

Micotoxines: una gestió del risc complexa

Sonia Marín, Vicente Sanchis, Francisco Molino, Antonio J. Ramos

Departament de Tecnologia d'Aliments, AGROTECNIO-CERCA Center, Universitat de Lleida (UdL), Lleida

REBUT: 20 D'AGOST DE 2021 - ACCEPTAT: 12 DE GENER DE 2022

RESUM

Les micotoxines són metabòlits secundaris produïts per certs fongs presents en productes agroalimentaris que provoquen un conjunt d'efectes aguts o crònics adversos, com la genotoxicitat, la carcinogenicitat o la immunosupressió, en humans i animals. Causen pèrdues econòmiques importants a la ramaderia per la reducció de la productivitat, l'augment de la incidència de malalties, el dany crònic dels òrgans vitals i la disminució del rendiment reproductiu que produeixen. En aquest article es revisen a la bibliografia les dades d'incidència a Catalunya i les estratègies de control aplicables per a mitigar-ne la presència en aliments.

Per tal de maximitzar la seguretat dels consumidors i millorar la sanitat animal, són necessàries estratègies per a inhibir el creixement de fongs toxigènics als cultius i reduir-hi la presència de micotoxines. No és probable aconseguir estratègies per a la prevenció i per al control de les micotoxines mitjançant una sola actuació; cal una combinació de bones pràctiques agrícoles, condicions d'emmagatzematge i control ambiental adequades i bones pràctiques de fabricació, que incloguin programes d'assegurament de

Correspondència: Sonia Marín, Departament de Tecnologia d'Aliments, Universitat de Lleida (UdL). Av. Rovira Roure, 191. 25198 Lleida. Tel.: 973 702 542. A/e: sonia.marin@udl.cat.

la qualitat garantistes i mètodes de descontaminació segurs. Els mètodes més eficaços són els que eviten la infecció per fongs i, en conseqüència, la producció de micotoxines.

PARAULES CLAU: micotoxines, seguretat alimentària, cereals, cultiu, postcollita, indústria alimentària.

Mycotoxins: Complex risk management

ABSTRACT

Mycotoxins are secondary metabolites produced by certain fungi present in agri-food products that cause a range of acute or chronic adverse effects – such as genotoxicity, carcinogenicity or immunosuppression – in humans and animals. They cause significant economic losses to livestock due to reduced productivity, increased incidence of disease, chronic damage to vital organs, and decreased reproductive performance. This article reviews the incidence data in Catalonia and the control strategies applicable to the mitigation of mycotoxins in food.

Strategies are needed to inhibit the growth of toxigenic fungi in crops and to reduce the presence of mycotoxins in order to maximize consumer safety and to improve animal health. Strategies for the prevention and control of mycotoxins are unlikely to be achieved through a single treatment, requiring a combination of good agricultural practices, appropriate storage and environmental control conditions, and good manufacturing practices, including proper quality assurance and safe decontamination methods. The most effective methods are those that prevent fungal infection and, consequently, the production of mycotoxins.

KEYWORDS: mycotoxins, food security, cereals, cultivation, postharvest, food industry.

Micotoxinas: una gestión del riesgo compleja

RESUMEN

Las micotoxinas son metabolitos secundarios producidos por ciertos hongos presentes en productos agroalimentarios que provocan un conjunto de efectos agudos o crónicos adversos, como la genotoxicidad, la carcinogenicidad o la inmunosupresión, en humanos y animales. Causan pérdidas económicas importantes en la ganadería debido a la reducción de la productividad, el aumento de la incidencia de enfermedades, el daño crónico de los órganos vitales y la disminución del rendimiento reproductivo. En este artículo se revisan en la bibliografía los datos de incidencia en Cataluña y las estrategias de control aplicables a la mitigación de su presencia en alimentos.

Para maximizar la seguridad de los consumidores y mejorar la sanidad animal, son necesarias estrategias para inhibir el crecimiento de hongos toxigénicos en los cultivos y reducir la presencia de micotoxinas. No es probable conseguir estrategias para la prevención y para el control de las micotoxinas mediante un solo tratamiento; hace falta una combinación de buenas prácticas agrícolas, condiciones de almacenamiento y control ambiental adecuadas y buenas prácticas de fabricación, que incluyan programas de aseguramiento de la calidad adecuados y métodos de descontaminación seguros. Los métodos más eficaces son los que evitan la infección por hongos y, en consecuencia, la producción de micotoxinas.

PALABRAS CLAVE: micotoxinas, seguridad alimentaria, cereales, cultivo, poscosecha, industria alimentaria.

1. Les micotoxines en els aliments

Les micotoxines són metabòlits secundaris sintetitzats per una varietat d'espècies de fongs filamentosos com *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* i *Claviceps*. Constitueixen un grup tòxic, estructuralment divers, de compostos de pes molecular generalment baix. S'han identificat prop d'unes quatre-centes micotoxines produïdes per més de cent espècies de fongs. Entre les que afecten la ramaderia i la salut pública, es considera que les més tòxiques són les aflatoxines, els tricotecens, les ocratoxines, la zearaleno-na, les fumonisines, la patulina, la citrinina i els alcaloides de l'ergot. Les afeccions causades per les micotoxines s'anomenen *micotoxicosis*.

