SEBHA UNIVERSITY JOURNAL OF PURE & APPLIED SCIENCES VOL.21 NO. 4 2022
DOI: 10.51984/JOPAS.V21I4.2168

جامعة سبها للعلوم البحتة والتطبيقية مجلة
Sebha University Journal of Pure & Applied Sciences

Journal homepage: www.sebhau.edu.ly/journal/index.php/jopas

سموم فطريات الفيوزاريوم والتحديات المستقبلية لسلامة الغذاء "مراجعة شاملة و محدثة"

صفي الدين عبد الله انبيه[1] و جمعة العارف الحافي[2] و لطفي عبد الحميد المسلاتي[2] و عبد الرزاق علي حكم[3] و حمزة محمد النويري[4] و ميلود المهدي محمد[5]

[1]قسم علوم الأغذية، كلية الزراعة، جامعة الزيتونة، ليبيا
[2]كلية الطب البيطري، جامعة الزيتونة، ليبيا
[3] قسم الأقتصاد المنزلي، كلية الزراعة، جامعة طرابلس، ليبيا
[4]كلية التجارة، جامعة الزيتونة، ليبيا
[5]رئيس قسم تقنيات الحيوية، كلية الزراعة، جامعة الزيتونة، ليبيا

الملخص

ينتج جنس الفيوزاريوم Fusarium spp عددًا من السموم الفطرية عبارة عن نواتج أيضة ثانوية سامة ذات التركيبات الكيميائية المتنوعة "Fusariotoxins" مثل أنواع سموم الفيومونزينات Fumonisins و الزيرالينون Zearalenone و التريكوتشينات Trichothecenes .وهناك أيضاً أهتمام كبير ومتزايد بسموم الفيوزاريوم الناشئة Emerging Fusarium Mycotoxins .تلك السموم وجدت في العديد من محاصيل الحبوب منها القمح، الذرة، الشعير و الشوفان بتراكيزات عالية نتيجة لتلوث هذه المحاصيل أما خلال الحقل/ أو بعد الحصاد وكذلك أثناء التخزين عند توفر الظروف البيئية المناسبة. بالإضافة، يؤدي تلوث محاصيل الحبوب الغذائية بالفطريات والسموم الفطرية إلى فقدان المادة الجافة والجودة والتغذية ، وبشكل خطرًا كبيرًا على السلسلة الغذائية. علاوة على ذلك ، فإن التلوث بالسموم الفطرية يقلل من جودة المنتج ويقلل من قيم التصدير ، مما قد يؤدي إلى خسائر اقتصادية كبيرة للبلدان المنتجة. يقلل التلوث بالسموم الفطرية بشكل مباشر من توافر الغذاء وله مساهمته الخاصة في الجوع وسوء التغذية ، كما أن استهلاك الأغذية الملوثة بالسموم الفطرية له تداعيات كبيرة على صحة الإنسان. والمثير للأهتمام أن سموم فطريات الفيوزاريوم جدبت الإنتباه في جميع أنحاء العالم بسبب تأثيراتها على الإنتاجية الحيوانية، وما تسببه من خسائر الاقتصادية المرتبطة بها. علاوة على ذلك، أكد العديد من الدراسات أن إستهلاك غذاء ملوث بالسموم الفطرية الناتجة من فطريات فيوزاريوم لها تأثيرات سمية متفاوتة سواء للإنسان و / أو الحيوانات، حيث يمكن أن تسبب مرضًا حادًا أو مزمنًا المتمثلة في سرطان الكبد، المرئي، موت الخلايا وهدم الأنسجة الحية، وفي بعض الحالات ، الموت. في هذه الورقة، نستعرض مراجعة شاملة ومحدثة عن سموم فطريات الفيوزاريوم بهدف تلخيص المعلومات الأساسية حول أنواع هذه السموم وتأثيراتها الأجتماعية، الأقتصادية، الصحية وطرق الحديثة للكشف سموم الفيوزاريوم وتقديرها كميآ، والتشريعات الدولية لسموم الفيوزاريوم، بالإضافة لكيفية إستخدام نهج الإدارة المتكاملة لتقليل من السموم الفطرية من أجل تشجيع البحث الذي تشتد الحاجة إليه حول الإدارة المتكاملة لهذا الملوث الغذائي الذي لا يمكن تجنبه كمخاوف بشأن سلامة الغذاء في جميع أنحاء العالم.

الكلمات المفتاحية:

Mycotoxins
Fusarium mycotoxins
Deoxynivalenol
T-2 and HT-2 toxin
Zearalenone
Enniatins
Beauvericin
Emerging Fusarium mycotoxins

Fusarium mycotoxins and Future Challenges for Global Food Safety "A Comprehensive and Updated Review"

*Safieddin. A. Inbaia[1], Giuma. A. Al-Hafi[2], Lutfi. A. Al-Maslati[2], Abdurazag.A. Hakam[3], Hamza. M.Al-Nouiri[4], Miloud. A. Amhemed[5]

[1]Department of Food Sciences - Faculty of Agriculture, Al-Zaytoonah University, Libya

*Corresponding author:
E-mail addresses: safidin72@yahoo.com, (G. A. Al-Hafi) giuma109@hotmail.com, (L. A. Al-Maslati) Lutfilmslaty@gmail.com, (A. A. Hakam) abdu_hakam@yahoo.com, (H. M.Al-Nouiri) Hamazanwari@yahoo.com, (M. A. Amhemed) Millotr462780@gmail.com
Article History : Received 19 July 2022 - Received in revised form 04 September 2022 - Accepted 03 October 2022

[2]Faculty of Veterinary Medicine, Al-Zaytoonah University, Libya
[3]Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, University of Tripoli, Libya
[4]Faculty of Commerce, Al-Zaytoonah University, Libya
[5]Head of Biotechnology Department, Faculty of Agriculture, Al-Zaytoonah University, Libyaof Health,Cairo, Egypt

Keywords:
Mycotoxins
Fusarium mycotoxins
Deoxynivalenol
T-2 and HT-2 toxin
Zearalenone
Enniatins
Beauvericin
Emerging Fusarium mycotoxins

A B S T R A C T

The genus Fusarium spp. produces a number of mycotoxins that are toxic secondary metabolites with various chemical structures "Fusariotoxins" such as Fumonisins (FUMs), Zearalenone (ZEA) and Trichothecenes (A and B). There also increasing attention of emerging Fusarium mycotoxins as Beauvericin (BEA), Enniatins and Moniliformin (MON). These secondary metabolites "Mycotoxins" have usually found in several agricultural crops mainly in wheat, corn, barley and oats with high concentrations. This contamination by mycotoxins was occurred either during the field / or after harvest, as well as during storage when appropriate environmental conditions are available. Importantly, the contamination of food grain crops with fungi and mycotoxins leads to loss of dry matter, quality and nutrition, and poses a significant risk to the food chain. As contamination of cereal crops with mycotoxins can be reduced a product quality and export values, and thus lead to significant economic losses for producing countries. Mycotoxin contamination could directly reduce the food availability and its contribution to spread hunger cases and malnutrition, and consumption of food contaminated with mycotoxins has significant implications for human health. Interestingly, Fusarium toxins have attracted worldwide attention due to their adverse effects on animal productivity, and their associated with economic losses. Moreover, many studies have confirmed that consuming food contaminated with mycotoxins resulting from Fusarium fungi has varying toxic effects, whether for humans and/or animals, as it can cause acute or chronic illness and, in some cases, death. For instance, a range of Fusarium mycotoxins can alter different intestinal defense mechanisms, result in in visible, liver cancer, cell death and demolition of living tissues. In this paper, we a comprehensive review of Fusarium mycotoxins and their metabolites with the aim of summarizing the basic information on the types, occurrence, health impacts of these mycotoxins and modern methods for detecting and quantifying fusarium toxins, and international legislation for fusarium toxins, in order to encourage much-needed research on integrated management of this unavoidable food contaminant as concerns for food safety continues to grow worldwide.

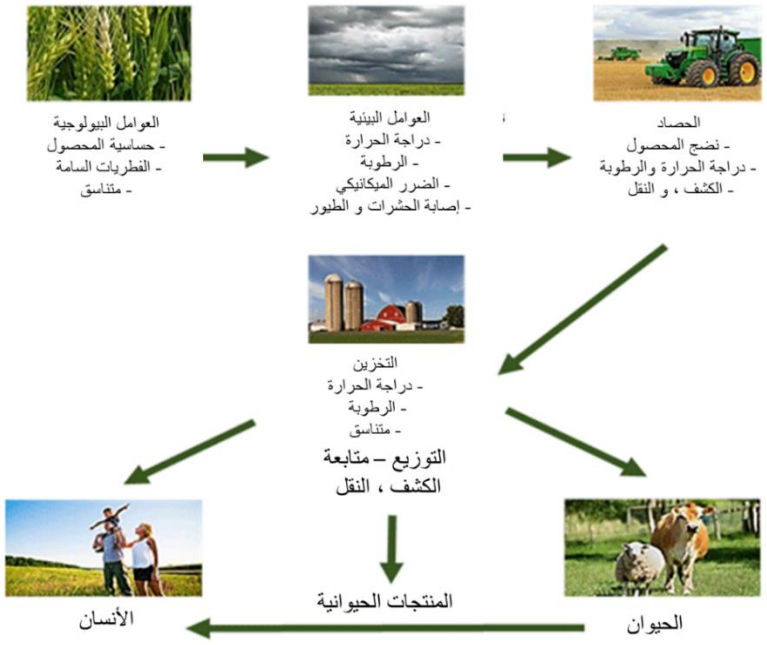
مقدمة:

يعتبر الأمن الغذائي أساس صحة الإنسان ونوعية الحياة، حيث أصبحت سلامة الأغذية قضية إستراتيجية رئيسية في جميع بلدان العالم والتي جذبت مؤخراً إهتمامًا عالميًا (Ayelign & De Saeger,2020). لذلك، تتأثر سلامة الأغذية وجودتها إلى حد كبير بالظروف المعيشية لمستوبات حدوث التلوث في معظم بلدان العالم، نتيجة لتطورها الأقتصادي و الإجتماعي. ونظرًا للتغيرات الإجتماعية والإقتصادية السريعة في العقد الماضي بجميع أنحاء العالم، حيث خضعت معالجة الأغذية، الإمدادات الغذائية، وأنماط الاستهلاك لتغييرات كبيرة مما أدى إلى زيادة عدد حالات تفشي مشاكل الأمن الغذائي. واحدة من أهم المشاكل المتعلقة بسلامة الغذاء الموجودة في الوقت الحالي هي "السموم الفطرية" (Alina, 2022). السموم الفطرية هي أحد أهم العوامل المساهمة في فقدان الغذاء وخاصة في البلدان النامية، وقد أصبحت تحديًا متكررًا لسلامة الغذاء العالمي (Udomkun et al, 2017). نتيجة لذلك ، حتى الآن ، لازالت هناك مخاوف جدية من قبل كل من الباحثين، المستهلكين والمتخصصين في مجال الصحة والتغذية حول تلوث الغذاء بالسموم الفطرية، حيث أستمرت المخاوف المتعلقة بسلامة الغذاء في النمو في جميع أنحاء العالم، بما في ذلك قضية تلوث الغذاء بالسموم الفطرية خلال مراحل السلسة الغذائية المختلفة من المزرعة حتى وصولها إلى المستهلك (Altomare et al, 2021).

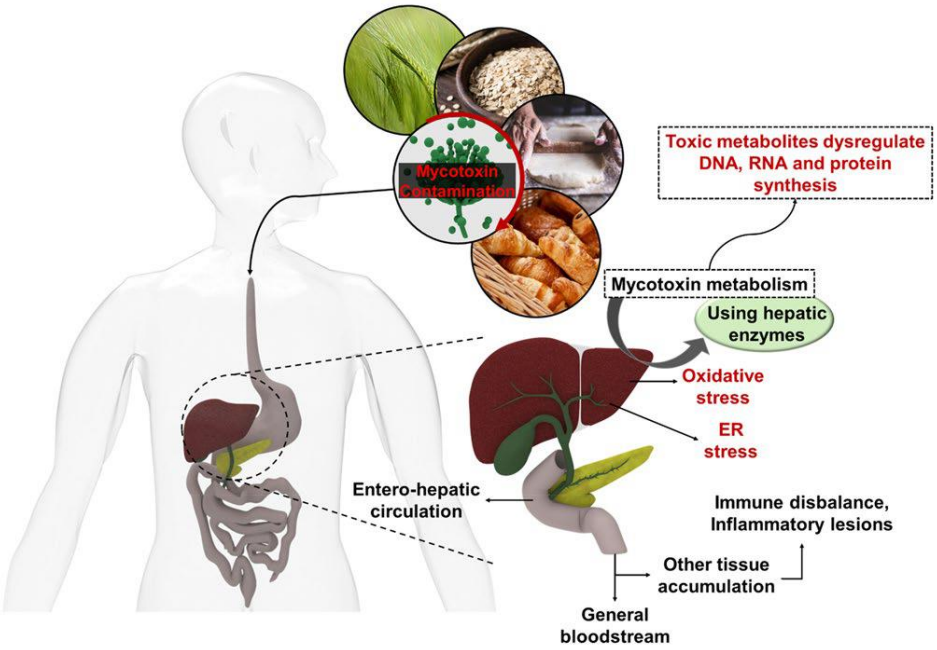
السموم الفطرية عبارة عن نواتج أيضية ثانوية متنوعة في تركيبها الكيميائي يتم إنتاجها بواسطة ثلاث أجناس رئيسية من الفطريات وهي الأسبرجلس *Aspergillus* spp و الفيوزاريوم *Fusarium* spp والبنيسليوم *Penicillium* spp على محاصيل الحبوب في الحقل و / أو بعد الحصاد و خلال طوال سلسلة الإنتاج بأكملها إذا توفرت الظروف البيئية المناسبة وأهمها بشكل رئيسي هي درجة الحرارة و الرطوبة. ومع ذلك ، هناك عوامل أخرى ثانوية تساهم أيضاً في نمو الفطر وإنتاجه للسموم مثل إستخدام مبيدات الفطريات و/ أو الأسمدة، والتفاعل بين الأنواع الفطرية المنتجة للسموم، العوامل الغذائية، الموقع الجغرافي، المتطلبات الوراثية والإصابة بالحشرات. لذلك، يمكن أن تتواجد السموم الفطرية في المنتجات الغذائية والزراعية عبر العديد من مسارات التلوث، في أي مرحلة من مراحل الإنتاج، المعالجة، عمليات النقل وكذلك التخزين كما هو يلخص (**الشكل 1**) (Cinar & Onbaşı, 2019). وفقاً للدراسات الحديثة، يعد الفيوزاريوم أحد أهم أجناس الفطريات المسببة للإمراض أهمها مرض اللفحة المتأخرة (FHB) *Fusarium* head blight على محاصيل الحبوب الغذائية مثل القمح، الذرة و الشعير ، بسبب أنواع فطريات أهمها *F. graminearum, F. culmorum, F. avenaceum and F. poae*. (Karlsson et al., 2021). حيث تنتج أنواع الفيوزاريوم مجموعة متنوعة من المستقلبات الثانوية السامة التي تلوث في معظم محاصيل الحبوب المختلفة، و بالتالي، تصبح هذه الحبوب ملوثة بالسموم الفطرية ومصدر ناقل للسموم للأنسان والحيوانات إذا تم إستهلاكها (Munkvold *et al*,2021). من بين المجموعة الواسعة من السموم التي تفرزها فطريات الفيوزاريم، هناك ثلاث مجموعات رئيسية وجدت بشكل مستمر في العديد من الدراسات السابقة على الحبوب، مما أدى إلى وضع حدود تنظيمية للأغذية والأعلاف. هذه السموم تشمل التريكوتسينات Trichothecenes (TRLs) و الفيومونزينات Fumonisins (FUMs) و الزيرالينون Zearalenone وهي الأكثر سمية و ذات الأهمية الأقتصادية (Pierzgalski et al.,2021), ويعزى أهمية سموم الفيوزاريوم إلى البيانات العلمية الأساسية على تأثيراتها الأقتصادية على محاصيل الحبوب بسبب خسارة المحصول أو/ رفضها لتلوثها بالسموم، حيث تعد السموم الفطرية من الملوثات الغذائية الرئيسية التي تؤثر على الأنتاجية و تسبب خسائر أقتصادية وكذلك تؤثر على الأمن الغذائي العالمي، وخاصة في البلدان النامية (Gbashi et al., 2018). بوضوح أكثر، فإن التلوث بالسموم

