

- BOTTALICO, A. a PERRONE, G. Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe. *Mycotoxin Research*. 2002, **18**(S1), s. 91–95.
- BUERSTMAYR, H., BAN, T. a ANDERSON, J. A. QTL mapping and marker-assisted selection for *Fusarium* head blight resistance in wheat: a review. *Plant Breeding*. 2009, **128**(1), s. 1–26.
- De WOLF, E., MADDEN, L. V. a LIPPS, P. E. Risk assessment models for wheat *Fusarium* head blight epidemics based on within-season weather data. *Phytopathology*. 2003, **93**(4), s. 428–435.
- EDWARDS, S. G. Influence of agricultural practices on *Fusarium* infection of cereals and subsequent contamination of grain by trichothecene mycotoxins. *Food Additives & Contaminants*. 2004, **21**(6), s. 505–508.
- GOSWAMI, R. S. a KISTLER, H. C. Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. *Molecular Plant Pathology*. 2004, **5**(6), s. 515–525.
- CHAKRABORTY, S. a NEWTON, A. C. Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Pathology*. 2011, **60**(1), s. 2–14.
- LOGRIECO, A., MULE, G., MORETTI, A. a BOTTALICO, A. Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with maize. *Veterinary Research Communications*. 2002, **26**(1), s. 631–637.
- MESTERHÁZY, A. Chemical control of *Fusarium* head blight of wheat. In: *Mycotoxin reduction in grain chains*. 2014, s. 232–247.
- MUNKVOLD, G. P. *Fusarium* species and their associated mycotoxins. In: *Mycotoxigenic fungi: methods and protocols*. 2017, s. 51–106.
- PARRY, D. W., JENKINSON, P. a McLEOD, L. *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals—a review. *Plant Pathology*. 1995, **44**(2), s. 207–238.
- PERINCHERRY, L., LALAK-KAŃCZUGOWSKA, J. a STĘPIEŃ, Ł. *Fusarium*-Produced Mycotoxins in Plant-Pathogen Interactions. *Toxins (Basel)*. 2019, **11**(11), s. 664. DOI: 10.3390/toxins11110664.
- RIOS, G., ZAKHIA-ROZIS, N., CHAURAND, M., RICHARD-FORGET, F., SAMSON, M. F., ABECASSIS, J. a LULLIEN-PELLERIN, V. Impact of durum wheat milling on deoxynivalenol distribution in the outgoing fractions. *Food Additives and Contaminants*. 2009, **26**(4), s. 487–495.
- SARVER, B. A. J., WARD, T. J., GALE, L. R., BROZ, K., KISTLER, H. C. a AOKI, T. Novel *Fusarium* head blight pathogens from Nepal and Louisiana revealed by multilocus genealogical concordance. *Fungal Genetics and Biology*. 2011, **48**(11), s. 1096–1107.
- TVARŮŽEK, L., HAMBÁLKOVÁ, M., MATUŠINSKÝ, P., BLAŽKOVÁ, K., BLEŠA, D. a LECIANOVÁ, E. Predikce výskytu klasových fuzárií na základě sledování tvorby infekčních struktur patogena na kukuřičných posklizňových zbytcích. *Obilnářské listy*. 2021, **29**(4), s. 102–105. ISSN 1212-138X.
- VOGELGSANG, S., BEYER, M., PASQUALI, M., JENNY, E., MUSA, T., BUCHELI, T. D. et al. An eight-year survey of wheat shows distinctive effects of cropping factors on different *Fusarium* species and associated mycotoxins. *European Journal of Agronomy*. 2019, **105**, s. 62–77.
- XU, X. M. a NICHOLSON, P. Community ecology of fungal pathogens causing wheat head blight. *Annual Review of Phytopathology*. 2009, **47**, s. 83–103.
- ZAIN, M. E. Impact of mycotoxins on humans and animals. *Journal of Saudi Chemical Society*. 2011, **15**(2), s. 129–144.

