

Микотоксини у храни и ризик по здравље потрошача

Јована Ј. Кос

Сажетак. Микотоксини су секундарни продукти метаболизма патогених филаментозних плијесни који најчешће припадају родовима *Fusarium*, *Alternaria*, *Aspergillus* и *Penicillium*. Унос микотоксина, у организам људи и животиња, преко хране може довести до читавог низа акутних и хроничних обољења. Поред тога, присуство плијесни и микотоксина, како у храни тако и у храни за животиње, доводи и до великих економских губитака. Услед наведеног, појава микотоксина представља вишедеценијски проблем широм свијета. Иако је до данас откривено више стотина различитих микотоксина, највећи број земаља прописује обавезну контролу, као и максимално дозвољене концентрације за свега неколико микотоксина: афлатоксине, охратоксин А, деоксиниваленол, зеараленон, фумонизине и патулин. Међутим, савремена научна литература указује да је спектар новооткривених микотоксина знатно шири. Надаље, забиљежене климатске промјене посљедњих деценија убрајају се међу факторе са највећим утицајем на све учесталију појаву плијесни и читавог низа нових микотоксина. Такође, савремена научна литература указује и да новооткривени микотоксини, чија контрола још увијек није прописана, испољавају вишеструке негативне ефекте на организам људи и животиња.

Из свега наведеног може се закључити, да микотоксини представљају све већи проблем на глобалном нивоу, јер се сврставају међу најтоксичније и најфреквентније хемијске контаминенте у ланцу исхране. Упркос наведеним чињеницама, у Републици Српској још увијек нема довољно системски спроведених мониторинга и планираних превентивних и контролних мјера, којима би се системски утицало на превенцију појаве микотоксина, а самим тим и на повећање нивоа производње здравствено безбједне хране, заштиту здравља становништва и животиња, и смањење економских губитака.

Циљ овог поглавља је да се, увидом у савремену научну литературу, прикаже преглед најзначајнијих и најновијих истраживања у вези са појавом микотоксина у храни.

Кључне ријечи: Микотоксини, Ризик по здравље људи, Република Србија, Република Српска

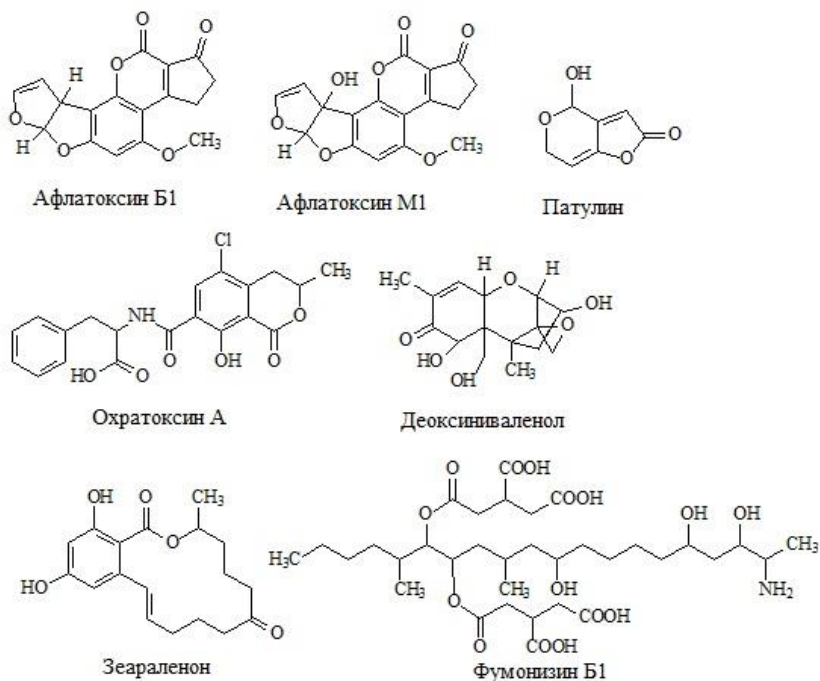
15.1. Микотоксини

Микотоксини су токсична једињења која настају као продукти секундарног метаболизма плијесни. До данас је откривено више стотина различитих врста плијесни, од којих је око 200 до 250 токсигено, односно посједује способност да синтетише микотоксине. Токсигене плијесни најчешће припадају родовима *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Mucor* и *Cladosporium* (Oliveira et al. 2014). Иако до данас још увијек није у потпуности познато зашто плијесни синтетишу микотоксине, највећи број истраживања указује на чињеницу да микотоксини нису неопходни за раст плијесни, али да имају значајну улогу при елиминацији других микроорганизама из свог окружења (Brase et al. 2009).

Микотоксини су високотоксични контаминенти хране за људе и животиње. Назив им потиче од грчке ријечи „mykes“, што значи „гљива“ и латинске ријечи „toxicum“, што значи „отров“. До данас је откривено више стотина различитих микотоксина, а сматра се да их има и више десетина хиљада. Они се међусобно разликују по врсти плијесни која их синтетише, хемијској структури, механизму дјеловања и токсичности (CAST 2003а). Микотоксини, који се најчешће јављају као контаминенти хране и хране за животиње су афлатоксини (АФ), охратоксин А (ОТА), зеараленон (ЗЕА), деоксиниваленол (ДОН), фумонизини (ФУМ) и патулин (ПАТ) (Слика 15.1).

Да би плијесни синтетисале микотоксине потребно је да уз постојање одговарајућих физичких, хемијских и биолошких услова средине погодних за раст, развој и размножавање, плијесни посједују и генетску предиспозицију за синтезу микотоксина. Међу најзначајније физичке факторе убрајају се температура и влага, док се од хемијских фактора, значајних за синтезу микотоксина, највећи значај приписује саставу ваздуха и природи и саставу супстрата. Поред наведеног, оштећење биљке, присуство инсеката и глодара,

примјењене агротехничке мјере, убрајају се у факторе са изузетно великим утицајем на развој плијесни и синтезу токсина. Посљедњих година, савремена научна литература указује и на чињеницу да је појава микотоксина у великој мјери условљена географским подручјем, тј. климатским промјенама, које се управо због тога и убрајају међу факторе са највећим утицајем на појаву микотоксина (Kos 2015; Medina et al. 2015). У Табели 15.1. приказани су најзначајнији микотоксини као и врсте плијесни које их синтетишу.



Слика 15.1. Структурне формуле најзначајнијих микотоксина
 Figure 15.1. Structural formulas of the most important mycotoxins

Микотоксини у ланац исхране могу доспјети на више начина. Како готово све биљке могу бити подлоге за раст токсигеним плијеснима, до синтезе микотоксина може доћи док је биљка још на пољу, затим током њене бербе, транспорта, складиштења и прераде, као и током складиштења готових производа и њихове дистрибуције. Надаље, микотоксини у намирнице животињског поријекла најчешће доспијевају преко контаминиране хране за животиње. Уколико животиње конзумирају храну контаминирану микотоксинима постоји велика вјероватноћа да ће се и они акумулирати у различитим ткивима и органима (Scudamore 2008). Сировине и прехранбени производи који су најчешће контаминирани најзначајнијим микотоксинима, и који уједно представљају највећи ризик за унос микотоксина у организам људи приказани су на Слици 15.2.

Табела 15.1. Најзначајнији микотоксини и врсте плјесни које их синтетишу (Alshannaq and Yu 2017)

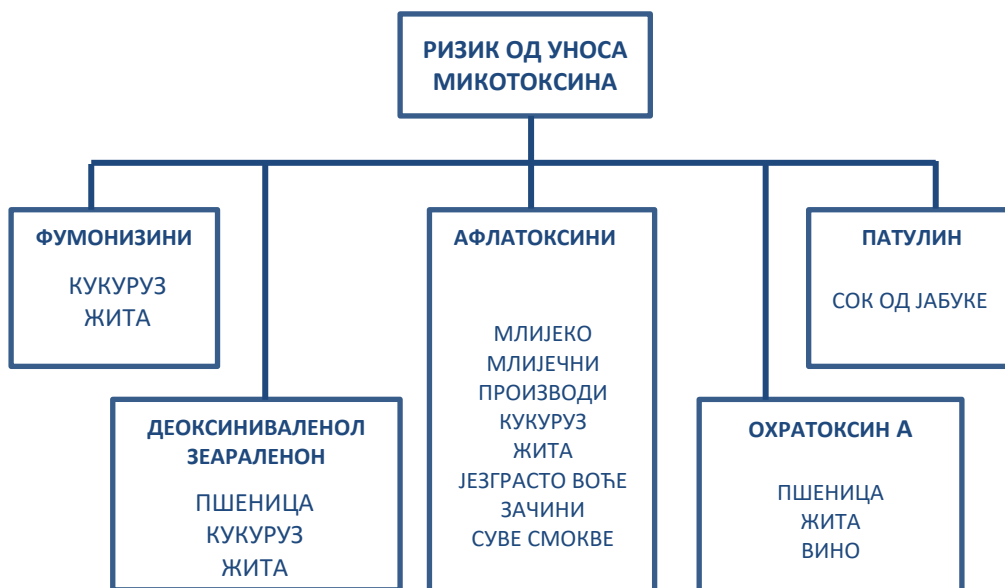
Table 15.1. The most important fungi and mycotoxins (Alshannaq and Yu 2017)

Микотоксини	Врста плесни
Афлатоксини Б1, Б2, Г1, Г2	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>Aspergillus parasiticus</i>
Охратоксин А	<i>Aspergillus ochraceus</i> , <i>Penicillium verrucosum</i> , <i>Aspergillus carbonarius</i>
Фумонизини Б1, Б2, Б2	<i>Fusarium verticillioides</i> , <i>Fusarium proliferatum</i>
Зеараленон	<i>Fusarium graminearum</i> , <i>Fusarium culmorum</i>
Деоксиниваленон	<i>Fusarium graminearum</i> , <i>Fusarium culmorum</i>
Патулин	<i>Penicillium expansum</i>

Афлатоксини су група хемијски сродних једињења, којих према различитим ауторима има између 13 и 20, од којих се афлатоксин Б1, Б2, Г1 и Г2 најчешће јављају као контаминенти хране и хране за животиње. Афлатоксине Б групе најчешће синтетише плјесан *Aspergillus (A.) flavus*, док афлатоксине Г групе поред плјесни *A. flavus* синтетише и *A. parasiticus* (Gurbay et al. 2010). Уз наведена четири афлатоксина, веома значајни су и афлатоксин М1 (АФМ1) и афлатоксин М2 (АФМ2), који настају као метаболити АФБ1 и АФБ2 који се путем хране уносе у организам сисара, и даље се могу јавити као контаминенти млијека и млијечних производа (Decastelli et al. 2007). Од свих наведених афлатоксина, АФБ1 је најфреквентнији, а уједно и најтоксичнији са најизраженијим канцерогеним дејством (IARC 2012). Афлатоксини се најчешће јављају као контаминенти млијека и млијечних производа, кукуруза и других житарица, као и зачина, језграстог и сушеног воћа, са подручја које карактеришу тропска и суптропска клима (WHO 2015).

Охратоксини чине групу од 9 различитих једињења, од којих је ОТА најфреквентнији и најтоксичнији. ОТА се веома често јавља као контаминент хране, заједно са охратоксином Б (ОТБ), и при одређеним условима ОТА се може конвертовати у ОТБ, и обрнуто. У регионима са топлим и сувом климом ОТА углавном синтетишу плјесни из рода *Aspergillus*, док у регионима у којима преовладавају ниже температуре, ОТА најчешће синтетишу плјесни из рода *Penicillium*. Намирнице које представљају највећи ризик за унос ОТА у организам људи су пшеница као и друге житарице, затим вино, кафа и језграсто воће (El Khoury and Atoui 2010).

Трихотоцени су група микотоксина која обухвата између 200 и 300 различитих једињења. ДОН припада групи Б трихотецена, и најчешће га синтетишу плјесни *Fusarium (F.) graminearum* и *F. culmorum*. За раст, развој и размножавање наведених плјесни, као и синтезу ДОН-а погодни су умјерени климатски услови, праћени нижим температурама ваздуха и већом количином падавина. ДОН је најфреквентнији контаминент хране и хране за животиње из групе трихотецена, и уједно један од најфреквентнијих микотоксина на свијету (Biomim Report 2017; Eriksen and Pettersson 2004).