الفطرية يقلل من جودة المنتج ويقلل من قيم التصدير، مما قد يؤدي إلى خسائر اقتصادية كبيرة للبلدان المنتجة. كذلك يقلل التلوث بالسموم الفطرية بشكل مباشر من توافر الغذاء وله مساهمته الخاصة في الجوع وسوء التغذية (Gbashi et al., 2018). هذا نتيجة الفشل في تطبيق برامج الممارسات الزراعية الجيدة، وممارسات ما بعد الحصاد السيئة، وكذلك الإصابة بالحشرات من العوامل المساهمة في تلوث المحاصيل بالسموم الفطرية. على سبيلا المثال، منظمة الأغذية والزراعة (FAO) التابعة للأمم المتحدة نشرت تقريراً بأن هناك تلوثًا كبيرًا لحوالي 25٪ من المحاصيل الغذائية في العالم بالسموم الفطرية ، مما أدى إلى خسارة سنوية في حدود مليون طن. ومع ذلك ، تشير الدراسات الحديثة إلى أن نسبة الحبوب الملوثة أعلى بكثير عند 72٪. بالإضافة إلى ذلك ، يمكن أن تسهم العوامل الاجتماعية ، مثل ضعف أنظمة النقل والتجارة ، ونقص الوعي ، وعدم كفاية اللوائح والتشريعات ، في مخاطر التلوث بالسموم الفطرية (Eskola et al., 2020)

من جانب أخر، الذي يعتبر أكثر أهمية وهو الاثار السلبية لهذه السموم على صحة الإنسان والإنتاج الحيواني، حيث تسبب سموم الفيوزاريوم درجات مختلفة من السمية وفقًا لوقت التعرض و تركيز السم الفطري والحالة الفسيولوجية وحساسية الكائن الحي سواء الإنسان أوالحيوان. يؤدي التعرض لفترات طويلة لجرعات منخفضة وشبه مميتة من السموم الفطرية إلى تسمم مزمن، وهو عبارة عن أضرار تراكمية لأنسجة أو أعضاء أو أنظمة معينة، والتي ترتبط أحيانًا بتطور أمراض مسرطنة تم تصنيفها من قبل الوكالة الدولية للسرطان International Accuracy and Research Centre (IARC). العديد من الدراسات السابقة ربطت هذه السموم أيضًا بأمراض بشرية وحيوانية تتراوح من الحادة إلى المزمنة ولها تأثيرات مسرطنة ومطفرة وماسخة ومسببة للأستروجين ونزيف حاد وتسمم عصبي وتسمم الكبد وتثبيط المناعة كما يلخص هذا في **(الشكل 2)** (Misihairabgwi et al., 2020). علاوة على ذلك أيضاً، ظهور مؤخراً لمستقلبات أيضية أخرى " نواتج تمثيل ثانوية" من السموم الفطرية ينتجها جنس الفيوزاريوم *Fusarium* spp لا تقل أهمية عن سموم الفيوزاريوم المذكوره مسبقاً ، والتي تسمى "سموم الفيوزاريوم الناشئة "Emerging *Fusarium* Mycotoxins "حيث يوجد منها مجموعة من (Enniatins (ENN A, A1, B and B1 و بيوفيرسين Beauvericin ومونيلفورمين Moniliformin . هذه السموم تم تقديرها كمياً وخاصة Enniatins بتركيزات وصلت 100 مليجرام/كيلوجرام في بعض محاصيل الحبوب وكذلك المنتجات الغذائية المختلفة، حيث شكله هذا أيضاً مصدر قلق كبير في بعض بلدان العالم وخاصة دول أوربا (Gautier et al., 2020). هذه المستقلبات الأيضية "سموم الفيوزاريوم الناشئة" ، تم إثبات سمية هذه السموم في بعض الدراسات المختبرية ، على الرغم حتى الأن لم يتم وضع حدود تنظيمية أو تشريعات دولية لها في الأغذية والأعلاف كبقية السموم المذكوره مسبقاً. وذلك لقلة الدراسات سواء على مستوى التقدير الكمي في المحاصيل الزراعية و منتجاتها أو على مستوى دراسات السمية ، وهي تحت التقييم حتى الآن (Chiminelli1et al., 2022). من خلال ماسبق ذكره، يكاد يكون وجود السموم الفطرية في الغذاء أمرًا لا مفر منه ويعتمد بدرجة كبيرة على الظروف المناخية و الممارسات الزراعية المختلفة وطرق التخزين. كما أن القضاء والسيطرة على السموم الفطرية بالكامل يعتبر صعب إلى حد ما، نظراً لأنها مستقرة حراريًا والعمليات التصنيعية المختلفة للغذاء لاتقضي بالكامل على هذه السموم. وبالتالي، فإنها تشكل مخاطر كبيرة جداً على صحة الإنسان والحيوان. لذلك، يجب معالجة ذلك من خلال تقييم مخاطر الأغذية وهيئات الرصد ، ومنتجي الأغذية ، وما إلى ذلك من أجل حماية صحة المستهلك وتقييم المخاطر الصحية التي تشكلها هذه السموم الفطرية. ومع ذلك، أشارت العديد من الدراسات بأنه يمكن التخفيف من تلوث السموم الفطرية إلى مستويات مقبولة من خلال تطبيق برامج علمية ممنهجة وإستخدام نهج الإدارة المتكاملة على طول سلاسل الغذائية، الممارسات الزراعية الجيدة ، والتحكم البيولوجي، عوامل المكافحة الكيميائية، وممارسات التصنيع الجيدة، نظام تحليل المخاطر Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP) System. (Cinar & Onbaşı., 2019; Altomare et al., 2021). لذلك، يقدم هذا الفصل مراجعات شاملة ومعلومات محدثة حول سموم فطريات الفيوزاريوم، بما في ذلك تأثيرها الاقتصادي، الأجتماعي والصحي، طرق تحليل السموم الفطرية، أهم التشريعات الدولية لها وكذلك إستخدام نهج الإدارة المتكاملة لتقليل من تلوث الغذاء بالسموم الفطرية.



الشكل (1): العوامل المؤثرة على حدوث السموم الفطرية في سلسلة الغذاء والأعلاف (Cinar & Onbaşı, 2019)



الشكل (2): الملخص لمسار تأثيرات الصحية المحتملة لأنواع السموم الفطرية (Day et al, 2022).

2 . أنواع سموم الفيوزاريوم والتأثيرات الصحية

تنتج فطريات الفيوزاريوم العديد من المجموعات من السموم الفطرية، ولكن هناك ثلاث فئات مهمة من السموم الفطرية ، وهي Trichothecenes A, B و Fumonisins و Zearalenones ، وهذه السموم إرتبطت بالعديد من الأمراض سواء على تنوع التأثير المسرطن، المناعة، والعيوب الخلقية لحيوانات المزرعة والمختبر (جدول 1) . بالإضافة إلى ذلك، سموم الفيوزاريوم الناشئة مثل إينياتن Enniatins ، بيوفيرسين Beauvericin و مونيليفورمين Moniliformin وتأثيراتها العكسية المحتملة على صحة الإنسان و الحيوان (جدول 1) (Ekwomadu et al., 2021)

الجدول (1): ملخص لأهم التأثيرات الصحية لبعض سموم فطريات الفيوزاريوم

السموم الفطرية	التأثيرات الصحية	أعضاء المتأثرة
الفيومونزينات Fumonisins	سببة للسرطان ، سامة للكبد ، سامة كلوية ، مثبطة للمناعة	الجهاز الهضمي والكبد والكلى
الزيرالينون Zearalenone	مسرطنة واختلال هرموني وآثار تناسلية	الأعضاء التناسلية
T-2 toxin	سامة للكبد ، سامة للجينات ، مثبطة للمناعة	الجهاز الهضمي وجهاز المناعة
ديوكسي نيفالينول Deoxynivalenol	الغثيان والقيء والإسهال والآثار التناسلية والتسمم	الأعضاء التناسلية والجهاز الهضمي
نيفالينول Nivalenol	سامة للمناعة، للجينات ، للدم	الجهاز الهضمي والعضلات
إينياتينات Enniatins	سامة مناعية وسامة للخلايا	جهاز المناعة
مونيليفورمين Moniliformin	الاضطرابات القلبية والعضلية	القلب والكلى والعضلات

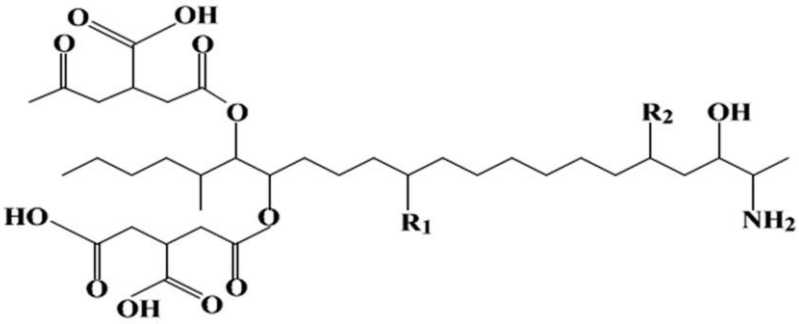
(Ekwomadu et al., 2021)

2.1 . الفومونزينات (FUMONISINS (FUMs

تعتبر أحد سموم فطريات الفيوزاريوم التي تم اكتشافها لأول مرة في عام 1988. سموم الفومونزينات Fumonisins يتم إنتاجها بواسطة فطر *Fusarium verticillioides* ، والتي كانت تعرف سابقًا باسم *Fusarium moniliforme* ، وأيضاً بواسطة فطر *Fusarium proliferatum* وهما أحد مسببات الأمراض الفطرية الشائعة المرتبطة بمحاصيل الذرة. هذه الفطريات يمكن أيضاً أن تصيب نباتات الذرة بشكل منهجي دون التسبب في أعراض مرضية واضحة، أو في البذور المصابة بلا أعراض. يمكن العثور على FUMs في عدد قليل من المحاصيل الأخرى، عادة عند مستوى تركيزات منخفضة، ولكن أهميتها الاقتصادية هي أساسا في الذرة. **من ناحية أخرى**، تم العثور على فطر *Aspergillus niger* لإنتاج بعض أنواع الفيومونزينات مثل Fumonisin B2 and B4 في الفواكة مثل العنب و القهوة (Ekwomadu et al., 2021)

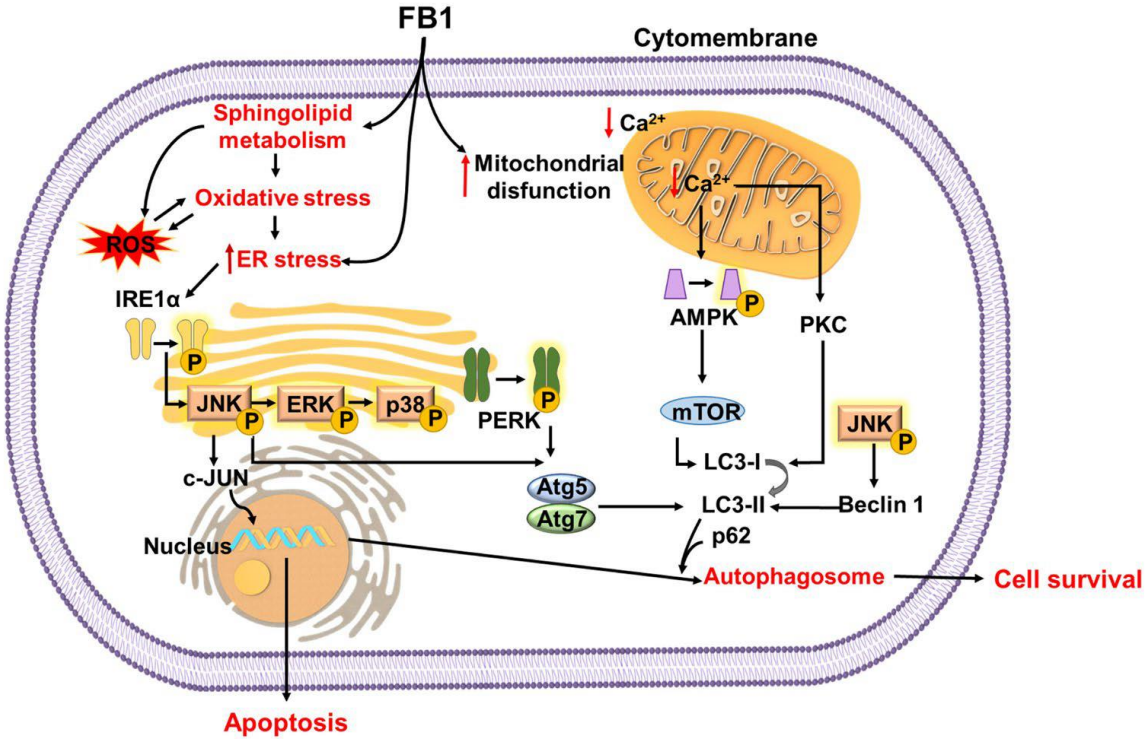
تشتمل نظائر سموم Fumonisin B على فومونيزين B1, B2, B3 and B4 **(الشكل 3)**، وهي الأكثر أهمية والأكثر انتشارًا بشكل طبيعي في الذرة و منتجاتها (Munkvold et al., 2021). أظهرت الدراسات الوبائية بوضوح أهمية إجهاد الجفاف، تلف الحشرات، والنمط الجيني الهجين ، والأهم من ذلك ، درجة الحرارة لإنتاج سموم FUMs تتراوح بين 12-15 درجة مئوية. تتواجد هذه المجموعة بوفرة بشكل طبيعي، مع سيطرة للسم الفطري Fumonisin B1 بتركيزات أعلى في محاصيل الحبوب الملوثة وأهمها الذرة وخاصة في دول قارة أفريقيا مثل المغرب، الجزائر، بوركينا فاسو والكاميرون وغانا ونيجيريا والكونغو وإثيوبيا وكينيا وتنزانيا وأوغندا، حيث تم تحديد كميات كبيرة من هذا السم الفطري في الحبوب و منتجاتها المعدة كغذاء البشري (Yli-Mattila and Sundheim, 2022). حدثت بعض حالات تسممات ترجع إلى تلوث محاصيل الحبوب خاصة الذرة ومنتجاتها بسموم الفيومزنزينات بتحديد Fumonisin B1، حيث ساهم في الإصابة بسرطان المريء البشري في منطقة ترانسكي بجنوب إفريقيا وهذا مرتبط بإستهلاك الذرة الملوثة بالفومونيزين. تم عمل ملاحظات مماثلة في الصين وشمال شرق إيطاليا. (Ekwomadu et al., 2021) نظرًا لأن FB1 قادر على تقليل إمتصاص الفولات في خطوط الخلايا

