibrida žitarica koje su otporne na infekciju gljivama, pravilan plodored, pogodno vreme setve i vreme žetve, jer se kasne sorte kukuruza osetljivije na infekciju gljivama tokom vlažne jeseni, izbor odgovarajućeg plodoređa, pravilno korišćenje insekticida i fungicida u cilju smanjivanja infekcije gljivama i insektima, navodnjavanje u cilju preveniranja štetnog delovanja suše, primena separatora koji uklanjaju oštećena i plesniva zrna. Takođe, neophodno je izvršiti analizu zemljišta pre prihranjivanja biljaka, jer đubrenje sa previše azota povećava osetljivost na infekciju gljivama (Binder, 2007). Preventivne mere u cilju smanjenja infekcije i kontaminacije hraniva u skladištu se zasnivaju na korišćenju fizičkih (odgovarajuća temperatura, vlažnost, pasterezacija, sterilizacija, zračenje) i hemijskih (konzervisanje prezervativima) metoda (Tiute i Foster, 1979). U pojedinim slučajevima primenjene metode su veoma skupe, ali istovremeno i neophodne.

S druge strane, kada dođe do kontaminacije hrane i/ili hraniva eliminacija se može izvršiti mehaničkom separacijom i detoksikacijom ili detoksifikacijom koristeći fizičke, hemijske ili biološke metode.

Mehanička separacija može da se vrši ručno ili pomoću separatora koji rade na principimakolorimetrije. Prilikom separacije uklanjaju se zrnevlja koja su na osnovu promena organoleptičkih svojstava, sumnjiva na prisustvo mikotoksina. Uklanjanjem zrna bez ovojnice, oštećenih zrna, užeglih ili dekolorisanih može se smatrati da je kontaminacija značajno smanjena (Sinovec i sar., 2006).

Detoksifikacija predstavlja konverziju toksičnih materija u netoksične derivate, a detoksikacija je postupak kojim se toksične supstance uklanjaju iz hrane selektivnim rastvaračima ili postupcima (Charmley i Prelusky, 1994). Veoma je bitno da se pritom ne naruše nutritivna i tehnološka svojstva proizvoda, te ne stvaraju reaktivni toksični produkti (Kabak i sar., 2006).

Od fizičkih metoda najčešće se primenjuje tretiranje toplotom i zračenje (Bauer i sar., 1987). Termička obrada pokazala se delotvornom samo na nekim supstratima, kao što je na primer kukuruz, u kojem se koncentracija ZON-a smanjuje i do 83%.

Hemijske metode zasnivaju se na korišćenju kiselina, baza, aldehida, oksidirajućih supstanci i nekih gasova (Sinha, 1998). U degradaciji ZON-a uspešno su se pokazali ozon (100%) i vodonik-peroksid (83,9%).

Biološke metode zasnivaju se na prirodnoj mogućnosti različitih mikroorganizama (bakterije, aktinomicete, kvasci, gljive, alge) da svojim enzimima razgrade molekule mikotoksina (Vokl i sar., 2004). Veoma dobri rezultati postignuti su primenom plesni iz roda *Gliocladium roseum*, iz kojeg je kloniran gen *Zea* laktonaza, a koja omogućava uklanjanje 80- 90% ZON-a (Pepeljnjak i sar., 2008).

Takođe, otkriveno je da vrsta kvasca *Trichosporon mycotoxinivorans* uspešno razgrađuje ZON (Utermark i Karlovsky, 2007).

ZAKLJUČAK

Gljive producenti ZON-a (*Fusarium graminearum*, *F. culmorum* i dr.) za-
ražavaju biljke (najčešće žita) pre i posle žetve, ali i prilikom neodgovarajućeg
skladištenja i čuvanja tako da se za posledicu mogu naći u hrani za ljude i hrani
za životinje. Dobro poznavanje svih činilaca koji direktno ili indirektno utiču na
razvoj oboljenja predstavlja neophodan preduslov za uspeh u cilju sprečavanja
šteta koje prouzrokuje ove patogene vrste.

Količina mikotoksina koja će biti proizvedena u polju umnogome zavisi
od klimatskih faktora kao što su temperatura, vlažnost vazduha i količina pada-
vina. Najveća količina ZON-a proizvodi se tokom toplih i sušnih dana sa pove-
ćanom vlažnošću vazduha. Samim tim, agroekološki uslovi u Srbiji veoma su
pogodni za rast i razvoj *F. graminearum* koji najveće štete prouzrokuje kukuruzu.

