

OBILNÁŘSKÉ LISTY 3–4/2024

Odborný časopis
pro zemědělskou veřejnost

XXXII. ročník

P.P.
981317-0109/2007
767 01 Kroměříž 1



Obsah č. 3–4/2024:

- Zavřelová, M., Antalová, Z., Bleša, D., Matušinsky, P.:** Využití mikroorganismů (nejen) v moderním zemědělství (s. 67–71)
- Kosová, K., Vítámvás, P., Holková, L., Smutná, P.:** Nové poznatky týkající se rezistence pšenice k viru zakrslosti pšenice (WDV) (s. 71–73)
- Jirsa, O., Polišenská, I., Tvarůžek, L., Jergl, Z.:** Soutěž technologií pěstování v Kroměříži 2024: Kvalita pšenice (s. 73–77)
- Kroftová, V.:** Životní jubileum Ing. Marie Váňové, CSc. (s. 78)
- Bleša, D., Matušinský, P., Leciánová, E., Tvarůžek, L.:** Produkce plodin v zaplavených oblastech: důsledky záplav na fyziologické, chemické a mikrobiální procesy na polích (s. 79–83)
- Bleša, D., Antalová, Z., Matušinský, P., Zavřelová, M.:** Cordycipitaceae – méně známé houby agrosystémů jako kandidáti pro biologickou ochranu (s. 83–88)
- Zavřelová, M.:** Charakterizace genotypů ječmene jarního s netypickým zabarvením obilky (s. 88–92)

Redakční rada:

Dr. Ing. Ludvík Tvarůžek, vedoucí redaktor,
Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž, s.r.o.

Mgr. Věra Kroftová,
Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž, s.r.o.

RNDr. Ivana Polišínská, Ph.D.,
Agrotest fyto, s.r.o.

Doc. Ing. Ivana Šafránková, Ph.D.,
Mendelova univerzita v Brně

Ing. Kateřina Vaculová, CSc.,
Agrotest fyto, s.r.o.

OBILNÁŘSKÉ LISTY – vydává:

Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž, s.r.o.,
Společnost zapsána v obchodním rejstříku
vedeném Krajským soudem v Brně, oddíl C, vložka 6094,

Vedoucí redaktor:

Dr. Ing. Ludvík Tvarůžek

Adresa:

Havlíčková ulice 2787,

PSČ 767 01 Kroměříž,

tel.: 573 317 141, –138, fax: 573 339 725,

e-mail: vukrom@vukrom.cz

náklad 5 000 výtisků,

grafická příprava: F.R.Z. agency s.r.o., Brno

tisk: NOVATISK, a.s., Blansko

MK ČR E 12099

ISSN 1212-138X

eISSN 1213-3981

Instrukce pro autory odborných článků předaných ke zveřejnění v časopise Obilnářské listy

Ke zveřejnění jsou přijímány původní vědecké a odborné práce, které nebyly publikovány v jiných periodikách. V recenzním řízení se odborní oponenti vyjádří, zda text odpovídá požadavkům na zveřejnění popřípadě zpracují připomínky, podle kterých by měl být rukopis před zveřejněním upraven.

Text musí být členěn do následujících částí:

- **Název práce** – musí výstižně informovat o zaměření práce.
- **Jméno/a autora/ů** – bez titulů a vědeckých hodností.
- **Souhrn (abstrakt)** v českém i anglickém jazyce – stručný text, který informuje o cílech, metodách a dosažených výsledcích práce.
- **Klíčová slova** – výrazy (jedno- i víceslovné) výstižně charakterizující obsah práce.
- **Úvod** – stručně vysvětluje, proč byla práce prováděna, a jaký má studovaná problematika význam. Citovanými publikacemi lze doložit stav současných poznatků, z nichž autoři vycházejí.
- **Materiál a metody** – jasně formulované a přesně popsané veškeré kroky, které vedly k provedení a dokončení práce včetně způsobu zpracování a vyhodnocení výsledků. Obsahuje také popis použitých metod, případně citace zdrojů, ve kterých je použitá metoda nebo metodika popsána. Je nutno dodržovat mezinárodně platné odborné termíny, vědecké názvy organismů, soustavy jednotek, a jejich platné české ekvivalenty.
- **Výsledky a diskuze** – analytické zhodnocení, čeho bylo při experimentech dosaženo. Výsledky musí být zpracovány přehledně a pokud možno vyjádřeny graficky nebo v tabulkách. Nelze zde uvádět výsledky získané postupem, který není popsán nebo citován v metodice.
- **Závěr** – stručně shrnuje nejdůležitější výsledky a poznatky.
- **Poděkování a dedikace** – poděkování za technickou spolupráci, poskytnutí dat apod., dedikace k řešenému projektu/projektům. Číslo projektů a názvy poskytovatelů je nutno psát ve tvaru, v jakém jsou zapsány v informačním systému VaV na stránkách <http://www.vyzkum.cz>.
- **Kontaktní adresa autora/ů** – Jméno autora (včetně e-mailové adresy), u kterého je možné získat další informace k tématu zveřejněného příspěvku.

(Inzerce v časopisu nepodléhá recenznímu řízení a vyjadřuje názory jejího zadavatele)

Využití mikroorganismů (nejen) v moderním zemědělství

(*The Use of Microorganisms (not only) in the Modern Agriculture*)

Marta Zavřelová¹, Zuzana Antalová¹, Dominik Bleša¹, Pavel Matušinský^{1,2}

¹ Agrotest fyto, s.r.o., Havlíčkova 2787/121, 767 01 Kroměříž

² Katedra botaniky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci

Souhrn: Klimatické změny prohlubují abiotické (např. vysoké teploty, sucho, mraz) a biotické stresy (např. napadení novými rasami chorob, škůdci), které ovlivňují vitalitu a produktivitu rostlin. Rostliny mají před živočichy nevýhodu v tom, že se před těmito vlivy nemohou skrýt, ale musí jim čelit přímo. Zemědělské plodiny se zemědělci snaží ochránit alespoň před biotickými vlivy chemickými přípravky na ochranu rostlin. Nicméně při současném tlaku na ekologizaci zemědělství se hledají cesty, jak snížit chemické vstupy za udržení výnosů plodin. Aplikace endofytických mikroorganismů by mohla být jednou z cest, jak pomoci rostlinám čelit těmto negativním vlivům prostředí. Tento příspěvek popisuje některé druhy endofytů a na základě již provedeného výzkumu shrnuje jejich účinky v rostlinách, které jsou prakticky využitelné v zemědělství.

Klíčová slova: endofyty, biostimulanty, houby, bakterie, viry

Abstract: Climate change is exacerbating abiotic (e.g., high temperatures, drought, frost) and biotic stresses (e.g., attacks by new disease strains, pests), which affect the vitality and productivity of plants. Unlike animals, plants are at a disadvantage as they cannot hide from these influences and must face them directly. Farmers attempt to protect agricultural crops from biotic factors with chemical plant protection products. However, with the current emphasis on making agriculture more environmentally friendly, ways are being sought to reduce chemical inputs while maintaining crop yields. The application of endophytic microorganisms could be one way to help plants cope with these negative influences of the environment. This paper describes some types of endophytes and, based on existing research, summarizes their effects on plants that are practically applicable in agriculture.

Key Words: endophytes, biostimulants, fungi, bacteria, viruses

Úvod

V životním prostředí se vyskytuje velké množství mikroorganismů, které jsou značně rozšířené a mají schopnost vytvářet významné interakce s rostlinami. Tyto mikroorganismy můžeme rozlišit na základě místa jejich interakce (obr. 1) na: fylosférické (mikroorganismy kolonizující nadzemní rostlinná pletiva) a rhizosférické (kolonizující podzemní pletiva rostlin). Mikrobiální druhy, které se vyskytují na povrchu rostliny, jsou epifyty a druhy, které se vyskytují uvnitř rostlinných tkání, jsou označovány jako endofyty.

Endofyty byly izolovány z různých rostlinných druhů a vyskytují se v mezibuněčných prostorech různých pletiv, aniž by způsobovaly poškození hostitelských rostlin (Kandel et al., 2017). Díky této své lokalizaci jsou chráněny před stresovými faktory vnějšího prostředí, jsou vystaveny menší konkurenci od jiných mikroorganismů a mají lepší přístup k živinám. Rostlině pak poskytují benefity např. ve formě svých metabolitů, které jí pomáhají v růstu, nebo ve formě stimulace obranných mechanismů rostliny, které jí pomáhají lépe se vyrovnat se stresovými podmínkami (obr. 2).

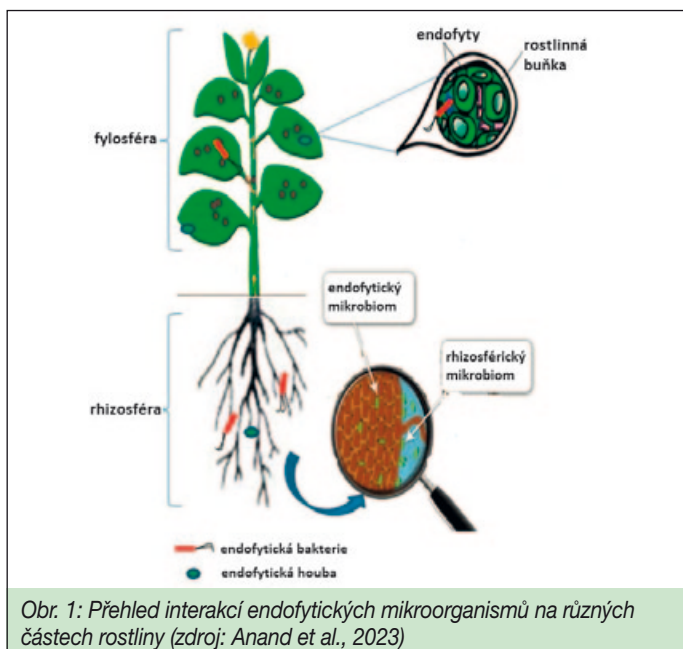
V současné době se těmto mikroorganismům věnuje obrovská pozornost, protože jsou potenciálními producenty různých sekundárních metabolitů s možným využitím nejen v zemědělství, ale i v lékařství či farmaceutickém průmyslu. Vzhledem ke změně klimatu, která představuje velkou hrozbu pro globální potravinnou bezpečnost, je pochopení endofytických interakcí v rostlinách zásadní pro jejich možné další využití. Změna klimatu se projevuje především jako celosvětový nárůst teploty, prodlužující se období sucha, rychlé změny meteorologických podmínek, intenzity srážek a jejich nerovnoměrné rozložení (Easterling et al., 2000). Všechny tyto odchylky posouvají fenologické fáze rostlin, způsobují snižování výnosů plodin a zvyšují šíření nových i běžných patogenů a škůdců. Cílená podpora interakcí mezi endofytickými organismy a rostlinami by mohla pomoci zemědělským plodinám lépe odolávat abiotickým a biotickým stresovým faktorům, což by mohlo vést ke stabilizaci produkce i v měnících se klimatických podmínkách.

Zemědělské systémy přispívají ke změně klimatu stejně jako jiné lidské činnosti vyžadující energetické vstupy. V publikaci Lynch et al. (2021) autoři uvádějí, že zemědělské činnosti odpovídají za zhruba polovinu až tři čtvrtiny všech antropogenních emisí metanu a oxidu dusného. Metan je uvolňován hlavně prostřednictvím živočišné produkce a pěstováním rýže (Saunio et al., 2020). Oxid dusný pak především používáním dusíkatých hnojiv. Výzkumy také ukázaly, že nepřetržité používání hnojiv a pesticidů získaných chemickou syntézou snižuje biologickou rozmanitost půdy a poškozuje přirozené predátory hmyzu (McLaughlin and Mineau, 1995; Alavaisha et al., 2019). Z tohoto pohledu by aplikace endofytických organismů produkujících metabolity, které inhibují šíření a rozvoj rostlinných patogenů, mohla pomoci snížit aplikaci chemických látek na ochranu rostlin. Zajímavé je rovněž zjištění, že domestikace rostlin a v poslední době vývoj vysokoprodukčních odrůd obecně způsobily snížení schopnosti rostlin využívat symbiotických vztahů s užitečnými mikroorganismy (Porter a Sachs, 2020; Valente et al., 2020). Znalosti o endofytických organismech a o jejich interakcích s rostlinami mohou být tedy využity ve vývoji „odrodné nové generace“ tolerantních vůči stresu, ke snížení závislosti na chemických vstupech, ke zlepšení zdraví půdy, k podpoře udržitelnosti zemědělství a k udržení kvality životního prostředí.

Druhy endofytických mikroorganismů

Mezi endofytické mikroorganismy patří bakterie, houby i viry (Stępniewska a Kuźniar, 2013). Endofyty mohou být klasifikovány jako pravé nebo přechodné endofyty v závislosti na jejich životním cyklu a typu vztahu, který vytvářejí s rostlinami. Pravé endofyty se vyvíjejí společně se svými hostiteli, vytvářejí vzájemně prospěšné vztahy a často se šíří v rostlinných pletivech vertikálně. Naproti tomu přechodné endofyty se mohou v závislosti na vnějších podmínkách prostředí chovat jako patogen nebo jako mutualistický symbiont (Wani et al., 2015).

Mezi **bakteriální endofyty** patří různé druhy rodu *Pseudomonas*. Např. bakterie *Pseudomonas fluorescens* zvyšuje odolnost rostlin k síťovité skvrnitosti ječmene (Khan et al., 2010), *Pseudomonas*



Obr. 1: Přehled interakcí endofytických mikroorganismů na různých částech rostliny (zdroj: Anand et al., 2023)

chlororaphis pak k pruhoovitosti ječmene a sněti kryté ječně (Johnsson et al., 1998). Mezi další hojně se vyskytující bakteriální endofyty patří rody *Bacillus* a *Rhizobium*. Některé druhy rodu *Bacillus* působí také např. proti houbám rodu *Fusarium*, které napadají klasy obilovin a produkují pro člověka nebezpečné mykotoxiny.

Houbové endofyty zahrnují široké spektrum hub napříč všemi fylogenetickými kategoriemi. Jak je vidět na obr. 3, diverzita houbových endofytů je obrovská. Jejich společnou vlastností je schopnost asymptomatické (bezpříznakové) kolonizace rostlinných pletiv. Mezi houbové endofyty lze také zařadit speciální interakce rostlin a hub zvané „mykorhizní symbiózy“, při kterých kromě biochemických změn dochází i k morfologickým modifikacím hostitelské rostliny. V rámci mykorhizních symbióz rozlišujeme dva základní typy: ektomykorhizní a endomykorhizní. Hyfy ektomykorhizních hub rostou částečně uvnitř kořenového mezibuněčného prostoru a částečně na povrchu kořenů a v půdě. Tyto houby žijí v symbióze se svými hostiteli a podílí se na přenosu přístupných forem živin přímo do kořenů rostlin. Endomykorhizní endofyty žijí uvnitř rostlinných buněk a jsou reprezentovány především arbuskulární mykorhizou, která představuje nejrozšířenější typ mykorhizní symbiózy, jejíž výskyt je předpokládán u 70-90 % rostlin (Prasad, 2020). Ovšem navázání úspěšné interakce závisí na mnoha faktorech, jako je kombinace genotypů rostliny a houby, vlastnosti půdy (pH, struktura, vlhkost), rychlost kolonizace a další (Sena et al., 2024). Při studiu houbového endofytu *Microdochium bolleyi* bylo zjištěno, že kolonizace rostlin pšenice endofytem začíná již od naklíčeného semene a následně se postupně šíří kořenovým systémem, prostupuje stéblem a vytváří chlamyospory pro přenos do další vegetační sezóny, avšak ani 90 dní po setí nedosáhla kolonizace až k čepelím listů (Matušinsky et al., 2024). Nicméně postup kolonizace napříč rostlinou se u jednotlivých endofytů liší. V některých případech, např. *Epichloë festucae*, se může endofyt šířit také kolonizací semen a jejich prostřednictvím pak přecházet i do další generace rostlin (von Cräutlein et al., 2021). Navíc různé zemědělské plodiny, ale i jednotlivé odrůdy jedné plodiny mohou na konkrétní endofytický organismus reagovat odlišně, a to např. z hlediska růstu rostlin a tvorby výnosu, jak bylo zjištěno u kukuřice (Ramírez-Flores et al., 2019) nebo z hlediska odolnosti vůči stresu u pšenice (Lehnert

et al., 2018). Na obr. 4 je zachycen houbový endofyt v kořenech pšenice ozimé.

Viry, speciálně baculoviry, byly známy jako alternativa k syntetickým insekticidům již v roce 1977 (Arif, 1977). Kolektiv autorů Galli et al. (2024) uvádí, že dnes jsou právě baculoviry používány k biologické ochraně proti motýlům, blanokřídlému (vosy) a dvoukřídlému (mouchy) hmyzu. Baculoviry jsou v rámci EU v současné době klasifikovány jako látky s nízkým rizikem pro člověka, zvířata a životní prostředí, pokud nejsou prokázány jejich negativní účinky na necílové organismy (Galli et al., 2024). Vybrané druhy virů se také používají k vysoce selektivní ochraně jablek před obalečem jablečným, nebo k ochraně rajčat před makadlovkou (Gonthier et al., 2023).

Účinky endofytů využitelné v zemědělství

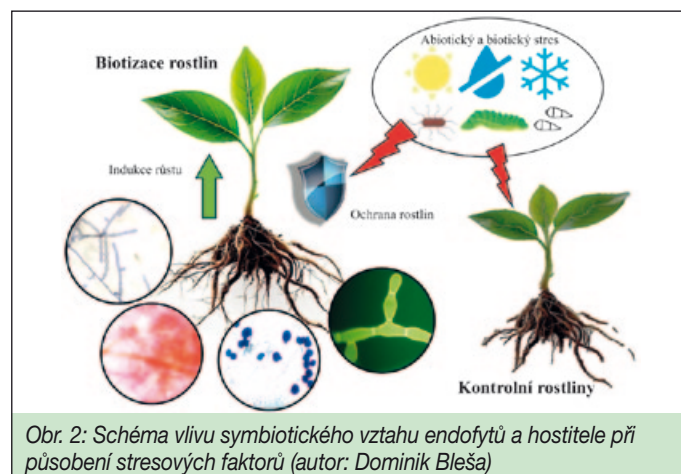
Endofyty jsou někdy označovány jako mikrobiální rostlinné biostimulanty. Obecně se rostlinným stimulantem rozumí jakákoli látka nebo mikroorganismus aplikovaný na rostliny s cílem zvýšit výživovou účinnost, odolnost vůči abiotickému stresu a zlepšit kvalitativní vlastnosti plodin (Galli et al., 2024). V oblasti zemědělství dochází k významným interakcím mezi rostlinou a endofytem, které pozitivně ovlivňují vitalitu, růst a odolnost rostlin vůči různým druhům biotických a abiotických stresů. Hostitelskou rostlinu endofyty ovlivňují prostřednictvím různých mechanismů, které mohou být klasifikovány jako přímé a nepřímé (Asad et al., 2023). Přímý mechanismus zahrnuje rozpustnost živin, fixaci dusíku a produkci růstových

regulátorů. Nepřímé mechanismy zahrnují indukovanou systémovou rezistenci vzniklou aktivací obranné reakce v rostlinách, potlačení patogenů produkcí antimikrobiálních sloučenin a zlepšenou odolnost vůči stresu (Kaur et al., 2024).

Účinnost biostimulantů může být ovlivněna různými faktory jako je typ biostimulantu, cílový druh plodiny, podmínky životního prostředí a použitá metoda aplikace. Proto je další výzkum v této oblasti žádoucí a v souvislosti s aktuálním tlakem na snížení objemu přípravků na ochranu rostlin by měly být biostimulanty, včetně endofytických mikroorganismů, zařazeny mezi strategie v rámci integrované ochrany rostlin. V České republice je problematika endofytických mikroorganismů mimo jiné řešena v rámci výzkumného projektu Ministerstva zemědělství České republiky s názvem „Endofytické mikroorganismy pro ekologizaci moderního zemědělství (č. projektu QL24010008).

Ovlivnění růstu rostlin

Na růst a vývoj rostlin mají významný vliv půdní mikroorganismy obývající rhizosféru. Rhizosféra je oblast půdy, která obklopuje kořeny rostlin, a ve které dochází ke komplexním interakcím mezi



Obr. 2: Schéma vlivu symbiotického vztahu endofytů a hostitele při působení stresových faktorů (autor: Dominik Bleša)

rostlinnými kořeny, půdou a mikroorganismy. Kolonizace endofytem pomáhá hostitelským rostlinám při vstřebávání a využití živin a zlepšuje také jejich celkovou dostupnost. V posledních letech byly objeveny mnohé endofytické mikroorganismy (*Penicillium*, *Aspergillus*, *Serendipita*, *Curvularia*), které pomáhají hostitelským rostlinám zvýšit příjem fosforečnanů, a to např. díky vyšší efektivitě přenašečů, mineralizací organických molekul



Obr. 3: Diverzita houbových endofytů izolovaných z kořene ozimé pšenice (autor: Dominik Bleša)

v půdě a solubilizací nerozpustných živin (Devi et al., 2023). Navíc některé endofytické houby produkují rostlinné hormony, včetně auxinu, kyseliny abscisové a gibberelinů, které regulují růst rostlin a kořenů (Aleahmad & Ebrahimi, 2023).

Podpora rostlin v průběhu abiotického stresu

Rostliny jsou neustále vystaveny nějaké formě environmentálního stresu, kam patří i abiotický stres, tedy faktory jako vysoká a nízká teplota, sucho, zasolení půdy, teplotní výkyvy, expozice těžkým kovům, nedostatek živin nebo oxidační stres. Změna klimatu přispívá k častějšímu výskytu těchto stresorů, které na rostliny často působí společně. Přítomnost endofytů v rostlině má za následek minimálně dva efekty podílející se na odolnosti rostlin vůči abiotickému stresu (Bueno & Lopes, 2020). Prvním je stimulace stresové odpovědných mechanismů rostliny okamžitě po detekci stresu, což pomáhá rostlinám předcházet nebo zmírňovat účinky stresu. Druhým efektem je, že endofyty produkují metabolity, které pomáhají rostlinám lépe odolávat stresu. Endofyty produkují např. fytohormony a antioxidanty, které brání nadbytečnému příjmu solí z půdy do rostliny a stabilizují homeostázi iontů (Baltruschat et al., 2008; Lubna et al., 2022). To vede ke zvýšení množství a délky kořenů, ke zvýšení intenzity fotosyntézy a vyššímu obsahu chlorofylu, dále také k produkci organických kyselin, akumulaci osmolytů apod. Následně dochází ke zvýšení množství biomasy nadzemních částí v porovnání s rostlinami bez endofytických mikroorganismů (Zhou et al., 2021). Výzkum kolektivu autorů Macabuhay et al. (2022) prokázal, že inokulace rostlin huseničku rolního (*Arabidopsis thaliana*) endofytem *Paraburkholderia phytofirmans* podporoval růst rostlin zvýšením vývoje kořenového systému i za vysokých teplotních podmínek, což umožnilo rostlinám přístup k většímu objemu půdy, a tím lépe zvládat abiotické stresy jako teplo a sucho. Endofyty také umožňují rostlinám růst na půdách znečištěných přítomností těžkých kovů. V první řadě zabraňují příjmu těžkých kovů samotnými rostlinami. Endofytická houba *Mucor sp.* odstraňuje z půdy těžké kovy tím, že je ukládá do svých hyf (Zahoor et al., 2017). Tím zabraňuje příjmu těchto kovů hostitelskými rostlinami a má tedy potenciální využití ve fytoremediaci. Jedinečnost endofytických mikroorganismů tkví také v jejich schopnosti ovlivňovat více než jednu vlastnost hostitelských rostlin. Jedním z příkladů je houba *Serendipita indica*, která ovlivňuje toleranci rostlin vůči zasolení půdy, suchu, vysokým teplotám, chladu a těžkým kovům (Baltruschat et al., 2008; Sun et al., 2010; Mohd et al., 2017). Tuto endofytickou houbu izoloval tým autorů Verma et al. (1998) z kořenů xerotolerantních rostlin rostoucích v Tháské poušti v Indii.