Les micotoxines poden accedir al cos humà i animal mitjançant els aliments i els pinsos, ja que contaminen molts productes agrícoles bàsics. El 25 % dels productes agrícoles mundials estan contaminats per micotoxines per sobre dels límits legals o recomanats al Codex Alimentarius, mentre que el 60-80% presenten nivells detectables, cosa que provoca greus pèrdues econòmiques (Eskola *et al.*, 2020).

El creixement dels fongs i la producció de toxines es pot produir en qualsevol fase del cultiu, la collita o l'emmagatzematge. La contaminació per micotoxines és un problema mundial i és més freqüent en països on la recol·lecció, les tècniques de producció o les condicions d'emmagatzematge són inadequades. La presència de fongs micotoxigènics no comporta, forçosament, la producció de micotoxines. Perquè es produeixin, a més de les característiques genètiques de la soca, es requereixen condicions específiques de temperatura, activitat d'aigua, pH, oxigen i de composició del substrat.

La temperatura òptima de creixement dels fongs micotoxigènics varia de 20 °C a 37 °C i per a la producció de toxines és de 20-30 °C. A temperatures més baixes també es poden produir, però la velocitat de producció es redueix i la concentració de toxines baixa. El rang òptim de l'activitat d'aigua (a_w) varia de 0,83 a 0,99 a_w (Marín *et al.*, 2013). La humitat relativa elevada (70-90%) augmenta la probabilitat de creixement i producció. El sòl i l'aire són entorns naturals d'algunes espècies de fongs micotoxigènics, cosa que fa que la prevenció contra la contaminació per micotoxines sigui difícil.

Les micotoxines es troben generalment en cereals i derivats, fruita seca i espècies. Quan els animals de producció s'alimenten amb pinsos contaminats, les micotoxines se'ls poden acumular als teixits, de manera que els aliments d'origen animal, com ara la llet, i menys comunament, els ous o la carn, també poden contenir toxines. La contaminació per micotoxines en aliments es considera un problema imprevisible i de difícil solució per la seva resistència als tractaments amb altes temperatures i químics o físics (Alshannaq i Yu, 2017). Si bé en el passat han tingut lloc brots d'intoxicació aguda per micotoxines, avui dia, als països desenvolupats, els efectes més freqüents que tenen sobre la salut són crònics, i manifesten efectes com la nefrotoxicitat, l'hepatotoxicitat, la immunosupressió, la carcinogenicitat i la teratogenicitat. En la ramaderia, causen pèrdues econòmiques importants pels efectes adversos en els animals de producció, els quals deriven en una reducció de la productivitat, un augment de la incidència de malalties, el dany crònic dels òrgans vitals, una disminució del rendiment reproductiu, etc.

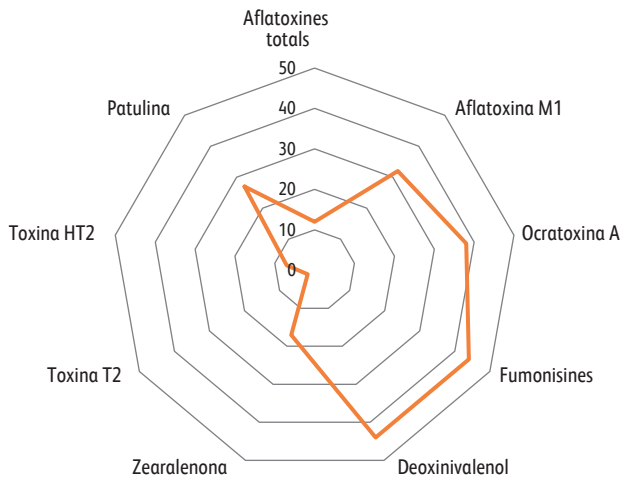
Com a resultat, la Comissió Europea ha imposat uns nivells màxims per a les micotoxines que suposen més risc en diferents categories d'aliments (Reglament CE 1881/2006, Comissió Europea, 2006a), i també per a l'aflatoxina B₁ en pinsos (Directiva 2002/32/CE, Comissió Europea, 2002).

2. Les micotoxines a Catalunya

L'estudi de dieta total de micotoxines a Catalunya 2008-2009 publicat per l'Agència Catalana de Seguretat Alimentària el 2014 (Cano-Sancho *et al.*, 2014) va posar de manifest que la presència de micotoxines en els aliments procedents del mercat català, en general, era baixa. Les micotoxines que es trobaven amb més freqüència eren els tricotecens tipus B (principalment el deoxinivalenol), les fumonisines i l'ocratoxina A (figura 1), però els nivells de concentració als quals es quantificaven es trobaven per sota del nivell màxim establert per la Comissió Europea. Els grups de població més exposats a les micotoxines eren els nadons, els infants i el col·lectiu de població nouvinguda. En tots els casos, els nivells d'exposició mitjana d'aquestes micotoxines es trobaven per sota dels nivells màxims establerts. Tanmateix, l'exposició al deoxinivalenol i les toxines T-2 i HT-2 podia excedir aquest llindar en els percentils alts dels grups de població més exposada.

FIGURA 1

Percentatge de mostres amb nivells detectables* de micotoxines obtingudes d'aliments susceptibles de contenir-les



* Concentracions del rang de ng/kg (ppt).