Kao najosetljivija grupa životinja na koje ZON ima uticaj su svinje. Prisu-
stvo čak i niskih nivoa mikotoksina u hranivima, smanjuje proizvodne sposobno-
sti životinja u rastu i priplodu, utiče na imuni i zdravstveni status i na kraju može
dovesti do uginuća.

Prevenција kontaminiranja hrane ZON-om, ali i drugim mikotoksinima od
strane mikotoksigenih gljiva koje ih proizvode, je najracionalnija i ekonom-
ski najopravdanija metoda za obezbeđivanje od mogućih posledica delovanja na
zdravlje ljudi i životinja. Međutim, kada su hrana i/ili hraniva već kontaminirana
pristupa se eliminaciji i to separacijom ili degradacijom mikotoksina u manje
toksična ili potpuno netoksična jedinjenja.

Zahvalnica

Istraživanje sprovedeno uz podršku Fonda za nauku Republike Srbije, Pro-
gram IDEJE, 7736059, projekat "Biotechnological tools for optimization of short
and medium chain carbohydrates content in cereal-based food to prevent gastro-
intestinal disorders – GutFriendlyCarbs"

LITERATURA

- Abramson, D., Mills, T. (1985): Mycotoxin. NRC of Canada Publication, Ontario,
Canada.
- Alexander, J., H. Autrup, D. Bard (2004): Opinion of the scientific panel on con-
taminants in the food Chain on a request from the Commission related
to zearalenone as undesirable substance in animal feed. EFSA Journal 89,
1-35.

- Balaž, F. (1976): Uticaj nekih agoekoloških faktora na razvoj i štetnost fuzariozne truleži stabla kukuruza. Magistarski rad, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet.
- Balaž, F., Balaž, J., Tošić, M., Stojšin, V., Bagi, F. (2010): Fitopatologija bolesti ratarskih i povrtarskih biljaka. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- Bauer, J., Gareis, M., Detzler, W., Gedek, B., Heinritzi, K., Kabilka, G. (1987): Detoxification of mycotoxins in animal feeds. Tierarztl. Umsch., 42, 70-77.
- Bennet, J. W., M. Klich (2003): Mycotoxins. Clin. Microbiol. Rev. 16, 497-516.
- Betina, V. (1984): Mycotoxins – Production, Isolation, Separation and Purification. Elsevier Scientific Publishers, Amsterdam, Netherland.
- Binder, E.M. (2007): Managing the risk of mycotoxins in modern feed production. Anim. Feed Sci. Technol. 133, 149-166.
- Bočarov-Stančić, A., Milovac, M., Mašić, Z. (1997): A survey of natural occurrence of mycotoxins in Yugoslav cereals. Proc. 3rd Symp. Inter. Reg. Res., 665-668.
- Bočarov-Stančić, A., Milovac, M., Gološin, B. (2000): Nalaz mikotoksina u žitaricama i stočnoj hrani. Savetovanje ITNMS, Beograd.
- Brodnik, T., Klemenc, N. (1972): Mikroorganizmi v krmilih, mikotoksikoze pri domačih živalih. Ljubljana.
- Charmley, L.L., Prelusky, D.B. (1994): Decontamination of *Fusarium* mycotoxins. U: Mycotoxins in Grain – Compounds Other than Aflatoxin. (Ed: Miller, J.D., Trenholm, H.L.) Egan Press, 421-435.
- Coffey, R., E. Lummins, S. Ward (2009): Exposure assessment of mycotoxins in dairy milk. Food control 20, 239-249.
- D’Mello, J.P.F. and A.M.C. MacDonald (1997): Mycotoxins. Anim. Feed Sci. Technol. 69, 155- 166.
- Geraldo M.R.F., Tessmann D.J., Kimmelmeier C. (2006): Production of mycotoxins by *Fusarium graminearum* isolated from small cereals (wheat, triticale and barley) affected with scab disease in Southern Brazil. Brazilian Journal of Microbiology, 37, 58-63.
- Gilbert, J. (1984): Analysis of food contaminants; Analysis of mycotoxins in food: HPLC and other methods, Zearalenone. Elsevier applied science publishers, London, New York, 213.
- Glavitis, R., Vanyi, A. (1995): More important mycotoxicosis in pigs. Magyar Állatorvosok Lapja 50. 407–420.
- Haque, M.A., Wang, Y., Shen, Z., Li, X., Saleemi, M.K., He, C. (2020): Mycotoxin contamination and control strategy in human, domestic animal and poultry: A review. Microbial Pathogenesis, 142, 104095.

