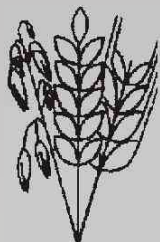
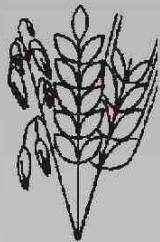




Agrotest fyto, s.r.o.



**Odolnost odrůd a její využití
k snížení škodlivosti padlí ječmene**



Kroměříž, 2010

Doc. Ing. Antonín Dreiseitl, CSc.

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

Odolnost odrůd a její využití k snížení škodlivosti padlí ječmene

Kroměříž 2010

Metodika

- byla zpracována jako jeden z výstupů etapy E-01 „Zdroje odolnosti k obligátním patogenům ječmene“, která byla řešena v rámci výzkumného záměru MSM2532885901 „Optimalizace faktorů trvalé udržitelnosti rostlinné produkce na základě vývoje geneticko-šlechtitelských, diagnostických a rozhodovacích metod“
- byla oponována
Doc. Ing. Pavlem Ryšánkem, CSc., Česká zemědělská univerzita v Praze
Ing. Olgou Dvořáčkovou, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně
- byla certifikována Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským v Brně vydáním osvědčení č. 496-11/KÚ/2010 ze 17. prosince 2010

© Antonín Dreiseitl, 2010

ISBN 978-80-904594-5-8

Obsah

1. Cíl metodiky	4
2. Vlastní popis metodiky	5
2.1. Teoretický základ	5
2.1.1. Ječmen	5
2.1.2. <i>Blumeria graminis</i> f.sp. <i>hordei</i>	5
2.1.2.1. Biologie	5
2.1.2.2. Evoluce	6
2.1.3. Prostředí	9
2.1.4. Padlí ječmene	10
2.1.4.1. Frekvence choroby	10
2.1.4.2. Škodlivost	11
2.1.5. Odolnost ječmene	11
2.1.6. Genofond ječmene a zdroje odolnosti	12
2.1.7. Identifikace genů specifické odolnosti	13
2.1.8. Účinnost odolnosti	13
2.1.8.1. Frekvence virulencí	13
2.1.8.2. Účinnost odolnosti v poli	14
2.1.9. Trvanlivost odolnosti	15
2.2. Aplikační část	16
2.2.1. Doporučení k vyšlechtění odolných odrůd	16
2.2.2. Využití odolnosti registrovaných odrůd	16
2.2.3. Metody prodloužení trvanlivosti odolnosti	17
2.2.4. Závěr	19
3. Srovnání „novosti postupů“	20
4. Uplatnění metodiky	20
5. Ekonomické aspekty	20
6. Seznam použité související literatury	21
7. Seznam publikací, které předcházely metodice	23
Tabulky	

1. Cíl metodiky

Padlí ječmene působí ztráty na kvantitě i kvalitě produkce biomasy. V dosavadní praxi jsou uvažovány především ztráty výnosu a kvality zrna. Napadení ječmene padlím tak snižuje ziskovost výroby ječmene. Ztráty v důsledku napadení padlím lze částečně redukovat aplikací fungicidů, což je drahé opatření, které zvyšuje nákladovost výroby. Navíc je spjata s dalšími negativy, mezi kterými je třeba zmínit především zdravotní rizika, a to pro obsluhu výrobních technologií výrobců fungicidů i aplikačních technologií pěstitelů, ale i pro konzumenty a pro celý ekosystém. Významným faktorem je energetická náročnost vývoje, výroby, distribuce a aplikace fungicidů, a také následný svoz a likvidace obalů, případně dalšího odpadu. Aplikace fungicidů je spjata s větším či menším mechanickým a chemickým narušením porostů a půdy. Přitom účinnost konkrétní aplikace může být v důsledku řady příčin nedostatečná.

Racionální tedy nepochybně je takové opatření, které předejde vzniku choroby. Přesně to je možné díky pěstování odolných odrůd. Cílem předkládané metodiky bylo jak získání nejaktuálnějších poznatků, které podmiňují odolnost jednotlivých odrůd a umožňují její racionální využití, tak i vytvoření uceleného teoretického základu problematiky odrůdové odolnosti, s jakým se dosud běžně nesetkávají ani absolventi univerzitních stupňů vzdělání.

Odrůdy odolné vůči *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* (Bgh) jsou vhodné pro jakýkoli systém hospodaření, neboť předcházejí ztrátám, zlevňují produkci a jsou šetrné k životnímu prostředí. Ze stejného důvodu jsou zvláště vhodné pro rostlinnou produkci s nízkými vstupy (low-input). Nepostradatelné však jsou pro produkci na organických farmách (organic farming), kde je vyloučeno použití chemických přípravků. Odrůdy s odolností vůči komplexu významných patogenů budou nezbytné pro udržitelnou produkci (sustainable production). Při jejich šlechtění tvoří právě odrůdy s odolností k původci padlí významnou základnu ke kumulaci a postupnému získávání odolnosti k ucelenému okruhu významných patogenů (multiple resistance).

2. Vlastní popis metodiky

2.1. Teoretický základ

Padlí, stejně jako jiné choroby, je vyvoláno určitým biotickým činitelem (v daném případě mikroskopickou houbou), která musí mít vhodný zdroj výživy (svého hostitele, kterému tak škodí), která se ale může reprodukovat jen ve vhodných podmínkách prostředí.

2.1.1. Ječmen

Ječmen (*Hordeum vulgare* L.) je hostitelem houby vyvolávající padlí ječmene. Společně s pšenicí (*Triticum aestivum* L.) a dalšími obilninami je součástí evolučně vysoce úspěšné vývojové větve trav (Poaceae). Kulturní ječmen (*Hordeum vulgare* subsp. *vulgare*) vznikl domestikací z planého ječmene (*Hordeum vulgare* subsp. *spontaneum*), k čemuž došlo v jihovýchodní Asii před více než 8 tis. lety (von Bothmer *et al.* 2003). Ječmen se každoročně pěstuje na celkové výměře cca 56 mil. ha, z čehož se více než 50 % pěstebních ploch nachází v Evropě (FAOSTAT).

V České republice má ječmen významné postavení. V letech 2000-2009 byl pěstován na průměrné výměře 0,5 mil. ha (Český statistický úřad), což představuje s ohledem na rozlohu státu zřejmě nejvyšší koncentraci této plodiny ve světě. Z uvedené výměry bylo 25 % oseto ječmenem ozimým. Vysoká koncentrace ploch ječmene a současné pěstování obou růstových typů vytváří mohutný „zelený most“, který danému patogenu umožňuje snadné překonání obou nepříznivých období. V létě jsou již před ukončením vegetace ječmene jarního pro daný patogen k dispozici rostliny z výdrolu ječmene ozimého. Také v zimním období existuje dostatek rostlin této plodiny k snadnému přezimování patogenu, k jeho rychlé reprodukci v předjarním období a k snadnému šíření na porosty ječmene jarního. Při společném pěstování obou růstových typů aktuálně reprezentovaných 56 odrůdami ječmene jarního a 39 odrůdami ječmene ozimého (z toho 15 dvouřadými) je proto ječmen skutečně dobrým hostitelem pro daný patogen vyvolávající padlí ječmene.

2.1.2. *Blumeria graminis* f.sp. *hordei*

Původcem padlí ječmene je anemochorní (vzduchem přenosná) vřeckovýtrusná houba (ascomycotina) *Blumeria graminis* (DC.) E. O. Speer, f.sp. *hordei* emend. É. J. Marchal (anamorfa *Oidium monilioides* Link) (= *Bgh*). Tento patogen napadá pouze ječmen (přesněji, napadá pouze oba výše uvedené poddruhy ječmene). Padlí ječmene se vyznačuje identickými symptomy jako padlí pšenice či padlí jiných obilovin. Původcem padlí jiných obilovin však jsou jiné specializované formy (f.sp.) dané houby, pro které není ječmen hostitelskou plodinou. Proto např. původce padlí pšenice (*B. graminis* f.sp. *tritici*) nedokáže napadnout ani nejnáchylnější odrůdy ječmene a naopak *B. graminis* f.sp. *hordei* nedokáže vyvolat napadení pšenice. Padlí ječmene (i jiných druhů trav) je obligátní parazit, který může ke své výživě využít pouze asimilující části hostitelských pletiv, zvláště listy.

2.1.2.1. Biologie

Teleomorfní (pohlavní, generativní) stadium reprodukce této heterothalické houby (existence somatických hyf + a -) začíná koncem vegetace hostitele, a to diferenciací gametangií, tedy samčího anteridia a samičího askogonu na primárním myceliu. Při plazmogamii dochází k splynutí samčích a samičích buněk a nastupuje dikaryofáze, při které vznikají askální mateřské dvoujaderné buňky (dikaryony) a dvoujaderné sekundární mycelium. Následující diplofáze začíná karyogamií, tedy splynutím obou buněčných jader, vznikají diploidní zygoty a současně se tvoří askokarp (chasmothecium). Diplofáze je ukončena meiotickým (redukčním) dělením, jehož výsledkem jsou haploidní askospory. Na

silně napadeném listu ječmene se mohou vyvinout stovky chasmothecií (drobné tmavě hnědé sférické útvary), v každém je až 30 věceček, každé zpravidla s 8 askosporami, které se po uvolnění šíří vzduchem.

Častější však je anamorfní (nepohlavní či vegetativní) stadium reprodukce. To začíná po dopadu vegetativní (konidie) či generativní (askospora) spory na vhodné (asimilující) pletivo hostitele (ječmen). Konidie vyklíčí, vytvoří se zárodečné vlákno s apresoriem, které slouží k uchycení houby. Z apresoria vyrůstá krátké infekční vlákno, na jehož konci se nachází infekční hrot, kterým houba mechanickým tlakem a enzymatickou aktivitou penetruje do epidermální buňky hostitele. Vytváří se haustorium, což je specializovaný parazitní orgán, který zajišťuje výživu houby na úkor hostitele. V povrchovém myceliu se vytvářejí konidiofory, které jsou zpočátku tvořeny dvěma buňkami. Spodní, cibulovitěho tvaru, se nazývá bazální buňka konidioforu, která se dále nedělí. Horní se nazývá mateřskou buňkou, opakovaně se dělí, čímž vytváří vlastní, poměrně dlouhý nevětvený konidiofor, tvořený postupně dospívajícími konidii. Dospělé konidie se uvolňují, jsou šířeny vzduchem a slouží k reprodukci houby. Z jedné haploidní spory (konidie či askospor) vzniká jedna kolonie (kupka) houby, tvořená hustým myceliem s mnoha konidiofory. Konidie vzniklé v jedné kolonii (kolem $3 \cdot 10^5$) jsou klony daného jedince a jejich genom je identický. Na silně napadeném listu mohou být stovky takovýchto kolonií. Houba se vyznačuje polycyklickou reprodukcí, kdy infekční perioda při anamorfní reprodukci (doba od vytvoření dospělé spory do vytvoření první dospělé spory v následujícím reprodukčním cyklu) trvá v závislosti na teplotě obvykle 5 až 25 dnů.

