

खाद्य पदार्थों में माइकोटॉक्सिनः उपस्थिति, नियामक सीमाएँ, और विश्लेषण की विधियाँ



देविंदर ढींगरा

प्रधान वैज्ञानिक, कृषि अभियांत्रिकी प्रभाग, भारतीय कृषि अनुसंधान परिषद, नई दिल्ली

परिचय

माइकोटॉक्सिन विषैले यौगिक होते हैं जो कुछ प्रकार के फफूंदों (कवक) द्वारा स्वाभाविक रूप से उत्पादित होते हैं। ये शक्तिशाली, प्राकृतिक रूप से पाए जाने वाले विषैले द्वितीयक मेटाबोलाइट्स हैं जो फिलामेंटस फफूंदों (फफूंदों) द्वारा उत्पन्न होते हैं। ये यौगिक कृषि वस्तुओं की एक विस्तृत श्रृंखला को दूषित करके मानव और पशु स्वास्थ्य दोनों के लिए एक महत्वपूर्ण खतरा प्रस्तुत करते हैं।

माइकोटॉक्सिन उत्पन्न करने में सक्षम फफूंद कई खाद्य पदार्थों पर विकसित हो सकते हैं, जिनमें अनाज (मक्का, गेहूँ, चावल, जौ), तिलहन (मूंगफली, सोयाबीन), सूखे मेवे (किशमिश, अंजीर), मेवे (बादाम, अखरोट, पिस्ता), मसाले (मिर्च, जायफल) और कॉफी सम्मिलित हैं। फफूंद का विकास फसल कटाई से पहले या बाद में हो सकता है, साथ ही भंडारण के दौरान

भी, प्रायः गर्म, नम और आर्द्र परिस्थितियों में। अनुचित भंडारण प्रथाएँ, जैसे अपर्याप्त सुखाने, खराब वेंटिलेशन और कीट क्षति, फफूंद के विकास के लिए अनुकूल वातावरण बना सकती हैं।

माइकोटॉक्सिन आम तौर पर रासायनिक रूप से स्थिर होते हैं, जिसका अर्थ है कि वे खाना पकाने, बेकिंग, किण्वन और पाश्चुरीकरण जैसी सामान्य खाद्य प्रसंस्करण विधियों का सामना कर सकते हैं। यह दृढ़ता दूषित भोजन से माइकोटॉक्सिन को समाप्त करना कठिन बनाती है। माइकोटॉक्सिन के संपर्क में सीधे दूषित भोजन (कच्चे और संसाधित दोनों) या अप्रत्यक्ष रूप से पशु उत्पादों (दूध, मांस, अंडे), विशेष रूप से दूध उत्पादों (पशुओं द्वारा दूषित फीड के सेवन के कारण) के सेवन से हो सकता है।

एक ओर जहाँ कई सौ अलग-अलग माइकोटॉक्सिन की पहचान की गई है, वहीं मानव

और पशुधन स्वास्थ्य के लिए सबसे बड़ी चिंताओं में माइकोटॉक्सिन में एफ्लैटॉक्सिन, ओक्रैटॉक्सिन ए, पैटुलिन, फ्यूमोनिसिन, जेरालेनोन और निवालेनॉल/डिऑक्सीनिवालेनॉल सम्मिलित हैं। इस लेख का उद्देश्य पाठकों को खाद्य प्रणालियों में माइकोटॉक्सिन का व्यापक अवलोकन प्रदान करना है, जिसमें उनकी घटना, संबंधित स्वास्थ्य जोखिम, राष्ट्रीय और अंतर्राष्ट्रीय एजेंसियों द्वारा निर्धारित विनियामक सीमाएँ और उनके पता लगाने और नियंत्रण के लिए उपयोग की जाने वाली विश्लेषणात्मक विधियाँ सम्मिलित हैं। यह समीक्षा संदूषण को कम करने और खाद्य सुरक्षा सुनिश्चित करने के लिए निवारक रणनीतियों पर भी प्रकाश डालती है।