- Joffe, Z.A. (1978): The genus *Fusarium*. In: Mycotoxic fungi, Mycotoxins, Mycotoxicosis. (Ed.: Wyllie, T., Morehouse, L.) vol. 1, Mycotoxic Fungi and Chemistry of Mycotoxins, Marcel Dekker Inc., New York, 59-82.
- Kabak, B., A.D.W. Dobson, I. Var (2006): Strategies to prevent mycotoxin contamination of food and animal feed: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 46, 593-619.
- Korgh, P. (1987): Mycotoxin in Food. Academic Press, London, Great Britain.
- Kos, J., Čolović, R., Vukmirović, Đ., Đuragić, O., Bursić, V., Bagi, F., Janić Hrnjal, E. (2017): Aflatoxin, zearalenone, deoxynivalenol and fumonisin contamination of maize from the Autonomous province of Vojvodina. *Journal on Processing and Energy in Agriculture* 4, 188-191.
- Krnjaja V., Lević J., Stanković S. (2011): Importance of toxigenic *Fusarium* species in animal food. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 27(3): 643-657.
- Kuiper-Goodman, T., Scott, P.M., Watanabe, H. (1987): Risk assessment of the mycotoxin zearalenone. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 7, 253-306.
- Lukić, M., Resanović, Radmila, Sinovec, Z. (2006): Značaj zearalenona u ishrani živine. *Živinarstvo*, XVI
- Marić, A., Živković, S., Stojanović, Z. (1975): Plesnivost kukuruza i mikotoksikoze kod domaćih životinja u Jugoslaviji. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet.
- Mašić, Z., Sinovec, Z., Pavkov, S., Zurovac-Kuzman, O. (1996): Negativni efekti mikotoksina u ishrani svinja i mogućnosti preveniranja. *Vet. Glasn.*, 50, 101-107.
- Mašić, Z., Bočarov-Stančić, A. Sinovec, Z., Đilas, S., Adamović, M. (2003): Mikotoksini u hranizi životinje u Republici Srbiji. X Simp. Tehnologije hrane za životinje, 290-298.
- Mihaljević, Ž., Pleadin, J., Mitak, M., Barbir, T., Vulić, A., Šoštarić, B. (2015): Mikotoksikoza zearalenonom u svinja-prikaz slučaja, *Veterinarska stanica* 46 (2): 121-126.
- Natori, S., Hashimoto, K., Ueno, Y. (1989): *Mycotoxins and Phycotoxins*. Elsevier, Amsterdam, Netherland.
- Nešić, K. (2003): Efikasnost mineralnog i organskog adsorbenta u ublažavanju toksičnih efekata zearalenona na proizvodne rezultate i patomorfološke promene prasadi. Magistarska teza, Fakultet veterinarske medicine, Beograd.
- Nešić, K., Sinovec, Snežana, Jakić-Dimić, D., Sinovec, Z. (2004): Efficacy of different adsorbents in alleviating zearalenone effects. 18th Cong. IPSV, Proc. Vol2,733.
- Ožegović, L. (1971): Mikoze i mikotoksikoze domaćih životinja. Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo.