Слика 15.2. Сировине и намирнице које представљају највећи ризик за унос микотоксина у организам људи (WHO 2015; Carballo et al. 2019)

Figure 15.2. Raw materials and food with the greatest demonstrated potential for mycotoxins introducing into the human diet (WHO 2015; Carballo et al. 2019)

ЗЕА је микотоксин којег синтетишу плијесни из рода *Fusarium*. У поређењу са другим микотоксинима, ЗЕА карактерише мања токсичност, али се он убраја међу једињења са веома израженим естрогеним ефектом, чија је хормонска активност знатно јача од већине других природних нестероидних естрогена (Metzler et al. 2010). ЗЕА, се као и ДОН, најчешће јавља као контаминент пшенице, кукуруза и других врста жита.

Надаље, до данас је откривено око 16 различитих фумонизина, од којих је фумонизин Б1 (ФБ1) најчешћи контаминент хране и хране за животиње, и уједно је и најтоксичнији представник групе. Као најчешћи пратиоци ФБ1 јављају се ФБ2, ФБ3, ФБ4 и ФА1. Широка географска распрострањеност, као и могућност да се плијесни *F. verticillioides* и *F. proliferatum* размножавају у ширем температурном опсегу, једни су од главних разлога за распрострањеност фумонизина, прије свега у кукурузу и производима на бази кукуруза, широм свијета (Samarundo et al. 2005).

Патулин (ПАТ) је микотоксин, производ секундарног метаболизма плијесни из рода *Penicillium* и *Aspergillus*. Плијесан која најчешће синтетише ПАТ је *Penicillium expansum*. Највећи број научних радова указује да је ПАТ најфреквентнији контаминент јабука и производа од јабука, али да уједно може контаминирати и друге производе од воћа и поврћа (Beretta et al. 2000).

Поред наведених микотоксина, савремена научна литература указује и на велики значај, све већег броја новооткривених токсичних метаболита плијесни, тзв. „хитних“ (eng. „emerging“) микотоксина (Vaclavikova et al. 2013; Gruber-Dorninger et al. 2016). У Табели 15.2. приказани су неки од новооткривених микотоксина, који се све чешће детектују у узорцима хране и хране за животиње, као и родови плијесни који их синтетишу.

Табела 15.2. Микотоксини и плијесни које их синтетишу

Table 15.2. *Fungi and mycotoxins*

Плесни	Микотоксини (енглески назив)
<i>Fusarium</i>	Nivalenol, T-2 toxin, HT-2 toxin, HT-2 glucoside, Moniliformin, Culmorin, Fusaproliferin, 5-Hydroxyculmorin, 15-Hydroxyculmorin, Beauvericin, Enniatin A, Enniatin A1, Enniatin B1, Butenolid, Aurofusarin, Bikaverin, Chrysogin, Fusapyron
<i>Aspergillus</i>	Aflatoxicol, Sterigmatocystin, Versicolorin A, Versicolorin C, Nidurufin, Averantin, Averufin, Norsolorinic acid, Kojic acid, 3-Nitropropionic acid, Cyclopiazonic acid, Malformin
<i>Penicillium</i>	Mycophenolic acid, Roquefortine C, Meleagrins, Questiomycin A, Oxaline, Pestalotin, 7-Hydroxypestalotin, Secalonic acid D, Flavoglaucin, Quinolactacin A, Aurantine, Norverrucosidin, Chanoclavin, Anacin
<i>Alternaria</i>	Tenuazonic acid, Alternariol, Alternariolmethylether, Tentoxin, Infectopyron
<i>Claviceps</i>	Ergotamine, Ergocryptine, Ergonovine, Ergocristine, Ergocornine

Многи аутори наводе да су забиљежене климатске промјене посљедњих деценија имале велики утицај на појаву плијесни и читавог низа нових микотоксина. Управо због тога, Европска управа за здравствену безбједност хране (EFSA 2014; 2018) упутила је неколико јавних позива за прикупљање података у вези са појавом нових група тзв. „хитних“ микотоксина, са основним циљем да се формирају, односно унаприједи научна мишљења у вези са утицајем њихове појаве на здравствену безбједност хране и хране за животиње. Надаље, EFSA придаје велики значај и коњугованим тзв. "маскираним" (eng. „masked“) микотоксинима, који су уствари метаболити микотоксина настали као механизам одбране биљке на њихову појаву (нпр. глукозилати ДОН-а, ЗЕА-а, Т-2 и ХТ-2 токсина). Наведени маскирани микотоксини су једињења од великог значаја, јер током варења може доћи до хидролизе и њиховог превођења у почетни облик микотоксина (Berthiller et al. 2009; Veprikova et al. 2015).

15.2. Микотоксикозе

Многобројни литературни подаци свједоче о вишеструком негативном ефекту микотоксина на организам људи и животиња. Све болести људи и животиња изазване дејством микотоксина заједничким именом називају се микотоксикозе. Микотоксикозе су најчешће проузроковане конзумирањем контаминиране хране, а у мањој мјери настају и након удисања микотоксина или њиховог уноса у организам преко коже (IARC 2002; IARC 2012). У зависности од унијете количине, као и од фреквентности уноса микотоксина у организам људи и животиња, као и од старости, пола, имуног система и здравственог стања јединке која конзумира контаминирану храну, може доћи до развоја читавог низа различитих болести.

У Табели 15.3. приказана је класификација најзначајнијих микотоксина према канцерогености и токсичним ефектима које проузрокују. Као што се може уочити из Табеле 15.3. према класификацији Међународне агенције за испитивање канцерогених једињења (International Agency for Research on Cancer, IARC) свих пет афлатоксина се налази у првој групи једињења са доказаним канцерогеним ефектом. Надаље, ОТА и ФУМ се налазе у групи 2Б, као потенцијално канцерогена једињења са доказима базираним на ограниченом броју резултата; док се ДОН, ЗЕА и ПАТ убрајају у трећу групу, као једињења за чији потенцијални канцерогени ефекат још увијек нема довољно доказа.

Табела 15.3. Класификација најзначајнијих микотоксина према канцерогености и токсичном ефекту (IARC 2012)

Table 15.3. Classification of the most important mycotoxins in relation to their carcinogenicity and toxic effects (IARC 2012)

Микотоксини	Класификација према канцерогености	Ефекти на здраље
Афлатоксини (Б1, Б2, Г1, Г2, М1)	1	хепатотоксичност, имунотоксичност цитотоксичност тератогени и мутагени ефекат
Охратоксин А	2Б	хепатотоксичност, имунотоксичност нефротоксичност, тератогени ефекат
Деоксиниваленол	3	имунотоксичност, неуротоксичност
Фумонизини	2Б	имунотоксичност, нефротоксичност неуротоксичност
Зеараленон	3	естрогени ефекат, имунотоксичност
Патулин	3	имунотоксичност, неуротоксичност

1- доказана канцерогеност; 2Б-потенцијална канцерогеност доказана на основу ограниченог броја резултата; 3- за сада нема довољно резултата који потврђују канцерогеност

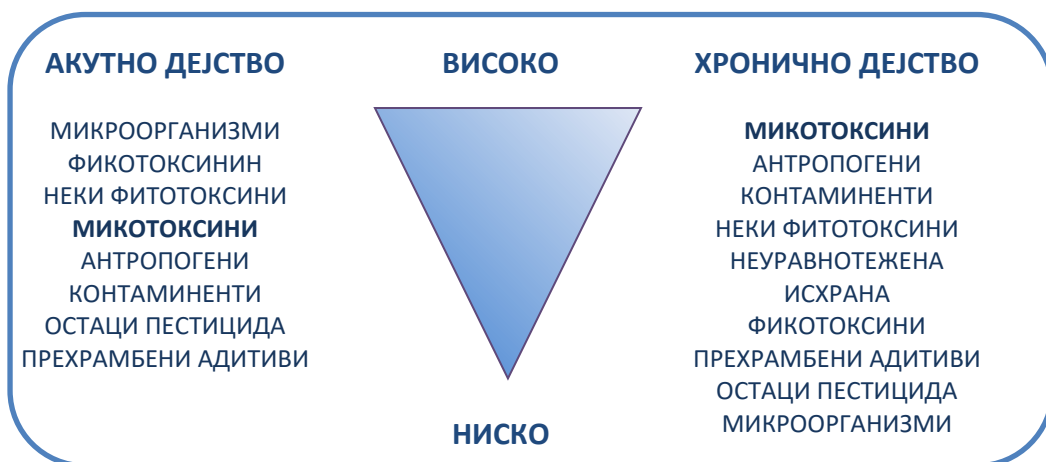
Уколико се микотоксини у организам унесу путем хране, настале микотоксикозе се могу подијелити на акутне и хроничне интоксикације. У којој мјери ће микотоксини негативно утицати на организам зависи од врсте микотоксина, као и од степена изложености, тј. концентрације унешеног микотоксина, као и од временског периода уношења микотоксина. Као најчешћи почетни симптоми микотоксикоза, у случају уноса мањих концентрација у организам, наводе се слабост, умјерено повишена температура и пад имунитета. У случају уноса микотоксина у дужем временском периоду може доћи до читавог низа поремећаја имунолошког система. Уколико се уносе веће концентрације, наведени симптоми се интензивирају уз појаву акутних обољења, при чему је доказано да највећу осјетљивост испољавају млади организми (IARC 2012; Williams et al. 2004).

Такође, храна за животиње контаминирана микотоксинима може довести до појаве читавог низа акутних и хроничних обољења животиња, чији симптоми се могу манифестовати преко одбијања хране, губитка тежине, пада имунитета, умањења репродуктивних способности и смањења продукције, па и смрти јединки. Поред негативног ефекта на здравље животиња, микотоксини унијети путем хране у организам животиња могу се акумулирати и у различитим ткивима и органима који се користе у исхрани људи, и тако преко намирница животињског поријекла доспјети у ланац исхране.

Kuiper-Goodman (1998) је у својим истраживањима извршио поређење акутног и хроничног дејства микотоксина у односу на друга токсична једињења (Слика 15.3). Са Сlike 15.3. може се уочити да се микотоксини налазе на четвртом мјесту, од седам набројаних најчешћих потенцијалних изазивача акутних обољења. Међутим, као потенцијални изазивачи хроничних обољења, микотоксини се према процјенама аутора Kuiper-Goodman (1998) налазе на првом мјесту.

На основу свега наведеног, може се закључити да је неопходно константно спроводити истраживања и повећавати знања у вези за штетним ефектом микотоксина на организам људи и животиња. Први објављени подаци о појави микотоксина и микотоксикозама датирају из 1960. године, када је регистрован помор преко 100 000 младих ћурића у Енглеској усљед конзумирања хране која је садржала високе концентрације афлатоксина (Bradburn et al. 1994). Непосредно послије тога забиљежене су и друге микотоксикозе и нове епидемије које су условиле даља интезивирања испитивања. Даљим истраживањима је утврђено да је појава микотоксина, прије свега афлатоксина, као и појава различитих микотоксикоза карактеристичнија за земље у развоју у односу на развијене земље. Поједини аутори процјењују (Gebrehiwet et al. 2007) да је чак око 4,5 милијарди људи у земљама у развоју изложено хроничним обољењима усљед уноса афлатоксина у организам преко хране. У прилог томе свједочи и извјештај RASFF (Rapid Alert System for Food and Feed) за 2017. годину (https://ec.europa.eu/food/safety/rasff_en) према коме од десет највећих опасности које потичу од хране у земљама чланицама Европске Уније (ЕУ),

микотоксини заузимају десето мјесто. Насупрот томе, у земљама које нису чланице ЕУ, микотоксини су се нашли као друга највећа опасност, одмах након патогених микроорганизама (Табела 15.4.).



