

# Na počasí založené modely pro předpovídání rizik napadení klasů rodem *Fusarium* u pšenice a ječmene: literární přehled

Podle práce:

(*Weather-based models for forecasting Fusarium head blight risks in wheat and barley: A review. Matengu, T.T., Bullock, P.R., Mkhabela, M.S., Zvomuya, F., Henriquez, M.A., Ojo, E.R. et al. (2024), Plant Pathology, 73, 492–505. dostupné na: <https://doi.org/10.1111/ppa.13839>*),  
zpracoval a přeložil: Ludvík Tvarůžek

**Souhrn:** Fuzáriové zaplísnění klasů (podle anglického překladu „Fusarium head blight“ - FHB) je jednou z nejničivějších chorob zemědělských plodin na světě, která významně snižuje výnos a kvalitu drobnozrnných obilnin, jako jsou pšenice a ječmen, pokud nastanou během kvetení příznivé povětrnostní podmínky k napadení. Mykotoxiny spojené s touto chorobou navíc významně ovlivňují globální bezpečnost potravin a krmiv. Kontrola fuzárií fungicidy aplikovanými v době kvetení snižuje vizuální příznaky napadení i související produkci mykotoxinů, čímž snižuje dopady spojené s chorobou. Pokud jsou však povětrnostní podmínky pro vznik napadení nepříznivé, může být aplikace fungicidů nákladná, pro životní prostředí až nežádoucí. Fungicidy by se proto měly používat střídavě, pouze pokud je patogen prokazatelně přítomen a povětrnostní podmínky jsou mu příznivé. V této recenzi je vybráno a podrobně popsáno několik modelů FHB založených na počasí.

**Klíčová slova:** ječmen, deoxynivalenol, *Fusarium* sp., modely založené na počasí, pšenice

**Abstract:** Fusarium head blight (FHB) is one of the most devastating crop diseases worldwide, significantly reducing the yield and quality of small-cereal crops such as wheat and barley when favourable weather conditions exist during anthesis. Additionally, FHB associated mycotoxins significantly impact global food and feed safety. Controlling FHB with fungicides applied near anthesis reduces visual FHB symptoms and associated mycotoxin production, thereby lowering disease-related costs. However, when weather conditions are unfavourable for FHB occurrence, fungicide application can be costly and environmentally undesirable. Thus, fungicides should be used sparingly only when the pathogen is present and weather conditions are favourable. In this review, several weather based FHB models are selected and described in detail.

**Key Words:** barley, deoxynivalenol, *Fusarium* sp., weather-based models, wheat

## Úvod

Epidemie fuzárií v klasech se u obilnin často vyskytují, když se povětrnostní podmínky příznivé pro infekci druhu rodu *Fusarium*, převážně pak *Fusarium graminearum*, časově shodují s kvetením a počátkem nalévání zrna (De Wolf et al., 2003; McMullen et al., 2012). Četné studie a průzkumy prokázaly, že teplota a vlhkost (srážky a vlhkost vzduchu) jsou primárními determinanty vývoje FHB (Del Ponte et al., 2009; Hooker et al., 2002; Shah, De Wolf, et al., 2019). Pokud se FHB nekontroluje, dochází po napadení klasů k výraznému snížení výnosu v důsledku redukce kvetení, což snižuje počet vytvořených zrn (Bai & Shaner, 2004). Rovněž je ovlivněno již zmíněné nalévání zrna, což vede k vzniku zrn fuzáriem deformovaných (FDK), která jsou často lehká (Góral a kol., 2018). Tyto ztráty výnosů jsou rovněž zhoršovány produkcí mykotoxinů, jako je deoxynivalenol (DON), které jsou toxické pro lidi i hospodářská zvířata (Tamburic-Ilincic et al., 2015). Obiloviny kontaminované DON mohou být nevhodné k lidské spotřebě (pro výrobu produktů, jako je chléb, pivo) i jako krmivo pro hospodářská zvířata.

