

Detekce původců fuzarióz klasů ve vzorcích ze sklizňového ročníku 2023

(*Fusarium head blight causal agents detection in samples from cropping season 2023*)

Bleša Dominik, Matušinský Pavel, Polišínská Ivana, Tvarůžek Ludvík
Agrotest fyto, s.r.o., Havlíčkova 2787/121, Kroměříž

Souhrn: Tato studie byla zaměřena na detekci a zastoupení původců fuzarióz klasů ve vzorcích pšenice a ječmene z České republiky. Výsledky prokázaly přítomnost druhů *F. graminearum*, *F. avenaceum* a *F. poae* ve vzorcích zrna. Analýza peritecií získaných z posklizňových zbytků kukuřice na polích s obilovinami byla doplněna detekcí *F. poae* v mladých asymptomatických rostlinách pšenice. Tato studie přispívá k lepšímu pochopení rozšíření a výskytu původců fuzarióz klasů a nabízí perspektivu pro prevenci a řízení této choroby. Zásadním prvkem je důležitost detekce a identifikace původců fuzarióz klasů, zejména druhu *F. poae*, v obilných porostech. S ohledem na rostoucí výskyt tohoto patogenu studie popisuje potřebu nových integrovaných strategií, zahrnujících vývoj rezistentních odrůd, využívání fungicidů a biologických ochranných látek, ale také jeho odolnost vůči fungicidům a akumulaci mykotoxinů. Nezbytné je také porozumění molekulárním mechanismům interakce mezi patogenem a hostitelskou rostlinou pro efektivní ochranu a prevenci fuzarióz klasů a minimalizaci ztrát.

Klíčová slova: *Fusarium*, fuzariózy klasů, perithecium, PCR, mykotoxiny, kontaminace, pšenice, ječmen

Abstract: This study focused on the detection and abundance of *Fusarium* head blight pathogens in wheat and barley samples from the Czech Republic. The results showed the occurrence of *F. graminearum*, *F. avenaceum* and *F. poae* species in grain samples. The analysis of perithecia obtained from crop debris of maize in cereal fields was complemented by the detection of *F. poae* in young asymptomatic wheat plants. This study contributes to a better understanding of the distribution and occurrence of the causal agents of *Fusarium* head blight and offers a perspective for the prevention and management of this disease. The importance of detecting and identifying the causal agents of *Fusarium* head blight, especially *F. poae* species, in cereal crops is a crucial element. Given the increasing prevalence of this pathogen, the study describes the need for new integrated strategies, including the development of resistant varieties, the use of fungicides and biological control agents, but also its resistance to fungicides and the accumulation of mycotoxins. Understanding the molecular mechanisms of pathogen-host plant interaction is also essential for effective protection and prevention of *Fusarium* head blight and minimization of losses.

Key Words: *Fusarium*, *Fusarium* head blight, perithecium, PCR, mycotoxins, contamination, wheat, barley

Úvod

Fuzariózy klasů, růžovění klasů obilnin (ang. *Fusarium* head blight – FHB), patří mezi závažné choroby obilovin způsobující celosvětově významné hospodářské ztráty, které mají v chudších zemích dopad i na sociální stabilitu místních komunit (Windels 2000). Dopad fuzarióz klasů na produkci plodin je značný, choroba má dopad na kvalitu a množství sklizně. Závažnost je rovněž umocněna biosyntézou mykotoxinů, které nejenže přispívají k poškození klasů jako virulentní faktor (efektorová molekula) způsobující nekrózu pletiv (Jansen et al. 2005), ale představují také významné zdravotní riziko pro lidi a zvířata konzumující kontaminované zrna (Wang et al., 2023; Morimura et al., 2020). Produkce nezávadného zrna a produktů z něj je v Evropské unii dána limity pro kontaminující látky v potravinách uvedené v nařízení komise (EU) 2023/915. Pro mykotoxiny produkované komplexem druhů fuzarióz klasů se jedná o limity mykotoxinu deoxynivalenolu (DON) a zearalenonu. Další mykotoxiny by měly být méně významné z hlediska výskytu nebo v závislosti s obsahem těchto uvedených mykotoxinů.