المختلفة ، فمن المحتمل أن يكون مرتبطًا بعيوب الأنبوب العصبي عند الرضع. ارتبط الفومونيزين B1 أيضًا بارتفاع معدل حدوث عيوب الأنبوب العصبي لدى أطفال الأمهات اللائي تناولن ذرة ملوثة بالفومونيزين بالقرب من حدود تكساس والمكسيك. إلى جانب تفشي تلين الدم الدماغي الخيلي والوذمة الرئوية الخنازير في الولايات المتحدة ، وكلاهما مرتبطان باستهلاك الأعلاف القائمة على الذرة. كما ارتبط تناول الفومونيزين المزمن للسموم الفطرية بضعف النمو لدى الأطفال. لذلك صنفت الوكالة الدولية لبحوث السرطان International Accuracy and Research Centre (IARC) أن FB1 في المجموعة الثانية ب على أنها "ربما تكون مسببة للسرطان للإنسان" . يشبه Fumonisin B1 من الناحية الهيكلية قواعد السفينجويد ، والتي يمكن أن تفسر سبب تثبيط التخليق الحيوي لمجمعات سفينجوليبيد ويؤدي إلى تدمير الخلايا وموت الخلايا الناتج (الشكل 4) (Dey et al., 2022; Qu et al., 2022). الفومونيزينات مستقرة بالحرارة إلى حد ما ؛ ومع ذلك ، في الأطعمة المعالجة بالحرارة ، يوجد FB1 في أشكال مرتبطة تساهميًا، حيث يتسبب الفومونيزينات في تلف وظائف الجهاز المناعي والكبد والكلى. تسبب انخفاض الوزن. وزيادة معدلات الوفيات. وقد ثبت أيضًا أن الفومونيزين B1 مادة مسرطنة للكبد بالنسبة للفئران.



Classification	Structure
FB1	R1=OH, R2=OH
FB2	R1=OH, R2=H
FB3	R1=H, R2=OH
FB4	R1=H, R2=H

الشكل (3): الشكل الكيميائي (الصيغة البنائية) لمجموعة الفيومونزينات Fumonisins B1, B2, B3 and B4



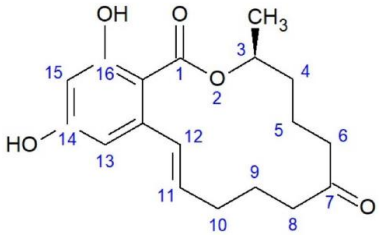
الشكل (4). التمثيل المنهجي لمسارات السمية الناتجة عن الفومونيزين B1 (FB1). يلعب تحريض الإجهاد التأكسدي دورًا قميًا ومركزيًا في السميات التي يسببها FB1 من خلال إثارة إجهاد الشبكة الإندوبلازمية ، وكذلك يؤدي إلى موت الخلايا في الميتوكوندريا (Day et al, 2022).

2.2 الزيرالينون Zearalenone (ZEA) ومستقلباته (Mycoestrogens)

أحد السموم الفطرية الغير ستيرويدية تنتجها العديد من أنواع *Fusarium*، وتم تصنيفه في عام 1962. يطلق على الزيرالينون ZON، المعروف أيضًا باسم F-2، ويتكون التركيب الكيميائي للزيرالينون ZEA من حمض اللاكتون Resorcylic acid lactone ، وهناك عدد من مشتقات الزيرالينون المعروفة حاليًا مبينه في **(الشكل 5)**، والأكثرها سمية مثل α-Zearalenone. ، وكذلك β-Zearalenone وهي تقدر من 3-4 أضعاف مقارنة مع الزيرالينون Zearalenone. معظم الدراسات ذكرت أن الزيرالينون يتنج بشكل أساسي بواسطة الأنواع لكل من *Fusarium graminearum* ، *Fusarium culmorum* ، في الذرة والحبوب الصغيرة مثل القمح، الشوفان، الشعير، الذرة الرفيعة وكذلك الأرز. تساعد الظروف البيئية مثلاً خلال فترات المطر البارد والظهور المبكر للصقيع، تليها فترات قوية من أشعة الشمس، على إصابة محاصيل الحبوب بانواع *Fusarium* قبل الحصاد، في هذه العملية يتم أيضًا إنتاج الزيرالينون Zearalenone. بالإضافة لذلك، وجدت في بعض الحالات أنواع أخرى لفطريات الفيوزاريوم أن لها القدرة على إنتاج كميات من الزيرالينون مثل *Fusarium moniliforme*، *Fusarium roseum*، *Fusarium*

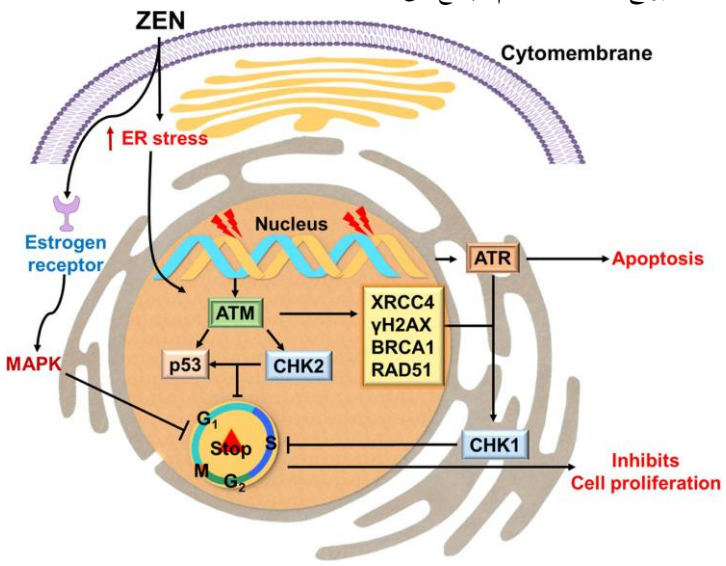
tricinctum. يتأثر إنتاج الزيرالينون بالعوامل البيئية للمناخ، حيث يزداد إنتاج ZEA خاصة في الظروف الباردة والأكثر رطوبة إلى حد ما، مع درجات حرارة تتراوح بين 10-15 درجة مئوية. (Ekwomadu et al., 2021; Alina,2022).

Toxin	Position	Modification
ZEN-14G	14	O-Glucose
ZEN-16G	16	O-Glucose
ZEN-14S	14	O-Sulfate
α- ZOL/β- ZOL	7	OH
ZEN-14GlcA	14	O-Glucuronic acid



الشكل (5): التركيب الكيميائي (الشكل البنائي) للزيرالينون Zearalenone و مستقلباته

الزيرالينون عبارة عن سم فطري إستروجيني، لذلك يؤثر على هرمون الاستروجين التناسلي وله صلة عالية بمستقبلات هرمون الاستروجين ، مما يتسبب في إضطرابات التكاثر والخصوبة ، المعروفة باسم هرمون الاستروجين ، في الحيوانات الحساسة. (Munkvold et al.,2021). أظهر أن التعرض لـ ZEN قلل بشكل كبير من تكاثر الخلايا بطريقة تعتمد على الجرعة. علاوة على ذلك ، فإن التعرض المطول لـ ZEN تسبب بشكل كبير في استجابة تلف الحمض النووي وتسريع مسار موت الخلايا المبرمج (الشكل 6). تم الإبلاغ عن فاشيات ميدانية لمتلازمة الإستروجين في الخنازير في أمريكا الشمالية وأوروبا وأفريقيا وآسيا وأستراليا . قد تشمل الآثار السريرية للزيرالينون تضخم الرحم وتورم الفرج والمهبل (المعروف باسم التهاب الفرج والمهبل) وتضخم الغدد الثديية والتخدير (فترات العقم) والإجهاض. صنف الزيرالينون من قبل الوكالة الدولية لبحوث السرطان IARC ضمن المجموعة 3 وإحتمالية كونه مادة مسببة للسرطان (Day et al, 2022).



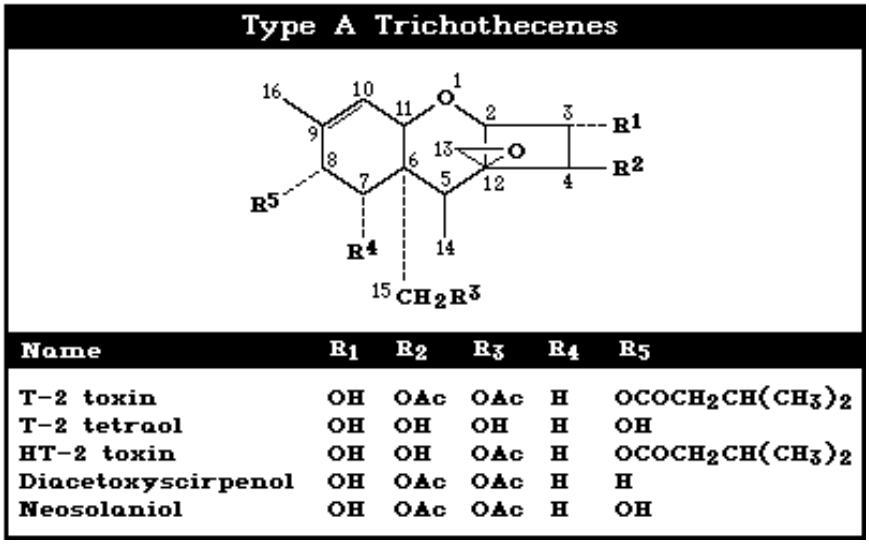
الشكل (6): مسارات الأيضية في السمية الناتجة عن الزيرالينون (ZEN) في خلايا الثدييات. تتبع مسارات إشارات تلف الحمض النووي، تؤدي إما إلى توقف النمو في مراحل دورة الخلية أو تحفز موت الخلايا المبرمج (Day et al, 2022).

2.3 التريكوتسينات (Trichothecenes)

هي فئة كبيرة من المستقلبات الثانوية التي تنتجها عدة أنواع من فطريات الفيوزاريوم *Fusarium* spp. إنها عائلة من السيسكيتيربينويدات رباعية الحلقات التي تحدث بشكل طبيعي وجزء من فئة من التربينات تتكون من ثلاث وحدات إيزوبرين. تشترك Trichothecenes في بنية أساسية مشتركة تتكون من مجموعة أولفية ومجموعة إيبوكسيد وأعداد مختلفة من مجموعات الهيدروكسيل والأسيتيل (**الشكل 7 ، 9**) (Ekwomadu et al., 2021). تعتبر سموم Trichothecenes بشكل عام مصدر قلق عالمي حيث توجد في محاصيل الحبوب التي عادة ما يستهلكها الانسان والحيوان ، مثل الذرة والشعير والشوفان والقمح. تعتبر Trichothecenes من أهم السموم الفطرية من حيث التأثير الاقتصادي وسلامة الغذاء والأعلاف لأنها قد تلوث المنتجات الأساسية المعتمدة على الحبوب وتسبب تسممًا فطريًا للأنسان وحيوانات المزرعة. بشكل عام، هذه المجموعة بأنها مثبطات قوية لتخليق البروتينات حقيقية النواة، تتداخل مع مراحل البدء والاستطالة والإنهاء. بعض الأمراض المصاحبة لهذه السموم في الإنسان والحيوان تشمل رفض الأعلاف والإجهاض وفقدان الوزن والتهاب الجلد ونزيف الأعضاء الداخلية واضطرابات الدم وتثبيط المناعة واضطراب الجهاز العصبي. تم تصنيف Trichothecenes إلى أنواع A و B ، بناءً على البنية الأساسية لتركيب الكيميائي لهذه السموم (Pierzgalski et al., 2021; Dey et al., 2022).

• التريكوتسينات Trichothecenes A

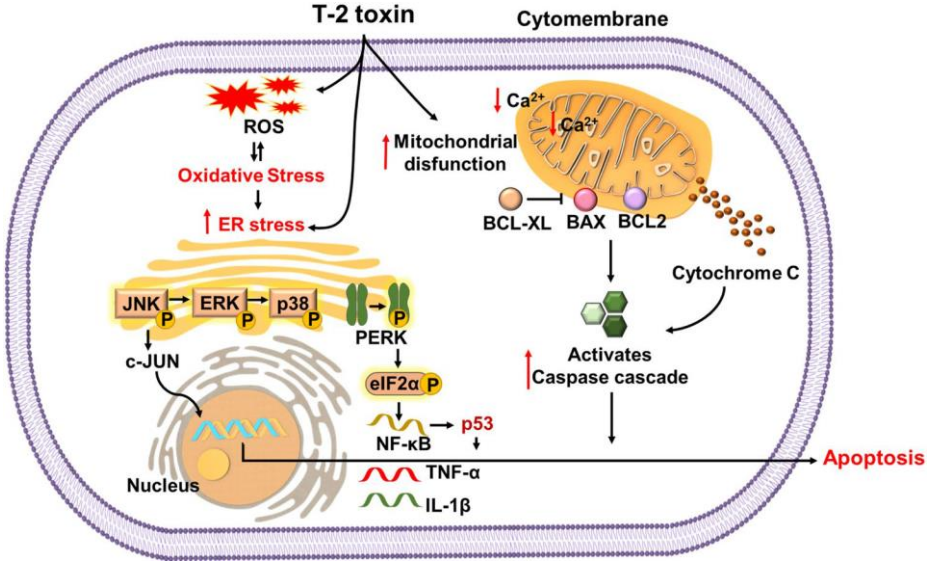
تتضمن أنواع التريكوتسينات Trichothecenes من النوع A بشكل أساسي على T-2 toxin و مستقلباته عبارة عن منزوع الأستيل مثل سموم HT-2 toxin و Diacetoxyscirpenol (DAS) و Neosolaniol (NEO) (**الشكل 7**). (Munkvold et al., 2021).