2.1.2.2. Evoluce

Evolucí je míněn vývoj obecně. Vývoj organismů (přesněji živých soustav), tj. pozvolný proces rozvoje živého světa po vzniku života, představuje biologickou evoluci. Její součástí je makroevoluce, která vede k formování nových biologických druhů a mikroevoluce, která se vyznačuje změnou frekvence alel, které podmiňují určité znaky v populaci daného biologického druhu. Právě mikroevoluci bude věnována následující část.

Hlavním motorem biologické evoluce je koevoluce, při které dochází k interakcím mezi různými druhy (z našeho pohledu především mezi hostitelským a patogenním). Při koevoluci dochází k selekčním tlakům vyplývajícím z interakcí mezi oběma biologickými druhy, kdy evoluční změna určitého znaku jedinců jedné populace je doprovázena evoluční odezvou (evolučním tahem) odpovídajícího znaku druhé populace.

Podstatou proměnlivosti jsou evoluční síly, které řídí evoluci a přizpůsobivost všech organismů (živých soustav). Jejich význam v ochraně rostlin před chorobami spočívá v tom, že podmiňují genetické změny populací patogenů, a to jak k odrůdové odolnosti (rezistenci), tak i k účinným látkám fungicidů. Ze všech typů odolnosti rostlin k původcům chorob dochází k nejrychlejším změnám účinnosti specifické odolnosti.

Bgh je mimořádně přizpůsobivý patogen. Jeho adaptační potenciál je podmíněn působením evolučních sil v podmínkách dlouhého trvání velké populace (z globálního pohledu). Pokud chceme dosáhnout lepšího využití odolnosti odrůd ječmene (hostitele), pak musí být naše pozornost věnována i odpovídajícím znakům na straně *Bgh* (patogenu), tedy virulenci k příslušným odolnostem.

Mutace

Mutace jsou nezastupitelnou evoluční silou, neboť zásadním způsobem generují genetickou variabilitu biologických druhů. Mutace jsou náhlé a trvalé (dědičné) změny organismu, při kterých se mění smysl genetické informace, které však nejsou vyvolány rekombinacemi, ale změnami struktury genetického materiálu, a které respektují pravidla zápisu genetické informace (tedy ne poškození DNA). Jsou vyvolávány mutageny a jsou

nejvýznamnějším zdrojem evolučních novinek na úrovni globální populace daného druhu či specializované formy i na úrovni metapopulací. Jsou základní podmínkou biologické evoluce. Frekvence (počet) mutací daného genu v populaci za jednotku času je vyjádřena mutační rychlostí daného organismu. Bylo zjištěno, že mutační rychlost *Bgh* je pro geny virulence nižší než $2 \cdot 10^{-8}$ (Torp a Jensen 1985). V důsledku mutací dochází mj. i ke změně genů avirulence na geny virulence, kterými patogen dokáže překonat specifickou odolnost příslušných odrůd. Odolnost lze přirovnat k zámku, virulence pak představuje k danému zámku (genu odolnosti) klíč. Jakmile patogen získá příslušnou virulenci (díky mutaci), získá tím pomyslný klíč, kterým „odemkne“ příslušnou odolnost určité odrůdy a vyvolá na ní stejné napadení, jako na odrůdě náchylné.

Způsob reprodukce

Další evoluční silou je způsob reprodukce (množení). Při vegetativní (asexuální) reprodukci *Bgh* dochází k reprodukci geneticky shodných jedinců (klonů), tedy jedinců s identickou asociací alel. Klon je produkován jedincem (uniparentální reprodukce), udržuje stabilní genetickou variabilitu populace a stálou frekvenci alel. Při generativní (biparentální, sexuální) reprodukci dochází ke změnám asociace alel, tedy k jejich rekombinacím (k náhlým a trvalým - míněno dědičným - změnám organismů, které nejsou vyvolány mutacemi). Generativní reprodukce umožňuje vznik nejrůznějších kombinací alel, diverzifikuje danou populaci a je tedy příčinou vzniku a existence mnoha rozdílných genotypů (patotypů). Je zdrojem genetické variability populací, včetně evolučních novinek. V důsledku rekombinací dokáže patogen překonat kombinace genů specifické odolnosti příslušných odrůd a vyvolat na nich napadení.

Bgh se vyznačuje oběma způsoby reprodukce, což je označováno jako smíšená reprodukce. Ta umožňuje využít výhody sexuální i asexuální reprodukce a představuje tak významnou evoluční výhodu tohoto patogenu. Při sexuální reprodukci dochází v jednom ročním cyklu *Bgh* k masové diverzifikaci populace, tedy k tvorbě mnoha jedinců s nejrůznějšími kombinacemi alel. Při asexuální reprodukci dochází k ohromnému namnožení jedinců v jednom reprodukčním cyklu (v jedné kolonii vytvořené z jedné konidie se vytvoří cca 300 tisíc nových konidií, a to v průběhu několika málo týdnů). Během roku prochází *Bgh* mnoha cykly asexuální reprodukce, čímž si neustále udržuje potenciál explozivní reprodukce.

Genový tok

Genový tok zajišťuje přenos genetické variability, např. z místa původní mutace do jiných oblastí, čímž zvyšuje genetický polymorfismus lokálních populací. Překonává „hranice“, které by jinak izolovaly jednotlivé populace daného druhu. Překážky, které neumožňují genový tok, vymezují prostor jednotlivých izolovaných populací (metapopulací) daného druhu. Podstatou genového toku je přenos alel mezi populacemi prostřednictvím migrujících jedinců (proto je také označován jako „genotypový tok“). Genový tok je nejvýznamnějším zdrojem evolučních novinek (mutovaných alel či rekombinovaných asociací alel) na úrovni subpopulací, neboť pravděpodobnost přenosu reprodukované životaschopné mutace je v rámci velké epidemiologické jednotky daleko větší, než pravděpodobnost vzniku takovéto mutace na úrovni jednotlivé lokální populace. Přenášené evoluční novinky také prošly v původní populaci přirozeným výběrem a jsou tedy ve srovnání s původními mutacemi mnohem životaschopnější. Genový tok zmenšuje rozdíly ve frekvenci alel mezi jednotlivými populacemi, neboť zajišťuje šíření genetické variability vzniklé mutacemi či rekombinacemi mezi populacemi v rámci dané metapopulace. Tím dochází k překonání odolnosti příslušných odrůd a k jejich napadení příslušnou chorobou na postupně se rozšiřujícím území.

V Evropě neexistují překážky, které by z hlediska genového toku omezovaly přenos spor *Bgh* vzduchem a rozdělovaly tak tento kontinent na menší izolované populace. Proto celá

Evropa představuje pro *Bgh* jedinou epidemiologickou jednotku (metapopulaci), a to jednotku z globálního pohledu daleko největší, když si připomeneme, že se zde pěstuje více než 50 % světových ploch ječmene. Konidie *Bgh* přežívají v ovzduší až 48 h a během silného větru tak mohou být jedinci dané populace přemístěni až o stovky kilometrů v rámci jednoho vegetativního reprodukčního cyklu. Při velkoplošném pěstování odrůd se stejnou odolností může dojít k rychlému překonání dané odolnosti v důsledku reprodukce virulentních patotypů. Na původně odolné odrůdě tak vzniká mohutný zdroj inokula s příslušnou virulencí, které může být pohybem vzduchu přenášeno i na velké vzdálenosti. Česká republika se nachází v srdci kontinentu, proto je zde genový tok *Bgh* velmi intenzivní. Proto např. překonání odolnosti masově pěstovaných odrůd ječmene jarního obsahujících gen *Mla13* (Dreiseitl a Jørgensen 2000), ke kterému došlo v České republice v r. 1985, vedlo k masové emigraci virulentních jedinců z České republiky, která postihla ve druhé polovině osmdesátých let nastupující a do té doby plně odolné odrůdy ječmene se stejným genem odolnosti ve Švýcarsku a Anglii (Wolfe *et al.* 1992), ale i jinde v Evropě. Samozřejmě že genový tok je obousměrný, a proto odolné odrůdy pěstované na našem území jsou obdobně zranitelné imigrací virulentních jedinců z území jiných, především okolních států, a to zvláště v případech, kdy tam jsou odrůdy se stejnou odolností pěstovány dříve než u nás.

Genetický posun

Genetický posun (genetický drift) představuje náhodnou, tedy nepředpověditelnou změnu frekvence alel v populaci, ke které dojde po drastické redukci velikosti populace v důsledku nepříznivých podmínek (včetně nedostatku zdrojů výživy). Nová populace vzniká z malého počtu individuí (= zakladatelská populace), které „zbyly“ z původní populace. To často způsobuje významné změny ve složení nové populace a současně určuje náhodnost výsledného genetického posunu. V malých populacích může genetický posun vyústit ve fixaci některých alel (dosazení 100 % jejich zastoupení) a tím v rychlé překonání odolnosti příslušných odrůd, nebo naopak k vymizení málo frekventovaných alel a tím k zvýšení odolnosti příslušných odrůd. Genetický posun tak je evoluční silou, která vede k snížení genetické variability populací.

Drastické redukce velikosti populace *Bgh* jsou časté. Dochází k nim pravidelně a velkoplošně v létě a v zimě, a také lokálně, např. po fungicidním ošetření daného porostu či při pěstování odolné odrůdy. K zvláště drastické redukci populace *Bgh* došlo v důsledku enormního vymrznutí hostitelských rostlin ječmene v průběhu zimy 2002/2003, což vedlo ke změně významných charakteristik celé střeoevropské populace patogenu (Dreiseitl 2006a).

Výběr

Výběr má za následek změnu frekvence alel, která je vždy doprovázena snížením genetické variability dané populace. Základním výběrem je výběr přirozený, jehož působením se v organismech kumulují užitečné a výhodné vlastnosti, které jsou vybírány z náhodných mutací, a které jsou účelné (adaptivní) pro jejich nositele. Podstatou přirozeného výběru je nerovnoměrné předávání alel do genofondu následujících generací v důsledku jejich rozdílné zdatnosti (fitness) v daných podmínkách prostředí. V rámci přirozeného výběru existuje výběr pohlavní (k němu dochází při soupeření příslušníků stejného pohlaví o partnery pro rozmnožování - to však není případ rostlinných patogenů) a výběr přírodní, tedy výběr prováděný faktory prostředí, v našem případě tedy geny specifické odolnosti pěstovaných odrůd (ale také účinnými látkami fungicidů po jejich aplikaci na hostitele - ječmen).

