



SZENT ISTVÁN EGYETEM

DON-toxin koncentráció csökkentés lehetőségei a
búza tisztításában

Doktori (PhD) értekezés tézisei
Kecskésné Nagy Eleonóra

Gödöllő
2018

A doktori iskola

megnevezése:

Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága:

Agrárműszaki tudományok

vezetője:

Prof. Dr. Farkas István
egyetemi tanár, DSc
SZIE, Gépészmérnöki Kar

Témavezető:

Dr. Sembery Péter
professzor emeritusz
SZIE, Gépészmérnöki Kar,

Társ-témavezető:

Dr. Korzenszky Péter
habilitált egyetemi docens, PhD
SZIE, Gépészmérnöki Kar,

.....
a témavezető jóváhagyása

.....
az iskolavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

SZAKKIFEJEZÉSEK	4
1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK	5
1.1. A téma aktualitása és jelentősége	5
1.2. Célkitűzések	5
2. ANYAG ÉS MÓDSZER	7
3. EREDMÉNYEK.....	9
3.1. A DON-toxin változása az őrlést megelőző tisztítási folyamatban	9
3.2. Az optikai válogató gép és a felülettisztító gép szerepe a toxincsökkentésben.....	10
3.3. A DON-toxin koncentráció csökkenés mértéke	13
3.4. A toxinváltozás várható értékének a meghatározása.....	14
4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	17
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	21
6. ÖSSZEFOGLALÁS	22

SZAKKIFEJEZÉSEK

búza felülettisztítása	búzaszemek felszínének vékony rétegű eltávolítása különböző technikai eljárásokkal, ami egyben meghatározza a munkaművelet precizitását, korszerű kivitelezését
búza halmaztisztítása	a magtömegből azoknak az alkotóknak a kiválasztása, amelyek a feldolgozás során a gépeket károsíthatják, valamint a végtermék minőségét ronthatják
búzatételek egalizálása (örlés előtti)	a minőség stabilizálása érdekében az örlés előtt az eltérő paraméterekkel rendelkező búzatételek homogenizálása keveréssel
DON-toxin	deoxinivalenol, ami az emberi és állati szervezetre mérgező hatású toxin, a gabonákban a fuzárium gombanemzetség fertőzését követően keletkezik
élelmiszerbiztonsági kockázat	az élelmiszerlánc bármely pontján előforduló, meghatározott biológiai, kémiai vagy fizikai veszély eredményeként jelentkező egészségügyi hatás és annak valószínűsége
előminta	a búzatétel malomipari felvásárlása előtti minta, aminek vizsgálati eredményei alapján dönthető el, hogy a tétel alapanyagként felhasználható-e
évjárat	azoknak a tényezőknek az összessége, amelyek a vegetációs időben a termesztés során érik a búzát, és többek között eltérő DON-toxin koncentrációt okozhatnak
Fusarium spp.	a fuzárium nemzetségbe tartozó gombafajok együttes elnevezése (spp = species plurale = fajok), az emberekre és állatokra veszélyes toxinokat termelnek, köztük a DON-toxint
hántolás	a búza örlése előtt alkalmazott felülettisztítási eljárás, a maghéj meghatározott százalékának az eltávolítása minimális liszt- és törmelékkepződés mellett oly módon, hogy a magbelső egészben maradjon
mikroklíma	a talaj közeli légrétegek kb. 2 m-es magasságig terjedő tartománynak, illetve egy pontosan körülhatárolható kis terület klímája

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

Az első fejezetben a téma jelentőségét fogalmazom meg, illetve a munkám célkitűzéseit mutatom be.

1.1. A téma aktualitása és jelentősége

A világon a megtermesztett búza nagy részét élelmiszer alapanyagként vagy takarmányként hasznosítják, amiből a Föld lakosságának a növekedésével egyre nagyobb mennyiségre lesz szükségünk. Minthogy a termesztési felület a FAO szerint már nem növelhető a mennyiségi igénynek megfelelő arányban, a megtermelt gabona minőségét, élelmiszerbiztonsági megfelelőségét kell biztosítani ahhoz, hogy a lehető legnagyobb volumenben felhasználhatóak legyenek az élelmiszerláncban. Az elmúlt években a búzatermelésben és feldolgozásban komoly veszteségeket okoztak a Fusarium nemzetségbe tartozó penészgombafajok. A gombafertőzés egyrészt a termésátlagok csökkenését idézheti elő, másrészt az általuk termelt toxinok – melyek közül kiemelt jelentőségű a DON-toxin – komoly élelmiszerbiztonsági kockázatot jelenthetnek.

A búza élelmiszeripari felhasználóságának az alapvető feltétele, hogy a jogszabályban előírtaknak meg kell felelnie. Tehát a toxintartalom tekintetében az elsődleges cél, hogy a liszt gyártásához használt alapanyag még kedvezőtlen feltételek esetén is teljesítse a jogszabályi elvárásokat ($\leq 1,75$ ppm). Igen fontos, hogy a búzából készült végtermékek nagy százaléka az alapvető élelmiszerek kategóriájába tartozik. Vagyis a gyermek és felnőtt lakosság fogyasztásában nagy mennyiséget kitevő termékekről van szó. Ezért a megengedett határértéken belüli étkezési búzátételek átlagos toxinszintjének a csökkentési lehetőségeire, ezáltal az élelmiszerbiztonság növelésére, nagy figyelmet kell fordítani. Ennek okán a nagyüzemi körülmények között, 3,6 t/h kapacitással dolgozó malomban végzett kísérleteim során azt vizsgáltam, hogy korszerű malomipari gépek alkalmazásával a búzátételek toxincsökkentésére van-e lehetőség az őrlést megelőző tisztítási szakaszban, illetve milyen mértékben. A konvencionális malmi technológia alapján tett szakirodalmi megállapítások szerint a feldolgozási folyamatban a DON-toxin kezelésére megbízható megoldás nincs.

1.2. Célkitűzések

A Magyarországon működő malmok által alkalmazott technológiák nagyon sokszínűek. A technológia fejlettségének az egyik legmeghatározóbb eleme az, hogy milyen gépekkel és berendezésekkel működik a folyamat. A kutatómunkám során két korszerű tisztítógép, egy bikromatikus és infravörös kamerákkal felszerelt optikai válogatógép és egy kúpos elrendezésű csiszoló

kövekkel működő felület tisztító gép hatását vizsgáltam a búzatételek DON-toxin tartalmának a csökkentésében. Termelési környezetben végeztem a vizsgálataim, hogy igazolni tudjam, ezek a berendezések az alapfeladataik ellátásán túl, a termelési beállításoknak megfelelő működéssel, megbízhatóan csökkentik a búzatételek DON-toxin tartalmát. Egy konkrét malomipari folyamatban a méréseket 2013-2015. években végeztem. Ezekben az években betakarított búzatételek eltérő átlagos toxinszennyezettséget mutattak.

