Model predikce houby *Cercospora beticola* na cukrovce

MODEL OF THE PREDICTION OF CERCOSPORA BETICOLA ON SUGARBEET

Tomáš Spitzer[1], Karel Klem[1], Pavel Matušinský[1,2], Jan Kazda[2]
[1]Agrotest fyto, s. r. o., [2]Česká zemědělská univerzita v Praze

Cukrová řepa je hostitelem řady fytopatogenních hub, které v menší či větší míře poškozují vzcházející rostlinky, listový aparát nebo uskladněné bulvy. Za jednu z nejvýznamnější se v současnosti považuje skvrnatička řepná (*Cercospora beticola,* Sacc). Četné studie, např. Cooke a Scott (1), Wolf et al. (2), uvádějí výnosové ztráty způsobené skvrnatičkou v rozsahu 10–30 % a ztráty na výnosu cukru až do 50 %. Ztráty na výnosu cukru jsou tak obvykle několikanásobně vyšší, než u druhé nejvýznamnější choroby cukrovky – padlí (*Erysiphe betae*), vyskytující se především během suchých a teplých ročníků, kdy jsou zaznamenávány maximální ztráty v rozmezí 5–15 % (3), či u dalších méně významných původců listových chorob cukrovky (*Ramularia beticola, Uromyces betae* nebo *Phoma betae*).

Přestože je *Cercospora beticola* hlavním listovým patogenem cukrové řepy, je patrné, že její výskyt dosahuje značné meziroční variability a vysokého napadení je dosahováno především v oblastech a ročnících s četnými srážkami a průměrnými denními teplotami v rozmezí 20–25 °C (4).

Výše výnosových ztrát způsobených skvrnatičkou je přitom značně závislá na počátku epidemie. Jak uvádí Wolf a Vereet (4), ztráty výnosu cukru, které činí při začátku epidemie v polovině července více, než 30 % mohou klesnout při začátku epidemie v polovině srpna na méně než 10 %. Přestože je systém ochrany cukrovky proti skvrnatičce založen na dvojím termínu ošetření fungicidy, zcela zásadní je z pohledu výnosu cukru první termín aplikace. O ekonomice zásahu přitom rozhoduje termín aplikace, který by měl zajistit omezení rozvoje choroby na počátku epidemie a dávka fungicidu, případně úplné vynechání aplikace. V případě optimálního načasování prvního termínu ošetření je pak druhé ošetření fungicidy prováděno spíše výjimečně, a to zejména při pozdějších termínech sklizně a při silném infekčním tlaku.

Důležitou okolností pro úspěšné potlačení choroby je správné termínování aplikace fungicidu. Touto problematikou se zabývala řada autorů a byly vypracovány modely pro podporu rozhodování. Lze je rozdělit na dvě kategorie:

1. Modely založené na osobní prohlídce porostu.
2. Modely založené na sledování vybraných povětrnostních prvků významných pro rozvoj a šíření patogena.

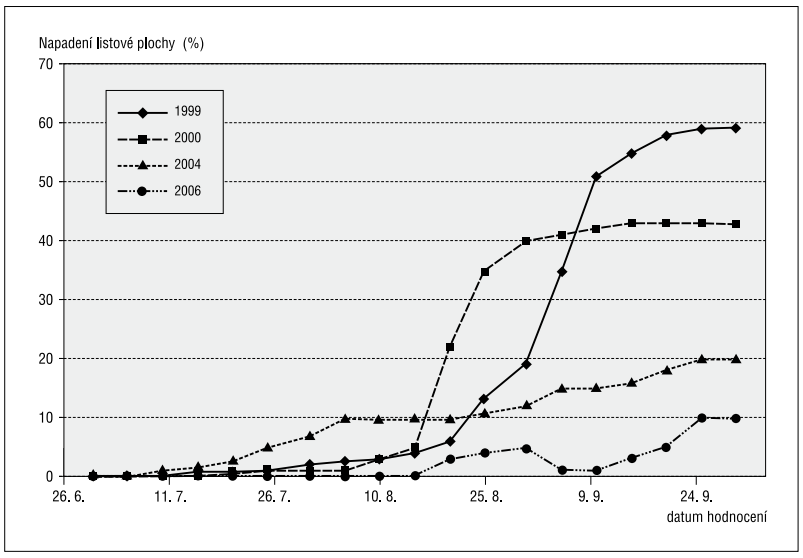
K prvnímu typu modelů patří IPS-Model Cercospora vypracovaný pro podmínky Bavorska týmem vedeným prof. Verreetem z University v Kielu (5). Je založený na stanovených prazích škodlivosti a při jejich dosažení, nebo překročení, je dán pokyn k nasazení fungicidu.