FONT: Elaboració pròpia a partir de Cano-Sancho *et al.* (2014).

D'altra banda, les actuacions de vigilància i control que els departaments d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural i de Salut de la Generalitat de Catalunya i l'Associació Catalana de Fabricants d'Aliments Compostos (ASFAC) van dur a terme a

Catalunya sobre aquests contaminants durant el trienni 2011-2013 (Generalitat de Catalunya, 2015), mostren un elevat compliment dels continguts màxims en els aliments i pinsos establerts en la legislació. En el cas dels pinsos, la Unió Europea (UE) només ha establert nivells màxims per a l'aflatoxina B₁, i per a la resta ha fet una recomanació de límits (Recomanació 2006/576/CE, Comissió Europea, 2006b). Tot i això, les fàbriques de pinsos sovint imposen límits més estrictes als establerts a les recomanacions dins dels seus autocontrols.

Les dades generades entre els anys 2017-2021 per l'associació QualimaC¹ mitjançant l'anàlisi de matèries primeres per a pinsos que ingressen al país a través dels ports de Catalunya mostren una situació estable. Durant aquests anys s'han fet 10.111 anàlisis (taula 1). Els percentatges més alts de resultats positius es donen en deoxinivalenol (13-33 %) i fumonisina B₁ (19-32 %), seguits de zearalenona (15-24 %); en canvi, l'aflatoxina B₁, l'única legislada, presenta una freqüència de resultats positius molt inferior.

TAULA 1

Percentatge d'anàlisis amb resultat superior al límit de detecció (LD) durant el període 2017-2021

Micotoxina	N	2017	2018	2019	2020	2021	2017-2021	LD (µg/kg)
Aflatoxina B ₁	1.357	1,8	6,2	4,8	3,0	3,7	4,1	1
Aflatoxina B ₂	1.291	4,8	0,8	0,8	0,7	0,9	1,1	5
Aflatoxina G ₁	1.291	4,8	2,4	3,4	0,9	1,7	2,2	5
Aflatoxina G ₂	1.291	2,0	0,0	0,8	0,0	0,4	0,4	5
Deoxinivalenol	1.233	13,2	24,6	32,6	21,7	28,9	39,6	100
Fumonisina B ₁	1.234	18,9	29,9	32,4	29,5	25,5	30,5	20
Fumonisina B ₂	1.180	20,7	26,5	23,0	24,4	19,2	33,3	50
Zearalenona	1.234	21,50	22,5	24,3	12,3	15,1	22,4	10

NOTA: N: nombre de mostres analitzades per cada toxina en el període.

FONT: Elaboració pròpia a partir de dades obtingudes per l'associació QualimaC.

Pel que fa a les concentracions observades a les mostres que resulten positives, s'obtenen nivells mitjans i màxims sempre per sota dels límits legals i recomanats per la CE; els nivells de fumonisines són els més baixos comparats amb la recomanació (taula 2).

El deoxinivalenol es detecta principalment en mostres de gra i solubles de destil·leria (DDGs, de l'anglès *dried distillers grains with solubles*) procedents dels Estats Units (EUA) i Romania; panís procedent del Canadà i dels EUA, i blat i ordi de Romania. La fumonisi-

1. QualimaC és una associació empresarial sense ànim de lucre que vetlla per la qualitat i la seguretat de les primeres matèries agroalimentàries importades destinades a la producció de pinsos.

na B₁ es detecta principalment en mostres de DDGs procedents dels EUA i Romania; panís del Brasil i dels EUA, i blat de Romania. La zearalenona s'ha detectat principalment en DDGs dels EUA, panís del Canadà i pel·lofa de soja de l'Argentina. Finalment, l'aflatoxina B₁ es detecta principalment en mostres de panís procedent del Brasil, Ucraïna, els EUA i Romania; DDGs dels EUA, i blat d'Ucraïna i Romania.

TAULA 2

Concentració de micotoxines en mostres de matèries primeres

	Mitjana (µg/kg)	Desviació estàndard (µg/kg)	Màxim (µg/kg)	Continguts màxims o valors orientatius recomanats a la UE (µg/kg)
Aflatoxina B ₁	2,1	2,1	11,0	20
Aflatoxina B ₂	1,1	0,8	2,9	—
Aflatoxina G ₁	2,1	1,7	6,4	—
Aflatoxina G ₂	1,6	0,3	1,9	—
Deoxivalenol	393,1	631,8	4.870,0	8.000
Fumonisina B ₁	593,8	723,7	4.930,0	60.000 (fumonisina B ₁ + B ₂)
Fumonisina B ₂	234,6	229,8	1.560,0	
Zearalenona	79,9	155,3	2.210,0	2.000

FONT: Elaboració pròpia a partir de dades obtingudes per l'associació QualimaC.

A la UE, el 2019, el Sistema d'Alerta Ràpida per a Aliments i Pinsos (RASFF) (Comissió Europea, 2020) va generar 590 notificacions degudes a micotoxines en aliments, de les quals 440 eren deteccions en fronteres i, per tant, d'aliments que van ser rebutjats. Les aflatoxines eren les micotoxines comunicades més freqüentment en els aliments, es-

TAULA 3

Notificacions d'alertes per micotoxines a la UE el 2020, generades pel RASFF

Aflatoxines	343
Deoxivalenol	6
Fumonisines	4
Ocratoxina A	41
Zearalenona	1
Patulina	3
Total de notificacions	422

FONT: Comissió Europea (2021).

pecialment en la fruita seca, de països no membres. L'ocratoxina A es trobava principalment en fruites i verdures, en particular en panses, seguides de les figues seques. De les notificacions de micotoxines en pinsos (32), totes menys dues concernien a les aflatoxines. La situació per al 2020 es mostra a la taula 3.

