

VÝNOS SEMEN A OBSAH MORFINU V ZÁVISLOSTI NA ODRŮDĚ A ZVOLENÉ AGROTECHNICE U MÁKU SETÉHO (*Papaver somniferum* L.)

*Seeds Yield and Morphine Content in Dependence on Cultivar and Selected Agrotechnics in Poppy
(Papaver somniferum L.)*

Jana DOLEŽALOVÁ, Helena ZUKALOVÁ, Pavel CIHLÁŘ, Jan VAŠÁK

Česká zemědělská univerzita v Praze

Summary: In the three years field experiment at a research station in Červený Újezd there was verified influence of cultivar and agrotechnics on seeds yield and morphine content in poppy straw in *Papaver somniferum* L. The results of cultivar experiments show crucial influence of genetically base of cultivar on morphine content, this influence is then more or less modified by a year. Cultivar Major reached in all experimental years the best seeds yields and confirmed its universality for the conditions in the CR. Optimal nitrogen dose is (regarding economical aspect) 100 kg of N per ha. Higher doses do not ensure necessary yield (so application would be profitable) and they could increase a risk of fungal diseases infestation. Agrotechnical measures should especially eliminate unfavorable year. Some measures must be performed with increased regard to higher sensitivity of poppy plants to stress, which is caused by pesticides application. If there is no pathogen threatening the yield in stands in a specific year, it is better to reduce or omit the application. Application of preparations Caramba and Discus increased seeds yield in comparison with nontreated control and preparation Discus application in all experimental years.

Key words: *poppy, poppy straw, poppy cultivars, morphine, gas chromatography*

Souhrn: V tříletém polním pokusu na Výzkumné stanici Červený Újezd byl ověřován vliv odrůdy a agrotechniky na výnos semen a na obsah morfinu v makovině u máku setého (*Papaver somniferum* L.). Z výsledků odrůdových pokusů je patrný rozhodující vliv genetického základu odrůdy na obsah morfinu, tento vliv je pak více či méně modifikován ročníkem. Odrůda Major dosahovala ve všech pokusných letech nejlepších výnosů semen a potvrdila tím svoji univerzálnost pro podmínky ČR. Optimální dávkou dusíku je, s ohledem na ekonomické hledisko 100 kg N na ha. Vyšší dávky nezajistí potřebný výnos, aby byla aplikace rentabilní, a navíc mohou zvýšit riziko napadení houbovými chorobami. Agrotechnické zásahy mají za svůj hlavní úkol eliminovat nepřízeň ročníku. Některé zákroky však musí být vedeny se zvýšeným ohledem na vyšší citlivost rostlin máku ke stresu, který je vyvoláván aplikací pesticidů. Pokud se v daném roce na porostech nevyskytne patogen v míře ohrožující výnos, je lepší aplikace omezit nebo vypustit. Aplikace přípravků Caramba a Discus zvyšovala výnos semen oproti neošetřené kontrole i samotné aplikaci přípravku Discus ve všech pokusných letech.

Klíčová slova: *mák, makovina, odrůdy máku, morfin, plynová chromatografie*

Úvod

K nejvýznamnějším pěstitelům máku nejen v evropském ale i světovém měřítku patří Česká republika (VLK et al., 2010). Z historického hlediska, je význam máku setého (*Papaver somniferum* L.) v České republice především jako olejina a pochutina s dlouholetou tradicí. Nejvyšší pěstební plocha máku byla evidována v marketingovém roce 2008/2009, a to 69 793 ha. Od tohoto roku, především díky poklesu cen a přebytků produkce na skladech plocha poklesla na současnou výměru 40 – 50 tis. ha. Celosvětový význam máku (*Papaver somniferum* L.) spočívá především v produkci farmaceuticky významných surovin, jako je morfin, kodein, thebain a dalších alkaloidů. Podle informací z INCB (International Narcotic Control Board), se mák pěstuje na celosvětové výměře 100 – 130 tis. ha. Skutečná výměra, která zahrnuje i nelegální produkci však dosahuje plochy až 300 tis. ha (SZÜCS, 2002; INCB, 2009).

Maková sláma i opium se získává za účelem extrakce morfinanových alkaloidů. Ročně se zpracovává 35 tis. t makoviny a 1000 t opia. Velmi důležitým směrem do budoucna je vyšlechtění odrůd

obsahujících vysoký podíl morfinanových alkaloidů, především morfinu a thebainu v makovině.

V Evropské Unii se pěstuje celkem asi 80 000 ha máku, z toho 50 000 v ČR. Další významní pěstitelé v rámci EU jsou Francie, Španělsko, Maďarsko a Anglie, kde se mák pěstuje především pro farmaceutické využití. Hlavním produktem je makovina s vyšším obsahem alkaloidů. Tržba za makové semeno je doplňkovým zdrojem příjmů (VLK et al., 2010). Výjimkou v této skupině je Maďarsko, kde plocha pěstování máku, především vysokoobsažného, činní každoročně necelé 2 tis. ha. Velký význam této země v problematice máku, je šlechtění odrůd s vysokým obsahem alkaloidů, především morfinu, thebainu, narkotinu a dalších.

Evropský trh je ovlivňován nejen výměrou máku v EU, ale také výměrou mimo EU zejména v Turecku a na Ukrajině. Produkce těchto dvou zemí je přibližně na ploše 35 tis. ha. Obě tyto země významně ovlivňují trh s mákem především na ruském trhu. Rusko představuje nejvýznamnější celosvětové odbytiště máku.