Mezi původce choroby řadíme komplex druhů rodu *Fusarium*, ale i dalších původce, kteří se na poškození podílejí, například druhy *Microdochium* (Ward et al. 2002). Mezi nejčastější druhy v našich podmínkách řadíme *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum* a *F. poae* (Hofgaard et al. 2016; Polišínská et al. 2012). V mnoha napadených klasech lze nalézt mnohem širší spektrum druhů, vysokou patogenitu však pozorujeme především u dvou hlavních zástupců – *F. graminearum* a *F. culmorum*. Zbývající druhy, zejména *F. poae*, způsobují nižší projevy symptomů (Inbaia et al. 2023; Goliński et al. 2002). Hodnocení *F. poae* nebo *F. avenaceum* jako slabších patogenů ve srovnání s *F. graminearum* je dobře zdokumentováno, přesto obtížnost

identifikace vizuálních symptomů může vést k podcenění jeho výskytu, vhodné je tedy používání lepších diagnostických nástrojů, například molekulárních metod. Tyto druhy rovněž svou přítomností v klasech ovlivňují možnosti infekce ostatními druhy fuzarií (Tan et al., 2020). Například bylo prokázáno, že *F. poae* asymptomaticky indukuje obranné látky související s kyselinou salicylovou a jasmonovou, které brání rozvoji infekce *F. graminearum* (Ameye et al., 2015; Tan et al., 2020). Celková komplexita interakcí a dynamika průběhu infekce je ovlivňována aktuálním stavem počasí, ale i dlouhodoběji reakcemi na změny klimatických podmínek (Yli-Mattila 2010; Vaughan et al. 2016). Závažnost fuzarióz klasů je ovlivněna různými faktory, včetně genotypu, interakce genotypu a prostředí a přítomnosti dalších organismů, jako jsou mšice nebo roztoči (Miedaner et al., 2008; Sarowar et al., 2019).

Životní cyklus *F. graminearum*, zahrnuje jak pohlavní, tak nepohlavní stadium. Během zimy přežívá patogen jako dvoujaderné mycelium, ze kterého se na jaře vytváří perithecia. V nich dochází k dokončení sexuální fáze cyklu a tvorbě askospor, které jsou masivně šířeny do okolí a představují primární zdroj infekce v porostech pšenice a ječmene. Na povrchu napadených rostlin nebo na zbytcích plodin se během vlhkých období vytváří velké množství nepohlavních spor (konidií). Konidie se vytvářejí na sporodochiích. Uvádí se, že konidie tvoří zdroj infekce především na kratší vzdálenosti a díky působení deště (Trail 2009).

F. culmorum představuje pouze anamorfní stadium, a není známa pohlavní fáze s tvorbou askospor. Rovněž produkce mikrokonidií nebyla v přírodních podmínkách pozorována. Životní cyklus je omezený pouze na nepohlavní fázi, kdy houba přežívá v podobě chlamydospor na organických zbytcích v půdě. Její výskyt způsobuje také poškození při vzcházení porostů, kdy se podílí na hnědnutí bází a uvadání klíčnicích rostlin. Ze zbytků

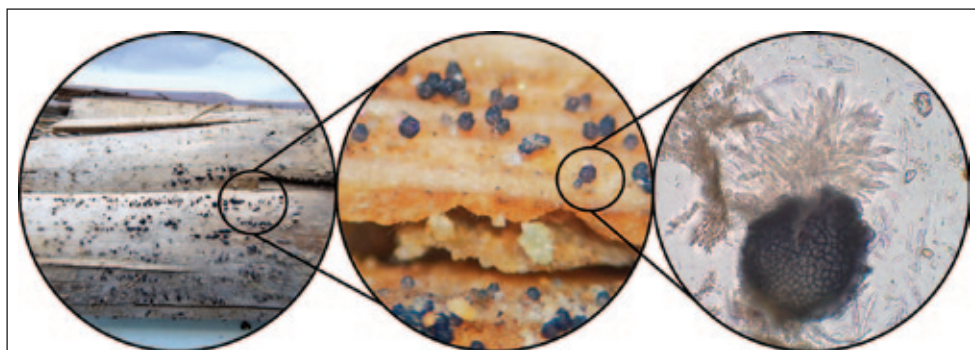
na stanovišti rovněž v době kvetení porostů napadá klasy a kontaminuje vzniklé zrno, na které se vytváří sporodochia s makrokonidii (Miedaner et al. 2008).