Слика 15.3. Поређење акутног и хроничног дејства микотоксина у односу на друга токсична једињења (Kuiper-Goodman 1998)

Figure 15.3. Acute and hronic effect of mycotoxins in comparison to other toxic compounds (Kuiper-Goodman 1998)

Табела 15.4. Десет највећих категоризованих опасности у вези хране у земљама унутар и изван Европске Уније током 2017. године (RASFF 2018)

Table 15.4. The greatest ten categorized food hazards in countries inside and outside of the European Union in 2017 (RASFF 2018)

Европска унија	Земље изван европске уније
Патогени микроорганизми	Патогени микроорганизми
Остала једињења	Микотоксини
Остаци пестицида	Остала једињења
Тешки метали	Остаци пестицида
Алергени	Фалсификовање хране
Страна тијела	Адитиви и ароме
Нова храна	Нова храна
Биолошки контаминенти	Тешки метали
Неодговарајући састав хране	Недовољна контрола хране
Паразити	Неодговарајући састав хране
Микотоксини	Алергени

Као главни разлози за тврдњу, да је у развијеним земљама свијета људска популација у мањој мјери изложена негативним ефектима микотоксина из хране, наводе се сљедећи разлози: већи избор хране, висок ниво производње хране и контролисана манипулација са храном, као и виши ниво законских регулатива и контроле квалитета и здравствене безбједности хране у односу на земље у развоју. У земљама у развоју велики проблем, поред хране биљног поријекла, представљају и намирнице животињског поријекла, јер храна за животиње веома често садржи висок ниво микотоксина. Надаље, у земљама у развоју климатски услови такође веома често доприносе повећању ризика од појаве микотоксина у ланцу исхране (CAST 2003b; Milićević i sar. 2010). Из претходно наведеног се свакако не може тврдити да су развијене земље заштићене од појаве микотоксина, јер се поједини пољопривредни производи производе само у одређеним крајевима свијета и стога је неопходно спроводити сталну трговину између земаља. На примјер, према извјештају RASFF за 2017. годину највише регистрованих узорака са повећаним садржајем микотоксина чиниле су суве смокве, љешници и пистаћи из Турске, затим кикирики из Кине, Америке, Индије, Египта и Аргентине; пистаћи из Ирана и Америке, као и чили паприка из Индије. Од свих микотоксина, афлатоксини су били најчешћи узрок здравствене неисправности узорака. Према истом извјештају, за 2017. годину (RASFF 2018) микотоксини су представљали другу највећу опасност и у храни за животиње.

Трговина пољопривредним производима, омогућена међународним трговинским споразумима, додатно повећава ризик од преноса микотоксина, а самим тим и микотоксикоза, како из земље у земљу, тако и са континента на континент, и уједно повећава потребу за додатним и ригорознијим контролама од стране одређених институција и трговаца. На Слици 15.4. дат је примјер приказа глобалне трговине кукурузом у 2015. години, као и највећи увозници и извозници кукуруза. Из приказаног на Слици 15.4. може се закључити да трговина пољопривредним производима у великој мјери представља потенцијалну опасност за појаву микотоксина у свим крајевима свијета (Kovalsky et al. 2016).

15.3. Законске регулативе

Усљед доказаног вишеструког негативног ефекта, како на здравље људи и животиња, тако и на економске параметре, у великом броју различитих земаља свијета постоје надлежне службе које се баве проблематиком микотоксина. Европска комисија (eng. "European Commission", EC) на нивоу Европске уније (EU) као и FDA (eng. "Food and Drug Administration") из Сједињених Америчких Држава представљају двије водеће институције које се баве законским прописима везаним за микотоксине. Поред наведених, и Свјетска здравствена организација (eng. "World and Health Organization", WHO), Организација уједињених нација за храну и пољопривреду (eng. "Food and Agriculture Organization of the United States", FAO), као и организације EFSA (European Food Safety Authority), JECFA (eng. "Joint Expert Committee on Food Additives") и SCF (eng. "Scientific Committee on

Food”) у великој мјери доприносе повећању и надоградњи знања у области микотоксикологије. Наведене организације прописују правила контроле микотоксина у храни и храни за животиње, константно ревидирају, доносе и усвајају правилнике о максимално дозвољеним количинама (МДК) микотоксина, као и правилнике у вези узорковања, припреме узорака и метода које се користе при њиховој анализи, и такође активно учествују у спровођењу одговарајућих законских прописа.



Слика 15.4. Поједностављен приказ глобалне трговине кукуруза за 2015. годину (Kovalsky et al. 2016)

Figure 15.4. Simplified global maize trade for 2015 (Kovalsky et al. 2016)

На нивоу Европске уније постоји јединствен правилник који прописује МДК за микотоксине у прехранбеним производима (ЕС 2006а). Све земље чланице ЕУ, као и већина земаља Европе, које нису чланице ЕУ, примјењују исти правилник уз ријетка минимална одступања. Такође, за храну за животиње на подручју ЕУ постоји регулатива за афлатоксине (ЕС 2002), као и препоручене МДК вриједности за ДОН, ЗЕА, ОТА, ФУМ, Т-2 и ХТ-2 токсине (ЕС 2006а). Насупрот томе, многе земље које се налазе изван Европе, као и земље у развоју, углавном имају блаже критеријуме, односно више вриједности за МДК за поједине микотоксине, што веома често представља проблем при трговинској размјени, посебно између земаља у развоју и земаља ЕУ. У Табели 15.5. је дат примјер поређења прописаних вриједности за МДК за афлатоксине у храни у различитим регионима свијета.

Табела 15.5. Поређење прописаних МДК вриједности за афлатоксине у храни у различитим регионима свијета (FAO 2004)

Table 15.55. Comparison of maximum levels for aflatoxins in food in different world regions (FAO 2004)

Регион	Опсег прописаних МДК (µg/kg)	Најучесталије прописане МДК (µg/kg)
Африка	10-20	10
Азија/Океанија	5-35	15
Европа	0-10	5
Латинска Америка	2-35	20
Северна Америка	15-20	15-20

15.4. Микотоксини као ризик по здравље људи у Републици Српској и окружењу

Да би се у овом поглављу приказао ризик од појаве микотоксина у храни у Републици Српској, као и у земљама у окружењу, неопходно је сагледати тренутно стање пољопривредне и прехранбене производње у наведеним подручјима. Према извјештају из области пољопривреде, исхране и руралног развоја за Босну и Херцеговину за 2016 и 2017. годину (MVTViH 2017; 2018), структура засијаних површина у Републици Српској није се битније мијењала већ дужи низ година. Највеће учешће у укупно засијаним површинама имају житарице, затим крмно биље и поврће. Нажалост, према наведеном извјештају, потенцијали пољопривредне производње Републике Српске, који се прије свега огледају у великом броју различитих пољопривредних култура и квалитетном пољопривредном земљишту, не користе се довољно у односу на њихове расположиве могућности. Поред наведеног, стабилност пољопривредне производње и висина остварених приноса житарица на цијелој територији Босне и Херцеговине, а самим тим и Републике Српске, у великој мјери зависи и од временских услова. Тако је, на примјер, временски период од 2006. до 2016. године био обиљежен појавом екстремних временских услова, док су од посљедњих 10 година, 7 означене као сушне, а 2008, 2010 и 2012. године биле су чак окарактерисане и као екстремно сушне године. Насупрот томе, екстремне количине падавина и поплаве забиљежене током 2014. године, такође су нанијеле пољопривредној производњи велике штете.

Кукуруз је ратарска врста број један у Републици Српској, јер се сваке године засије на више од 40% сјетвене површине. Након кукуруза, највише се производи пшеница, затим раж, тритикале и јечам. Током посљедњих година забиљежен је константно велики ниво увоза житарица у Републику Српску. У појединим годинама, увоз житарица је био чак и до пет пута већи у односу на извоз. Највише се увозе пшеница и кукуруз, и то из Србије, Мађарске и Хрватске, док се

житарице највише извозе у Турску. Више од 90% увеженог кукуруза у Републици Српској је поријеклом из Србије. Надаље, производња млијека, једна је од најважнијих грана сточарске производње у Републици Српској. Просјечна производња сировог млијека износи око 365 милиона литара, од чега око 98% чини кравље млијеко. Највећа количина произведеног млијека се потроши на домаћем тржишту, док се мала количина извезе у земље Европске уније. Знатна количина млијека која се конзумира у Републици Српској, потиче из увоза, прије свега из Србије.

Иако пољопривредна и прехранбена производња имају значајан утицај на бруто дотату вриједност и економску стабилност Босне и Херцеговине, а самим тим и Републике Српске, још увијек недостају улагања којима би се прије свега минимализовао негативни утицај климатских промјена на здравствену безбједност и квалитет пољопривредних производа. Микотоксини су управо један од битнијих показатеља здравствене безбједности пољопривредних производа, на чију појаву велики утицај имају наведена колебања временских прилика и климатске промјене. И поред свега наведеног, усљед недовољног улагања у превенцију, као и у системски спроведене мониторинге, до данас је објављен веома мали број научних радова у вези са појавом микотоксина у узорцима из Босне и Херцеговине и Републике Српске.

У Табели 15.6. приказан је преглед малобројне доступне научне литературе у вези са појавом микотоксина у различитим узорцима из Босне и Херцеговине. Из приказаних резултата, редом се може уочити да су афлатоксини анализирани у различитим узорцима из 2007. године и да при том није детектован висок ниво појаве афлатоксина (Zvizdić i sar. 2009). Надаље, Ivić i sar. (2011) анализирали су појаву ФБ1 у четири узорка јечма, при чему, такође, није детектован висок ниво контаминације. Током 2009. године Јајић i sar. (2010) анализирали су појаву ДОН-а и ЗЕА-а у узорцима кукуруза сакупљеним на територији Републике Српске. ДОН је био присутан у 23% од испитаних узорака, док је ЗЕА детектован у 32% узорака. У само два узорка кукуруза, детектоване концентрације ЗЕА-а биле су изнад МДК прописане Правилником ЕУ (ЕС 2006b). Најопсежнија истраживања у вези са појавом микотоксина на територији Босне и Херцеговине, спроведена су од стране аутора Pleadin i sar. (2016, 2017a и 2017b). У периоду од 2011. до 2015. године испитано је присуство Т-2/ХТ-2 токсина у узорцима жита и производа на бази жита који се користе у исхрани људи, као и у узорцима жита и смјеша које се користе за исхрану животиња (Pleadin i sar. 2017a). Као што се може видјети из Табеле 15.6. највеће детектоване концентрације, као и највећи ниво контаминације детектован је у узорцима овса, како за исхрану људи тако и за исхрану животиња. Послије овса највећи ниво контаминације Т-2 и ХТ-2 токсина детектован је у узорцима кукуруза.