स्वास्थ्य संबंधी चिंताएँ

माइकोटॉक्सिन कई तरह की स्वास्थ्य समस्याओं को जन्म दे सकता है, जो माइकोटॉक्सिन के प्रकार, जोखिम के स्तर और किसी व्यक्ति की

संवेदनशीलता पर निर्भर करता है। प्रभाव तीव्र (अल्पकालिक) या जीर्ण (दीर्घकालिक) हो सकते हैं। जीर्ण जोखिम से कैंसर, अंग क्षति और प्रतिरक्षा प्रणाली दमन हो सकता है। प्रमुख मायकोटॉक्सिन से जुड़ी विशिष्ट स्वास्थ्य संबंधी चिंताओं में सम्मिलित हैं:

- एफ्लैटॉक्सिन: अत्यधिक कैंसरकारी और

हेपेटोटाॅक्सिक (यकृत को नुकसान पहुंचाने वाला)

- ऑक्रैटॉक्सिन ए: नेफ्रोटाॅक्सिक (गुर्दे को नुकसान पहुंचाने वाला) और संभावित रूप से कैंसरकारी
- पैटुलिन: न्यूरोटाॅक्सिक और जठरांत्र संबंधी समस्याओं का कारण बन सकता है
- फ्यूमोनिसिन: एसोफैजियल कैंसर और न्यूरल

ट्यूब दोषों से जुड़ा हुआ

- जेरालेनोन: एस्ट्रोजेनिक प्रभाव है, जो प्रजनन कार्यों को बाधित करता है
- डीओक्सीनिवालेनॉल (डीओएन)/निवालेनॉल: ट्राइकोथेसिन जो उल्टी और प्रतिरक्षा प्रणाली दमन का कारण बन सकता है।

तालिका 1: तीन प्रमुख कवक द्वारा उत्पादित मायकोटॉक्सिन

प्रमुख कवक वंश/प्रजातियाँ	माइकोटॉक्सिन
एस्पेरगिलस: ए. फ्लेवस, ए. पैरासिटिकस, ए. ऑक्रैसस, ए. कार्बोनेरियस, ए. नाइजर, ए. नोमियस	एफ्लैटॉक्सिन और ऑक्रैटॉक्सिन ए
फ्यूसेरियम: फ्यूसेरियम ग्रैमिनिपरम, फ्यूसेरियम वर्टिसिलिओइडस, फ्यूसेरियम कल्मोरम, फ्यूसेरियम स्पोरोट्रिचियोइडस, फ्यूसेरियम पोए	फ्यूमोनिसिन, डीओक्सीनिवालेनॉल (डीओएन), जेरालेनोन, टी-2 टॉक्सिन और एचटी-2 टॉक्सिन।
पेनिसिलियम: पेनिसिलियम वेरुकोसम, पेनिसिलियम ग्लिसोफुलवम, पी. क्लैविगेरम	ऑक्रैटॉक्सिन ए और पैटुलिन

(स्रोत: हुसैन एस हुसैन, जेफरी एम ब्रासेल (2001) विशाक्तता, चयापचय, और मनुष्यों और जानवरों पर माइकोटॉक्सिन का प्रभाव, विश विज्ञान 167 (2): 101-134. [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(01\)00471-1](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(01)00471-1))

तालिका 2: माइकोटॉक्सिन से प्रभावित फसलें

फसल समूह/फसलें	माइकोटॉक्सिन
अनाज (अन्न)	
मक्का (मकई)	एफ्लैटॉक्सिन, फ्यूमोनिसिन, डीओएन, और जेरालेनोन
गेहूँ	डीओएन, जेरालेनोन, और ऑक्रैटॉक्सिन ए
चावल	एफ्लैटॉक्सिन और फ्यूमोनिसिन
जौ	डीओएन और ऑक्रैटॉक्सिन ए
ज्वार	एफ्लैटॉक्सिन और फ्यूमोनिसिन
तिलहन	
पीनट्स (मूंगफली)	एफ्लैटॉक्सिन
अन्य फसलें	
कॉफी	ऑक्रैटॉक्सिन ए
फल (विशेष रूप से सेब)	पैटुलिन
नट्स	एफ्लैटॉक्सिन