F. avenaceum se vyznačuje podobným způsobem životního cyklu jako *F. culmorum*, tedy nepohlavním. Je označován jako půdní patogen se širokou škálou hostitelských druhů, od obilovin, přes brambory a borovice. Po přezimování ve formě chlamydospor se vytvářejí sporodochia s makrokonidii, ty napadají kvetoucí klasy a kontaminují zrno. Možnost tvorby perithecií – pohlavní

informace sloužily jako doporučení agronomům pro agrotechnický zásah.

Na kukuřičných zbytcích byla pozorována perithecia u 16 vzorků, z nichž bylo získáno 7 izolátů. Tyto byly převedeny do kultury na Petriho miskách s bramborovo-dextrózovým agarem. Získané mycelium bylo drceno v tekutém dusíku a získána z něj DNA.

Pro stanovení přítomnosti *F. poae* bylo odebráno 8 směsných vzorků mladých rostlin pšenice ve fázi BBCH 13-14 na konci vegetace v roce 2023. Genomová DNA z mycelia, sušených vzorků mladých rostlin a z rozdrčeného zrna pšenice a ječmene byla izolována pomocí DNeasy mericon Food Kit (Qiagen, Německo). Diagnostika byla provedena pomocí polymerázové řetězové reakce (PCR) v přítomnosti druhově specifických primerů a separace PCR produktu byla provedena na horizontální agaróze gelové elektroforéze. Druhové složení zástupců fuzarióz klasů na sklizeném zrnu pšenice a ječmene bylo analyzováno pro *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum* a *F. poae*.



Obr. 1: Schéma odběru perithecií a zkoumání přítomnosti askospor na posklizňových zbytcích kukuřice

fáze, podle které byla popsána teleomorfa *Giberrella avenacea*, a životní cyklus není dostatečně prozkoumán (Kulik et al. 2011).

Způsoby infekce a životní cyklus *F. poae* nejsou jednoznačné, uvádí se proces infekce jako u jiných druhů rodu *Fusarium* s neznámou pohlavní fází, tedy v době kvetení za optimálních podmínek z přezimujícího mycelia na organických zbytcích díky produkci makrokonidii. Ale je znám i dřívější způsob infekce (Sturtz a Johnston 1983; Tini et al. 2022). Infekční částice se přenášejí vzduchem, ale i půdou. Kromě toho mohou být druhy širokolistých plevelů alternativním hostitelem a zdrojem inokula pro několik druhů *Fusarium*, včetně *F. poae*, ale je nepravděpodobné, že by byly primárním zdrojem infekce pro *F. poae* (Parry & Nicholson, 1996). *F. poae* je jedním z největších producentů mykotoxinů enniatinů v rámci komplexu fuzarióz klasů (Kulik et al., 2011), přesto je jeho kolonizace většinou asymptomatická (Islam et al. 2022).

V naší práci jsme se zaměřili na detekci a druhové zastoupení původců fuzarióz klasů ve vzorcích zrna pšenice a ječmene z oblasti České republiky ze sklizně 2023. Pro srovnání významných zdrojů infekce byla provedena druhová determinace izolátů získaných z perithecií na posklizňových zbytcích kukuřice (Obrázek 1) a v mladých asymptomatických rostlinách pšenice.

Materiál a metody

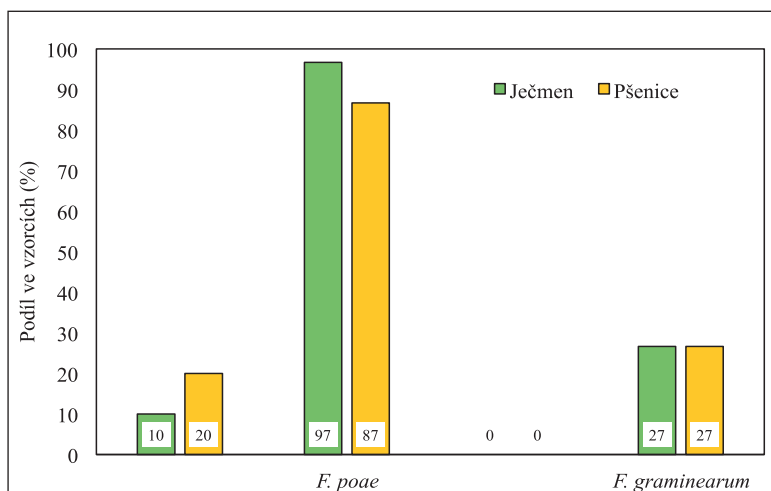
V rámci sledování výskytu kontaminace obilovin mykotoxiny v roce 2023 bylo vybráno 30 vzorků zrna pšenice a ječmene. Vzorky pocházely z různých regionů České republiky a pro analýzy byly podrceny.