Табела 15.6. Појава микотоксина у узорцима из Републике Српске и Босне и Херцеговине
Table 15.6. The mycotoxins incidence in Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina

Година	Микотоксин	Регион	Узорак	Н (%)	СВ ±СТД (µg/kg)	Аутори	
2007	АФ	БиХ	Ј. воће Брашно Суво воће Какао Кафа	43 (2%) 25 (1%) 23 (5%) 12 (8%) 8 (5%)	нд	Zvizdić i sar. (2009)	
2008	ФБ1	Посусје	Лечам	4 (75%)	2400	Ivić i sar. (2011)	
2009	ДОН ЗЕА	Република Српска	Кукуруз	65 (23%) 65 (32%)	1420 224	Jajić i sar. (2010)	
2011-2015	Т-2/ХТ-2	Босанска крајина, Бихаћ, Посавина Семберија	Храна				Pleadin i sar. (2017a)
			Кукуруз	29 (50%)	56,1±34,0		
			Пшеница	38 (32%)	36,0±12,3		
			Овас	22 (71%)	99,1±68,8		
			Лечам	9 (33%)	61,7±25,1		
			Кукурузне пахуљице	7 (29%)	27,8±12,6		
			Овсене пахуљице	6 (33%)	71,1±25,9		
			Храна за животиње				
			Кукуруз	30 (53%)	125±106		
			Пшеница	28 (21%)	59,0±26,9		
			Овас	17 (94%)	120±124		
			Лечам	8 (62%)	38,4±8,31		
			Соја за свиње	5 (40%) 16 (50%)	36,6±8,41 45,9±30,6		
за телад за живину	12 (58%) 9 (67%)	42,7±15,6 42,6±8,38					
2013-2015	ДОН	БиХ	Кукуруз	115 (98%)	984±957	Pleadin i sar. (20176)	
			Пшеница	84 (54%)	690±604		
			Лечам	58 (22%)	365±177		
	ЗЕА		Кукуруз	115 (84%)	326±314		
			Пшеница	84 (49%)	127±140		
	ФУМ		Лечам	58 (20%)	92±80		
			Кукуруз	115 (77%)	1259±1161		
2014	цитринин	БиХ	Жита	64 (73%) 72 (76%)	103±102 101±106	Pleadin i sar. (2016)	
			2015	Храна за животиње	20 (70%) 21 (62%)		36±14 37±14

БиХ- Босна и Херцеговина; Н-број узорака; %-процент контаминираних узорака; Ј. воће-
језграсто воће

У наредном истраживању, спроведеном од стране исте групе аутора (Pleadin i sar. 2017b), испитано је присуство ДОН-а, ЗЕА-а и фумонизина у узорцима кукуруза, пшенице и јечма. Од испитаних узорака, кукуруз је садржао највећи ниво микотоксина. 98%, 84% и 77% узорака кукуруза било је редом контаминирано са ДОН-ом, ЗЕА-ом и фумонизинима. ДОН је био детектован у 54% испитаних узорака пшенице, док је ЗЕА детектована у 49% узорака пшенице, а фумонизини у 42%. Као што се види из Табеле 15.6. јечам је садржао испитиване микотоксине у опсегу од 15% до 22%. Од укупно 257 испитаних узорака у наведеној студији, 8% није задовољавало критеријуме Правилника ЕУ везане за МДК у храни (ЕС 2006b), док 1% узорака није испуњавао критеријуме прописане за храну која ће се користити за исхрану животиња (ЕС 2006a). Иста група аутора (Pleadin i sar. 2016) испитивала је и појаву микотоксина цитринина у узорцима жита и хране за животиње током двије производне године. Аутори нису установили значајније разлике у нивоу контаминације у узорцима из обје производне године (62-72%), док су детектоване концентрације цитринина биле више у узорцима жита у односу на узорке хране за животиње.

С обзиром да се изузетно велика количина кукуруза у Републици Српској увезе из Републике Србије, извршен је преглед научне литературе у вези са појавом појединих микотоксина у узорцима кукуруза сакупљених у Србији током различитих година. У Табели 15.7. приказан је преглед појаве афлатоксина у узорцима кукуруза сакупљених у Србији у периоду од 10 година.

Табела 15.7. Преглед појаве афлатоксина у узорцима кукуруза из Републике Србије анализираних током периода од 2009 до 2018. године.

Table 15.7. A review of the occurrence of aflatoxins in maize harvested in the Republic of Serbia in the period 2009-2018.

Година узорковања	Број узорака	Опсег С (µg/kg)	%	% С>10 µg/kg*	Аутори
2009	60	нд	-	-	Kos i sar. (2013)
2010	60	нд	-	-	Kos i sar. (2013)
2011	60	нд	-	-	Kos i sar. (2013)
2012	600	1,0-111,2	72	56	Kos i sar. (2018c)
2013	600	1,2-65,2	25	9	Kos i sar. (2018c)
2014	600	нд	-	-	Kos i sar. (2018c)
2015	600	1,1-76,2	37	9	Kos i sar. (2018c)
2016	600	1,3-6,9	5	-	Kos i sar. (2018c)
2017	60	1,1-41,7	38	12	Kos i sar. (2018b)
2018	100	1,1-12,3	11	1	Kos i sar. (2019)

С- концентрација; * МДК по Регулативи ЕУ и Републике Србије; нд-није детектовано; %- проценат контаминираних узорака

На основу приказаних резултата може се закључити да је највиши ниво контаминације (72%) забиљежен у узорцима кукуруза из 2012. године; док је из 2013, 2015 и 2017. године редом било контаминирано 25%, 37% и 38% испитаних узорака. Насупрот томе, афлатоксини нису детектовани у узорцима из 2009, 2010, 2011. и 2014 године. Kos i sar. (2018c) наводе временске прилике као главне разлоге, како за висок ниво појаве тако и за одсуство афлатоксина у узорцима кукуруза сакупљеним у различитим производним годинама у Србији. Током 2012. године забиљежени временски услови окарактерисани су као екстремно сушни, при чему је готово цијели период од априла до краја септембра 2012. године био топлији у односу на вишегодишњи просјек (1981-2010); док су у периоду од јуна до септембра забиљежене изузетно високе температуре ваздуха и недостатак падавина. Овакви екстремно сушни услови, окарактерисани су као изузетно повољни за развој плијесни из рода *Aspergillus*, прије свега за *A. flavus* и синтезу афлатоксина. Појава афлатоксина у кукурузу, из 2012. године, одразила се на појаву афлатоксина у готово цијелом ланцу исхране (Lević i sar. 2013; Kos i sar. 2014b), што је проузроковало тзв. „афлатоксинску кризу“ у Републици Србији. Наведена криза била је праћена смјеном министра пољопривреде, протестима пољопривредника, промјенама МДК за АФМ1 у млијеку, као и конфузијом међу потрошачима. Према проценама аутора Radović i sar. (2014) „афлатоксинска криза“ условила је економски губитак за Србију, између 100 и 125 милиона евра. С обзиром да се у Србији наводњава свега 5% до 9% обрадивог земљишта, топло и суво вријеме је и наредних година условило појаву афлатоксина у кукурузу. Године 2013, 2015. и 2017. окарактерисане су такође као веома топле и суве, са наизмјеничним условима благе, умјерене и јаке суше. Према поузданим предвиђањима временских прилика очекује се да ће се, на територији Републике Србије и у окружењу, температура ваздуха повећавати у просјеку за 1,4°C, док ће се број тропских дана повећати за чак 50% (Matović i sar. 2013). На основу тога, а и чињенице да се Србија годинама уназад убраја међу водеће произвођаче и извознике кукуруза, како у Европи тако и у цијелом свијету, неопходно је константно унапређивати производњу кукуруза и заснивати је на принципима добре пољопривредне и произвођачке праксе (Maslac 2016).

У Табели 15.8. приказани су такође резултати вишегодишњих испитивања, у вези са појавом ДОН-а у узорцима кукуруза из Републике Србије. Из приказаних резултата, може се уочити, да је ДОН детектован у узорцима кукуруза из готово сваке испитане године, упркос претходно описаним различитим забиљеженим временским условима. За разлику од *Aspergillus* врста, за развој *Fusarium* врста и синтезу ДОН-а потребни су умјеренији временски услови и температура између 21 и 25°C (Reid and Hamilton 1996). Из Табеле 15.8. се може примети да је највећи ниво контаминације (96%), као и највећа детектована концентрација ДОН-а (9050 µg/kg) забиљежена у узорцима из 2014. године. Као главни разлог за висок ниво контаминације аутори Kos i sar. (2017a) наводе висок ниво падавина. Велике количине падавина забиљежене су током готово цијелог периода од априла до септембра 2014. године, док су током мјесеца маја забиљежене екстремне количине падавине, које уједно представљају и највећу забиљежену

количину падавина од када се спроводе мјерења у Србији, и које су довеле до појаве поплава у различитим регионима Србије. На основу резултата из других производних година приказаних у Табели 15.8. може се закључити да су климатски услови у Србији погодни за раст и развој појединих *Fusarium* врста и синтезу ДОН-а, док је за виши ниво контаминације и више концентрације ДОН-а у кукурузу потребна већа количина падавина.

Табела 15.8. Преглед појаве деоксиниваленола у узорцима кукуруза из Републике Србије анализираних током периода од 2004 до 2018. године.

Table 15.8. A review of the occurrence of deoxynivalenol in maize harvested in the Republic of Serbia in the period 2004-2018.

Година узорковања	Број узорака	Опсег С (µg/kg)	%	Аутори
2004	10	40-2460	5	Jajić i sar. (2008a)
2005	66	40-2210	44	Jajić i sar. (2008a)
2006	21	140-1340	38	Jajić i sar. (2008b)
2007	119	270-1720	25	Jajić i sar. (2008b)
2008	17	нд	-	Jajić i sar. (2008b)
2012	90	600-700	2	Kos i sar. (2014a)
2013	600	260,1-1388	2	Kos i sar. (2017a)
2014	600	260,4-9050	96	Kos i sar. (2017a)
2015	600	252,3-6280	15	Kos i sar. (2017a)
2016	100	275,2-882,0	52	Kos i sar. (2017b)
2017	60	105,5-908,3	67	Kos i sar. (2018b)
2018	100	289,2-698,4	9	Kos i sar. (2019)

нд-није детектовано; С- концентрација; %-процент контаминираних узорака

Поред наведених истраживања, у вези са појавом микотоксина у узорцима кукуруза на територији Републике Србије, објављене су и друге научне публикације које указују на појаву различитих *Fusarium* микотоксина (Stanković i sar. 2012; Јанић Најнал i sar. 2013; Kos i sar. 2014a; Торовић 2018a), охратоксина А (Торовић 2018b; Крнјаја i sar. 2014), *Alternaria* токсина (Јанић Најнал i sar. 2015; 2019) и патулина (Торовић i sar. 2018c) у узорцима жита, различитих прехранбених производа и хране за животиње. Надаље, Јајић i sar. (2019) испитивали су појаву тзв. „хитних“ *Fusarium* микотоксина у узорцима кукуруза сакупљеним на територији Војводине, током периода од три године 2016-2018. Установили су да се микотоксини из групе „enniatiins“ ријетко јављају као контаминенти кукуруза, док су *moniliformin*, *beauvericin* и *fusaproliferin* редом контаминирали узорке кукуруза у сљедећем процентуалном удјелу: 51-91%, 22-87% и 18-73%. Аутори су закључили да је највиши ниво контаминације кукуруза, са наведена три микотоксина, забиљежен у регионима у којима су временске прилике, за вријеме свилања кукуруза, биле окарактерисане са великом количином падавина и високим температурама ваздуха.

Надаље, с обзиром да се млијеко убраја у основне животне намирнице које се свакодневно конзумирају и да уједно представља намирницу са највећим потенцијалним ризиком за унос афлатоксина у организам људи, неопходно је константно спроводити мониторинге контроле млијека. У Републици Српској се поред млијека произведеног у Републици Српској, у великој мјери конзумира и млијеко произведено у Србији. Из тог разлога је извршен преглед научне литературе у вези са појавом АФМ1 у млијеку произведеном у Републици Српској и Србији. Знатно опсежнија испитивања спроведена су у Србији, у односу на Републику Српску. Petković i sar. (2016) испитивали су појаву афлатоксина у 19 узорака млијека и млијечних производа из Републике Српске, при чему није детектовано присуство афлатоксина. Надаље, Tanković (2015) је објавио да је у Босни и Херцеговини током 2013. године чак 30% од испитаних узорака млијека садржало АФМ1 у концентрацији изнад МДК (ЕС 2006b). Опсежном студијом, спроведеном од стране аутора Bilandžić i sar. (2016) било је обухваћено 285 узорака млијека сакупљених из 10 различитих региона Босне и Херцеговине. У испитаним узорцима млијека детектована средња концентрација АФМ1 била је $0,0062 \pm 0,00623 \mu\text{g}/\text{kg}$, док су се детектоване концентрације кретале у опсегу од 0,0014 до 0,06 $\mu\text{g}/\text{kg}$. У само једном узорку детектована концентрација је била виша од 0,05 $\mu\text{g}/\text{kg}$, односно МДК вриједности (ЕС 2006b). Преглед литературе у вези са појавом АФМ1 у узорцима млијека из Републике Србије, приказан је у Табели 15.9. Из Табеле 15.9. се може уочити да је појава високог нивоа контаминације, као и највише детектоване концентрације АФМ1 и највећи број узорака који не задовољава прописе ЕУ, забиљежена у узорцима млијека сакупљених током 2013. године. Према Kos i sar. (2014b) и Škrbić i sar. (2014), чак 99% и 94% узорака млијека редом је било контаминирано са АФМ1, док је надаље према истим ауторима чак 86% и 76% узорака садржало концентрацију АФМ1 изнад МДК прописане Правилником ЕУ (2006b). Поменути аутори навели су да је висок ниво контаминације млијека проузрокован екстремно сушним временским приликама забиљеженим током производне 2012. године, који је утицао на појаву прије свега АФБ1 у кукурузу, а затим и на појаву АФМ1 у млијеку. Надаље, на основу резултата приказаних у Табели 15.9. заснованих на веома опсежним испитивањима, може се уочити да је и током 2015. и 2016. године у Србији детектован висок ниво контаминације АФМ1 и млијеку, док је проценат контаминираних узорака са концентрацијом вишом од МДК био нижи у односу на узорке из 2013. године. Такође, на основу резултата приказаних у Табели 15.9. се може установити, да је у периоду од чак четири године млијеко у Републици Србији представљало изузетан ризик по здравље потрошача.