3. Mesures de prevenció al camp

El primer punt d'entrada de les micotoxines a la cadena alimentària és el camp, on la climatologia és determinant. Per exemple, la presència de *Fusarium* en cereals a Catalunya és més habitual que la d'*Aspergillus*, més adaptat a climes més càlids (Sayeras, Serra i Solanes, 2018). La recerca en l'àmbit del camp a Catalunya —on les toxines de *Fusarium*, diferents de les fumonisines en panís, venen de cereals importats— s'ha centrat en els darrers anys en la reducció del contingut de micotoxines en panís. Hi ha molt pocs estudis de camp publicats a escala de Catalunya que incloguin altres cereals.

Fusarium verticilloides produeix fumonisines i es presenta com un miceli blanc que colonitza el panís en la fase de sedes o a través de lesions produïdes per insectes en el gra, i creix aprofitant condicions climàtiques adequades i posteriorment produeix fumonisines sota condicions d'estrès de la planta. *Fusarium graminearum* produeix, entre d'altres, deoxinivalenol i zearalenona, i es presenta com un miceli rosa que colonitza les panotxes i les espigues.

A la major part de les zones de cultiu de cereals de Catalunya es donen condicions climatològiques favorables al desenvolupament de *F. verticillioides*, principalment els anys amb una pluviometria més elevada i temperatures altes després de la floració. També és habitual que hi hagi condicions favorables per a la infecció de *F. graminearum*, principalment a les zones de producció amb temperatures més moderades (la Garrotxa, Osona, etc.) i en els anys amb períodes amb temperatures inferiors i precipitacions superiors a les habituals (Serra *et al.*, 2018a). Les principals micotoxines presents en el panís per a gra en les darreres campanyes a Catalunya són les fumonisines, el deoxinivalenol i la zearalenona (Serra *et al.*, dades no publicades).

El període crític per a la infecció de fongs productors de micotoxines en panís s'inicia durant la floració femenina (les floracions més precoces es donen la segona quinzena de juny) i s'allarga fins a la recol·lecció (majoritàriament al setembre i octubre). Les condicions climatològiques que s'enregistren durant aquest espai de temps poden condicionar l'espècie de fong que ataca el cultiu (Serra *et al.*, 2018a).

A més, hi ha tota una sèrie de factors que poden influir tant en la colonització dels cultius per espècies toxigèniques, com en la producció posterior de micotoxines en els cultius, els quals es tracten a continuació.

3.1. Tria de varietats

La sembra de varietats que mostren resistència als fongs productors de micotoxines és l'opció més sostenible per a reduir el risc de micotoxines. La resistència a l'atac d'insectes de les diferents varietats és també molt important, ja que produeixen lesions al gra i l'es-piga o panotxa i, consegüentment, afavoreixen l'atac de fongs. Les varietats convencionals presenten sistemàticament continguts en fumonisines més elevats que les seves iso-gèniques transgèniques. Finalment, són interessants les varietats millor adaptades a situacions de baixa disponibilitat d'aigua, perquè es veuen menys afectades per l'estrès hídric.

El cicle de les varietats escollides ha de ser l'adequat per la data de sembra i el règim tèrmic de cada zona productora, de manera que els estadis de més risc d'atac de fongs (de la floració femenina a la recol·lecció) no coincideixin amb condicions ambientals favorables per a la infecció fúngica (Serra, López i Sayeras, 2020).

3.2. Pràctiques culturals que minimitzen la presència d'inòcul al camp

El monocultiu de panís o la rotació amb altres cereals contribueix a augmentar el risc de contaminació per micotoxines. Per a disminuir-ne el risc és recomanable introduir en la rotació cultius que no són hostes tan importants d'aquests fongs com el pèsol proteagi-nós, la colza, el gira-sol, etc.

Les restes del conreu precedent, principalment si s'ha vist afectat per fongs produc-tors de micotoxines, en poden ser una de les principals fonts. Per a minimitzar el risc és convenient retirar els residus de la parcel·la. L'enterrament de les restes a una certa pro-funditat amb una llaurada permet reduir el nivell de contaminació. Per contra, la sem-bra directa pot facilitar la contaminació del cultiu.

3.3. Pràctiques culturals que minimitzen la proliferació dels fongs micotoxigènics

Depenent de quina sigui la data de sembra i el cicle de la varietat, el període de més risc d'infecció per fongs pot coincidir amb condicions climatològiques més o menys favora-bles per al seu desenvolupament. La presència de micotoxines sol augmentar en les sem-bres més tardanes, quan es dona la maduresa fisiològica més enllà de mitjan octubre. Si bé hi ha una gran variabilitat entre anys, normalment les sembres més precoces acostu-men a presentar continguts en micotoxines inferiors a les més tardanes. A la major part

de les zones dels regadius de Lleida i del litoral de Girona no seria recomanable sembrar varietats dels cicles llargs i mitjans (FAO 700, FAO 600 i FAO 500) més enllà de primers de juny (Serra *et al.*, 2018b).