A kutatómunkám célja az, hogy egy súlyos élelmiszerbiztonsági kockázat minimalizálásában szerepet játszó műszaki megoldások hatásosságát, az azokra vonatkozó adatokat elemezzem és értékeljem, illetve ennek eredményeként fejlesztési lehetőségekre világítsak rá:

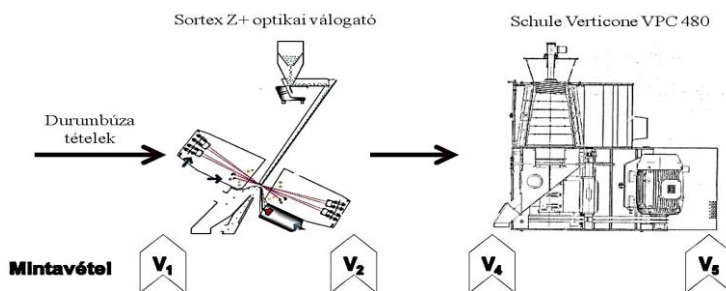
- Igazoljam, hogy a malomipari folyamatba beépített optikai válogatógép és „új generációs” felület tisztító gép együttes alkalmazásával a búzatételek DON-toxin tartalma biztonsággal csökkenthető a gyártás során a kiinduló toxinszennyezettségtől függetlenül. Az eltérő toxinszennyezettséget eredményezheti, többek között, a termőhelyek eltérő termesztési feltételrendszere, illetve a különböző tenyészidőkben kialakult ökológiai hatások.
- Kutatási eredményekkel bizonyítsam az optikai válogató és a korszerű felület tisztító gépek nélkül működő tisztítási folyamat hatását a durumbúza tétel DON-toxin tartalmára.
- Megállapítsam, hogy az optikai válogató gép és a felület tisztító gép milyen arányban járul hozzá a tisztítás hatásfokához, és külön-külön kellő biztonsággal csökkenthető-e velük a búzatételek toxinkoncentrációja a toxinszennyezettség kialakulási körülményeitől függetlenül.
- Meghatározom azt a módszert, amivel egy adott betakarítási évben a tisztítási folyamat végén mérhető DON-toxin tartalmat a malom szakemberek meg tudják határozni a gyártástervezéshez és optimalizáláshoz az egyes búzatételek esetén.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A durumbúza őrlés előtti tisztítási folyamat hatásának vizsgálatát a DON-toxin tartalom csökkenésére számítógépes vezérléssel rendelkező, korszerű malomipari környezetben végeztem, ahol a gyártási folyamat jól lekövethető. Kísérletem kialakítása abban tér el a szakirodalomban a felülettisztítás hatását vizsgáló modellkísérletektől, hogy nem mesterséges fertőzés által, hanem termesztési körülmények során kialakult, különböző mértékű toxinszennyezettség csökkentési lehetőségét vizsgáltam. E mellett a malomban alkalmazott technológiai beállításnak megfelelő körülmények között kísértem figyelemmel a toxincsökkenés mértékét. Igazolva, hogy egy korszerű technológiát alkalmazó gyártás során, e jelentős élelmiszerbiztonsági kockázat a gyakorlatban megbízhatóan csökkenthető.

A vizsgált alapanyag durumbúza, aminek egy-egy alkalommal mintegy 48 tonna, ismert termelési helyről származó tételeit vizsgáltam. Ezen felül az alapanyag pontos nyomon- és lekövetését több tényező segítette. A durummalom szakaszos üzemelésű, a kísérletben vizsgált búzátételek mindegyike a malmi silóban mintegy 3 méteres oszlopmagasságot képviselt. A silóból négy kifolyónyíláson keresztül ürült ki. A kísérleti minták megszedésének az idején egalizálás nem történt.

Egy mintavételi napon egy tételt mintáztam meg közvetlen az optikai válogató gép előtt (V_1) és a válogatás után (V_2), illetve a felülettisztító gép előtt és után (V_4 és V_5) (1. ábra). Négy mintavételi hely adatai alapján kísértem figyelemmel a toxinváltozást. Minden mintavételi helyen egy tételből négy almintát vettem. Tehát tételenként összesen 16 almintának vizsgáltam be a toxintartalmát. Ez tette lehetővé a centrális határeloszlás tétel alkalmazását, ami a korrekt statisztikai kiértékelést segítette.



1. ábra Mintavételezés rendje

A tétélekhez tartozó alminták eredményeit mintavételi helyenként átlagoltam, majd a kiértékelést az átlagértékekkel végeztem. A 2013. évben 656 alminta adatai alapján 41 tétel, 2014-ben betakarított búzából 1024 alminta adatai alapján 64 tétel, míg a 2015-ös évjáratból 1120 alminta adatai

2. Anyag és módszer

alapján 70 tétel vizsgálati eredményeit értékeltem. Azaz összesen 2800 alminta alapján 700 minta eredményéből, 175 tétel adatait értékeltem ki.

A DON-toxin laboratóriumi meghatározása a malmokban széles körben elterjedt, üzemi körülmények között is egyszerűen kezelhető, a mikotoxin vizsgálatok esetében gyors és megbízható eredményt produkáló ELISA teszttel történt. A módszer nagy előnye, hogy a gabona felhasználásának a helyén kaphatunk nagyon pontos és rövid idő alatt rendelkezésre álló adatokat. A mérési tartomány a feldolgozás élelmiszerbiztonsági feltételeinek biztosításához megfelelő. A tesztelt jellemzői között szerepelnek: a kimutatási határ (LOD) 0,2 ppm, a mennyiségi meghatározás alsó határa (LOQ) 0,25 ppm és a mennyiségi meghatározás legfelső határa, ami 5 ppm.

A kísérletem során négy tisztítási fázist, azaz kezelést vizsgáltam: az optikai válogatás és a felülettisztítás együttes hatását, illetve a két eljárást külön-külön, valamint a korszerű berendezések nélküli tisztítás hatásosságát a toxinváltozásra. Az adatok kiértékeléséhez deskriptív (leíró) és induktív statisztikai módszereket alkalmaztam. A deskriptív statisztika a mintapárokban (V_1-V_5 ; V_1-V_2 és V_4-V_5) bekövetkezett változásokat és összefüggéseket mutatta meg, az induktív statisztika hipotézisvizsgálataival pedig a statisztikai populációra vonatkozóan vontam le következtetéseket. Az induktív statisztikát megelőző normalitás vizsgálatok azt mutatták, hogy az összetartozó mintapárok közül nem mindegyik volt normális eloszlású. Így a hipotézisvizsgálatokhoz a teszteknek ennek megfelelően határoztam meg. A négy mintavételi hely mintáinak együttes értékelésére Friedman próbát és varianciaanalízist, a mintapáronkénti változások lekövetésére Wilcoxon tesztet és párosított t-próbát használtam.

A fenti vizsgálatok igazolták, hogy a tisztítási folyamatnak köszönhetően változott a malmi búza DON-toxin tartalma. Ezért meghatároztam a toxinváltozás mértékét regresszióanalízissel. Pontosabban a regressziós egyenes egyenletének a segítségével, ami $y = ax + b$ alakban írható fel. Itt az „a” értéke, azaz az egyenes meredeksége mutatja meg a tisztítás hatásfokát. Az egyenes akkor használható, ha a vizsgált két kvantitatív változó kapcsolata erős. A kapcsolat szorosságát a korrelációs koefficiensek értékeivel igazoltam.

A regressziós egyenes egyenlete, illetve a ráillesztett konfidenciasáv adatai alapján, a magas DON kockázatú éveken a gyártás tervezéséhez, optimalizálásához meghatároztam egy olyan módszert, amivel a tisztítás utáni toxincsökkenés mértékét lehet megállapítani. Az adatok birtokában optimalizálható a búzatételek felvásárlása és egalizálása a gyártás során oly módon, hogy az élelmiszerbiztonsági kockázat minimalizálható legyen.

3. EREDMÉNYEK

Ebben a fejezetben három különböző évben betakarított (2013., 2014., 2015.) búzatételekben vizsgálom az őrlés előtti tisztítás hatását a DON-toxin tartalom változására, különböző kísérleti beállításokban.

3.1. A DON-toxin változása az őrlést megelőző tisztítási folyamatban

A három, eltérő átlagos toxinszennyezettséget eredményező évben betakarított búzatételeknél a két tisztító berendezés együttes hatását vizsgálva, a deskriptív és az induktív statisztika is egybehangzóan igazolta, hogy a feldolgozási folyamatban a DON-toxin tartalom minden esetben csökkenthető volt. A mintákban a toxincsökkenést deskriptív statisztikával igazoltam. Ennek eredményeként betakarítási évenként az átlagos toxinszint csökkenése az 1. táblázat adatainak megfelelően alakult. Jelentős, 50% körüli átlagos toxincsökkenést mértem az optikai válogatás és a korszerű felülettisztítás együttes hatására.