Табела 15.9. Преглед појаве афлатоксина М1 у узорцима крављег млијека у Србији у периоду 2013-2016. године

Table 15.9. A review of the occurrence of aflatoxin M1 in cow's milk collected in the Republic of Serbia during in the period 2013-2016.

Број узорака	Година узорковања	Опсег С (µg/kg)	%	% С>0,05 µg/kg*	Извор
150	2013	0,01-1,20	99	86	Kos i sar. (2014b)
50	2013	0,001-1,44	94	76	Škrbić i sar. (2014)
20	2015	0,024-0,32	75	75	Torović (2015)
60	2016	0,10-0,104	20	5	Torović (2015)
1876	2015	0,005-1,26	72	25	Milićević i sar. (2017)
4411	2016	0,005-1,10	87	30	Milićević i sar. (2017)

С- концентрација, %-процент контаминираних узорака; * МДК по Регулативи ЕУ

На основу анализе 200 узорака крављег млијека и анализе анкете, која је обухватила 1500 испитаника различитих старосних категорија и полова, Kos i sar. (2014b) спровели су и процјену ризика у вези са појавом АФМ1 у млијеку током 2013. године у Србији (Табела 15.10). Процјена ризика заснивала се на одређивању индекса опасности (eng. „Hazard index“, HI), који је израчунат за три нивоа контаминације, тј. за најмању (0,010 µg/kg), средњу (0,197 µg/kg) и највећу (1,200 µg/kg) детектовану концентрацију АФМ1. Према Kuiper-Godman (1990) свака израчуната HI вриједност већа од 1 представља ризичну вриједност. У Табели 15.10. приказане су израчунате вриједности за HI, на основу чијих високих вриједности као и усљед доказаног канцерогеног, мутагеног, тератогеног и имуносупресивног ефекта АФМ1 на организам људи, се може закључити да је појава АФМ1 у млијеку током 2013. године у Србији условила постојање изузетног ризика за потрошаче. Такође, установљено је и да се са смањењем старосне категорије повећавао ризик од уноса АФМ1 у организам, усљед знатно већег уноса млијека у односу на тјелесну масу потрошача.

Табела 15. 10. Процјена ризика од појаве АФМ1 у млијеку на основу индекса опасности (HI) (Kos i sar. 2014b)

Table 15.10. Risk Assessment of AFM1 in milk based on Hazard Index (HI) (Kos et al. 2014b)

Старосна категорија	Индекс опасности-HI					
	С (AFM1) 0,010 µg/kg		С (AFM1) 0,197 µg/kg		С (AFM1) 1,200 µg/kg	
	М	Ж	М	Ж	М	Ж
1-5	1,54	1,49	30,2	30,2	184	179
5-15	0,56	0,44	10,9	10,9	67,0	53,0
15-25	0,30	0,10	5,95	5,95	35,9	11,9
25-55	0,12	0,13	2,30	2,30	14,0	15,8
>55	0,12	0,17	2,40	2,40	14,5	19,8

М: мушкарци; Ж: жене; С-концентрација

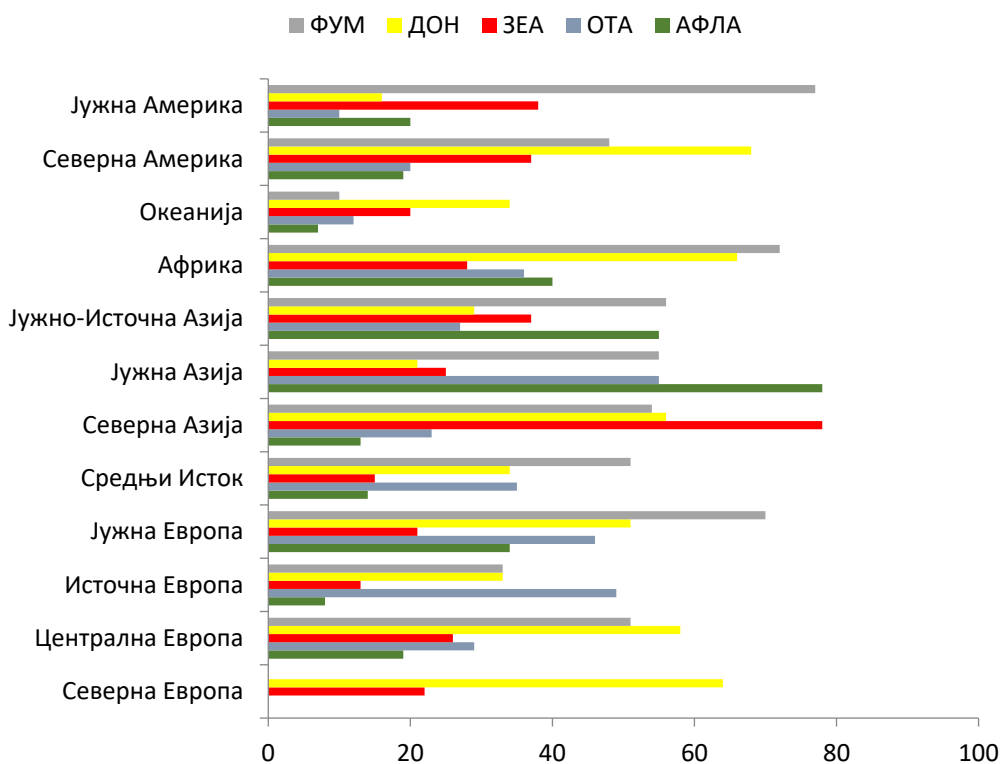
На основу приказаних резултата, у овом дијелу поглавља, може се уочити да је неопходно континуирано повећавати истраживања и ниво доступних података у вези са појавом микотоксина у храни, прије свега у Републици Српској, као и у Србији, како би се на основу јасних показатеља препознали потенцијални ризици, који би се у будућности могли на вријеме предвидјети и минимализовати.

15.5. Распрострањеност микотоксина у свету

Усљед честе појаве микотоксина у храни и њиховог доказаног вишеструког негативног, како здравственог тако и економског ефекта, микотоксини представљају све већи изазов за истраживање широм свијета. До данас је објављено више стотина хиљада различитих научних и стручних публикација које се баве испитивањима микотоксина. Објављена испитивања обухватају различите сегменте из области микотоксикологије: токсичност микотоксина, услове при којима плијесни синтетишу микотоксине, методе које се користе за њихово одређивање, испитивање појаве микотоксина у различитим сировинама, и др. Из свега наведеног се може закључити да микотоксини представљају веома чест предмет испитивања широм свијета, и да се уједно са повећањем броја истраживања свакодневно повећавају и сазнања у вези њих. Тако је на примјер, према подацима са краја XX вијека, око 25% свјетске укупне производње жита било контаминирано са бар једним микотоксином (Charmley et al. 1995). Насупрот томе, данашња савремена истраживања указују на знатно чешћу појаву све већег броја различитих микотоксина на глобалном нивоу. Као главне разлоге за повећану учесталост контаминације, аутори наводе климатске промјене, али и све учесталије и савременије контроле присуства микотоксина, које се заснивају на савременим и изузетно осјетљивим аналитичким методама (Malachová et al. 2014; Kos i sar. 2016; Kos i sar. 2018b; Tittlemier et al. 2019).

Студије спроведене од стране аутора Schatzmayr and Streit (2003), као и студије које спроводи компанија „Biomin“ (www.biomin.net) представљају једне од најопсежнијих свјетских студија у вези појаве микотоксина. На Слици 15.5. приказани су резултати десетогодишњег мониторинга, који је обухватио око 19000 узорака, првенствено узорака жита, из различитих региона свијета (Schatzmayr and Streit 2013). На основу вишегодишњег истраживања, и више од 70 000 спроведених анализа, аутори су закључили да је око чак 72% од испитаних узорака било контаминирано са бар једним микотоксином, док је око 40% узорака садржало два или више различита микотоксина. Као што се може видјети на Слици 15.5. ДОН је био најфреквентнији детектовани микотоксин, док су по регионима ФУМ били најзаступљенији у узорцима из Јужне Америке, Африке и Јужне Европе, а афлатоксини у узорцима из Јужне и Југоисточне Азије. Надаље, истраживања су указала да је ДОН био присутан у највећем броју узорака из Сјеверне Америке, Африке и Сјеверне Европе; ОТА у узорцима из Јужне Азије и Источне и Јужне Европе, док је ЗЕА највише био заступљен у узорцима из Сјеверне Азије. На основу приказаних резултата студије, спроведене од стране

Schatzmayr and Streit (2013), која је обухватила изузетно велики број различитих узорака, може се закључити да је знатан проценат узорака био контаминиран са већим бројем различитих микотоксина. У испитаним узорцима укупно је било детектовано чак 70 различитих метаболита плијесни, док су појединачни узорци садржали између 7 и 34 различитих микотоксина. Од испитаних маскираних и „хитних“ микотоксина најзаступљенији су били: *enniaticins* (94%), *beauvericin* (94%), *DON-3-glucoside* (86%), *culmorin* (86%), *tentoxin* (86%), *15-hydroxyculmorin* (77%) и *toniliformin* (74%). Потребно је истаћи да је уочена знатна разлика у појави метаболита плијесни између различитих региона, на који су, према ауторима студије, највећи утицај имали регионални климатски услови. Ова студија спроведена је примјеном, у то вријеме, једне од највећих метода течне хроматографије са масеном спектрометријом (eng. liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS), развијене од стране Sulyok et al. (2007), којом је у то вријеме било могуће испитати садржај 87 различитих микотоксина.

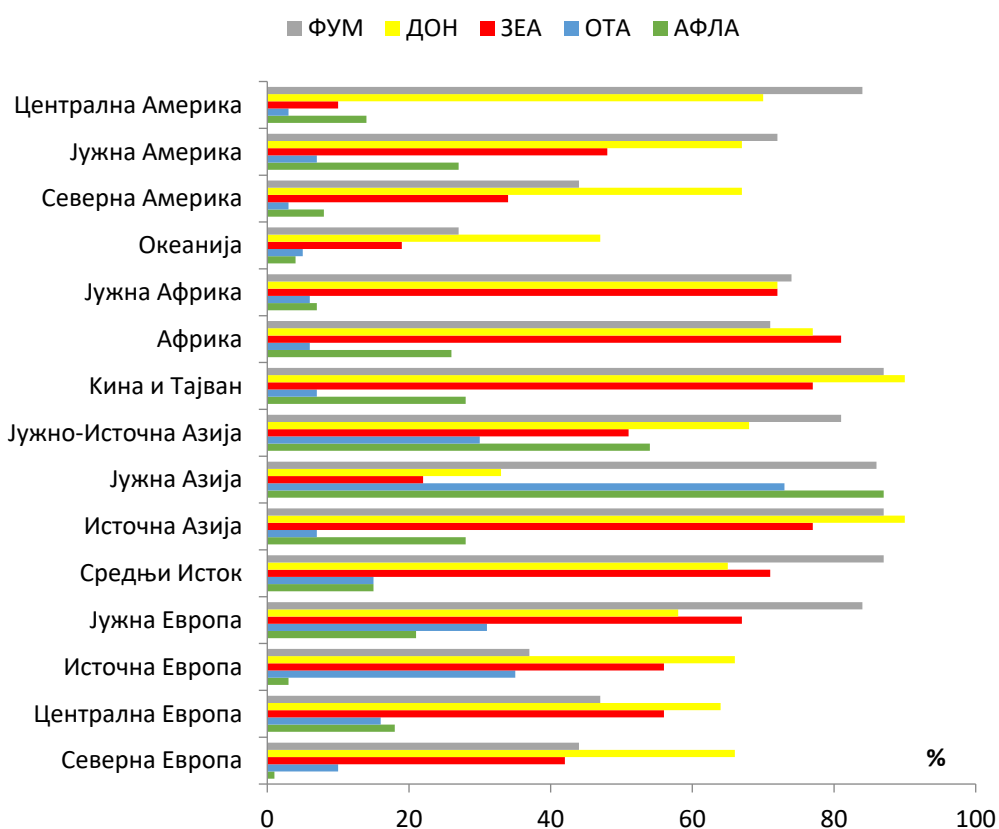


Слика 15.5. Распрострањеност микотоксина у свијету (Schatzmayr and Streit 2013).