Sklizeň obilovin 2024 z pohledu výskytu mykotoxinů (Cereal harvest 2024 in relation to mycotoxins)

Polišenská Ivana, Jirsa Ondřej
Agrotest fyto, s.r.o., Havlíčkova 2787/121, Kroměříž

Souhrn: Součástí hodnocení kvality sklizně obilovin v ČR podporovaného MZe je analýza výskytu legislativně limitovaných fuzáriových mykotoxinů. Od roku 2024 mezi ně patří kromě deoxynivalenolu (DON) a zearalenonu (ZEA) také T-2 a HT-2 toxiny. Od stejného roku byl zpřísněn limit pro maximální obsah DON. Nyní pro nezpracovanou pšenici a ječmen pro potravinářské účely platí místo původních 1250 µg/kg pouze 1000 µg/kg. Stejně jako v minulých letech byly v roce 2024 DON a ZEA zjištěny častěji a ve vyšších hodnotách u pšenice než u ječmene. Z hodnocení kontaminace T-2 a HT-2 toxiny jsou k dispozici výsledky zatím pouze z roku 2024, ukazují však na opačný trend, tj. vyšší úroveň kontaminace byla zjištěna u ječmene. Úroveň kontaminace pšenice a ječmene mykotoxiny DON a ZEA byla v roce 2024 ve srovnání s rokem 2023 vyšší, což odpovídá rozdílům v průběhu počasí v období kvetení obilnin. Nejvyšší úroveň kontaminace DON a ZEA v minulých 5 letech měla pšenice i ječmen v roce 2020.

Klíčová slova: pšenice, ječmen, mykotoxiny, DON, ZEA, suma T-2 a HT-2 toxinů

Abstract: As part of the assessment of the quality of the cereal harvest in the Czech Republic supported by the Ministry of Agriculture, an analysis of the occurrence of legislatively limited *Fusarium* mycotoxins is carried out. From 2024, these include, in addition to deoxynivalenol (DON) and zearalenone (ZEA), also T-2 and HT-2 toxins. Since the same year, the maximum limit for DON has been lowered and now only a maximum of 1000 µg/kg applies to unprocessed wheat and barley for food purposes instead of the original 1250 µg/kg. As in previous years, DON and ZEA were detected more frequently and at higher levels in wheat than in barley in the 2024 harvest. From the assessment of T-2 and HT-2 toxin contamination, results are so far only available from 2024, but show the opposite trend, i.e. higher level of contamination was found in barley. The level of contamination of wheat and barley with DON and ZEA mycotoxins was higher in 2024 compared to 2023, which corresponds to differences in the weather patterns during the flowering period of cereals. The highest levels of DON and ZEA contamination of wheat and barley in the past 5 years was recorded in 2020.

Key Words: wheat, barley, mycotoxins, DON, ZEA, sum of T-2 and HT-2

Legislativa pro obsah mykotoxinů v obilovinách

Kvalitu obilovin určených pro potravinářské účely můžeme hodnotit ze dvou úhlů pohledu. Prvním je technologická kvalita. Pro pekářenskou pšenici mezi základní kritéria kvality podle ČSN 46 1100-2 patří obsah bílkovin (N-látek) a jejich kvalita (sedimentační test), objemová hmotnost, číslo poklesu, vlhkost a obsah příměsí a nečistot, pro sladovnický ječmen podle ČSN 46 1100-5 vlhkost, klíčivost, obsah N-látek, přepad na síť 2,5 mm a podíl příměsí. Druhým úhlem pohledu na kvalitu obilovin je jejich zdravotní nezávadnost, tj. zda nejsou ve zvýšené míře kontaminovány nežádoucími látkami. Jejich maximální přípustné limity jsou určeny legislativou, v současné době se jedná o „NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2023/915 ze dne 25. dubna 2023 o maximálních limitech některých kontaminujících látek v potravinách“. V nezpracovaných obilovinách pro potravinářské účely jsou limitovány fuzáriové mykotoxiny (deoxynivalenol, zearalenon, suma T-2 a HT-2 toxinů a v kukuřici také fumonisiny), aflatoxiny (B₁, B₂, G₁, G₂) a ochratoxin A, dále těžké kovy (kadmium, olovo), námelová sklerocia, námelové alkaloidy, i některé další nežádoucí látky. Požadavky nařízení 2023/915 limitující obsah nežádoucích látek jsou závazné, na rozdíl od požadavků na technologickou kvalitu obilovin, které se, s výjimkou v současné době nerealizovaného intervenčního nákupu, řídí obvykle jen smluvními obchodními podmínkami. I když však normy závazné nejsou, požadavky v nich uvedené představují určitý dobrý standard pro danou komoditu a její konkrétní určení.