Vzhledem k vysokým ekonomickým dopadům způsobeným FHB jsou často používány preventivní aplikace fungicidů k ochraně kvetoucích porostů obilnin před napadením, aniž by však bylo prokázáno, zda v daném případě FHB způsobí významné škody (Nita, 2013). Při nízkém předpokládaném riziku může být nadměrné používání fungicidů škodlivé pro životní prostředí, i neefektivní z pohledu poměru nákladů k výnosům především u pšenice, kde je žádoucí efektivní využití vstupů, včetně fungicidů (Wallhead & Zhu, 2017). Tato nepřesnost ošetření fungicidy může být snížena v případě, že by bylo možné přesně předpovědět riziko epidemie. To by mohlo vést k udržitelnější a ekologičtější produkci pšenice a ječmene. Predikční modely mohou být vhodné pro případ FHB kvůli sporadickému projevu choroby, který není každoroční

záležitostí, závislosti na povětrnostních faktorech a relativně krátkému časovému okně pro sporulaci patogenů, šíření inokula a infekci hostitele (De Wolf a kol., 2003; Góral a kol., 2018).

Výzkumníci po celém světě vytvořili modely založené na počasí, které předpovídají pravděpodobnost přítomnosti a závažnost hladin toxinů FHB a DON, aby bylo možné především předpovědět marketingová rozhodnutí o kvalitě sklizené úrody po sezóně (Birr a kol., 2019; Del Ponte a kol., 2005; Rossi, Giosue, Patteri a Del Vecchio, 2003). Tyto modely jsou primárně založeny na meteorologických datech, jako je teplota, relativní vlhkost a srážky, které jsou někdy kombinovány s agronomickými proměnnými, jako jsou rostlinné zbytky na povrchu pozemků, zpracování půdy, střídání plodin a vlastnosti odrůdy. Některé z nich jsou specifické pro oblast, kde byly vyvinuty, přesto po úpravách některé z těchto modelů fungovaly dobře i na jiných místech a u jiných typů plodin (Giroux a kol., 2016; Schaafsma a Hooker, 2007).

Tato rešerše se zabývá různými modely hodnocení rizika epidemii FHB v reálném čase, a také jejich aplikací a přijetím v různých regionech/zemích. Cílem bylo zhodnotit řadu příkladů modelů rizika FHB a identifikování některých společných charakteristik a také mezer ve znalostech.

## Kontrola fuzárií

Houby rodu *Fusarium* infikují kromě obilovin i další plodiny a způsobují choroby, jako je hniloba kořenů u sóji, hrachu a fazolí, hniloba klasů u kukuřice nebo fuzáriové vadnutí řepky (Foroud et al., 2019; Gilbert & Fernando, 2004). V důsledku toho je střídání plodin jako řešení FHB náročným přístupem (Harris et al., 2016) a je třeba kombinovat více strategií k jeho zvládnutí (Bai & Shaner, 2004).

Zpracování půdy a střídání plodin s nehostitelskými plodinami jsou vhodné zemědělské činnosti, které snižují pravděpodobnost

epidemií FHB tím, že eliminují zbytky rostlin, které na povrchu půdy zůstávají po zimě a snižují zdroje inokula. (Spolti et al., 2014). I když je snížení hladiny inokula a epidemií chorob při vysoké úrovni obdělávání půdy významné, nestačí to k regulaci FHB (Gilbert & Fernando, 2004). Výběr odrůd s určitou rezistencí vůči FHB hraje také klíčovou roli. Bylo identifikováno několik typů rezistence vůči FHB, například typ I (rezistenci vůči počáteční infekci) a typ II (rezistenci vůči šíření patogenu po celém klasu; Góral et al., 2020; Ha et al., 2016). A konečně aplikace fungicidů během kvetení, které při dobrém načasování zákroku výrazně snižuje epidemie FHB (Yoshida et al., 2012). Účinnost chemické kontroly závisí na předpovědi nevhodnější doby pro aplikaci fungicidů, protože jejich účinnost je mnohem nižší, pokud se aplikují buď před, nebo po kvetení ve smyslu předčasně nebo opožděně ve vztahu k infekci (Bolanos-Carriel et al., 2020).