Jednotlivé typy výběru mohou existovat v různých formách. Při tvrdém výběru jsou z populace odstraňováni všichni jedinci, kteří neobsahují požadovanou vlastnost (= kritický parametr), např. virulenci k danému genu odolnosti. Při měkkém výběru je z populace eliminován jen určitý podíl jedinců s nejnižší požadovanou úrovní daného znaku (např.

citlivost k fungicidům). Při měkkém výběru neexistuje kritický parametr. Pozitivní výběr vede směrem k evolučním novinkám (k evoluční změně), tedy k fixaci nových genotypů (např. genotypů s novými virulencemi či s novými kombinacemi virulencí), zatímco negativní výběr působí směrem k evoluční neměnnosti (k eliminaci nových genotypů).

Výběr usměrněný - rozhodující typ výběru, např. výběr patogenní populace na odrůdě s genem specifické odolnosti, kdy přežijí a reprodukují se jen jedinci s odpovídající alelou virulence (Dreiseitl 2000a). Tím se zvyšuje frekvence těchto virulencí v populaci patogenu a v důsledku toho klesá odolnost odrůd obsahujících příslušné geny odolnosti. Usměrněný výběr tak je příčinou tzv. „vzestupu a pádu“ odrůd se specifickou odolností (odolné odrůdy s určitým genem odolnosti se rychle rozšíří, tím dojde k intenzivnímu usměrněnému výběru virulentních jedinců, kteří se na odolné odrůdě rychle reprodukují, tím se zvýší jejich zastoupení v populaci patogenu, odolnost odrůdy je překonána a ta je napadena stejně, jako odrůdy neodolné, pěstitelé začnou pěstovat jinou odolnou odrůdu s jiným genem odolnosti a celý cyklus se opakuje). Usměrněný výběr „má na svědomí“ překonání většiny specifických odolností ječmene k původci padlí (Dreiseitl 2003a) a je také příčinou ztráty účinnosti fungicidů.

Výběr neusměrněný - dochází k němu v případech, kdy je alela podléhající usměrněnému výběru spojena (kladně, v takovémto případě hovoříme o asociaci, nebo záporně, pak o disociaci) s jinou alelou. Pokud je sledovaná alela asociována s alelou, která podléhá usměrněnému výběru, v jehož důsledku se zvyšuje její frekvence, pak se současně zvyšuje i frekvence sledované alely (= hitch-hiking efekt, tedy efekt evolučního svezení se, nebo také genetický draft). Překonání odolnosti odrůd v důsledku neusměrněného výběru nebývá zpravidla tak rychlé jako v případě působení výběru usměrněného. Především v důsledku neusměrněného výběru v populaci *Bgh* došlo v polovině osmdesátých let k překonání odolnosti alely *Mla12* odrůdy Zefír, neboť příslušná virulence (*Va12*) byla asociována s virulencí *Va9*, která v té době podléhala intenzivnímu usměrněnému výběru na odrůdě ječmene jarního Spartan s genem odolnosti *Mla9* (Dreiseitl 2000a; b). Odrůda Spartan přitom byla nejrozšířenější odrůdou v historii českého ječmenářství.

Velikost populace

Velikost populace není evoluční silou, významně však ovlivňuje možnosti a rychlost působení evolučních sil, zvláště vznik či výskyt evolučních novinek, které se na daném území nově objevily v důsledku mutací, rekombinací či genového toku. Velikost populace významně ovlivňuje i možnosti výběru, neboť ve velké populaci existuje více evolučních novinek, případně jejich počet je vyšší, než v populaci malé.

Snižování velikosti populací patogenů je přirozený cíl ochrany rostlin vůči chorobám. Pokud dochází k snižování velikosti populace uplatněním agrotechnických opatření, je toto snížení evolučně neutrální (v populaci patogenu nedochází ke změnám frekvence alel). Pokud dochází k snižování velikosti populace v důsledku pěstování odolných odrůd či díky aplikaci fungicidů, jedná se o evoluční tah, na který populace patogenu reaguje, a to směrem k přežití, tedy k evolučně pozitivnímu přizpůsobení se daným podmínkám (odolné odrůdě či danému fungicidu). To vyústí v rychlejší či pomalejší změny frekvence příslušných alel virulence nebo rezistence k účinné látce daného fungicidu.

2.1.3. Prostředí

Každý patogen potřebuje k vyvolání choroby hostitele vhodné podmínky prostředí. *Bgh* je relativně nenáročná houba, která je schopna reprodukce i při nižší vzdušné vlhkosti. Výrazně však zpomaluje reprodukci při teplotách nad 25 °C. Její reprodukce je závislá především na přítomnosti ječmene (nezbytný hostitel) a především na jeho schopnosti vegetovat v daných podmínkách.

Např. v oblasti původu a domestikace ječmene (oblast Úrodného půlměsíce, která se prostírá na částech území Turecka, Izraele, Libanonu, Jordánska, Sýrie, Iráku a Iránu) panují v květnu až říjnu vysoké teploty a díky nedostatku vláhy je tato oblast bez vegetujícího hostitele (ječmen). Takovéto období dokáže *Bgh* překonat pouze prostřednictvím teleomorfního stadia. V následném poměrně dlouhém období listopadu až dubna zde naopak převládají vhodné podmínky s teplotami mezi 5-25 °C a se srážkami umožňujícími vegetaci ječmene. Uvolněné askospory tak mohou i zde každoročně iniciovat silné napadení pěstovaného i planě rostoucího ječmene.

Odlišné podmínky panují např. v oblasti pěstování ječmene na Severoamerickém kontinentu kde panují dlouhé zimy s teplotami i kolem -40 °C. Ozimý ječmen zde nelze pěstovat a ani rostliny z výdrolu ječmene jarního takovéto zimy nepřechkají. Také tyto podmínky dokáže *Bgh* překonat pouze prostřednictvím teleomorfního stadia, a to díky uvolňování askospor v jarním období. Výsev ječmene je možný až koncem dubna či začátkem května. Pěstují se odrůdy s krátkou vegetační dobou (ječmen je označován jako „a hundred days crop“, tedy plodina 100 dnů - od vysetí do sklizně). Brzy po výsevu ječmene nastupují vysoké teploty, proto padlí zde není považováno za významnou chorobu, neboť v takovýchto podmínkách dokáže působit významné napadení ječmene jen výjimečně.

Evropa, a to zvláště její střední a severozápadní část, se vyznačuje vhodnými podmínkami, které umožňují téměř celoroční reprodukci *Bgh*. Podílejí se na tom jak klimatické podmínky (dostatečně vlhká léta umožňující vegetaci ječmene, včetně rostlin z výdrolu, relativně mírné a krátké zimní období), tak i vysoká koncentrace pěstitelských ploch ječmene a společné pěstování obou růstových typů tohoto hostitele. Proto se v Evropě padlí daří a je zde nejčastěji se vyskytující chorobou ječmene.

2.1.4. Padlí ječmene

2.1.4.1. Frekvence choroby

Padlí je významnou chorobou ječmene i v České republice. To je všeobecně známo, proto jsou u nás již několik desetiletí rozvíjeny metody ochrany vůči této chorobě. Přesnější údaje o postavení padlí mezi ostatními chorobami ječmene však nebyly k dispozici.

Dreiseitl a Jurečka (1996) analyzovali záznamy napadení, a to jak odrůd ječmene jarního ve 185 polních pokusech, tak i odrůd ječmene ozimého v 98 pokusech provedených Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským (ÚKZÚZ) v letech 1989-1995 (Dreiseitl a Jurečka 1997). Později Dreiseitl (2003b) prodloužil sledovanou časovou řadu až do r. 2000 s vyhodnocením 320 pokusů s ječmenem jarním a 145 pokusů s ječmenem ozimým. Bylo zjištěno, že 50 % všech epidemií chorob ječmene jarního bylo vyvoláno původcem padlí, 29 % původcem hnědé rzivosti ječmene (*Puccinia hordei*), 12 % původcem hnědé skvrnitosti ječmene (*Pyrenophora teres*) a 9 % původcem spály ječmene (*Rhynchosporium secalis*). Na ječmeni ozimém pak bylo 39 % epidemií vyvoláno původcem padlí a 15 %, 24 % a 21 % dalšími původci chorob ve výše uvedeném pořadí.

Další krok směřoval k analýze výskytu padlí ječmene v ročnicích. Pro tento účel bylo analyzováno 923 pokusů s ječmenem jarním provedených ÚKZÚZ v letech 1971-2000 (Dreiseitl a Jurečka 2003) a 392 pokusů s ječmenem ozimým provedených ÚKZÚZ v letech 1976-2005 (Dreiseitl 2007a). U ječmene jarního byl silný výskyt padlí zjištěn alespoň na jedné ze sledovaných lokalit v každém z 30 ročníků a celkově byl zjištěn v 33 % pokusů. U ječmene ozimého byl silný výskyt zjištěn v 26 z 30 analyzovaných ročníků a celkově v 20 % pokusů.

Posledním krokem bylo porovnání celkového výskytu padlí na obou růstových typech ječmene. K tomu bylo analyzováno 838 pokusů s ječmenem jarním a 334 pokusů s ječmenem ozimým provedených ÚKZÚZ v letech 1976-2005. Bylo zjištěno, že napadení ječmene ozimého dosahuje v průměru 64 % napadení ječmene jarního (Dreiseitl nepublikováno).

Z uvedených analýz vyplývá, že fungicidní ošetření vůči původci padlí má své opodstatnění v průměru u 33 % porostů neodolných odrůd ječmene jarního a u 20 % porostů neodolných odrůd ječmene ozimého.

2.1.4.2. Škodlivost

Při časném výskytu padlí ječmene dochází k ovlivnění všech výnosotvorných prvků. Výrazněji bývá ovlivněn počet odnoží (klasů) na jednotku plochy. V literatuře se uvádí snížení výnosu zrna v důsledku padlí ječmene až o 40 % (Bélanger *et al.* 2002), avšak snížení výnosu přesahující 20 % nebývá časté (i když v maloparcelních pokusech byly zaznamenány i ztráty 100 %, a to u pozdě vyseté náchylné odrůdy s narušenou vzcházivostí v podmínkách vysokého inokulačního potenciálu daného patogenu).