Limity pro maximální obsah fuzáriových mykotoxinů v obilovinách podle nařízení 2023/915 jsou uvedeny v Tabulce 1. Za zmínku zejména stojí, že v roce 2024 došlo ke změně v limitech pro obsah deoxynivalenolu (DON), který je nyní v pšenici, ječmeni a žitě pro potravinářské účely 1000 µg/kg (místo původních 1250 µg/kg), v kukuřici a pšenici tvrdé (*T. durum*) 1500 µg/kg (místo původních 1750 µg/kg) a nově byly zavedeny limity pro obsah sumy T-2 a HT-2 mykotoxinů, které jsou různé pro různé druhy obilovin v rozmezí od 50 do 1250 µg/kg.

T-2 a HT-2 toxiny patří mezi trichothecenové mykotoxiny typu A, zatímco DON patří mezi trichotheceny typu B. Jsou produkovány určitými druhy rodu *Fusarium*, zejména *F. sporotrichioides* a *F. langsethiae*. Tyto druhy preferují vlhčí a chladnější podmínky, proto je výskyt T-2 a HT-2 toxinů často hlášen ze zemí severní Evropy. Běžně se však vyskytují i u nás. V literatuře se náchylnost jednotlivých druhů obilovin ke kontaminaci těmito mykotoxiny uvádí v tomto pořadí: oves > ječmen > pšenice > žito > kukuřice. Odpovídají tomu i nově stanovené maximální limity: oves 1250 µg/kg, sladovnický ječmen 200 µg/kg (ostatní ječmen 150 µg/kg), kukuřice a pšenice tvrdá 100 µg/kg, pšenice a žito 50 µg/kg.

Obsah mykotoxinů v pšenici a ječmeni sklizně 2024

Metodika

Sledování obsahu fuzáriových mykotoxinů je součástí celorepublikového hodnocení sklizňové kvality potravinářských obilovin. Každý rok je u 100 vzorků pšenice, 60 vzorků ječmene a 10 vzorků žita hodnocen obsah fuzáriových mykotoxinů deoxy-

Tab. 1: Maximální limity pro obsahy mykotoxinů v nezpracované pšenici obecné a tvrdé, ječmeni, žitě a kukuřici podle nařízení komise (EU) 2023/915 v platném znění - výňatek

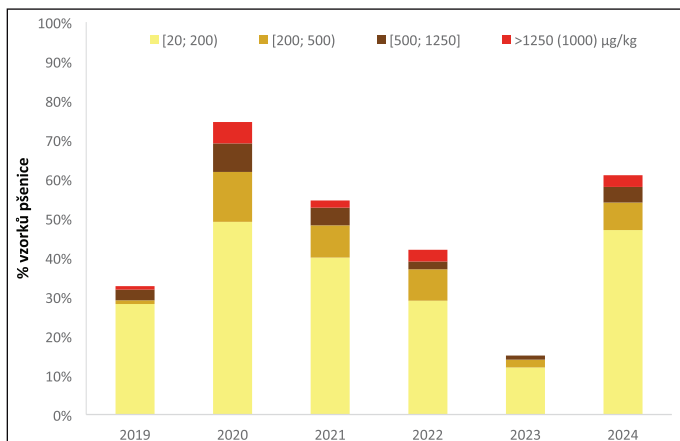
Kontaminant	Surovina/potravina	Maximální obsah (µg/kg)
Deoxy-nivalenol	nezpracované obiloviny kromě pšenice tvrdé, ovsa a kukuřice	1000
	pšenice tvrdá (<i>T. durum</i>) a kukuřice	1500
	oves (včetně pluch)	1750
Zearalenon	nezpracované obiloviny jiné než kukuřice	100
	kukuřice	350
Suma T-2 a HT-2 toxinů	nezpracované obiloviny kromě ječmene, sladovnického ječmene, pšenice tvrdé, ovsa a kukuřice	50
	sladovnický ječmen	200
	ječmen jiný než sladovnický	150
	kukuřice a pšenice tvrdá (<i>T. durum</i>)	100
	oves (včetně pluch)	1250
Fumonisiny (suma B1 a B2)	Nezpracovaná kukuřice	4000