Es recomana en els regadius per aspersió no abusar del reg durant el període de floració, i en general des d'aquest estadi fins a la maduresa fisiològica (Sayeras, Serra i Solanes, 2018).

És molt important evitar estressos al cultiu, en particular els deguts a dèficits d'aigua. Els estressos hídrics són una de les situacions que més afavoreix les infeccions fúngiques, i l'estrès nutricional també és important. Les densitats de sembra elevades afavoreixen la presència de micotoxines. Algunes plagues poden provocar ferides a la planta i a la panotxa, que poden ser el punt d'inici d'infeccions dels fongs productors de micotoxines. Els principals insectes implicats són els barrinadors del panís (*Sesamia nonagrioides* i *Ostrinia nubilis*) i cuc de la panotxa (*Helicoverpa armigera*). El control d'aquestes plagues és una pràctica fonamental per a reduir el contingut en micotoxines; les plantes amb un nivell elevat d'estrès tenen una reacció de defensa menys eficaç davant d'una infecció.

La lluita directa contra els fongs productors de micotoxines en panís no és senzilla. Una opció són els tractaments fungicides específics, que evitin el creixement dels fongs després de la floració, encara que hi ha poques matèries actives autoritzades.

No és aconsellable retardar la data de recol·lecció més enllà del mes d'octubre. Els resultats d'assajos han mostrat que si s'endarrerix la recol·lecció des del setembre fins al novembre es pot duplicar o triplicar la presència de fumonisines (Serra *et al.*, 2018b).

En resum, pel que fa a les fumonisines en panís, els factors més determinants són la data de sembra, l'atac dels barrinadors, la varietat i la data de collita. En el cas del deoxinivalenol i la zearalenona, els més determinants són les dates de sembra i collita, i en menor mesura la gestió de residus, la varietat i la densitat de sembra (Projecte Micocat, 2014-2020).

En el moment de la recol·lecció s'ha de regular adequadament la recol·lectora, de manera que deixi el gra net (sense restes d'espigots, etc.) i se n'eviti el trencament. Un cop recol·lectat, s'ha d'assecar al més aviat possible per a dur-lo a un nivell d'humitat que aturi la multiplicació dels fongs definitivament (12-13 %).

4. Mesures de mitigació en postcollita

La indústria alimentària ha d'aplicar controls seguint els seus plans d'anàlisi de perills i punts de control crític (APPCC) per a garantir que els aliments no representin cap perill per a la salut humana, així com per a identificar l'origen de la contaminació per aquestes

substàncies indesitjables i adoptar les mesures preventives dirigides a reduir o eliminar aquest perill.

Els resultats dels programes SIVAC (Sistema de vigilància sanitària dels aliments a Catalunya, Agència de Salut Pública de Catalunya) i IQSA (Programa d'investigació de la qualitat sanitària dels aliments, Agència de Salut Pública de Barcelona) entre 2011-2013 indiquen que la indústria alimentària aplica autocontrols eficaços (Generalitat de Catalunya, 2015). Es van fer 1.402 anàlisis i només es van detectar set casos no conformes (per sobre dels límits legals), cosa que representa un 0,5 % del total. No obstant això, i atès que en alguns aliments es detecten micotoxines per sota del límit legal amb freqüència, com ara en el vi, el cafè i els cereals, cal que les empreses alimentàries continuïn aplicant controls higienicosanitaris estrictes sobre les matèries primeres.

En el control dels aliments i els pinsos s'utilitza una àmplia gamma de mesures en les diferents etapes de la cadena, des de la producció primària, passant pel processament i fabricació, el transport i distribució, l'emmagatzematge i venda al detall fins a la preparació i el consum final. D'acord amb García-Cela *et al.* (2012), en la indústria alimentària, les mesures de control van (o han d'anar) dirigides a: assegurar el control dels nivells inicials de micotoxines, prevenir un augment inacceptable de micotoxines i reduir o eliminar les micotoxines presents.

4.1. Assegurar el control dels nivells inicials de micotoxines

Les mesures següents són destinades a reduir el risc d'entrar matèries primeres contaminades a l'establiment: evitar fruita seca i deshidratada; evitar espècies de certs orígens; evitar matèries primeres de productors primaris que no s'adhereixin a les bones pràctiques agrícoles; establir especificacions amb els proveïdors i requerir-los documentació verificable, per exemple, certificats d'anàlisi que acreditin l'estat de la matèria primera entrant, i mitjançant mètodes adequats basats en criteris establerts per a rebutjar productes inacceptables.

Cal tenir present que l'eficàcia de les analítiques de laboratori de cara a la gestió del risc per micotoxines depèn molt del pla de mostreig implementat. Cal adequar el nombre de mostres a la mida del lot en qüestió, i parar especial atenció a la distribució espacial i temporal de la presa de les mostres elementals que conformaran la mostra global, així com a l'homogeneïtzació i trituració correctes per a obtenir la mostra de laboratori final. En els darrers anys s'ha investigat intensament per a dotar la indústria alimentària de mètodes analítics suficientment ràpids per a fer possible la discriminació de les matèries primeres que no són conformes.