Rostlinné zbytky kukuřičné slámy byly shromážděny z 27 pozemků na území Moravy a Slezska. Lze předpokládat, že tvoří primární zdroj infekce v době jejího kvetení, a tudíž jsou původci fuzarióz klasů. Vzorky v předchozích odběrech byly analyzovány z hlediska stupně zralosti a šíření askospor v závislosti na klimatických podmínkách (Tvarůžek et al. 2021) a tyto

Výsledky

Analýzu drceného zrna na výskyt původců fuzarióz klasů jsme získali informaci o zastoupení jednotlivých druhů ve sklizňových vzorcích. V případě ječmene byla kontaminace *F. poae* téměř ve všech vzorcích, výskyt *F. avenaceum* a *F. graminearum* byl pozorován v 10 a 27 % vzorků. U pšenice byla situace podobná, nejvyšší zastoupení měl druh *F. poae*; *F. avenaceum* a *F. graminearum* bylo přítomno méně. V žádném ze vzorků nebylo přítomno *F. culmorum* (Obrázek 2).

Výsledky detekce *F. poae* na mladých asymptomatických rostlinách pšenice ukázaly přítomnost tohoto patogenu v 75 % vzorků ($n = 8$). Dosažené výsledky představují identifikaci dalšího možného zdroje infekce tímto patogenem. Získané informace mohou sloužit ke změně přístupu k omezení výskytu *F. poae* v porostech, a to včasnými zásahy již v době před kvetením.



Obr. 2: Podíl druhů *Fusarium* detekovaných ve vzorcích drceného zrna pšenice a ječmene ve sklizňovém roce 2023; ($n = 30$)

Diskuze

V období kvetení, ve kterém jsou obiloviny nejvíce náchylné k infekci patogeny *Fusarium*, panovalo v roce 2023 dlouhotrvající suché a teplé počasí. Tyto podmínky nejsou pro druh *F. graminearum* příznivé, proto i když byla přítomnost perithécií tohoto patogena na posklizňových zbytcích kukuřice v období kvetení obilovin jednoznačně potvrzena, k významné infekci klasů a k jejímu dalšímu plošnému rozvoji nedošlo. Na sklizeném zrně byl patogen *F. graminearum* zjištěn pouze u necelé třetiny vzorků pšenice a ječmene. *F. culmorum*, které dříve bylo v Evropě spolu s *F. graminearum* hlavním producentem DON a ZEA v obilovinách, zjištěno nebylo vůbec. Zcela převládajícím druhem, a to zejména u ječmene, bylo *F. poae*. Naše zjištění potvrzuje údaje známé z literatury, a totiž, že *F. poae* je hojně zejména tehdy, pokud klimatické podmínky nejsou příznivé pro rozvoj hlavních patogenů způsobujících klasová fuzária, zejména pro *F. graminearum*. Naše výsledky odpovídají trendu v regionu, kterým je zvyšování výskytu *F. poae* v porostech. Z toho vyplývá, že pozornost bude

třeba věnovat také i mykotoxinům produkovaným tímto patogenem, mezi které patří enniatiny, beauvericin a nivalenol.

Snahy o prevenci fuzarióz klasů zahrnují i novější integrované strategie využívající fungicidy, biologické ochranné látky a vývoj rezistentních odrůd (Morimura et al., 2020; Yu et al., 2021; Bonfada et al., 2019). Výzkum se také zaměřuje na pochopení molekulárních mechanismů, které jsou základem interakce mezi patogenem a hostitelskou rostlinou, a na vývoj nových fungicidů a látek biologické ochrany (Liu et al., 2022; Han et al., 2021).