nivalenolu (DON) a zearalenonu (ZEA) a u 20 vzorků kukuřice obsah DON, ZEA a fumonisinů. V roce 2024 byl poprvé hodnocen také obsah T-2 a HT-2 toxinů. Oba mykotoxiny jsou si chemicky velmi podobné, a protože i limit je stanoven pro jejich sumu, je použita metoda, která mezi nimi nerozlišuje a výsledkem je rovnou součet obsahu obou toxinů. Úroveň kontaminace je u všech mykotoxinů hodnocena podílem kontaminovaných vzorků (tj. vzorků s nálezem mykotoxinů nad limit detekce analytické metody používané v laboratoři – v našem případě je to pro DON 20 µg/kg, pro ZEA 2 µg/kg a pro sumu T-2 a HT-2 10 µg/kg) a podílem vzorků přesahujících maximální přípustné limity. Charakterizovat situaci v daném roce umožňuje srovnání s předcházejícími lety. Výsledky roku 2024 jsou porovnány s výsledky minulých 5 let, tj. 2019–2023, s výjimkou T-2 a HT-2 toxinů, u kterých údaje z minulých let k dispozici nejsou.

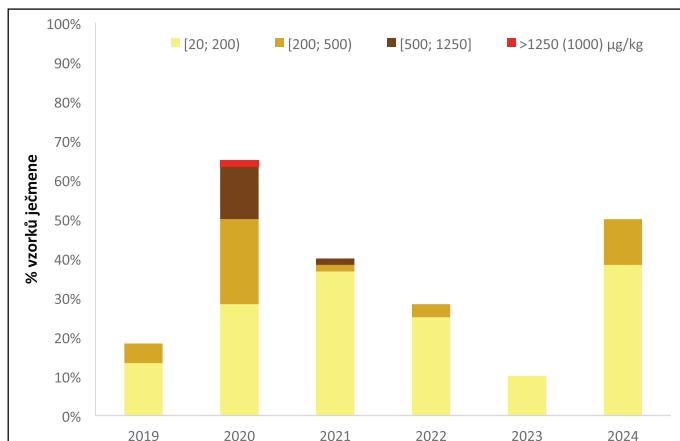
Výsledky a diskuse

Deoxynivalenol (DON)

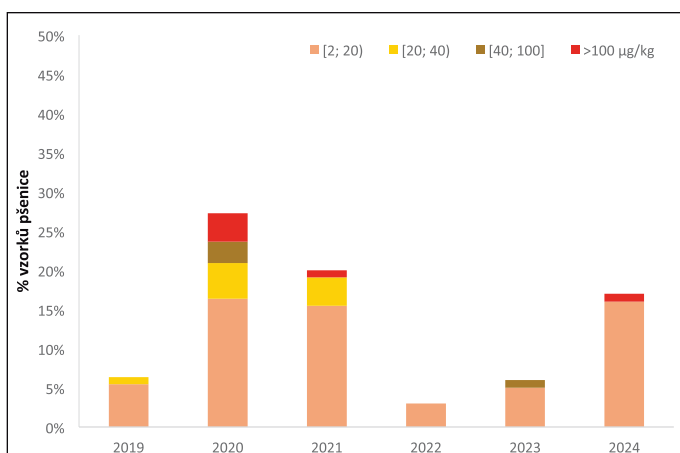
Podíl vzorků pšenice kontaminované mykotoxinem DON ze sklizně 2024 byl 61 % (obr. 1), ječmene 50 % (obr. 2). Je to výrazně více, než v roce předcházejícím (2023: pšenice 14 %, ječmen 10 %). Průměrný podíl kontaminovaných vzorků v uplynulých 5 letech byl u pšenice 43 %, u ječmene 32 %. U obou obilovin byla nejvyšší úroveň kontaminace v roce 2020 (pšenice 75 %, ječmen 65 %), nejnižší v roce 2023 (pšenice 14 %, ječmen 10 %). Podíl vzorků pšenice s nadlimitním obsahem DON (do 2023 nad 1250 µg/kg, 2024 nad 1000 µg/kg) v hodnocených letech kolísal mezi 0 % (2023) a 6 % (2020), v roce 2024 to byla 3%. U ječmene byly hodnoty obsahu nižší, limitu vyhověly v roce 2024 všechny vzorky, maximální zjištěná hodnota byla 492 µg/kg. Jednalo se o ječmen pěstovaný v Jihomoravském kraji, předplodinou byla kukuřice. Také v letech 2019 a 2021–2023 vyhověly limitu pro DON v potravinářských obilovinách všechny vzorky ječmene, v roce 2020 nevyhověl jeden vzorek (DON 3206 µg/kg), pocházel z Olomouckého kraje, předplodinou byla kukuřice.