Škodlivost padlí ječmene je v našich podmínkách dána především přítomností této choroby ve všech ročnících a téměř na všech lokalitách (na neodolných odrůdách a samozřejmě při různých hodnotách napadení). V případě padlí ječmene je tak často zaznamenáno nižší procento ztrát na konkrétních honech, ale tyto ztráty jsou působeny na velkých plochách, takže celkové ztráty měřené objemem produkce jsou každoročně vysoké. Choroba působí i ztráty kvality produkce, a to především tím, že zrno z napadených porostů se vyznačuje nižším obsahem škrobu. Ovlivněny mohou být i další parametry technologické jakosti zrna.

Škodlivost choroby se projeví i při fungicidním ošetření, a to hned z několika důvodů. Choroba škodí před aplikací fungicidu a také po uplynutí doby jeho účinnosti. Samozřejmě, že i samotná aplikace fungicidu je ztrátou pro pěstitele, neboť náklady na jeho nákup a aplikaci vynakládá v důsledku dané choroby. V případě, že pěstitel nesleduje aktuální stav výskytu choroby a aplikuje fungicid v závislosti na doporučení k ošetření v určité vývojové fázi porostu, pak často (a jak vyplývá z výše uvedených analýz tak dokonce většinou) aplikuje fungicid zbytečně a tyto náklady zvyšují ztráty související s danou chorobou.

2.1.5. Odolnost ječmene

Existuje několik forem odolnosti ječmene vůči *Bgh* a mnoho synonym či charakteristik, které vystihují jednotlivé formy odolnosti zpravidla jen z určitého dílčího pohledu. Naše pozornost bude zaměřena pouze na dvě nejčastěji uvažované geneticky podmíněné formy odolnosti, jakými jsou rasově specifická (specifická) a rasově nespecifická (nespecifická) odolnost. Každá z těchto dvou forem odolnosti je přítomna ve všech u nás pěstovaných odrůdách ječmene jarního i ozimého.

V současnosti pěstované odrůdy ječmene se vyznačují přítomností jednoho či více genů specifické odolnosti vůči *Bgh*. Geny specifické odolnosti jsou účinné vůči těm jedincům populace patogenu, kteří neobsahují příslušnou virulenci. Tito avirulentní jedinci nemohou na dané odrůdě vyvolat napadení. Konidie avirulentních jedinců na ječmeni vyklíčí, avšak v době před navázáním hostitelsko-parazitního vztahu příslušná penetrovaná buňka ječmene odumře. Tím odolná odrůda zamezí růstu a množení tohoto biotrofního patogenu, který je schopen využít ke své výživě pouze živá pletiva hostitele.

Současné nové odrůdy se často vyznačují specifickou odolností, která je plně účinná vůči celé populaci jedinců daného patogenu a příslušná choroba se v počátečních ročnících pěstování na takovýchto odrůdách vůbec nevyskytuje. V důsledku mutace, genového toku, případně rekombinace se však brzy na daném území objeví patotyp (rasa) s novou vlastností (virulencí). Jedinci patogenu, kteří tuto virulenci obsahují, vyvolají na odrůdě s příslušnou specifickou odolností stejné napadení, jako na odrůdě náchylné a mohou se na dosud nenapadené odrůdě neomezeně množit (reprodukovat). Tím vzniká velký počet vegetativně vytvořených virulentních jedinců dalších generací, zvyšuje se frekvence dané virulence v populaci patogenu a odolnost příslušných odrůd se v důsledku toho rychle snižuje („hroutí“ či „ztrácí“). To platí zvláště o specifických odolnostech odrůd založených na jednom genu, a

o těch specifických odolnostech, které jsou přítomny v jedné či více odrůdách pěstovaných na velkých plochách.

Každá odrůda obsahuje vedle jednoho či více genů specifické odolnosti i soubor genů utvářejících určitou hladinu její nesespecifické odolnosti. Nesespecifická odolnost působí vůči všem jedincům populace daného patogenu, a to tím způsobem, že snižuje infekční frekvenci (snižuje množství vytvořených kolonií z určitého množství spor), prodlužuje latentní periodu (prodlužuje tedy dobu od inokulace do vytvoření 50 % spor) a/nebo snižuje sporulaci patogenu (tedy počet spor vytvořených v jedné kolonii). Takováto odolnost je vždy jen částečná (dílná), neboť „pouze“ zpomalí (omezí) napadení hostitele. Při dostatečné úrovni nesespecifické odolnosti se na takovýchto odrůdách nevytvoří silné napadení a ztráty v důsledku příslušné choroby jsou zpravidla natolik nízké, že se takovouto odrůdu nevyplatí ošetřovat. Cílevědomé šlechtění odrůd s dostatečnou úrovní nesespecifické odolnosti je však obtížné.

2.1.6. Genofond ječmene a zdroje odolnosti k původci padlí

Již na počátku minulého století bylo zjištěno, že i odolnost vůči původcům chorob se řídí Mendlovými zákony dědičnosti. Následně bylo detekováno a využito mnoho zdrojů odolnosti ječmene, které obsahovaly jeden nebo více genů specifické odolnosti vůči *Bgh*. Většina těchto zdrojů byla reprezentována původními krajovými odrůdami (Jørgensen 1994). Práce na využití odolnosti ječmene k vyšlechtění odrůd odolných k původci padlí byly zahájeny před II. světovou válkou, ale rozběhly se až po ní (Brückner 1984). Odolnosti, které byly využity v domácím šlechtění i pěstování ječmene jsou uvedeny v pracích Dreiseitla a Jørgensena (2000) a Dreiseitla (2007b, a další).

Odolnosti obsažené v původních krajových odrůdách byly v důsledku adaptace patogenu brzy vyčerpány. Pozornost se soustředila na planý ječmen (*Hordeum vulgare* subsp. *spontaneum*). Bylo zjištěno, že tento jediný poddruh kulturního ječmene je bohatým zdrojem odolnosti vůči *Bgh* (Jahoor a Fischbeck 1987; 1993; Kintzios *et al.* 1995; Dreiseitl a Bockelman 2003; Dreiseitl a Dinoor 2004; Řepková *et al.* 2006), i vůči některým dalším původcům chorob ječmene, a to zvláště jeho vzorky, pocházející z oblasti Úrodného půlměsíce. Tato oblast se vyznačuje dlouhodobou koexistencí *H. vulgare* subsp. *spontaneum* s původcem padlí ječmene, v důsledku čehož se na straně hostitele uchovalo mnoho odolností. Současně se však na straně patogenu postupně kumuloval vysoký počet odpovídajících virulencí utvářející vysokou komplexitu virulencí dané populace (Dreiseitl *et al.* 2006). Proto jsou vzorky *H. vulgare* subsp. *spontaneum* v dané oblasti často náchylné, i když v jiných částech světa slouží jako zdroje účinné odolnosti. To mj. svědčí o neexistenci genového toku patogenu mezi danou oblastí a zbytkem světa, včetně Evropy. Využití odolnosti *H. vulgare* subsp. *spontaneum* je technicky obtížnější, neboť planý ječmen je velmi vzdálen agronomickým požadavkům na pěstovaný ječmen a technologickým požadavkům kladeným na jeho produkci. Je však stále ještě součástí primárního (tedy nejbližšího) genofondu ječmene.

Menší pozornost byla dosud věnována využití sekundárního genofondu ječmene, jehož jediným zástupcem je *Hordeum bulbosum* L., který však je také slibným zdrojem odolnosti ječmene k *Bgh* (Xu a Kasha 1992; Pickering *et al.* 1995). Odolné deriváty jsou považovány za nejbližší, přesto však již nehostitelské odolnosti. Jejich získání a využití je možné, je však spojeno s překonáním větších technických problémů než při využívání odolností z *H. vulgare* subsp. *spontaneum*.

Ať již budou využívány odolné zdroje z *H. vulgare* subsp. *spontaneum*, nebo deriváty z *H. bulbosum* či jiné zdroje nehostitelské odolnosti, je zřejmé, že účinných odolností k dalšímu rozvoji šlechtění odrůd ječmene odolných vůči *Bgh* existuje dostatek.

2.1.7. Identifikace genů specifické odolnosti

Identifikovat geny specifické odolnosti lze postulací (Brückner 1964; Torp *et al.* 1978; Jensen *et al.* 1992) nebo molekulárními markery (Řepková *et al.* 2009a; b; Řepková a Dreiseitl 2010; Teturová *et al.* 2010). Pokud byl marker pro příslušný gen vyvinut, je jeho použití snadné a rychlé, získaná informace je však úzká. Markery jsou tedy vhodné k detekci jednotlivých genů, tedy k poskytnutí odpovědi, zda je sledovaný gen přítomen. To dostačuje např. ve šlechtění při výběrech početných potomstev po křížení.

Postulace genů je založena na hypotéze „gen proti genu“, tedy na předpokladu, že každému genu specifické odolnosti hostitele odpovídá gen specifické patogenity (virulence) patogenu. Odrůdy, u kterých je třeba identifikovat geny specifické odolnosti, jsou testovány sérií vybraných patotypů (izolátů, jedinců) daného patogenu a získané spektrum reakcí je porovnáno s reakčními spektry standardních odrůd se známými geny specifické odolnosti. Výsledek identifikace odolnosti odrůdy postulační metodou je komplexní, neboť udává, zda příslušná odrůda obsahuje nějakou (jakoukoli) specifickou odolnost, a v kladném případě pak kolika a kterými geny je tato odolnost podmíněna (Dreiseitl a Jørgensen 2000; Dreiseitl a Rashal 2004; Dreiseitl 2007b). Postulační metoda je tak ke skutečné identifikaci genů odolnosti mnohem vhodnější. Touto metodou také byla zjištěna odolnost všech odrůd ječmene registrovaných v České republice (Tab. 1 a 2).

Schopnost identifikace genů odolnosti postulační metodou je přímo úměrná existenci dostupného biologického materiálu, tedy standardních odrůd reprezentujících co nejširší variabilitu specifických odolností daného hostitele i dostupných patotypů, zahrnujících co nejširší variabilitu specifické patogenity daného patogenu. Proto musí být k dispozici pracovní genové banky hostitele i patogenu, které je třeba průběžně aktualizovat novými genotypy obou organismů. V případě patogenu je to jeden z cílů studia populace *Bgh*.

2.1.8. Účinnost odolnosti

Základním požadavkem na odolnost odrůd vůči původcům chorob je její účinnost. Odolnost odrůd je podmíněna geneticky, a to geny specifické i geny nespecifické odolnosti. Účinnost genů specifické odolnosti je dána frekvencí odpovídajících virulencí v populaci patogenu. Účinnost genů nespecifické odolnosti lze zjistit hodnocením odolnosti v poli, pokud ovšem není v dané odrůdě překryta současnou přítomností účinné specifické odolnosti. Skutečná úroveň nespecifické odolnosti odrůdy je tak často zjištěna až po úplném překonání účinnosti specifické odolnosti.