Name	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
T-2 toxin	OH	OAc	OAc	H	$OCOCH_2CH(CH_3)_2$
T-2 tetraol	OH	OH	OH	H	OH
HT-2 toxin	OH	OH	OAc	H	$OCOCH_2CH(CH_3)_2$
Diacetoxyscirpenol	OH	OAc	OAc	H	H
Neosolaniol	OH	OAc	OAc	H	OH

الشكل (7): الشكل الكيميائي (الصيغة البنائية) لمجموعة السموم الفطرية لـ Trichothecenes A

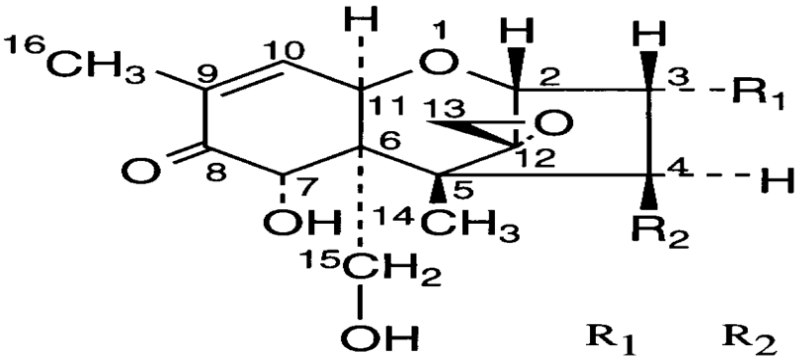
النوع Trichothecenes A وخاصة T-2 toxin يتم إنتاجها بواسطة عدد من أنواع من جنس الفيوزاريوم *Fusarium* مثل *F. lengesthiae* ، *F. sporotrichiodes*، *F. poae* ، *F. tricinctum* على محاصيل الحبوب، حيث يعتبر الشوفان اكثر الحبوب إصابة (Mahato et al., 2022). الظروف المثلى لإنتاج هذا النوع من السموم الفطرية عندما يكون الطقس يميل للبرودة في درجة حرارة أقل من 15 درجة مئوية وعلى الأقل عند 0.88 نشاط مائي. من بين محاصيل الحبوب (Janik et al., 2021). بشكل عام، تعد Trichothecenes أكثر سمية للخلايا من نواتج *Fusarium* الأخرى ، كما أن Trichothecenes من النوع A لها تأثير سام للخلايا أعلى من النوع Trichothecenes B. هذا النوع من السموم يسبب السمية المناعية ، والسمية الخلوية ، والسمية العصبية ناتجة عن النوع، ويعتبر أن T-2 toxin أكثر مركبات Trichothecenes سمية مسبباً في النهاية موت الخلايا (الشكل 8) (Dey et al., 2022). يعتبر أن T-2 toxin هو سم خلوي قوي ومثبط للمناعة قادر على التسبب في تسمم حاد وأمراض مزمنة سواء للأنسان أوالحيوانات. تشمل أعراض التسمم الحاد الغثيان والرعشة وآلام البطن والإسهال وفقدان الوزن. في حين تسمم المزمن، يثبط T-2 toxin تخليق البروتين، مما يؤدي إلى آثار جانبية لتخليق الأحماض النووية (DNA) و (RNA). بالإضافة إلى ذلك ، له تأثير سلبي على جهاز المناعة. يسبب سموم Trichothecenes من النوع A أعراض ظهرت على الحيوانات المصابة علامات فقدان الوزن، وفقدان الشهية ، والقيء ، والإسهال الملطخ بالدم ، والإجهاض ، وفي الحالات الشديدة قد تؤدي إلى الوفاة. كان T-2 toxin سببًا في الإصابة بمرض الأوكيا السامة الغذائية التي قتلت آلاف الأشخاص في روسيا (Pierzgalski et al., 2021)



الشكل (8): تمثيل بياني للسمية التي يسببها التوكسين T-2. يمكن أن يؤدي توكسين T-2 إلى مسار إشارات موت الخلايا، كذلك يؤدي إلى زيادة الإجهاد التأكسدي وينشط مسار موت الخلايا المبرمج في الميتوكوندريا (Day et al, 2022).

التريكوتسينات Trichothecenes B

بينما التريكوتسينات من النوع Trichothecenes B، وهي مجموعة من السيسكيتيربينويدات رباعية الحلقات مثل ديوكسينيفالينول deoxynivalenone (DON)، ونيفالينول nivalenol (NIV)، ومشتقاتها التي تتكون من مجموعة الأسيتيل 3-Acetyl deoxynivalenol (3-ADON) وكذلك Fusarenon-X (FUS-X) كما موضح في (الشكل 9) (Ekwomadu et al., 2021; Munkvold et al., 2021).

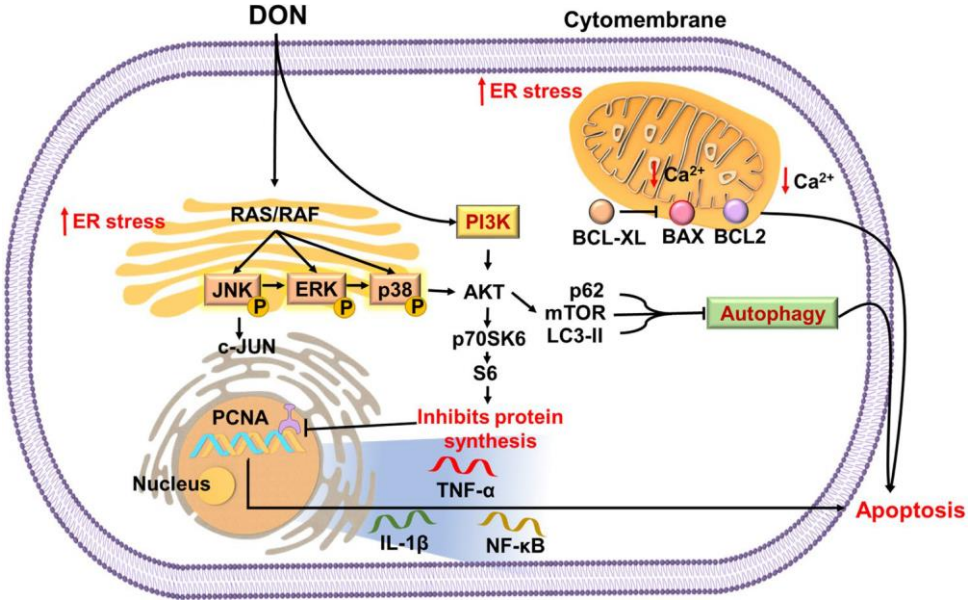


	R_1	R_2
Deoxynivalenol(DON)	OH	H
3-Acetyldeoxynivalenol	OAc	H
Nivalenol	OH	OH
Fusarenon-X	OH	OAc

الشكل (9): التركيب الكيميائي (الصيغة البنائية) لمجموعة السموم الفطرية لـ Trichothecenes B

السموم الفطرية من Trichothecenes B تفرزها بسكل أساسي أنواع من جنس الفيوزاريوم *Fusarium* المعروفة أهمها *F. graminearum* أو عن طريق *F. culmorum* على محاصيل القمح، الشعير و الشوفان في بعض المواقع الجغرافية. (Mahato et al., 2022). يعتبر ديوكسينيفالينول DON ، نيفالينول NIV أكثر السموم تواجداً في محاصيل الحبوب ، حيث يؤثر DON بشكل رئيسي على الحبوب الصغيرة ، مثل الشوفان والقمح والشعير، ولكن يمكن أن يحدث أيضًا في الذرة. في بعض الحالات قد يحدث ديوكسينيفالينول DON مع الزيرالينون ZEA حيث يمكن إنتاج كلاهما من نفس النوع من فطريات الفيوزاريوم *Fusarium* (Janik et al., 2021).

ظهرت حالات تسمم، حيث تم الإبلاغ عن فاشيات الأمراض البشرية المرتبطة باستهلاك حبوب ودقيق ملوثة ب DON في الصين والهند. وشملت الأعراض الغثيان والحمى والصداع والقيء. تم تصنيف Deoxynivalenol في المجموعة الثالثة ، مما يعني أنه لا يمكن تصنيفها فيما يتعلق بتسببها في الإصابة بالسرطان على البشر (Ekwomadu et al., 2021). يؤدي إمتصاص السم الفطري DON الى منع تخليق البروتين، وكذلك تقليل تنظيم بقاء الخلية بوساطة الالتهام الذاتي عند التعرض لـ DON ، والذي ساهم بالتتابع في تنشيط مسار إشارات موت الخلايا المبرمج (الشكل 10) (Dey et al., 2022). بالإضافة إلى ذلك ، فإنه يسبب القيء في الخنازير التي تستهلك الأعلاف الملوثة أو رفض العلف لأن الأعلاف غير مستساغة. قد يؤدي التقليل من تناول العلف إلى فقدان الوزن بشكل خطير، مما قد يعيق الأداء التناسلي بالإضافة إلى التسبب في اضطرابات الجهاز المناعي في أنواع الحيوانات المختلفة. علاوة على ذلك ، تم وصف زيادة انتشار التهابات الجهاز التنفسي العلوي لدى الأطفال الذين تناولوا خبز القمح الملوث ب DON لأكثر من أسبوع. انخفض المرض عندما توقف تناول الخبز. يُفترض أن سمية Deoxynivalenol تحدث من خلال تعديل نظام المناعة الفطري. في حين تم تصنيف Nivalenol في المجموعة الثالثة، وله تأثيرات على مرضية مزمنة على الجهاز الهضمي و العصبي، مما يعني أنه قد لا يصنف فيما يتعلق بالسرطان على الانسان (Ekwomadu et al., 2021).



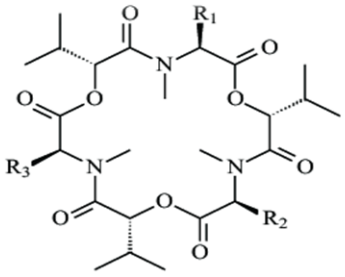
الشكل (10): توضيح نموذجي لتأثير السم الفطري الديوكسي نيفالينون (Deoxynivalenol (DON على موت الخلية، ويحث على تجزئة الحمض النووي. يؤدي أيضاً للفسفرة داخل الريبوسوم ؛ يحاكي تركيزات Ca2 + في الميتوكوندريا ويغير مستويات التعبير الجيني للعديد من السيتوكينات الالتهابية (Day et al, 2022).

2.4. سموم الفيوزاريوم الناشئة Emerging *Fusarium* Mycotoxins

سميت السموم الفطرية ، بما في ذلك BEA و ENNs و MON ، لأول مرة باسم "السموم الفطرية الناشئة" في عام 2008 من قبل Jestoi ؛ منذ ذلك الحين ، تم استخدام المصطلح بشكل أساسي لهذه السموم الفطرية. يتم تعريف السموم الفطرية الناشئة على أنها سموم فطرية لم يتم تحديدها كميا في إطار التحليل الروتيني أو الحدود التشريعية ؛ ومع ذلك ، فإن حدوثها يحظى باهتمام متزايد في الحبوب والمنتجات القائمة على الحبوب (Vaclavikova *et al*, 2013) على الرغم من أن البيانات المتعلقة بالسموم الفطرية الناشئة وسلوكها السمي لا تزال نادرة ، فقد أشارت العديد من الدراسات في المختبر وفي الجسم الحي إلى الآثار الضارة المحتملة لهذه الملوثات الطبيعية ، مما يبرز أنها تمثل تهديدًا خطيرًا لصحة الإنسان والحيوان والبيئة (Bertero *et al*, 2020).

• إينياتينات Enniatins (ENNs)

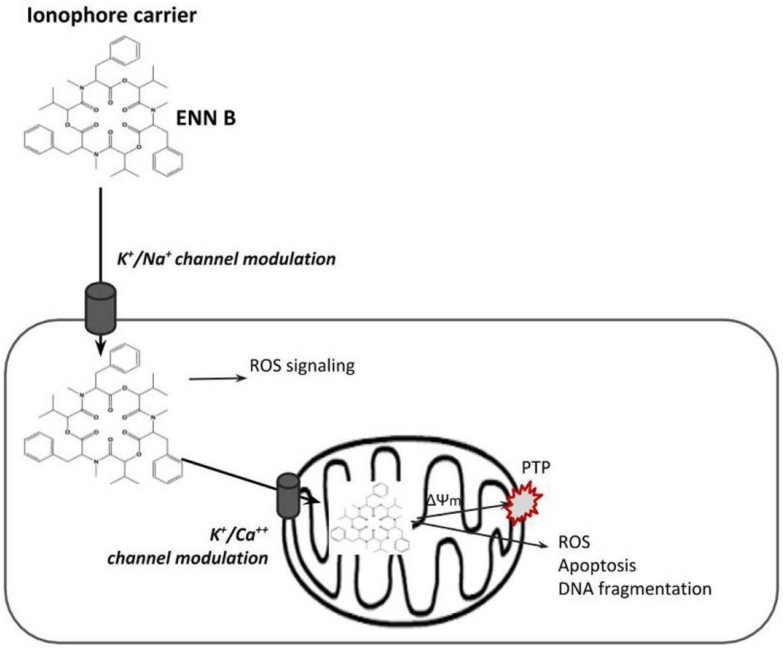
عبارة عن مجموعة من سداسي بيبتيدات حلقية تتكون من بقايا متناوبة لثلاثة أحماض أمينية N- ميثيل وثلاثة أحماض هيدروكسيل ، وهي محبة للدهون بطبيعتها. تتألف من 29 نظيرًا للإنياتين ، مجموعتين A و B. **(Gautier et al.,2020)**. ومع ذلك، من هذه النظائر، الأكثر شيوعًا في منتجات الحبوب والحبوب والأعلاف هي ENN A, A1, B and B1 **(الشكل 11) (Pierzgalski et al., 2021)**. على الرغم من وجود Enniatins B2 و B3 و B4 أيضًا في بعض الدراسات، خاصة في الحبوب. يتم إنتاج هذه المجموعة الغير المتجانسة من السموم الفطرية بواسطة عدة أنواع من الفطريات التي تنتمي إلى جنس *Fusarium* أهمها منتج رئيسي *F. avenaceum* ، *F. tricinctum*. أشارت بعض الدراسات أن انواع مثل *F.acuminatum* و *F. oxysporum* و *F. poae* و *F. sporotrichioides* يمكنها إنتاج مجموعة Enniatins **(Altomare et al., 2021)**.