### Modely k předpovídání chorob

Předpovídání FHB v posledních letech získalo na popularitě s cílem maximalizovat účinnost fungicidů a zároveň minimalizovat náklady na tento segment ochrany (Musa et al., 2007). FHB je ideální pro předpovídání díky své závislosti na podmínkách prostředí a omezenému časovému období blízko fáze kvetení pro infekci hostitele (De Wolf et al., 2003; Rossi, Giosue, Pattori a Del Vecchio, 2003). Předpovídání onemocnění FHB, dny nebo týdny před infekcí nebo velkou epidemií, pomáhá producentům reagovat rychle a efektivně úpravou postupů hospodaření s plodinami tak, aby zahrnovaly aplikaci fungicidů (Shah et al., 2013). Předpovídání FHB přijalo různé strategie, včetně předpovídání rizika výskytu onemocnění na základě incidence a závažnosti FHB, předpovídání rizika FDK a předpovídání koncentrace DON ve sklizeném zrně.

Modely pro predikci FHB pocházejí z různých výzkumných organizací v mnoha různých zemích světa. Tyto skupiny provádějí svůj výzkum většinou lokálně a přístupy, které byly vyvinuty pro predikci rizika onemocnění u FHB, mají tendenci být regionální povahy. Proto byl v této recenzi zvolen přístup k prezentaci modelů založených na těchto geografických rozdílech v typech modelů, aby bylo umožněno komplexní pochopení strategií prognózy FHB.

### Výzkum predikčních modelů FHB ze Spojených států

První modely pro hodnocení rizika FHB u pšenice ve Spojených státech byly logistické regresní modely vyvinuté De Wolfem a kol. (2003). Závažnost choroby odpovídající indexu  $FHB \geq 10\%$  byla v těchto prognostických modelech považována za epidemii. Prognózy onemocnění používaly dvě časová období, buď 7 dní před 50 % kvetoucích klasů nebo 10 dní po 50% kvetení. Široké a úspěšné přijetí těchto modelů svědčí o jejich účinnosti při hodnocení rizika FHB v produkci pšenice. Je však důležité poznamenat, že věrohodnost modelů se může lišit v důsledku environmentálních a plodinových faktorů, které jsou pro regiony jedinečné. Nástroj poskytuje mapy rizik zobrazující pravděpodobnost závažného vypuknutí FHB ( $FHB \geq 10\%$ ) na základě meteorologických dat z více meteorologických stanic (McMullen et al., 2012). Uživatelé zadávají do programu data, jako je datum kvetení, forma plodiny (ozimá pšenice nebo jarní pšenice) a její odrůda (velmi náchylná, náchylná, středně náchylná nebo středně rezistentní), aby získali prognózu rizika FHB (McMullen a kol., 2012; Shah a kol., 2021).

Na tuto práci navázali v nedávné době Shah a kol. (2013, 2014), kteří se snažili pochopit roli meteorologických ukazatelů před a po kvetení při předpovědi rizika epidemie FHB. Použili velmi rozsáhlý soubor dat a rozsáhlý počet proměnných relativní

vlhkosti, teploty a srážek pro časová období od 15 dnů před květem do 15 dnů po odkvětu. Tyto modely přidaly kategorii rezistence pšenice (RESIT) jako ordinální proměnnou (I když známe pořadí, nevíme, o kolik je jedna hodnota „větší“ než druhá, což omezuje matematické operace pouze na medián, pořadové korelace a neparametrické testy, poznámka překladatele), kde 0, 1, 2 a 3 představovaly velmi citlivou, citlivou, středně citlivou a středně rezistentní (Shah et al., 2013). Pravděpodobnost výskytu indexu  $FHB \geq 10\%$  u náchylných, středně náchylných a středně rezistentních odrůd byla o 47 %, 73 % a 78 % nižší než pravděpodobnost velké epidemie FHB u velmi náchylné odrůdy.