Podpora rostlin v ochraně proti biotickým vlivům

Biotický stres nastává ve chvíli, kdy je rostlina poškozována fytopatogeny (houby, bakterie, viry), hmyzem, ale také herbivory. Doposud standardním postupem v ochraně proti rostlinným patogenům je použití chemikálií. Nicméně ty jsou ve většině případů zdraví škodlivé, mohou narušovat ekosystémy a stále častěji se potýkáme s problémem vzniku rezistencí fytopatogenů proti nim. Poznatky získané studiem endofytických interakcí mohou přispět k rozvoji biologických metod redukce výskytu biotických stresových faktorů, což snižuje závislost na chemických vstupech. Biologická ochrana zahrnuje použití buď užitečných organismů nebo látek, které tyto organismy produkují, jako jsou enzymy, fytohormony a sekundární metabolity, pro zmírnění negativních účinků způsobených patogeny a pro stimulaci příznivé reakce v rostlině (Narayanan et al., 2022).

Metabolity produkované houbou *Trichoderma harzianum* prokázaly silnou antibakteriální aktivitu vůči hnědé hnilobě bramboru způsobované bakterií *Ralstonia solanacearum* (Yan and Khan, 2021). Endofytické aktinomyce *Streptomyces spp.* působí jednak proti bakteriálním patogenům, které způsobují macerace pletiv u brambor (Padilla-Gálvez et al., 2021), nebo proti fuzariózám klasu u pšenice tím, že blokuje šíření patogenu v místě infekce (Colombo et al., 2019). Dále např. bakterie *Micromonospora* prokázala účinky proti plísní šedé u rajčat, způsobené houbovým patogenem *Botrytis cinerea* (Martí nez-Hidalgo et al., 2015).

Pomoc endofytických organismů při ochraně rostlin před hmyzem a herbivory spočívá především v tvorbě alkaloidů, které mají účinky jak na hmyz, tak na živočichy. Např. houba *Neothypodium gansuense* produkuje alkaloidy, které zvyšují úmrtnost mšic a způsobují intoxikózu zvířat, která spásají trávy s přítomným endofytem (Zhang et al., 2011). Endofyt *Epichloë* produkuje alkaloid peramin, který působí proti různým druhům hmyzu. Díky tomu, že je rozpustný ve vodě, je rozptýlen v celé rostlině (Panaccione et al., 2014). Bakterie *Bacillus thuringiensis* se často používá na zemědělských plochách i ve sklenicích pro ochranu rostlin před larvami motýlů v rámci speciálního systému ochrany, kdy je hmyz přitahován atraktivní látkou. Po pozření toxinu, který *B. thuringiensis* vytváří, dochází k jeho úhynu (Galli et al., 2024).

Účinky a využití endofytů v jiných odvětvích

Endofytické účinky mikroorganismů a znalost jejich interakcí mají interdisciplinární význam. Kromě zemědělství mohou být využity v biotechnologiích, bioenergetice, fytoremediaci, lékařství nebo farmaceutickém průmyslu (Kaur et al., 2024). Endofyty z léčivých rostlin mohou napodobovat bioaktivní látku produkovanou hostitelskou rostlinou nebo mohou hrát důležitou roli při produkci této sloučeniny (Srivastava et al., 2024).



Obr. 4: Endofyt rodu *Tulasnella* tvořící chlamydospory v kořenech ozimé pšenice (úsečka představuje 50 µm, autor: Dominik Bleša)

V souvislosti se stále rostoucí rezistencí patogenů k antibiotikům představují infekční onemocnění významný celosvětový problém. V tomto ohledu se sekundární metabolity odvozené z endofytických mikroorganismů jeví jako slibné zdroje pro nalezení nových antimikrobiálních látek. Ve studii kolektivu autorů Srivastava et al. (2024) inhibovaly některé endofytické bakterie, izolované z česneku (*Allium sativum* L.), jeden nebo více lidských patogenů, jako *Escherichia coli* (způsobuje průjemy), *Enterococcus faecalis* (způsobuje záněty močových cest, gynekologické záněty), *Bacillus cereus* (způsobuje lokální i systémové infekce), *Staphylococcus aureus* (zlatý stafylokok, způsobuje různé druhy infekcí), *Pseudomonas aeruginosa* (zánět močových cest či středního ucha), *Enterobacter* (pneumonie, močové infekce), *Salmonella typhi* (břišní tyfus). Kolektiv autorů Peng et al. (2019) zjistil, že sloučeniny produkované endofytickou houbou *Chaetomium* sp. prokázaly silnou aktivitu proti *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecium* (enterokoky způsobující záněty močových cest, nitrobršni i gynekologické záněty).

Závěr

Endofytické organismy a jejich působení v rostlinách je stále málo prozkoumanou oblastí, která si zaslouží pozornost výzkumu, protože by mohla být jednou z cest, jak snížit spotřebu chemických přípravků na ochranu rostlin a přitom pomoci zemědělským plodinám čelit nehostinnému okolnímu prostředí a napadení patogeny. Dosavadní výzkum dokládá význam kolonizace endofytickými mikroorganismy v ochraně rostlin proti biotickým a abiotickým stresům. Nicméně konkrétní mechanismy interakce mezi endofyty a rostlinnými buňkami, které nakonec vedou k vyšší odolnosti rostlin, jsou stále málo prozkoumané. Tato interakce také ovlivňuje, zda hostitelská rostlina vnímá daný mikroorganismus jako patogen či „přítele“. Musí být také prozkoumáno, zda prospěšný vztah konkrétního endofytu bude moci být navázán jen s konkrétní zemědělskou plodinou, nebo bude moc kolonizovat široké spektrum plodin, popř. do jaké míry bude ovlivňovat výnos plodin při jeho velkoplošném použití.

/Recenzováno/

Poděkování

Výsledek vznikl za podpory Ministerstva zemědělství ČR – výzkumný projekt č. QL24010008.

Kontakt

zavrelova@vukrom.cz

Literatura

- Alavaisha, E., Manzoni, S., Lindborg, R. (2019). Different agricultural practices affect soil carbon, nitrogen and phosphorous in Kilombero – Tanzania. *J. Environ. Manage.*, 234, 159–166.
- Aleahmad, P., Ebrahimi, L. (2023). The possible Application of Endophytic Fungi. *Res. J. Pharmacogn.*, 10(4), 81–94.
- Arif, B.M. (1977). Baculoviruses for Insect Pest Control: Safety Considerations. *Bull. Entomol. Soc. Am.*, 23(2), 148–149.
- Asad, S., Priyashantha, A.K.H., Tibpromma, S., Luo, Y., Zhang, J., Fan, Z., Zhao, L., Shen, K., Niu, C., Lu, L. (2023). Coffee-Associated Endophytes: Plant Growth Promotion and Crop Protection. *Biology*, 12(7), 911.
- Baltruschat, H., Fodor, J., Harrach, B.D., Niemczyk, E., Barna, B., Gullner, G., Janeczko, A., Kogel, K.H., Schäfer, P., Schwarczinger, I., et al. (2008). Salt tolerance of barley induced by the root endophyte *Piriformospora indica* is associated with a strong increase in antioxidants. *New Phytol.*, 180(2), 501–510.
- Bueno, P.C.P., Lopes, N.P. (2020). Metabolomics to Characterize Adaptive and Signaling Responses in Legume Crops under Abiotic Stresses. *ACS Omega*, 5(4), 1752–1763.
- Colombo, E.M., Kunova, A., Pizzatti, C., Saracchi, M., Cortesi, P., Pasquali, M. (2019). Selection of an Endophytic *Streptomyces* sp. Strain DEF09 From Wheat Roots as a Biocontrol Agent Against *Fusarium graminearum*. *Front. Microbiol.*, 10, 2356.
- Devi, R., Verma, R., Dhalaria, R., Kumar, A., Kumar, D., Puri, S., Thakur, M., Chauhan, S., Chauhan, P.P., Nepovimova, E., et al. (2023). A systematic review on endophytic fungi and its role in the commercial applications. *Planta*, 257(4), 70.
- Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl, T.R., Mearns, L.O. (2000). Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, 289(5487), 2068–2074.
- Khan, M.R., Brien, E.O., Carney, B.F., Doohan, F.M. (2010). A fluorescent pseudomonad shows potential for the control of net blotch disease of barley. *Biol Control.*, 54(1), 41–45.
- Lehnert, H., Serfling, A., Friedt, W., Ordon, F. (2018). Genome-Wide Association Studies Reveal Genomic Regions Associated With the Response of Wheat (*Triticum aestivum* L.) to Mycorrhizae Under Drought Stress Conditions. *Front. Plant Sci.*, 9, 1728.
- Lubna, Khan, M.A., Asaf, S., Jan, R., Waqas, M., Kim, K.M., Lee, I.J. (2022). Endophytic fungus *Bipolaris* sp. CSL-1 induces salt tolerance in Glycine max. L via modulating its endogenous hormones, antioxidative system and gene expression. *J. Plant Interact.*, 17(1), 319–332.
- Lynch, J., Cain, M., Frame, D., Pierrehumbert, R. (2021). Agriculture's Contribution to Climate Change and Role in Mitigation Is Distinct From Predominantly Fossil CO₂-Emitting Sectors. *Front. Sustain. Food Syst.*, 4, 518039.
- Macabuhay, A., Arsova, B., Watt, M., Nagel, K.A., Lenz, H., Putz, A., Adels, S., Müller-Linow M., Kelm, J., Johnson, A.A.T., et al. (2022). Plant Growth Promotion and Heat Stress Amelioration in Arabidopsis Inoculated with *Paraburkholderia phytofirmans* PsJN Rhizobacteria Quantified with the GrowScreen–Agar II Phenotyping Platform. *Plants*, 11(21), 2927.
- Martinez-Hidalgo, P., Garcia, J.M., Pozo, M.J. (2015). Induced systemic resistance against *Botrytis cinerea* by *Micromonospora* strains isolated from root nodules. *Front. Microbiol.*, 6, 922.
- Matušinsky, P., Florová, V., Sedláková, B., Mlčoch, P., Bleša, D. (2024). Colonization dynamic and distribution of the endophytic fungus *Microdochium bolleyi* in plants measured by qPCR. *PLoS ONE*, 19(1), e0297633.
- McLaughlin, A., Mineau, P. (1995). The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 55(3), 201–212.
- Mohd, S., Shukla, J., Kushwaha, A.S., Mandrah, K., Shankar, J., Arjaria, N., Saxena, P.N., Narayan, R., Roy, S.K., Kumar, M. (2017). Endophytic Fungi *Piriformospora indica* Mediated Protection of Host from Arsenic Toxicity. *Front. Microbiol.*, 8, 754.
- Narayanan, M.M., Ahmad, N., Shivanand, P., Metali, F. (2022). The Role of Endophytes in Combating Fungal- and Bacterial-Induced Stress in Plants. *Molecules*, 27(149), 6549.
- Padilla-Gálvez, N., Luengo-Urbe, P., Mancilla, S., Maurin, A., Torres, C., Ruiz, P., France, A., Acuna, I., Urrutia, H. (2021). Antagonistic activity of endophytic actinobacteria from native potatoes (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum* L.) against *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* and *Pectobacterium atrosepticum*. *BMC Microbiol.* 21, 335.
- Panaccione, D.G., Beaulieu, W.T., Cook, D. (2014). Bioactive alkaloids in vertically transmitted fungal endophytes. *Funct. Ecol.*, 28, 299–314.

- Peng, F., Hou, S.Y., Zhang, T.Y., Wu, Y.Y., Zhang, M.Y., Yan, X.M., Xia, M.Y., Zhang, Y.Z. (2019). Cytotoxic and antimicrobial indole alkaloids from an endophytic fungus *Chaetomium* sp. SYP-F7950 of *Panax notoginseng*. *RSC Adv.*, 9(49), 28754–28763.
- Porter, S.S., Sachs, J.L. (2020). Agriculture and the Disruption of Plant-Microbial Symbiosis. *Trends Ecol. Evol.*, 35(5), 426–439.
- Prasad, K. (2020). Positive Importance of Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Global Sustainable Agriculture and Environment Management for Green Technology. *Current Investig. Agric. Current Res.*, 9(2), 1182–1184.
- Ramírez-Flores, M.R., Bello-Bello, E., Rellán-Álvarez, R., Sawers, R.J.H., Olalde-Portugal, V. (2019). Inoculation with the mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* modulates the relationship between root growth and nutrient content in maize (*Zea mays* ssp. *mays* L.). *Plant Direct*, 3(12), e00192.
- Saunio, M., Stavert, A.R., Poulter, B., Bousquet, P., Canadell, J.G., Jackson, R.B., Raymond P.A.R., Dlugokencky, E.J., Houweling, S., Patra, P.K., et al. (2020). The Global Methane Budget 2000–2017. *Earth Syst. Sci. Data*, 12(3), 1561–1623.
- Sena, L., Mica, E., Valè, G., Vaccino, P., Pecchioni, N. (2024). Exploring the potential of endophyte-plant interactions for improving crop sustainable yields in a changing climate. *Front. Plant Sci.*, 15, 1349401.
- Srivastava, P., Tiwari, S.P., Srivastava, A.K., Sharma, R. (2024). Optimization of Sterilization Parameters for Isolation of Endophytes from *Allium sativum* and Exploring its Antibacterial Activity. *J. Pure Appl. Microbiol.*, 18(2), 961–979.
- Stępniewska, Z., Kuźniar, A. (2013). Endophytic microorganisms – promising applications in bioremediation of greenhouse gases. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 97(22), 9589–9596.
- Sun, C., Johnson, J.M., Cai, D., Sherameti, I., Oelmüller, R., Lou, B. (2010). *Piriformospora indica* confers drought tolerance in Chinese cabbage leaves by stimulating antioxidant enzymes, the expression of drought-related genes and the plastid-localized CAS protein. *J. Plant Physiol.*, 167(12), 1009–1017.
- Valente, J., Gerin, F., Le Gouis, J., Moëgne-Loccoz, Y., Prigent-Combaret, C. (2020). Ancient wheat varieties have a higher ability to interact with plant growthpromoting rhizobacteria. *Plant Cell Environ.*, 43(1), 246–260.
- Verma, S., Varma, A., Rexer, K.H., Hassel, A., Kost, G., Sarbhoy, A., Bisen, P., Bütehorn, B., Franken, P. (1998). *Piriformospora indica*, gen. et sp. nov., a new root-colonizing fungus. *Mycologia*, 90(5), 895–903.
- von Cräutlein, M., Helander, M., Korpelainen, H., Leinone, P.H., de Aldana, B.R.V., Young, C.A. (2021). Genetic Diversity of the Symbiotic Fungus *Epichloë festucae* in Naturally Occurring Host Grass Populations. *Front. Microbiol.*, 12, 756991.
- Wani, Z.A., Ashraf, N., Mohiuddin, T., Riyaz-UI-Hassan, S. (2015). Plant endophyte symbiosis, an ecological perspective. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 99(7), 2955–2965.
- Yan, L., Khan, R.A.A. (2021). Biological control of bacterial wilt in tomato through the metabolites produced by the biocontrol fungus, *Trichoderma harzianum*. *Egypt. J. Biol. Pest Control*, 31, 5.
- Zahoor, M., Irshad, M., Rahman, H. (2017). Alleviation of heavy metal toxicity and phytostimulation of *Brassica campestris* L. by endophytic *Mucor* sp. MHR-7. *Ecotoxicol. Environ. Safety*, 142, 139–149.
- Zhang, X.X., Li, C.J., Nan, Z.B., Matthew, C. (2011). *Neotyphodium* endophyte increases *Achnatherum inebrians* (drunken horse grass) resistance to herbivores and seed predators. *Weed Res.*, 52(1), 70–78.
- Zhou, X.R., Dai, L., Xu, G.F., Wang, H.S. (2021). A strain of *Phoma* species improves drought tolerance of *Pinus tabulaeformis*. *Sci. Rep.*, 11, 7637.

Nové poznatky týkající se rezistence pšenice k viru zakrslosti pšenice (WDV) (Novel findings in the study of wheat resistance to wheat dwarf virus (WDV))

Kosová Klára^{1*}, Vítámvás Pavel¹, Holková Ludmila², Smutná Pavlína²

¹Odbor genetiky a šlechtění rostlin, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha 6-Ruzyně;

²Agronomická fakulta, Mendelova univerzita, Brno

Souhrn: Virus zakrslosti pšenice (WDV) je původcem závažného virového onemocnění pšenice, ale i ječmene a dalších obilnin vedoucí k diskoloraci listů, zakrslosti rostlin a významnému snížení výnosu. Virus je přenášen křískem polním a vyskytuje se převážně v sušších a teplejších oblastech ČR. Hodnocení rezistence je klasicky prováděno na základě hodnocení vizuálních symptomů (diskolorace listů, výška rostlin) a stanovením titru viru pomocí ELISA anebo qPCR. Byly identifikovány odrůdy pšenice se zvýšenou rezistencí k WDV (př. Mv Dalma, Mv Vekni), avšak dosud nebyly identifikovány geny podmiňující rezistenci k WDV. Nové metody genetického mapování GWAS zahrnující široký rozsah genotypů a využívající znalost kompletní sekvence genomu pšenice vedly k publikování QTL, resp. kandidátních genů vhodných pro šlechtění na zvýšenou rezistenci k WDV s využitím tzv. markerově-asistované selekce (MAS).

Klíčová slova: WDV; rezistence; fenotypování; GWAS; QTL pro rezistenci

Abstract: Wheat dwarf virus (WDV) causes disease of wheat, barley and other cereals leading to reduced growth, leaf discoloration, and yield reduction. WDV is transmitted by leafhoppers and occurs predominantly in relatively warm and dry regions of Czechia. Resistance of infected wheat plants is evaluated by phenotyping visual symptoms including plant height and leaf discoloration and virus titre determination with ELISA and qPCR. Although some cultivars (Mv Dalma, Mv Vekni) reveal partial resistance to WDV infection no resistance genes were identified until now. However, employing new methods of genetic mapping such as genome-wide association studies (GWAS) together with publication of complete annotated wheat genome sequence led to an identification of promising QTLs and candidate genes, respectively, suitable for breeding new materials with enhanced WDV resistance utilizing marker-assisted selection (MAS).

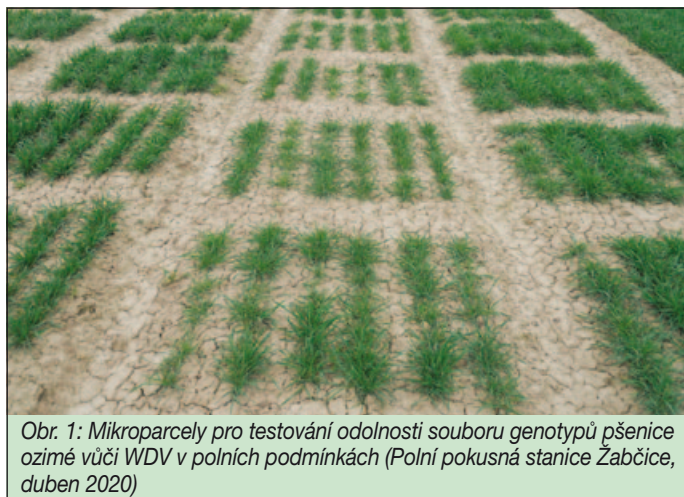
Key Words: WDV; resistance; phenotyping; GWAS; resistance QTL

Úvod

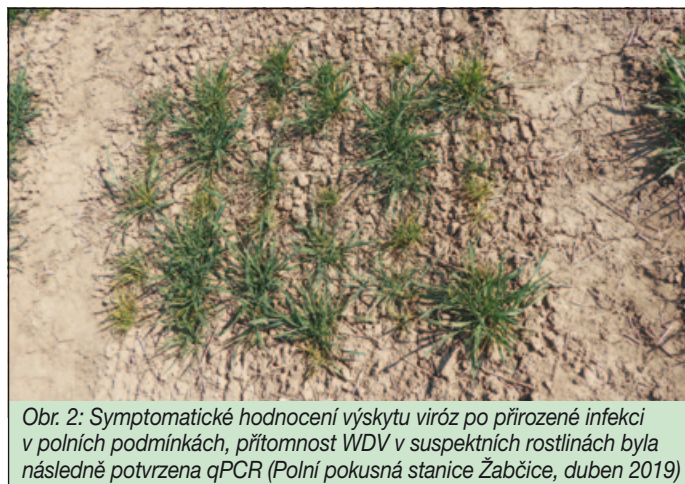
Virus zakrslosti pšenice (wheat dwarf virus; WDV) je jednovláknový cirkulární DNA virus (single-strand DNA) z čeledi Geminiviridae, rodu Mastrevirus, jehož viriony se vyznačují dvojčatovitou ikosaedrickou kapsidou (viz název čeledi Geminiviridae). Virus byl poprvé popsán dr. Vackem (1961) v Československu, ale vyskytuje se prakticky v celé Evropě, na Blízkém východě (Turecko, Sýrie), v severní Africe (Tunisko) i v Číně. Jeho výhradním přenašečem (vektorem) je křísek polní (*Psammotettix alienus*). Kromě pšenice seté (tzv. WDV-W forma) se WDV vyskytuje i u dalších obilnin včetně tritikale, ječmene (tzv. WDV-B forma), žita, ovsa a u trav (např. *Apera spica-venti*, *Avena fatua*, *A. sterilis*, *A. strigosa*, *Bromus secalinus*, *B. inermis*, *B. tectorum*, *Lagurus ovatus*, *Lolium multiflorum*, *L. perenne*, *Poa annua*), které tak představují rezervoár pro šíření WDV. Virus je rozšířen převážně v sušších a teplejších oblastech ČR, tj. východní Čechy, Haná, jižní Morava. Podrobný přehled o výskytu WDV na území ČR v letech 2005–2016 na základě hodnocení vzorků metodou ELISA podává certifikovaná metodika Chrpová et al. (2017).

Symptomy WDV: Mezi hlavní symptomy WDV patří zakrslost a zvýšené odnožování vytvářející trsnatý vzhled rostliny. Dalšími významnými symptomy jsou chloróza a žluté nebo červené diskolorace listů, nekrotické skvrny na listech, sterilita květů a redukce výnosu.

Hodnocení úrovně rezistence vůči WDV: U ozimých forem obilnin k nákaze obvykle dochází po vzejití do doby, než maximální denní teplota klesne pod přibližně 10 °C. Křísci preferují řídké porosty, proto se testované genotypy obvykle sejí na mikroparcely (Obr. 1), důležitý je také časný termín setí. Symptomatické hodnocení je však možné provádět až na jaře v období regenerace rostlin (Obr. 2). Vzhledem k nespecifičnosti symptomů je vždy nutné laboratorně prokázat přítomnost viru v rostlinách. V příznivých podmínkách napadené rostliny dále rostou, jsou však obvykle nižší a vytvoří méně klasů (Obr. 3).



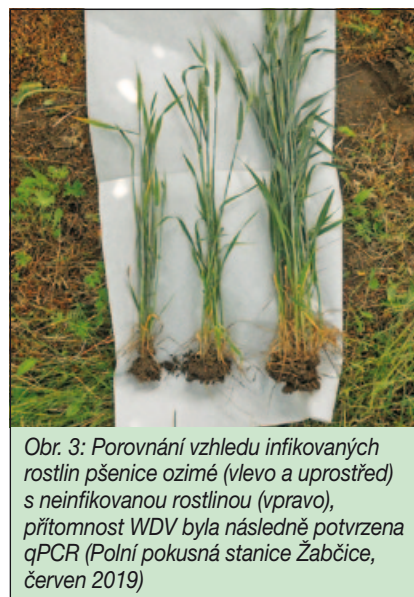
Diverzita WDV: Wu et al. (2008) se zabývali fylogenetickou diverzitou genomu WDV. Fylogenetická analýza 230 izolátů viru rozlišila 6 kmenů A až F, přičemž kmeny A a F patří ke skupině WDV-B specializované na ječmen, zatímco kmeny B až E ke skupině WDV-W specializované na pšenici. V ČR byly na základě analýzy RFLP markerů izolovány kmeny WDV ze skupiny pšenice (WDV-W) i ječmene (WDV-B; Kundu et al. 2009), přičemž od každé skupiny byly na základě fylogenetické analýzy RFLP markerů identifikovány dva kmeny.