Tab. 1: Výsledky detekce hub rodu *Fusarium* z mycelia získaného z perithécií na několika lokalitách v rámci Moravy; + pozitivní signál; - negativní reakce

Lokalita	<i>F. graminearum</i>	<i>F. culmorum</i>	<i>F. avenaceum</i>	<i>F. poae</i>
Břest	+	-	-	-
Horní Moštěnice	+	-	-	-
Strž	+	-	-	-
Senice na Hané	+	-	-	-
Jeseník	+	-	-	-
Nasobůrky	+	-	-	-
Kujavy	+	-	-	-



Obr. 3: Kontaminace sklizeného zrna roztoči z čeledi Siteroptidae nebo Pygmephoridae, kteří rovněž přenášejí infekci *Fusarium poae*

Napadení fuzárií a kontaminace obilovin mykotoxiny mohou být ovlivněny agronomickými a klimatickými faktory, a také používáním herbicidů a fungicidů, které mohou mít vliv na výskyt fuzárií a dalších půdních patogenů (Bernhoft et al., 2022).

Ve většině případů jsou testy rezistence omezeny na *F. graminearum* a *F. culmorum* a výsledky těchto testů nejsou reprezentativní pro celý komplex fuzarióz klasů. O konkrétní odolnosti vůči napadení *F. poae* a *F. avenaceum* (Mesterhazy et al. 2005) nebo o akumulaci toxinů těmito dvěma druhy v různých odrůdách pšenice je k dispozici jen málo zpráv (Brennan et al. 2007). Bylo by vhodné provést rozsáhlé populační studie druhu *F. poae* na našem území a vyhodnotit také jeho odolnost k fungicidním látkám, protože jeho zvýšený výskyt v posledních letech narůstá. Otázkou zůstávají i další kroky z hlediska rozšíření analýz o detekci specifických toxinů pro tento druh kvůli možné změně druhového spektra a faktorům ovlivňujícím produkci mykotoxinů, které jsou proměnlivé a nejsou plně objasněny.

Distribuci patogenů v klasech a porostech mohou ovlivnit i různé druhy roztočů, například *Sitotritus avenae*, který poškozuje porosty a umožňuje šíření fuzárií se značným dopadem na výslednou kvalitu a kvantitu sklizně (Luo et al., 2021). Bylo pozorováno, že čím déle jsou roztoči přítomni v porostech, tím se zvyšuje množství patogenu v zrnu, zvyšuje se fitness patogenu a celkově dochází k vyššímu poškození porostů (Drakulic et al. 2015). Tito roztoči jsou popsáni převážně s druhy *F. avenaceum* a *F. graminearum*, lze však předpokládat, že obdobné interakce mohou být i s dalšími druhy rodu *Fusarium*. Na několika analyzovaných vzorcích zrna v posledních letech jsme také pozorovali výskyt roztočů (Obrázek 3), kteří byli přenašeči *F. poae*.
/Recenzováno/

Poděkování

Výsledek vznikl za podpory Ministerstva zemědělství, institucionální podpora MZE-RO1123 a projektu QL24010008. Na zpracování a analýzách vzorků se podíleli Eva Švarcová, Ewa Mirzwa-Mróz a Stanislav Cupák.

Použitá literatura

Ameye, M., Audenaert, K., De Zutter, N., Steppe, K., Van Meulebroek, L., Vanhaecke, L., ... & Smaghe, G. (2015). Priming of wheat with the green leaf volatile Z-3-hexenyl acetate enhances defense against *Fusarium graminearum* but boosts deoxynivalenol production. *Plant physiology*, 167(4), 1671-1684.

Bernhoft, A., Wang, J., & Leifert, C. (2022). Effect of Organic and Conventional Cereal Production Methods on *Fusarium* Head Blight and Mycotoxin Contamination Levels. *Agronomy*, 12(4), 797.

Bonfada, É., Honnef, D., Friedrich, M., Boller, W., & Deuner, C. (2019). Performance of fungicides on the control of fusarium head blight (*Triticum aestivum* L.) and deoxynivalenol contamination in wheat grains. *Summa Phytopathologica*, 45(4), 374-380. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/191941>

Brennan, J. M., Leonard, G., Fagan, B., Cooke, B. M., Ritieni, A., Ferracane, R., ... & Doohan, F. M. (2007). Comparison of commercial European wheat cultivars to *Fusarium* infection of head and seedling tissue. *Plant Pathology*, 56(1), 55-64.