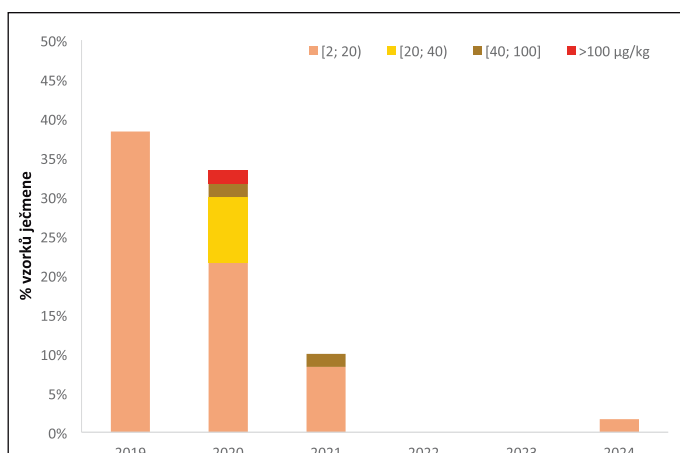
Obr. 1: Podíl vzorků pšenice kontaminovaných deoxynivalenolem (DON) v letech 2019–2024 v ČR, s vyznačením podílů vzorků s obsahem 20–200 µg/kg, 200–500 µg/kg, 500–1250 µg/kg (500–1000 µg/kg v roce 2024) a přesahujících limit 1250 µg/kg (1000 µg/kg v roce 2024).



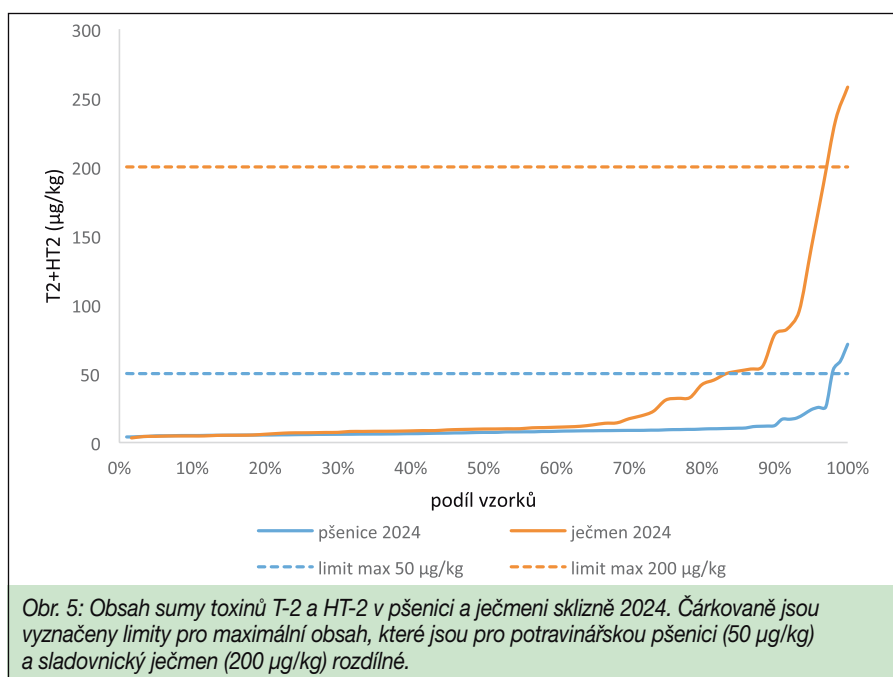
Obr. 2: Podíl vzorků ječmene kontaminovaného deoxynivalenolem (DON) v letech 2019–2024 v ČR, s vyznačením podílů vzorků s obsahem 20–200 µg/kg, 200–500 µg/kg, 500–1250 µg/kg (500–1000 µg/kg v roce 2024) a přesahujících limit 1250 µg/kg (1000 µg/kg v roce 2024).



Obr. 3: Podíl vzorků pšenice kontaminovaných zearalenonem (ZEA) v letech 2019–2024 v ČR, s vyznačením podílu vzorků s obsahem 2–20 µg/kg, 20–40 µg/kg, 40–100 µg/kg a přesahujících limit 100 µg/kg



Obr. 4: Podíl vzorků ječmene kontaminovaného zearalenonem (ZEA) v letech 2019–2024 v ČR, s vyznačením podílu vzorků s obsahem 2–20 µg/kg, 20–40 µg/kg, 40–100 µg/kg a přesahujících limit 100 µg/kg



Obr. 5: Obsah sumy toxinů T-2 a HT-2 v pšenici a ječmeni sklizně 2024. Čárkovaně jsou vyznačeny limity pro maximální obsah, které jsou pro potravinářskou pšenici (50 µg/kg) a sladovnický ječmen (200 µg/kg) rozdílné.