फंगल जेनेरा/प्रजातियाँ, प्रभावित फसलें और संबंधित मायकोटॉक्सिन

मुख्य फंगल जेनेरा और प्रजातियाँ, और उनकी गतिविधि के लिए उत्तरदायी मायकोटॉक्सिन, तालिका 1 में सूचीबद्ध हैं।

कवक और उनके परिणामस्वरूप माइकोटॉक्सिन फसलों की एक विस्तृत श्रृंखला को प्रभावित कर सकते हैं, जिससे खाद्य सुरक्षा और कृषि उत्पादकता के लिए महत्वपूर्ण खतरे उत्पन्न हो सकते हैं। मुख्यतः प्रभावित होने वाली फसलें तालिका 2 में प्रस्तुत की गई हैं।

माइकोटॉक्सिन का वर्गीकरण

माइकोटॉक्सिन को मोटे तौर पर विभिन्न रासायनिक और भौतिक गुणों के आधार पर वर्गीकृत किया जा सकता है, जिसमें धुवीयता (धुवीयत बनाम अधुवीयता) और प्रतिदीप्ति सम्मिलित हैं। मायकोटॉक्सिन के विभिन्न समूहों और उप-समूहों को उनकी विशेषताओं के आधार पर तालिका 3 में सूचीबद्ध किया गया है।

माइकोटॉक्सिन संदूषण में योगदान देने वाले कारक

संदूषण कई कारकों से प्रभावित होता है:

- पर्यावरण की स्थिति: तापमान, आर्द्रता और पानी की उपलब्धता
- भंडारण प्रथाएँ: अनुचित सुखाने, अपर्याप्त वेंटिलेशन और कीट क्षति
- कटाई से पहले और कटाई के बाद की हैंडलिंग: खराब कृषि और हैंडलिंग प्रथाएँ
- कीट क्षति: कीटों द्वारा बनाए गए घाव और छेद फफूंद के लिए प्रवेश बिंदु प्रदान करते हैं

माइकोटॉक्सिन एक्सपोजर के जोखिम को कम करना

माइकोटॉक्सिन संदूषण को कम करने के लिए निवारक उपायों को लागू करना महत्वपूर्ण है।

- उचित सुखाने और भंडारण: फफूंद के विकास को रोकने के लिए नमी की मात्रा को कम करें।
- फफूंदयुक्त भोजन का निरीक्षण करें और उसे फेंक दें: फफूंद के संकेतों के लिए नियमित रूप से अनाज और मेषों की जाँच करें।

तालिका 3 मायकोटॉक्सिन की विशेषताएँ

समूह	उप-समूह	विशेषताएँ
एफ्लैटॉक्सिन	बी1, बी2, जी1, जी2, एम1	उनके फ्लोरोसेंट गुणों के नाम पर, अत्यधिक ध्रुवीय
जेरालेनोन	-जेरालेनॉल, -जेरालेनॉल -जेरालेनोन -जेरालेनोन	हरा-भरा फ्लोरोसेंट यौगिक, गैर-ध्रुवीय
ऑक्रैटॉक्सिन	ए, बी	मध्यम ध्रुवीयता, फ्लोरोसेंट यौगिक
फ्यूमोनिसिन	बी1, बी2, बी3, बी4	गैर-फ्लोरोसेंट यौगिक, उच्च ध्रुवीयता
टाइप ए ट्राइकोथेसिन	डीऑक्सीनिवालेनॉल, निवालेनॉल, फ्यूसारेनॉन-एक्स	ध्रुवीय, जटिल संरचनाएँ, गैर-मैक्रोसाइक्लिक
टाइप बी ट्राइकोथेसिन	टी2 टॉक्सिन, एचटी-2 विष	ध्रुवीय, जटिल संरचनाएँ

(स्रोत: क्रालज सिगिक, आई., और प्रोसेन, एच. (2009). माइकोटॉक्सिन के निर्धारण के लिए पारंपरिक और उभरते विश्लेषणात्मक तरीकों का अवलोकन. इंटरनेशनल जर्नल ऑफ मॉलिक्यूलर साइंसेज, 10(1), 62-115. <https://doi.org/10.3390/ijms10010062>)