Zdroje rezistence: V ČR byla zjištěna zvýšená rezistence, resp. snížený titr viru, u českých odrůd ozimé pšenice Banquet a Svítava (Šířlová et al. 2005). Screening 40 odrůd ozimé pšenice nevedl k identifikaci žádného rezistentního genotypu; relativně vyšší odolnost, resp. nižší redukce výnosu, byla zjištěna u odrůd Astella, Boka, Bruneta, Bruta, Ilona, Ina, Mona, Regina, Saskia a Senta (Vacke a Cibulka 2000). Avšak screening maďarských odrůd ozimé pšenice vedl k detekci pouze mírných symptomů a sníženého pufru WDV u odrůd Mv Dalma a Mv Vekni, které lze považovat za potenciální zdroje rezistence (Benkovics et al. 2010). Obě odrůdy nesou žitnou translokaci 1AL.1RS, resp. 1BL.1RS a genom Mv Vekni navíc nese několik genů rezistence ke rzím (VPM-1, SR38, Lr37, YR17) původem z *Aegilops ventricosa* (Schneider et al. 2009).

Hledání QTLs a kandidátních genů spojených s rezistencí k WDV: Na rozdíl od viru žluté zakrslosti ječmene (BYDV) nebyl v případě WDV dosud identifikován žádný gen rezistence (Kosová et al. 2008), avšak moderní genomické asociační studie (GWAS) založené na nukleotidovém polymorfismu (SNP) spolu s využitím kompletní anotace pšeničného genomu (IWGSC 2018) vedly k identifikaci lokusů (QTL), resp. kandidátních genů souvisejících s rezistencí k WDV.

Pfrieme et al. (2022) publikovali genomovou asociační studii (GWAS) zaměřenou na mapování a identifikaci potenciálních QTLs spojených se zvýšenou odolností k WDV. Pro GWAS analýzu a mapování QTLs použili soubor 500 genotypů zahrnující 108 odrůd pšenice seté, 363 planých a domestikovaných genotypů pšenice z genové banky Leibnizova ústavu rostlinné genetiky (IPK), Gatersleben, Německo, a z národní sbírky NSGC, Aberdeen, WA, USA, a 29 syntetických pšenic z křížení pšenice tvrdé *T. durum* a *Aegilops tauschii*. Materiály z genové banky zahrnovaly diploidní druhy *Triticum boeoticum*, *T. monococcum* a *T. urartu*, tetraploidní druhy *T. araraticum*, *T. dicoccoides*,



T. dicoccum, *T. durum* a *T. turgidum* a hexaploidní druhy *T. aestivum*, *T. macha*, *T. sphaerococcum*, *T. spelta* a *T. vavilovii*. Kromě pšenice byly v soubory zahrnuty rovněž genotypy *Aegilops*, konkrétně *Ae. bicornis*, *Ae. biuncialis*, *Ae. geniculata*, *Ae. kotschyi*, *Ae. longissima*, *Ae. peregrina*, *Ae. searsii*, *Ae. sharonensis* a *Ae. triuncialis* původem z Izraele, a k tomu ještě 85 *T. aestivum* – *Ae. tauschii* introgresních linií. Pro GWAS bylo použito 10,568 polymorfních SNP markerů. Byly mapovány lokusy pro kvantitativní znaky (QTL) zahrnující výšku rostlin, výnos a hmotnost tisíce zrn.

Bylo identifikováno 27 potenciálních QTLs. Většina identifikovaných QTLs byla lokalizována na chromosomu 1B, ostatní na chromosomech 2B, 3B, 4B, 5A, 6A a 7A. Na základě znalosti kompletní sekvence genomu pšenice byly pro detekované QTLs identifikovány kandidátní geny zahrnující geny podílející se na regulaci transkripce, umlčování genů pomocí RNA (tzv. posttranskripční RNA silencing) a geny kódující enzymy s proteinkinázovou aktivitou, např. SNF1 kinasy, které fosforylují virový protein BC1 a tím ho značí pro degradaci prostřednictvím 26S proteasomu. SNP markery identifikované pomocí GWAS mohou být využity pro tvorbu dalších markerů, např. KASP markerů detekovatelných pomocí PCR, a tak využity pro markerově-asistovanou selekci (Pfrieme et al. 2022).

Závěr

Šlechtění pšenice na odolnost vůči WDV je obtížné, protože doposud nebyl nalezen žádný genotyp použitelný jako zdroj rezistence a také nebyly popsány žádné specifické geny navozující požadovanou úroveň rezistence. Klasické přístupy založené na fenotypování, tj. hodnocení symptomů infekce (výška rostliny, diskolorace listů, nekrotické léze, redukce výnosu) a stanovení titru viru v poslední době doplnily přístupy založené na genetickém mapování (genetické asociační studie) a znalosti kompletní sekvence genomu pšenice, které umožnily detekci QTL spojených s významnými fenotypovými symptomy WDV a identifikaci kandidátních genů podmiňujících tyto QTL (Pfrieme et al. 2022), což představuje významný pokrok v hledání rezistentních materiálů.

/Recenzováno/

Kontakt: * kosova@vurv.cz

Poděkování: Rukopis byl vypracován v rámci řešení projektu MZe ČR QL24010142 a institucionální podpory MZe ČR RO0423.

Literatura:

- Benkovics A.H., Vida G., Nelson D., Veisz O., Bedford I., Silhavy D., Boulton M.I. (2010) Partial resistance to Wheat dwarf virus in winter wheat cultivars. *Plant Pathology* 59: 1144-1151.
- Chrpová J., Sumíková T., Palicová J., Kumar J., Váňová M., Bílovský J., Veškrna O. (2017) Ochrana obilnin proti virovým chorobám (BYDV a WDV). Metodika pro praxi. VÚRV, v.v.i., Agrotest Fyto, s.r.o., Selton, s.r.o. ISBN: 978-80-7427-250-9.
- IWGSC: The International Wheat Genome Sequencing Consortium (2018) Shifting the limits in wheat research and breeding using a fully annotated reference genome. *Science* 361: 6403.
- Kosová K., Chrpová J., Šíp V. (2008) Recent advances in breeding of cereals for resistance to Barley Yellow Dwarf Virus – a review. *Czech J. Genet. Plant Breed.* 44: 1-10.
- Kundu J.K., Gadiou S., Červená G. (2009) Discrimination and genetic diversity of Wheat dwarf virus in the Czech Republic. *Virus Genes* 38: 468-474.
- Pfrieme A.K., Ruckwied B., Habekuß A., Will T., Stahl A., Pillen K., Ordon F. (2022) Identification and validation of quantitative trait loci for wheat dwarf virus resistance in wheat (*Triticum spp.*). *Front. Plant Sci.* 13: 828639.
- Pfrieme A.K., Will T., Pillen K., Stahl A. (2023) The past, present, and future of Wheat dwarf virus management – a review. *Plants* 12: 3633.
- Schneider A., Molnár-Láng M. (2009) Detection of the 1RS chromosome arm in Martonvásár wheat genotypes containing 1BL.1RS or 1AL.1RS translocations using SSR and STS markers. *Acta Agronomica Hungarica* 57: 409-416.
- Šírlová L., Vacke J., Chaloupková M. (2005) Reaction of selected winter wheat varieties to autumnal infection with Wheat dwarf virus. *Plant Protection Sci.* 41: 1-7.
- Vacke J. (1961) Wheat dwarf virus disease. *Biol. Plant.* 3: 228-233.
- Vacke J., Cibulka R. (2000): Response of selected winter wheat varieties to wheat dwarf virus infection at an early growth stage. *Czech J. Genet. Plant Breed.* 36: 1-4.
- Wu B., Melcher U., Guo X., Wang X., Fan L., Zhou G. (2008) Assessment of codivergence of Mastreviruses with their plant hosts. *BMC Evol. Biology* 8: 335.

Soutěž technologií pěstování v Kroměříži 2024: Kvalita pšenice

(*Competition in crop management practices Kroměříž 2024: Wheat grain quality*)

Ondřej Jirsa, Ivana Polišínská, Ludvík Tvarůžek, Zdeněk Jergl
Agrotest fyto, s.r.o., Havlíčkova 2787/121, Kroměříž

Souhrn: Projekt Mezinárodní soutěž pěstebních technologií obilnin se v Kroměříži koná již od roku 2013. Tato technologická expozice je velmi oblíbená u praktických zemědělců, agronomů a specialistů poradenských služeb v zemědělství. Mezi účastníky jsou firmy zabývající se pesticidy, rostlinnými stimulanty a výživou rostlin, výrobci osiv a šlechtitelské firmy, univerzity, distributoři a samozřejmě praktičtí farmáři. Celkem 21 zúčastněných subjektů se 43 soutěžními variantami prezentovalo své technologie na 32 odrůdách ozimé pšenice. Nejčastější volbou účastníků byla odrůda LG Mondial, která byla použita ve 4 technologiích. Pouze čtvrtina variant (10, tj. 23 %) splnila ve všech čtyřech hodnocených parametrech požadavky ČSN na kvalitu potravinářské pečárenské pšenice. Nejčastějším problémem byl nižší Zeleného test, v některých případech také nižší obsah bílkovin a nedostatečná objemová hmotnost. Ze 4 variant s pečárenskými odrůdami (C₂) vyhověly požadavkům na tuto kategorii 2 varianty. Jediná varianta s pšenící tvrdou (*Triticum durum*) požadavky kladené na kvalitu tvrdé pšenice splnila, včetně sklovitosti..

Klíčová slova: pšenice, kvalita, odrůdy, soutěž, technologie

Soutěž technologií pěstování v Kroměříži 2024: Kvalita pšenice

(Competition in crop management practices Kroměříž 2024: Wheat grain quality)

Abstract: A project “International Competition in cereal crop management practices “ has been taking place in Kroměříž since 2013. The technological exposition is very popular among practical farmers, agronomists and extension service specialists, and also companies dealing with pesticides, plant stimulators and plant nutrition products, seed producers and breeding companies, universities and distributors. In total, 21 participating subjects with 43 technologies presented their technologies on 32 winter wheat varieties. Variety LG Mondial (used in 4 technologies) was the most frequent choice of participants. Only a quarter of the variants (10, i.e. 23%) met the requirements of the CSN for bread-making quality. The most frequent problem was lower Zeleny test, in some cases also lower protein content and insufficient bulk density. Of the 4 variants with biscuits varieties (C_K), 2 variants met the requirements for this category. The only variant with durum wheat (*Triticum durum*) met the quality requirements for this wheat type, including vitreousness.

Key Words: wheat, quality, varieties, competition, crop management practices

Vyhodnocení kvality pšenice

Celkem byla v souboru „Soutěže pěstebních technologií 2024“ hodnocena kvalita 42 variant pšenice seté (*Triticum aestivum*) ozimé a jedna varianta pšenice tvrdé (*T. durum*) ozimé. U pšenice seté byly analyzovány tyto kvalitativní parametry: hmotnost tisíce zrn (HTZ), obsah N-látek (NL), číslo poklesu (FN), objemová hmotnost (OH) a sedimentační Zelenyho test (SEDI). Hodnoty byly posuzovány podle požadavků kladených na pšenici potravinářskou podle ČSN 46 1100-2 (tabulka 1), která ji dělí na pšenici pekárenskou (je určená pro výrobu kynutých výrobků) a pečivářskou (určená pro výrobu sušenek a oplatků). Požadavky se ve dvou parametrech liší. Jedná se o obsah NL, která je u pekárenské pšenice minimálně 11,5 %, zatímco u pečivářské maximálně 11,5 %. Obdobně je tomu u SEDI, který je pro pekárenskou pšenici minimálně 30 ml, zatímco u pečivářské pšenice je požadován ve výši maximálně 25 ml. U pšenice tvrdé byla místo SEDI hodnocena sklovitost (podíl sklovitých zrn v %) a parametry byly posuzovány podle ČSN 46 1100-3.

Soubor zahrnoval 32 různých odrůd. Výsledky pro jednotlivé varianty jsou uvedeny v Tabulce 2. Číslo varianty je v textu uvedeno u odrůdy za lomítkem.

Obsah bílkovin

Průměrná hodnota obsahu NL byla 11,6 %. Rozmezí hodnot se pohybovalo od 10,0 % (RGT Reform/v3, RGT Borsalino/v4) do 13,3 % (Ponticus/v28). Kromě této neměla žádná jiná varianta obsah NL nad 13,0 %. Obsah vyhovující požadavku normy pro pekárenskou pšenici (min 11,5 %) mělo 24 (tj. 57 %) soutěžních variant. Limit obsahu N-látek pro třídu E (min. 12,6 %) splnily 4 varianty, tj. 10 % ze 42. Požadavek na odrůdy třídy A (min. 11,8 %) splnilo 15 variant (36 %). Pro pečivářskou pšenici (C_K) je hranice obsahu bílkovin 11,5 % maximální, tomuto požadavku z pečivářských odrůd vyhověly všechny 4 varianty s těmito odrůdami, obsah NL měly od 10,5 % do 11,5 %. Průměrný obsah bílkovin letošního roku je pod průměrem předchozích ročníků, který je 12,9 % (Obr. 1a) a je od začátku pořádání kroměřížských soutěží v roce 2013 nejnižší. Pšenice tvrdá (Sambadur) měla obsah NL 12,9 %.

Číslo poklesu

Průměrná hodnota FN byla 359 s. Normu pro potravinářskou pšenici (220 s) splnily všechny varianty. Nejvyšší FN měla varianta s pšenicí tvrdou (Sambadur) – 414 s, dále Ponticus/v28 (413 s) a Pontiform/v31 (412 s). Celkem 26 variant mělo FN vyšší než 350 s. Hranici minimálně 286 s (pro jakostní třídu E) splnilo 40 variant (tj. 95 %), zbylé 2 varianty vyhověly požadavku pro odrůdy pšenice třídy A (226 s). Průměrná hodnota FN je letos je nad průměrem předchozích soutěžních let (329 s), nejnižší byla v roce 2020 (295 s) a nejvyšší 2017 (370 s) (Obr. 1b).

Objemová hmotnost

Průměrná hodnota OH byla 76,1 kg/hl. Norma pro potravinářskou pšenici požaduje nejméně 76,0 kg/hl, což splnilo 27 (64 %) variant. Nejvyšší OH měly varianty Hobby/v19 (80,7 kg/hl) a RGT Specialist/v39 (80,2 kg/hl). Nejnižší OH měla varianta LG Mocca/v36 (70,8 kg/hl). Průměrná objemová hmotnost je letos druhá nejnižší od roku 2013, poměrně nízká byla také v předchozím roce (2023: 76,6 kg/hl). Průměrná hodnota předchozích soutěžních let činí 78,6 kg/hl. Nejvyšší OH byla dosažena v roce 2015 (82,4 kg/hl), nejnižší v roce 2020 (73,5 kg/hl) (Obr. 1c). Pšenice tvrdá (Sambadur) měla OH 79,7 kg/hl.

Zelenyho test

Průměrná hodnota SEDI všech variant byla 28 ml. Normu pro pekárenskou pšenici (30 ml) splnilo 17 variant (40 %). Alespoň 35 ml (min. požadavek na třídu A)

Tab. 1: Požadavky na kvalitu potravinářské pšenice podle ČSN 46 1100-2 (2001)

Parametr	Kategorie	Pšenice pekárenská		Pšenice pečivářská	
		nejvýše	14,0	nejvýše	14,0
Vlhkost [%]		nejvýše	14,0	nejvýše	14,0
Objemová hmotnost [kg/hl]		nejméně	76,0	nejméně	76,0
Obsah N-látek v sušině ($N \times 5,7$) [%]		nejméně	11,5	nejvýše	11,5
Číslo poklesu [s]		nejméně	220	nejméně	220
Sedimentační index [ml]		nejméně	30	nejvýše	25
Příměsi a nečistoty celkem [%]	3.1+3.10	nejvýše	6,0	nejvýše	6,0
Zlomky zrn [%]	3.2	nejvýše	3,0	nejvýše	3,0
Zrnové příměsi [%]	3.3	nejvýše	5,0	nejvýše	5,0
- z toho tepelně poškozená zrna [%]	3.8	nejvýše	0,5	nejvýše	0,5
Porostlá zrna [%]	3.9	nejvýše	2,5	nejvýše	2,5
Nečistoty [%]	3.10	nejvýše	0,5	nejvýše	0,5
- z toho tepelně poškozená zrna [%]	3.12b	nejvýše	0,05	nejvýše	0,05

mělo 7 variant, tj. 17 %. Nejvyšší hodnotu SEDI měly varianty Pontiform/v31 (43 ml) a Ponticus/v28 (41 ml). Mezi 25 variantami, které měly méně než 30 ml, bylo 12 variant s odrůdami třídy C nebo C_K, 6 třídy B, 6 třídy A a jedna dosud nezaregistrovaná (Friend/v20). Na pečivářské odrůdy C_K je kladen požadavek na nikoliv minimální, ale naopak maximální hodnotu sedimentačního Zeleného testu, a to ve výši 25 ml. Tento požadavek splnily všechny 4 varianty s pečivářskými odrůdami (Obr. 2). Na ostatní odrůdy třídy C požadavky na hodnoty SEDI, ale ani ostatních hodnocených kvalitativních parametrů (NL, OH, FN) kladeny nejsou. Kvalita bílkovin vyjádřená pomocí Zeleného testu byla v letošním, stejně jako v loňském roce (průměr také 28 ml) nejnižší z minulých soutěžních let a je výrazně pod jejich průměrem 40 ml (Obr. 1d). Nejvyšší byla v roce 2013 (49 ml).

Hmotnost tisíce zrn

Průměrná hodnota HTZ byla 43,5 g. Nejnižší průměrnou hodnotu měla varianta s odrůdou Bright/v43 (31,2 g) před LG Mocca/v36 (34,4 g), nejvyšší HTZ měla varianta s odrůdou SU Tarocca/v7 (54,5 g), následovaná Solindo CS/v12 (50,3 g). HTZ je v letošním roce na průměru předchozích let (hodnoceno až od roku 2017), který je 43,5 g. Nejnižší byla v roce 2017 (36,9 g), nejvyšší v roce 2019 (52,6 g).

Kvalita odrůd

Mezi 43 soutěžními variantami bylo zastoupeno 32 různých odrůd včetně jedné odrůdy pšenice tvrdé. Nejčastěji volená odrůda pšenice byla LG Mondial (4 varianty, kvalita C), a to po pětiletém vedení odrůdy RGT Sacramento, která je letos zastoupena jednou variantou. Druhou nejčastěji zastoupenou byla RGT Borsalino (3 varianty, kvalita A). Dále ve dvou variantách Asory, Dynamite, LG Mocca, LG Niklas, Revolver a RGT Depot. Ostatní odrůdy byly zastoupeny po jedné variantě. Porovnat tak lze určitým způsobem pouze nejčastěji zastoupené odrůdy LG Mondial (C) a RGT Borsalino (A) (Tabulka 3). Průměrné hodnoty NL a SEDI jsou přibližně srovnatelné a rozdíly mezi variantami (RGT Borsalino: NL 10,0–12,5 %, SEDI 20–28 ml; LG Mondial: NL 10,7–11,8 %, SEDI 23–25 ml) jsou větší než rozdíly mezi odrůdami. Průměrná hodnota OH je o něco vyšší u odrůdy RGT Borsalino (77,6 kg/hl) než u LG Mondial (77,1 %), u FN je tomu naopak (RGT Borsalino 318 s; LG Mondial 359 s).

Vyhodnocení odrůd podle tříd kvality

Mezi odrůdy s elitní kvalitou (E) patří v soutěžních variantách dvě odrůdy (Julie, Ponticus), kaž-

dá v jedné soutěžní variantě. Většina ze zvolených odrůd, tj. 11 (v 15 soutěžních variantách) přísluší do kvalitativní třídy A, devět odrůd (v 10 variantách) do chlebové kvality (B) a šest (v 10 variantách) do kvality C (nevhodné pro pekařské zpracování). Dvě odrůdy (čtyři varianty) jsou kvality C_K, tj. vhodné pro pečivářské zpracování (LG Mocca a LG Niklas), jedna je dosud neregistrovaná (Friend). Zastoupena je jedna odrůda pšenice tvrdé (Sambadur) v jedné variantě.

Všechny požadavky na odrůdy třídy E zároveň (OH – min 79,0 kg/hl, FN – 286 s, NL – 12,6 %, Zelený – 49 ml) nespĺnila žádná varianta, obě odrůdy třídy E splnily požadavek na FN, jedna (Ponticus) na NL.

Požadavky na odrůdy A vyžadují min OH 78,0 kg/hl, FN 226 s, NL 11,8 % a Zelený 35 ml, což splnila jediná varianta, a to Pallas (A)/v6. Tři ze 4 parametrů splnilo 5 odrůd, z toho 4 odrůdám chyběla dostatečná OH (Ponticus E, Julie E, Pontiform A, Luxus A) a jedné odrůdě (SU Tarocca B) kvalita bílkovin (SEDI).

Požadavky na odrůdy B (OH – min 76,0 kg/hl, FN – 196 s, NL – 11,0 %, Zelený – 21 ml) splnily pouze 4 z 10 variant s odrůdami třídy B (Hobby, KWS Donovan, RGT Specialist, SU Tarocca), zejména z důvodu nedostatečné OH.

Všechny 4 varianty s odrůdami C_K, tj. vhodnými pro pečivářské zpracování, vyhověly požadavku na SEDI (max 25 ml), FN (min 220 s) i NL (max 11,5 %), avšak pouze dvě varianty (obě LG Niklas) na OH (min 76,0 kg/hl).

Tab. 2: Kvalita pšenice v Soutěžích technologií, Kroměříž 2024

Firma	Var.	Odrůda	HTZ	OH	FN	NL	Zelený
			(g)	(kg/hl)	(s)	(%)	(ml)
VP Agro	1	Revolver	40,6	76,5	377	11,5	36
VP Agro	2	Cayenne	40,2	76,9	395	12,7	34
Adama CZ	3	RGT Borsalino	45,6	77,2	297	10,0	20
Adama CZ	4	RGT Reform	42,6	77,1	388	10,0	25
Ditana	5	RGT Borsalino	41,9	77,8	326	12,1	27
Ditana	6	Pallas	48,1	79,7	387	11,8	35
SAATEN UNION CZ	7	SU Tarocca	54,5	78,2	345	11,8	26
SAATEN UNION CZ	8	Johnson	42,4	73,0	371	11,5	23
Limagrain ČR + BASF	9	LG Lunaris	46,4	73,8	272	10,8	28
Limagrain ČR + BASF	10	LG Niklas	45,1	77,9	318	10,5	17
Timac Agro Czech	11	LG Mondial	47,7	77,7	364	10,7	23
Timac Agro Czech	12	Solindo CS	50,3	77,8	351	10,8	22
Agrosales	13	Safari	42,5	74,6	273	11,6	26
Agrosales	14	Sambadur	46,6	79,7	414	12,9	80 % (*)
RWA Czechia	15	Campesino	44,4	77,2	347	10,9	24
RWA Czechia	16	Asory	44,7	78,6	390	11,6	32
RAGT Czech	17	RGT Sacramento	47,3	77,5	338	11,4	23
RAGT Czech	18	RGT Borsalino	41,0	77,7	331	12,5	28
Agrotest fyto	19	Hobby	48,4	80,7	360	11,2	34
Agrotest fyto	20	Friend	44,0	74,5	377	11,2	24
ZOD Rataje	21	Julie	48,2	77,4	366	12,0	36
ZOD Rataje	22	Luxus	47,6	77,3	343	12,0	37
Innvigo Agrar CZ	23	LG Mondial	43,4	77,0	359	11,4	25
Innvigo Agrar CZ	24	Skif	41,1	74,0	311	11,6	29
Soufflet Agro	25	KWS Donovan	39,2	77,0	377	12,3	29

* podíl sklovitých zrn

Vyhodnocení kvality podle ČSN 46 1100-2

Z celkem hodnocených 42 variant vyhovělo pouze 10 (24 %) ČSN pro pšenici pekárenskou ve všech čtyřech hodnocených parametrech (OH, FN, SEDI, NL). U nevyhovujících variant byl nejčastěji nižší Zelenýho test, v některých případech také nižší obsah bílkovin a nedostatečná OH.