4.2. Prevenir un augment inacceptable de micotoxines

Un cop establertes les mesures preventives per a assegurar un aprovisionament correcte, cal fer una bona gestió de les matèries primeres dins l'establiment. Cal, per exemple, minimitzar la contaminació per micotoxines provinent d'instal·lacions de transport, d'assecat i emmagatzematge o d'equips de processament, així com de les solucions aquoses de neteja en fruita fresca i fruita seca, a causa d'una renovació deficient.

D'altra banda, cal prevenir el creixement de fongs i la consegüent biosíntesi addicional de micotoxines durant el transport, emmagatzematge i processament. Per exemple, durant l'emmagatzematge en fred de fruites, ajustar la a_w en cereals, fruita seca, cafè o espècies emmagatzemats, afegir fungicides/conservants en fruites i cereals emmagatzemats, controlar la temperatura i la humitat/ a_w en fruites deshidratades, ajustar els temps d'emmagatzematge, etc.

4.3. Reduir o eliminar les micotoxines presents

Donat que la presència de certs nivells de micotoxines a les matèries primeres és inevitable, cal implementar mesures de reducció d'aquests nivells.

Seleccionar les matèries primeres pot ajudar a reduir els nivells totals, la qual cosa es pot fer, per exemple, implantant classificadors electrònics per espectrometria, per pes o mida per a rebutjar fruita seca que probablement conté aflatoxines; eliminant les fruites amb lesions fúngiques per a la producció de suc, que probablement contenen patulina, o separant els raïms podrits, que probablement contenen ocratoxina A.

Mesures no dirigides a controlar les micotoxines i que són intrínseques al procés de transformació poden exercir un cert control sobre les micotoxines (Vidal *et al.*, 2016). Per exemple, mitjançant tractaments tèrmics (torrats, fregits, enforats), esterilització comercial o processos de fermentació. També segregant la fracció de les matèries primeres més contaminada (eliminar la pellofa dels cereals, extraure el most del raïm i malt, rentar a pressió les pomes, aplicar centrifugació, filtració, etc.).

Per al cas específic dels pinsos, la UE va aprovar el 2009 l'ús en els pinsos de reductors de la contaminació per micotoxines, que són substàncies que poden evitar-ne o reduir-ne l'absorció en l'animal, promoure'n l'excreció o modificar el mode d'acció de les micotoxines (Reglament (CE) 386/2009, Comissió Europea, 2009).

5. Reptes actuals en el control de les micotoxines

El problema lligat a les micotoxines ha anat fent-se més visible a mesura que s'ha tingut més informació sobre la seva incidència i perillositat. A més, en els últims anys, s'han evidenciat una sèrie de noves amenaces i representen un repte de cara a la gestió de les micotoxines en el futur. Entre aquestes amenaces destaquen l'elucidació de les micotoxines modificades, la coexistència de diverses micotoxines en una única matèria primera i l'impacte del canvi climàtic.

Es denominen *micotoxines modificades* aquelles en les quals l'estructura ha canviat, de manera que solen ser indetectables per les tècniques analítiques rutinàries. L'estructura pot haver canviat perquè s'ha unit a les matrius vegetals: són conjugats insolubles, no extraïbles i difícils d'analitzar, ja que prèviament cal alliberar-los de la matriu per mètodes químics o enzimàtics. També hi pot haver una modificació química o biològica de l'estructura bàsica, moltes vegades induïda pels mecanismes de defensa de la mateixa planta i solen ser conjugats solubles, extraïbles i fàcilment detectables quan se'n coneixen els patrons i se'n pot disposar. Pel que fa a les consideracions toxicològiques d'aquest tipus de micotoxines, encara hi ha molt per determinar, però no es pot descartar que en alguns casos puguin ser, fins i tot, més tòxiques que les molècules parentals, sobretot si presenten una bioaccessibilitat o biodisponibilitat més grans. En alguns casos, s'ha comprovat que la molècula modificada pot regenerar la toxina original per acció dels enzims de l'aparell digestiu o d'altres òrgans de l'organisme receptor o dels microorganismes de la microbiota intestinal.

Pel que fa a la coexistència de micotoxines, l'avaluació i la gestió del risc generalment es dirigeixen a les micotoxines individuals no a la seva barreja. No obstant això, els estudis existents indiquen que la contaminació conjunta de micotoxines, i en conseqüència l'exposició a més d'una micotoxina a la vegada, és la regla més que l'excepció. És possible detectar almenys dues micotoxines en un percentatge alt de mostres (64%) (Gruber-Dorninger, Jenkins i Schatzmayr, 2019). Les combinacions de micotoxines observades amb més freqüència en cereals són les provinents de *Fusarium*: deoxinivalenol, zearalenona i fumonisines.

Per tant, és important considerar els efectes tòxics combinats de les micotoxines (Grenier i Oswald, 2011). Entre deoxinivalenol i zearalenona, s'han observat efectes additius, sinèrgics i antagonistes combinats, depenent de l'estudi, segons varen revisar Liang *et al.* el 2015. En efecte, per a ratolins i porcs, s'ha informat sobre els efectes additius o sinèrgics per als paràmetres de la funció immunitària, encara que en porcs altres estudis han trobat efectes antagonistes. També s'han observat efectes additius i sinèrgics en rates i ratolins per als paràmetres de salut hepàtica i funció antioxidant, a la vegada que en ratolins també s'han observat efectes antagonistes. En ratolins, l'efecte additiu i

sinèrgic també s'ha detectat per a paràmetres d'estrès oxidatiu en la melsa, el cervell i els ronyons (Liang *et al.*, 2015).