Figure 15.5. Mycotoxin prevalence in the surveyed world regions (Schatzmayr and Streit 2013).

Исти тим аустријских аналитичара наставио је са даљим развојем LC-MS методе, која је укључивала све већи број једињења (Malachová et al. 2014). Примјеном наведене методе, компанија „Biotin“ посљедњих година спроводи опсежна испитивања у вези са појавом микотоксина у разноврсним узорцима из

различитих дијелова свијета. Током 2018. године спроведено је чак 81936 анализа, при чему је испитано 18424 узорка из 79 различитих држава (World Mycotoxin Survey 2018, www.biomin.net). Најзаступљенији су били узорци жита (кукуруз, пшеница, јечам, пиринач, сирак и просо) и хране за животиње. Од анализираних узорака 20% је садржало бар један од испитиваних микотоксина, док је чак 70% узорака било контаминирано са више од једним микотоксином. На Слици 15.6. приказани су резултати истраживања у вези са појавом регулисаних микотоксина у 15 различитих региона свијета. Према ауторима извјештаја појава микотоксина у мање од 25% испитаних узорака представља умјерен ризик по здравље људи и животиња, док појава микотоксина у 26% до 50%, 51% до 75% и 76% до 100% испитаних узорака представља редом висок, озбиљан и екстреман ризик.



Слика 15.6. Распрострањеност микотоксина у свијету током 2018. године (Biomin, www.biomin.net)

Figure 15.6. World mycotoxin survey 2018 (Biomin, www.biomin.net)

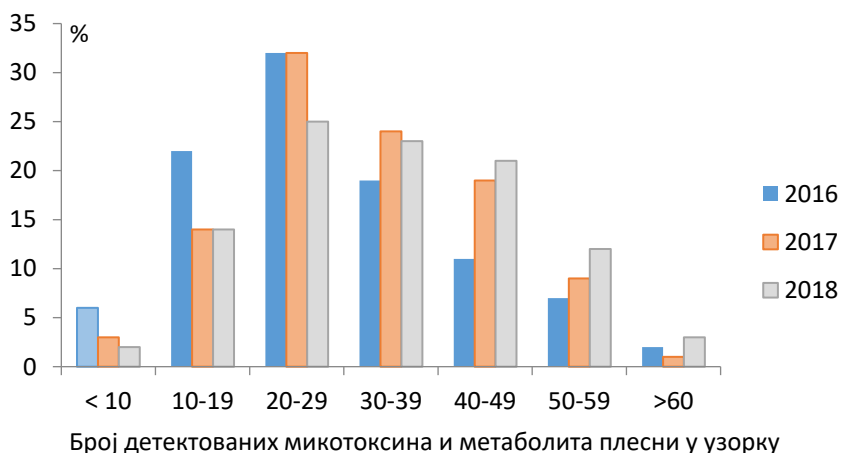
Са Сlike 15.6. може се уочити да је у узорцима из 2018. године ДОН био најфреквентнији микотоксин. У чак 13, од 15 региона, ДОН је био присутан у више од 50% испитаних узорака, док је само у Јужној Азији (33%) и у Океанији (47%) ДОН био присутан у мање од 50% узорака. Екстремно висок ризик од појаве ДОН-а забиљежен је у узорцима из Кине и Тајвана (90%), Источне Азије (82%) и Африке (77%). После ДОН-а, најфреквентнији детектовани микотоксини били су фумонизини, који су у узорцима из 11 различитих региона били присутни на нивоу озбиљног и екстремног ризика. Највећи ризик од појаве ФУМ забиљежен је у узорцима из Азије (81-87%), Централне Америке (84%) и Јужне Европе (84%). Надаље, ЗЕА је у узорцима из Африке (81%), као и у узорцима из Кине и Тајвана (77%) био детектован на нивоу екстремног ризика, док је у 7 региона био детектован на нивоу високог ризика (51-72%). У узорцима из 2018. године афлатоксини су на нивоу екстремног ризика детектовани у Јужној Азији (87%), док су на нивоу озбиљног ризика детектовани у узорцима из Југоисточне Азије (54%). У узорцима из Јужне Америке (27%) и Африке (26%) детектован је висок ниво ризика од појаве афлатоксина, док је у осталим регионима забиљежен умјерен ризик. Највећа заступљеност ОТА забиљежена је у узорцима из Јужне Азије (73%). Из приказаних резултата може се закључити да детектовани нивои микотоксина, у испитаним узорцима из 15 различитих региона свијета сакупљених током 2018. године, представљају изузетан ризик по здравље људи и животиња. Додатни ризик произилази и из чињенице да је у узорцима, из појединих региона свијета, присуство више различитих микотоксина било на нивоу озбиљног и високог ризика.

Надаље, на Слици 15.7. приказани су резултати из студија компаније „Biomim“ у вези са појавом најфреквентнијих микотоксина у узорцима кукуруза сакупљених у пет различитих региона свијета током 2016, 2017. и 2018. године (World Mycotoxin Survey 2016-2018, www.biomim.net). Са Сlike 15.7. се може уочити да су ФУМ били најфреквентнији од испитиваних микотоксина у узорцима кукуруза из свих пет региона и из све три испитане године. Између 67% и 100% испитаних узорака кукуруза било је контаминирано са ФУМ. Други по реду најфреквентнији микотоксин у трогодишњем испитивању кукуруза, био је ДОН, који је детектован у опсегу од 54% до 90% испитаних узорака. Након ФУМ-а и ДОН-а, као најчешћи контаминенти кукуруза детектовани су ЗЕА и АФЛА.

РЕГИОН	ГОДИНА		
	2016.	2017.	2018.
ЕВРОПА	67% ФУМ 66% ДОН	75% ФУМ 71% ДОН	74% ФУМ 65% ДОН 51% ЗЕА
СЕВЕРНА АМЕРИКА	70% ФУМ 73% ДОН 33% ЗЕА	74% ДОН 65% ФУМ 33% ЗЕА	70% ФУМ 68% ДОН
ЈУЖНА И ЦЕНТРАЛНА АМЕРИКА	94% ФУМ 62% ДОН 37% ЗЕА	90% ФУМ 80% ДОН 46% ЗЕА	86% ФУМ 63% ДОН
АЗИЈА	93% ФУМ 87% ДОН 68% ЗЕА 46% АФЛА	98% ФУМ 85% ДОН 63% АФЛА 62% ЗЕА	96% ФУМ 86% ДОН 66% ЗЕА
СРЕДЊИ ИСТОК	79% ФУМ 52% ЗЕА	85% ФУМ 72% ДОН 46% ЗЕА	100% ФУМ 89% ДОН 71% ЗЕА
АФРИКА	86% ФУМ 61% ЗЕА 54% ДОН	90% ДОН 80% ФУМ 39% ЗЕА	84% ДОН 77% ФУМ 72% ЗЕА

Слика 15.7. Најзаступљенији микотоксини у кукурузу у периоду 2016-2018. (World Mycotoxin Survey 2016-2018, www.biomin.net)

Figure 15.7. The most frequent mycotoxins in maize in the period 2016-2018. (World Mycotoxin Survey 2016-2018, www.biomin.net)



Слика 15.8. Заступљеност различитог броја микотоксина и метаболита плесни у узорцима из периода 2016-2018. (World Mycotoxin Survey 2016-2018, www.biomin.net)

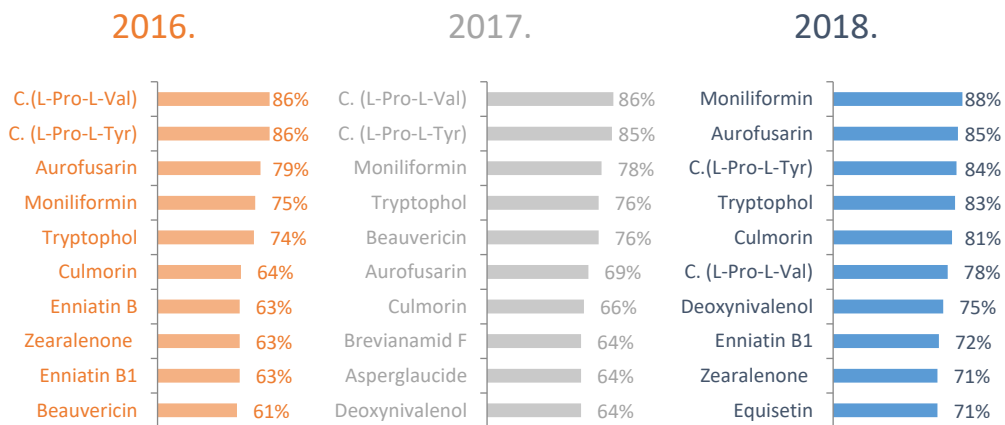
Figure 15.8. Share of different number of mycotoxins and fungal metabolites in samples from the period 2016-2018. (World Mycotoxin Survey 2016-2018, www.biomin.net)

Наведена тврдња, да је у претходним годинама забиљежен пораст броја присутних микотоксина и других метаболита плесни у појединачном узорку, потврђена је такође и на Слици 15.9.



Слика 15.9. Просечан број детектованих метаболита плесни и проценат контаминираних узорака са више од 10 метаболита у узорцима из периода 2016-2018. (World Mycotoxin Survey 2016-2018, www.biomin.net)

Figure 15.9. Average number of detected fungal metabolites and percentage of contaminated samples with more than 10 metabolites collected in the period 2016-2018. (World Mycotoxin Survey 2016-2018, www.biomin.net)

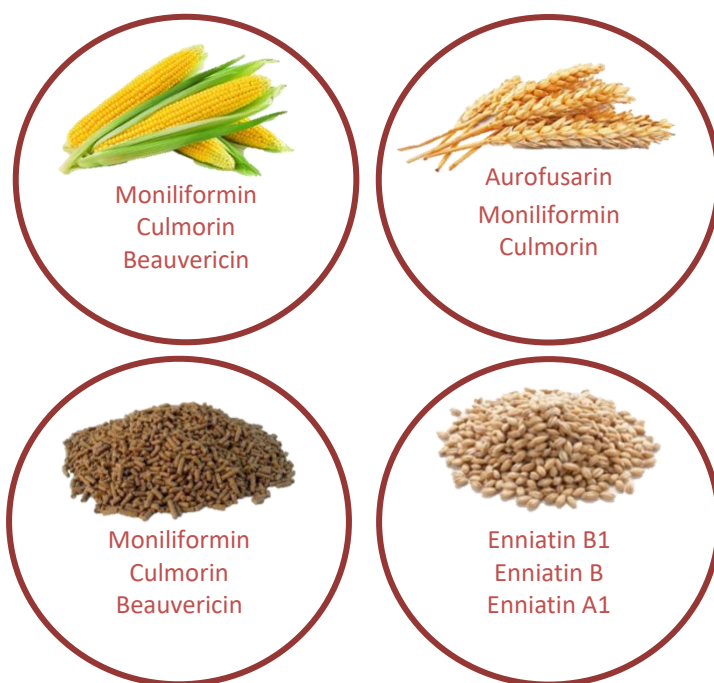


Слика 15.10. Десет најфреквентнијих микотоксина и метаболита плесни у узорцима из периода 2016-2018. (Biomin, www.biomin.net)

Figure 15.10. The most frequent mycotoxins and fungal metabolites in samples from the period 2016-2018. (Biomin, www.biomin.net)

У опсежним студијама компаније „Biomin“ садржани су и резултати везани за најфреквентније микотоксине и метаболите плијесни у узорцима сакупљеним током различитих година. На Слици 15.10. приказано је 10 најфреквентнијих микотоксина и метаболита плијесни у узорцима из периода 2016-2018. године. Из приказаних резултата се може уочити да су узорци најчешће били контаминирани са сљедећим једињењима: *cyclo (L-Pro-L-Val)*, *cyclo (L-Pro-L-Tyr)*, *moniliformin*, *aurofusarin*, *tryptophol* и *culmorin*. Међу 10 најфреквентнијих једињења, од регулисаних микотоксина, јављају се ДОН и ЗЕА; док се у испитаној 2016, 2017. и 2018. години ФБ1 по фреквентности појаве редом налазио на 21, 19. и 27. мјесту.