2.1.8.1. Frekvence virulencí

Lze uvést dva modelové příklady účinnosti specifické odolnosti. Nejdříve příklad starší domácí odrůdy ječmene jarního Diamant (která svým morfotypem a dalšími vlastnostmi vyvolala revoluci v domácím i světovém šlechtění ječmene). Odrůda Diamant obsahuje gen specifické odolnosti *Mla8* vůči původci padlí, který se vyznačuje nejúčinnějším reakčním typem 0 (Torp *et al.* 1978). Tento reakční typ vyjadřuje skutečnost, že avirulentní jedinci patogenu nedokáží vyvolat na hostiteli nejen žádné vizuální stopy napadení, ale dokonce ani žádné stopy obranných reakcí, jakými jsou chlorózy či nekrózy. Přesto je odrůda Diamant řazena k nejnáchylnějším. Příčinou její náchylnosti je skutečnost, že v evropské populaci patogenu nebyl zjištěn žádný jedinec s avirulencí ke genu *Mla8*. Všichni jedinci evropské populace patogenu jsou tedy vůči tomuto genu virulentní (frekvence této virulence tedy je 100 %) a na odrůdách s tímto genem (včetně odrůdy Diamant) vyvolávají stejné napadení daným patogenem, jako na odrůdách bez genu odolnosti. Takováto odolnost, podmíněna genem *Mla8*, je tedy zcela neúčinná.

Jako opačný příklad může posloužit ječmen označený SI-1, u něhož byla v letech 2009 a 2010 prověřována účinnost vůči domácí populaci patogenu, a to inokulací 301 izoláty. Mezi

nimi však nebyl zjištěn žádný jedinec virulentní k odolnosti daného ječmene (frekvence této virulence tedy je 0 %). Protože se i tento ječmen vyznačuje reakčním typem 0, nemohly na něm být v uvedených letech zjištěny žádné stopy daného patogenu. Gen odolnosti, jehož účinnost je charakterizována nulovou frekvencí odpovídající virulence, podmiňuje vysokou odolnost příslušných odrůd v poli.

Soubor současných odrůd ječmene registrovaných v České republice obsahuje mnoho specifických odolností. Odrůdová skladba i rozšíření jednotlivých odrůd se velmi rychle mění, proto se mění i účinnost těchto odolností. Frekvence virulencí vůči odolnostem obsaženým v současném sortimentu registrovaných odrůd se vyznačuje maximálním rozpětím hodnot, tedy od 0 % až po 100 %.

Základním požadavkem jakékoli populační studie by mělo být zajištění reprezentativnosti studovaného vzorku. Pro získávání vzorků domácí populace *Bgh* je využíván přístroj k odchytu spor z ovzduší (Dreiseitl a Schwarzbach 1994; Dreiseitl *et al.* 2006; Dreiseitl 2010), kterým je prováděn odchyt spor z území České republiky. Lze předpokládat, že výsledky studia takto získaného vzorku jsou skutečně reprezentativní pro českou populaci patogenu. Tímto způsobem byly zjištěny frekvence virulencí ke všem odolnostem obsaženým v odrůdách ječmene registrovaných v České republice (Tab. 3).

Jak již bylo uvedeno, každá ze současných odrůd ječmene se vyznačuje nejméně jedním genem specifické odolnosti vůči původci padlí. Po vzejití určité odrůdy dopadnou na rostliny spory vyvinuté na rostlinách nejrůznějších odrůd ječmene, které se vyznačují nejrůznějšími virulencemi a kombinacemi virulencí. Na dané odrůdě však může přežít a reprodukovat se pouze ta část populace, která se vyznačuje virulencí ke specifické odolnosti této odrůdy. V dalším reprodukčním cyklu proto vyvolávají chorobu dané odrůdy především jedinci, kteří se na této odrůdě vyvinuli. Ti jsou zpravidla jen v menší míře „doplňováni“ vzduchem přenesenými virulentními jedinci vyvinutými na jiných odrůdách. Mikropopulace příslušného honu se tak v důsledku usměrněného výběru vyznačuje 100 % virulencí právě ke genu (či genům) odolnosti dané odrůdy. Tím je dána specifičnost mikropopulace patogenu na každém jednotlivém honu.

Příslušná virulence (ta, která je nezbytná k přežití a reprodukci jedinců patogenu na dané odrůdě, a která tak podléhá usměrněnému výběru) však je asociována (kladně či záporně) s dalšími virulencemi. Na ty tak působí neusměrněný výběr (genetický draft) a proto je usměrněný výběr doprovázen i změnami frekvence ostatních virulencí. Mikropopulace stejného patogenu, charakterizovaná frekvencemi virulencí, se tak na honech osetých různými odrůdami více či méně liší. Rozdílné frekvence virulencí spolu s velikostí této virulentní části populace pak umožňují silnější či slabší napadení odrůd s příslušnými specifickými odolnostmi.

Studium populace původce padlí ječmene sleduje několik cílů. Tím základním je zjišťování frekvence vybraných virulencí, na jehož základě lze zjistit účinnost specifických odolností a také provádět predikci vývoje účinnosti těchto odolností, tedy odhad možného napadení odrůd v poli, a to zpravidla v horizontu několika let.

2.1.8.2. Účinnost odolnosti v poli

Pro pěstitele je rozhodující aktuální odolnost konkrétních odrůd v poli. Ta je dána účinností jejich genů, a to jak genů specifické odolnosti (ta se odvíjí od frekvence virulencí v dané populaci patogenu), tak i genů nespecifické odolnosti. Odolnost k padlí je v současnosti závislá především na účinnosti genů specifické odolnosti. Díky adaptaci patogenu je tedy proměnlivou charakteristikou odrůd, a proto je třeba ji neustále sledovat. To provádí především Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský a Národní odrůdový úřad a výsledky jsou každoročně zveřejňovány v Seznamu doporučených odrůd. Pokud se při zkoušení sledovaná choroba nevyskytne, jeví se všechny odrůdy jako odolné. Odolnost odrůd

i rozdíly odolnosti mezi nimi se proto dají spolehlivě zjistit jen v podmínkách dostatečného inokulačního potenciálu daného patogenu, tedy v podmínkách, kdy dochází k silnému napadení neodolných odrůd. Takovéto podmínky se však ani u nejčastěji se vyskytující choroby, jakou padlí ječmene je, nevyskytují tak často. Např. u ječmene ozimého bylo uvedeno, že silný výskyt padlí byl zaznamenán „jen“ ve 20 % pokusů, tedy v průměru jen jednou za 5 let, či na jedné z pěti lokalit. Na druhé straně však stanovení odolnosti odrůd na základě úzkého počtu lokalit může vést k vysoké míře ovlivnění výsledku v důsledku nejruznějších chyb při přípravě, provádění a vyhodnocování daných zkoušek. Proto je do hodnocení odolnosti odrůd zahrnován širší soubor zkoušek, tedy i ty s nižším výskytem dané choroby. Tím se však poněkud stírají rozdíly v odolnosti odrůd. K charakterizaci odolnosti se využívají průměrné výsledky nejméně třech ročníků. To oslabuje možnost včasného zachycení změny odolnosti odrůd v důsledku adaptace patogenu. Přesto představuje „Seznam doporučených odrůd“ nejvýznamnější zdroj informací o odolnosti odrůd k chorobám.

Biotrofní patogen, jakým *Bgh* je, vyžaduje k zajištění výživy potřebné k růstu a reprodukci živá hostitelská pletiva. Proto včasná podmínka a orba s dobrým zaklopením rostlin z výdrolu patří k agrotechnickým opatřením zaměřeným i na ochranu ječmene před napadením padlím. Těmito zásahy lze omezit možnost přežití patogenu mezi vegetací ječmene jarního a novými výsevy ječmene ozimého a redukovat tak velikost jeho populace a tedy inokulační potenciál, kterému jsou pěstované odrůdy vystaveny. Při pěstování odolných odrůd jsou však odolné i rostliny z výdrolu, proto z pohledu daného patogenu není třeba podmínku ani orbu provádět.

2.1.9. Trvanlivost odolnosti

Jak již bylo uvedeno, základním požadavkem na odolnost hostitelů vůči původcům chorob je účinnost odolnosti. Požadavek trvanlivosti odolnosti znamená doplnění tohoto základního požadavku o další rozměr, kterým je čas. Trvanlivostí odolnosti se tedy rozumí účinnost odolnosti v čase, tedy v praktické podobě dostatečná účinnost odolnosti odrůdy po dobu mnoha let. Není vítána odolnost, která by sice byla vysoce účinná, ale vůči níž by se patogen dokázal v krátké době plně přizpůsobit, eliminovat ji a danou odrůdu tak z roku na rok „přeměnit“ z plně odolné na zcela náchylnou. Trvanlivost odolnosti je tedy závislá na schopnosti adaptace patogenu k příslušným genům odolnosti. Populace patogenu a její aktuální složení tak je limitem účinnosti a tím i limitem trvanlivosti a praktické životnosti každé odolnosti.

2.2. Aplikační část

2.2.1. Doporučení k vyšlechtění odolných odrůd

Jakákoli doporučení k vyšlechtění nových odrůd odolných k původci příslušné choroby by měla vycházet z aktuálních možností, které skýtají genomy obou organismů v dané epidemiologické jednotce, s přihlédnutím k dalším, např. národním specifikám.

Vyšlechtění odrůdy jakékoli plodiny odolné k určité chorobě je podmíněno především jednoznačnou identifikací původce onemocnění. Stejně důležitou podmínkou je i dostupnost dostatečného počtu účinných zdrojů odolnosti. *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* je jediným a nezaměnitelným původcem padlí. K dispozici je i dostatek originálních zdrojů odolnosti vůči původci této choroby (Dreiseitl a Bockelman 2003, Dreiseitl a Dinooor 2004, Dreiseitl *et al.* 2007 a další).

Šlechtění odrůd ječmene jarního odolných k původci padlí by se mělo i nadále opírat především o využití trvanlivé (nespecifické či dokonce nehostitelské) odolnosti, která je podmíněna zcela jedinečným genem *mlo*. První odrůdy s touto odolností byly registrovány již na sklonku 70. let minulého století (Jørgensen 1992) a nyní existuje mnoho desítek výnosných a kvalitních odrůd, vyznačujících se genem *mlo*. Další využívání této monogenně založené recesivní odolnosti ve šlechtění je proto snadné a šlechtitelé mají možnost výběru z mnoha potenciálních rodičovských odrůd, vyznačujících se vedle samotného genu *mlo* i nejrůznějšími kombinacemi dalších znaků, které umožňují naplňovat specifické šlechtitelské záměry.