ENN	R1	R2	R3
A	$CH(CH_3)CH_2CH_3$	$CH(CH_3)CH_2CH_3$	$CH(CH_3)CH_2CH_3$
A_1	$CH(CH_3)CH_2CH_3$	$CH(CH_3)CH_2CH_3$	$CH(CH_3)_2$
B	$CH(CH_3)_2$	$CH(CH_3)_2$	$CH(CH_3)_2$
B_1	$CH(CH_3)_2$	$CH(CH_3)_2$	$CH(CH_3)CH_2CH_3$

الشكل (11): الشكل الكيميائي (الصيغة البنائية) لمركبات سموم Enniatins

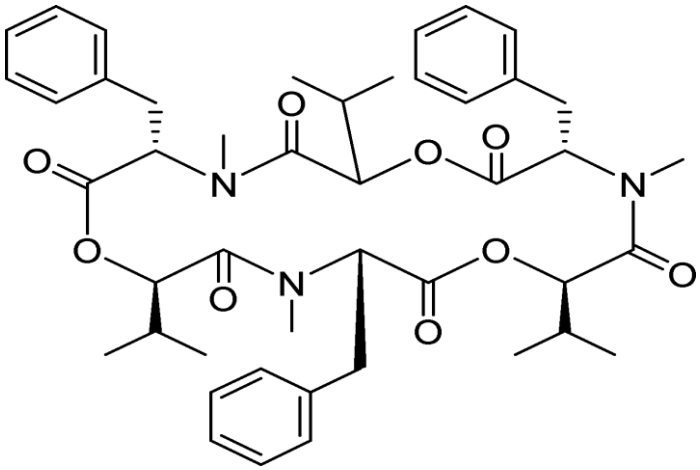
طبيعة سموم Enniatins كمحبة للدهون، مما يسمح لها بالاندماج في الطبقات الدهنية الثنائية لأغشية الخلايا. لذلك، تعتمد سمية ENNs على خصائصها الأيونية، والتي تسهل نقل الكاتيونات أحادية أو ثنائية التكافؤ ، مثل K^+ أو Ca^{+2} ، عبر الأغشية ، وبالتالي تعطيل التركيزات الفسيولوجية الطبيعية لهذه الأيونات (الشكل 12) (Prosperini et al., 2017). وجدت دراسة أخرى أن ENNs تثبط نشاط أنزيم أسيل (CoA) A: الكوليسترول أسيل ترانسفيراز في ميكروسومات كبد الفئران. ثبت أن التركيزات الميكرومولارية المنخفضة من ENNs سامة للخلايا لخطوط خلوية مختلفة. وتقلل من حركة الحيوانات المنوية للخنازير. ثبت أن موت الخلايا يتم عن طريق تحريض موت الخلايا المبرمج عبر مسار الميتوكوندريا. أو تحريض النخر المرتبط بالضرر الليزوزومي (Gautier et al.,2020). توجد بيانات متضاربة بشأن ما إذا كان أم لا. تؤدي شبكات ENN إلى إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية (ROS). ومن المثير للاهتمام ، أن توكسين ENN B1 و T-2 قد أظهروا تأثيرًا سامًا معاديًا على الخلايا الظهارية المعوية المزروعة والمستأصل المعوي، مما يشير إلى أن ENN B1 ينظم السمية المعدية المعوية لتوكسين T-2 (Chiminelli1et al., 2022; Sá et al., 2021).



الشكل (12): مخطط حامل الأيون للإينايتن من نوع ENN B يحمل الأيونات عن طريق نشره من خلال الدهون الغشائية (Prosperini et al., 2017)

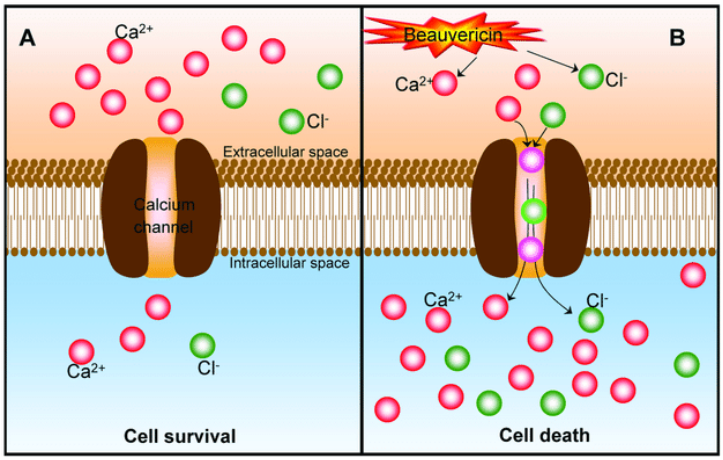
• بيوفيرسين (BEA) Beauvericin

هو عبارة سداسي ببتيد حلقي non-ribosomal cyclic hexadepsipeptide ، يتم إنتاجه بواسطة عدد من فطريات الفيوزاريوم على محاصيل الحبوب مثل القمح و الشعير و الشوفان . يعتبر فطر *F. poae* هو المنتج الرئيسي لـ BEA ، وأيضاً وجد أن فطريات *F. fujikuroi* ، *F. sambucinum* كلاهما قادرة على إنتاج كميات متفاوتة من البيوفيرسين BEA (Pierzgalski et al., 2021; Altomare et al., 2021).



الشكل (13): الشكل الكيميائي (الصيغة البنائية) لمركب بيوفيرسين Beauvericin

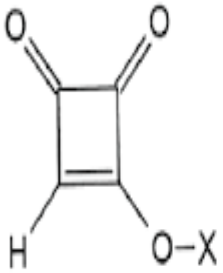
يعتبر البيوفيرسين BEA مركب حامل شاردة (Free Radical)، حيث تبين أن التركيزات المنخفضة لها تأثير سامة للخلايا المناعية المختلفة في المختبر. كما وجد أيضاً انه يسبب موت الخلية عن طريق موت الخلايا ، وعبر مسار الميتوكوندريا، إمكانات مطفرة للجسم الحي كما موضح في (الشكل 14) (Wu et al, 2018). بالإضافة إلى ذلك ، تؤثر تركيزات البيوفيرسين BEA منخفضة. ثبت أن السم يعمل كمثبط للإنزيم في ميكروسومات الكبد وكان قادرًا على تثبيط إنزيمات السيتوكروم. يُظهر هذا السم أيضًا نشاطًا سامًا للخلايا وموتًا ومثبطًا للمناعة. يعمل البيوفيرسين BEA على الأغشية الخلوية، ويزيد من النفاذية ويعطل التوازن الخلوي. على الرغم من أن المونيليفورمين يُظهر سمية أقل نسبيًا مقارنة بالأنياتين والبوفريسين ، فقد تم الإبلاغ عن أنه سام تجاه الخلايا الليمفاوية والخلايا العضلية الهيكلية وخلايا عضلة القلب ، مع كون الطيور والمنك أكثر الأنواع حساسية. لم يتم توضيح آلية العمل بالكامل بعد ، ولكن يشتبه في حدوث سمية تجاه الميتوكوندريا بآلية مشابهة للإنياتينات (Bertero et al., 2020).



الشكل (14): يوضح ألية تنشيط الـ BEA لحدوث الخلايا السرطانية وحث على موت الخلايا

• **مونيليفورمين Moniliformin (MON)**

هو أحد السموم الفطرية تعتبر من الأحماض العضوية الأكثر حمضية، ولذلك يوجد عادة في الطبيعة مثل ملح الصوديوم أو البوتاسيوم ؛ شكله الكيميائي هو 1-hydroxycyclobut-1-ene-3,4-dione of the semisquaric acid كما هو موضح في الشكل (13). يبدو أن الأسلوب الأساسي للعمل الموجود في MON هو تثبيط الإنزيمات المعتمدة على بيروفوسفاتيز الثيامين ، والتي تقوض دورة حمض الكربوكسيل من خلال أكسدة البيروفات و α- كيتوجلوتارات. يتم إنتاج مونيليفورمين MON بصورة رئيسية بواسطة *Fusarium proliferatum* ، وأنواع فطريات التي تنتج مجموعة ENNs وهي *F. avenaceum*، *F. tricinctum*، حيث يعرف المونيليفورمين بأنه ملوث طبيعي عالمي في الحبوب مثل الأرز والقمح والشوفان والشعير والجاودار والذرة **(Sá et al., 2021).**



X:	Molecular weight (g/mol)
H	98
Na	120
K	136

الشكل (15): الشكل الكيميائي (الصيغة البنائية) لمركب مونيليفورمين (MON)

وجد أن MON له تأثير سامة للخلايا (خلايا الدم الحمراء البشرية) (Gruber-Dorninger et al, 2017). يبدو أن الأسلوب الأساسي للعمل الموجود في MON هو تثبيط الإنزيمات المعتمدة على بيروفوسفاتيز الثيامين ، والتي تقوض دورة حمض الكربوكسيل من خلال أكسدة البيروفات و α- كيتوجلوتارات (Altomare et al., 2021). علاوة على ذلك ، فإن العديد من الإنزيمات التي تشترك في الثيامين كعامل مشترك مشترك (بيروفات ديهيدروجينيز ، ألفا كيتوجلوتارات ديهيدروجينيز ، بيروفات ديكاربوكسيلاز وأسيتوهيدروكسي أسيد سينثيز) قد تم تثبيتها بواسطة MON. خلص نفس المؤلفين إلى أن MON يفي بمعايير الملصق النشط الموجه للموقع ، والذي لا رجعة فيه للأنزيمات التي تستخدم الثيامين ، وأن تثبيط البيروفات ديهيدروجينيز موجه بشكل مشترك ومن المحتمل أن يكون ناتجًا عن التشابه الهيكلي بين MON والبيروفات. (Chiminelli1et al., 2022; Sá et al., 2021).

3. التأثير الأجتماعي والأقتصادي

بصرف النظر عن الآثار الاجتماعية الواضحة على الصحة العامة (انظر التأثيرات السامة للسموم الفطرية الفردية ، المذكوره سلفاً في هذا الفصل) ، فإن حدوث الفطريات المسببة للسموم الفطرية والسموم الفطرية في سلاسل الغذاء والأعلاف له أيضًا تأثيرات اقتصادية كبيرة على المجتمع البشري، حيث تسبب السموم الفطرية مستوى مرتفعًا من الخسائر الاقتصادية لصناعة الأغذية بسبب انخفاض غلة المحاصيل ، وخسارة عائدات التجارة (المحلية والدولية). وفقًا لتقارير منظمة الأغذية والزراعة (الفاو) ، تشير التقديرات إلى أن السموم الفطرية تؤثر على ما يقرب من 25٪ من محصول العالم كل عام وتتسبب في خسائر ضخمة للمنتجات الزراعية والصناعية بمليارات الدولارات (Eskola et al., 2020). وتشمل هذه التاثيرات: (1) تقليل إنتاج المحاصيل بسبب أمراض النبات وإزالة المنتج المصاب و / أو التالف (الفرز)، (2) انخفاض الجودة والقيمة التجارية للمنتجات، (3) انخفاض الإنتاجية الحيوانية بسبب المشاكل الصحية المرتبطة مع استهلاك الأعلاف الملوثة بالسموم الفطرية ، و (4) تكاليف الرعاية الصحية للإنسان والحيوان (Schmale and Munkvold., 2014). يجب أيضًا أن تؤخذ في الاعتبار نفقات الإنتاج الإضافية لمكافحة تفشي الفطريات المسببة للسموم الفطرية ، مثل استخدام أصناف مقاومة مختارة ورش مبيدات الفطريات أو لاعتماد تدابير محددة للوقاية (مثل المكافحة البيولوجية). في مرحلة ما بعد الحصاد ، تعد استراتيجيات المكافحة المتعددة التي تم تطويرها للتخفيف من مخاطر السموم الفطرية أثناء التخزين أو النقل أو المعالجة وتكلفة تنظيم وتشغيل شبكة المراقبة كلها أعباء إضافية على المزارعين والمتعاملين والمعالجات و ، في النهاية ، للمستهلكين (Altomare et al., 2021). تقديرات تكاليف السموم الفطرية ليست متاحة لجميع مناطق العالم. في الولايات المتحدة الأمريكية ، قدرت التكلفة الإجمالية 1.5-0.5 مليار دولار أمريكي سنويًا. يفيد مجلس العلوم والتكنولوجيا الزراعية (Council for Agricultural Science and

Technology CAST, 2003) بتكلفة سنوية قدرها 0.9 مليار لخسائر محاصيل الذرة والقمح والفول السوداني بالإضافة إلى 0.5 مليار إضافية لإنفاذ الأنظمة والاختبار وتدابير مراقبة الجودة. في البلدان النامية ، من المحتمل أن تتجاوز الخسائر تلك الموجودة في الولايات المتحدة الأمريكية. على سبيل المثال ، في ثلاث دول آسيوية (إندونيسيا والفلبين وتايلاند) قدرت الخسائر السنوية بـ0.9 مليار دولار أمريكي للسموم الفطرية .(Altomare et al., 2021; Schmale and Munkvold., 2014). حتى إذا تم إنفاذ تدابير الوقاية ، فإنها في بعض الأحيان لا تكون فعالة بما يكفي لتجنب حدوث السموم الفطرية عند مستويات قريبة أو أعلى من المستويات القصوى المسموح بها للأغذية ، مما يؤدي إلى انخفاض جودة المنتج وانخفاض سعره ، أو في أسوأ السيناريوهات ، في الرفض الكثير أو التحويل نحو استخدامات بديلة ومنخفضة الدخل ، مثل إنتاج الأعلاف أو التحويل إلى الإيثانول الحيوي. العديد من السلع الزراعية الأساسية مثل القمح والأرز والشعير والذرة والذرة الرفيعة وفول الصويا والفول السوداني والبذور الزيتية معرضة بشدة للتلوث بالسموم الفطرية. لهذا السبب ، تم وضع اللوائح الخاصة بالمستويات المسموح بها من السموم الفطرية في الأغذية الأساسية ويتم تطبيقها بصرامة من قبل معظم البلدان. ومع ذلك ، تختلف المعايير اختلافًا كبيرًا بين البلدان ، ولا سيما بين البلدان المتقدمة والبلدان النامية ، وقد يتسبب هذا الاختلاف في حدوث مشكلات تجارية رئيسية في السوق المعولم. بالنسبة لبعض البلدان النامية ، حيث تمثل السلع الزراعية جزءًا كبيرًا من إجمالي الصادرات الوطنية ، فإن الأثر الاقتصادي لرفض المنتجات الملوثة بالسموم الفطرية ، من حيث التجارة المفقودة والتكاليف الإضافية للتفتيش والتخلص والتعويض في حالة المطالبات ، كبير أيضًا ، قد تدفع معايير السموم الفطرية الأكثر صرامة للمنتجات المستوردة المطبقة في البلدان المتقدمة البلدان النامية إلى تصدير أفضل الأطعمة جودة والحفاظ على الأطعمة الأكثر تلوثًا للاستهلاك المحلي ، مما يؤدي إلى زيادة تعرض الناس للسموم الفطرية في تلك البلدان. يثير هذا الموقف قضايا أخلاقية واجتماعية ويسلط الضوء على الحاجة إلى تعاون دولي أكثر فعالية على جهات تنسيق المعايير والبحث العلمي . تساعد الظروف المناخية في البلدان النامية في المنطقة الاستوائية على تكاثر الفطريات المسببة للسموم الفطرية وتراكم السموم الفطرية. تعتبر تدابير التخفيف من السموم الفطرية مكلفة ويجب تنفيذ استراتيجيات المكافحة في نقاط متعددة من سلسلة الإنتاج ، من خلال نظام بنية تحتية منظم ومنسق للرقابة والمراقبة والاتصال ، والذي قد يكون من الصعب وضعه في بعض البلدان النامية الوكالة الدولية للبحوث حول السرطان IARC (International Agency for Research on Cancer IARC, 2012b) .لتنفيذ مثل هذا النظام بنجاح ، من المهم أن تتجاوز الفوائد المتوقعة ، من حيث التجارة والصحة ، تكاليفها. وبهذا المعنى ، فإن دور البحث العلمي في تطوير استراتيجيات تخفيف فعالة منخفضة التكلفة له أهمية قصوى.