Zearalenon (ZEA)

Podíl vzorků pšenice kontaminované mykotoxinem ZEA byl v roce 2024 11 % (obr. 3), zatímco u ječmene byl zjištěn jen u jednoho vzorku z analyzovaných 60 (tj. necelá 2 %) (obr. 4). V roce 2023 to bylo méně, a to u pšenice 6 %, u ječmene ZEA zjištěn nebyl vůbec. Průměrně byl v předcházejících 5 letech podíl pšenice kontaminované ZEA 12 %, nejvíce v roce 2020 (27 %), nejméně v roce 2022 (3 %). U ječmene to bylo v průměru let 16 %, nejvíce v letech 2019 (38 %), nejméně 2022 a 2023 (0 %). Limitu pro maximální obsah nevyhověl v roce 2024 jeden vzorek pšenice (obsah 179 µg/kg), jednalo se o pšenici, která měla zároveň také nejvyšší obsah DON (5034 µg/kg). U ječmene byly hodnoty ZEA velmi nízké, nejvyšší obsah byl 5 µg/kg a limit 100 µg/kg tedy s přehledem splnily všechny vzorky. Pšenice i ječmen s nadlimitním obsahem ZEA jsou nacházeny jen ojediněle. U pšenice to bylo nejčastěji v roce 2020 (u 4 % vzorků), naopak v letech 2019, 2022 a 2023 limit nepřesáhl žádný vzorek. U ječmene byl zjištěn vzorek s obsahem nad limit pro ZEA pouze v roce 2020, a to u jednoho vzorku.

T-2 a HT-2 toxiny

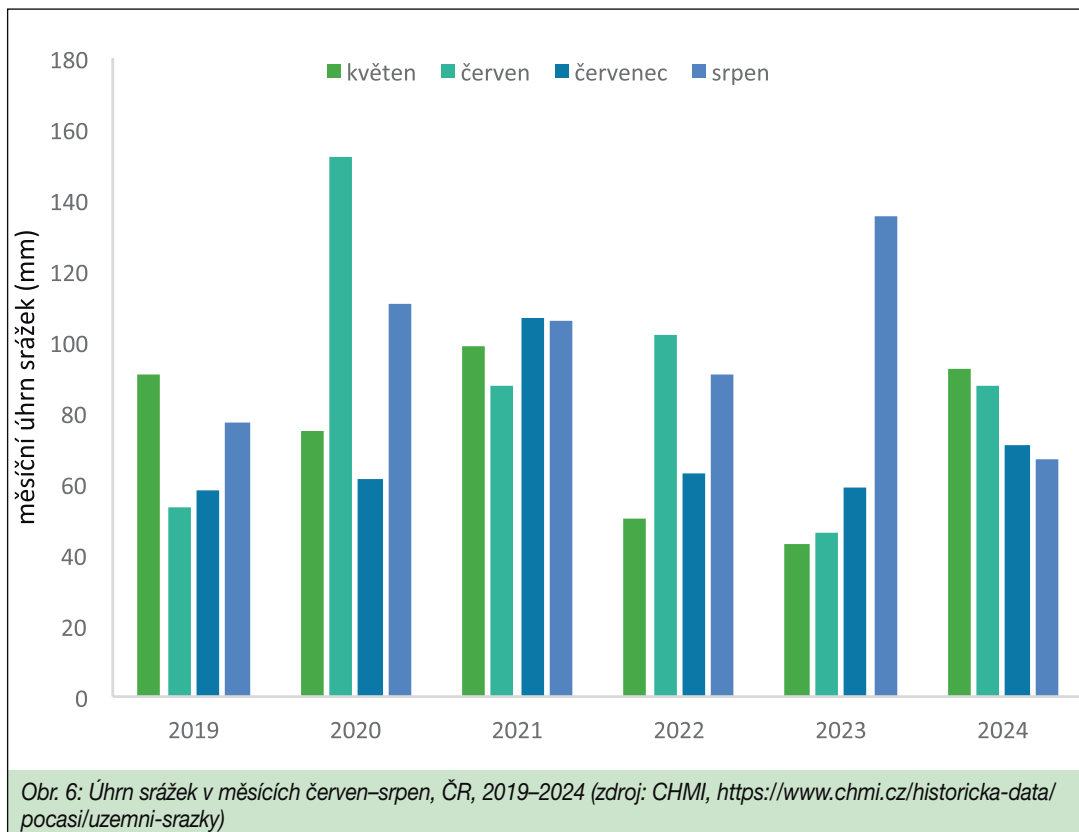
Tyto toxiny byly zjištěny v roce 2024 u 23 % vzorků pšenice a u 53 % vzorků ječmene. U pšenice se hodnoty pohybovaly od <10 µg/kg po 71 µg/kg, u ječmene od <10 µg/kg po 258 µg/kg (obr. 5). Protože pro pšenici platí limitní hodnota max 50 µg/kg, 3 vzorky (tj. 3 %) ji přesáhly (obsah u jednotlivých vzorků 53, 59 a 71 µg/kg). Pro sladovnický ječmen platí limitní hodnota 200 µg/kg, přesáhly ji 2 vzorky (obsah 234 a 258 µg/kg).