Jako základní prahová hodnota je úroveň napadení do 5% napadení listové plochy v období první říjnové dekády. Největší riziko škod nastává, jestliže je počátek epidemie časově situován do období počátku července až poloviny srpna. V praxi je tato hodnota stanovována vyhodnocením napadení na 100 listech ze středního listového aparátu 100 rostlin a stanoví se na kolika listech se vyskytuje napadení *Cercospora beticola* (stačí i jedna typická skvrna na listu).

Ke druhému typu modelů patří např. Cercospora Leaf Spot Model for Sugar Beet, vyvinutý v USA na universitě v Minnesotě (University of Minnesota, Crookston, Northwest Experiment Station) v letech 1982–1986 a do praxe byl zaveden v roce 1985.

Model je založen na tzv. denním infekčním koeficientu, který vychází z hodnocení optimálních podmínek pro výskyt choroby. Koeficient závisí na infekčním potenciálu choroby v průběhu uplynulých 48 hodin a je vyjádřen číslem v rozsahu 0–14 založeným na denním infekčním koeficientu. Denní infekční koeficient vychází z počtu hodin v průběhu dne (od půlnoci do půlnoci) s relativní vzdušnou vlhkostí vyšší než 90 % a z průměrné teploty během těchto hodin. K tomu byla vytvořena tabulka, ve které podle počtu hodin s vlhkostí nad 90 % a podle teploty je přiřazeno určité číslo

Obr. 1. Dynamika rozvoje napadení listové plochy skvrnatičkou u vybraných kontrastních ročníků s vysokou (1999 a 2000) a nízkou (2004 a 2006) konečnou úrovní napadení a také s rychlým (2004 a 2000) a pomalým (1999 a 2006) nástupem epidemie



v rozmezí 0–7, které vyjadřuje možné ohrožení porostu. V polních podmínkách může ale být infekční perioda delší než jeden den, a proto se provádí součet denních infekčních koeficientů během uplynulých 48 hodin. Jestliže je součet za uplynulé dva dny nižší než 6, je pravděpodobnost infekce nízká, součet 6 je mezní a při součtu 7–14 jsou podmínky pro infekci příznivé.

Využitelností modelu pro podmínky severní Dakoty se zabýval Khan (6). Vyšla mu velmi dobrá shoda se zkušenostmi z Minnesoty a použití modelu umožnilo při stejné efektivitě fungicidů snížit počet aplikací oproti předchozímu stavu.

Na základě inspirace tímto modelem vznikla Metoda denních infekčních koeficientů – DIK (7). Po tříletém pozorování a ověřování modelu v provozních podmínkách v roce 2002 se využití modelu DIK jevilo jako velmi účelné a využitelné v širším měřítku pro signalizaci ošetření proti skvrnatičce řepné (8).

Dalším příkladem již složitějšího modelu jsou např. modely CERCOESY a CERCBET vypracované pro Německo a vycházející z italských zkušeností. Jedná se o simulační modely, které zobrazují vlivy teplot a vlhkosti na jednotlivé úseky vývoje *Cercospora beticola*. Základními veličinami jsou zde latentně napadené listy. Simulace probíhá na základě údajů o teplotách, relativní vzdušné vlhkosti, rosy a srážek. Vedle těchto dat potřebují modely také údaje o regionu, o citlivosti pěstovaných odrůd a o fungicidech, které jsou k dispozici.

Model byl postupně testován a modifikován a v současnosti jsou k dispozici modely CERCBET 1 pro poradenské firmy a CERCBET 3 pro pěstitele (9).

Každý z modelů má své výhody i nevýhody. Porovnáním dvou způsobů rozhodování o aplikacích fungicidů proti Cercospora beticola se zabýval v Holandsku Vereijssen (10). Ošetření na základě sledování povětrnostních prvků (teploty a relativní vlhkosti uvnitř porostu) bylo signalizováno jeden týden před signalizací na základě prahů škodlivosti. Výnos cukru však byl u obou variant signalizace bez průkazných rozdílů. Přesto autoři doporučují další testování modelu vycházejícího z průběhu počasí.