- Ožegović, L., Pepeljnjak, S. (1995): Mikotoksikoze. Školska knjiga, Zagreb.
- Pasteiner, S. (1998): Mycotoxins in Animal Husbandry. Biomin Gesunde Tierernahrung Int. GesmbH, Wien, Austria.
- Pepeljnjak, S., Z. Cvetnić i M. Šegvić Klarić (2008): Okratoksin A i zearalenon: Kontaminacija žitarica i krmiva u Hrvatskoj (1977-2007) i utjecaj na zdravlje životinja i ljudi. *Krmiva* 50, 147-159.
- Pleadin, J., A. Vulić, N. Perši, M. Škrivanko, B. Capek and Ž. Cvetnić (2014): Aflatoxin B1 occurrence in maize sampled from Croatian farms and feed factories during 2013. *Food Control* 40, 286-291.
- Pleadin, J., V. Vasilj i D. Petrović (2018): Mikotoksini: pojavnost, prevencija i redukcija. Mostar: Sveučilište u Mostaru.
- Popović, M. (1970): Masovna pojava edema vulve i prolapsusa vagine polno nezrelih svinja. *Vet.glasnik*, 24,1 49-52.
- Pozzi, C.R., Correa, B., Gambale, W., Paula, C.R., Chacon-Reche, N.O., Meirelles, M.C. (1995): Postharvest and stored corn in Brazil Mycoflora interaction, abiotic factors and mycotoxin occurrence. *Food Addit. Contam.*, 12, 313-319.
- Purchase, H. (1974): Mycotoxins. Scientific Publishers, New York, USA.
- RHMZ (2016): www.hidmet.gov.rs/, Republički hidrometeorološki zavod, Beograd.
- SCF (Scientific Committee on Food) (2002) Opinion of the Scientific Committee on Food on Fusarium toxins. Part 6: Group evaluation of T-2 toxin, HT-2 toxin, nivalenol and deoxynivalenol. European Commission, Brussels.
- Sinovec, Z., Resanović, R., Sinovec, S. (2006): Mikotoksini pojava, efekti i prevencija, Beograd.
- Sinha, K. K. (1998): Detoxification of mycotoxins. U: Mycotoxins in Agriculture and Food Safety (Ed.: Sinha, K.K., Bhatnager, D.), Marcel Dekker Inc., 125-134.
- Srebočan, V. (1993): Veterinarska toksikologija: Biotoksini (mikotoksini). Medicinska naklada, Zagreb, 297-330.
- Stamatović, S., Lješević, Z., Đuričković, S. (1963): O jednoj alimentarnoj intoksikaciji svinja (Vulvovaginitis suum). *Vet. glasnik* N^o 6.
- Steyn, S. (1984): Mycotoxin Production, Isolation, Separation and Purification. Elsevier Scientific Publishers, Amsterdam, Netherland.
- Stojšin, V., Bagi, F., Balaž, F. (2008): Mikoze i pseudomikoze ratarskih i povrtarskih biljaka (praktikum iz fitopatologije), Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
- Thomas, J.L. (1984): *Fusarium* as a biodeteriogen: a case history. In: The Applied Biology of *Fusarium*. (Ed.: Moss, M.O., Smith, J.E.), Cambridge University Press, Cambridge, 107- 116.

- Tiute, J., Foster, G.H. (1979): Control of storage disease of grain. *Ann. Rev. Phytopatholog.*, 17, 343-360.
- Utermark, J., P. Karlovsky (2007): Role of zearalenone lactonase in protection of *Gliocladium roseum* from fungitoxic effects of the mycotoxin zearalenone. *Appl. Environ. Microbiol.* 73, 637-642.
- Vandegrift, E.E., Shotwell, O. L., Smith, M. L., Hesseltine, C. W. (1973): Mycotoxin formation affected by fumigation of wheat. *Cereal Sci. Today*, 18, 412-414.
- Vokl, A., Voglwer, B., Schollenberger, M., Karlovsky, P. (2004): Microbial detoxification of mycotoxin deoxynivalenol. *J. Basic Microbiol.*, 44, 147-156.

Abstract

ZEARALENONE PRODUCING FUNGI FROM THE GENUS *Fusarium*

Dina Konstantin, Igor Jajić, Renata Iličić, Ferenc Bagi

University of Novi Sad, Faculty of Agriculture

E-mail: djinakonstantin@gmail.com

Mycotoxins are secondary chemical metabolites of different fungi. The most important mycotoxigenic fungi are from the genera: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Claviceps* and *Alternaria*. *Fusarium* fungi are the most widespread in cereal-growing areas of the planet. Fumonisin, trichothecenes and zearalenone are the most commonly occurring *Fusarium* mycotoxins in cereal grains and animal feed. The occurrence of toxic metabolites in food, as well as in feed, represents a serious global problem for human health due to their toxic effects. Zearalenone is mainly produced by *Fusarium graminearum* and *F. culmorum*. Corn is the most frequently contaminated plant due to its distribution throughout the world. Contaminated products can lead to huge economic losses and pose risks to animals and humans. It affects animal health and mainly has estrogenic effects on various organisms. Swine are the most commonly affected domestic animals, but cattle and poultry may also be affected.

Keywords: zearalenone, corn, impact on the health status of animals