Požadavkům kladeným na pšenici pečivářskou nevyhověly dvě ze čtyř variant s pečivářskými odrůdami, a to kvůli nižší objemové hmotnosti. Z ostatních odrůd by požadavkům na pečivářskou pšenici vyhovělo dalších osm variant.

V posledních 5 soutěžních letech vyhovělo požadavkům na pekárenskou pšenici 85 % (2019), 15 % (2020), 91 % (2021), 69 % (2022) a 16 % (2023) soutěžních variant (Tabulka 4). Do tohoto hodnocení jsou zahrnuty varianty se všemi odrůdami, včetně C a C_K, na které kvalitativní požadavky kladené buď nejsou (C) nebo jsou odlišné (C_K). Pokud by hodnocení bylo vztaženo jen na varianty s odrůdami pšenice určené pro pekárenské účely, tj. s odrůdami tříd E, A, B, vyhovělo by ČSN pro pšenici pekárenskou 33 % soutěžních variant. V minulých letech to bylo 97 % (2019), 21 % (2020), 100 % (2021), 97 % (2022) a 25 % (2023).

Pšenice tvrdá Sambadur splnila všechny požadavky ČSN 46 1100-3 kladené na pšenici tvrdou, a to OH min 78 kg/hl, FN min 220 s, NL min 11,5 % i sklovitost, kdy je pro podíl sklovitých požadováno min 73 %, odrůda Sambadur dosáhla 80%.

Tab. 2: Kvalita pšenice v Soutěžích technologií, Kroměříž 2024 (pokračování)

Firma	Var.	Odrůda	HTZ	OH	FN	NL	Zelený
			(g)	(kg/hl)	(s)	(%)	(ml)
Soufflet Agro	26	KWS Keitum	48,7	74,6	311	11,6	19
Corteva Agriscience	27	LG Mondial	44,6	76,8	369	11,4	25
Corteva Agriscience	28	Ponticus	38,5	74,6	413	13,3	41
Mendelu	29	Dynamite	38,3	72,8	386	11,8	31
Mendelu	30	Revolver	39,7	75,8	381	11,3	36
Mendelu	31	Pontiform	45,5	76,2	412	12,5	43
Zetaspol	32	Dynamite	45,3	74,8	363	11,4	28
Zetaspol	33	LG Aikido	42,4	77,8	404	12,6	34
Uniagro	34	LG Niklas	42,1	76,5	325	11,5	20
Uniagro	35	LG Mondial	42,7	76,8	345	11,8	25
HumPhos	36	LG Mocca	34,4	70,8	319	11,1	13
HumPhos	37	Asory	41,9	76,7	389	11,4	30
AgriStar-agrochemicals	38	RGT Depot	44,5	74,9	402	12,6	33
AgriStar-agrochemicals	39	RGT Specialist	44,7	80,2	398	11,6	33
Lovochemie	40	LG Mocca	36,9	72,2	325	11,0	12
Lovochemie	41	Adina	45,8	77,2	384	11,6	33
Osadkowski	42	RGT Depot	41,1	71,2	400	11,4	27
Osadkowski	43	Bright	31,2	71,3	393	12,1	30
Průměr (pšenice setá)			43,5	76,1	359	11,6	28

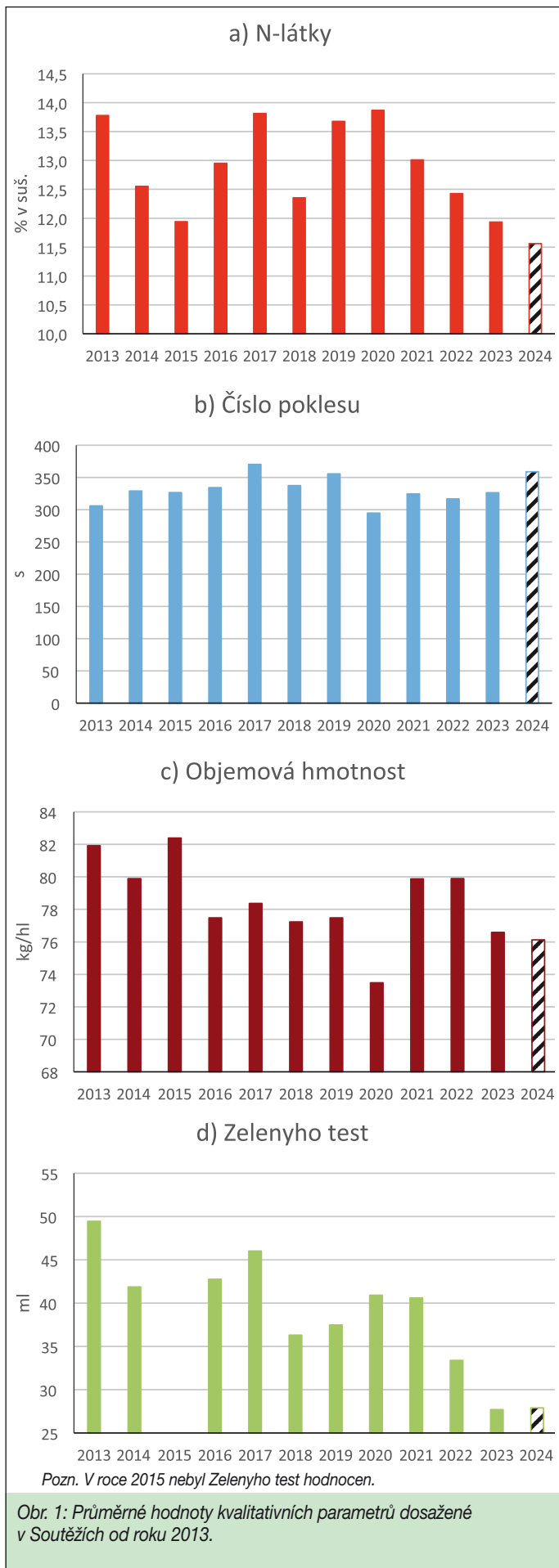
Pozn.: Označení účastníků ve sloupci Firma neodpovídá oficiálním názvům společností.

Tab. 3: Porovnání kvality nejčastěji zastoupených odrůd. Průměr ± směrodatná odchylka

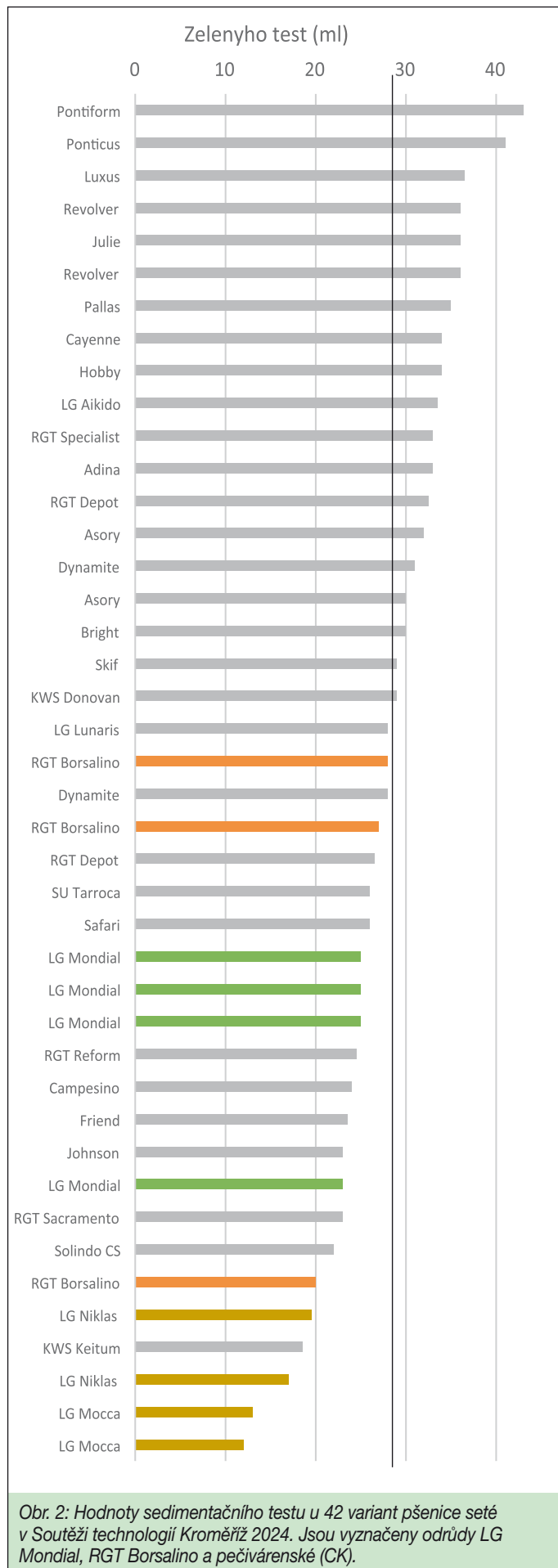
Odrůda	Počet variant	N-látky	Číslo poklesu	OH	Zelený	HTZ
		(%)	(s)	(kg/hl)	(ml)	(g)
LG Mondial (C)	4	11,3 ± 0,5	359 ± 10	77,1 ± 0,4	25 ± 1	44,6 ± 2,2
RGT Borsalino (A)	3	11,5 ± 1,3	318 ± 18	77,6 ± 0,3	25 ± 4	42,8 ± 2,4

Tab. 4: Podíl soutěžních variant v letech 2020–2024 vyhovujících požadavkům ČSN na pšenici pekárenskou

	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ze všech variant	85%	15%	91%	69%	16%	24%
Z variant s odrůdami tříd E, A, B	97%	21%	100%	97%	25%	33%



Obr. 1: Průměrné hodnoty kvalitativních parametrů dosažené v Soutěžích od roku 2013.



Obr. 2: Hodnoty sedimentačního testu u 42 variant pšenice seté v Soutěži technologií Kroměříž 2024. Jsou vyznačeny odrůdy LG Mondial, RGT Borsalino a pečivářské (CK).

Životní jubileum Ing. Marie Váňové, CSc.

Marie Váňová je známou osobností v oblasti ochrany rostlin. Za mimořádný přínos k rozvoji vědy a výzkumu v agrárním sektoru jí byla Českou akademií zemědělských věd v listopadu 2024 udělena stříbrná medaile. V roce 2009 jí byla za zásluhy v rostlinolékařství udělena medaile Ctibora Blatného. Dodnes se uplatňuje v oblasti poradenství, a to jako specialista konzultantka. Přednáší na seminářích a konferencích pro pěstitele i další odborníky. Při příležitosti jejího životního výročí jsem jí položila několik otázek.



Paní inženýrko, v letošním roce si připomínáme Vaše významné životní výročí. Je to pro Vás jistě příležitost ohlédnout se zpět. Jaké máte vzpomínky na Vaše dětství a na rodiče, co Vám dali do života?

Narodila jsem se ke konci války v relativně chudém kraji, na Vysočině. Měla jsem ale štěstí, že se nám, mě i mojí sestře, rodiče snažili ulehčit těžké časy padesátých let tím, že nám umožnili vzdělání. Tak se jim podařilo povznést nás z určité beznaděje tohoto období. Vystudovala jsem jedenáctiletou střední školu v Havlíčkově Brodě a následně Vysokou zemědělskou školu v Brně (dnes Mendelova univerzita v Brně). Jiná možnost nebyla, ale obě školy byly úžasné, se vzdělanými učiteli a profesory, a také společnost nadaných spolužáků byla motivující. Mnohá přátelství z těch dob trvají až dodnes.

Jaký byl začátek Vaší profesní kariéry?

Nejdelší část života jsem strávila v Kroměříži, a s Kroměříží je také spjat můj profesní život. V roce 1970 jsem nastoupila do tehdejšího Výzkumného ústavu obilnářského, kterému jsem zůstala věrná až dodnes (dnes Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž). Byla jsem zaměstnána ve výzkumné instituci, která v průběhu více než padesáti let, jež jsem tam strávila, prodělala mnoho reorganizací. Výzkum však vždy zůstal hlavní náplní.

Úzce jsem spolupracovala s Dr. Ing. Jaroslavem Benadou, CSc. o čemž svědčí i odborné příspěvky, které jsme publikovali v 70. a 80. letech. Začali jsme pracovat na problematice integrované ochrany obilovin se zaměřením na plevele a choroby. Spolupracovali jsme s Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským, zejména s jeho odborem ochrany rostlin v Brně a s ostatními výzkumnými pracovišti na povolování přípravků na ochranu rostlin, na diagnostice chorob především na obilovinách a na výzkumných úkolech se zaměřením na stabilitu výnosu a kvalitu produkce. Byla jsem vedoucí oddělení ochrany rostlin, které bylo ke konci osmdesátých let znovu obnoveno a nyní úspěšně pokračuje pod vedením Dr. Ing. Ludvíka Tvarůžka. Tímto oddělením postupně prošlo mnoho úspěšných kolegů, kteří dnes pracují na jiných pracovištích, ale myslím si, že si od nás odnesli pozitivní vztah k zemědělskému výzkumu a dobře chápou i současnou složitou situaci související s klimatickými změnami a s nutností zapojit se do hledání nových udržitelných postupů.

S jakými lidmi jste se v průběhu těch mnoha let setkávala?

Vzpomínám především na ty vědecké, ale i technické pracovníky, kteří mi předávali své zkušenosti a dávali mi užitečné rady. Postupem let jsem se utvrzovala v přesvědčení, že věda byla, je a určitě i v budoucnu bude nejen významnou hnací silou společnosti, ale také osobním příjemným zážitkem, pokud je člověk zvědavý, pracovitý a ochotný učit se stále nové věci. Náš ústav byl zaměřen na aplikovaný výzkum, a tak jsem měla příležitost spolupracovat nejen s mnoha vědeckými a výzkumnými pracovníky z jiných obdobně zaměřených

ústavů a vysokých škol, ale také se zástupci státních podniků, chemických firem, s osiváři i s jednotlivými zemědělci, a to jak na Moravě, tak v i Čechách.

Další možností, jak se setkat se specialisty ve svém oboru byly jistě i odborné cesty do zahraničí.

Účast na konferencích a dalších akcích doma i v zahraničí byla pro mne i mé spolupracovnice vizitkou naší práce a dodávala chuť posunovat zemědělský výzkum dál. Kromě sousedních zemí jako jsou Slovensko, Maďarsko nebo Německo jsem se zúčastnila i pracovních cest do Švýcarska, Francie, Dánska, Nizozemí, Izraele a do USA. Také tam jsem se setkávala s inspirativními osobnostmi, nově získané poznatky jsem se snažila uplatnit u nás doma.

Jako pracovnice ve výzkumu jste publikovala odborné články ve specializovaných časopisech. Vaše články určené zejména zemědělské praxi vyšly např. v Zemědělských novinách, Farmáři, Úrodě, Obilnářských listech, v Zemědělci, Agromagazínu, Agrárním obzoru, Agromanuálu, v Rostlinolékaři, Kvasném průmyslu i Listech cukrovarnických a řepařských, ale publikovala jste také v několika mezinárodních vědeckých časopisech.

Publikace ve vědeckých časopisech jsou konkrétní vizitkou práce výzkumných a vědeckých pracovišť. Jejich kvalita je posuzována a připomínkována v recenzních řízeních, a tak je zaručena jejich aktuálnost a objektivita. V tomto směru jsem se podílela na článcích v časopisech *Biologia Plantarum*, *Plant Protection Science*, *Plant, Soil and Environment*, *Cereal Research Communications*, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* a *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*. Byla jsem členkou redakčních rad časopisu *Rostlinolékař* a dvou prestižních časopisů *Plant, Soil and Environment* a *Plant Protection Science*, čehož si velmi vážím. Také to významným způsobem rozšířilo mé osobní kontakty s ostatními vědeckými pracovišti a jejich zástupci v uvedených redakčních radách.

Co byste řekla na závěr, a jaké je Vaše poselství pro další generaci výzkumníků?

Chtěla bych poděkovat mnoha kolegům z mé generace za celoživotní inspiraci pro každodenní práci i pro řešení výzkumných úkolů v projektech Grantové agentury i v projektech Ministerstva zemědělství. Mladé generaci přeji, aby byli pracovití, houževnatí, svědomití, a aby plně využili svého talentu pro výzkumnou a vědeckou práci. Ať potkávají chytré a talentované spolupracovníky, od kterých se toho můžou hodně naučit, aby později mohli své vědomosti předávat dál.

Děkuji Vám za rozhovor

Mgr. Věra Kroftová

Produkce plodin v zaplavených oblastech: důsledky záplav na fyziologické, chemické a mikrobiální procesy na polích

(Crop production in flooded areas: effects of flooding on physiological, chemical and microbial processes in fields)

Bleša Dominik, Matušinský Pavel, Leciánová Eva, Tvarůžek Ludvík
Agrotest fyto, s.r.o., Havlíčkova 2787/121, 76701 Kroměříž

Souhrn: Extrémní srážky a následné záplavy se stávají stále častějšími jevy v důsledku současných klimatických změn, které mají závažné důsledky pro zemědělskou produkci. Tento článek se zaměřuje na komplexní dopady zaplavení na fyziologické, chemické a mikrobiální procesy v půdním prostředí. Dlouhodobé zaplavení omezuje dostupnost kyslíku, narušuje klíčové fyziologické procesy v kořenovém systému plodin a mění chemické vlastnosti půdy, což vede k nižším výnosům a degradaci půdní struktury. Zároveň dochází k posunu v mikrobiálních společenstvech, zvyšuje se riziko výskytu patogenů a hromadění toxických látek. Ekonomické dopady těchto změn jsou značné, zahrnující sníženou kvalitu plodin a zvýšené náklady na regeneraci půdy.

Klíčová slova: Podmáčení půdy, klimatické změny, hypoxie, kvalita půdy, mikrobiom půdy, záplavy, anaerobní procesy

Abstract: Extreme rainfall and subsequent flooding are becoming increasingly common phenomena due to climate change, which has serious implications for agricultural production. This article focuses on the complex impacts of flooding on the physiological, chemical, and microbial processes in the soil environment. Prolonged flooding limits oxygen availability, disrupts key physiological processes in the root systems of crops, and alters the chemical properties of the soil, leading to reduced yields and soil degradation. Concurrently, shifts in microbial communities increase the risk of pathogen occurrence and the accumulation of toxic substances. The economic impacts of these changes are significant, including decreased crop quality and increased costs for soil restoration.

Key Words: Soil waterlogging, climate change, hypoxia, soil quality, soil microbiome, flooding, anaerobic processes

Úvod

Extrémní srážky a následné záplavy jsou stále častějším jevem spojeným s klimatickými změnami, které mají závažný dopad na zemědělskou produkci. V posledních desetiletích je pozorován nárůst četnosti a intenzity extrémních srážkových událostí vedoucích k dlouhodobému zaplavení zemědělské půdy. Tyto záplavy způsobují komplexní změny v půdním prostředí, které mají negativní vliv na růst plodin a celkovou produktivitu zemědělských ekosystémů.

Zaplavené oblasti jsou problematické zejména kvůli nasycení půdy vodou, které omezuje dostupnost kyslíku v půdním profilu. Tento stav anoxie (nedostatek kyslíku) narušuje klíčové fyziologické procesy v kořenovém systému plodin, jako je například respirace a příjem živin. Kromě toho dochází ke změnám ve fyzikálních vlastnostech půdy, jako je snížení pórovitosti, zvýšení hustoty a tvorba nepropustných vrstev, které dále brání růstu kořenů a jejich schopnosti přijímat vodu a živiny. Dlouhodobé zaplavení také ovlivňuje mikrobiální společenstva v půdě a vede k hromadění toxických látek.

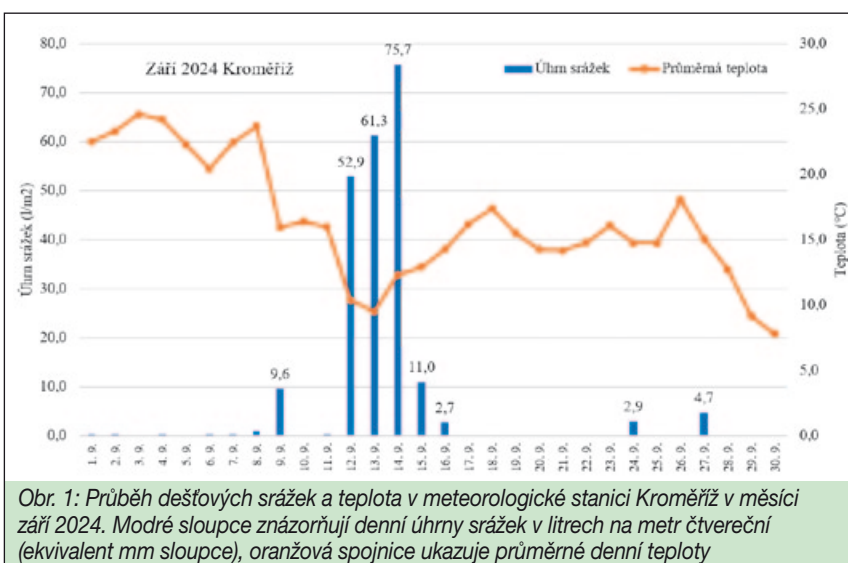
Ekonomické dopady těchto záplav mohou být značné. Snížená úroda, zhoršená kvalita plodin a zvýšené náklady na regeneraci půdy vedou k finančním ztrátám jak pro farmáře, tak pro širší zemědělský sektor. Dlouhodobé negativní vlivy mohou mít za následek degradaci půdy, což si vyžaduje nákladná meliorační opatření a snížení výnosnosti na několik sezón dopředu.

Tento článek popisuje důsledky záplav na fyziologii plodin, změny v chemickém složení půdy a dynamiku mikroorganismů v půdě.

Hodnocení průběhu počasí na stanici Kroměříž v měsíci září 2024

V září roku 2024 došlo po varování meteorologů k extrémním deštovým srážkám na území střední Evropy, které způsobily rozsáhlé záplavy. Tyto události měly za následek zaplavení velkého množství lidských sídel, ztráty lidských životů, poškození majetku, nesčetně mnoho dalších ekonomických škod a proměnu socio-ekonomických vztahů. Tento text poskytuje přehled průběhu těchto nadměrných srážek se zaměřením na region Kroměřížska a přilehlé oblasti. Je důležité zdůraznit, že hodnocení neoslazuje závažnost lokálních dopadů a osobních tragédií způsobených touto přírodní katastrofou.

V první zářijový týden byly zaznamenány vysoké průměrné teploty kolem 23 °C, přičemž denní maxima překračovala 30 °C, a v tomto období nedošlo k žádným srážkám (Obrázek 1).



Obr. 1: Průběh deštových srážek a teploty v meteorologické stanici Kroměříž v měsíci září 2024. Modré sloupce znázorňují denní úhrny srážek v litrech na metr čtvereční (ekvivalent mm sloupce), oranžová spojnice ukazuje průměrné denní teploty

Mezi 12. a 14. zářím však stanice v Kroměříži zaznamenala téměř 200 mm srážek, přičemž déšť, i když méně intenzivní, pokračoval další dva dny. V horských oblastech, jako jsou Jeseníky a Beskydy, dosáhly srážkové úhrny ještě výrazně vyšších hodnot. Kvůli nasycení půdy a jejímu sníženému retenčnímu potenciálu začalo docházet k odtoku povrchové vody z polí a k přetčení vodních toků, které již nebyly schopny zadržet tuto enormní masu vody.