Drakulic, J., Caulfield, J., Woodcock, C., Jones, S. P., Linforth, R., Bruce, T. J., & Ray, R. V. (2015). Sharing a host plant (wheat [*Triticum aestivum*]) increases the fitness of *Fusarium graminearum* and the severity of fusarium head blight but reduces the fitness of grain aphids (*Sitobion avenae*). *Applied and Environmental Microbiology*, 81(10), 3492-3501.

Goliński, P., Kaczmarek, Z., Kiecana, I., Wiśniewska, H., Kaptur, P., Kostecki, M., ... & Chełkowski, J. (2002). *Fusarium* head blight of common Polish winter wheat cultivars – comparison of effects of *Fusarium avenaceum* and *Fusarium culmorum* on yield components. *Journal of Phytopathology*, 150(3), 135-141. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0434.2002.00723.x>

Han, S., Chen, J., Zhao, Y., Cai, H., & Guo, C. (2021). *Bacillus subtilis* HSY21 can reduce soybean root rot and inhibit the expression of genes related to the pathogenicity of *Fusarium oxysporum*. *Pesticide biochemistry and physiology*, 178, 104916.

Hofgaard, I. S., Aamot, H. U., Torp, T., Jestoi, M., Lattanzio, V. M., Klemsdal, S. S., ... & Brodal, G. (2016). Associations between *Fusarium* species and mycotoxins in oats and spring wheat from farmers' fields in Norway over a six-year period. *World Mycotoxin Journal*, 9(3), 365-378. <https://doi.org/10.3920/wmj2015.2003>

Inbaia, S., Farooqi, A., & Ray, R. V. (2023). Aggressiveness and mycotoxin profile of *Fusarium avenaceum* isolates causing *Fusarium* seedling blight and *Fusarium* head blight in UK malting barley. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1121553>

Islam, S. N., Naqvi, S. M. A., Raza, A., Jaiswal, A., Singh, A. K., Dixit, M., ... & Ahmad, A. (2022). Mycosynthesis of highly fluorescent selenium nanoparticles from *Fusarium oxysporum*, their antifungal activity against black fungus *Aspergillus niger*, and in-vivo biodistribution studies. *3 Biotech*, 12(11), 309.



Fuzárii silně napadená zrna bývají symptomatická podle bílého až narůžovělého zbarvení, tvarových deformací a degradace endospermu