Tyto modely byly založeny na myšlence, že předpovězení FHB by měla být provedena včas, aby poskytla doporučení pro aplikaci fungicidů během kvetení nebo nejpozději do 5 dnů po odkvětu, aby se choroba účinně regulovala a potlačila. Shah, De Wolf a kol. (2019) a Shah, Paul a kol. (2019) pak dále provedli funkční datovou analýzu celých časových řad počasí od 120 dnů před kvetením do 30 dnů po kvetení na 865 stanovištích a letech a porovnali epidemie FHB (index  $FHB \geq 10\%$ ) s lety bez ní (index  $FHB < 10\%$ ). Tyto dvě třídy byly porovnány, výsledky naznačily, že epidemické FHB a neepidemické roky mají výrazné rozdíly zejména v proměnných atmosférické vlhkosti, jako je relativní vlhkost, již 40 dní před kvetením (Shah, De Wolf a kol., 2019; Shah, Paul a kol., 2019). Dobrou teplotní proměnnou byl denní rozdíl mezi maximální a minimální pozorovanou hodinovou teplotou, jak dříve popsali Landschoot a kol. (2013) v Belgii. Zjištění naznačují, že dřívější detekce epidemií FHB je možná, ale musí být zachycena v prediktivních modelech, které využívají časové řady počasí.

### Výzkum predikčních modelů FHB z Kanady

Model, predikující koncentraci DON v pšeničném zrně, byl vyvinut Hookerem a kol. (2002) a sestával ze tří regresních rovnic. Model byl v průběhu let dále vylepšován do podoby predikčního nástroje s názvem DONcast (Schaafsma & Hooker, 2007). V modelu závisí hladina DON v zrně na třech kritických obdobích.



První kritické období je 4–7 dní před metáním, druhé kritické období je 7 dní před metáním až 10 dní po metání a třetí 7 až 10 dnů po metání. Srážky, vysoká vlhkost a vysoké teploty byly příznivé pro rozvoj choroby během všech tří období a koncentrace DON se pro tato tři období lišily nepatrně. Denní srážky > 5 mm zvýšily potenciální koncentraci DON v prvním kritickém období. Naproti tomu koncentrace DON klesla, když byla denní minimální teplota < 10 °C. Ve druhém kritickém období byly hladiny DON sníženy s průměrnou teplotou > 32 °C. V druhém i třetím kritickém období denní srážky > 3 mm a relativní vlhkost > 80 % zvýšily koncentraci DON v zrně, zatímco teplota < 10 °C koncentraci DON snížila (Schaafsma & Hooker, 2007).

Hookerův model byl dále rozvinut společností Weather Innovations (WIN) Consultancy LP do podoby prvního komerčně dostupného předpovědního systému DON na světě (tj. DONcast), který je dostupný v různých částech světa (Schaafsma a Hooker, 2007). Model DONcast zohledňuje širokou škálu agronomických faktorů, jako je náchylnost odrůd k chorobám a množství rostlinných zbytků na povrchu půdy. Získat přesné prognózy DON a doporučení pro ošetření fungicidy však bylo obtížné kvůli příliš zobecněným agronomickým faktorům a regionální variabilitě, což vedlo k nízkému stupni přijetí tohoto systému (Pitblado a kol., 2007). Model DONcast byl proto dále zpřesněn zahrnutím dalších meteorologických proměnných. (Na prověření modelu v podmínkách České republiky se podílel i kroměřížský výzkumný ústav ve spolupráci s firmou Bayer, poznámka překladatele).

### Výzkum predikčních modelů FHB z Itálie

Rossi a kol. (2002); Rossi, Giosue, Pattori a Del Vecchio (2003); Rossi, Giosue a Delogu (2003) vyvinuli v Itálii epidemiologický model, ve kterém byly pro predikci rizika FHB a DON použity meteorologické proměnné a informace o fázích růstu pšenice. Vývoj modelu byl založen na čtyřech problematických patogenech FHB v Itálii (*Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium avenaceum* a *Microdochium nivale*). Model se opírá o rovnice související s fázemi epidemiologického cyklu FHB u pšenice. V první rovnici bylo množství produkovaného inokula neboli rychlost sporulace (SPO) stanoveno pomocí čtyř rovnic (jedné pro každý druh houby) za kontrolovaných inkubačních podmínek (Rossi, Giosue, Pattori a Del Vecchio, 2003). Rychlost šíření spor (DIS) byla stanovena pomocí srážek, což je hlavní faktor ovlivňující rychlost šíření spor. Byly vyvinuty dvě regresní rovnice, jedna upravená pro deštivé dny (déšť > 0,2 mm) a druhá pro nedeštivé dny (déšť < 0,2 mm). Regresní rovnice zahrnovaly také intenzitu srážek, průměrnou denní teplotu a délku hodin s relativní vlhkostí > 80 % (Rossi et al., 2002).