1. táblázat A mintapárokban mérhető toxinváltozás az optikai válogatás (V_1) és a felülettisztítás (V_5) együttes hatására

Betakarítás éve	Mintapárok darabszáma	V_1 toxinátlag (ppm)	V_5 toxinátlag (ppm)	Csökkenés mértéke (%)
2013.	41	1,16	0,61	47
2014.	63	0,72	0,38	47
2015.	59	1,20	0,59	51

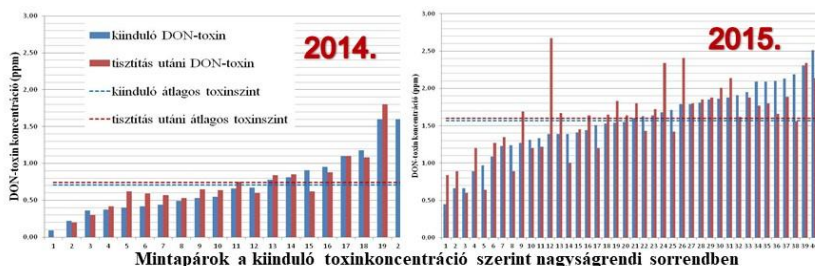
A mintapárokat a leíró statisztikával egyedileg vizsgálva az tapasztalható, hogy különböző mértékben, azonban minden pár esetén csökkenést eredményezett a tisztítás. 2014-ben és 2015-ben a mintapárok többségénél igazolható volt az is, hogy a nagyobb kiinduló toxinszennyezettséget nagyobb arányban csökkentette a két gép.

A hipotézisvizsgálat megerősítette a deskriptív statisztika eredményeit. Friedman-próbával és varianciaanalízissel 95%-os valószínűségi szinten igazoltam, hogy a mérési adatokban az eltérések valóságosak, a teljes statisztikai sokaságra érvényesek, valamint az optikai válogató és a korszerű felülettisztító gépek együttes alkalmazásának köszönhetőek.

2014-ben és 2015-ben végeztem kísérletet az optikai válogatás és a kúpos elrendezésű csiszoló kövekkel működő felülettisztító kiiktatásával. E kísérleti beállítással azt vizsgáltam, hogy a két korszerű berendezés nélkül a feldolgozási folyamat milyen mértékben és mennyire megbízhatóan idézi elő a toxinváltozást. A korszerű eszközök és berendezések nélkül a malmi feldolgozási folyamatban kiszámíthatatlan a toxinszint változás mértéke és

3. Eredmények

iránya. A leíró statisztika azt mutatta, hogy mindkét évben minimális számszerű emelkedés volt tapasztalható az átlagos toxinszintben: 2014-ben 0,70 ppm-ről 0,74 ppm-re, míg 2015-ben 1,57ppm-ről 1,60 ppm-re (2. ábra). Az eredményt magyarázza a mintapárok egyedi vizsgálata. Több mintánál emelkedett a toxintartalom a tisztítás után. 2015-ben volt olyan mintapár (12. sorszámmal jelölt), amelyben csaknem 50%-al nőtt a DON-toxin koncentrációja a tisztítási folyamat végére.



2. ábra A DON-toxin koncentráció változása a korszerű berendezések nélküli tisztítási folyamatban

Az induktív statisztikai módszerek igazolták azt, hogy az optikai válogató és a korszerű felülettisztító gépek nélkül az őrlés előtti tisztítási szakasz nem tudja csökkenteni a búzatétel DON-toxin tartalmát, vagyis a 2. táblázatban a tesztek kritikus értéke minden esetben nagyobb a statisztikai értéknél.

2. táblázat A korszerű berendezések nélküli tisztítási folyamat hipotézis vizsgálatának az eredményei

Betakarítás éve	Wilcoxon próba			Párosított t-próba	
	Statisztikai érték	Kritikus érték	Ferdeségi mutató	Statisztikai érték	Kritikus érték
2014.	1,31	1,64	-0,99	-1,25	1,73
2015.	-0,11	1,64	-0,90	-0,54	1,68

Összességében levonhatjuk azt a következtetést, hogy az optikai válogatás és a korszerű felülettisztítás hatására eltérő mértékben, azonban biztonsággal csökkenthető a búzatételek toxinkoncentrációja azokban a betakarítási években, amelyekben mérhető mennyiségű toxint tartalmaznak az alapanyagtételek. E gépek hiányában viszont a toxinszint kiszámíthatatlanul alakul.

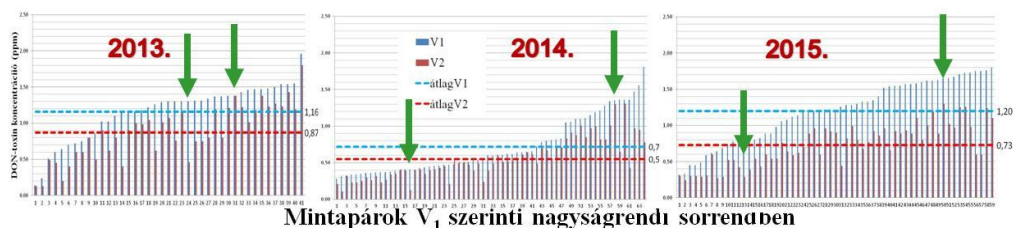
3.2. Az optikai válogató gép és a felülettisztító gép szerepe a toxincsökkentésben

A malomipari technológiai fejlesztéshez akkor ad a kísérlet pontos és korrekt információt, ha megvizsgáljuk, hogy a teljes tisztítási folyamatban igazolt

3. Eredmények

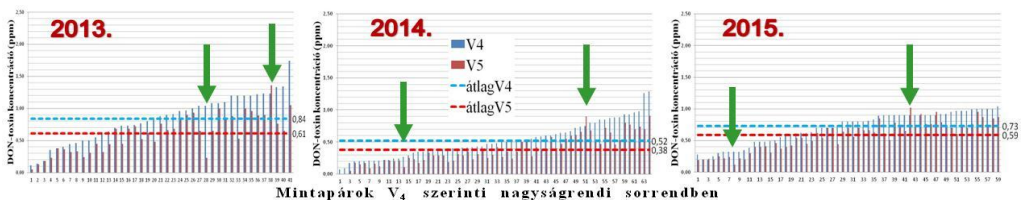
toxincsökkenésben az optikai válogatás és a felülettisztítás külön-külön milyen szerepet játszott és milyen mértékben köszönhető e gépeknek a végső eredmény. A technológiai sorrendben a felülettisztítás az optikai válogatás után jön, ezért tisztázandó, hogy a felülettisztítás tudott-e további csökkenést előidézni a búzatételekben a szelekció után. Illetve a különböző mikro- és makroklimatikus hatások között természetesen a búzatételekből megszedett mintáknál tapasztalható-e eltérés a gépek hatásossága terén? Előfordult-e olyan eset, amikor valamelyik gép egy adott búzatétel mintájában nem módosította a toxinszintet? E kérdésekre adott válasz alapján eldönthető, hogy az egyes gépek toxincsökkentésének a jellege eltér-e egymástól. Valamint arra is választ kapunk, hogy a vizsgált gépek egyedileg alkalmazva a technológiai folyamatban, minden betakarítási évben, megbízhatóan képesek-e csökkenteni a toxintartalmat a búzatételekben.