K nevýhodám u prvního typu modelů patří jeho časová i pracovní náročnost, výhodou je přesnější stanovení aplikačního termínu. Druhý typ modelů je náročný na technické vybavení a je určen spíše poradcům, disponujícím dostatečnými znalostmi a časem pro vyhodnocení velkých objemů údajů. Cílem naší práce je vytvořit jednoduchý model predikce očekávané míry napadení na základě nalezení kritických období rozhodujících o míře škodlivosti *Cercospora beticola* v aktuální sezoně a doporučit (či nedoporučit) aplikaci fungicidu.

Materiál a metody

Jako zdroj výchozích dat pro statistické zpracování s pomocí neuronových sítí programu Statistica byly vybrány údaje o průměrné denní teplotě, relativní vlhkosti a srážkách, a to v pentádách za měsíce červen, červenec a srpen a byly doplněny průběhem napadení *Cercospora beticola* v jednotlivých sezonách. Zdrojem primárních meteodat byla meteostanice umístěná v areálu ZVU Kromeříž, s. r. o., a zdrojem údajů o průběhu napadení cukrovky houbou *Cercospora beticola* byly výsledky z pokusů prováděných od roku 1998 do roku 2006 (hodnocení podle metodiky EPPO PP 1/1(4).

Pro vytvoření modelu byl nejprve proveden předvýběr vhodných parametrů počasí na základě korelační analýzy.

Tab. I. Porovnání vybraných kontrastních ročníků z pohledu vybraných parametrů počasí použitých následně pro tvorbu modelu

Rok	Úhrn srážek za období 1. 6.–5. 8. (mm)	Průměrná denní teplota v období 1. 6.–15. 6. (°C)	Průměrná denní teplota v období 1. 8.–20. 8. (°C)	Úhrn srážek za období 15. 8.–15. 9. (mm)
1999	212,6	17,7	19,4	24,2
2000	230,1	20,4	21,3	11,1
2004	139,0	16,8	20,7	17,4
2006	139,3	14,7	18,1	37,5

Vybrány byly parametry s průkazným vlivem na intenzitu napadení. Následně bylo provedeno trénování neuronových sítí s cílem získat vysokou diverzitu konstrukce sítí. Trénování bylo provedeno na celkovém počtu >3 000 sítí s ponecháním 1 % sítí s nejnižší testovací a validační chybou. Z vybraných sítí byla následně vybrána vždy jedna síť na základě nejlepšího proložení mezi pozorovanými a predikovanými daty (nejvyšší hodnota korelačního koeficientu).

Výsledky a diskuse

Ročníky 1999–2006 vykazovaly značnou variabilitu maximální úrovně napadení skvrnatičkou i odlišnou dynamiku vývoje choroby v průběhu měsíců července až září. Tuto variabilitu je možné dokumentovat na vybraných ročnících, které reprezentují typicky rozdílné ročníky s vysokou a nízkou konečnou úrovní napadení a s ročníky s pomalým a rychlým nástupem epidemie (obr. 1.). Dynamika rozvoje choroby se ve zbývajících ročnících pohybovala mezi těmito krajními hodnotami, a lze proto konstatovat, že soubor využitý pro vytvoření modelu predikce, reprezentoval velmi dobře možný rozsah napadení skvrnatičkou pro naše podmínky, včetně rozdílů v rychlosti nástupu choroby. Na vybraných ročnících je také možné dobře dokumentovat působení hlavních faktorů počasí na průběh epidemie. Období od konce července, kdy obvykle dochází k nástupu choroby, až do konce září, kdy epidemie dosahuje maxima, nelze často plně pokrýt jedinou aplikací fungicidů. Pro samotné rozhodování o provedení ochrany je proto zásadní nejen konečná úroveň napadení, ale také rychlost nástupu, která rozhoduje o načasování první aplikace a tím i o případné nutnosti druhého ošetření.