Finalment, com s'ha explicat, el clima afecta profundament el creixement, la distribució i la producció de micotoxines. Per això, el canvi climàtic pot fer variar el risc que els fongs micotoxigènics suposen per a la seguretat alimentària. Una àmplia enquesta duta a terme per l'Autoritat Europea de Seguretat Alimentària (EFSA, de l'anglès *European Food Safety Authority*) (Battilani *et al.*, 2012) va establir com un problema emergent la possible contaminació per aflatoxines del panís cultivat en àrees del sud d'Europa, a causa del clima subtropical que havia tingut lloc en els últims anys. De fet, preveia que podria esperar-se un canvi en la distribució geogràfica de la presència d'aflatoxines a causa de l'augment de les temperatures mitjanes. Davant l'escenari de canvi climàtic de +2 °C, prediu un augment clar del risc d'aflatoxines en àrees com ara el centre i el sud d'Espanya, el sud d'Itàlia, Grècia, el nord i sud-est de Portugal, Bulgària, Albània, Xipre i la Turquia europea. Pel que fa a les toxines de *Fusarium*, Europa, que es caracteritza perquè té una àmplia gamma de condicions climàtiques des del sud (països mediterranis) fins a les regions central i nord, mostra diferències importants en la composició d'espècies associades amb la fusariosi en cereals (Nielsen *et al.*, 2011). Si bé *F. graminearum* és el principal productor de deoxinivalenol a l'Europa central i meridional, *Fusarium culmorum* ho és als països escandinaus. No obstant això, en les darreres dècades, s'ha observat una disminució de la presència de *F. culmorum* i un augment de *F. graminearum* en algunes àrees del centre i nord d'Europa (Nielsen *et al.*, 2011). En general, a les regions del sud d'Itàlia i Espanya, la incidència de la fusariosi de l'espiga és baixa o està absent, però, en les regions més septentrionals d'Itàlia, Espanya i Portugal, el sud de França i tota la península Balcànica, s'observa que *F. graminearum* creix amb freqüència en el gra dels cereals madurs, que contamina amb deoxinivalenol (Logrieco i Moretti, 2008). En conclusió, per a fer front a aquest problema, s'han de considerar noves varietats de cereals amb més tolerància i tractaments fungicides més efectius per a controlar les espècies de *Fusarium*.

6. Conclusions

El problema derivat de la presència de micotoxines, en ser contaminants d'origen natural, és complex de tractar. Actualment, cap estratègia és suficient per si mateixa per a eliminar el problema. Cal, doncs, un enfocament multidisciplinari i el treball coordinat de totes les baules que componen la cadena alimentària.

Agraïments

Els autors agraeixen el suport econòmic per a la recerca en micotoxines a l'Agència Estatal d'Investigació (MINECO/AEI/FEDER, UE, projecte AGL2017-87755-R; PID2020-114836RB-I00/AEI/10.13039/501100011033; MICINN/AEI RTC2019-007143-2).

Bibliografia

- ALSHANNAQ, A.; YU, J.-H. (2017). «Occurrence, toxicity, and analysis of major mycotoxins in food». *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14, p. 632.
- BATTILANI, P.; ROSSI, V.; GIORNI, P.; PIETRI, A.; GUALLA, A.; FELS-KLERX, H. J. van der; BOOIJ, C. J. H.; MORETTI, A.; LOGRIECO, A.; TOSCANO, P. (2012). «Modelling, predicting and mapping the emergence of aflatoxins in cereals in the EU due to climate change». *EFSA Scientific and Technical Reports*, 9, 223E.
- CANO-SANCHO, G.; MARÍN, S.; RAMOS, A. J.; SANCHIS, V. (2014). *Micotoxines: Estudi de dieta total a Catalunya 2008-2009*. 2a ed. Barcelona: Agència de Salut Pública de Catalunya.
- COMISSIÓ EUROPEA (2002). «Directiva 2002/32/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 7 de maig de 2002, sobre substàncies indesitjables en l'alimentació animal». *Diari Oficial de les Comunitats Europees*, L140, p. 10-21.
- (2006a). «Reglament (CE) 1881/2006, de 19 de desembre de 2006, pel qual es fixa el contingut màxim de determinats contaminants en els productes alimentaris». *Diari Oficial de la Unió Europea*, L364, p. 5-24.
- (2006b). «Recomanació de la Comissió, de 17 d'agost de 2006, sobre la presència de deoxinivalenol, zearalenona, ocratoxina A, toxines T-2 i HT-2 i fumonisines en productes destinats a l'alimentació animal (2006/576/CE)». *Diari Oficial de la Unió Europea*, L229, p. 7-9.
- (2009). «Reglament (CE) 386/2009, de 12 de maig de 2009, que modifica el Reglament (CE) núm. 1831/2003 del Parlament Europeu i del Consell, que estableix un nou grup funcional d'additius per a pinsos». *Diari Oficial de la Unió Europea*, L118, p. 66.
- (2021). *RASFF – Food and Feed Safety Alerts. RASFF portal* [en línia]. <<https://webgate.ec.europa.eu/rasff-window/screen/search>> [Consulta: juny 2021].
- COMISSIÓ EUROPEA. DIRECCIÓ GENERAL DE SALUT I SEGURETAT ALIMENTÀRIA (2020). *RASFF – The Rapid Alert System for Food and Feed – Annual Report 2019* [en línia]. <<https://data.europa.eu/doi/10.2875/233333>> [Consulta: febrer 2022].
- ESKOLA, M.; KOS, G.; ELLIOTT, C. T.; HAJŠLOVÁ, J.; MAYAR, S.; KRŠKA, R. (2020). «Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate' of 25%». *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60, p. 2773-2789.