Az optikai válogató gép mintáit vizsgálva minden évben csökkent az átlagos toxinszint (3. ábra piros és kék szaggatott vonalak): 2013-ban 29 ppm, 2014-ben 17 ppm, 2015-ben 47 ppm. Amennyiben a mintákat egyedileg nézzük, akkor az látszik, hogy a csökkenés mértékét nem a kiinduló toxintartalom nagysága determinálja első sorban (3. ábra zöld nyilak).



3. ábra Optikai válogató gép mintapárjainak (V_1 ; V_2) toxinváltozása

Ugyanezt megvizsgálva a felülettisztító gépnél, le kell szögeznünk, hogy az optikai válogatás után még további toxincsökkenést lehetett elérni a mintákban, ami azt igazolja, hogy a felülettisztítás és az optikai válogatás eltérő jellegű toxinszennyezetséget kezel. A csökkenés mértéke 2013-ban 23 ppm, 2014-ben 14 ppm, 2015-ben 14 ppm (4. ábra szaggatott vonalak). Ha a mintapárokat egyedileg vizsgáljuk, akkor az is látszik, hogy ugyancsak nem a kezdeti toxinszinttől függ a csökkentés mértéke (4. ábra zöld nyilak).

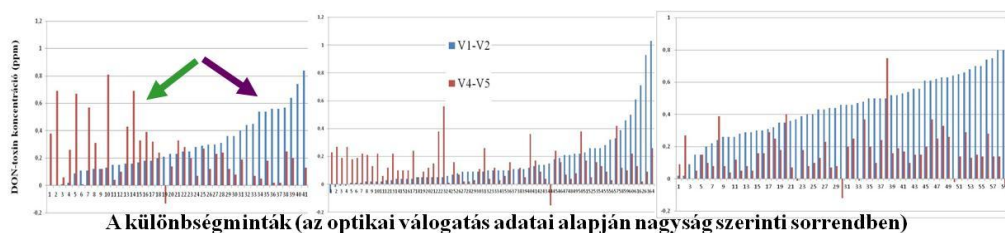


4. ábra Felülettisztító gép mintapárjainak (V_4 ; V_5) toxinváltozása

A mintapárokból képzett különbségminták grafikonja azt is megmutatja, hogy a két gép egymást kiegészítve működik a toxincsökkentésben. A

3. Eredmények

különbségmintákhoz a két tisztítógép mintáinak a DON-toxin tartalmát páronként kivontam egymásból. Először az optikai válogatásnál keletkezett mintapárok egyenkénti különbségét vettem (V_1-V_2), majd a hozzátartozó másik minta a felülettisztító gépnél keletkezett mintapárok egyenkénti kivonásával (V_4-V_5) jött létre. Így az összetartozó mintapár egyik tagja azt mutatja meg, hogy mennyi ppm-el csökkent az optikai válogatás után az egyes minták toxinszennyezettsége, míg a másik adat ugyanezt mutatja a felülettisztításnál egy búzatétel esetén (5. ábra).



5. ábra Az optikai válogatás (V_1-V_2) és a felülettisztítás (V_4-V_5) különbségmintáinak oszlopdiagramja

A 2013-as év adatai példáján az oszlopdiagramból látható, hogy azokban a mintákban, amelyekben az optikai válogató nagyobb mértékben csökkentette a toxintartalmat a felülettisztítás hatásossága kisebb volt (5. ábra lila nyíl) és fordítva (5. ábra zöld nyíl). Ha a számadatokat nézzük az egyes termesztési évek szerint, akkor a 2013-ban vizsgált búzatételek 80%-ára, míg 2014-ben a 77%-ára és 2015-ben a 91%-ára igaz ez a megállapítás. Ahol y értéke negatív értéket vett fel a mintapár egyik tagjánál, az azt jelzi, hogy a tisztítás során nem csökkenés, hanem toxinnövekedés következett be az adott gépnél. Ennek magyarázata lehet, hogy ebben az esetben a búzatételekből az egyéb szennyeződések nagyobb mértékben távolították el a gépek, mint a DON-toxint. Viszont ebben az esetben a másik berendezésnél olyan mértékű toxincsökkenés következett be, ami ellensúlyozta a növekedést. Így a teljes tisztítási folyamat végére egy mintapárnál sem fordult elő toxinkoncentráció növekedés.

Az eredmények azt igazolják, hogy a különböző makro- és mikroklimatikus körülmények közül, például eltérő termőhelyről származó búzatételeknél kialakult toxinszennyezettséget csak akkor tudjuk biztonsággal kezelni, ha a két gépet egymás után alkalmazzuk a tisztítási folyamatban.

A mintapárok adatai alapján megfogalmazott megállapításokat a teljes statisztikai populációra Wilcoxon próbával és párosított t-próbával igazoltam 95%-os valószínűségi szinten. Mindkét hipotézisvizsgálat egybehangzóan azt jelezi, hogy az optikai válogatás és a felülettisztítás is szükséges a búzatételek élelmiszerbiztonsági szempontból megbízható tisztítási eredményéhez.

3.3. A DON-toxin koncentráció csökkenés mértéke

A toxinkoncentráció mértékének a megállapítására a regresszióanalízis ad lehetőséget. A regressziós egyenes egyenlete alapján meghatározható a tisztítási fázisok toxincsökkentésének a várható értéke. Ebből következően az egyenes meredeksége mutatja meg azt, hogy a DON-toxin csökkentésben milyen eredménnyel járt a két gép együttesen, illetve az optikai válogató és a felülettisztító gépek külön-külön. A regressziós függvények értelmezési tartománya a jogszabályi határérték figyelembevételével adható meg, vagyis $D_f=[0;1,75]$. E tartományon belül adható meg a legpontosabban a tisztítás után a toxinszennyezettség várható értéke.

A két tisztítógép együttes hatásosságának regresszióanalízis eredményeit a 3. táblázat tartalmazza. Az egyenesek egyenletéből látszik, hogy a legalacsonyabb DON-kockázatú évben, 2014-ben volt a legnagyobb mértékű a toxincsökkenés (53%) és 2013-ban a legkisebb mértékű (39%). A legmagasabb átlagos kiinduló toxintartalmú 2015-ös évben mintegy 50%-al tudtuk csökkenteni a búzatételek toxintartalmát. A korrelációs együttható értéke minden évben azt jelzi, hogy az összetartozó mintapárok (V_1 ; V_5) között szoros kapcsolat áll fenn.

3. táblázat A regresszióanalízis eredményei a teljes tisztítási folyamat előtti (V_1) és utáni (V_5) mintákban

Betakarítás éve	Regressziós egyenes		Korrelációs együttható
	egyenlete	gyakorlati alkalmazása	
2013.	$y=0,61x-0,10$	$V_5=0,61V_1-0,10$	0,78
2014.	$y=0,47x+0,04$	$V_5=0,47V_1+0,04$	0,81
2015.	$y=0,50x+0,10$	$V_5=0,50V_1+0,10$	0,82

A csökkenés mértéke meghatározható az egyes tisztítási fázisokban is, azaz az optikai válogatásnál és a felülettisztításnál egyenként. Az adatok azt mutatják meg, hogy adott betakarítási évben mennyire működtek hatásosan a gépek, és milyen arányban vették ki a részüket a tisztítás egészéből. Vagyis lehet-e az egyik vagy másik gép technológiába építésével kellő biztonsággal csökkenteni a toxinszintet.

Az adatok azt is megmutatják, hogy van az egyes évjáratokban eltérés a gépek hatásosságát illetően. Az optikai válogatás adataiból látszik, hogy eltérő mértékben tudta a gép a DON-toxin szennyezettséget csökkenteni a különböző évjáratokban (4. táblázat). A legeredményesebb 2015-ben volt, legkevésbé hatásos 2013-ban. Ugyanezt megvizsgálva a felülettisztítás esetén (5. táblázat) szintén eltérő hatásosságot tapasztalunk az egyes betakarítási években. A leghatásosabban 2013-ban, míg a legkevésbé

3. Eredmények

eredményesen 2015-ben volt használható a felülettisztító gép a DON-toxin csökkentésére.