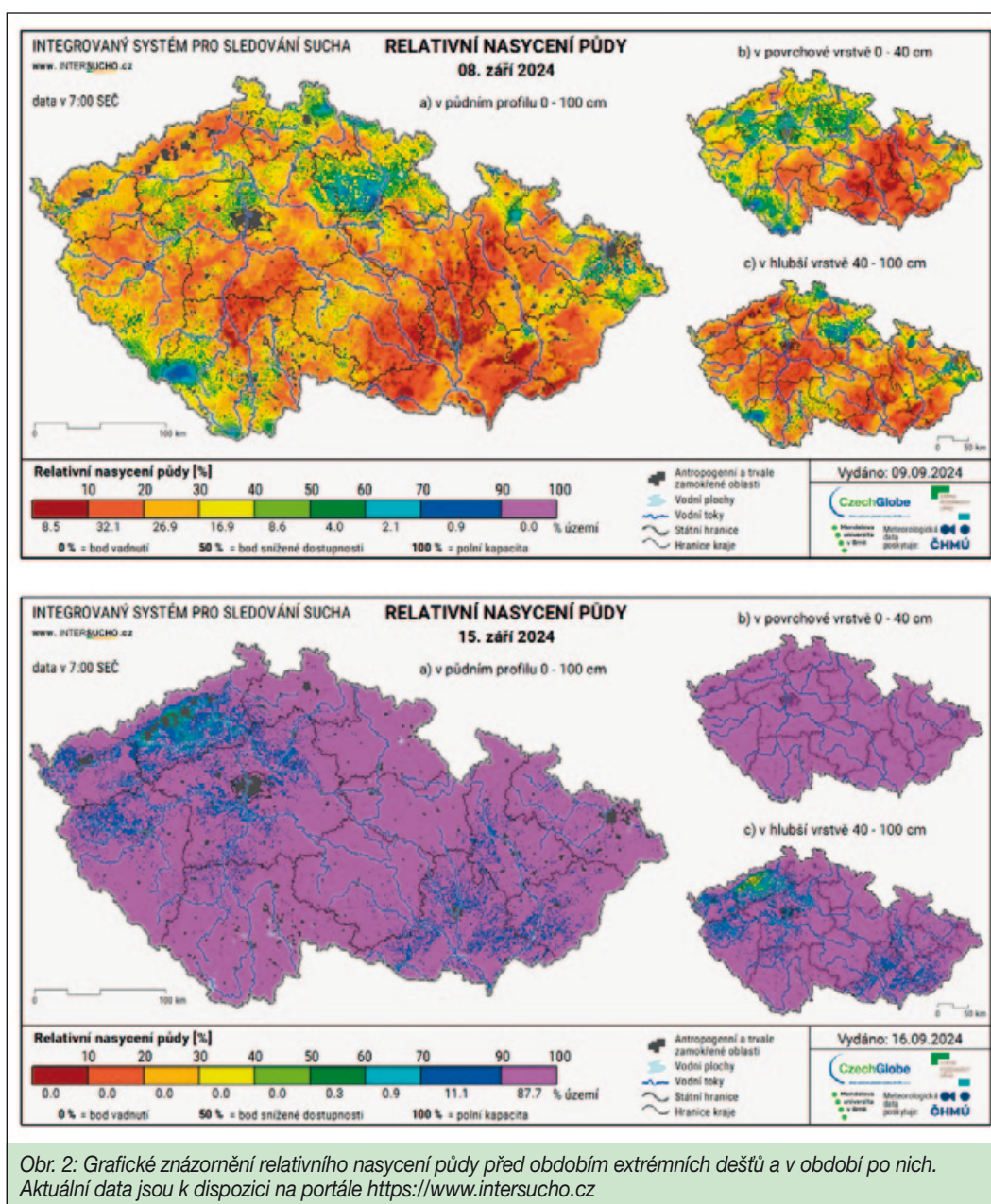
Tyto události podnítily srovnání s předešlými povodněmi, zejména s povodněmi z roku 1997. V roce 1997 byly srážky rozloženy do delšího časového období, ale povodňové vlny na řekách Moravě a Bečvě se setkaly v rozmezí několika hodin, což vedlo k jejich přelití a následným záplavám na velké části střední Moravy. V roce 2024 došlo k těmto intenzivním dešťovým srážkám v průběhu několika po sobě jdoucích dní. Přestože byly podmínky v tomto ohledu horší, škodám většího rozsahu bylo zabráněno díky časovému posunu kulminace toků Moravy a Bečvy. Částečnou ochranu regionu poskytlo i vyhlížení Moravy v oblasti Litavle, které snížilo tlak na dolní úseky toku. Přesto se v celém regionu vyskytly lokální problémy, zejména v důsledku

omezení odtoku menších vodních toků a vzestupu hladin podzemních vod (Obrázek 2).

Následkem vzestupu podzemních vod a omezeného povrchového odtoku došlo ke vzniku dlouhodobých vodních ploch na zemědělské půdě, které přetrvávají i měsíc po záplavách (Obrázek 3). Na těchto lokalitách se často nacházejí stojící porosty, u kterých není možné provádění běžných agrotechnických zásahů, sklizně a melioračních opatření.

Fyzikální dopady nadbytku vody na půdu a rostliny

Zaplavení půdy má zásadní vliv na její fyzikální vlastnosti a tím i na růst plodin. Jedním z hlavních problémů je přesyacení půdy vodou, které způsobuje několik nežádoucích jevů. Když je půda plně nasycena, výrazně se snižuje množství dostupného kyslíku, což vede k hypoxii nebo úplné anoxii v půdním prostředí. Kořeny rostlin vyžadují pro své metabolické procesy, včetně respirace, dostatek kyslíku, jehož přísun je za těchto podmínek omezen. Tento stav zpomaluje nebo úplně zastavuje růst kořenového systému a následně omezuje schopnost rostlin přijímat vodu a živiny. Následkem je snížená transpirace – proces, kterým



rostliny regulují svůj vodní režim. Kromě toho se zhoršuje mechanická stabilita půdy, což může vést k dalšímu poškození kořenového systému a k vyvrácení rostlin.

Dalším důležitým fyzikálním dopadem zaplavení je změna mikroklimatu v postižených oblastech. Zvýšená vlhkost vzduchu omezuje výpar a zhoršuje odvod přebytečné vody z ekosystému.



Obr. 3: Vzniklé vodní plochy na polích znemožňují vjezd agrotechniky a výsev ozimých plodin. Foto: Bleša (10. 10. 2024)

Dlouhodobé zaplavení půdy vede také k degradaci její struktury. Ztráta přirozené pórovitosti omezuje schopnost půdy absorbovat vodu po budoucích srážkách, a tím zvyšuje riziko opakovaných záplav. Po opadnutí vody je půda často náchylná k erozi, vedoucí k odplavování živin a organické hmoty, nezbytné pro udržení úrodnosti. Navíc může dojít k utužení povrchové vrstvy, což dále komplikuje obnovu půdní struktury a regeneraci rostlin. Tento kombinovaný proces půdní eroze a degradace výrazně snižuje její dlouhodobou produktivitu a vyžaduje nákladné meliorační zásahy pro obnovu její původní kvality.

Fyziologie rostlin na zaplaveném stanovišti

Nadbytek vody v substrátu představuje pro fyziologické fungování rostlin výzvu (Obrázek 4). Jedním z nejvýznamnějších stresových faktorů je hypoxie, tedy nedostatek kyslíku v půdě. Při extrémních srážkách bývá půdní prostředí rychle nasyceno, dochází k vytlačování vzduchových kapes z půdy a tím je omezena dostupnost kyslíku pro kořenový systém. Rostliny, které jsou přizpůsobeny aerobním podmínkám, jsou následně nuceny přejít na anaerobní metabolismus. Tento proces je výrazně méně účinný než aerobní respirace z hlediska produkce energie v buňkách kořenů. V důsledku toho je růst rostlin zpomalen a jejich schopnost absorbovat živiny výrazně snížena.

Hypoxie způsobuje stres z nedostatku kyslíku, který má přímý dopad na celkovou energetickou bilanci rostlin. Omezený přístup kyslíku narušuje dýchání rostlin a vede ke snížení tvorby adenosin trifosfátu (ATP), klíčového energetického zdroje buněk. Zároveň je omezená fotosyntéza, protože stresové podmínky v kořenovém systému

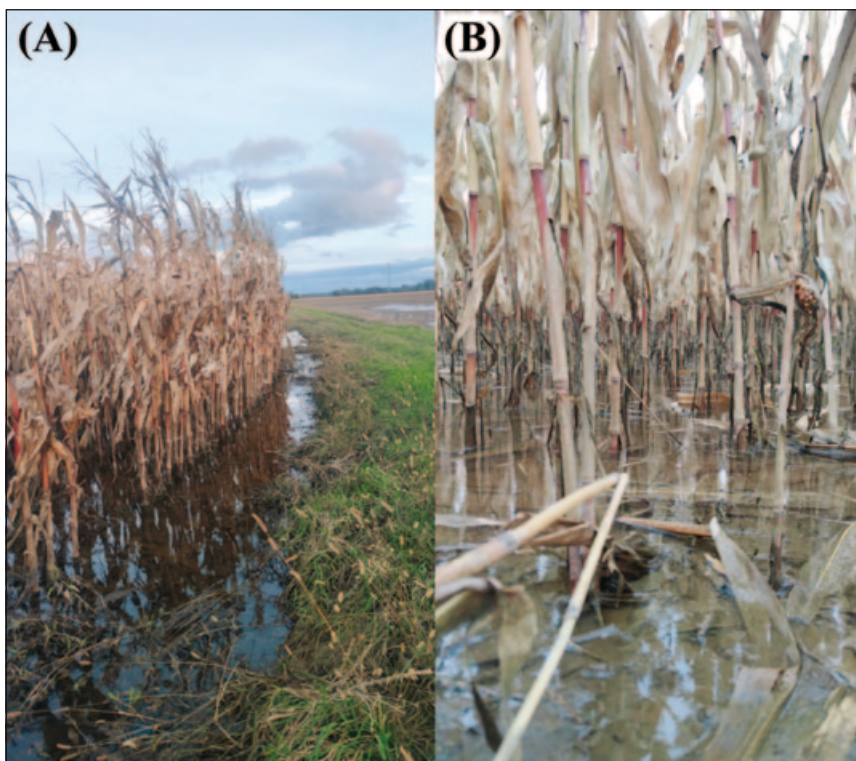
ovlivňují vodní bilanci a transport živin, který ovlivňuje schopnost rostlin syntetizovat organické látky z oxidu uhličitého.

Zaplavení rovněž negativně ovlivňuje samotnou strukturu kořenového systému. Nedostatek kyslíku v půdě a hromadění toxických látek, jako jsou redukované sloučeniny železa nebo sirovodík a narušuje buněčné struktury kořenů. Rostliny v zaplavené vodě vytvářejí nejrůznější adaptace, například tvorbu aerenchymu, růst adventivních kořenů, tvorbu apoplastických bariér apod. Záleží ovšem na rostlinném druhu a fázi vývoje. Kromě toho jsou rostliny v zaplavených oblastech náchylnější k infekcím půdními patogeny, které prosperují v anaerobních podmínkách. Patogeny, jako jsou různé druhy hub a bakterií, napadají oslabený kořenový systém a způsobují snížení vitality rostlin nebo jejich odumření.

V reakci na záplavy rostliny aktivují různé stresové mechanismy. Významnou reakcí rostlin na záplavy je zvýšená produkce fytohormonu ethylenu. Tento hormon hraje klíčovou roli ve zvyšování citlivosti rostlin na stres a může způsobit předčasné stárnutí listů, opadávání květů a snížení celkové vitality rostlin. Ethylen také reguluje růst kořenů a listů, což v kombinaci se záplavovými podmínkami může vést k dalšímu omezení růstu rostlin a jejich adaptivních schopností. Na druhou stranu slouží jako signální molekula pro syntézu nových proteinů v rámci adaptivní odpovědi, které rostlině umožní překonat anaerobiózu.

Chemické změny v půdě

Záplavy výrazně mění chemické vlastnosti půdy, přičemž klíčovou roli hraje pokles redoxního potenciálu. Redoxní potenciál je míra schopnosti půdy přijímat nebo darovat elektrony, a je



Obr. 4: (A) Snímek zaplaveného okraje pole kukuřice (*Zea mays*); (B) přezrálé rostliny kukuřice v zaplavené lokalitě. Foto: Bleša (10. 10. 2024)

úze spojen s přítomností kyslíku. Při zaplavení dochází k rychlému vyčerpání dostupného kyslíku v půdě, což vede k přechodu do redukčních podmínek. Tento pokles redoxního potenciálu mění chování mnoha chemických sloučenin v půdě a způsobuje denitrifikaci – proces, při kterém dochází k redukci dusičnanů (NO_3^-) na plynný dusík (N_2) nebo oxid dusný (N_2O). Dalšími chemickými změnami jsou tvorba toxických látek, jako jsou sulfidy, metan nebo redukované sloučeniny železa a manganu (Fe^{2+} a Mn^{2+}), které mohou být škodlivé pro růst rostlin i pro mikrobiální život v půdě.

Jedním z důsledků dlouhodobého zaplavení půdy je také ztráta živin. Přebytek vody v půdě podporuje procesy vyluhování, při kterých jsou živiny, jako je dusík, fosfor a draslík, vyplavovány z povrchových vrstev půdy. To vede ke snížení jejich dostupnosti pro rostliny a má negativní dopad na jejich růst a výnosy. Změna pH a redoxního potenciálu může mít i za důsledek uvolňování těžkých kovů, jako jsou kadmium, olovo nebo zinek, které byly dříve fixovány v oxidačních formách.

Mikrobiální ekologie a půdní organismy

Přemokření významně ovlivňuje mikrobiální společenstvo v půdě, přičemž jedním z hlavních dopadů je přechod z aerobních na anaerobní organismy. Za normálních podmínek dominují v půdě mikroorganismy, které vyžadují kyslík pro svůj metabolismus, včetně mnoha symbiotických hub a bakterií, jako jsou mykorrhizní houby a dusík fixující bakterie rodu *Rhizobium*. Tyto organismy hrají klíčovou roli v podpoře růstu plodin tím, že zlepšují příjem živin, zejména dusíku a fosforu. Nicméně, během záplav jsou tyto aerobní mikroorganismy vytlačeny anaerobními druhy, které jsou schopné přežít a prosperovat v prostředí s nízkým obsahem kyslíku. To vede k narušení symbiotických vztahů, se všemi důsledky pro ekosystém, například ke snížení dostupnosti živin pro rostliny.

Na druhé straně jsou některé mikroorganismy schopné se přizpůsobit anaerobním podmínkám a hrají důležitou roli při jejich adaptaci. Anaerobní bakterie provádějící denitrifikaci, jsou aktivovány, když v půdě dojde k poklesu kyslíku. Další skupinou významných mikroorganismů jsou methanogenní archaea, která produkují metan (CH_4) jako vedlejší produkt svého metabolismu. Methanogeneze je dalším příkladem přizpůsobení mikroorganismů anaerobním podmínkám, avšak přispívá k uvolňování skleníkových plynů.

Záplavy rovněž vytvářejí příznivé podmínky pro růst mikroorganismů, které mohou vážně ohrozit zdraví rostlin. Anaerobní podmínky snižují odolnost rostlin proti napadení fytopatogenními druhy rodu *Pythium* nebo *Phytophthora*, které způsobují hnilobu kořenů a další choroby rostlin. Tyto patogeny mohou využít oslabené kořenové systémy rostlin vystavených stresu z hypoxie. Půda se tak stává nejen prostředím s omezenými zdroji živin, ale i potenciálním rezervoárem škodlivých organismů, které ztěžují regeneraci porostů po záplavách.

Neméně významné je i přemnožení bodavě-savého hmyzu, tedy komárů, ovádů a muchniček, kteří nemají v těchto zaplavených porostech přirozených nepřátel a často se v teplé vodě masivně rozšiřují jejich množství. Kromě nepříjemňování života člověku a dalším teplokrevným živočichům, jsou přenašeči závažných onemocnění.

Mikrobiální ekologie v zaplavených půdách tak hraje zásadní roli nejen při zhoršování podmínek pro růst rostlin kvůli ztrátě prospěšných organismů a nárůstu patogenů, ale také při chemických změnách, které ovlivňují dlouhodobou kvalitu a produktivitu půdy.

Ekonomické dopady

Záplavy v zemědělských oblastech přinášejí značné ekonomické ztráty, především v podobě nižších výnosů plodin a snížení kvality produkce. Přímé ztráty jsou způsobeny neschopností rostlin efektivně růst v podmínkách s přebytkem vody vedoucí k výraznému poklesu výnosů. Kvalita plodin je také často zasažena – například nadměrná vlhkost zvyšuje riziko napadení plodin plísněmi a patogeny, přičemž snižuje jejich tržní hodnotu. Dalšími faktory je zamezení sklizně zaplavených plodin a nemožnost založení porostů nových (Obrázek 5).

Náklady spojené s obnovou půdy po záplavách jsou rovněž značné. Investice do revitalizace půdy a prevence dalších záplav zahrnují zlepšení drenážních systémů, obnovu půdní struktury, aplikaci hnojiv a dalších prostředků pro navrácení úrodnosti. Z dlouhodobého hlediska mohou opakované záplavy snížit hodnotu zemědělské půdy a zvýšit náklady na pěstování plodin, což ještě více ohrožuje ekonomickou stabilitu farmářů v postižených oblastech.

Biotechnologická řešení, jako je šlechtění plodin tolerantních k hypoxickým podmínkám, mohou zlepšit produktivitu v záplavových oblastech, v současné době se však spíše pozornost



Obr. 5: Víceletý porost vojtěšky seté (*Medicago sativa*) s postupně vysychající vodní plochou. Hnědé části pole jsou shnilé rostliny, které jsou zdrojem infekcí dalších porostů. Samovolná regenerace již není možná. Foto: Bleša (10. 10. 2024)

zaměřuje na odolnost ke stresu z nedostatku vody. Pro dlouhodobou revitalizaci půdy je nezbytná obnova její struktury a chemického složení, včetně aplikace organických hnojiv, mulčování a mikrobiálních aditiv, které podporují regeneraci půdní mikroflóry.

Souhrn

Záplavy mají zásadní dopad na zemědělskou půdu i plodiny, přičemž snižují dostupnost kyslíku v půdě, narušují fyziologii rostlin a vedou ke změnám v chemických vlastnostech půdy. Tyto faktory přispívají k nižším výnosům, vyššímu výskytu chorob a degradaci půdní struktury. Změny v mikrobiálním společenstvu, které se přizpůsobují anaerobním podmínkám, dále zhoršují situaci a podporují růst patogenů, což vede k dlouhodobému snížení produktivity půdy.

S ohledem na budoucí vývoj klimatu, který pravděpodobně přinese více extrémních povětrnostních jevů, jako jsou častější a intenzivnější dešťové srážky, je nutné přizpůsobit zemědělské systémy a strategie na úrovni krajinného plánování. Klíčovými opatřeními jsou zlepšení vodního managementu v krajině, rozvoj biotechnologických řešení a zajištění dlouhodobé revitalizace půdních ekosystémů.

/Recenzováno/

Poděkování

Výsledek vznikl za podpory Ministerstva zemědělství, institucionální podpora MZE-RO1123.

Literatura a odkazy

- Nasyčení půdního profilu – portál Intersucho. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.intersucho.cz/cz/mapy/nasyzeni-pudniho-profilu/>. [cit. 2024-10-09].
- Literatura k tématu je k dispozici u autorů. Přesto přikládáme seznam stěžejních prací, které tvoří základ pro tento článek a poskytují hlubší pohled na problematiku vlivu záplav na půdu a plodiny.
- Conrad, R. (2007). Microbial ecology of methanogens and methanotrophs. *Advances in agronomy*, 96, 1-63.
- Fukao, T., & Bailey-Serres, J. (2004). Plant responses to hypoxia—is survival a balancing act?. *Trends in plant science*, 9(9), 449-456.
- Ricard, B., Couée, I., Raymond, P., Saglio, P. H., Saint-Ges, V., & Pradet, A. (1994). Plant metabolism under hypoxia and anoxia. *PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY-PARIS*, 32, 1-1.
- Sánchez-Rodríguez, A. R., Hill, P. W., Chadwick, D. R., & Jones, D. L. (2017). Crop residues exacerbate the negative effects of extreme flooding on soil quality. *Biology and fertility of soils*, 53, 751-765.
- Unger, I. M., Kennedy, A. C., & Muzika, R. M. (2009). Flooding effects on soil microbial communities. *Applied Soil Ecology*, 42(1), 1-8.
- Unger, I. M., Motavalli, P. P., & Muzika, R. M. (2009). Changes in soil chemical properties with flooding: A field laboratory approach. *Agriculture, ecosystems & environment*, 131(1-2), 105-110.

Cordycipitaceae – méně známé houby agrosystémů jako kandidáti pro biologickou ochranu

(*Cordycipitaceae* – less known fungi of agro-systems as candidates for biological control)

Bleša Dominik, Antalová Zuzana, Matušinský Pavel, Zavřelová Marta
Agrotest fyto, s.r.o., Havlíčkova 2787/121, 76701 Kroměříž

Souhrn: Entomopatogenní houby rodu *Cordyceps* a jejich anamorfní stádia, jako *Beauveria bassiana* a *Lecanicillium lecanii*, jsou přirozenou součástí ekosystémů s vysokou úrovní biodiverzity, a to včetně zemědělských ekosystémů. V takových prostředích se mohou vyskytovat jako přirození regulátoři populací hmyzu. Tato vlastnost hraje klíčovou roli v udržování rovnováhy mezi škůdci a jejich predátory, čímž přispívají ke zdravému fungování ekosystému. Na polích s dostatečnou biodiverzitou se tyto houby mohou rozvíjet jako přirozená biologická agens regulující populaci škůdců, čímž snižují nutnost potřeby chemických pesticidů.

Často je můžeme nalézt jako endofytické organismy v pletivech rostlin, které chrání a podporují jejich růst. Také se stávají důležitou součástí půdního mikrobiomu. Přítomnost těchto hub zvyšuje celkovou odolnost agrosystému, protože zlepšují zdraví rostlin a snižují dopady environmentálních stresů. Výskyt hub rodu *Cordyceps* v produkčních systémech tak podporuje ekologickou stabilitu a dlouhodobou udržitelnost produkce.

Klíčová slova: *Cordyceps militaris*, *Lecanicillium lecanii*, *Beauveria bassiana*, biologická ochrana, endofytismus, biotechnologie, ekologie

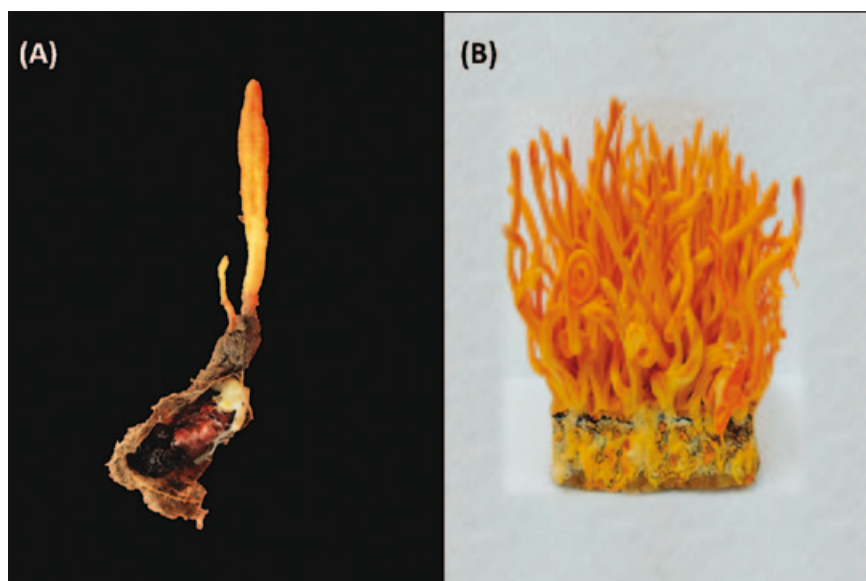
Abstract: Entomopathogenic fungi of the genus *Cordyceps* and their anamorphic stages, such as *Beauveria bassiana* and *Lecanicillium lecanii*, are a natural part of ecosystems with a high level of biodiversity, including agricultural ecosystems. In such environments, they can occur as natural regulators of insect populations. This ability plays a key role in maintaining the balance between pests and their predators, thus contributing to the healthy functioning of the ecosystem. In fields with sufficient biodiversity, these fungi can be used as natural biological agents regulating pest populations, thus reducing the need for chemical pesticides.