Předvýběr parametrů počasí pro vytvoření modelu predikce byl proveden na základě korelační analýzy mezi napadením k 20. 8. (termín do kterého by mělo účinkovat první ošetření fungicidy) a k 20. 9 (termín předpokládané účinnosti druhého fungicidního ošetření) a jednotlivými parametry počasí za pentádní úseky. V případě vysokých korelačních koeficientů mezi napadením a daným parametrem pro více pentád za sebou bylo provedeno sloučení parametrů počasí za toto delší období. Výsledkem této operace je zjištění, že rozhodujícím parametrem pro výši napadení v obou termínech (a především pak pro konečnou úroveň napadení) je úhrn srážek od začátku června až do začátku srpna (tab. I.). Ročníky s vysokým konečným napadením (1999 a 2000) jsou tak charakteristické o více jak 50 % vyššími úhrny za toto sledované období, než ročníky s nízkým napadením. Rychlost nástupu infekce je pak ovlivňována zčásti teplotami

Tab. II. Srovnání skutečné míry napadení s predikovaným napadením pro dva cílové termíny

Rok	Model predikce napadení k 20. 8.		Model predikce napadení k 20. 9.	
	Míra napadení *Cercospora beticola* (%)			
	pozorovaná	predikovaná	pozorovaná	predikovaná
1998	15,0	14,3	59,0	58,9
1999	6,0	3,6	58,0	58,0
2000	22,0	21,5	43,0	58,0
2001	3,0	3,9	27,0	27,1
2002	6,0	6,3	11,0	13,2
2003	5,0	2,3	40,0	40,0
2004	10,0	10,0	18,0	13,9
2005	0,0	0,8	7,0	5,0
2006	3,0	2,8	5,0	5,0

Tab. III. Srovnání skutečné míry napadení porostu na podzim s predikovaným napadením

Rok	Míra napadení *Cercospora beticola* (%)	
	pozorovaná	predikovaná
2008	27,9	26
2009	22,3	27

v průběhu první poloviny června a především teplotami v období první poloviny srpna. Relativně rychlý nástup napadení skvrnatičkou v roce 2000 pak byl pravděpodobně zpomalen suchým počasím koncem srpna a začátkem září. Naopak velmi vlhké počasí v tomto období v roce 2006 k nárůstu napadení v průběhu měsíce října, které bylo ale limitováno předchozím nepříznivým počasím pro rozvoj choroby (sucho a nízké teploty). Ročník 2004 poskytoval velmi příznivé podmínky pro rozvoj epidemie z pohledu teplot v první polovině srpna, ovšem předchozí suché počasí pravděpodobně limitovalo významnější rozvoj napadení.

Z uvedených skutečností vyplývá, že výsledná dynamika napadení je dána interakcí mezi více faktory počasí a nelze proto využít jednoduchých závislostí. Z tohoto důvodu bylo pro vytvoření modelu predikce napadení využito tzv. neuronových sítí, které umožňují vytvoření vícefaktorového modelu, který zahrnuje také vzájemné interakce vstupních proměnných. Tento model byl vytvořen samostatně pro napadení k datu 20. 8., které ukazuje na možnost posunu prvního ošetření fungicidy, a k 20. 9., kdy je zřejmá maximální úroveň napadení a tato hodnota umožňuje vyhodnocení potřeby druhého ošetření.

Pro oba modely je nejvýznamnějším vstupním parametrem úhrn srážek za období 1. 6. až 5. 8. Odezvový graf (obr. 2.) dokumentuje závislosti mezi tímto parametrem a napadením, které jsou využívány při tvorbě modelu. Z těchto závislostí je patrné, že při srážkách pod 200 mm se rychlost rozvoje choroby sice zpomaluje, ale pro dosažení maximálních hodnot konečného napadení jsou dostačující srážky za sledované období nad 170 mm. Toto ale platí, jen pokud jsou i ostatní parametry (např. teplota) v optimu.

Pro odhad napadení k datu 20. 8. je dalším zásadním vstupním parametrem průměrná teplota vzduchu v první polovině června a teplota v období 1. 8. až 20. 8. Pro rozhodování o první aplikaci fungicidů, která se nejčastěji provádí na přelomu července a srpna, je proto nutné provést odhad teplot v srpnu na základě dlouhodobé předpovědi. Význam tohoto parametru pro přesnost modelu je ale nižší, a proto také chyba způsobená nesprávným odhadem teplot není obvykle vysoká. V případě odhadu napadení k datu 20. 9. se k již zmíněným parametrům přidává také úhrn srážek od poloviny srpna do poloviny září. Rovněž tento parametr má jen pomocný význam pro zpřesnění modelu, je třeba provést jeho odhad na základě dlouhodobé předpovědi počasí.