Такође, према резултатима компаније „Biomin“ утврђено је и који се то микотоксини, осим регулисаних, најчешће јављају као контаминенти кукуруза, пшенице, хране за животиње и јечма (Слика 15.11.).



Слика 15.11. Најфреквентнији „emerging„ микотоксини у кукурузу, пшеници, храни за животиње и јечму (World Mycotoxin Survey 2016-2018, www.biomin.net)
Figure 15.11. The most frequent „emerging„ mycotoxins in maize, wheat, feed and barley (World Mycotoxin Survey 2016-2018, www.biomin.net)

Из свега наведеног у овом дијелу поглавља, може се са сигурношћу тврдити да је данас готово немогуће пронаћи узорак неке сировине, или готове хране и хране за животиње који не садржи бар неколико различитих микотоксина.

15.6. Закључак

У овом поглављу приказане су основне карактеристике, као и фреквенција појаве регулисаних микотоксина. Извршен је преглед доступне литературе из Републике Српске у вези са појавом микотоксина у храни и храни за животиње. С обзиром да се велика количина житарица и прехранбених производа у Републику Српску увози из Републике Србије, извршен је и преглед научне литературе из Србије. Надаље, спроведена је и анализа најопсежнијих савремених свјетских студија у вези са појавом микотоксина. Прегледом литературе је установљено да савремена свјетска истраживања, заснована на најсавременијим аналитичким методама, указују на све већи утицај климатских промјена на појаву како регулисаних, тако и читавог низа новооткривених микотоксина. Истраживања указују на постојање високог ризика усљед чињенице да је данас готово немогуће пронаћи узорак који није контаминиран са бар једним микотоксином. У прилог томе наводи се и трогодишња студија компаније „Biotin“, којом је утврђено да је више од 94% испитаних узорака садржало више од 28 различитих метаболита пљесни.

Усљед наведених климатских промјена, као и доказане стабилности микотоксина према већини метода конзервисања које се примјењују у прехранбеној индустрији, неопходно је повећавати опсег истраживања усмјерених на изналажење рјешења за превенцију, односно смањење контаминације сировина токсигеним пљеснима и микотоксинима. У Републици Српској је, прије свега, неопходно почети континуирано спроводити мониторинге присуства микотоксина у храни, како би се оформиле базе података, које би се надаље користиле за препознавање потенцијалних ризика и избјегавања кризних ситуација. Све наведено је неопходно како би се повећала знања и број доступних података, из области микотоксикологије, а самим тим би се утицало и на производњу здравствено безбједне хране и смањење неповољних утицаја микотоксина, како на здравље потрошача, тако и на економске губитке.

Литература

- Alshannaq A, Yu JH (2017) Occurrence, toxicity, and analysis of major mycotoxins in food. *International journal of environmental research and public health* 14(6): 632-652
- Beretta V, Gaiaschi A, Galli CL, Restani P (2000) Patulin in apple-based foods: Occurrence and safety evaluation. *Food Additives and Contaminants* 17: 399–406
- Berthiller F, Schuhmacher R, Adam G, Krska R (2009) Formation, determination and significance of masked and other conjugated mycotoxins. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 395: 1243–1252

- Bilandžić N, Tanković S, Jelušić V, Varenina I, Kolanović BS, Luburić ĐB, Cvetnić Ž (2016) Aflatoxin M1 in raw and UHT cow milk collected in Bosnia and Herzegovina and Croatia. *Food Control* 68: 352-357
- Biomin, World Mycotoxin Survey 2018, Annual Report No. 15, 1-12, www.biomin.net
- Biomin, World Mycotoxin Survey 2017, Annual Report No. 14, 1-7, www.biomin.net
- Biomin, World Mycotoxin Survey 2016, Annual Report No. 13, 1-7, www.biomin.net
- Bradburn N, Coker RD, Blunden G (1994) The aetiology of turkey 'x' disease. *The International Journal of Plant Biochemistry* 35: 817
- Brase S, Encinas A, Keck J, Nising CF (2009) Chemistry and biology of mycotoxins and related fungal metabolites. *Chemical Reviews* 109: 3903-3990
- Carballo D, Tolosa J, Ferrer E, Berrada H (2019) Dietary exposure assessment to mycotoxins through total diet studies. A review. *Food and Chemical Toxicology* 128: 8-20
- CAST, Council for Agricultural Science and Technology (2003a) Fungal Growth and Mycotoxin Development by Major Mycotoxigenic Fungi. In: *Mycotoxins: Risks in Plant, Animal, and Human Systems*. Ames, Iowa, USA, pp. 20-35
- CAST, Council for Agricultural Science and Technology (2003b) Occurrence of Mycotoxins in Food and Feed. In: *Mycotoxins: Risks in Plant, Animal, and Human Systems*. Ames, Iowa, USA, pp. 36-47
- Charmley LL, Trenholm HL, Prelusky DA, Rosenberg A (1995) Economic losses and decontamination. *Natural Toxins* 3: 199-203
- EC (2006a) European Commission Recommendation EC/2006/576 of 17 August 2006 on the presence of deoxynivalenol, zearalenone, ochratoxin A, T-2 and HT-2 and fumonisins in products intended for animal feeding. *Official Journal of the European Union*. L 229/7
- EC (2006b) European Commission Regulation EC/2006/1881 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*. L 364/5
- EC (2002) European Commission regulation 32/2002 of 7 May 2002 on undesirable substances in animal feed. *Official Journal of the European Union*. L 140(10):1-22
- El Khoury A, Atoui A (2010) Ochratoxin A: general overview and actual molecular status. *Toxins* 2(4): 461-493
- EFSA, European Food Safety Authority (2018) Risks to human and animal health related to the presence of moniliformin in food and feed. *EFSA Journal*, 16(3):5082, 1-95
- EFSA, European Food Safety Authority (2014) Scientific Opinion on the risks to human and animal health related to the presence of beauvericin and enniatins in food and feed. *EFSA Journal* 12(8):3802, 1-174
- Eriksen GS, Pettersson H (2004) Toxicological evaluation of trichothecenes in animal feed. *Animal Feed Science and Technology* 114: 205-239
- MVTBiH, Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine (2018) Godišnji izvještaj iz oblasti poljoprivrede, ishrane i ruralnog razvoja za Bosnu i Hercegovinu 2017: 1-79

- MVTBiH, Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine (2017) Godišnji izvještaj iz oblasti poljoprivrede, ishrane i ruralnog razvoja za Bosnu i Hercegovinu za 2016: 1-119
- Gebrehiwet Y, Ngqangweni S, Kirsten JF (2007) Quantifying the trade effect of sanitary and phytosanitary regulations of OECD countries on South African foods exports. *Agrekon* 46: 23-38
- Gurbay A, Sabuncuoglu SA, Girgin G, Sahin G, Yigit S, Yurdakok M (2010) Exposure of newborns to aflatoxin M1 and B1 from mothers breast milk in Ankara, Turkey. *Food and Chemical Toxicology* 48: 314–319
- Gruber-Dorninger C, Novak B, Nagl V, Berthiller F (2016) Emerging mycotoxins: Beyond traditionally determined food contaminants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 65(33): 7052-7070
- Decastelli L, Lai J, Gramaglia M, Monaco A, Nachtmann C, Oldano F (2007) Aflatoxins occurrence in milk and feed in Northern Italy during 2004-2005. *Food Control* 18: 1263-1266
- FAO - Food and Agriculture Organization (2004) Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003. Food and Nutrition Paper 81. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
- IARC - International Agency for Research on Cancer (2012) IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, 1-628
- IARC - International Agency for Research on Cancer (2002) Monograph on the evaluation of carcinogenic risk to humans, vol. 82. World Health Organization, IARC, Lyon, France. 1-601
- Ivić D, Kovacevik B, Vasilj V, Idžaković N (2011) Occurrence of potentially toxigenic *Fusarium verticillioides* and low fumonisin B1 content on barley grain in Bosnia and Herzegovina. *Journal of applied botany and food quality* 84(2): 121-124
- Jajić I, Dudaš T, Krstović S, Krska R, Sulyok M, Bagi F, Guljaš, D, Stankov A (2019) Emerging *Fusarium* Mycotoxins Fusaproliferin, Beauvericin, Enniatins, and Moniliformin in Serbian Maize. *Toxins* 11(6): 357-371
- Jajić I, Jurić V, Glamočić D, Krstović S (2010) Occurrence of deoxynivalenol and zearalenone in maize. *Contemporary agriculture* 59 (3-4): 227-233
- Jajić I, Jurić V, Abramović B (2008a) First survey of deoxynivalenol occurrence in crops in Serbia. *Food Control* 19(6): 545-550
- Jajić I, Jurić V, Glamočić D, Abramović B (2008b) Occurrence of deoxynivalenol in maize and wheat in Serbia. *International Journal of Molecular Sciences* 9(11): 2114-2126
- Janić Hajnal E, Mastilović J, Bagi F, Orčić D, Budakov D, Kos J, Savić Z (2019) Effect of Wheat Milling Process on the Distribution of *Alternaria* Toxins. *Toxins* 11(3): 139
- 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, Mastilović J (2013) Presence of T-2 and HT-2 toxins in maize. *Matica srpska Journal for Natural Sciences* 124: 131-136
- Kos J, Čolović R, Janić Hajnal E, Bursić G (2019) Mycotoxins in maize harvested from Autonomous Province of Vojvodina in 2018, Sixth International conference