- GARCÍA-CELA, E.; RAMOS, A. J.; SANCHIS, V.; MARIN, S. (2012). «Emerging risk management metrics in food safety: FSO, PO. How do they apply to the mycotoxin hazard?». *Food Control*, 25, p. 797-808.
- GENERALITAT DE CATALUNYA. DEPARTAMENT D'AGRICULTURA, RAMADERIA, PESCA, ALIMENTACIÓ I MEDI NATURAL; DEPARTAMENT DE SALUT (2015). *La vigilància i el control de les micotoxines a Catalunya. Període 2011-2013* [en línia]. Amb la col·laboració de l'Associació Catalana de Fabricants de Pinso (ASFAC). Barcelona: Generalitat de Catalunya. Agència de Salut Pública de Catalunya. <https://acsa.gencat.cat/web/content/Documents/eines_i_recursos/micotoxines_2011_2013.pdf> [Consulta: juny 2021].
- GRENIER, B.; OSWALD, I. P. (2011). «Mycotoxin co-contamination of food and feed: Meta-analysis of publications describing toxicological interactions». *World Mycotoxin Journal*, 4, p. 285-313.
- GRUBER-DORNINGER, C.; JENKINS, T.; SCHATZMAYR, G. (2019). «Global mycotoxin occurrence in feed: A ten-year survey». *Toxins*, 11 (375).
- LIANG, Z.; REN, Z.; GAO, S.; CHEN, Y.; YANG, Y.; YANG, D.; DENG, J.; ZUO, Z.; WANG, Y.; SHEN, L. (2015). «Individual and combined effects of deoxynivalenol and zearalenone on mouse kidney». *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 40, p. 686-691.
- LOGRIECO, A. F.; MORETTI, A. (2008). «Between emerging and historical problems: An overview of the main toxigenic fungi and mycotoxin concerns in Europe». A: LESLIE, J. F.; BANDYOPADHYAY, R.; VISCONTI, A. (ed.). *Mycotoxins: Detection methods, management, Public health and agricultural trade*. Manhattan, Kansas: Department of Plant Pathology, Kansas State University (KSU), p. 139-153.
- MARÍN, S.; RAMOS, A. J.; CANO-SANCHO, G.; SANCHIS, V. (2013). «Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment». *Food and Chemical Toxicology*, 60, p. 218-237.
- NIELSEN, L. K.; JENSEN, J. D.; NIELSEN, G. C.; JENSEN, J. E.; SPLIID, N. H.; THOMSEN, I. K.; JUSTESEN, A. F.; COLLINGE, D. B.; JØRGENSEN, L. N. (2011). «*Fusarium* head blight of cereals in Denmark: Species complex and related mycotoxins». *Phytopathology*, 101, p. 960-969.
- PROJECTE MICOCAT (2014-2020). *Programa de desenvolupament rural de Catalunya del període 2014-2020. Reducció del contingut en micotoxines en blat de moro a Catalunya* [en línia]. <<http://www.esporc.com/projete-micocat>> [Consulta: juny 2021].
- SAYERAS, R.; SERRA, J.; SOLANES, X. (2018). «Evitar desajustos en el reg per reduir les micotoxines». *Butlletí extensius.cat* [en línia]. <<http://extensius.cat/2018/07/06>> [Consulta: juny 2021].
- SERRA, J.; LÓPEZ, A.; SAYERAS, R. (2020). «Tolerància varietal. Una eina per reduir el contingut en fumonisines al gra de blat de moro». *Butlletí extensius.cat* [en línia]. <<http://extensius.cat/2020/02/24>> [Consulta: juny 2021].

- SERRA, J.; LÓPEZ, A.; SAYERAS, R.; CAPELLADES, G.; SOLANES, X. (2018a). «Tolerància a la contaminació per fumonisines de les varietats de blat de moro per a gra». *Butlletí extensius.cat* [en línia]. <<http://extensius.cat/2018/02/05>> [Consulta: juny 2021].
- SERRA, J.; SAYERAS, R.; LÓPEZ, A.; SOLANES, X. (2018b). «Com influeix la data de sembra en el contingut en fumonisines en el blat de moro per a gra?». *Butlletí extensius.cat* [en línia]. <<http://extensius.cat/2018/03/20>> [Consulta: juny 2021].
- VIDAL, A.; SANCHIS, V.; RAMOS, A. J.; MARÍN, S. (2016). «The fate of deoxynivalenol through wheat processing to food products». *Current Opinion in Food Science*, 11, p. 34-39.