4. táblázat Az optikai válogatás előtti (V_1) és utáni (V_2) mintapárok regresszióanalízis eredményei

Betakarítás éve	Regressziós egyenes		Korrelációs együttható
	egyenlete	gyakorlati alkalmazása	
2013.	$y=0,86x-0,12$	$V_2=0,86V_1-0,12$	0,85
2014.	$y=0,61x+0,11$	$V_2=0,61V_1+0,11$	0,85
2015.	$y=0,58x+0,03$	$V_2=0,58V_1+0,03$	0,84

5. táblázat A felülettisztítás előtti (V_4) és utáni (V_5) mintapárok regresszióanalízis eredményei

Betakarítás éve	Regressziós egyenes		Korrelációs együttható
	egyenlete	gyakorlati alkalmazása	
2013.	$y=0,65x-0,06$	$V_5=0,65V_4-0,06$	0,82
2014.	$y=0,74x+0,01$	$V_5=0,74V_4+0,01$	0,91
2015.	$y=0,83x+0,02$	$V_5=0,83V_4+0,02$	0,93

Ha a két gép teljesítését évről-évre vizsgáljuk meg, akkor látjuk, hogy milyen arányban járultak hozzá a teljes tisztítás folyamatához az adott betakarítási évben (4. és 5. táblázat). Az egyenesek meredekségének értéke azt mutatja, hogy 2013-ban a felülettisztítás jóval nagyobb mértékben tudta csökkenteni a DON-toxin tartalmat a búzatételekben ($0,65V_4$), mint az optikai válogatás ($0,86V_1$). 2014-ben már kiegyenlítettebb volt az eredmény, de valamivel az optikai válogatás szerepelt jobban ($0,61V_1$ és $0,74V_4$). 2015-ben viszont nagy részben az optikai válogatásnak volt köszönhető a DON-toxin csökkenése ($0,58V_1$ és $0,83V_4$).

3.4. A toxinváltozás várható értékének a meghatározása

A regresszióanalízis alkalmas arra is, hogy a magas DON-kockázatú években a malmi szakemberek ki tudják számolni a búzatételek várható toxinváltozását az adott tisztítási folyamat hatására a kiinduló toxinszint ismeretében. Segítségével a malom még a magas DON-kockázatú években is optimalizált búzafelvásárlást valósíthat meg a jogszabályi határértékeken belül mozogva oly módon, hogy figyelembe veszik a toxintartalom mellett a búza minőségi paramétereit is, az őrlés minőségét meghatározó egyéb mutatószámokat. Illetve az egalizálásnál a tételek keverési arányának meghatározásához ad információt, amivel a lehető legalacsonyabb szinten

3. Eredmények

tartható a végtermék kémiai szennyezettsége úgy, hogy a végtermék minősége a vevői elvárásoknak megfelelő legyen.

A várható érték két módszerrel adható meg. Egyrészt a regressziós egyenes egyenlete alapján ($y=ax+b$) számolható, ha ismerjük x -et, vagyis a búzatétel kiinduló toxinkoncentrációját. A gyakorlatban egyszerűbben használható másik módszer, az egyenesre illesztett konfidenciasáv adatainak táblázatba rendezése, amiből a szakemberek által meghatározott valószínűségi szinten, egyszerűen megállapítható ppm-ben kifejezve a várható toxinkoncentráció. A módszer előnye, hogy egyéb szakmai szempontokat is figyelembe véve (pl.: búzatételek minőségi paraméterei) tudják optimalizálni az intervallum ismeretében a búzatételek felvásárlását és az egalizálást a megfelelő minőségű és biztonságú őrlemény előállításához a magas DON-kockázatú éveken is.

A regressziós függvények azt mutatják, hogy minél jobban eltávolodunk bármelyik irányba az egyenes mentén a független változó, vagyis a kiinduló toxinszint átlagától, annál nagyobb konfidencia határokat kapunk. Az alacsonyabb kiinduló toxinszintek esetén (ha x közelít a nullához) ennek nincs jelentősége, mert azok élelmiszerbiztonsági szempontból nem járnak magas kockázattal. A nagyobb DON-toxin tartalomnál van annak szerepe, hogy minél pontosabban lehessen a várható értékeket megadni. A kísérlet adatai azt mutatják, hogy a malmi búza mérési eredményeinél a jogszabályi határértéken belül lehet a tisztítás várható eredményét a legkisebb hibával meghatározni. Ezt követően a konfidenciasáv egyre erőteljesebben szélesedik, ami a pontosságot rontja. Viszont ez azt jelzi, hogy a malmokban, az élelmiszerbiztonsági határértéken belül jól használható a konfidenciasáv az előrejelzésre.

Az említett két módszer közül bármelyiket választják is a szakemberek egy adott betakarítási évben, a várható érték egzakt számítása alapvetően az x értékétől, azaz a kiinduló toxintartalom pontos meghatározásától függ elsődlegesen. A malmok a betakarítási időszakot követően többféle mérési adattal rendelkeznek erre vonatkozóan. Ezek pontossága az alkalmazott mérési módszertől, valamint a malom megfelelő technikai háttérétől függ. A folyamat korszerűsítése hosszú távon az élelmiszerbiztonsági feltételek garantálását, a vevők egészségét maximálisan figyelembevevő megoldását eredményezi.

A búzatételek toxinkoncentrációját először az előmintáknál mérik meg. Az előmintákat a betakarítási időszakot követően, a felvásárlás előtt kell megszedni, feltérképezve a biztonságos, a feldolgozási célnak megfelelő minőségi paraméterekkel rendelkező, azaz a potenciális alapanyagtételeket. Így a felvásárolt mennyiség többszörösét szokták ebben az időszakban megmintázni a malmok. Az eredmények megbízhatósága függ a mintavétel

3. Eredmények

szakszerűségétől, vagyis hogy a minta reprezentálja azt a konkrét búzatételt, amiről információt gyűjtünk. Ehhez a tétel nagyságától függően altételeket kell képezni és pontosan le kell szabályozni a mintavétel módját, mennyiségét, azaz a mintavevő eszközzel (stekkerrel) a szűrésok számát és helyét. Az előminták eredményei alapján választja ki a malom, hogy mely tételek megfelelőek számára a liszt gyártásához. A kiválasztott búzák előmintáinak toxinértékei azt a statisztikai populációt is definiálják, amelyekből a regresszióanalízishez vizsgálati mintákat kell gyűjteni.

A statisztikai sokaság minden egyes elemét azonosítani kell, hogy azok a vizsgálati mintákban reprezentálhatóak legyenek. Ebben az esetben a regresszióanalízishez nem a véletlen, hanem a rétegezett mintavételi eljárás lesz a megfelelő módszer. Így a mintavételi hiba csökkenthető a homogenitás növelésével. A reprezentativitás esetén ugyanis a releváns változók mintabeli eloszlásának meg kell egyeznie a populációéval. Ez a várható érték meghatározásának pontosságát is növeli. Tehát az előminták adatai alapján a felvásárlásra szánt búzatételeket csoportosítjuk, kialakítva így a homogénebb részsokaságokat. Majd a csoportokból jelöljük ki azokat a búzatételeket, amelyekből vesszük a mintákat úgy, hogy a mintabeli rétegek aránya megegyezzen az alapsokasági aránnyal. A módszer előnye, hogy a legkevesebb minta vételét igényli, mivel rétegenként kisebb a variancia és kisebb lesz a becslési hiba. Vagyis $30 < n < 50$ mintaszám esetén is alkalmazható a módszer. A csoportosításhoz a búzatételek toxintartalmának megfelelő gyakorisági diagram készítését javaslom. A feldolgozási folyamatot ismerő szakemberek határozzák meg, hogy milyen intervallumnagyságokat alakítanak ki a diagramban. Ez természetesen függ attól is, hogy egy adott évben milyen mértékű eltérést mutatnak a búzatételek a toxinszennyezettség mértékében. Minél kisebb terjedelműek az intervallumok, annál homogénebb lesz a részsokaság, és annál pontosabb lesz a vizsgálati mintában a populáció toxinszennyezettségének a lekövetése. E vizsgálati mintáknak a toxincsökkenését kell megmérni a tisztítási folyamatban. Ehhez alkalmazható az 1. ábra mintavételezési rendje. Amennyiben az optikai válogató és a felülettisztító gép együttes hatása alapján történik a gyártás tervezése, akkor elegendő a kísérlet jelölése szerinti V_1 és a V_5 mintavételi hely mintáinak a statisztikai értékelése.