في حين أن الخسائر على صحة الإنسان من الآثار الضارة للسموم الفطرية ذات صلة في المقام الأول بالتأثير الاجتماعي للسموم الفطرية ، إلا أن لها أيضًا آثارًا اقتصادية يمكن تقييمها بواسطة أدوات اقتصاديات الصحة. يمكن حساب هذه التكلفة بطريقتين. الأول هو تكلفة المرض ، والتي تتعلق بشكل أساسي بالبلدان المتقدمة لأن جزءًا كبيرًا من التكلفة يتعلق بالرعاية الصحية. والثاني هو سنوات العمر المعدلة حسب الإعاقة ، والتي تنطبق على كل من البلدان المتقدمة والنامية (الوكالة الدولية لبحوث السرطان. قدرت الخسائر الإجمالية الناتجة عن السموم الفطرية الرئيسية الثلاثة ، الأفلاتوكسين ، الفومونيزين والديوكسينيفالينول ، في الولايات المتحدة بما يصل إلى مليار دولار أمريكي سنويًا ؛ وتعزى هذه التكلفة إلى حد كبير إلى خسائر السوق ، لأن التأثيرات على صحة الإنسان تكاد تكون معدومة في البلدان التي يتم فيها تطبيق لوائح صارمة ومراقبة فعالة. على العكس من ذلك ، يجب حساب الخسارة في البلدان النامية على أنها مزيج من تأثيرات السوق ، ويرجع ذلك أساسًا إلى رفض القطع الملوثة والتأثيرات الصحية الضارة على المستهلكين المحليين (Altomare et al., 2021).

3.1 حالات سحب الغذاء بسبب السموم الفطرية

على الرغم من أن عمليات سحب الغذاء أو احتجاز المنتجات الغذائية بسبب السموم الفطرية غير مرغوب فيها ، فهي مألوفة لجميع البلدان التي تطبق اللوائح. الولايات المتحدة هي الدولة المعروفة باسم الدولة التي لديها أكثر إمدادات غذائية أمانًا وأيضًا مع أكبر إنتاج للذرة. في هذا الصدد ، من المتوقع أن يكون تأثير خفض إنتاج الذرة أو سحبها كارثيًا لأن هذه الحبوب لا تُستخدم مباشرة للغذاء فحسب ، بل هي جزء من ما يقرب من 25٪ من منتجات البقالة في الولايات المتحدة. الإنتاجية في الولايات المتحدة بسبب أوجه القصور في نظام الاقتصاد الزراعي واضحة وإذا تمت إضافة الملوثات مثل السموم الفطرية إلى المعادلة ، فإن المشهد يكون أسوأ بشكل قاطع (Eskola et al., 2020). إلى جانب فقدان الإنتاج ، يشكل سحب الأغذية من الحبوب والحبوب المنتجة بالفعل خسائر كبيرة. يوجد لدى العديد من البلدان سجلات لعمليات الاسترداد ، ولكن ليس الكثير منها يجعل هذه المعلومات متاحة على نطاق واسع كما هو الحال في الولايات المتحدة. ومع ذلك، تم الإبلاغ عن عمليات استدعاء أخيرة مختارة للسموم الفطرية في بلدان أخرى. على سبيل المثال ، في الصين العام الماضي حدث استدعاء مهم في حليب الأطفال بسبب المستويات العالية من الرجفان الأذيني. في كندا ، حدث سحب غير تقليدي بسبب HT-2 في حبوب الأطفال في عام 2013 (Gbashi et al., 2018).

3.2. قيود الاستيراد والتصدير

تتضمن القواعد المقترحة الجديدة برامج التحقق من الموردين الأجانب لمستوردي الأغذية للإنسان والحيوان واعتماد مدققي / جهات منح شهادات خارجية لإجراء عمليات تدقيق سلامة الأغذية وإصدار الشهادات. تتمثل أغراض القواعد في تعزيز عمليات التحقق من الاستيراد من أجل زيادة الأمن الغذائي.وبذلك ، سيواجه موردو المنتجات تدابير أكثر صرامة لضمان إنتاج أغذية آمنة من مراحل النمو حتى ظروف التصدير المناسبة يؤدي إلى رفض غير مرغوب فيه للواردات. تشمل البلدان التي جاءت منها الواردات ، البرازيل ، كندا ، الصين ، كولومبيا ، غانا ، غواتيمالا ، هونك كونغ ، الهند ، إندونيسيا ، إيران ، إسرائيل ، الأردن ، لبنان ، مقدونيا ، المكسيك ، نيكاراغوا ، نيجيريا ، باكستان ، بيرو ، الفلبين. والسنغال وسيراليون وسنغافورة وسوريا وتايوان وتايلاند وتركيا وفيتنام. فيما يتعلق بقيود التصدير ، لدى العديد من البلدان لوائح للحد من التجارة الدولية بسبب السموم الفطرية ، لذلك غالبًا ما تُترك الأطعمة الملوثة للاستهلاك الداخلي. يمثل هذا مشكلة كلاسيكية حيث يتم بيع

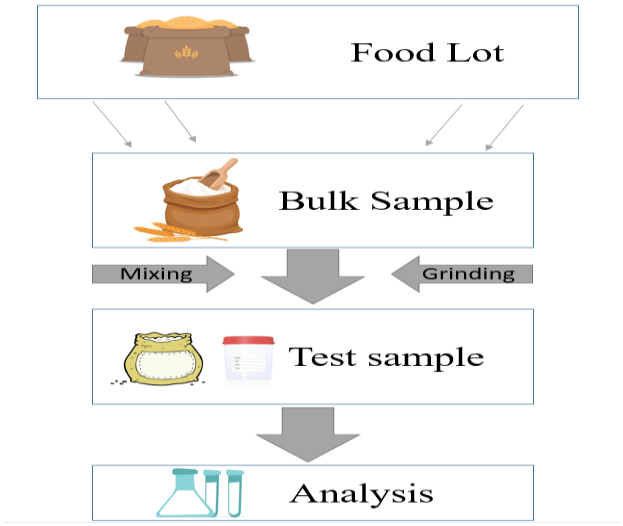
أفضل الأطعمة عالية الجودة لدول أجنبية ويتم توفير أقل جودة للحيوانات وفي بعض الحالات غير المرغوب فيها للبشر (Marroquín-Cardona et al., 2014).

3.3 التأثير الاقتصادي على صناعة الثروة الحيوانية

تتأثر صناعة الإنتاج الحيواني بشكل شائع تحت الإكلينيكي بالسموم الفطرية. بشكل عام ، تسبب معظم السموم الفطرية التثبيط المناعي الذي يمكن أن يجعل الحيوانات أكثر عرضة للإصابة بالأمراض عن طريق إضعاف جهاز المناعة أو جعلها أقل استجابة للتطعيمات. في الحالات الحادة ، ترتبط الخسائر بالوفيات. قد تؤدي التأثيرات دون السريرية الأخرى إلى خسارة في الإنتاجية (أي كمية ونوعية الحليب والبيض واللحوم) ، وتقليل مكاسب الوزن وكفاءة الأعلاف. كثيرًا ما ترتبط التأثيرات التناسلية الأكثر تحديدًا بالسموم الفطرية الإستروجينية مثل الزيرالينون Zearalenone والتي قد تسبب العقم والإجهاض في الغالب في الحيونات. في الحيوانات ، يمكن أن يتسبب Trichothecenes في فقدان الوزن عن طريق تثبيط تخليق البروتين ، وضعف التغذية وكذلك كبت المناعة. الخسائر الأخرى في استغلال الثروة الحيوانية هي تلك المرتبطة بإيجاد مصادر علفية بديلة. ويتجلى ذلك بشكل أفضل عندما يكون هناك نقص بسبب عمليات سحب السموم الفطرية من المواد الغذائية الأرخص ثمناً ويضطر المزارعون إلى إيجاد مصادر غير ملوثة أغلى ثمناً أو مكونات بديلة قد تكون غير تقليدية. (Marroquín-Cardona et al., 2014).

4 . طرق الكشف والتقدير الكمي للسموم الفيوزاريوم

يعد قياس تركيز السموم الفطرية من أهم خطوات التحكم فيه في الغذاء والأعلاف ، ويستخدم في الأنشطة التنظيمية ، وتأكيد الجودة ، واتخاذ القرار ، والبحث. يقدم أخذ العينات الجزء الأول من التقدير الكمي للسموم الفطرية الذي يعتمد على رسم عينة تمثيلية من الدفعة بأكملها وبافتراض أن تركيز السموم الفطرية التي يحتوي عليها يساوي ذلك الموجود في الكتلة. للحصول على عينة مناسبة ، عادة ما يتم اتباع إجراء محدد: أولاً ، يتم جمع عينة مجمعة من دفعة ، ثم يتم إعادة تكوين هذه العينة السائبة من خلال المزج والخلط ، وأخيراً ، يتم سحب عينة اختبار منها لاستخدامها في التحليلات.



الشكل (16) الأجراءات المتبعة لأختبار عينات السموم الفطرية

قد تؤدي طرق أخذ العينات غير الصحيحة إلى تقديرات خاطئة لتركيزات السموم الفطرية وما يتبعها من سوء تصنيف للدفعات. في نهاية المطاف ، سيؤدي ذلك إلى عواقب اقتصادية وصحية غير مرغوب فيها. لحسن الحظ ، يمكن تصميم خطط أخذ عينات السموم الفطرية بطريقة تقلل من خطأ التقدير على الرغم من أنه لا يمكن تحديد تركيز السموم الفطرية بدرجة يقين 100٪. يتم تحديد خطة أخذ العينات من السموم الفطرية من خلال ركيزتين: إجراء تحليلي يستخدم في القياس الكمي وحدود قبول / رفض محددة. يجب أن تتميز خطة أخذ العينات بالدقة والدقة على حد سواء ، حيث يتم تعريف الدقة على أنها تقارب تركيز السموم الفطرية المقاس في عينة من العينة الحقيقية في الحجم ، والدقة مثل تقارب التركيزات في العينات المكررة المقاسة لبعضها البعض. بشكل عام ، يتم توزيع معظم السموم الفطرية بشكل غير متجانس ، ويجب أن يتم أخذ العينات بشكل عشوائي ، وبالتالي إعطاء كل عنصر فردي بكميات كبيرة فرصة متساوية للاختيار. يمكن إدخال خطأين في حالة إجراء أخذ العينات بطرق خاطئة: التحيز والتباين المرتبط بالدقة والدقة ، على التوالي. يتم إدخال التحيز عندما يتم سحب العينة باستخدام المعدات والإجراءات التي تقلل من فرصة اختيار أي عنصر في الجزء الأكبر. على سبيل المثال ، إذا تم جمع العينة من مكان واحد ، فقد يتم جمع الكثير من الجسيمات الملوثة أو قد يتم تفويتها بطريقة أخرى. لذلك ، لتجنب التحيز ، يجب استخدام المعدات المناسبة التي يتم فحص جودتها بانتظام في أخذ العينات ، ويجب أخذ أجزاء صغيرة من العينات من عدة مواقع في الدفعة وخلطها معًا لإعادة تكوين العينة. من ناحية أخرى ، قد تظهر التقلبات بسبب الاختلافات في توزيع السموم الفطرية بين الجسيمات في الكثير، وبالتالي فإن زيادة حجم العينة عند إجراء التحليل قد يحسن الدقة (Iqbal, 2021; Ali et al., 2020).

تتميز الإجراءات التحليلية بمعايير مختلفة ، وهي ؛ سرعة وتكلفة التحليل ، والمهارات الفنية المطلوبة لأداء الطريقة ، ونوع البيانات التي يقدمونها ، أي النوعية أو الكمية. وفقًا لريتشارد وآخرون. "الطريقة الأكثر استحسانًا تتضمن الثلاثة: فهي سريعة وسهلة الاستخدام وكمية". ولكن في الواقع ، لا يتوفر هذا النوع من الطريقة المثالية واختيار الإجراء الذي سيتم استخدامه يتطلب تقييمًا لغرض التحليل لتحديد الأهمية النسبية لكل جانب وتقديم تنازلات وفقًا لذلك. حتى الآن ، تعتبر طرق تحليل السموم الفطرية التي تم إنشاؤها معقدة وتستغرق وقتًا طويلاً لأنها تتطلب استخراج عينة كبيرة وتنظيفها قبل التحديد الكمي. في المرحلة الأولى من الاستخراج ، يتم استخدام الهز أو المزج لسحب السموم الفطرية من المرحلة الصلبة إلى مذيب عضوي

(المرحلة السائلة). يعتمد اختيار المذيب العضوي الذي سيتم استخدامه لكل سلعة على قدرته على استخراج السموم الفطرية المطلوبة ومدى ملاءمتها لإجراء الاختبار ؛ يتم أيضًا أخذ تدابير السلامة وتكلفة المذيبات المهدرة في الاعتبار. بعد ذلك ، يتم فصل الطور السائل ، الذي يتم فيه توزيع السموم الفطرية بالتساوي ، عن المصفوفة الصلبة من خلال الترشيح أو الطرد المركزي. بعد ذلك ، يتم إجراء التنظيف وينطوي على مزيد من عزل السم من المستخلص. عادة ما يتم إجراء التنظيف باستخدام استخراج المرحلة الصلبة (SPE) التي قد تكون مصممة لاحتجاز السموم الفطرية أو الشوائب. عمود الانجذاب المناعي (IAC) هو مثال على SPE ؛ حيث ترتبط بالطور الصلب أجسامًا مضادة خاصة بالسموم الفطرية التي تعمل على ربطها مع السماح لبقية العينة بالمرور. ثم يتم التخلص من السموم الفطرية بعد ذلك باستخدام مذيب عضوي يفسد الأجسام المضادة مما ينتج عنه محلول مذيب سموم فطري نقي. ثم يتم دمج هذا الحل في الخطوة الأخيرة من التحليل. في هذه المرحلة ، يمكن استخدام العديد من الطرق الاستشرابية مثل كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة (TLC) ، والكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء (HPLC) ، وكروماتوجرافيا الغاز (GC) ، وقياس الطيف الكتلي (MS) لتحديد تركيز السموم الفطرية. HPLC هي الطريقة الأكثر استخدامًا نظرًا لدقتها العالية وانتقائها وحساسيتها على الرغم من أنها باهظة الثمن وتستغرق وقتًا طويلاً وتتطلب فنيين ذوي مهارات عالية للتشغيل. تتوفر طرق سريعة أخرى تحتاج إلى الحد الأدنى من التنظيف أو لا تحتاج إلى تنظيف مثل مقايسة الممتز المناعي المرتبط بالإنزيم .(ELISA) تعتمد هذه الطريقة على تفاعلات انتقائية ومحددة من الجسم المضاد. من حيث المبدأ ، يتم إضافة الأجسام المضادة للسموم الفطرية ليتم التقاطها من خلال الأجسام المضادة المعطلة المرتبطة بصفيحة الميكروتر من ELISA ، بعد أن تتم إضافة العينات من أجل ربط السموم الفطرية المستهدفة بالأجسام المضادة للسموم الفطرية. ثم يتم إضافة الركيزة / الكروموجين الذي يرتبط بمواقع الأجسام المضادة المتاحة ، متبوعًا بمحلول التوقف الذي يتسبب في تغيير اللون في آبار اللوحة. أخيرًا ، يتم إجراء قياس امتصاص ضوئي ويتم حساب تركيز السموم الفطرية من الامتصاص المحقق (Dey et al., 2022; Tittlemier et al., 2022).