Vliv počasí je zásadní

Nejvýznamnějším faktorem, který ovlivňuje napadení klasů obilnin patogeny *Fusarium* a následnou kontaminaci zrna mykotoxiny, je průběh počasí v konkrétní vegetační ročníku. Příznivé pro napadení je zejména vlhké počasí v období kvetení, kdy jsou klasy vůči infekci nejcitlivější. Z posledních let byla nejvyšší úroveň kontaminace pšenice i ječmene mykotoxiny DON a ZEA v roce 2020, kdy byly zaznamenány hojné srážky, zejména v měsíci červnu (obr. 6). Naopak nejnižší byla kontaminace v roce 2023, kdy byl červnový úhrn srážek nízký a hojné srážky přišly až v srpnu 2023 do zralých porostů, což již obsah fuzáriových mykotoxinů nezvýšilo, protože chyběla počáteční infekce z období kvetení obilnin.

Rozdíly v kontaminaci mykotoxiny mezi pšenicí a ječmenem

Fuzáriové mykotoxiny jsou produkty mikroskopických hub rodu *Fusarium*, které způsobují onemocnění klasů nazývané správně



česky růžovění klasů (pšenice /ječmene/ žita), hovorově „klasová fuzária“. Typické pro tuto chorobu je, že se na ni podílí více druhů patogenů z rodu *Fusarium* a podle aktuálních podmínek se jejich spektrum mění. Ke změnám v zastoupení jednotlivých druhů může docházet i v průběhu vegetace, vliv má také předplodina i druh obilniny, o kterou se jedná. Toto má následně dopad i na spektrum mykotoxinů, které se vyskytuje v zrna z napadených klasů, protože různé druhy *Fusarium* mohou produkovat různé mykotoxiny, a to navíc i více najednou. Z víceletých výsledků sledování výskytu mykotoxinů v obilninách sklizených v ČR vyplývá, že pšenice je mykotoxiny DON a ZEA kontaminována ve srovnání s ječmenem častěji a také hodnoty obsahu těchto dvou mykotoxinů jsou v pšenici obvykle vyšší než v ječmeni. Potvrzují to i literární údaje z jiných zemí. Mohou se však vyskytnout výjimky, v závislosti na průběhu počasí v daném roce nebo přítomnosti určitých jiných rizikových faktorů. Limit pro maximální obsah DON je u ječmene a pšenice stejný, a to od roku 2024 nově 1000 µg/kg. Oba tyto mykotoxiny jsou tvořeny převážně druhem *F. graminearum*, který preferuje spíše teplejší podmínky. Naopak za tvorbu nově limitovaných T-2 a HT-2 toxinů jsou zodpovědné druhy *F. sporotrichioides* a *F. langsethiae* o kterých se v literatuře uvádí, že se jim lépe daří ve vlhčích a chladnějších podmínkách, a také, že napadají častěji oves a ječmen než pšenici. Vliv počasí zatím není možné v našem sledování posoudit, protože jsou zatím k dispozici pouze výsledky ze sklizně 2024. Častější kontaminace ječmene a zároveň vyšší hodnoty obsahu ve srovnání s pšenicí se potvrdily. (Recenzováno)

Poděkování

Práce byla podpořena MZe ČR prostřednictvím Smlouvy č. (DMS) 270-2024-13121 a institucionální podpory MZE-RO1123.