- sustainable postharvest and food technologies INOPTEP 2019, 07-12 April 2019, Kladovo, Serbia, 91
- Kos J, Janić Hajnal E, Malachova A, Steiner D, Stranska M, Krska R, Sulyok M (2018a) Maize: is it a potential source of mycotoxins mixture? IV International Congress Food Technology, Quality and Safety, October 2018, Novi Sad, Serbia, 147
- Kos J, Čolović R, Janić Hajnal E, Bursić G, Vuković G, Bagi F, Tomičić Z (2018b) Screening of mycotoxins in maize harvested from Autonomous Province of Vojvodina in 2017, XXX Nacionalna konferencija procesna tehnika i energetika u poljoprivredi PTEP 2018, 15 – 20. april, 2018. Brzeće, Book of Abstracts, 53
- Kos J, Janić Hajnal E, Šarić B, Jovanov P, Mandić A, Đuragić O, Kokić B (2018c) Aflatoxins in maize harvested in the Republic of Serbia over the period 2012–2016. Food Additives & Contaminants: Part B 11(4): 246-255
- Kos J, Janić Hajnal E, Šarić B, Jovanov P, Nedeljković N, Milovanović I, Krulj J (2017a) The influence of climate conditions on the occurrence of deoxynivalenol in maize harvested in Serbia during 2013–2015. Food Control 73: 734-740
- Kos J, Čolović R, Vukmirović Đ, Đuragić O, Bursić V, Bagi F, Janić Hajnal E (2017b) Aflatoxins, zearalenone, deoxynivalenol and fumonisins contamination of maize from Autonomous Province of Vojvodina. International conference sustainable postharvest and food technologies - INOPTEP 2017 and 29th National conference processing and energy in agriculture - PTEP 2017, 23-28 September, Vršac, Serbia, Book of Abstracts, 167-168
- Kos J, Hajnal EJ, Jajić I, Krstović S, Mastilović J, Šarić B, Jovanov P (2016) Comparison of ELISA, HPLC-FLD and HPLC-MS/MS methods for determination of aflatoxin M1 in natural contaminated milk samples. Acta Chimica Slovenica 63(4): 747-756
- Kos (2015) Aflatoxini: analiza pojave, procena rizika i optimizacija metodologije određivanja u kukuruzu i mleku, Doktorska disertacija, Tehnološki fakultet, Novi Sad, 1-222
- Kos J, Janić Hajnal E, Škrinjar M, Mišan A, Mandić A, Jovanov P, Milovanović I (2014a) Presence of Fusarium toxins in maize from Autonomous Province of Vojvodina, Serbia. Food Control 46: 98-101
- Kos J, Lević J, Đuragić O, Kokić B, Miladinović I (2014b) Occurrence and estimation of aflatoxin M1 exposure in milk in Serbia. Food Control 38: 41-46
- Kos J, Mastilović J, Janić Hajnal E, Šarić B (2013) Natural occurrence of aflatoxins in maize harvested in Serbia during 2009–2012. Food Control 34(1): 31-34
- Kovalsky P, Kos G, Nährer K, Schwab C, Jenkins T, Schatzmayr G, Sulyok M, Krska R (2016) Co-occurrence of regulated, masked and emerging mycotoxins and secondary metabolites in finished feed and maize—an extensive survey. Toxins 8(12): 363-392
- Krnjaja V, Pavlovski Z, Lukić M, Škrbić Z, Stojanović L, Bijelić Z, Mandić V (2014) Fungal contamination and natural occurrence of ochratoxin A (OTA) in poultry feed. Biotechnology in Animal Husbandry 30(3): 481-488
- Kuiper-Goodman T (1998) Food safety: Mycotoxins and Phycotoxins in perspective, In Mycotoxins and Phycotoxins –Developments in Chemistry, Toxicology and Food Safety. Edited by Miraglia M., van Egmond H., Brera C., Gilbert J. Proceedings of the IX IUPAC International Symposium, Fort Collins, CO, Alaken Inc, 25–48

- Kuiper-Goodman T (1990) Uncertainties in the risk assessment of three mycotoxins: aflatoxin, ochratoxin and zearalenone. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 68: 1017-1024
- Lević J, Đuragić O, Kos J, Varga J, Bagi F (2013) The occurrence of aflatoxins in Serbia- from feed to food, The second North and East European Congress on Food, Kiev (Ukraine), May 26-29, 77
- Malachová A, Sulyok M, Beltrán E, Berthiller F, Krska R (2014) Optimization and validation of a quantitative liquid chromatography–tandem mass spectrometric method covering 295 bacterial and fungal metabolites including all regulated mycotoxins in four model food matrices. *Journal of Chromatography A* 1362: 145-156
- Maslac T (2016) US Department of Agriculture (USDA) grain and feed annual. Global Agricultural Information Network (GAIN), 1–22
- Matović G, Gregorić E, Glamočlija D. (2013) Crop production and drought in Serbia in light of climate change. In: Redžepagić S, Simões MCN editors: chapter 12. *Agriculture in Serbia and Portugal: recent developments and economic policy implications*. Portugal: Faculty of Economics of the University of Coimbra; p. 264–286
- Medina Á, Rodríguez A, Magan N (2015) Climate change and mycotoxigenic fungi: impacts on mycotoxin production. *Current Opinion in Food Science* 5: 99-104
- Metzler M, Pfeiffer E, Hildebrand A (2010) Zearalenone and its metabolites as endocrine disrupting chemicals. *World Mycotoxin Journal* 3(4): 385-401
- Milićević DR, Spirić D, Radičević T, Velebit B, Stefanović S, Milojević L, Janković S (2017) A review of the current situation of aflatoxin M1 in cow's milk in Serbia: risk assessment and regulatory aspects. *Food Additives & Contaminants: Part A* 34(9): 1617-1631
- Milićević D, Škrinjar M, Baltić T (2010) Real and perceived risks for mycotoxin contamination in foods and feeds: challenges for food safety control. *Toxins* 2(4): 572-592
- Oliveira PM, Zannini E, Arendt EK (2014) Cereal fungal infection, mycotoxins, and lactic acid bacteria mediated bioprotection: from crop farming to cereal products. *Food microbiology* 37: 78-95
- Petković V, Stanić S, Đermanović M, Bojanić L, Lazić V (2016) The public health significance of controlling contaminants in samples of milk and dairy products in the Republic of Srpska in the period 2010-2012. *Scripta Medica*, 47(2): 94-99
- Pleadin J, Vasilj V, Kudumija N, Petrović D, Vilušić M, Škrivanko M (2017a) Survey of T-2/HT-2 toxins in unprocessed cereals, food and feed coming from Croatia and Bosnia & Herzegovina. *Food chemistry* 224: 153-159
- Pleadin J, Vasilj V, Petrović D, Frece J, Vahčić N, Jahić S, Markov K (2017b) Annual variations of *Fusarium* mycotoxins in unprocessed maize, wheat and barley from Bosnia and Herzegovina. *Croatian journal of food science and technology* 9(1): 11-18
- Pleadin J, Frece J, Kudumija N, Petrović D, Vasilj V, Zadavec M, Škrivanko M, Perković I, Markov K (2016) Citrinin in cereals and feedstuffs coming from Croatia and Bosnia & Herzegovina. *Food Additives & Contaminants: Part B* 9(4): 268-274

- Radović V, Keković Z, Agić S (2014) Development a comprehensive food safety system in Serbia-A narrative review article. *Iranian journal of public health* 43(7): 889-902
- RASFF, The Rapid Alert System for Food and Feed (2018) Annual Report for 2017, https://ec.europa.eu/food/safety/rasff_en
- Reid LM, Hamilton RI (1996) Effect of inoculation position, timing, macroconidial concentration, and irrigation on resistance of maize to *Fusarium graminearum* infection through kernels. *Canadian Journal of Plant Pathology* 18(3): 279-285
- Samapundo S, Devlieghere F, De Meulenaer B, Geeraerd AH, Van Impe JF, Debevere JM (2005) Predictive modelling of the individual and combined effect of water activity and temperature on the radial growth of *Fusarium verticillioides* and *Fusarium proliferatum* on corn. *International Journal of Food Microbiology* 105(1): 35-52
- Schatzmayr G, Streit E (2013) Global occurrence of mycotoxins in the food and feed chain: facts and figures. *World Mycotoxin Journal* 6(3): 213-222
- Scudamore K (2008) Bioactive compounds in Food. In: *Mycotoxins*, Gilbert J, Senyuva HZ (Eds.). Blackwell Publishing Ltd., United Kingdom, pp. 134-172
- Stanković S, Lević J, Ivanović D, Krnjaja V, Stanković G, Tančić S (2012) Fumonisin B1 and its co-occurrence with other fusariotoxins in naturally-contaminated wheat grain. *Food Control* 23(2): 384-388
- Sulyok M, Krska R, Schuhmacher R. (2007) A liquid chromatography/tandem mass spectrometric multi-mycotoxin method for the quantification of 87 analytes and its application to semi-quantitative screening of moldy food samples. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 389: 1505-1523
- Škrbić B, Živančev J, Antić I, Godula M (2014) Levels of aflatoxin M1 in different types of milk collected in Serbia: Assessment of human and animal exposure. *Food Control* 40: 113-119
- Tanković S (2015) The development, validation and comparison of methods for the detection and quantification of aflatoxin M1 residues in milk. Doctoral thesis, Faculty of Veterinary Medicine in University of Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
- Tittlemier SA, Cramer B, Dall'Asta C, Iha MH, Lattanzio VMT, Malone RJ, Maragos C, Solfrizzo M, Stranska-Zachariasova M, Stroka J (2019) Developments in mycotoxin analysis: an update for 2017-2018. *World Mycotoxin Journal* 12(1): 3-29
- Torović Lj (2018a) *Fusarium* toxins in corn food products: a survey of the Serbian retail market. *Food Additives & Contaminants Part A* 1-14
- Torović Lj (2018b) Aflatoxins and ochratoxin A in flour: a survey of the Serbian retail market. *Food Additives & Contaminants: Part B* 11(1): 26-32
- Torović L, Dimitrov N, Lopes A, Martins C, Alvito P, Assunção R (2018c) Patulin in fruit juices: occurrence, bioaccessibility, and risk assessment for Serbian population. *Food Additives & Contaminants: Part A* 35(5): 985-995
- Torović Lj (2015) Aflatoxin M1 in processed milk and infant formulae and corresponding exposure of adult population in Serbia in 2013–2014. *Food Additives & Contaminants: Part B* 8(4): 235-244

- Vaclavikova M, Malachova A, Veprikova Z, Dzuman Z, Zachariasova M, Hajslova J (2013) 'Emerging' mycotoxins in cereals processing chains: Changes of enniatins during beer and bread making. *Food chemistry* 136(2): 750-757
- Veprikova Z, Zachariasova M, Dzuman Z, Zachariasova A, Fenclova M, Slavikova P, Vaclavikova M, Mastovska K, Hengst D, Hajslova J (2015) Mycotoxins in Plant-Based Dietary Supplements: Hidden Health Risk for Consumers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 63: 6633-6643
- Zvizdić S, Hamzić S, Rodinis-Pejić I, Avdić-Kamberović F, Bektaš S, Sacić E (2009) Detection of Mycotoxins in Selected Food Samples. *Materia Socio-Medica* 21(3): 156
- Williams JH, Phillips TD, Jolly PE, Stiles JK, Jolly CM, Aggarwal D (2004) Human aflatoxicosis in developing countries: a review of toxicology, exposure, potential health consequences, and interventions. *The American Journal of Clinical Nutrition* 80: 1106-1122
- WHO, World Health Organization (2015) Meeting Report on the 5th International Workshop on Total Diet Studies. World Health Organization WPRO, Korea Ministry of Food and Drug Safety, and Korea Health Industry Development Institute. Seoul, Republic of Korea, 13-14 May 2015, World Health Organization Regional Office for the Western Pacific, Manila, Philippines

Mycotoxins in food and the risk to consumer health

Kos J Jovana

Mycotoxins are secondary metabolites of filamentous fungi mainly produced by *Fusarium*, *Alternaria*, *Aspergillus* and *Penicillium* species. Presence of mycotoxins in food and feed may have numerous health consequences, for both human and animals. Furthermore, occurrence of fungi and mycotoxins in food and feed can cause great economic losses. Therefore, in the recent decades mycotoxins are recognized as significant worldwide concern. Although several hundred different mycotoxins are known, obligatory control as well as maximum levels are defined only for the following mycotoxins: aflatoxins, ochratoxin A, deoxynivalenol, zearalenone, fumonisins and patulin. However, in the recent years, scientific attention is increasingly focused on many new mycotoxins and their involvement in different adverse effects on human and animals health. Furthermore, climate changes are recognized as important factors that seriously affect recent increases in fungi and mycotoxins occurrence worldwide. Based on everything stated above it could be noticed that mycotoxins, as one of the most toxic and the most frequent chemical contaminants of food chain, represent serious concerns and a growing global problem. However, due to non-implementation of continuous control and permanent monitoring of mycotoxins, there is still lack of data related to the occurrence of mycotoxins in the Republic of Srpska. There is a need for Republic of Srpska to enhance the control strategy of mycotoxins which would be

greatly contribute to the increase of available data and further improvement of food and feed quality and safety, as well as decrease of economic losses.

The aim of this chapter is to present an overview of the most significant and most recent researches related to the occurrence of mycotoxins in food.

Key words: Mycotoxins, Risk to consumer health, Republic of Serbia,
Republic of Srpska