A módszer alkalmazásával, azaz a vizsgálati minták regresszióanalízis eredményeinek az alkalmazásával tudják a malmi szakemberek a gyártást tervezni. Vagyis optimalizálják a búzatételek felvásárlását, majd az egalizálását, aminek eredményeként megfelelő minőségű és biztonságú őrlemény előállítását valósítható meg a magas DON-kockázatú éveken is.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A DON-toxin tartalom változása optikai válogatás és korszerű felülettisztítás együttes hatására

A deskriptív statisztikai vizsgálatokkal igazoltam, hogy eltérő mértékű DON-toxin szennyezettségű években, a búzamintákban a kiinduló átlagos DON-toxin koncentrációhoz képest a tisztítást követő átlagos toxinszint csökkent, ha a folyamatba optikai válogató gépet és kúpos elrendezésű csiszoló kövekkel működő, korszerű felülettisztító gépet építettek be. A mintapárok számadatai azt mutatták, hogy a csökkenés átlagos mértéke 47-51% között alakult.

A hipotézisvizsgálat során Friedman-próbával és varianciaanalízissel 95%-os valószínűségi szinten igazoltam, hogy a minták számértékeiben mutatkozó eltérések valóságosak, a teljes statisztikai sokaságra érvényesek, valamint a kezelésnek, azaz az optikai válogató és az új generációs felülettisztító gépek együttes alkalmazásának köszönhetőek a tisztítási folyamatban. Ebből adódóan meghatároztam a búzatételekre vonatkozóan a toxincsökkenés mértékét lineáris regresszióval. A regressziós egyenes egyenletének meredeksége azt mutatta meg, hogy az egyes betakarítási években, milyen mértékű csökkenést idézett elő a két berendezés a tételekben. Ez alapján kijelenthető, hogy a kísérlet során 39-53% között lehetett csökkenteni a malmi búza toxinszennyezettségét a feldolgozást megelőzően. A korrelációs együtthatók azt igazolták ($r=0,78-0,82$), hogy a kiinduló és a tisztítás utáni toxinszintet meghatározó kvantitatív változók (V_1, V_5) között a lineáris kapcsolat erős.

Tehát a vizsgálati adataimmal igazoltam, hogy a malmi búza DON-toxin tartalma csökkenthető, ha a tisztítási folyamatba korszerű optikai válogató és felülettisztító gépeket alkalmaznak.

2. A DON-toxin tartalom változása az optikai válogató és korszerű felülettisztító gépek nélküli tisztítás során

2014-ben és 2015-ben megvizsgáltam, hogy az optikai válogató gép és a korszerű felülettisztító gép kihagyásával, hogyan alakul a búzatételek DON-toxin tartalma a tisztítás végére. Deskriptív statisztikai módszerekkel a mintapárokat egyedileg vizsgálva azt bizonyítottam, hogy a kiinduló toxinszennyezettség mértékétől függetlenül, mindkét évben, különböző mértékű toxinnövekedést és csökkenést is előidézett a tisztítási folyamat a mintapárokban. A toxinszint emelkedése a mintapárok egy részénél abból adódott, hogy a halmazból a fertőzött szemek eltávolítása kisebb arányú volt, mint az egyéb szennyező anyagok kiválogatása.

4. Új tudományos eredmények

A minták átlagos toxinszintje számszakilag nézve minimális mértékben növekedett a tisztítás végére mindkét évben: 2014-ben 0,70 ppm-ről 0,74 ppm-re; 2015-ben 1,57-ről 1,60 ppm-re.

A Wilcoxon próba és a párosított t-próba hipotézisvizsgálata is azt igazolta, hogy az optikai válogató és a kúpos elrendezésű csiszoló kövekkel működő felülettisztító gépek nélkül az őrlés előtti tisztítási szakasz nem csökkentette a búzatételek DON-toxin tartalmát.

2014-ben és 2015-ben végzett kísérletekkel azt igazoltam, hogyha a malmi tisztítási folyamatban sem optikai válogató gépet, sem korszerű felülettisztító gépet nem alkalmaznak, akkor nem csökkenthető a búzatételek átlagos DON-toxin tartalma.

3. Az optikai válogatás DON-toxin csökkentő hatása

A deskriptív statisztikával igazoltam az optikai válogató előtt és után megszedett mintapárok átlagértéke alapján, hogy a tisztítás hatására toxincsökkenés következett be. A mintapárokban a csökkenés átlagos értéke 2013-ban 29 ppm, 2014-ben 17 ppm, 2015-ben 47 ppm volt.

A búzatételekben regresszióanalízissel határoztam meg az optikai válogatás hatására bekövetkezett toxincsökkenés mértékét. A regressziós egyenes egyenletének meredeksége megmutatta, hogy a három évben különböző volt az optikai válogatás tisztítási hatásossága: 2013-ban 86%-ra, 2014-ben 61%-ra, 2015-ben 58%-ra csökkent a toxintartalom a válogatás hatására.

A leíró statisztikával azt is igazoltam, hogy a mintákban nem a kiinduló toxinszennyezettség nagyságától (V_1) függött a toxinkoncentráció csökkenésének a mértéke, azaz a V_2 értéke. Ez azt bizonyítja, hogy az optikai válogatás hatásossága az egyes mintákban eltérően alakulhat, ezért a malmi tisztítási folyamatban ez a berendezés önmagában nem minden évben, illetve nem minden termőhelyről származó búzatétel esetén nyújt kellő hatásfokot a kémiai kockázat minimalizálásában.

A statisztikai vizsgálatokkal azt igazoltam, hogy az optikai válogatás önmagában képes a búzatételek átlagos toxinszintjének a csökkentésére, azonban a toxincsökkenés mértéke és a búzatételek kiinduló toxintartalmának a nagysága között nincs korreláció. Ebből következően, ha csak az optikai válogatógép végzi a tisztítást, az a búzát ért ökológiai hatásoktól függően (termesztési év, termőhely függvényében) kismértékű toxincsökkenést eredményezhet, lecsökkentve a tisztítás megbízhatóságát, ami élelmiszerbiztonsági szempontból kedvezőtlen.

4. A felülettisztítás DON-toxin csökkentő hatása

A statisztikai vizsgálatokkal azt igazoltam, hogy a kúpos elrendezésű csiszoló kövekkel működő felülettisztító gép az optikai válogatást követően

4. Új tudományos eredmények

további DON-toxin csökkenést idézett elő. A deskriptív statisztika eredményei alapján megállapítottam, hogy a csökkenés mértéke a mintákban 2013-ban 23 ppm, 2014-ben 14 ppm, 2015-ben 14 ppm.

A felülettisztítás hatására a búzátételekben várható toxincsökkenés mértékét regresszióanalízissel határoztam meg. A regressziós egyenesek egyenletei alapján megállapítottam, hogy 2013-ban 65%-ra, 2014-ben 74%-ra, 2015-ben 83%-ra csökkent a toxinszint.