They can often be found as endophytic organisms within the plant tissues, protecting and promoting plant growth. They also become an important part of the soil microbiome. The presence of these fungi increases the overall resilience of the agro-system by improving plant health and reducing the impact of environmental stresses. The presence of *Cordyceps* in production systems promotes ecological stability and the long-term sustainability of production.

Key Words: *Cordyceps militaris*, *Lecanicillium lecanii*, *Beauveria bassiana*, biological control, endophytism, biotechnology, ecology

Úvod

Houby rodu *Cordyceps* představují významnou skupinu entomopatogenních hub, které parazitují na hmyzu a dalších členovcích. Tato životní strategie z nich činí atraktivní organismy pro biologickou ochranu rostlin, protože mohou být využity k přirozené regulaci škůdců v zemědělských systémech. *Cordyceps militaris*, stejně jako odvozená anamorfní stádia, včetně druhů jako *Beauveria bassiana* a *Lecanicillium lecanii*, nacházejí uplatnění v biologické ochraně rostlin. *Beauveria bassiana* je například známá svou schopností infikovat širokou škálu škůdců, čímž snižuje závislost na chemických pesticidech a přispívá k udržitelnému zemědělství. Kromě toho některé anamorfní formy těchto hub, například *Lecanicillium lecanii*, mohou působit jako endofyty, kolonizovat rostliny a poskytovat jim ochranu před patogeny i hmyzími škůdci. Tyto houby mohou rovněž stimulovat růst rostlin a zlepšovat jejich odolnost vůči stresovým faktorům, čímž se jejich využití v agrosystémech stává ještě atraktivnějším.



Obr. 1: (A) Oranžové stroma housenice červené nalezené na louce v Bílých Karpatech parazitující na kukle hmyzu (foto: Bleša); (B) ukázka narostlých stromat komerční kultivace in vitro na organickém substrátu. Upraveno z Trung et al. (2024)

Historické zařazení rodu *Cordyceps* bylo v čeledi Clavicipitaceae. Samotný rod zahrnoval přes 400 druhů, které byly rozlišovány na základě morfologických znaků, podobné ekologické charakteristiky, hostitelské specifity a potenciálem pro biotechnologické aplikace. Rod byl také charakterizován produkcí dobře vyvinutých stromat a parazitickým vztahem k členovcům a houbám rodu *Elaphomyces* (rod jelenka). Molekulární fylogenetické analýzy na základě porovnávání více genů odhalily, že *Cordyceps* a Clavicipitaceae nejsou monofyletické, což vedlo k revizi jejich taxonomie. Byly navrženy nové čeledi, včetně Cordycipitaceae (s typovým druhem *Cordyceps militaris*) a Ophiocordycipitaceae, která zahrnuje druhy s tmavě pigmentovanými stromaty (např. *Ophiocordyceps sinensis*). Rovněž byly zavedeny nové rody, jako *Elaphocordyceps* a *Metacordyceps* (Sung et al. 2007).

Houby rodu *Cordyceps* zahrnují pohlavní a nepohlavní fáze s odlišnými ekologickými rolemi funkcí a významem v ekosystémech. Kromě výše zmíněných anamorf *Beauveria bassiana* a *Lecanicillium lecanii* lze v polních ekosystémech nalézt i další anamorfní stádia tohoto druhu, například druhy *Metarhizium*, *Hirsutella*, *Himenostilbe*, *Isaria*, atd. Taxonomie skupiny neustále

prochází revizí v souvislosti s používáním fylogenetických analýz na základě molekulárních metod, které doplňují tradiční metody identifikace, u kterých však bývá obtížné získávání pohlavních stádií z relativně četně se vyskytujících anamorf.

V tomto textu jsou blíže představeny vybrané druhy čeledi Cordycipitaceae. Jako zástupce pohlavního stádia (teleomorfy) *Cordyceps militaris* a za nepohlavní stádia (anamorfy) *Lecanicillium lecanii* a *Beauveria bassiana*.

Cordyceps militaris – housenice červená

Z biotechnologického hlediska zajímavou houbou je druh *Cordyceps militaris* – housenice červená, kterou můžeme nalézt na okrajích lesů, na loukách, v sadech, ale i na polích. Podobně jako housenice čínská (*Ophiocordyceps sinensis*) je housenice červená známá díky svému parazitickému životnímu cyklu na housenkách a jiných hmyzích larvách, a také pro využití v tradiční čínské medicíně. Na rozdíl od housenice čínské, která je endemním druhem vyšších nadmořských oblastí Himalájí, hostitelsky specifickým druhem se statutem ohroženého druhu a nemožností umělé kultivace, má housenice červená svůj areál výskytu na celé severní polokouli, vyznačuje se širším hostitelským spektrem a možností umělé kultivace (Obrázek 1).

Housenice červená patří do řádu Hypocreales v třídě Sordariomycetes. Typickým znakem je tvorba výrazných oranžovočervených plodnic – stromat, které rostou z těla infikovaného hmyzu. Plodnice jsou obvykle štíhlé a válcovité s výraznou hlavicí obsahující perithecia, ve kterých se nacházejí askospory. Housenice červená se vyskytuje v různých klimatických pásech, zejména v lesích a horských oblastech s vysokou vlhkostí. Její přirozené prostředí zahrnuje půdy bohaté na organickou hmotu, kde se může snadno dostat k hostitelskému hmyzu. Housenice červená hraje významnou roli v regulaci populací hmyzích hostitelů, čímž přispívá k udržování ekologické rovnováhy. Přirozeně může například redukovat výskyt housenek v sadech nebo dalších trvalých kulturách. Parazitické houby jako housenice červená pomáhají kontrolovat přemnožení některých druhů hmyzu. Houba může také interagovat s jinými mikroorganismy v půdě, což ovlivňuje složení a funkce mikrobiální komunity (Zhang et al. 2021).

Housenice červená je dlouho využívána v tradiční čínské medicíně pro své léčivé účinky. Obsahuje bioaktivní sloučeniny jako kordycepin (3'-deoxyadenosin), polysacharidy a steroly, které mají různé zdravotní přínosy. Housenice červená se často používá jako doplněk stravy pro zvýšení fyzické výkonnosti, vytrvalosti a energie (Posha et al. 2020). Bylo pozorováno, že zlepšuje kyslíkovou kapacitu a metabolismus. Jednou z hlavních složek, jejíž terapeutická aplikace je zkoumána, je kordycepin, který má protinádorové, antioxidační, protizánětlivé a antimikrobiální vlastnosti (Hoang 2003). V době koronavirové krize byly metabolity housenice čínské zkoumány i pro svůj významný antivirový účinek (Verma et al. 2020; Bibi et al. 2021). Rovněž bylo pozorováno, že housenice červená je schopná vyšší produkce kordycepinu než její ohrožená příbuzná housenice čínská (Kontogiannatos et al. 2021; Raethong et al. 2018). Umělá kultivace housenice červené je tedy ekologičtější. Problémem je však ekonomický faktor, protože sběr housenice čínské je často jedinou formou výtěžku pro obyvatele jinak chudého regionu. Na trhu se cena housenice

činské pohybuje kolem 30 000 Kč za kilogram sušených stromat, naproti tomu stromata housenice červené z různých dálnovýchodních farem i za 2 000 Kč/kg. Je však potřeba prvotní biotechnologická a znalostní investice, kterou ovšem ve zmíněných nejchudších oblastech nemají.

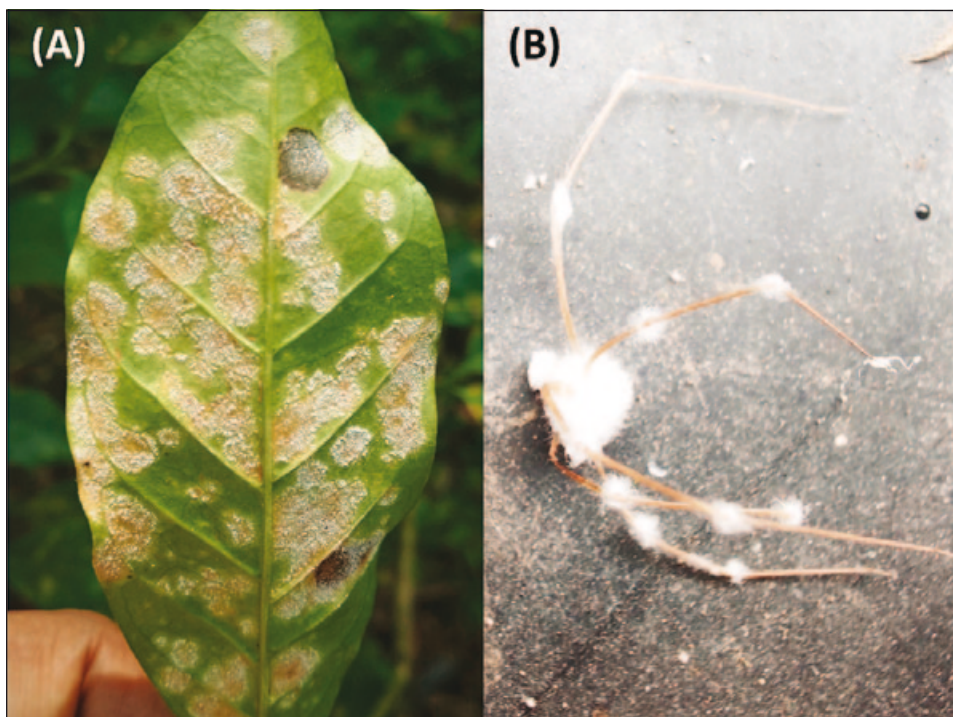
Na rozdíl od některých jiných druhů housenic lze housenici červenou relativně snadno kultivovat *in vitro*. Tato možnost usnadňuje její hromadnou produkci a stabilní produkci bioaktivních sloučenin pro komerční využití. Kultivace zahrnuje pěstování na substrátech bohatých na živiny, jako je rýže, obilí, ale i na slepičích vejcích nebo kuklách bource morušového. Problematická je ovšem z hlediska přerůstání vnitřními parazity nebo komenzály (*Trichothecium* či *Calcisporium*), kteří produkují mykotoxiny a znehodnocují tak výsledné produkty. Předmětem vědeckého zájmu je i schopnost autoregulace, kdy již po jedné sezóně dochází ke ztrátě schopnosti tvořit stromata a postupné degradaci kultur i z biochemického hlediska. Kulturu novou lze získat spojením spor vhodných párovacích typů (ang. mating types; Vu 2023 Hoang 2003; Zu et al. 2023).

Jako entomopatogenní houba má housenice červená potenciál pro využití v biologické ochraně proti hmyzím škůdcům. Používání těchto přírodních houbových antagonistů může být z dlouhodobého hlediska efektivnější než spoléhání se na chemické pesticidy (Kryukov et al. 2014; Kim et al. 2002). V experimentech byl také pozorován herbicidní účinek extraktů z housenic. Sloučenina kordycepin účinně inhibuje růst rostlin, může být proto slibným přírodním zdrojem pro vývoj rostlinných herbicidů. V dávce 0,04 mg/ml vykazoval kordycepin vyšší inhibiční účinnost ve srovnání se syntetickým regulátorem růstu rostlin kyselinou benzoovou (ta je však využívána jako fumigační činidlo). Mechanismus účinku kordycepinu a jeho derivátů na různé plevele však není plně objasněn, přesto byly pozorovány kordycepinem změněné buněčné procesy v cílových rostlinách, jako je inhibice buněčného dělení, snížená propustnost membrán, uzavírání stomat a omezení absorpce živin. Snižuje také obsah chlorofylu a karotenoidů a zároveň zvyšuje obsah prolinu, fenolických látek a flavonoidů (Quy et al. 2019).

Housenice červená je houba s bohatým bioaktivním složením, širokým spektrem farmakologických vlastností a významnou ekologickou rolí. Její snadná kultivace a významné léčivé vlastnosti ji činí předmětem intenzivního vědeckého a komerčního zájmu.

Lecanicillium lecanii

Lecanicillium lecanii, dříve známá jako *Verticillium lecanii*, patří do řádu Hypocreales v třídě Sordariomycetes. Tradičně byla *Lecanicillium lecanii* (anamorfní forma) spojována s teleomorfoou *Cordyceps confragosa*, ale novější výzkumy, zejména na základě molekulární fylogenetiky, vedly k přeřazení do rodu *Akanthomyces*, a tak je dnes správně označení pro tuto houbu *Akanthomyces lecanii*. Tato houba tvoří bílé až nažloutlé kolonie na svých substrátech. Vyznačuje se tvorbou hyalinních konidioforů s lalokovitými spori, které se rozptylují vzduchem.



Obr. 2: (A) Abaxiální (spodní) strana listu kávovníku (*Coffea arabica*) s hyperparazitujícím *Lecanicillium lecanii* na patogenu *Hemileia vastatrix* způsobujícím rez (Das et al. 2024); (B) Častý výskyt *Lecanicillium lecanii* na svlečkách hmyzu i pavoukovců (foto: Bleša)

Lecanicillium lecanii se vyskytuje v různých prostředích, nejčastěji v tropických a subtropických oblastech, ale také i v mírném klimatickém pásu. Houba je entomopatogenní, což znamená, že parazituje na hmyzích škůdcích. Často kolonizuje rostliny a prorůstá půdu ve rhizosféře, načež slouží jako zdroj infekce pro škůdce, jako jsou mšice, molice a třásněnky. Houba infikuje hmyzí hostitele přímým kontaktem (Mirhaghpour et al. 2015; Zibae a Malagoli, 2014). Spory klíčí na povrchu hmyzu, prorůstají do těla a produkují toxiny, které hostitele usmrkují. Tím přispívá k likvidaci škůdců v zemědělství, funguje tedy jako biologické agens (Oliveira et al. 2019). Přípravky s obsahem infekčních částic této houby jsou komerčně dostupné a jsou využívány jako ekologicky šetrná alternativa k chemickým pesticidům. Použití *Lecanicillium lecanii* snižuje potřebu chemických pesticidů, čímž chrání životní prostředí a snižuje riziko vzniku rezistence škůdců na chemické látky. Mechanismus účinku je dán produkcí široké palety enzymů, které negativně ovlivňují imunitní reakce hmyzu, narušují tělní kompartmenty a kutikulu, takže způsobí úhyn přímo nebo umožní propuknutí sekundární infekce (Zhang et al. 2022; Firouzbakht et al. 2015). Jakožto přípravek na bázi živých organismů, je použití a efektivita závislá na podmínkách v období po aplikaci. Využití benefitů biologických agens je spjata se znalostí jejich životních cyklů, ale i cílových organismů – škůdců. Obecnou charakteristikou aplikace houbových organismů do venkovních prostor je snaha vyhnout se přímému slunečnímu záření a suchu, naopak optimální podmínky jsou při zastínění a vysoké vzdušné vlhkosti (Villarreyra et al. 2020).

Houba může také interagovat s jinými mikroorganismy v půdě, což ovlivňuje složení a funkce mikrobiální komunity a podporuje zdraví rostlin. V rostlinách indukuje tvorbu sekundárních metabolitů, které přímo působí proti patogenům a škůdcům, ale také v případě volatálních látek láká přirozené predátory škůdců (Samaal et al. 2023). Symbióza s tímto druhem houby přináší rostlině ochranu před biotickým stresem díky přímému entomopatogennímu charakteru, ale i ochranu před abiotickým stresem produkcí

metabolitů, a také přispívá k celkovému zdraví půdy i díky rozkladu organické hmoty (Xie et al. 2019).

Lecanicillium lecanii má významný potenciál i v biologické ochraně rostlin proti houbovým patogenům. Bylo pozorováno, že inhibuje klíčení konidií různých patogenů, jako jsou *Cercospora arachidicola* a *Phaeoisariopsis personata*, což jsou časté houbové choroby na podzemnici olejné. *Lecanicillium lecanii* je rovněž schopna mykoparazitismu, napadá patogenní houby nebo s nimi soupeří o zdroje, například při napadení kávovníku rzi (Obrázek 2). Dále je známá svou schopností snižovat výskyt rzi *Puccinia arachidis* (patogen podzemnice olejné) tím, že infikuje urediospory tohoto patogenu, čímž zmírňuje jeho dopad na zdraví rostlin (Tounwendsida et al., 2022). Účinnost *Lecanicillium lecanii* jako biologického ochranného činidla je přičítána produkci různých toxinů, včetně cyklosporinu A a dipikolinové kyseliny, které inhibují růst patogenů a podporují odolnost rostlin (Rinika et al., 2023).

Lecanicillium lecanii má potenciál také jako biologický prostředek proti padlí, běžné houbové chorobě rostlin. Bylo pozorováno, že snižuje klíčení konidií padlí *Podospheera xanthii*, které napadá tykvovitě rostliny. Aplikace v kontrolovaných podmínkách, jako jsou skleniky, může snížit výskyt choroby až o 85 %. Samotná účinnost však závisí na teplotě a vlhkosti prostředí, také je neefektivnější při včasné aplikaci. Kombinace s jinými metodami ochrany však může zvýšit jeho úroveň ochrany (Folorunso et al. 2022).

Houba se snadno kultivuje na různých substrátech, což umožňuje její hromadnou produkci pro komerční účely. Kultivační techniky zahrnují pěstování na obilninách a jiných organických materiálech. Komerční produkty obsahující *Lecanicillium lecanii* jsou k dispozici ve formě prášků, granulí a kapalných suspenzí, které se aplikují na plodiny a půdu.

Lecanicillium lecanii má potenciál nejen v regulaci hmyzích škůdců, ale také v ochraně proti patogenům. Díky schopnosti inhibovat růst patogenů, produkovat antimykotické látky a mykoparazitismu může hrát klíčovou roli v udržitelném zemědělství, snižovat používání syntetických fungicidů.

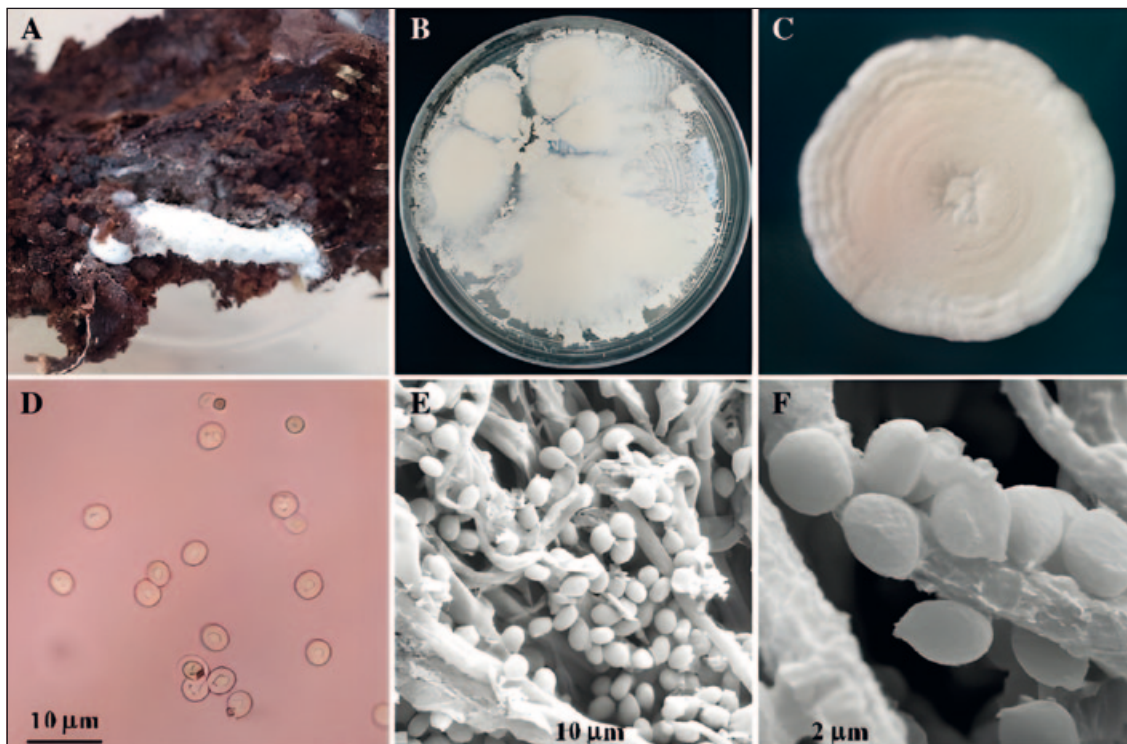
Beauveria bassiana

Patří rovněž do čeledi Cordycipitaceae. Teleomorfní fáze, dříve spojovaná s rodem *Cordyceps* (konkrétně *Cordyceps bassiana*), se v přírodě vyskytuje jen za specifických podmínek a je mnohem vzácnější než anamorfní fáze, která je dominantní i co se týče ekologické role a využití v praxi. *Beauveria bassiana* je intenzivně zkoumaná entomopatogenní houba, která je známá využitím v zemědělství jako biologické ochranné agens a schopností působit jako endofyt.

Životní cyklus *Beauveria bassiana* začíná klíčením konidií (nepohlavních spor) na kutikule hmyzího hostitele (Obrázek 3). Při kontaktu s hostitelem ulpí spory na jeho povrchu, vyklíčí a proniknou kutikulou, a tak dochází k infekci. Houba se pak v hostiteli rozrůstá a nakonec způsobí jeho úhyn produkcí mykotoxinů a enzymů, které rozkládají tkáň hostitele (Dionisio et al., 2016; Zhang et al., 2022). Po úhynu hostitele produkuje *Beauveria bassiana* nové konidie, které se opět uvolňují do prostředí (Shin, 2023).

V zemědělství se *Beauveria bassiana* používá jako prostředek biologické ochrany proti široké škále hmyzích škůdců, včetně druhů *Lepidoptera*, *Coleoptera* a *Thysanoptera*. Její účinnost byla pozorována v různých studiích, kde se ukázalo, že významně snižuje populace škůdců. Bylo například zjištěno, že *Beauveria bassiana* snížila populace třásněnky zahradní (*Thrips tabaci*) o více než 86 % během deseti dnů po aplikaci (Ain et al., 2021). Široké hostitelské spektrum této houby, která ovlivňuje více než 700 druhů hmyzu, z ní činí univerzální nástroj ve strategiích integrované ochrany plodin proti škůdcům (Shin, 2023). Kromě toho byly vyvinuty preparáty s touto houbou zvyšující její účinnost v polních podmínkách, například s použitím tekutých preparátů na bázi bentonitu. Přípravky prokázaly vysokou účinnost proti škůdcům, jako je *Helicoverpa armigera* (Agarwal et al., 2012; Veerwal et al., 2022). V České republice je tato houba v současnosti registrovaná v přípravcích BotaniGard OD, BotaniGard WP a v přípravku Naturalis.