- Jansen, C., Von Wettstein, D., Schäfer, W., Kogel, K. H., Felk, A., & Maier, F. J. (2005). Infection patterns in barley and wheat spikes inoculated with wild-type and trichodiene synthase gene disrupted *Fusarium graminearum*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(46), 16892-16897.
- Kulik, T., Pszczółkowska, A., & Łojko, M. (2011). Multilocus phylogenetics show high intraspecific variability within *Fusarium avenaceum*. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(9), 5626-5640. <https://doi.org/10.3390/ijms12095626>
- Liu, Y., Ma, T., Dong, Y., Mao, C., Wu, J., & Zhang, C. (2022). Bioactivity of mefentrifluconazole against different *Fusarium* spp. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 186, 105169.
- Luo, K., Ouellet, T., Zhao, H., Wang, X., & Kang, Z. (2021). Wheat-*Fusarium graminearum* interactions under *Sitobion avenae* influence: from nutrients and hormone signals. *Frontiers in Nutrition*, 8, 703293.
- Mesterhazy, A., Bartók, T., Kászonyi, G., Varga, M., Tóth, B., & Varga, J. (2005). Common resistance to different *Fusarium* spp. causing *Fusarium* head blight in wheat. *European Journal of Plant Pathology*, 112, 267-281.
- Miedaner, T., Cumagun, C. J. R., & Chakraborty, S. (2008). Population genetics of three important head blight pathogens *Fusarium graminearum*, *F. pseudograminearum* and *F. culmorum*. *Journal of Phytopathology*, 156(3), 129-139. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2007.01394.x>
- Morimura, H., Ito, M., Yoshida, S., Koitabashi, M., Tsushima, S., Camagna, M., ... & Sato, I. (2020). In vitro assessment of biocontrol effects on fusarium head blight and deoxynivalenol (DON) accumulation by DON-degrading bacteria. *Toxins*, 12(6), 399. <https://doi.org/10.3390/toxins12060399>
- Parry, D. W., & Nicholson, P. (1996). Development of a PCR assay to detect *Fusarium poae* in wheat. *Plant pathology*, 45(2), 383-391.
- Polišenská, I., Jirsa, O., & Matušinský, P. (2012). Mykotoxikologická kvalita ječmene sklizeného v ČR v letech 2005-2010. *Kvasný Průmysl*, 58(4), 109-114.
- Sarowar, S., Alam, S., Makandar, R., Lee, H., Trick, H., Dong, Y., ... & Shah, J. (2019). Targeting the pattern-triggered immunity pathway to enhance resistance to *Fusarium graminearum*. *Molecular Plant Pathology*, 20(5), 626-640. <https://doi.org/10.1111/mpp.12781>
- Sturz, A. V., & Johnston, H. W. (1983). Early colonization of the ears of wheat and barley by *Fusarium poae*. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 5(2), 107-110.
- Tan, J., Ameye, M., Landschoot, S., De Zutter, N., De Saeger, S., De Boevre, M., ... & Audenaert, K. (2020). At the scene of the crime: New insights into the role of weakly pathogenic members of the *Fusarium* head blight disease complex. *Molecular Plant Pathology*, 21(12), 1559-1572.
- Tini, F., Covarelli, L., Cowger, C., Sulyok, M., Benincasa, P., & Beccari, G. (2022). Infection timing affects *Fusarium poae* colonization of bread wheat spikes and mycotoxin accumulation in the grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(14), 6358-6372.
- Trail, F. (2009). For blighted waves of grain: *Fusarium graminearum* in the postgenomics era. *Plant physiology*, 149(1), 103-110.
- Tvarůžek, L., Hambálková, M., Matušinský, P., Blažková, K., Bleša, D., Lecianová, E. (2021). Predikce výskytu klasových fuzárií na základě sledování tvorby infekčních struktur patogena na kukuřičných posklizňových zbytcích: (Prediction of *Fusarium* head blight occurrence based on the assessment of pathogen infection structures on maize) *Obilnářské listy*, 29, 2021, 4, 102-105. ISSN: 1212-138X
- Vaughan, M., Backhouse, D., & Ponte, E. D. (2016). Climate change impacts on the ecology of *Fusarium graminearum* species complex and susceptibility of wheat to *Fusarium* head blight: A review. *World Mycotoxin Journal*, 9(5), 685-700.
- Wang, Q., Song, R., Fan, S., Coleman, J. J., Xu, X., & Hu, X. (2023). Diversity of *Fusarium* community assembly shapes mycotoxin accumulation of diseased wheat heads. *Molecular Ecology*, 32(10), 2504-2518.
- Ward, T., Bielawski, J., Kistler, H., Sullivan, E., & O'Donnell, K. (2002). Ancestral polymorphism and adaptive evolution in the trichothecene mycotoxin gene cluster of phytopathogenic *Fusarium*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(14), 9278-9283. <https://doi.org/10.1073/pnas.142307199>
- Windels, C. (2000). Economic and social impacts of *Fusarium* head blight: Changing farms and rural communities in the northern great plains. *Phytopathology*, 90(1), 17-21. <https://doi.org/10.1094/phyto.2000.90.1.17>
- Yli-Mattila, T. (2010). Ecology and evolution of toxigenic *Fusarium* species in cereals in northern Europe and Asia. *Journal of Plant Pathology*, 7-18.
- Yu, C., Liu, X., Zhang, X., Zhang, M., Gu, Y., Ali, Q., ... & Gu, Q. (2021). Mycosubtilin produced by *Bacillus subtilis* ATCC6633 inhibits growth and mycotoxin biosynthesis of *Fusarium graminearum* and *Fusarium verticillioides*. *Toxins*, 13(11), 791. <https://doi.org/10.3390/toxins13110791>

FERTIPEN® S

Kapalné listové hnojivo s obsahem síry a borovicových terpenů

- ✓ BEZ APLIKAČNÍCH OMEZENÍ
- ✓ SMÁČIVÝ ÚČINEK A DLOUHÉ ULPÍVÁNÍ NA ROSTLINĚ
- ✓ ZLEPŠENÍ ZDRAVOTNÍHO STAVU



www.biocont-profi.cz



**NASKENUJTE
QR KÓD**
pro zobrazení
kontaktů