5. الاتجاهات العالمية للتشريعات السموم الفطرية

تقريبا جميع الفطريات و التي منها فطريات الفيوزاريوم المسببة للأمراض النباتية قادرة على إنتاج، في ظروف مناسبة، نواتج الأيض الثانوية، والتي يمكن أن تلوث المحاصيل الأساسية والأطعمة المستهلكة على نطاق واسع، مثل الحبوب (الذرة والقمح والشعير والشوفان والأرز) والمكسرات والبذور الزيتية والفواكه والفواكه المجففة والخضروات والكاكاو والبن والنبيذ والبيرة والأعشاب والتوابل ، وبالتالي تشكل خطرًا على عدد كبير من المستهلكين والحيوانات. لحماية المستهلكين من المخاطر الصحية ، اعتمدت العديد من البلدان لوائح للحد من التعرض للسموم الفطرية الرئيسية. أفادت دراسة من عام 2003 أجرتها منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (الفاو) بشأن اللوائح العالمية للسموم الفطرية أنه في ذلك الوقت ، وضع ما يقرب من 100 بلد إرشادات وأنظمة بشأن السموم الفطرية في الأغذية والأعلاف. حتى الآن ، من المحتمل أن تكون الأرقام أعلى، ولكن لا تزال هناك دول ، بما في ذلك عدد من البلدان الأفريقية ، التي ليس لديها لوائح محددة لسلامة الأغذية. تضع اللوائح المختلفة حدودًا لمحتوى السموم الفطرية في الغذاء والأعلاف ، ولها بطبيعة الحال آثار عميقة على السلامة الصحية وكذلك على المصالح الاقتصادية للمنتجين والتجار. ومع ذلك ، فإن التصورات المختلفة للمخاطر الصحية التي يمكن تحملها من السموم الفطرية على المستوى العالمي، والتي ترتبط بشكل أساسي بمستوى تطور المحاصيل وقابليتها للتلوث في مختلف البلدان ، أدت إلى عدم وجود توافق في الآراء حول معايير السموم الفطرية المنظمة في الغذاء والأعلاف. على سبيل المثال، من بين 48 دولة وضعت في عام 2003 حدودًا لإجمالي الأفلاتوكسين في الغذاء ، تراوحت المعايير من صفر إلى 50 مجم / كجم (جزء في البليون) يتم تعيين معظم الحدود للأطعمة البشرية. عادة ، يتم استخدام مستويات تنظيمية أعلى لتغذية الحيوانات. قد ينشأ تعقيد آخر من بعض البلدان التي قد ترغب بموجب "المبدأ الوقائي" في وضع معايير بشأن بعض السموم الفطرية التي لم يثبت بعد بشكل جيد وجود دليل علمي على وجود مخاطر صحية بشأنها. في هذا الصدد ، يعتبر تنسيق اللوائح والمبادئ التوجيهية للإنتاج والمراقبة مسألة حاسمة ، بهدف إيجاد توازن مقبول بين الفوائد الصحية والتكاليف الاقتصادية والتجارية. لهذا السبب ، تم إنشاء لجنة خبراء علمية مشتركة (لجنة الخبراء المشتركة بين منظمة الأغذية والزراعة ومنظمة الصحة العالمية بشأن المضافات الغذائية ، لجنة الخبراء المشتركة بين منظمة الأغذية والزراعة ومنظمة الصحة العالمية) ، باعتبارها الهيئة الدولية المسؤولة عن تقييم المخاطر الصحية من السموم الفطرية. تم وضع المعايير الدولية وقواعد الممارسة للحد من التعرض للسموم الفطرية من بعض الأطعمة من قبل هيئة الدستور الغذائي بناءً على تقييمات لجنة الخبراء المشتركة. ومع ذلك ، فإن معايير الدستور الغذائي استشارية وليست إلزامية ، وقد تنحرف المعايير الوطنية بشكل كبير عن توصيات الدستور الغذائي (Altomare et al., 2021; Boukid, 2021).

الجدول (2): المستويات القصوى للسموم الفطرية في الحبوب ومنتجات الحبوب للأغذية

السموم الفطرية	نوع الحبوب	أقصى تركيز µg/kg
الفيومونزينات (B1+B2)	• الذرة غير المصنعة ، باستثناء الذرة غير المصنعة المزمع معالجتها بالطحن الرطب	4000
	• الذرة المعدة للاستهلاك البشري المباشر ، والأغذية القائمة على الذرة للاستهلاك البشري المباشر ، باستثناء المواد الغذائية المذكورة أدناه	1000
	• حبوب الإفطار المصنوعة من الذرة والوجبات الخفيفة المصنوعة من الذرة	800
	• الأطعمة المصنعة من الذرة وأغذية الأطفال للرضع وصغار الأطفال	
	• كسور الطحن من الذرة ذات حجم الحبيبات> 500 ميكرومتر تندرج ضمن كود CN 1103 13 أو 1103 20 40	200
	ومنتجات طحن الذرة الأخرى ذات حجم الجسيمات> 500 ميكرومتر غير المستخدمة للاستهلاك البشري المباشر التي تقع ضمن رمز CN 1904 10 10	1400
	• كسور طحن الذرة بحجم جسيم 500 ميكرومتر تقع ضمن كود CN 1102 20 ومنتجات طحن الذرة الأخرى بحجم جسيم ≤500 ميكرومتر غير مستخدمة للاستهلاك البشري المباشر التي تقع ضمن رمز CN 1904 10 10	

2000		
100 350 75 400 50 100 20 20 200	• الحبوب غير المجهزة بخلاف الذرة • الذرة غير المصنعة باستثناء الذرة غير المصنعة المزمع معالجتها بالطحن الرطب • الحبوب المعدة للاستهلاك البشري المباشر ودقيق الحبوب والنخالة والبذرة كمنتج نهائي يتم تسويقه للاستهلاك البشري المباشر ، باستثناء المواد الغذائية المذكورة أدناه • زيت ذرة مكرر • الخبز (بما في ذلك منتجات المخابز الصغيرة) والمعجنات والبسكويت والوجبات الخفيفة من الحبوب وحبوب الإفطار ، باستثناء وجبات الذرة الخفيفة وحبوب الإفطار المصنوعة من الذرة • الذرة المعدة للاستهلاك البشري المباشر والوجبات الخفيفة المصنوعة من الذرة وحبوب الإفطار المصنوعة من الذرة • الأطعمة القائمة على الحبوب المصنعة (باستثناء الأطعمة القائمة على الذرة المصنعة) وأغذية الأطفال للرضع وصغار الأطفال • الأطعمة المصنعة من الذرة للرضع وصغار الأطفال • كسور الطحن من الذرة ذات حجم الحبيبات> 500 ميكرومتر تندرج ضمن كود 13 1103 CN أو 1103 20 40 ومنتجات طحن الذرة الأخرى ذات حجم الجسيمات> 500 ميكرومتر غير المستخدمة للاستهلاك البشري المباشر التي تقع ضمن رمز 10 10 1904 CN • كسور طحن الذرة بحجم جسيم 500 ميكرومتر تقع ضمن كود 20 1102 CN ومنتجات طحن الذرة الأخرى بحجم جسيم ≤500 ميكرومتر غير مستخدمة للاستهلاك البشري المباشر التي تقع ضمن رمز 10 10 1904 CN	الزيرالينون Zearalenone
  200 1000 100 200 100 50 200 100 50 75 50 15	الحبوب غير المصنعة: الشعير (بما في ذلك الشعير المخمر) والذرة الشوفان (مع قشر) القمح والجاودار والحبوب الأخرى حبوب الحبوب للاستهلاك الآدمي المباشر: الشوفان الذرة الحبوب الأخرى منتجات الحبوب للاستهلاك الآدمي: نخالة الشوفان و رقائق الشوفان نخالة الحبوب باستثناء نخالة الشوفان ومنتجات طحن الشوفان الأخرى من نخالة الشوفان ورقائق الشوفان وطحن الذرة منتجات منتجات طحن الحبوب الأخرى حبوب الإفطار بما في ذلك رقائق الحبوب المشكلة الخبز (بما في ذلك منتجات المخابز الصغيرة) والمعجنات والبسكويت ، وجبات خفيفة من الحبوب والمعكرونة الأطعمة المعتمدة على الحبوب للرضع والأطفال الصغار	T-2 and HT-2 toxin (Sum of T-2 and HT-2 toxin)

(Boukid, 2021)

6 . إستخدام نهج الإدارة المتكاملة لتقليل من السموم الفطرية

إدارة مخاطر سلامة الأغذية للسموم الفطرية فيوزاريوم، لسنوات حتى الآن ، اقترح العلماء طرقًا مختلفة للتخفيف من مخاطر سلامة الأغذية فيما يتعلق بالتلوث الفطري والسموم الفطرية للسلع الزراعية في النظام الغذائي. تم اقتراح تنفيذ عدد من البرامج مثل الممارسات الزراعية الجيدة Good) (Agriculture Practice GAP، وبرنامج ممارسات التصنيع الجيدة Good) (Manufacture Practice GMP، وكذلك أهمها برنامج تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة (Hazard analysis critical control point HACCP) ، من بين تدابير أخرى. إن اعتماد الممارسات الزراعية الحسنة في الميدان وأثناء التخزين ، وممارسات التصنيع الجيدة أثناء معالجة الأغذية ، ونظام تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة أثناء مناولة الأغذية وتعبئتها في جميع أنحاء السلسلة الكاملة من الحقل إلى المائدة ، سيقطع شوطًا طويلاً في معالجة المشكلات التي تسببها الفطريات والسموم الفطرية في نظام الغذاء (Chilaka et al.,2017). تشمل الممارسات الزراعية المناسبة استخدام أصناف المحاصيل المقاومة التي يمكنها مقاومة العدوى الحشرية والفطرية للمحاصيل في الحقل. تناوب المحاصيل ، على سبيل المثال ، تناوب الذرة وفول الصويا ، يؤدي إلى انتشار أقل للفوزاريوم من عمليات زراعة الذرة والذرة (Altomare et al., 2021). يساعد الري المناسب والمنتظم على تقليل إجهاد جفاف النبات ، والذي تم الإبلاغ عنه لصالح تلوث السموم الفطرية (الفومونيزين) (Ekwomadu and Mwanza, 2015). التخلص من الحشائش ، والأعشاب الضارة ، والحطام ، والنباتات المضيفة البديلة ، ومخلفات المحاصيل ، وما إلى ذلك ، والتي يمكن أن تكون بمثابة خزانات للتلقيح الفطري ، يمكن أيضًا أن تمنع التلوث بالسموم الفطرية في الحقل. علاوة على ذلك ، فإن تقليل الضرر الميكانيكي للمحاصيل إلى الحد الأدنى أثناء الحصاد يقلل من تلوث السموم الفطرية حيث أن السموم الفطرية تكون أعلى بشكل عام في الحبوب المكسورة. كما أن مبيدات الفطريات والمبيدات والمواد الكيميائية الأخرى المناسبة والمعتمدة تمنع تلوث الحبوب بالسموم الفطرية ، على الرغم من أنه يجب استخدامها بحذر لأن بقاياها يمكن أن تكون سامة لخلايا الثدييات .كما أن تجفيف الحبوب والأعلاف حتى مستويات الرطوبة الآمنة أثناء التخزين سيساعد كثيراً في منع تكون نواتج السموم الفطرية (Ekwomadu et al., 2021).

أيضاً يشمل تجهيز الأغذية بالتقنيات الفيزيائية ، مثل عمليات التنظيف والطحن ، والامتصاص المادي ، والعمليات الحرارية ؛ التقنيات الكيميائية ، مثل استخدام الأمونيا وهيدروكسيد الكالسيوم والمركبات المحتوية على الكبريت ؛ والتقنيات البيولوجية ، مثل التخمير والتخمير والتخمير. أبلغت الدراسات عن التأثير الإيجابي لطرق التطهير الجسدي ، مثل الفرز والغسيل وإزالة القشر وما إلى ذلك ، على تقليل السموم الفطرية في الحبوب. أظهرت بعض الدراسات أن استخدام الأساليب الفيزيائية (إزالة القشور والغسيل والفرز وتنظيف البذور المتعفنة الظاهرة) يقلل من أنواع السموم الفطرية المختلفة في الأطعمة بغض النظر عن نوع الحبوب .ولوحظ أيضاً انخفاضًا في

T-2 (62٪) و HT-2 (53٪) و DON (50٪) في بذور القمح بعد التنظيف. أبلغ سكودامور وباتيل أيضًا عن انخفاض بنسبة 32٪ في مستويات الفومونيزين في الذرة في مؤسسة صناعية. علاوة على ذلك ، يعتبر الطحن تأثيرًا مهمًا في تقليل السموم الفطرية في الحبوب وخاصة الطحن الرطب للذرة والذي أظهر أنه يؤدي إلى تدهور السموم الفطرية (Cinar and Onbaşı 2019).

قدمت أحدث التطورات التكنولوجية مسارات جديدة في استراتيجيات التحكم في السموم الفطرية التي تشمل استخدام جو خاضع للرقابة مع تأثير مثبط أو وقائي واستخدام المركبات التي تحدث بشكل طبيعي في ظل ظروف مختلفة والزيوت الأساسية ذات الخصائص المضادة للأكسدة لتقليل نمو الفطريات وإنتاج السموم الفطرية في الحبوب أثناء تخزين. علاوة على ذلك ، تشمل هذه الاستراتيجيات أيضًا استخدام مركبات نقل يتم تنظيفها بانتظام لمنع انتقال التلوث بين المنتجات ؛ الرصد الدوري لدرجات الحرارة والرطوبة والتهوية وتفشي الآفات أثناء التخزين؛ استخدام مثبطات العفن (حمض البروبيونيك) للأطعمة والأعلاف الملوثة ؛ وتطبيق المطهرات مثل هيبوكلوريت الصوديوم في منطقة التخزين. علاوة على ذلك ، فإن السموم الفطرية مستقرة حرارياً أثناء المعالجة الحرارية ، حتى عند طهيها في درجات حرارة عالية جدًا ، مثل تلك التي يتم الوصول إليها مثلا أثناء صنع الخبز (Ekwomadu et al., 2021; Cinar and Onbaşı 2019).