U ječmene ozimého se v současnosti jeví jako nejvhodnější cesta k dosažení dostatečné odolnosti odrůd využití komplexu tzv. minor genů. Toto doporučení vychází z několika skutečností. Předně, pro vyšlechtění odrůd ječmene ozimého by neměl být využit jen samotný gen *mlo* (Dreiseitl 2006b). Dále, patogen má na ječmeni ozimém (vzhledem k delšímu vegetačnímu období) mnohem delší dobu k jeho adaptaci ke specifickým odolnostem. V neposlední řadě pak i proto, že po většinu vegetačního období je ječmen ozimý vystaven zpravidla nižšímu inokulačnímu potenciálu patogenu, a proto by i neúplná nespecifická odolnost měla být dostatečně účinná k ochraně před působením daného patogenu. Na jaře, kdy se inokulační potenciál *Bgh* začíná prudce zvyšovat, se již starší rostliny ječmene ozimého vyznačují nižší náchylností (v důsledku nižší infekční frekvence) než vývojově mladší rostliny neodolných odrůd ječmene jarního a podpora této nižší náchylnosti zvýšenou úrovní nespecifické odolnosti by měla být dostatečná i v této části vegetačního období.

Cílevědomé šlechtění odrůd s vyšší nespecifickou odolností však vyžaduje užší vazby mezi šlechtěním a dlouhodobým výzkumem tohoto typu odolnosti. Využití nespecifické odolnosti ječmene ozimého vůči původci padlí ječmene se tak jeví v podmínkách současného systému podpory výzkumu jako nereálné.

Jinou možností je kombinování alespoň dvou plně účinných, monogenně založených odolností v jednotlivých odrůdách. Kombinace takovýchto odolností by měly významně omezit rychlost adaptace patogenu a zajistit tak dostatečné prodloužení účinnosti dosud často jen krátkodobé specifické odolnosti (Dreiseitl a Pařízek 2003) v odrůdách ječmene ozimého. Současné technické prostředky umožňují takovéto cílevědomé a relativně snadné řešení.

2.2.2. Využití odolnosti registrovaných odrůd

Většina současných odrůd ječmene jarního (29 + jedna ze dvou linií odrůdy Respekt) obsahuje gen rezistence *mlo* k původci padlí. Tento gen se vyznačuje úplnou účinností (s výjimkou mimořádných situací spojených se stresem rostlin) a vyznačuje se i trvanlivostí účinnosti dané odolnosti. Proto je v daném případě příslušná informace, tedy zda daná odrůda obsahuje gen odolnosti či ne, klíčová. Pokud je u příslušné odrůdy zjištěn gen *mlo*, pak nejsou potřebná jakákoli další sledování výskytu padlí, ani jakákoli další opatření k ochraně porostů

před napadením tímto patogenem. Detekce genu *mlo* je tak v současnosti v sortimentu odrůd ječmene jarního klíčovou informací.

Všechny ostatní odrůdy ječmene jarního a všechny odrůdy ječmene ozimého obsahují alespoň jeden gen specifické odolnosti s rozdílnou účinností k původci padlí ječmene. Účinnost těchto genů závisí především na frekvenci odpovídajících virulencí, ale také na reakčním typu, který je charakteristický pro každý jednotlivý gen. Zjišťování všech těchto tří charakteristik (identifikace genů odolnosti, a to včetně genu *mlo*, zjišťování reakčního typu každého genu a zjišťování frekvence virulence ke každému ze zjištěných genů odolnosti) je každoročně prováděno v sídle vydavatele této metodiky (Agrotest fyto, s.r.o.).

Aktuální výsledky identifikace odolností ve všech v České republice registrovaných odrůdách ječmene jarního a ječmene ozimého jsou uvedeny v Tab. 1 a 2 této metodiky. Aktuálně zjištěné frekvence virulencí ke všem odolnostem zjištěným v registrovaných odrůdách ječmene jsou uvedeny v Tab. 3. Účinnost jednotlivých odolností s ohledem na zjištěnou frekvenci příslušné virulence je uvedena v Tab. 4. Pokud odrůda obsahuje více odolností, lze frekvenci virulencí určit jako podíl součinu příslušných frekvencí (např. odrůda ječmene jarního Akcent obsahuje odolnosti Ly a La, vůči nimž byly zjištěny frekvence virulencí 75 % a 40 %; výsledná frekvence virulencí k odolnosti odrůdy Akcent tak činí $75 \times 40 / 100 = 30 \%$). Zjišťování odolností přítomných v registrovaných odrůdách a kvantifikace odpovídajících virulencí umožňuje predikci vývoje účinnosti odolnosti každé jednotlivé odrůdy. Informace o pěstebních plochách daných odrůd (příslušné údaje jsou uváděny v "Seznamu doporučených odrůd") tuto predikci dále zpřesňují.

Významným zdrojem informací o odolnosti odrůd je zmíněný "Seznam doporučených odrůd". V něm jsou mj. uváděny údaje o odolnosti vybraných odrůd (v r. 2010 u 23 z 56 odrůd ječmene jarního a u 23 z 39 odrůd ječmene ozimého). Tato důležitá informace je získávána na základě hodnocení napadení odrůd v poli. Je tedy výsledkem účinnosti genů specifické i nespecifické odolnosti odrůdy, inokulačního potenciálu daného patogenu a daných podmínek prostředí. "Průměrování" odolnosti odrůd na souboru lokalit, včetně těch s nižším výskytem patogenu, poněkud stírá rozdíly mezi odrůdami. Průměry ročníků (nejméně třech) zase stírají případný pokles odolnosti v důsledku adaptace patogenu. Přesto jsou informace o odolnosti odrůd ječmene, které jsou obsaženy v Seznamu doporučených odrůd, a to zvláště v návaznosti na charakteristiku odolnosti proti chorobám (v "Seznamu... 2010" je uvedena na s. 7 a 8) pro pěstitele velmi cenné. Podmínkou však je využívání aktuálních informací. Tyto "Seznamy..." jsou vydávány včas, tedy zpravidla před či na začátku vegetačního období příslušného roku.

2.2.3. Metody prodloužení trvanlivosti odolnosti

Požadavek na dostatečnou trvanlivost odolnosti v současnosti převyšuje nad požadavkem na její účinnost. V případě odrůd, které jsou tvořeny jednou linií a obsahují jeden gen specifické odolnosti k patogenu vyznačujícím se schopností rychlé adaptace, se neustále opakuje stejný scénář. Odolná odrůda (či odrůdy se stejným genem odolnosti) se v praxi rychle rozšíří, patogen dostane šanci k rychlé adaptaci, dané odolnosti se přizpůsobí, původně odolná odrůda se stane náchylnou a pěstitelé začnou pěstovat jinou odolnou odrůdu. Tento fenomén se označuje jako „cyklus vzestupu a pádu odrůd“ (boom and bust cycle). Odrůda je dostatečně odolná v prvních letech jejího pěstování, kdy se rozšiřuje a zaujímá malé pěstební plochy. V době, kdy je již rozšířena, se její odolnost v důsledku adaptace patogenu „zhroutí“. Příslušná odolnost (gen specifické odolnosti) tedy v takovýchto případech chrání jen malé plochy porostů v době rozšiřování nové odrůdy, zatímco v době rozšíření této odrůdy již často příslušná odolnost není účinná a velké pěstební plochy tak zaujímá sice stejná, nyní však již náchylná odrůda. Navíc, pěstování žádné odrůdy nelze z praktických důvodů z roku na rok

zcela zastavit. Proto i po překonání odolnosti takovéto odrůdy dochází k jejímu dalšímu, i když zpravidla rychle se snižujícímu pěstování.

K prodloužení trvanlivosti specifických odolností (tedy k prodloužení účinnosti odolnosti, neboli ke zpomalení procesu „ztráty“ odolnosti) bylo navrženo několik možných postupů. Jedním z nich je snaha o využití komplexnosti genetického základu odrůd, a to kombinováním či navršováním (pyramiding) více genů odolnosti v jednorodinné odrůdě s cílem oddálit adaptaci patogenu. Nové odrůdy by se podle této koncepce měly vyznačovat rozdílnými kombinacemi plně účinných odolností. To klade vysoké nároky na dostupnost a využitelnost početných zdrojů odolnosti. Cílem je vyšlechtit odrůdy, které by si uchovaly účinnou odolnost po dobu jejich přirozené životnosti (u ječmene a u obilnin obecně přibližně 10 let).

Další opatření k prodloužení trvanlivosti odrůdové odolnosti jsou zaměřena na zvýšení vnitrodruhové diverzity (diverzifikace dané plodiny - zvýšení její genetické rozmanitosti, tedy snížení genetické uniformity rostlin dané plodiny). Jednou z možností je šlechtění a pěstování víceliniových odrůd (odrůdy nejsou tvořeny jednou, ale několika liniemi, z nichž každá obsahuje jiný gen odolnosti; linie, u kterých dojde v důsledku adaptace patogenu k překonání jejich odolnosti, mohou být postupně vyřazovány). K nevýhodám tohoto opatření patří skutečnost, že vyšlechtění takovýchto odrůd je mnohem dražší, proto by se víceliniové odrůdy měly pěstovat po delší dobu. To by samotná jejich odolnost umožňovala, avšak konzervativnost takovýchto odrůd z hlediska agronomických a technologických charakteristik by je i tak postupně vyřadila z pěstování. Podobným, avšak pružnějším opatřením je pěstování směsí registrovaných odrůd (odrůdových směsí) s různými geny odolnosti. Bylo mnohokrát prokázáno, že odrůdové směsi se vyznačují nejen stabilitou odolnosti, ale i stabilitou výnosu a kvality produkce. Přesto se takovéto racionální opatření uplatňuje jen velmi obtížně. Existují i další možnosti diverzifikace plodin, jako např. pěstování odrůd s různou odolností napříč migračními cestami patogenu, či postupná obměna odrůd s rozdílnými odolnostmi v čase. Uplatnění takovýchto opatření by však bylo vzhledem k přirozeným charakteristikám sledovaného patogenu neúčinné.

K opatřením podporujícím trvanlivost odolnosti odrůd patří i mezidruhová diverzifikace (diverzifikace pěstovaných plodin), tedy pěstování směsí různých druhů (např. ječmen + oves, žito + pšenice, obilnina + luskovina). Pokročilost současných třídících strojů již nemusí omezovat využití takovéto produkce pouze ke krmným účelům.

K prodloužení trvanlivosti odolnosti odrůd by měla přispět i maximalizace druhové rozmanitosti pěstovaných plodin (agro-forestry systém), kde jsou v rámci jednotlivých farem společně pěstovány nejen zemědělské plodiny, ale i lesní kultury, případně jiné druhy, včetně dřevin produkujících biomasu k energetickému využití.