- सुखाने और भंडारण के दौरान क्षति की रोकथाम: क्षति से बचने के लिए अनाज और मेवों को सावधानी से संभालें।
- ताजा उत्पाद खरीदें: अनाज और मेवे जितना संभव हो उतना ताजा खरीदें।
- इष्टतम भंडारण की स्थिति: खाद्य पदार्थों को सूखे, ठंडे और कीट-मुक्त वातावरण में स्टोर करें।
- भंडारण समय सीमित करें: मोल्ड के प्रति संवेदनशील खाद्य पदार्थों को लंबे समय तक स्टोर

करने से बचें।

- विविध आहार: किसी भी एक माइकोटॉक्सिन के संपर्क को कम करने के लिए संतुलित आहार लें।

खाद्य पदार्थों में माइकोटॉक्सिन की विनियामक सीमाएँ

कोडेक्स एलिमेंटेरियस कमीशन जैसे विनियामक

तालिका 4 माइकोटॉक्सिन की विनियामक सीमाएं (एफएसएसएआई एवं ईयू)

टॉक्सिन	खाद्य पदार्थ	सीमा $\mu\text{g}/\text{kg}$ (FSSAI)	ईयू सीमा रेंज
एफ्लैटॉक्सिन	अनाज, दालें और उत्पाद	15.0	0.10-15.0
	तैयार-खाने वाले उत्पाद	10.0	0.10-15.0
	तिलहन, मेवे	15.0	0.10-15.0
	मसाले	30.0	0.10-15.0
एफ्लैटॉक्सिन एम1	दूध	0.5	0.025-0.05
पैटुलिन	सेब का रस	50.0	10.0-50.0
ओक्रैटॉक्सिन ए	गेहूँ, जौ और राई	20.0	0.50-10.0
डीऑक्सिनिवासेनॉल	गेहूँ	1000.0	200-1750

निकाय, उपभोक्ता स्वास्थ्य की रक्षा के लिए खाद्य पदार्थों में माइकोटॉक्सिन के लिए अधिकतम सीमाएँ निर्धारित करते हैं। ये सीमाएँ बहुत कम हैं, प्रायः इन यौगिकों की उच्च विषाक्तता के कारण पार्ट-प्रति-बिलियन ($\mu\text{g}/\text{kg}$) रेंज में होती हैं। तालिका 4 भारतीय खाद्य सुरक्षा मानक प्राधिकरण (एफएसएसएआई) के अनुसार विशिष्ट माइकोटॉक्सिन के लिए विनियामक सीमाओं के कुछ उदाहरण दिखाती है।

नोट: यूएस एफडीए और ईयू में माइकोटॉक्सिन के लिए अधिक सख्त विनियामक आवश्यकताएँ हैं। इन सीमाओं की नियमित रूप से समीक्षा की जाती है और नए वैज्ञानिक साक्ष्य और जोखिम आकलन को प्रतिबिंबित करने के लिए अद्यतन किया जाता है।

माइकोटॉक्सिन के लिए विश्लेषण की विधियाँ भोजन में माइकोटॉक्सिन के स्तर की निगरानी के लिए सटीक और संवेदनशील विश्लेषणात्मक विधियाँ आवश्यक हैं। मुख्यतः प्रयोग की जाने वाली तकनीकों में सम्मिलित हैं:

- फ्लोरोसेंस डिटेक्शन के साथ हाई-परफॉरमेंस लिक्विड क्रोमैटोग्राफी (एचपीएलसी-एफएलडी)
- गैस क्रोमैटोग्राफी (जीसी)
- अल्ट्रावायलेट डिटेक्शन के साथ हाई-परफॉरमेंस लिक्विड क्रोमैटोग्राफी (एचपीएलसी-यूवी)
- थिन-लेयर क्रोमैटोग्राफी (टीएलसी)
- एंजाइम-लिंकड इम्यूनोसॉर्बेंट परख (एलिसा)
- लिक्विड क्रोमैटोग्राफी-टेंडेड मास स्पेक्ट्रोमेट्री (एलसी-एमएस/एमएस)