### Výzkum predikčních modelů FHB z Brazílie

Zajímavý přístup je založen na využití hodnocení faktoru hostitelské rostliny (odrůdy), kdy je zjišťován počet klasů, které vmetaly ve stejný den. Analýza předpokládá, že každá taková skupina klasů má svou první část prašníků odkrytých a exponovaných možné infekci o 3 dny později. Empirické pravidlo bylo stanoveno jako riziko infekce, když byly prašníky přichyceny ke kláskům pšenice před opadem na zem (délka života prašníků). Pravidlo bylo stanoveno na základě empirických pozorování uvádějících prodloužení kvetení během série zatažených dnů, což naznačuje, že prašníky zůstaly přichycené déle. Pravidlo naznačovalo, že délka života prašníků je minimálně 2 dny a pokud je denní sluneční záření druhý nebo následující den < 10 MJ m<sup>-2</sup> den<sup>-1</sup>, prašík

zůstává přichycený o den déle, maximálně 5 dní. Podíl prašníků přítomných za 1 den (ANT) je tedy výsledkem součtu již viditelných a přichycených prašníků v každé skupině klasů odečtených od prašníků již opadlých v dané skupině (Del Ponte a kol., 2005).

### Závěry

Z modelů recenzovaných v této studii je zřejmé, že existuje jen omezený počet těch, které přímo předpovídají hladiny FDK a DON. Většina těchto modelů se navíc zaměřuje na jarní pšenici, přičemž jen několik z nich se zabývá ječmenem a tvrdou pšenicí.

Tento závěr ukazuje významnou mezeru ve výzkumu a zdůrazňuje potřebu vývoje komplexnějších a rozmanitějších modelů, které by dokázaly přesně předpovídat hladiny FDK a DON v různých druzích obilnin, včetně tvrdé pšenice a ječmene. Většina modelů vytváří přesnější předpovědi s využitím meteorologických parametrů pro období do 14 dnů před a po kvetení. Dlouhodobá přesnost modelů může být ovlivněna vlivy změny klimatu na vývoj druhů způsobujících FHB, což by mohlo vést k epidemickým situacím a povětrnostním vzorcům mimo ty, které jsou zachyceny v datech použitých k vývoji již vyzkoušených modelů.

Úspěšné zvládnutí FHB bude vyžadovat nejen vývoj modelů rizik FHB, ale také spolupráci s místními zemědělskými úřady, agronomy a také poradci, aby se producenti vzdělávali o této chorobě a o nejlepším využití integrovaných postupů řízení, včetně posouzení rizik, které tyto modely poskytují. Modely rizik vzniku epidemii by měly být integrovány do rozhodnutí o jejich zvládnutí s využitím mnohostranného přístupu. Webové nástroje a nástroje pro rozhodování založené na aplikacích pro chytré telefony umožňují široký přístup k informacím o rizicích.

Pouze malý počet zde zmíněných modelů, včetně modelů De Wolf, Shah a DONcast, však byl použit k vytvoření úspěšného komerčního nebo veřejného online nástroje pro hodnocení rizika infekce fuzárií. Predikce počtu dní FHB před kvetením je základním prvkem jakéhokoli modelu FHB, pokud má být použit jako nástroj pro producenty k rozhodování o postřiku fungicidy. Modely, které využívají povětrnostní podmínky po kvetení k vyhodnocení rizika FHB, neposkytnou včasné vyhodnocení, aby producenti mohli zasáhnout, i když mohou být stále užitečné pro předvídaní dopadů FHB na marketing obilí a potravinové systémy (De Wolf et al., 2003; Rossi, Giosue, Pattori a Del Vecchio, 2003).

Seznam literatury dostupný na:

<https://doi.org/10.1111/ppa.13839>