ومع ذلك ، تم الإبلاغ عن الاختزال أيضًا في درجات حرارة عالية جدًا ، على الرغم من أن هذا قد يكون بسبب التفاعلات التي تؤدي إلى تكوين منتجات ذات هياكل كيميائية متغيرة. تم أيضًا الإبلاغ عن فعالية المعالجة الحرارية (الطهي بالبثق) في تقليل بعض سموم الفيوزاريوم ، مثل الزيرالينون في درجات حرارة تتراوح من 120 إلى 160 درجة مئوية. تم الإبلاغ أيضًا عن التخمير ، وهو طريقة معالجة بيولوجية عالمية للأغذية ، للحد من التلوث بالسموم الفطرية ، على سبيل المثال ، تم تسجيل انخفاض بنسبة 50٪ في الديوكسينيفالينول أثناء معالجة البيرة التقليدية ، وعلى الرغم من ذلك ، فإن مقدار الانخفاض في التلوث بالسموم الفطرية في منتجات الأغذية والأعلاف عن طريق المعالجة يعتمد على نوع المصفوفة والسموم الفطرية وطريقة المعالجة والظروف المستخدمة. إلى جانب دراسة تأثير معالجة الأغذية على السموم الفطرية ، من المهم أن تكون على دراية بإمكانية حدوث السموم الفطرية الحرة مع أشكالها المقنعة أو السموم الفطرية الحرة التي يتم تعديلها وتجزئتها إلى أشكال أخرى أثناء معالجة الطعام ، والتي قد لا يمكن اكتشافها بسهولة بواسطة الطرق التحليلية الروتينية. تشمل مناولة الأغذية وتعبئتها استخدام تقنيات مثل تغليف الغلاف الجوي المعدل، وهي تقنية مفيدة تتضمن استخدام ماصات الأكسجين (O2) ودرجة حرارة التخزين وحاجز غشاء التغليف. (Cinar and Onbaşı 2019; Ekwomadu et al., 2021).

تقدم المكافحة البيولوجية للسموم الفطرية عن طريق إزالة السموم / التحلل طريقة بديلة واعدة. وقد تم مؤخرًا إثبات فعالية التخمير في تقليل وإزالة السموم الفطرية. تظهر الدراسات الموثقة في الأدبيات عمومًا أن السموم الفطرية تقل عن طريق التحويل ، وإزالة السموم ، والربط ، والتحلل ، وإزالة التلوث بعد تخمر الغذاء. يؤدي أيضاً تعديل التركيب الكيميائي لجزيء السموم الفطرية ، وإزالة السموم أو تعطيله ، والالتصاق بجدران الخلايا البكتيرية إلى تقليل السمية أثناء عملية التخمير . (Cinar and Onbaşı 2019).

إن خلق الوعي بأهمية اعتماد ممارسات الممارسات الجيدة GAP و GMP و HACCPللتحكم في (الوقاية وإزالة التلوث) نواتج السموم الفطرية في نظام الغذاء سيكون مفيدًا في تقليل مخاطر التعرض للسموم الفطرية إلى حد ما. إن تنفيذ هذه الأساليب الوقائية لا يمكن أن يحل المشكلة بمفرده ؛ كما يجب أن تكون جزءًا لا يتجزأ من نظام متكامل لإدارة سلامة الأغذية يعتمد على تحليل المخاطر ونقطة التحكم الحرجة (HACCP). يجب أن تتضمن استراتيجيات التحكم في السموم الفطرية أيضًا مناهج لتحويل المنتجات الزراعية الملوثة إلى استخدامات أقل خطورة.

7. الاتجاهات المستقبلية في أبحاث السموم الفطرية

ينتشر التلوث بالسموم الفطرية ، لذا يجب أن تركز الاستراتيجيات المستقبلية على الحاجة إلى التحكم في التلوث الفطري وإنتاج السموم الفطرية على طول السلسلة الغذائية بدءًا من الإنتاج حتى وصول الطعام إلى العملاء. يجب مراعاة التأثيرات السمية التآزرية للسموم الفطرية التي تحدث في وقت واحد في الطعام ، بالإضافة إلى الوجود المحتمل للسموم الفطرية المقنعة. هناك حاجة إلى طرق الفحص التقليدية الموثوقة والملائمة والسريعة والرخيصة ، كما أن تطوير طرق تحديد كمية السموم الفطرية المقنعة له أهمية قصوى. هناك حاجة إلى مزيد من البحث وتقييمات التعرض وتقييمات السلامة لتقييم السمية المحتملة للسموم الفطرية المقنعة والمنتجات الثانوية للسموم الفطرية. هناك حاجة إلى مزيد من البحث حول سلامة طرق إزالة التلوث الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية ، ويجب تطوير استراتيجيات تجمع بين نهج إزالة التلوث المتكامل لتعظيم إزالة السموم الفطرية من الطعام إلى أقصى حد ممكن. فيما يتعلق بتغير المناخ ، من الأهمية بمكان إجراء البحوث التي تقدر التأثيرات الكمية على الفطريات والسموم الفطرية. وفقًا لمدينا وآخرون. يجب أن تركز الأبحاث المستقبلية على اكتشاف كيفية تغير أنماط إنتاج السموم الفطرية وكيف يمكن لبعض السموم الفطرية الثانوية أن تصبح أولية مع ظهور تغير المناخ. يجب أن يركز البحث أيضًا على تحول التلوث بالسموم الفطرية وفقًا للمناطق والمساعدة في اكتشاف فعالية ممارسات التحكم الزراعية الحالية في التحكم في السموم الفطرية في الظروف المناخية المتغيرة.

8. الخلاصة والإستنتاج

السموم الفطرية بشكل عام والتي منها السموم الفطرية التي تفرزها فطريات الفيوزاريوم من المخاطر المعروفة على سلامة الأغذية ، والتي تشكل تهديدًا لصحة الإنسان والماشية ، ولها أهمية اقتصادية عالية في صناعة الأغذية. ازدادت مخاطر سلامة الأغذية منذ السموم الفطرية التي تطرح العديد من الصعوبات بما في ذلك التواجد / التواجد غير المعروف لهذه المركبات السامة. بالإضافة ، كما ذكرت الهيئة الأوروبية لسلامة الأغذية Europe food safety authority EFSA) قد أخذت في الاعتبار الجهود المبذولة لمعالجة هذه القضية الناشئة في سلامة الأغذية من خلال تطوير استراتيجيات حول كيفية تقييم المخاطر الصحية المحتملة بسبب حدوث السموم الفطرية. يصعب منع العفن السامة الفطرية والسيطرة عليها نظرًا لوجودها الواسع في الطبيعة. تعتبر الوقاية من تخليق السموم الفطرية في جميع مراحل معالجة الأغذية نقطة أساسية للصحة العامة ولأسباب اقتصادية. تشمل العديد من الممارسات المستخدمة للوقاية من السموم الفطرية الممارسات الزراعية الجيدة (GAP) في الميدان ، وممارسات التحكم في الحصاد والتخزين ، والطرق الفيزيائية (التنظيف ، والطحن ، وما إلى ذلك) ، وتنفيذ تطبيق

التكنولوجيا الحيوية ، والمكافحة البيولوجية من خلال استخدام الغلاف الجوي المتحكم فيه أثناء التخزين ، تقنيات إزالة السموم / التحلل والتخمير. وفي الوقت نفسه ، ثبت أن عددًا من تقنيات التحكم في السموم الفطرية وإدارتها مكلفة للغاية و / أو غير قابلة للتنفيذ في بعض الحالات. من ناحية أخرى ، يوصى باستخدام عملية التخمير للعملية المناسبة للحد من السموم الفطرية. في المستقبل ، ينبغي التركيز بشكل أكبر على تقنيات النانو وممارسات الهندسة الوراثية في تطوير أنواع المنتجات المعمرة لضمان سلامة الأغذية. بالإضافة إلى هذه التطبيقات ، يجب دمج أنظمة إدارة سلامة الأغذية مثل تحليل المخاضر وضبط النقاط الحرجة (HACCP) و (GAP) وممارسات التصنيع الجيدة (GMP) في جميع مراحل الإنتاج والنقل والتخزين ، من أجل تقليل التلوث في صناعة الأغذية. يجب أيضًا فحص وتنفيذ نظام جديد لسلامة الأغذية بما في ذلك نقاط التحكم الحرجة لتقييم التهديدات (Threat assessment critical control point TACCP) ، ونقاط التحكم الحرجة للضعف (Vulnerability critical control points VACCP) ، وتحليل المخاطر والضوابط الوقائية القائمة على المخاطر (Hazard analysis and risk-based preventive controls HARPC) وتنفيذها لضمان نظام تحكم فعال.

References

[1]- Ali, B.H., Hasan, M.S., Ibrahim, Z.Y. and Owain, M.S., 2020. Mycotoxins, detection and prevention, a review. Int J Pharm Res, 12(1), pp.1001-1010.

[2]- Alina, M. R. 2022. Implications of Mycotoxins in Food Safety. In Mycotoxins and Food Safety-Recent Advances. IntechOpen.

[3]- Altomare, C., Logrieco, A. F., & Gallo, A.2021. Mycotoxins and mycotoxigenic fungi: risk and management. a challenge for future global food safety and security. Encyclopedia of Mycology, 64-93.

[4]- Ayelign, A., & De Saeger, S.2020. Mycotoxins in Ethiopia: Current status, implications to food safety and mitigation strategies. Food Control, 113, 107163.

[5]- Battilani, P., 2016. Recent advances in modelling the risk of mycotoxin contamination in crops. Current Opinion in Food Science, 11, pp.10-15.

[6]- Bertero, A., Fossati, P., Tedesco, D.E.A. and Caloni, F., 2020. Beauvericin and enniatins: In vitro intestinal effects. Toxins, 12(11), p.686.

[7]- Boukid, F. ed., 2021. Cereal-Based Foodstuffs: The Backbone of Mediterranean Cuisine. Springer Nature.

[8]- Cinar, A., & Onbaşı, E. 2019. Mycotoxins: the hidden danger in foods. Mycotoxins and food safety, 1-21.

[9]- Chilaka, C.A., De Boevre, M., Atanda, O.O. and De Saeger, S., 2017. The status of Fusarium mycotoxins in sub-Saharan Africa: A review of emerging trends and post-harvest mitigation strategies towards food control. Toxins, 9(1), p.19.

[10]- Chiminelli, I., Spicer, L.J., Maylem, E.R. and Caloni, F., 2022. Emerging mycotoxins and reproductive effects in animals: A short review. Journal of Applied Toxicology.

[11]- Council for Agricultural Science, 2003. Mycotoxins: risks in plant, animal, and human systems (No. 139). Council for Agricultural.

[12]- Dey, D.K., Kang, J.I., Bajpai, V.K., Kim, K., Lee, H., Sonwal, S., Simal-Gandara, J., Xiao, J., Ali, S., Huh, Y.S. and Han, Y.K., 2022. Mycotoxins in food and feed: toxicity, preventive challenges, and advanced detection techniques for associated diseases. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, pp.1-22.

[13]- Ekwomadu, T.I., Akinola, S.A. and Mwanza, M., 2021. Fusarium mycotoxins, their metabolites (Free, emerging, and masked), food safety concerns, and health impacts. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(22), p.11741.

[14]- Ekwomadu, T.I. and Mwanza, M., 2015. A decade of mycotoxins research in Africa: A review. Occurrence, Toxicology and Management Strategie, p.169.

[15]- Eskola, M., Kos, G., Elliott, C.T., Hajšlová, J., Mayar, S. and Krska, 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(16), pp.2773-2789.

[16]- Gautier, C., Pinson-Gadais, L. and Richard-Forget, F. 2020. Fusarium mycotoxins enniatins: An updated review of their occurrence, the producing Fusarium species, and the abiotic determinants of their accumulation in crop harvests. Journal of agricultural and food chemistry, 68(17), pp.4788-4798.

[17]- Gbashi, S., Madala, N.E., De Saeger, S., De Boevre, M., Adekoya, I., Adebo, O.A. and Njobeh, P.B., 2018. The socio-economic impact of mycotoxin contamination in Africa. Fungi and mycotoxins-their occurrence, impact on health and the economy as well as pre-and postharvest management strategies (ed. Njobeh, PB), pp.1-20.

[18]- Iqbal, S.Z., 2021. Mycotoxins in food, recent development in food analysis and future challenges; a review. Current Opinion in Food Science, 42, pp.237-247.

[19]- International Agency for Research on Cancer, 2012. A Review of Human Carcinogens. F. Chemical Agents and Related Occupations: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans.

[20]- Janik, E., Niemcewicz, M., Podogrocki, M., Ceremuga, M., Stela, M. and Bijak, M., 2021. T-2 toxin—The most toxic trichothecene mycotoxin: Metabolism, toxicity, and decontamination strategies. Molecules, 26(22), p.6868.

[21]- Karlsson, I., Persson, P. and Friberg, H., 2021. Fusarium head blight from a microbiome perspective. Frontiers in Microbiology, 12, p.628373.

[22]- Mahato, D.K., Pandhi, S., Kamle, M., Gupta, A., Sharma, B., Panda, B.K., Srivastava, S., Kumar, M., Selvakumar, R., Pandey, A.K. and Suthar, P., 2022. Trichothecenes in food and feed: Occurrence, impact on human health and their detection and management strategies. Toxicon.

[23]- Marroquín-Cardona, A.G., Johnson, N.M., Phillips, T.D. and Hayes, A.W., 2014. Mycotoxins in a changing global environment–a review. Food and Chemical Toxicology, 69, pp.220-230.

[24]- Misihairabgwi, J.M., Ishola, A., Quaye, I., Sulyok, M. and Krska, R., 2018. Diversity and fate of fungal metabolites during the preparation of oshikundu, a Namibian traditional fermented beverage. World Mycotoxin Journal, 11(3), pp.471-481.

[25]- Munkvold, G. P., Proctor, R. H., & Moretti, A.2021. Mycotoxin production in Fusarium according to contemporary species concepts. Annual review of phytopathology, 59, 373-402.

[26]- Pierzgalski, A., Bryła, M., Kanabus, J., Modrzewska, M. and Podolska, G., 2021. Updated Review of the Toxicity of Selected Fusarium Toxins and Their Modified Forms. Toxins, 13(11), p.768.

[27]- Qu, L., Wang, L., Ji, H., Fang, Y., Lei, P., Zhang, X., Jin, L., Sun, D. and Dong, H., 2022. Toxic mechanism and biological detoxification of fumonisins. Toxins, 14(3), p.182.

[28]- Sá, S.V.D., Monteiro, C., Fernandes, J.O., Pinto, E., Faria, M.A. and Cunha, S.C., 2021. Emerging mycotoxins in infant and children foods: A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, pp.1-15.

[29]- Schmale, D.G. and Munkvold, G.P., 2014. Economic impact of mycotoxins.

[30]- Tittlemier, S.A., Cramer, B., Dall'Asta, C., DeRosa, M.C., Lattanzio, V.M.T., Malone, R., Maragos, C., Stranska, M. and Sumarah, M.W., 2022. Developments in mycotoxin analysis: an update for 2020-2021. World Mycotoxin Journal, 15(1), pp.3-25.

[31]- Udomkun, P., Wiredu, A. N., Nagle, M., Müller, J., Vanlauwe, B., & Bandyopadhyay, R.2017. Innovative technologies to manage aflatoxins in foods and feeds and the profitability of application–A review. Food control, 76, 127-138.

[33]- Yli-Mattila, T. and Sundheim, L., 2022. Fumonisins in African Countries. Toxins, 14(6), p.419.

[32]- Wu, Q., Patocka, J., Nepovimova, E. and Kuca, K., 2018. A review on the synthesis and bioactivity aspects of beauvericin, a Fusarium mycotoxin. Frontiers in pharmacology, 9, p.1338.