Beauveria bassiana navíc vykazuje endofytický charakter a kolonizuje různé druhy rostlin, aniž by způsobovala jejich onemocnění. Tento endofytismus poskytuje nejen ochranu proti hmyzím škůdcům, ale také stimuluje růst rostlin a zvyšuje toleranci vůči stresu (Daud et al., 2020; Quesada-Moraga et al., 2014). Studie například ukázaly, že *Beauveria bassiana* může endofyticky kolonizovat rostliny kukuřice a banánovníku, čímž jim poskytuje zvýšenou odolnost vůči napadení škůdci (Daud et al., 2020). Také byla pozorována indukce růstu hostitele po umělé inokulaci



Obr. 3: (A) Napadená housenka *Hypsipyla grandella*; (B, C) kultura *Beauveria bassiana* na médiu; (D) konidie *Beauveria bassiana* v optickém mikroskopu; (E, F) snímky konidií *Beauveria bassiana* z rastrovacího elektronového mikroskopu. Převzato z de Castro et al. (2017)

(Liu et al. 2022). Dále byl prokázán vertikální přenos *Beauveria bassiana* prostřednictvím semen, což naznačuje její potenciál pro dlouhodobé strategie ochrany proti škůdcům v plodinách (Quesada-Moraga et al., 2014). Její použití jako prostředku biologické ochrany podporuje její schopnost infikovat širokou škálu škůdců a její prospěšné endofytické vztahy s rostlinami. Některé výzkumy ochrany veřejného zdraví rovněž naznačují účinnost proti larválním stádiím přenašečů malárie, může tedy být dalším směrem ve snahách o eradikaci tohoto významného onemocnění (Tawidian et al. 2023).

Závěr

Představené druhy hub čeledi Cordycipitaceae primárně řadíme mezi entomopatogenní organismy, které mají potenciál pro využití v biologické ochraně rostlin. Tyto houby parazitují na hmyzu a mohou sloužit jako přirození regulátoři populací škůdců, čímž přispívají k udržení ekologické rovnováhy v zemědělských systémech.

Kromě jejich schopnosti regulovat populace škůdců také podporují zdraví rostlin prostřednictvím interakcí s mikrobiálními komunitami v půdě a indukci tvorby sekundárních metabolitů, které chrání rostliny před biotickým a abiotickým stresem. Snadná kultivace housnice červené (*Cordyceps militaris*) in vitro představuje další výhodu, která umožňuje stabilní produkci bioaktivních sloučenin pro využití například ve farmakologii.

Nicméně, ekonomické faktory a potřeba znalostí životních cyklů těchto organismů mohou představovat výzvy pro jejich širší aplikace. Celkově lze říci, že houby čeledi Cordycipitaceae představují slibnou alternativu k chemickým pesticidům a mohou hrát klíčovou roli v ekologicky udržitelném zemědělství.

/Recenzováno/

Poděkování

Výsledek vznikl za podpory Ministerstva zemědělství, institucionální podpora MZE-RO1123 a projektu QL24010008.

Použitá literatura

- Agarwal, R., Anjali, C., Nidhi, T., Sheetal, P., & Deepak, B. (2012). Biopesticidal formulation of *Beauveria bassiana* effective against larvae of *Helicoverpa armigera*. *Journal of Fertilizers & Pesticides*, 3(3).
- Ain, Q., Mohsin, A., Naeem, M., & Shabbir, G. (2021). Effect of entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*, on *Thrips tabaci* Lindeman (Thysanoptera: Thripidae) populations in different onion cultivars. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31(1).
- Bibi, S., Hasan, M. M., Wang, Y.-B., Papadakos, S. P., & Yu, H. (2021). Cordycepin as a promising inhibitor of SARS-CoV-2 RNA-dependent RNA polymerase (RdRp). *Current Medicinal Chemistry*, 28(1), 1-11.
- de Castro, M. T., Montalvão, S. C. L., De Souza, D. A., & Monnerat, R. G. (2017). Ocorrência e patogenicidade de *Beauveria bassiana* à *Hypsipyla grandella* coletada em Brasília. *Nativa*, 5(4), 263-266.
- Das, D. K., Machenahalli, S., Giri, M. S., P. R. A., Rao, N. S., & Shivananna, M. B. (2024). Efficacy of biological agent *Lecanicillium lecanii* for the management of coffee leaf rust in India. *Indian Phytopathology*, 1-8.
- Daud, I., Mustari, K., Baso, A., & Widiyani, N. (2020). Infection

- of *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Pyralidae) by endophytic *Beauveria bassiana* on corn. *Online Journal of Biological Sciences*, 20(1), 1-7.
- Dionisio, G., Kryger, P., & Steenberg, T. (2016). Label-free differential proteomics and quantification of exoenzymes from isolates of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Insects*, 7(4), 54.
- Firouzbakht, H., Zibae, A., Hoda, H., & Sohani, M. (2015). Purification and characterization of the cuticle-degrading proteases produced by an isolate of *Beauveria bassiana* using the cuticle of the predatory bug, *Andrallus spinidens* Fabricius (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of Plant Protection Research*, 55(2), 179-186.
- Folorunso, E. A., Bohata, A., Kavkova, M., Gebauer, R., & Mraz, J. (2022). Potential use of entomopathogenic and mycoparasitic fungi against powdery mildew in aquaponics. *Frontiers in Marine Science*, 9, 992715.
- Hoang, C. (2023). Molecular mechanisms underlying phenotypic degeneration in *Cordyceps militaris*: Insights from transcriptome reanalysis and osmotic stress studies. *bioRxiv*.
- Kim, J. R., Yeon, S. H., Kim, H. S., & Ahn, Y. J. (2002). Larvicidal activity against *Plutella xylostella* of cordycepin from the fruiting body of *Cordyceps militaris*. *Pest Management Science*, 58(7), 713-717.
- Kontogiannatos, D., Koutrotsios, G., Xekalaki, S., & Zervakis, G. (2021). Biomass and cordycepin production by the medicinal mushroom *Cordyceps militaris*—A review of various aspects and recent trends towards the exploitation of a valuable fungus. *Journal of Fungi*, 7(11), 986.
- Kryukov, V. Y., Yaroslavtseva, O. N., Dubovskiy, I. M., et al. (2014). Insecticidal and immunosuppressive effect of ascomycete *Cordyceps militaris* on the larvae of the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata*. *Biological Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 41(2), 276-283.
- Liu, Y., Yang, Y., & Wang, B. (2022). Entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* play roles of maize (*Zea mays*) growth promoter. *Scientific Reports*, 12, 15706.
- Mirhaghparast, S., Zibae, A., Hoda, H., & Sendi, J. (2015). Changes in cellular immune responses of *Chilo suppressalis* walker (Lepidoptera: Crambidae) due to pyriproxyfen treatment. *Journal of Plant Protection Research*, 55(3), 287-293.
- Oliveira, W., Barbosa, F., & Rosalinski-Moraes, F. (2019). Tripanossomose bovina no Brasil. *Revista Acadêmica Ciência Animal*, 17(1), 1.
- Pohsa, S., Hanchang, W., Singpoonga, N., Chairprasart, P., & Taveparapruk, P. (2020). Effects of cultured *Cordyceps militaris* on sexual performance and erectile function in streptozotocin-induced diabetic male rats. *Biomedical Research International*, 2020, 1-10.
- Quesada-Moraga, E., López-Díaz, C., & Landa, B. (2014). The hidden habit of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*: First demonstration of vertical plant transmission. *PLOS One*, 9(2), e89278.
- Quy, T. N., Xuan, T. D., Andriana, Y., Tran, H. D., Khanh, T. D., & Teschke, R. (2019). Cordycepin isolated from *Cordyceps militaris*: Its newly discovered herbicidal property and potential plant-based novel alternative to glyphosate. *Molecules*, 24(16), 2901.
- Raethong, N., Laoteng, K., & Vongsangnak, W. (2018). Uncovering global metabolic response to cordycepin production in *Cordyceps militaris* through transcriptome and genome-scale network-driven analysis. *Scientific Reports*, 8(1).

- Rinika, R., Damayanti, T., Wiyono, S., & Santoso, S. (2023). Effect of endophytic fungi on the ability of *Aphis craccivora* Koch. in transmitting bean common mosaic virus. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1133(1), 012042.
- Samal, I., Bhoi, T. K., Majhi, P. K., Murmu, S., Pradhan, A. K., Kumar, D., et al. (2023). Combatting insects mediated biotic stress through plant associated endophytic entomopathogenic fungi in horticultural crops. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1098673.
- Shin, J. (2023). Encapsulation of the biocontrol agent *Beauveria bassiana* in cellulose nanomaterial-stabilized Pickering emulsion for foliar application. *ACS Agricultural Science & Technology*, 3(10), 894-905.
- Sung, G. H., Hywel-Jones, N. L., Sung, J. M., Luangsa-Ard, J. J., Shrestha, B., & Spatafora, J. W. (2007). Phylogenetic classification of *Cordyceps* and the clavicipitaceous fungi. *Studies in Mycology*, 57, 5-59.
- Tawidian, P., Kang, Q., & Michel, K. (2023). The potential of a new *Beauveria bassiana* isolate for mosquito larval control. *Journal of Medical Entomology*, 60(1), 131-147.
- Tounwendsida, A., Zongo, A., Bawomon, F., & Sankara, P. (2022). Assessing the effects of *Lecanicillium lecanii* in the biological control of early and late leaf spot of peanut in vitro (Burkina Faso, West Africa). *African Journal of Agricultural Research*, 18(1), 1-7.
- Trung, N. Q., Dat, N. T., Anh, H. N., Tung, Q. N., Nguyen, V. T. H., Van, H. N. B., Van, N. M. N., & Minh, T. N. (2024). Substrate influence on enzymatic activity in *Cordyceps militaris* for health applications. *Chemistry*, 6(4), 517-530.
- Veerwal, B., Prasad, A., & Intodia, A. (2022). Development of fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (Balsamo) formulations for control of mosquito larvae in the field. *Ecology Environment and Conservation*, 373-378.
- Verma, A. K., & Aggarwal, R. (2020). Repurposing potential of FDA approved and investigational drugs for COVID-19 targeting SARS-CoV-2 spike and main protease and validation by machine learning algorithm. *Chemical Biology & Drug Design*, 97(5), 836-853.
- Villarreyna, R., Avelino, J., & Cerda, R. (2020). Adaptación basada en ecosistemas: Efecto de los árboles de sombra sobre servicios ecosistémicos en cafetales. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 499-516.
- Vu, T. (2023). Effects of *mat1-2* spore ratios on fruiting body formation and degeneration in the heterothallic fungus *Cordyceps militaris*. *Journal of Fungi*, 9(10), 971.
- Xie, T., Jiang, L., Li, J., Hong, B., Wang, X., & Jia, Y. (2019). Effects of *Lecanicillium lecanii* strain JMC-01 on the physiology, biochemistry, and mortality of *Bemisia tabaci* Q-biotype nymphs. *PeerJ*, 7, e7690.
- Zhang, G., Zhang, J., Yao, Z., Shi, Y., Xu, C., Shao, L., ... Wang, Y. (2022). Time-series gene expression patterns and their characteristics of *Beauveria bassiana* in the process of infecting pest insects. *Journal of Basic Microbiology*, 62(10), 1274-1286.
- Zhang, X. M., Tang, D. X., Li, Q. Q., et al. (2021). Complex microbial communities inhabiting natural *Cordyceps militaris* and the habitat soil and their predicted functions. *Antonie van Leeuwenhoek*, 114, 465-477.
- Zibae, A., & Malagoli, D. (2014). Immune response of *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Crambidae) larvae to different entomopathogenic fungi. *Bulletin of Entomological Research*, 104(2), 155-163.
- Zu, Z., Wang, S., Zhao, Y., Fan, W., & Li, T. (2023). Integrated enzymes activity and transcriptome reveal the effect of exogenous melatonin on the strain degeneration of *Cordyceps militaris*. *Frontiers in Microbiology*, 14.

Charakterizace genotypů ječmene jarního s netypickým zabarvením obilky

(The Characterization of Spring Barley Genotypes with Atypical Color of Caryopsis)

Marta Zavřelová

Agrotest fyto, s.r.o., Havlíčkova 2787/121, 767 01 Kroměříž

Souhrn: V souboru 15 genetických zdrojů ječmene jarního s netypickou barvou zrna byly studovány projevy morfologických znaků se zaměřením na antokyanové zabarvení různých částí rostlin v souvislosti s barvou zrna ve zralosti. Bylo zjištěno, že vysoký obsah antokyanů s barevným projevem v různých pletivech v průběhu vegetace nemá vliv na výslednou barvu zrna. Dále byly hodnoceny vybrané agronomické a kvalitativní parametry. Byla stanovena jejich variabilita a u jednotlivých genotypů byly průměrné hodnoty těchto znaků statisticky porovnány. Všechny sledované genetické zdroje se vyznačovaly nízkou mírou odolnosti k poléhání a nízkým výnosem. Nicméně při hodnocení kvality zrna vynikaly vysokými obsahy bílkovin a β -glukanů. Vysoká kvalita zrna spolu s obsahem různých barviv v zrně předurčuje tyto genotypy pro použití ve zdravé lidské výživě.

Klíčová slova: *Hordeum* L., fenotyp, kvalita zrna, hospodářské znaky

Abstract: In a set of 15 genetic resources of spring barley with atypical color of caryopsis, the expressions of morphological traits were studied with a focus on anthocyanin pigmentation of various plant parts in relation to grain color at maturity. It was found that a high anthocyanin content with visible pigmentation in different tissues during vegetation period does not affect the resulting grain color. Furthermore, selected agronomic and qualitative parameters were evaluated. Their variability was determined, and the average values of these traits for individual genotypes were statistically compared. All monitored genetic resources showed low lodging resistance and low yield. However, when assessing grain quality, they stood out for their high protein and β -glucan contents. This high grain quality, along with the presence of various pigments in the grain, predisposes these genotypes for use in healthy human nutrition.

Key Words: *Hordeum* L., phenotype, grain quality, agronomic traits

Úvod

Ječmen (*Hordeum vulgare* L.) je plodinou, která se uplatňuje při výrobě piva, krmení hospodářských zvířat i ve zdravé lidské výživě. Typické zrno ječmene má žlutou barvu s pluchou pevně spojenou se zrnem. Existují však genetické zdroje s černou, modrou, zelenou, oranžovou a purpurovou barvou zrna. Za netypické zabarvení zrna obilovin jsou zodpovědné anohokyany, melaniny, karotenoidy, fenolové kyseliny a další sloučeniny, které jsou vytvářeny jako sekundární metabolity (Kajla et al., 2023).

Tým autorů Jin et al. (2022) zjistil, že struktura, složení a koncentrace fenolických látek se liší v závislosti na barvě zrna ječmene. Výsledky jeho studie ukázaly, že ječmen s barevným zrnem měl dobrý antioxidační účinek a vysoký obsah fenolických sloučenin, mezi kterými vynikají polyfenoly extrahované z purpurového ječmene a antokyany z černého ječmene. Autoři podobné studie (Dang et al., 2022) pak zjistili, že obsah polyfenolů a antioxidační kapacita byla vyšší u purpurového ječmene než u ječmene s černým zrnem. Oba však měli vyšší hodnoty těchto parametrů ve srovnání se žlutým ječmenem. Tato zjištění naznačují, že barevný ječmen může sloužit jako potravina se zdravotními benefity. Antokyany a proantokynidiny se však nevyskytují jen v zrně ječmene, ale i v jiných částech rostliny jako jsou báze listů, ouška listů, stéblo nebo osiny (Jende-Strid, 2004). Kolektiv autorů Kajla et al. (2023) uvádějí, že hromadění antokyanů je reakcí na různé environmentální stresy, jako je teplota, UV záření, těžké kovy, sucho a odolnost vůči patogenům. Příkladem může být Tibet, kde více než 68 % planého ječmene představuje barevný bezpluchý ječmen, který je známý svou tolerancí vůči místnímu drsnému prostředí. Díky své vysoké diverzitě populace ječmene a její odlišnosti od ostatních genotypů ječmene je Tibet označován za sekundární centrum původu ječmene (Dai et al., 2012). Primárním centrem je pak označována oblast Úrodného půlměsíce.

Ječmen má různé morfologické varianty založené na typu klasu a obilky. Existují dva základní morfotypy založené na počtu řad zrn v klase – dvouřadé (dvě řady v klase) a šestiřadé ječmeny (šest řad v klase). Další klasifikace je založena na přítomnosti různých typů obilky. Většina genotypů má pluchy po dozrání pevně přisedlé k zrně (pluchaté genotypy), ale některé genetické zdroje mají zrno v pluše uloženo volně a po sklizni z ní vypadává (bezpluché genotypy). Tyto odlišné morfotypy mají specifickou hospodářskou hodnotu a mohou být využívány pro různé účely. Šestiřadý ječmen je pěstován po celém světě pro krmné účely za nízkých vstupů a nízkých srážkových úhrnů. Dvouřadý ječmen je obecně šlechtěn na sladovníckou kvalitu a pěstován v systémech s vysokými vstupy. Bezpluchý ječmen je hlavní plodinou pro výživu lidí žijících v horských oblastech (až 4 400 m n. m.), kde žádná jiná plodina nemůže být pěstována, jako je Nepál, horské části Indie, Bhútánu, Číny, Koreje, Japonska a Etiopie (Sun & Wang, 1999; Assefa & Labuschagne, 2004; Manjuntha et al., 2007).

Posouzení rozsahu genetické variability v rámci ječmene je zásadní pro šlechtitelské programy, vědecké práce a také pro uchování genetických zdrojů v rámci genových bank. Tato studie byla provedena za účelem posouzení a vyhodnocení variability vybraných genetických zdrojů s atypickou barvou zrna na základě morfologických, hospodářských, biochemických a kvalitativních vlastností v našich vegetačních podmínkách.

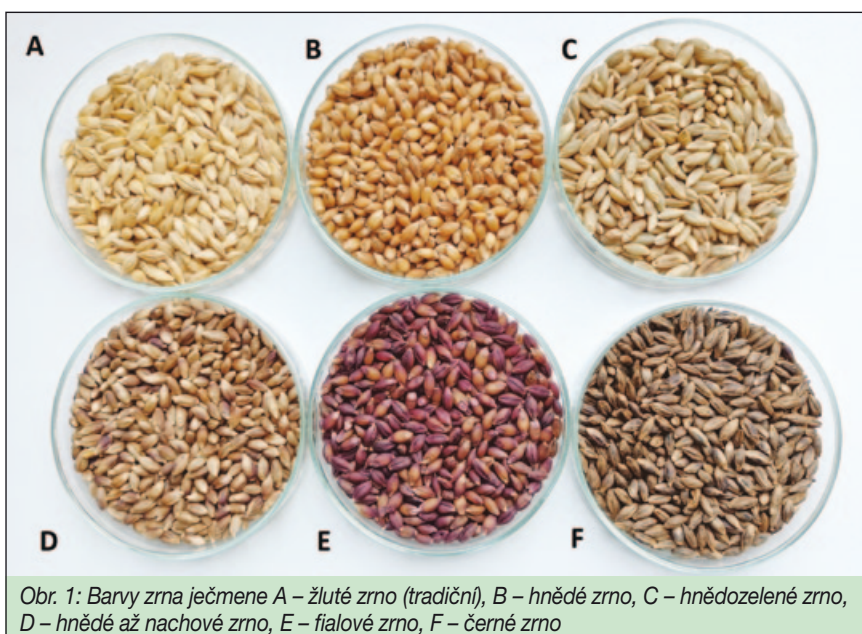
Materiál a metody

V letech 2019–2021 bylo studováno celkem 15 genetických zdrojů ječmene jarního s netypickou barvou zrna (Tab. 1). Osivo jednotlivých genotypů bylo vyseto do parcel o velikosti 2,5 m² v polních podmínkách lokality Kroměříž (průměrná nadmořská výška 235 m n. m.), po předplodině ozimé řepce. Během vegetace nebyly aplikovány žádné fungicidy, ani morforegulátory. V průběhu vegetace byly sledovány vybrané morfologické, hospodářské a kvalitativní parametry. Dle klasifikátoru pro rod *Hordeum* L. byly sledovány následující morfologické a biologické znaky: tvar trsu, barva klasu po vymetání, barva stébla v metání, barva oušek listu, intenzita antokyanového zabarvení osin, barva zrna, výška rostlin, délka klasu, hustota klasu, vegetační doba, odolnost k poléhání. Z hospodářských a kvalitativních vlastností byly sledovány: výnos zrna, počet produktivních odnoží, hmotnost tisíce semen, počet zrn v klase, obsah bílkovin metodou podle Dumase (ICC Standard No. 167) na přístroji FP-528 (LECO). Odolnost poléhání byla hodnocena stupnicí 1–9 (1 – nejnižší odolnost, 9 – nejvyšší odolnost). Délka klasu, počet zrn v klase a hustota klasu byly stanoveny u deseti náhodně vybraných klasů. Výnos zrna byl stanoven jako procentní podíl k výnosu kontrolní odrůdy Bojos.

Výsledky byly statisticky vyhodnoceny v programu Statistica 14.0.0.15.

Tab. 1: Charakteristika studovaných genetických zdrojů ječmene jarního

Genetický zdroj	Původ	Typ klasu	Typ zrna
Freak	USA	šestiřadý	bezpluchý
China 2010 Shungdor E 6-14	Čína	šestiřadý	bezpluchý
China 2010 Lunang 16-41	Čína	šestiřadý	bezpluchý
6-row Purple Barley	neznámý	šestiřadý	bezpluchý
2-row Purple Barley	neznámý	dvouřadý	bezpluchý
Weihenstephaner Schwarze Nackte	Německo	šestiřadý	bezpluchý
China 2011 Kashgar 10-21	Čína	šestiřadý	bezpluchý
Negra Pergamino	Argentina	šestiřadý	pluchatý
Arabian Blue Barley	neznámý	šestiřadý	bezpluchý
China 2009 Rawu 15-35 Gray-brown	Čína	šestiřadý	bezpluchý
China 2012 Xinduqiao 2-8	Čína	šestiřadý	bezpluchý
China 2014 Zhongdian 5-10	Čína	šestiřadý	bezpluchý
China 2014 Wengshui 16-38	Čína	šestiřadý	bezpluchý
China 2014 Tieluo 10-22	Čína	šestiřadý	bezpluchý
China 2014 Jiji 11-24 Short Awn	Čína	šestiřadý	bezpluchý
Bojos (K)	Česká republika	dvouřadý	bezpluchý



Obr. 1: Barvy zrna ječmene A – žluté zrno (tradiční), B – hnědé zrno, C – hnědozelené zrno, D – hnědé až nachové zrno, E – fialové zrno, F – černé zrno

Výsledky a diskuze

Ve sledovaném souboru genetických zdrojů ječmene jarního byla ve třech vegetačních ročnících (2019-2021) pozorována vysoká fenotypová variabilita v rámci vybraných morfologických znaků (Tab. 2). U studovaných genotypů byl zaznamenán pouze vzpřímený nebo velmi vzpřímený tvar trsu. Barva klasu po vymetání byla u většiny materiálů světle zelená, následovaná zelenou barvou klasu. Pouze u materiálů 2-row Purple Barley a Weihenstephaner Schwarze Nackte byla pozorována sivozelená barva klasu, doprovázená slabým ojněním klasu. Dále byla hodnocena barva stébla v metání, kde převažovala zelená barva, následovaná světle zelenou barvou. Genotyp 2-row Purple Barley měl nachovou bázi stébla. Barva oušek listu byla ve většině případů nažloutlá nebo bělavá. Pouze dva materiály

řada genů zapojených do biosyntézy antokyanů identifikována, řada otázek, např. ohledně jejich spojení s barvou zrna, nebyla zatím zcela objasněna.