U obou modelů bylo provedeno zpětné testování shody mezi skutečně pozorovanou mírou napadení v letech 1998–2006 a hodnotami vypočtenými na základě matematického modelu (tab. II.).

Ze srovnání vyplývá dobrá shoda reálně zjištěného napadení na poli v obou termínech s predikcí tohoto napadení pomocí modelu a to hlavně v případě vysoké míry napadení. S ohledem na skutečnost, že pro hospodářskou škodlivost *Cercospora beticola* jsou v literatuře uváděné prahové hodnoty na úrovni 5–10 % dle podmínek pěstebních regionů Rücker (11), lze model považovat za dostatečně přesný pro doporučení fungicidní aplikace, přičemž je dosahováno spolehlivosti správného stanovení prahu v rozmezí 80–90 %.

V letech 2008 a 2009 byl model dále testován a výsledky jsou uvedeny v tab. III. Pro oba sledované roky byla dosažena velmi dobrá shoda predikce a reálného napadení v polních podmínkách.

Závěr

Model vytvořený pro predikci houby *Cercospora beticola* na cukrovce dosáhl velmi dobré shody při zpětném testování v sezonách předcházejícím jeho tvorbě (1998–2006) a také v následujících (2008 a 2009).

Model byl vyvíjen v podmínkách střední Moravy a také veškeré údaje o míře napadení a povětrnostních prvcích pochází z této oblasti. Je jisté, že pro podmínky jiných oblastí pěstování cukrovky v ČR by bylo potřeba model vzhledem ke klimatickým rozdílům modifikovat. Z doposud dosažených výsledků vyplývá, že model zatím pracoval spolehlivě, i když pro praktické použití bude potřeba ověřování v delším časovém horizontu.

Práce vznikla za podpory výzk. záměru MŠMT – MSM 2532885901.

Souhrn

Byl vytvořen model predikce houby *Cercospora beticola* na cukrovce na základě výběru vhodných parametrů počasí s průkazným vlivem na intenzitu napadení. Trénováním neuronových sítí byla získána vysoká diverzita konstrukce sítí na celkovém počtu >3 000 sítí s ponecháním 1 % sítí s nejnižší testovací a validační chybou. Do výpočtů byly zahrnuty údaje z ročníků 1998–2006, které vykazovaly značnou variabilitu maximální úrovně napadení skvrnatičkou i odlišnou dynamiku vývoje choroby v průběhu měsíců července až září. Bylo zjištěno, že rozhodujícím parametrem pro konečnou výši napadení je úhrn srážek od začátku června až do začátku srpna. Provedením zpětného testování shody mezi skutečně pozorovanou mírou napadení v letech 1998–2006 a hodnotami vypočtenými

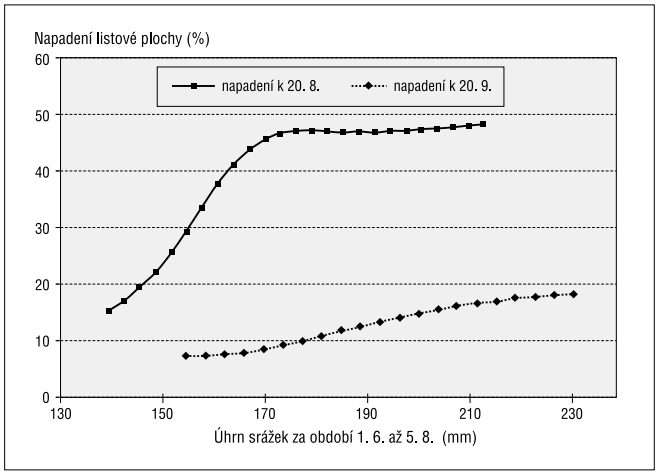
na základě matematického modelu vyplývá dobrá shoda s reálně zjištěným napadením na poli. Velmi dobrá shoda byla zjištěna také v následných letech 2008 a 2009.

Klíčová slova: *Cercospora beticola*, model predikce, počasí.