A felülettisztítás esetén is igazoltam a deskriptív statisztikai vizsgálatokkal azt, hogy a mintákban a toxincsökkenés nem a kiinduló DON-toxin tartalomtól függ, azaz a felülettisztítás hatásossága az egyes mintákban eltérően alakult. Tehát önmagában ez a berendezés sem minden évben, illetve nem minden termőhelyről származó búzátételnél hatásos kellő mértékben a kémiai kockázat minimalizálásában.

A statisztikai vizsgálatokkal azt igazoltam, hogy az új generációs felülettisztító gép az optikai válogatást követően képes további toxincsökkentést eredményezni a búzátételekben. A csökkenés mértéke és a búzátételek kiinduló toxintartalmának a nagysága között a felülettisztítás esetén sincs korreláció. Következésképpen a felülettisztítás attól függően, hogy a búza milyen ökológiai hatásoknak volt kitéve a termesztés során, a tisztítási folyamatban kismértékű toxincsökkenést eredményezhet, lecsökkentve ezzel a megbízhatóságot.

5. Az optikai válogatás és a felülettisztítás DON-toxin csökkentő hatásának sajátosságai

A vizsgálati eredményekkel azt bizonyítottam, hogy a két géppel együtt, termőhelytől és a termesztési évtől függetlenül biztonságosan csökkenthető a toxinszennyezettség mértéke. Egy adott éven belül a különbségmintákat ábrázolva azt bizonyítottam, hogy a DON-toxin csökkentésében a két gép a 2013-as búzaminták 80%-ánál, a 2014-es minták 77%-ánál és a 2015-ös minták 91%-ánál egymást kiegészítve csökkentette a toxintartalmat. Azokban a mintapárokban, amelyekben az optikai válogatás kevésbé volt hatásos, a felülettisztítás magasabb mértékben távolította el a DON-toxint és fordítva.

Évjáratonként vizsgálva a toxincsökkentés mértékét megállapítottam, hogy a két gép a különböző betakarítási években eltérő mértékben járult hozzá a kémiai szennyeződés csökkentéséhez. Ezt a regressziós egyenes egyenletével igazoltam, aminek meredeksége adta meg a csökkenés mértékét:

2013-ban	0,86 V ₁ és 0,65 V ₄ ; a felülettisztítás hatásosabb
2014-ben	0,61 V ₁ és 0,74 V ₄ ; az optikai válogatás a hatásosabb
2015-ben	0,58 V ₁ és 0,83 V ₄ ; az optikai válogatás hatásosabb

4. Új tudományos eredmények

Tehát az eredmények azt igazolták, hogy a két gép egymást kiegészítve tudta a búzatételekben a legnagyobb mértékű és a legnagyobb biztonságot eredményező toxincsökkenést előidézni függetlenül a termőhelyi és a termesztési évre jellemző ökológiai tényezők fertőzés mértékére és jellegére gyakorolt hatásától.

6. A toxinváltozás várható értékének a meghatározása a gyártástervezéshez

Az általam kidolgozott mintavételi és mérési rendet alkalmazva, a gyártás tervezéséhez meghatározható adott évjáratban a búzatételek esetén a DON-toxin tartalom csökkenésének a mértéke, ha a malmi feldolgozás előtti tisztítási szakaszban az optikai válogató gépet és a kúpos elrendezésű csiszoló kövekkel működő felülettisztító gépet beépítik. A várható érték meghatározási metodikájának az alkalmazása lehetővé teszi a toxintartalom minimalizálását amellet, hogy a végtermék minőségi paramétereit optimalizálni tudjuk az igényeknek és a jogszabályi követelményeknek megfelelően. A várható érték két módszerrel adható meg:

- a) A minták adatai alapján felírható regressziós egyenes egyenletéből számolható, ha ismerjük x -et, vagyis a búzatétel kiinduló toxinkoncentrációját. Durumbúza esetén az egyenlet általános alakja:

$$y=ax+b \quad D_f=[0; 1,75]$$

Az egyenlet értéktartományát a jogszabályi határérték adja meg.

- b) A DON-toxin tisztítás utáni várható értéke a regressziós egyenesre illesztett konfidenciasáv adataival is megadható. A sáv megmutatja a szakemberek által meghatározott valószínűségi szinten, hogy ha a független változó (x) adataiból megbecsüljük a függő változó (y) átlagértékét, vagyis a kiinduló toxinszintből a tisztítás utáni toxinszintet, akkor a becslés milyen hibával terhelt. A sávot jellemző adatokat táblázatba rendezve, a szakemberek az egyéb szakmai szempontokat is figyelembe véve, egyszerűen határozhatják meg a toxincsökkenés várható értékét adott búzatétel esetén. Így például a kísérleti adataim alapján egy 1,35 ppm kiinduló toxintartalmú búzatételnek a tisztítást követően a várható toxinszintje az alábbi intervallumokon belül várható: 2013-ban 0,66-0,79 ppm, 2014-ben 0,61-0,74 ppm, 2015-ben 0,62-0,71 ppm. A termelésstervezéshez használt konkrét értéket a technológiai feltételek figyelembevételével, szakmai döntés alapján állapítják meg a malmi szakemberek.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A kutatómunkám célja, annak vizsgálata, hogy a búza tisztítása során csökkenthető-e a DON-toxin mennyisége korszerű berendezésekkel végzett malomipari tisztítási folyamatban. A vizsgálati eredményeim deskriptív és induktív statisztikai kiértékelése alapján arra a következtetésre jutottam, hogy amennyiben a halmaztisztításban optikai válogató, majd ezt követően kúpos elrendezésű csiszoló kövekkel működő felülettisztító gépeket alkalmaznak, akkor a két gép hatására a magas DON-kockázatú évekből csökkenthető a búzátételek toxin szennyezettsége az őrlési folyamatot megelőzően.

A kutatási eredményeim induktív statisztikai módszerekkel történő kiértékelése azt igazolta, hogy az optikai válogatást követően is csökkent az átlagos DON-toxin tartalom az intenzív felülettisztítási eljárás hatására. Mindkét gép esetén mintánként vizsgálva az eredményeket látszott, hogy változó mértékű csökkenést idézett elő a tisztítási folyamat.

A regresszióanalízis eredménye azt mutatta, hogy 2013-ban a felülettisztítás nagyobb arányban tudta toxinmentesíteni a búzátételeket, míg 2014-ben már kiegyenlítettebben alakult a két gép teljesítése, de kicsivel az optikai válogatás hatásossága bizonyult jobbnak. 2015-ben pedig egyértelműen az optikai válogatás volt a meghatározó a DON-toxin mennyiségének a kialakításában az őrlést megelőzően. Ebből egyértelműen az a következtetés vonható le, hogy az eltérő termőhelyről származó és különböző évekből betakarított búzáknak esetén, hosszútávon csak a két gép együttes működésével lehet biztonságosan kézben tartani ezt az élelmiszerbiztonsági kockázatot egy malomban.

A regresszióanalízis annak a lehetőségét is megadja a malmi folyamatot megtervező szakemberek számára, hogy egy adott évben az optikai válogatás és a felülettisztítás hatásosságának az ismeretében a búzátételek felvásárlását, egalizálását, keverési arányát számítással tervezzék meg a DON-toxin tartalomra vonatkozóan. Az egalizálás elsődlegesen a búza minőségi paramétereinek a megfelelő kialakítása miatt történik, de azokban az évekből, amikor a toxinszennyezés kockázata nagy, a kémiai kockázat minimalizálásában is fontos szerepet játszik. A keverési arány meghatározása a jelenlegi gyakorlatban empirikus úton történik a magas DON-kockázatú évekből is. A várható érték meghatározásával a toxintartalom minimalizálása mellett a végtermék minőségi paramétereit is optimalizálni lehet az előírásoknak és a vevői igényeknek megfelelően.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az értekezésben azt vizsgáltam, hogy a durumbúza feldolgozása során a tisztítási folyamatban van-e lehetőség a DON-toxin tartalom csökkentésére.