2.2.4. Závěr

Pěstování odolných odrůd je potenciálně nejúčinnější ochranou plodin před napadením patogeny. Odolnost je účinná zpravidla po celou dobu života rostlin, tedy i u rostlin z výdrolu. Z pohledu daného patogenu proto odolnost plně a dokonale nahrazuje i požadavek na kvalitní provedení agrotechnických opatření za účelem likvidace hostitelských rostlin k omezení anamorfního stadia reprodukce houby a posklizňových zbytků k likvidaci jejího teleomorfního stadia. Pěstování odolných odrůd je podnikatelsky bezproblémové a bez rizika finančních ztrát, neboť pro pěstitele je bezplatnou ochrannou alternativou. Organizační starosti jsou zúženy na výběr vhodných odrůd. Jejich pěstování je pak pro konzumenty (především pro člověka, hospodářská i domácí zvířata, zvěř a další užitečné organismy) prosté zdravotních rizik.

Pěstování odolných odrůd je levný, účinný a zdravotně bezpečný způsob ochrany před nežádoucími dopady koexistence patogenů na kvantitu i kvalitu produkce, a tedy i na rentabilitu pěstovaných plodin. Využití odolnosti odrůd vůči často se vyskytujícím patogenům by mělo mít uplatnění především u plodin vstupujících do potravního řetězce, u velkoplošně pěstovaných plodin a také u tzv. méně hodnototvorných plodin. Všechny tyto aspekty se týkají i obilnin, u kterých je ekonomický tlak dále zvýrazněn u produkce určené ke krmení hospodářských zvířat či k výrobě biomasy využitelné např. k výrobě etanolu.

Šlechtění odrůd ječmene na odolnost k původci padlí dosáhlo výjimečné úrovně a předkládaná metodika si klade za cíl především zvýšit využití odolnosti stávajících odrůd. Existence mnoha k padlí plně odolných odrůd však poskytuje i dobrý základ pro šlechtění nové generace odrůd s kombinovanou odolností vůči více patogenům (multiple resistance). Jedním z prvních příkladů je vyšlechtění odrůdy Heris, která obsahuje gen trvanlivé odolnosti k původci padlí (*mlo*), gen s prodlouženou odolností vůči původci hnědé rzivosti ječmene (*Rph7*) a relativně vysokou úroveň odolnosti k *Pyrenophora teres* a *Rhynchosporium secalis* (Dreiseitl a Svačina 2001).

3. Srovnání „novosti postupů“

Metodika obsahuje hutný teoretický základ problematiky odolnosti odrůd, a to od zdrojů odolnosti, přes účinnost odolnosti až po vlastní využití odolnosti stávajících odrůd. Větší prostor byl věnován evoluci populace patogenu, která je klíčem k pochopení mnohdy velmi rychlých změn odolnosti odrůd.

Metodika přináší ucelený soubor nejnovějších poznatků o všech významných genech specifické odolnosti přítomných ve všech v současnosti registrovaných odrůdách ječmene, i o frekvenci odpovídajících virulencí v populaci patogenu. Je doplněna návodem, jak lze tyto experimentálně získané výsledky snadno využít k jednoduché transformaci účinnosti specifických odolností v poli.

Metodika zaměřená na využití odolnosti odrůd ječmene vůči původci padlí nebyla dosud zpracována. Nebyla dosud zpracována ani srovnatelná metodika využití odolnosti k původcům chorob jiných plodin. Lze tedy konstatovat, že předkládaná metodika je nepochybně nová a originální, a to jak v její teoretické, tak i aplikační části.

4. Uplatnění metodiky

Metodika je určena pro pěstitelé a šlechtitele ječmene, poradce, pracovníky odrůdového zkušebnictví a rostlinolékaře, ale i pro studenty zaměřené na rostlinnou produkci a životní prostředí i pro všechny další, kteří mohou ovlivnit využití odolnosti odrůd k zdravotně bezpečnému potlačování škodlivosti padlí ječmene.

Metodika významným způsobem doplňuje výsledky hodnocení odolnosti vybraných odrůd ječmene uváděné v Seznamu doporučených odrůd, zpracovávaném a vydávaném ÚKZÚZ a Národním odrůdovým úřadem

Metodika může posloužit jako zdroj inspirace ke zpracování obdobných metodik využití odolnosti odrůd v rámci jiných vztahů hostitel-patogen (plodina-choroba).

5. Ekonomické aspekty

Vyčíslení nákladů na zavedení postupů uvedených v metodice

Aplikační část metodiky obsahuje údaje získané experimentální činností v rámci řešení výzkumného záměru MSM2532885901. Objem finančních prostředků věnovaných danému výzkumu činil cca 600 tis. Kč ročně. Náklady na tisk metodiky, distribuci a umístění její elektronické verze na stránky řešitelského pracoviště budou uhrazeny z prostředků poskytnutých na řešení dané problematiky v posledním roce daného projektu. S uplatněním metodiky nejsou spojeny žádné další náklady.

Vyčíslení ekonomického přínosu pro uživatele

Cena produkce ječmene v České republice kolísá v závislosti na sklizňových plochách, na výnosu zrna a zvláště na aktuálních výkupních cenách a činí cca 4 mld. Kč ročně. Průměrné ztráty působené padlím ječmene na neodolných odrůdách lze odhadnout na cca 5 % produkce (200 mil. Kč). Odolnost současných odrůd snižuje tyto ztráty min. o 60 % (tj. o 3 % celkové produkce, tedy o 120 mil. Kč ročně). Předkládaná metodika přináší komplexní informace o odolnosti všech registrovaných odrůd i o účinnosti všech genů odolnosti uplatněných v těchto odrůdách. Lze tedy předpokládat, že uplatnění metodiky zlepší využití odolnosti odrůd ječmene o cca 5 %, což představuje přínos ve výši cca 6 mil. Kč ročně.

6. Seznam použité související literatury

- Bélangier R. R., Bushnell W. R., Dik A. J., Carver T. L. W. (2002) The Powdery Mildews. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, 292 s.
- von Bothmer R., van Hintum T., Knüpfer H., Sato K. (2003) Diversity in Barley. Elsevier, Amsterdam, 280 s.
- Brückner F. (1964) Powdery mildew (*Erysiphe graminis* DC.) on barley. V. The resistance of barley varieties to physiological races of *Erysiphe graminis* DC. detected in Czechoslovakia and the possibility to use it in breeding for resistance. Rostlinná Výroba **10**: 395–408.
- Brückner F. (1984) Genetické základy a metody šlechtění ječmene na rezistenci proti padlí travnímu. Studijní informace, rostlinná výroba, ÚVTIZ Praha, 43 s.
- Dreiseitl A. (2000a) Direct selection in the *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* population in the Czech Republic. Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica **35**: 317–322 (Proceedings of the 10th Cereal Rusts and Powdery Mildews Conference, Budapest, Hungary, August 28-September 1, 2000).
- Dreiseitl A. (2000b) Hitch-hiking v domácí populaci *Blumeria graminis* f.sp. *hordei*. Sborník referátů z XV. České a Slovenské konference o ochraně rostlin v Brně 12.-14. září 2000, 146–147.
- Dreiseitl A. (2003a) Adaptation of *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* to barley genetic resistance in the Czech Republic in 1971-2000. Plant, Soil and Environment **49**: 241–248.
- Dreiseitl A. (2003b) Výskyt chorob ječmene v České republice v letech 1989–2000. Sborník referátů, XVI. Slovenská a Česká konferencia o ochrane rastlín, Nitra, Slovenská republika, 16.-17. september 2003, 84–85.
- Dreiseitl A. (2006a) Genetic drift in the Czech population of *Blumeria graminis* f.sp. *hordei*. Abstract book, 8th Conference of the European Foundation for Plant Pathology, p. 35, 13th-17th August 2006, KVL, Frederiksberg, Denmark.
- Dreiseitl A. (2006b): Odolnost ječmene k padlí travnímu podmíněná genem *mlo*. Úroda **54**: 8–9.
- Dreiseitl A. (2007a) Severity of powdery mildew on winter barley in the Czech Republic in 1976–2005. Plant Protection Science **43**: 77–85.
- Dreiseitl A. (2007b): Powdery mildew resistance in winter barley cultivars. Plant Breeding **126**: 268–273.
- Dreiseitl A. (2009) Proč odrůdy ztrácejí odolnost k chorobám? Obilnářské listy **XVII**: 82–83.
- Dreiseitl A. (2010) Výzkum populace původce padlí jako nezbytná součást šlechtění ječmene na odolnost. Obilnářské listy **18**: 44–45.
- Dreiseitl A., Bockelman H. E. (2003) Sources of powdery mildew resistance in a wild barley collection. Genetic Resources and Crop Evolution **50**: 345–350.
- Dreiseitl A., Dinooor A. (2004) Phenotypic diversity of barley powdery mildew resistance sources. Genetic Resources and Crop Evolution **51**: 251–258.
- Dreiseitl A., Dinooor A., Kosman E. (2006) Virulence and diversity of *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* in Israel and in the Czech Republic. Plant Disease **90**: 1031–1038.
- Dreiseitl A., Jurečka D. (1996) Výskyt chorob ječmene jarního v České republice v letech 1989-1995. Ochrana Rostlin **32**: 221–229.
- Dreiseitl A., Jurečka D. (1997) Výskyt listových chorob ječmene ozimého v České republice v letech 1989-1996. Ochrana Rostlin **33**: 177–186.
- Dreiseitl A., Jurečka D. (2003) Severity of powdery mildew on spring barley in the Czech Republic in 1971-2000. Plant Protection Science **39**: 39–51.
- Dreiseitl A., Jørgensen J. H. (2000) Powdery mildew resistance in Czech and Slovak barley cultivars. Plant Breeding **119**: 203–209.