V případech vybraných hospodářsky významných a kvalitativních parametrů (Tab. 3) byla největší variabilita zjištěna u poléhání ($V_k=81,61\%$), jehož hodnoty se pohybovaly v celé jeho možné škále (1–9). Dalšími znaky s vysokou variabilitou byly počet produktivních stébel ($V_k=38,07\%$), výnos zrna ($V_k=36,98\%$) a hustota klasu ($V_k=30,53\%$). Nejmenší variabilita byla zaznamenána u vegetační doby ($V_k=5,89\%$), i když rozsah jejich hodnot byl relativně velký a pohyboval se od 99 do 123 dní. Na Obr. 2 je znázorněn rozdíl v celkové vegetační době a v počátku metání v porovnání s kontrolní odrůdou Bojos. Je patrné, že převážná většina studovaných genetických zdrojů metala o dva až šest dní dříve a zároveň měla kratší celkovou

Tab. 2: Morfologické charakteristiky studovaných genetických zdrojů ječmene jarního (2019-2021)

Odrůda	Tvar trsu	Barva klasu po vymetání	Barva stébla v metání	Barva oušek listu	Intenzita antokyanového zbarvení osin	Barva zrna
Freak	velmi vzpřímený	světle zelená	světle zelená	nažloutlá	velmi vysoká	hnědá až nachová
China 2010 Shungdor E 6-14	vzpřímený	světle zelená	zelená	nažloutlá	velmi slabá	hnědá
China 2010 Lunang 16-41	velmi vzpřímený	světle zelená	světle zelená	nažloutlá	velmi slabá	hnědá
6-row Purple Barley	velmi vzpřímený	světle zelená	světle zelená	nažloutlá	velmi vysoká	fialová
2-row Purple Barley	vzpřímený	sivozelená	nachová na bázi	slabě červenofialová	velmi vysoká	fialová
Weihenstephaner Schwarze Nackte	vzpřímený	sivozelená	zelená	nažloutlá	velmi vysoká	černá
China 2011 Kashgar 10-21	vzpřímený	světle zelená	světle zelená	bělavá	střední	hnědozelená
Negra Pergamino	vzpřímený	zelená	zelená	bělavá	vysoká	černá
Arabian Blue Barley	velmi vzpřímený	světle zelená	zelená	nažloutlá	vysoká	fialová
China 2009 Rawu 15-35 Gray-brown	vzpřímený	světle zelená	zelená	nažloutlá	slabá	zelenohnědá
China 2012 Xinduqiao 2-8	vzpřímený	světle zelená	zelená	slabě červenofialová	velmi vysoká	hnědá
China 2014 Zhongdian 5-10	vzpřímený	zelená	zelená	nažloutlá	velmi slabá	hnědá
China 2014 Wengshui 16-38	vzpřímený	světle zelená	zelená	bělavá	vysoká	hnědá
China 2014 Tieluo 10-22	vzpřímený	zelená	světle zelená	bělavá	slabá	hnědá
China 2014 Jiji 11-24 Short Awn	velmi vzpřímený	zelená	zelená	bělavá	velmi slabá	hnědá
Bojos (K)	polovzpřímený	zelená	zelená	slabě červenofialová	vysoká	žlutá

měly slabě červenofialová ouška – 2-row Purple Barley a China 2012 Xinduqiao 2-8. V rámci intenzity antokyanového zbarvení osin byly zaznamenány všechny možné projevy tohoto znaku, od velmi slabého až po velmi vysoké. Přehled netypických zbarvení zrna studovaných genotypů ve srovnání s tradiční žlutozrnou odrůdou je znázorněn na Obr. 1. Barva zrna byla nejčastěji hnědá a fialová, dva genetické zdroje měly černou barvu zrna a po jednom pak hnědou až nachovou, zelenou a zelenohnědou. Z Tab. 2 je patrné, že u genotypu 2-row Purple Barley se vysoký obsah antokyanů projevil fialovým zbarvením různých částí rostliny, včetně zrna. Dalo by se očekávat, že i ostatní materiály s fialovým zrnem budou mít vyšší antokyanové zbarvení různých pletiv v průběhu vegetace. Nicméně tyto měly pouze antokyanové zbarvení osin. Naopak kontrolní odrůda Bojos, jako zástupce typických sladovnických ječmenů, měla antokyanové zbarvená ouška listu i osiny, ačkoliv má žluté zrno. To samotné naznačuje existenci více na sobě nezávislých genů ovlivňujících přítomnost antokyanů

v různých pletivech rostliny ječmene. Kolektiv autorů Himi et al. (2012) uvádějí, že geny zodpovědné za syntézu antokyanů a proantokyanidinů se nacházejí na lokusu *Ant* a jsou označovány *Ant1* až *Ant30*. U některých těchto genů byla zjištěna jejich funkce. Gen *Ant1* snižuje obsah antokyanu ve stéble (Himi & Taketa, 2015). Gen *Ant2* reguluje antokyanové zbarvení oušek listu, osin a plev, ale není zapojen do proantokyanidinové pigmentace zrna (Cockram et al., 2010). Gen *Ant18* je zapojen do syntézy jak antokyanů, tak i proantokyanidinu (Kristiansen & Rohde, 1991). Gen *Ant28* specificky reguluje syntézu proantokyanidinu pro barvu zrna a dormanci (Himi et al., 2012). Ačkoliv byla

vegetační dobu, a to o jeden až sedm dní. Pouze tři genetické zdroje původem z Číny (China 2014 Zhongdian 5-10, China 2014 Wengshui 16-38 a China 2014 Jiji 11-24 Short Awn) měly delší vegetační dobu, ale i přesto metaly dříve.

V rámci hodnocení rozdílů mezi jednotlivými materiály v hospodářsky významných a kvalitativních znacích (Tab. 4) se ve výšce rostlin statisticky průkazně odlišily genotypy 2-row Purple Barley a Weihenstephaner Schwarze Nackte s nejmenší výškou rostlin od China 2010 Lunang 16-41 s nejvyššími rostlinami. Mezi genetické zdroje z nejdělsím klasem patřily China 2014 Tieluo 10-22 (7,8 cm) a China 2012 Xinduqiao 2-8 (7,7 cm), které se nejvíce přibližovaly délce klasu kontrolní odrůdy Bojos (8,4 cm). Hustota klasů však byla u těchto genetických zdrojů jedna z nejnižších (28,3 a 25,1 zrn/4 cm). Nejkratší klas měly genotypy Negra Pergamino a China 2014 Wengshui 16-38 (5,1 cm), následované další sběrovou položkou China 2014 Zhongdian 5-10 (5,3 cm). Poslední dva jmenované

Tab. 3: Variabilita hospodářky významných a kvalitativních znaků (Kroměříž, 2019-2021)

Znak	N	Průměr	Minimum	Maximum	Variační koeficient (%)
Výška (cm)	45	84,6	68,0	110,0	11,51
Klas délka (cm)	45	6,3	4,5	8,7	16,69
Klas hustota (zrna/4 cm)	45	30,1	8,6	50,1	30,53
Vegetační doba (dny)	45	107,7	99,0	123,0	5,89
Poléhání (1–9)	45	1,8	1,0	9,0	81,61
Počet produktivních stébel (ks/m ²)	45	320,4	160,0	688,0	38,07
Výnos ke K (%)	45	37,7	11,8	72,0	36,98
Hmotnost tisíce semen (g)	45	37,0	26,1	48,8	12,05
Počet zrn na klas (ks)	45	47,7	15,5	67,8	25,19
Obsah bílkovin (%)	45	17,1	13,4	20,5	8,86

Tab. 4: Průměrné hodnoty a statisticky významné rozdíly sledovaných znaků u jednotlivých genetických zdrojů (Kroměříž, 2019–2021)

Genetický zdroj	Výška (cm)		Klas - délka (cm)		Klas - hustota (zrn/4 cm)		Odolnost poléhání (1-9)		Počet produktivních stébel (ks/m ²)	
	průměr	SEM ¹⁾	průměr	SEM	průměr	SEM	průměr	SEM	průměr	SEM
Freak	91,7 ab ²⁾	10,14	6,4 de	0,19	29,3 cd	0,38	1,7 a	0,67	262,7 a	8,74
China 2010 Shungdor E 6-14	86,7 ab	9,35	6,0 a-d	0,12	32,9 de	2,27	2,0 a	0,58	403,7 ab	97,90
China 2010 Lunang 16-41	98,0 b	8,00	6,3 cde	0,70	36,5 e	0,80	1,5 a	0,50	281,0 ab	69,00
6-row Purple Barley	85,3 ab	6,36	5,4 a-d	0,45	29,7 cd	1,22	1,0 a	0,00	345,3 ab	139,26
2-row Purple Barley	79,3 a	5,70	6,3 cde	0,30	10,4 a	0,29	1,3 a	0,33	366,7 ab	1,33
Weihenstephaner Schwarze Nackte	79,3 a	3,84	7,3 ef	0,30	24,9 bc	0,99	1,0 a	0,00	352,0 ab	32,08
China 2011 Kashgar 10-21	91,3 ab	4,10	7,3 ef	0,44	20,4 b	5,89	1,7 a	0,67	276,0 ab	26,63
Negra Pergamino	81,7 ab	4,37	5,1 a	0,18	32,9 de	0,26	1,3 a	0,33	260,0 a	50,01
Arabian Blue Barley	81,3 ab	6,96	5,5 a-d	0,28	29,3 cd	1,15	1,0 a	0,00	250,7 a	19,64
China 2009 Rawu 15-35 Gray-brown	82,3 ab	4,48	6,3 cde	0,23	30,8 de	0,67	1,0 a	0,00	348,0 ab	96,69
China 2012 Xinduoqiao 2-8	80,3 ab	3,18	7,7 fg	0,61	25,1 bc	0,54	1,7 a	0,67	344,0 ab	74,33
China 2014 Zhongdian 5-10	83,3 ab	6,39	5,3 abc	0,38	46,1 f	1,16	2,7 ab	0,88	404,0 ab	147,02
China 2014 Wengshui 16-38	87,3 ab	1,33	5,1 ab	0,17	47,1 f	1,50	4,7 b	2,19	366,7 ab	108,67
China 2014 Tieluo 10-22	87 ab	6,51	7,8 fg	0,24	28,3 cd	0,99	1,0 a	0,00	250,7 a	10,91
China 2014 Jiji 11-24 Short Awn	82,3 ab	2,33	7,3 ef	0,71	28,7 cd	1,53	2,7 ab	0,89	290,7 ab	66,22
Bojos (K)	86,7 ab	3,53	8,4 g	0,18	12,0 a	0,21	7,7 c	1,33	493,3 b	16,91
Genetický zdroj	Výnos (% ke K)		Hmotnost tisíce semen (g)		Počet zrn v klase (ks)		Obsah bílkovin (%)		Obsah β-glukanů (%)	
	průměr	SEM	průměr	SEM	průměr	SEM	průměr	SEM	průměr	SEM
Freak	38,8 bcd	9,17	37,7 bc	1,34	46,6 bcd	1,37	18,3 ef	0,92	5,3 b-e	0,33
China 2010 Shungdor E 6-14	32,7 abc	1,43	37,7 bc	2,15	56,9 def	2,13	16,8 b-e	0,38	4,6 abc	0,58
China 2010 Lunang 16-41	27,0 ab	5,43	33,4 ab	0,05	57,5 def	7,70	18,0 def	0,35	4,2 abc	0,50
6-row Purple Barley	48,8 d	4,90	38,6 bc	1,66	40,0 b	1,62	17,5 c-f	0,54	5,0 b-e	0,22
2-row Purple Barley	22,0 a	4,12	39,5 bcd	3,18	16,27 a	0,43	19,1 f	0,49	6,0 e	0,84
Weihenstephaner Schwarze Nackte	32,5 ab	4,44	28,0 a	1,62	45,5 bc	2,45	17,4 c-f	0,58	5,8 de	0,56
China 2011 Kashgar 10-21	47,4 cd	4,52	37,8 bc	2,31	47,8 b-e	3,38	15,7 a-d	0,47	5,4 cde	0,58
Negra Pergamino	67,1 e	2,94	44,9 de	1,97	41,7 b	1,11	15,1 ab	0,83	4,1 ab	0,30
Arabian Blue Barley	50,2 d	7,99	38,5 bc	1,12	40,5 b	1,46	17,2 b-f	0,57	5,1 b-e	0,12
China 2009 Rawu 15-35 Gray-brown	33,4 abc	2,22	34,0 b	1,21	48,8 b-e	2,40	15,5 abc	0,77	4,7 bcd	0,46
China 2012 Xinduoqiao 2-8	41,1 bcd	3,75	41,0 cde	2,68	48,3 b-e	4,82	16,9 b-e	1,04	5,1 b-e	0,52
China 2014 Zhongdian 5-10	23,2 a	1,83	36,9 bc	1,15	60,6 f	4,34	18,3 ef	1,17	4,4 abc	0,32
China 2014 Wengshui 16-38	31,9 ab	10,05	36,0 bc	1,40	60,5 f	3,53	17,3 c-f	1,04	4,7 bcd	0,35
China 2014 Tieluo 10-22	39,3 bcd	4,72	36,3 bc	0,94	55,3 c-f	3,59	17,4 c-f	0,81	4,9 b-e	0,18
China 2014 Jiji 11-24 Short Awn	26,4 ab	4,28	34,8 b	1,09	52,5 c-f	7,77	17,2 c-f	0,79	5,5 cde	0,20
Bojos (K)	100,0 f	0,00	46,5 e	3,81	25,5 a	0,91	14,5 a	0,40	3,5 a	0,20

¹⁾ SEM - střední chyba průměru;

²⁾ homogenní skupiny – v rámci stejného znaku označují rozdílná písmena průkaznou diferenci při $P \leq 0,05$ (Fisherův LSD test)

materiály původem z Číny měly zároveň nejvyšší klasy (47,1 a 46,1 zrn/4 cm) a v tomto znaku se statisticky průkazně odlišily od všech ostatních materiálů. Nejmenší hustotu klasu měl genotyp 2-row Purple Barley, který má však dvouřadý klas. Ze šestiřadých ječmenů se nejmenší hustotou klasu vyznačoval materiál China 2011 Kashgar 10-21 (20,4 zrn/4 cm). Všechny sledované genetické zdroje se vyznačovaly nízkou mírou odolnosti k poléhání. Nejlepší odolnost z nich měl materiál China 2014 Wengshui 16-38, a to 4,7 bodu. Nejnížší počty produktivních stébel měly genotypy Arabian Blue Barley (250,7 ks/m²), China 2014 Tieluo 10-22 (250,7 ks/m²), Negra Pergamino (260,0 ks/m²) a Freak (262,7 ks/m²), které se statisticky významně odlišily od kontrolní odrůdy. Největšího počtu produktivních stébel dosáhl materiál China 2014 Zhongdian 5-10 (404,0 ks/m²). Výnos u studovaného souboru se ve většině případů pohyboval po 50% v porovnání s kontrolní odrůdou. Nejvyšší hodnoty dosáhl genotyp Negra Pergamino (67,1%), který se statisticky průkazně odlišil od všech ostatních materiálů.

Nejnižšího výnosu dosáhl genetický zdroj 2-row Purple Barley (22,0 %), který měl však jednu z nejvyšších hodnot hmotnosti tisíce zrn (39,5 g). Mezních hodnot tohoto znaku dosáhly v obou případech genotypy s černým zrnem. Nejnížší hodnotu měl genetický zdroj Weihenstephaner Schwarze Nackte (28,0 g) a nejvyšší hodnotu pak Negra Pergamino (44,9 %). Nejmenší počet zrn v klase měl dvouřadý genetický zdroj 2-row Purple Barley (16,3 zrn), což je dáno typem klasu. Ze šestiřadých materiálů se nejmenším počtem zrn v klase vyznačoval genotyp 6-row Purple Barley (40,0 zrn) a největším materiál China 2014 Zhongdian 5-10 (60,6 zrn).

Důležitými hodnocenými znaky, charakterizujícími kvalitu zrna z pohledu potenciálního využití v potravinářství, byly obsahy bílkovin a β-glukanů. Ve srovnání s kontrolní sladovnickou odrůdou Bojos, která dosáhla v rámci obsahu bílkovin v zrně hodnoty 14,5 %, měly všechny studované genetické zdroje obsah bílkovin vyšší. Mezních hodnot u obou kvalitativních znaků dosáhly stejné genotypy. Materiál Negra Pergamino

měl jak nejnižší obsah bílkovin (15,1 %), tak i nejnižší obsah β -glukanů (4,1 %), zatímco genetický zdroj 2-row Purple Barley měl nejvyšší obsah bílkovin (19,1%) současně s nejvyšším obsahem β -glukanů (6,0 %). Z tohoto pohledu jsou zajímavé i další genetické zdroje, které v sobě kombinují vysoký obsah bílkovin s vysokým obsahem β -glukanů. Jsou jimi Freak (18,3 % bílkovin, 5,3 % β -glukanů), Weihestephaner Schwarze Nackte (17,4 %, 5,8 % β -glukanů) a China 2014 Jiji 11-24 Short Awn (17,2 % bílkovin, 5,5 % β -glukanů).

Závěr

Ve sledovaném souboru byla nalezena vysoká fenotypová variabilita v projevu morfologických znaků. Nicméně u studovaných genetických zdrojů byla prokázána i nízká agronomická hodnota, projevující se nízkou odolností k poléhání, nízkým počtem produktivních stébel, a především nízkým výnosem. Avšak tyto nedostatky mohou být zcela vyváženy jejich specifickou kvalitou zrna vhodnou převážně pro lidskou výživu. Některé genotypy obsahují významně vyšší obsah β -glukanů, které jsou řazeny do rozpustné vlákniny a při jejich konzumaci mají pozitivní vliv na lidské zdraví. Evropský úřad pro bezpečnost potravin (Nařízení Komise č. 432/2012) potvrdil závěry dlouholetých výzkumů, že denní příjem 3 g β -glukanů snižuje hladinu cholesterolu a současně upravuje hladinu glukózy v krvi. Významné obsahy této látky byly u obilovin nalezeny pouze u ovsu a ječmene. Nicméně β -glukany obsahují také některé houby, lišejníky a kvasinky, avšak pro lidský organismus jsou vhodnější a lépe stravitelné β -glukany z obilovin. Kromě β -glukanů byly u všech studovaných genotypů objeveny i vyšší obsahy bílkovin. Tato vysoká nutriční kvalita současně s přítomností různých pigmentů s antioxidačními a jinými prospěšnými účinky, může být podnětem pro větší zájem o tyto genetické zdroje v souvislosti s výrobou potravin s vysokou přidanou hodnotou.

/Recenzováno/

Poděkování

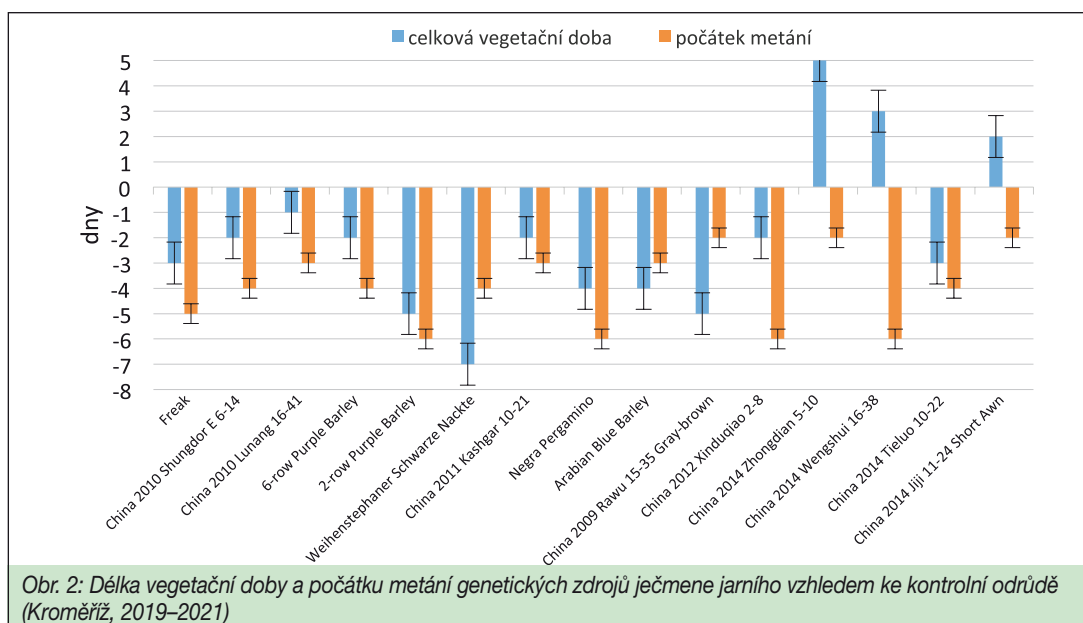
Výsledek vznikl za podpory Ministerstva zemědělství ČR - institucionální podpora MZE-RO1123 a výzkumný projekt č. QL24010230.

Kontakt zavrelova@vukrom.cz

Literatura

Assefa, A., Labuschagne, M.T. 2004. Phenotypic variation in barley (*Hordeum vulgare* L.) landraces from North Shewa in Ethiopia. *Biodivers. Conserv.*, 13, 1441–1451.

- Cockram, J., White, J., Zuluaga, D. L., Smith, D., Comadran, J., Macaulay, M., Luo Z., Kearsey, M.J., Werner, P., Harrap D., et al. 2010. Genome-wide association mapping to candidate polymorphism resolution in the unsequenced barley genome. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 107(50): 21611–21616.
- Dai, F., Nevo, E., Wu, D., Comadran, J., Zhou, M., Qiu, L., Chen, Z., Beiles, A., Chen, G., Zhang, G. 2012. Tibet is one of the centers of domestication of cultivated barley. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 109: 16969–16973.
- Dang, B., Zhang, W.G., Zhang, J., Yang, X.J., Xu, H.D. 2022. Evaluation of nutritional components, phenolic composition, and antioxidant capacity of highland barley with different grain colors on the Qinghai Tibet Plateau. *Foods*, 11, 2025.
- Himi, E., Yamashita, Y., Haruyama, N., Yanagisawa, T., Maekawa, M., Taketa, S. 2012. Ant28 gene for proanthocyanidin synthesis encoding the R2R3 MYB domain protein (Hvmyb10) highly affects grain dormancy in barley. *Euphytica*, 188(1):141–51.
- Himi, E., Taketa, S. 2015. Barley Ant17, encoding flavanone 3-hydroxylase (F3H), is a promising target locus for attaining anthocyanin/proanthocyanidin-free plants without pleiotropic reduction of grain dormancy. *Genome*, 58(1):43–53.
- Jende-Strid, B. 2004. Genetic control of flavonoid biosynthesis in barley. *Hereditas*, 119, 187–204.
- Jin, H.M., Dang, B., Zhang, W.G., Zheng, W.C., Yang, X.J. 2022. Polyphenol and anthocyanin composition and activity of highland barley with different colors. *Molecules*, 27, AN 3411.
- Kajla, P., Chaudhary, V., Dewan, A., Goyal, N. 2023. Colored cereals: Botanical aspects. p. 6. In: Bangar S.P. and Kumar M. (eds.). *Functionality and Application of Colored Cereals – Nutritional, Bioactive, and Health Aspects*, Elsevier, ISBN 978-0-323-99733-1.
- Kristiansen, K., Rohde, W. 1991. Structure of the *Hordeum vulgare* gene encoding dihydroflavonol-4-reductase and molecular analysis of Ant18 mutants blocked in flavonoid synthesis. *Mol. Gen. Genet.*, 230(1–2):49–59.
- Manjunatha, T., Bisht, I.S., Bhat, K.V., Singh, B.P. 2007. Genetic diversity in barley (*Hordeum vulgare* L. ssp. *vulgare*) landraces from Uttaranchal Himalaya of India. *Genet. Resour. Crop. Evol.* 54, 55–65.
- Nařízení Komise (EU) č. 432/2012 ze dne 16. května 2012, kterým se zřizuje seznam schválených zdravotních tvrzení při označování potravin jiných než tvrzení o snížení rizika onemocnění a o vývoji a zdraví dětí.
- Sun, L., and Wang, X. 1999. Genetic diversity of Chinese hull-less barley germplasm and its utilization. *Plant Genet. Resour. Newsl. Med. Sci. Hist. Soc.*, 120, 55–57.



Obr. 2: Délka vegetační doby a počátku metání genetických zdrojů ječmene jarního vzhledem ke kontrolní odrůdě (Kroměříž, 2019–2021)