Literatura

1. Cooke, D. A.; Scott, R. K.: *The Sugar Beet Crop – Science into practice*. London: Chapman & Hal, 1993.
2. Wolf, P. F. J.; Weis F. J.; Verreet J. A.: Grundlagen einer integrierten Bekämpfung von *Cercospora beticola* in Zuckerrüben. *Z. Pflanzenkr. Pflanzenschutz*, 102, 1995 (6), s. 574–585.
3. Ahrens, W.: *Maßnahmen zur Schadensverhütung bei Befall mit dem Echten Rübenmehltau (Erysiphe betae (Van.) Weltzien)*. Brüssel: IIRB, 1985, s. 289–205.
4. Wolf P. F. J.; Vereret, J. A.: An Integrated Pest Management System in Germany for the Control of Fungal Leaf Diseases in Sugar Beet. The IPM Sugar Beet Model. *Plant Disease*, 86, 2002 (4), s. 336–344.
5. Weis, F. J.; Wolf, P. F. J.; Verreet, J.-A.: Das IPS-Modell-Zuckerrübe: Gezielte Bekämpfung von *Cercospora beticola* in den Zuckerrübe nach Schwellenwerten. *Zuckerrübe*, 45, 1996 (4), s. 168–175.
6. Khan, J.; Del Rio, L. E.; Nelson, R.: Improving the cercospora leaf spot management model for sugar beet in Minnesota and North Dakota. *Plant Disease*, 91, 2007 (9), s. 1105–1108.
7. Májková, L.: Skvrnatička řepná. *Rostlinolékař*, 12, 2001 (2), s. 12–14.
8. Bittner, V.; Májková, L.; Veverka, K.: Nové přístupy v ochraně proti skvrnatičce řepné u cukrovky. *AGRO*, 8, 2003 (6), s. 20–22.
9. Racca, P. et al.: Sugarbeet leaf diseases: Forecasting approaches for the optimization of fungicide application. *Zuckerind*., 127, 2002 (12), s. 949–958.
10. Vereijssen J., Schneider, J. H. M.; Jeger, M. J.: Supervised control of Cercospora leaf spot in sugar beet. *Crop Protection*, 26, 2007 (1), s. 19–28.
11. Rücker, P.; Wolff, Ch.: Wann lohnen Fungizide in Trockengebieten? *Zuckerrüben Top Spezial,* 2001 (7), s. 20–22.
12. Weis, F. J.; Wolf, P. F. J.; Verreet, J.-A.: Das IPS-Modell-Zuckerrübe: Gezielte Bekämpfung von *Cercospora beticola* in den Zuckerrübe nach Schwellenwerten. *Zuckerrübe*, 45, 1996 (4), s. 168–175.
13. Weis, F. J., Verreet, J.-A.: Konzeption und Methode für eine optimierte, schwellenorientierte Bekämpfung von *Cercospora beticola* an Zuckerrübe – das integrierte Pflanzeschutzsystem IPS-Modell-Zuckerrübe. *Mitt. a. d. Bundesanst,* 1996 (321), s. 186.

Obr. 2. Závislost mezi úhrnem srážek a napadením



Spitzer T., Klem K., Matušinský P., Kazda J.: Model of the Prediction of *Cercospora beticola* on Sugarbeet

It was made a model prediction fungus *Cercospora beticola* on sugar beet by selecting the appropriate weather parameters with significantly influence the intensity of infestation. Coaching neural networks has been acquired by a high diversity of network structures in the total number of >3 000 with a 1 % of the network with the lowest test and validation error. The calculations include the data from the years 1998–2006, which showed considerable variability in the maximum level of infestation of *Cercospora beticola* the different dynamics of the disease during the months of July and September. It was found that the decisive parameter for the final attack is the total rainfall from early June until early August. Performing back-testing agreement between the true rate of infection observed in the years 1998–2006, and the values calculated on the basis of a mathematical model show good agreement with observed real assault on the field. Very good agreement was found also in the subsequent years 2008 and 2009.

Key words: *Cercospora beticola*, the model prediction, weather.

Kontaktní adresa – Contact address:

RNDr. Tomáš Spitzer, Ph. D., Agrotest fyto, s. r. o., Havlíčkova 2787, 767 01 Kroměříž, Česká republika, e-mail: spitzer@vukrom.cz