माइकोटॉक्सिन के विश्लेषण की प्रलेखित विधियाँ तालिका 5 में प्रस्तुत की गई हैं

नियंत्रण और रोकथाम

माइकोटॉक्सिन संदूषण को नियंत्रित करने और रोकने की रणनीतियों में सम्मिलित हैं:

- अच्छी कृषि पद्धतियाँ (जीएपी): कटाई से पहले प्रभावी उपाय लागू करें।
- अच्छी भंडारण पद्धतियाँ (जीएसपी): कटाई के बाद उचित हैंडलिंग और भंडारण सुनिश्चित करें।
- खाद्य प्रसंस्करण नियंत्रण: दूषित सामग्री को हटाने के लिए छंटाई और सफाई तकनीकों का उपयोग करें।
- निगरानी और परीक्षण: नियमित नमूनाकरण और विश्लेषण करें।
- विनियामक सीमाएँ: भोजन में माइकोटॉक्सिन के लिए स्थापित अधिकतम सीमाएँ लागू करें।



तालिका 5: माइकोटॉक्सिन के विश्लेषण की प्रलेखित विधियाँ

विभिन्न माइकोटॉक्सिन	प्रलेखित विधि	स्कोप	तकनीक
AFB1, AFB2, AFG1, AFG2	AOAC 991.31	मक्का, कच्ची मूंगफली	HPLC-FLD (IAC)
AFB1, AFB2, AFG1, AFG2	AOAC 2005.08	मक्का, कच्ची मूंगफली	HPLC-FLD (IAC)
AFB1, Total AFLAs	ISO 16050:2003	अनाज	HPLC-FLD
DON	AOAC 986.18	गेहूँ	GC
DON	EN 15891:2010	अनाज और खाद्य पदार्थ	HPLC-UV
DON	AOAC 986.17	गेहूँ	TLC
AFB1, AFB2, AFG1, AFG2	AOAC 994.08	मक्का, बादाम, मेवे	HPLC-FLD
FB1, FB2, FB3	AOAC 995.15	मक्का	HPLC-FLD
OTA	AOAC 991.44	जौ, गेहूँ, राई, मक्का	HPLC-FLD
AFB1	AOAC 990.32	मक्का, भुनी हुई मूंगफली	ELISA
AFB1, AFB2, AFG1, AFG2	AOAC 990.34	मक्का, कपास के बीज, मूंगफली	ELISA
Total FBs	AOAC 2001.06	मक्का	ELISA
ZEN	AOAC 994.01	मक्का, गेहूँ, चारा	ELISA
T-2, HT-2	EN 16923:2017	अनाज, अनाज आधारित खाद्य पदार्थ	LC-MS/MS
CIT	EN 17203:2018	अनाज, लाल खमीर चावल	LC-MS/MS

निष्कर्ष

निष्कर्ष में, माइकोटॉक्सिन वैश्विक स्तर पर खाद्य सुरक्षा और कृषि प्रणालियों के लिए एक महत्वपूर्ण और चल रही चुनौती का प्रतिनिधित्व करते हैं। विभिन्न खाद्य वस्तुओं में इन विषाक्त यौगिकों की उपस्थिति मनुष्यों और जानवरों दोनों के लिए पर्याप्त स्वास्थ्य जोखिम उत्पन्न करती है। माइकोटॉक्सिन संदूषण को कम करने के लिए प्रभावी नियंत्रण और रोकथाम रणनीतियाँ, जिसमें अच्छी कृषि और भंडारण पद्धतियाँ, गहन निगरानी और परीक्षण, और विनियामक सीमाओं का पालन सम्मिलित है, आवश्यक हैं। खाद्य आपूर्ति और सार्वजनिक स्वास्थ्य पर माइकोटॉक्सिन के प्रभाव को और अधिक समझने, प्रबंधित करने और कम करने के लिए निरंतर शोध और सतर्कता महत्वपूर्ण है। खाद्य सुरक्षा और कृषि वस्तुओं पर उनके प्रभाव के कारण माइकोटॉक्सिन अंतर्राष्ट्रीय व्यापार में भी महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं।