Kutatómunkám célja két malomipari gép hatásosságának a vizsgálata, amit a feldolgozás tisztítási fázisában használnak. Azt vizsgáltam, hogy az optikai válogató és a korszerű felülettisztító gépek együttes alkalmazásával lehet-e a búza toxintartalmát csökkenteni és milyen mértékben.

A dolgozat első szakaszában a szakirodalmi adatok alapján foglaltam össze a búzában előforduló fuzariotoxinok, kiemelten a DON-toxin tulajdonságait és élelmiszerbiztonsági vonatkozásait, valamint a fuzárium fertőzés jellegét és következményeit.

Bemutattam a vizsgálatok helyszínét és feltételrendszerét, a termelési környezetet. Leírtam a vizsgálatok tárgyát képező optikai válogató és felülettisztító gépek jellemzőit, technológiai folyamatban a szerepüket. Részletesen bemutattam a mintavétel rendjét és a vizsgálatok, valamint az adatkiértékelés módszerét.

A mintavétel rendjét úgy alakítottam ki, hogy egy búzatétel toxinváltozását végig tudjam követni a tisztítási folyamatban. Négy helyen (V_1 ; V_2 ; V_4 ; V_5) mintáztam meg egy tételt és minden mintavételi helyen, azaz a tisztító gépek előtt és után négy almintát gyűjtöttem. Az alminták toxinmérési adatait az adatfeldolgozás során átlagoltam, és az átlagértékekkel számoltam. Így összesen 2013-ban 656 alminta alapján 41 tétel, 2014-ben 1024 alminta alapján 64 tétel, 2015-ben 1120 alminta alapján 70 tétel vizsgálatát végeztem el.

Az adatokat deskriptív és induktív statisztikai módszerekkel értékeltem. A tisztítás előtti, azaz a V_1 mintavételi hely és a tisztítási folyamat végén, azaz a V_5 mintavételi hely búzamintáinak eredményei azt mutatták, hogy a két gép együttesen, 2013-ban betakarított búzánál 61%-ra, a 2014-es 47%-ra, míg a 2015-ös évjáratok esetén 50%-ra tudták a kiinduló toxintartalmat csökkenteni az őrlésre kerülő búzáknál. Különböző betakarítási években a két gép eltérő hatásfokkal vette ki részét a teljes tisztítási folyamatból. Az optikai válogatás 2014-ben és 2015-ben, míg a felülettisztítás 2013-ban volt hatásosabb. Arra is választ kaptam, hogy a két gép csak együttesen alkalmazva képes a toxinszintet megfelelő biztonsággal csökkenteni.

Adott termesztési évben a minták adatai alapján meghatározott regressziós egyenes arra is lehetőséget nyújt a malmi szakemberek számára, hogy egy ismert DON-toxin tartalmú búzatétel toxincsökkentésének a mértékét meghatározzák a tisztítási folyamatban, és a búzák keverési arányát ennek függvényében adják meg.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK

Lektorált cikk világnyelven:

1. Tima H., Berkics A., Hannig Z., Ittész A., **Keckésné N.E.**, Mohácsi-Farkas Cs., Kiskó G. (2018): Deoxynivalenol in wheat, maize, wheat flour and pasta: surveys in Hungary in 2008-2015. Food Additives and Contaminants Part B – Surveillance, 11(1), pp. 37-42. <https://doi.org/10.1080/19393210.2017.1397061> (IF: 2,407*)
2. Tima H., **Keckésné Nagy E.**, Rácz A., Kiskó G. (2017): DON, F-2 and T-2 mycotoxin assay of plant-based feedstock raw materials using the ELISA method. Élelmiszervizsgálati Közlemények, 63(2), pp. 1558-1563.
3. **Keckésné N. E.**, Korzenszky P., Sembery P. (2016): The role of color sorting machine in reducing food safety risks. Potravinarstvo, 10(1), pp. 354-358.
4. **Keckésné N. E.**, Korzenszky P., Sembery P. (2015): Reduction of toxin content of Triticum durum in the milling process. Review on Agriculture and Rural Development, 4(1), pp. 11-16.
5. **Keckésné N. E.**, Sembery P. (2015): The effect of adequate technical conditions on level of DON toxin in milling process. Annals of Faculty Engineering Hunedoara / International Journal of Engineering, 13(1), pp. 49-52.
6. **Keckésné N. E.**, Sembery P. (2015): Color sorting of bread-making wheat and change of toxin content. Annals of Faculty Engineering Hunedoara / International Journal of Engineering, 13(1), pp. 171-174.

Lektorált cikk magyar nyelven:

7. **Keckésné N. E.**, Osztényiné K. É., Korzenszky P., Sembery, P. (2017): A búzátételek magas gazdasági kockázatot jelentő DON-toxin tartalmának csökkentési lehetőségei és statisztikai vizsgálata. Mezőgazdasági Technika, 58(4), 2-5. o.
8. Tima H., **Keckésné Nagy E.**, Rácz A., Kiskó G. (2017): Takarmányozásra használt növényi alapanyagok DON, F-2, T-2 mikotoxin vizsgálata validált ELISA módszerrel, adatok értékelése RStudio programmal. Élelmiszervizsgálati Közlemények, 63(2), 1548-1563. o.

9. **Keckésné Nagy E.**, Nagy J., Nagy D., Korzenszky P., Osztényiné Krauczy É (2017): A malmi búza feldolgozásában alkalmazott manipuláló gépek és korszerű gépelemek szerepe a DON-toxin tartalom csökkentésében . Gradus, 4(2), 162-166. o.
10. **Keckésné Nagy E.**, Nagy J., Nagy D., Korzenszky P., Osztényiné Krauczy É. (2017): A malmi búza tisztítási folyamatában alkalmazott gépek hatékonyságának vizsgálata a DON-toxin tartalom csökkentésében. Gradus, 4(2), 167-170. o.
11. **Keckésné N. E.**, Tima, H., Korzenszky, P., Sembery, P. (2016): Színválogatás után keletkezett malmi melléktermék DON-toxintartalmának vizsgálata takarmányként való felhasználás szempontjából. Magyar Állatorvosok Lapja, 138(7), 421-430. o., (IF: 0,189)
12. **Keckésné Nagy E.**, Korzenszky P., Sembery P. (2015): Malmi melléktermék toxintartalmának vizsgálata. Gradus, 2(2), 269-275. o.
13. **Keckésné Nagy E.**, Sembery P. (2015): A Triticum durum toxintartalmának csökkentése a malomipari folyamatban. Gradus, 2(1), 185-190. o.
14. **Keckésné Nagy E.**, Korzenszky P., Sembery P. (2015): Malmi melléktermék DON-toxin tartalmának vizsgálata. Economica, 8(4/2), 271-278. o.
15. **Keckésné Nagy E.**, Szalai J. (2014): A búza DON-toxin tartalom változásának elemzése intervallumbecsléssel. Gradus, 1(2), 68-73. o
16. **Keckésné Nagy E.**, Sembery P. (2014): Hogyan lehet csökkenteni a kenyérgabona DON-toxin tartalmát a feldolgozási folyamatban? Gradus, 1(2), 51-57. o.
17. **Keckésné Nagy E.**, Sembery P. (2014): Egy malomipari feldolgozási folyamat műszaki feltételeinek a vizsgálata élelmiszerbiztonsági szempontból. Gradus, 1(2), 44-50. o.