- Dreiseitl A., Pařízek P. (1993) Odolnost vybraných československých odrůd ječmene jarního vůči padlí travnímu. *Genetika a Šlechtění* **29**: 123–130.
- Dreiseitl A., Pařízek P. (2003) Resistance of spring barley varieties to powdery mildew in the Czech Republic in 1971–2000. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding* **39**: 31–44.
- Dreiseitl A., Rashal I. (2004) Powdery mildew resistance genes in Latvian barley varieties. *Euphytica* **135**: 325–332.
- Dreiseitl A., Řepková J., Lízal P. (2007) Genetic analysis of thirteen accessions of *Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum* resistant to powdery mildew. *Cereal Research Communications* **35**: 1449–1458.
- Dreiseitl A., Schwarzbach E. (1994) Složení populace padlí travního na ječmeni na střední Moravě v roce 1992. *Rostlinná Výrýroba* **40**: 545–554.
- Dreiseitl A., Svačina P. (2001) Registration of ‘Heris’ Barley. *Crop Science* **41**: 1992–1993.
- Flégr J. (2005) Evoluční biologie. Academia, nakladatelství Akademie věd České republiky, Praha, 559 s.
- Jahoor A., Fischbeck G. (1987) Sources of resistance to powdery mildew in barley lines derived from *Hordeum spontaneum* collected in Israel. *Plant Breeding* **99**: 274–281.
- Jahoor A., Fischbeck G. (1993) Identification of new genes for mildew resistance of barley at the *Mla* locus in lines derived from *Hordeum spontaneum*. *Plant Breeding* **110**: 116–122.
- Jensen H. P., Christensen E., Jørgensen J. H. (1992) Powdery mildew resistance genes in 127 Northwest European spring barley varieties. *Plant Breeding* **108**: 210–228.
- Jørgensen J. H. (1992) Discovery, characterization and exploitation of Mlo powdery mildew resistance in barley. *Euphytica* **63**: 141–152.
- Jørgensen J. H. (1994) Genetics of powdery mildew resistance in barley. *Critical Reviews in Plant Sciences* **13**: 97–119.
- Kintzios S., Jahoor A., Fischbeck G. (1995) Powdery mildew resistance genes *Mla29* and *Mla32* in *Hordeum spontaneum* derived winter barley lines. *Plant Breeding* **114**: 265–266.
- Mc Donald B. (2004) Population Genetics of Plant Pathogens. The American Phytopathological Society (CD).
- Paulech C. (1995) Flóra Slovenska X/1 Huby Múčnatkotvaré (Erysiphales). Veda, vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, Bratislava, 291 s.
- Pickering R. A., Hill A. M., Michel M., Timmerman-Vaughan G. M. (1995) The transfer of a powdery mildew resistance gene from *Hordeum bulbosum* L. to barley (*H. vulgare* L.) chromosome 2 (2I). *Theoretical and Applied Genetics* **91**: 1288–1292.
- Řepková J., Dreiseitl A. (2010) Candidate markers for powdery mildew resistance genes from wild barley PI284752. *Euphytica* **175**: 283–292.
- Řepková J., Dreiseitl A., Lízal P. (2009a) A new CAPS marker for selection of a barley powdery mildew resistance gene in the *Mla* locus. *Cereal Research Communications* **37**: 93–99.
- Řepková J., Dreiseitl A., Lízal P., Kyjovská Z., Teturová K., Psotková R., Jahoor A. (2006) Identification of resistance genes against powdery mildew in four accessions of *Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum*. *Euphytica* **151**: 23–30.
- Řepková J., Teturová K., Dreiseitl A., Soldánová M. (2009b) Characterization and chromosomal location of powdery mildew resistance genes from wild barley PI282605. *Journal of Plant Diseases and Protection* **116**: 257–259.
- Teturová K., Řepková J., Lízal P., Dreiseitl A. (2010) Mapping of powdery mildew resistance genes in a newly determined accession of *Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum*. *Annals of Applied Biology* **156**: 157–165.
- Torp J. H., Jensen P., Jørgensen J. H. (1978) Powdery mildew resistance genes in 106 Northwest European spring barley varieties. Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, Denmark, 75–102.

- Torp J., Jensen H. P. (1985) Screening for spontaneous virulent mutants of *Erysiphe graminis* DC f.sp. *hordei* on barley lines with resistance genes *Ml-a1*, *Ml-a6*, *Ml-a12* and *Ml-g*. *Phytopathologische Zeitschrift* **112**: 17–27.
- Wolfe M. S., Brändle U., Koller B., Limpert E., McDermott J. M., Müller K., Schaffner D. (1992) Barley mildew in Europe: population biology and host resistance. *Euphytica* **63**: 125–139.
- Xu J., Kasha K. J. (1992) Transfer of a dominant gene for powdery mildew resistance and DNA from *Hordeum bulbosum* into cultivated barley (*Hordeum vulgare*). *Theor. Appl. Genet.* **84**: 771–777.

7. Seznam publikací, které předcházely metodice

Metodice předcházely práce autora této metodiky (i s případnými spoluautory), které jsou uvedeny v předchozí části. Z nich však hlavně ty následující, ale také některé dosud nepublikované.

- Dreiseitl A. (2003a) Adaptation of *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* to barley genetic resistance in the Czech Republic in 1971-2000. *Plant, Soil and Environment* **49**: 241–248.
- Dreiseitl A. (2007a) Severity of powdery mildew on winter barley in the Czech Republic in 1976–2005. *Plant Protection Science* **43**: 77–85.
- Dreiseitl A. (2007b): Powdery mildew resistance in winter barley cultivars. *Plant Breeding* **126**: 268–273.
- Dreiseitl A., Jurečka D. (2003) Severity of powdery mildew on spring barley in the Czech Republic in 1971-2000. *Plant Protection Science* **39**: 39–51.
- Dreiseitl A., Jørgensen J. H. (2000) Powdery mildew resistance in Czech and Slovak barley cultivars. *Plant Breeding* **119**: 203–209.
- Dreiseitl A., Pařízek P. (2003) Resistance of spring barley varieties to powdery mildew in the Czech Republic in 1971-2000. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding* **39**: 31–44.

Tab. 1 Odrůdy ječmene jarního a jejich odolnost k původci padlí

Odrůda ¹	Odolnost ²	Odrůda	Odolnost
Acrobat	Mlo	Kangoo	Ro
Advent	Mlo	Kompakt	Ru La
AF Lucius	Ru	Kontiki	Mlo
Akcent	Ly La	Lilly	Ro We
Aksamit	Mlo	Malz	Sp
Aktiv	Mlo	Marthe	Mlo
Amulet	Ru La	Nitran	Mlo
Annabell	St	Nordus	Mlo
Azit	Ab	Paulis	H ³
Beatrix	Ar La	Pedant	Mlo
Berlioz	Mlo	Pejas	Ru At
Bernstein	Mlo	Poet	Mlo
Blaník	Mlo	Prestige	Mlo
Bojos	Mlo	Pribina	Ru Hu4
Bolina	St	Radegast	Mlo
Braemar	Mlo	Respekt	H (Mlo+St)
Calcule	U1	Scarlett	St We
Calgary	Mlo	Sebastian	Ar Ab
Class	Mlo	Signal	N81
Diplom	Ar La	Signora	Mlo
Ebson	Mlo	Sladar	Mlo
Faustina	St We	Spilka	Ar U2
Gladys	Mlo	Streif	Mlo
Grace	Ro	Tocada	H (St+Ar)
Henley	Mlo	Tolar	HH
Henrike	Ro	Vista	Ro
Heris	Mlo	Westminster	Mlo
Jersey	Mlo	Xanadu	Mlo

¹Seznam odrůd zapsaných ve státní odrůdové knize ke dni 1. června 2010

²Mezinárodní kódy odolnosti

³H = heterogenní, odrůda je tvořena liniemi s rozdílnou odolností k původci padlí; pokud se podařilo určit odolnosti těchto linií, pak jsou uvedeny v závorce

Tab. 2 Odrůdy ječmene ozimého a jejich odolnost k původci padlí

Odrůda ¹	Odolnost ²	Odrůda	Odolnost
Šestiřadé		Semper	Ly
Alinghi	IM9	Souleyka	U4
Alissa	Sp Bw Ra Ha	Traminer	IM9 St
Amarena	IM9 Sp	Wendy	U4
Angela	Ra Ha		
Campill	Ra	Dvouřadé	
Carola	IM9 Sp	Babette	St
Fridericus	IM9 Sp Ra	Breunskylic	Ra Ha
Gilberta	Ra U3	Camera	Ly Ha
Heike	Sp Ra Ha	Campanile	H (Sp Ha+Ly Ha)
Highlight	Ru	Caravan	We Ha
Jup	Sp Bw	Faraon	Ra Ha
Laverda	U4	Finesse	St La
Lomerit	Lo	Florian	U5 (Landi)
Luran	Bw Ra	Graciosa	Sp La
Luxor	Bw Ra Ha	Mascara	Ra Ha
Merlot	Sp Ra Ha	Premuda	Sp
Nelly	H (Ru+Ra)	Reni	Ra
Nives	Ra Ha	Saffron	Sp We Ha
Okal	Bw Ra Ha	Wintmalt	Ra
Scarpia	IM9 Ra	Yatzy	St La

¹Seznam odrůd zapsaných ve státní odrůdové knize ke dni 1. června 2010

²Mezinárodní kódy odolnosti

Tab. 3 Frekvence virulencí (FV) původce padlí k odolnostem ječmene na území České republiky v r. 2010

Odolnost ¹	FV (%)	Odolnost	FV (%)
Ab	>50	N81	43
Ar	91	Ra	100
Ar U2	4	Ra U3	47
At	23	Ro	13
Bw	93	Ru	59
Ha	99	Ru Hu4	31
HH	100	Sp	98
IM9	24	St	78
La	40	We	90
Lo	100	U1	8
Ly	75	U4	12
Mlo	0	U5	6

¹Mezinárodní kódy odolnosti

Tab. 4 Účinnost odolnosti ječmene k původci padlí v poli v závislosti na frekvenci virulencí

Frekvence virulence (%)	Účinnost odolnosti v poli
0	Úplná , příslušné odrůdy nevykazují žádné, nebo v některých případech jen nepatrné stopy napadení
1 - 5	Vysoká , na většině lokalit jsou porosty příslušných odrůd bez napadení, na lokalitách s vyšším výskytem patogenu dochází k napadení odrůd mnohem později a napadení je výrazně nižší
6 - 20	Střední , na většině lokalit se většina porostů příslušných odrůd vyznačuje opožděným napadením a jeho nižší intenzitou
20 - 50	Nízká , účinnost odolnosti je obtížně zjistitelná, projevuje nižším napadením především na počátku vegetačního období
>50	Minimální , účinnost takovýchto odolnosti není u konkrétních porostů zjistitelná, účinnost by bylo možné zjistit jen porovnáním souboru mnoha takovýchto porostů s porosty odrůd bez odolnosti

**Doc. Ing. Antonín Dreiseitl, CSc.
Odolnost odrůd a její využití
k snížení škodlivosti padlí ječmene**

**Vydavatel: Agrotest fyto, s.r.o.,
Havlíčková 2787/121, 767 01 Kroměříž
Vydání 1., Kroměříž 2010
Tisk obálky: Alfa Vita - Marcela Formanová
Postoupky 168, 767 01 Kroměříž**

ISBN 978-80-904594-5-8

**Metodika je poskytována bezplatně a je veřejně přístupná
na adrese www.vukrom.cz**