Materiál a metody

Pokusy probíhaly v letech 2008 - 2010 na Výzkumné stanici Červený Újezd (okres Praha západ). Pokusné plochy stanice leží v nadmořské výšce 405 m. Převažuje rovinný terén, který podmiňuje dobrý zásak srážkových vod. Pozemek je zařazen do řepařské výrobní oblasti. Na sprašovém substrátu se tvoří převážně hnědozemě. Hloubka ornice je 28 – 40 cm.

Červený Újezd spadá do klimatického regionu mírně teplého, suchého. Průměrná teplota vzduchu činí 7,7°C a průměrný úhrn srážek je 549 mm.

Porosty byly založeny každoročně koncem března, výsevek 1,7 kg.ha⁻¹. Velikost jedné parcely 9,5 x 1,25 m, každá varianta byla založena ve čtyřech opakováních. Předplodinou byla ozimá pšenice.

Na pokusném pozemku byla na podzim provedena orba s následným hrubým urovnáním povrchu kombinátorem. Předset'ová příprava půdy byla provedena smykobránami.

Přímá sklizeň semene s makovinou proběhla v třetí dekádě srpna sklízecí mlátičkou Wintersteiger.

Tab. 1: Agrotechnické zásahy v průběhu vegetace

I.dekáda dubna	přihnojení N	dávka 50 kg N.ha ⁻¹ (LAD)
I.dekáda dubna	herbicidní ošetření	aplikace přípravku Callisto 480 SC 0,3 l.ha ⁻¹ (zádový postřikovač CP 15 trysky Lurmark 110 ^N), proti dvouděložným plevelům
III. dekáda dubna	insekticidní + herbicidní ošetření	aplikace Nurelle D 0,6 l.ha ⁻¹ + Galant Super 1,2 l.ha ⁻¹
I.dekáda května	herbicidní ošetření	aplikace Targa Super 5 EC 1,5 l.ha ⁻¹
II.dekáda května	přihnojení N	dávka 50 kg N.ha ⁻¹ (LAD)
III. dekáda května	regulace růstu + listové hnojivo	aplikace Wuxal SUS Boron 3,0 l.ha ⁻¹ + Atonik Pro 0,2 l.ha ⁻¹ v 5% močovíně (zádový postřikovač CP 15 trysky Lurmark 110 ^N)
III. dekáda května	regulace růstu	Fertileader – hnojivo s biostimulačním účinkem, 3 l.ha ⁻¹
II.dekáda června	fungicidní ošetření	aplikace Caramba 0,8 l.ha ⁻¹ (zádový postřikovač CP 15 trysky Lurmark 110 ^N)
IV.dekáda června	fungicidní ošetření	aplikace Discus 0,2 kg.ha ⁻¹ (zádový postřikovač CP 15 trysky Lurmark 110 ^N)
IV.dekáda července	desikace + lepení	aplikace Agrovital + Basta

V pokusech byl sledován:

1. Výnos semene a obsah morfinu v makovině u 5-ti vybraných odrůd máku setého. Jejich výběr byl založen na odlišnosti v obsahu morfinu – tzn., byly vybrány a vzájemně porovnávány odrůdy nízko-, středně-, a vysokomorfinové.

Rostlinný materiál - jako hlavní pokusný materiál byla použita středněmorfinová odrůda Major.

- Major – slovenská středněmorfinová odrůda z Malého Šariše s vysokým výnosovým potenciálem, průměrný obsah morfinu v tobolkách 0,40 – 0,60 %,

Další vybrané odrůdy:

- Buddha – maďarská vysokomorfinová odrůda máku, průměrný obsah morfinu v tobolkách 1,0 – 2,0 %,
- Lazur – polská průmyslová odrůda s vysokým obsahem morfinu, 0,8 – 1,5 %,
- Mieszko – polská nízkomorfinová odrůda, průměrný obsah morfinu v tobolkách 0,10 – 0,20 %,
- Zeno 2002 – rakouská ozimá odrůda s nízkým obsahem morfinu 0,10 – 0,30 %.

2. Vliv N-hnojení na obsah morfinu v makovině u pokusné odrůdy Major. Byly založeny 3 varianty hnojení: 0 – 100 – 200 kg N.ha⁻¹

Tab. 2 Aplikace hnojiv na N-varianty

	I. dekáda dubna	IV. dekáda května
N1	0	0
N2	50 kg N.ha-1 (LAD)	50 kg N.ha-1 (LAD)
N3	50 kg N.ha-1 (LAD)	150 kg N.ha-1 (LAD)

3. Vliv aplikace fungicidů (Caramba a Discus) na výnos a obsah morfinu u odrůdy Major. Byly založeny opět 3 varianty: neošetřená kontrola - Discus - Caramba a Discus

Tab. 3: Aplikace fungicidů na F-varianty

	I. dekáda června	IV. dekáda června
F1	0	0
F2	Discus 0,2 kg.ha ⁻¹	0
F3	Caramba 0,8 l.ha ⁻¹	Discus 0,2 kg.ha ⁻¹

Chemická analýza

Analýza morfinu v makovině je na ČZU prováděna metodou plynové chromatografie jako silylderiváty morfinu.

Pro stanovení byla použita rozemletá makovina (cca 2 - 3g). Vzorek byl převeden do 100 ml baňky a bylo přidáno 50 ml rozpouštědla (směs chloroformu, isopropanolu, etanolu a amoniaku v poměru 6:2:1,5:0,5). Poté byl vzorek extrahován 4 hodiny na třepače. Následovalo přefiltrování do 100 ml baněk, které byly rozpouštědlem doplněny na objem 100 ml. Poté bylo odebráno pipetou do skleněných zkumavek 2 ml filtrátu a přidán 1 ml vnitřního standardu (cholesterol), následovalo odpaření a silylace.

Obsah morfinu byl vypočítán ze získaného chromatogramu dle následujícího vztahu:

Výpočet % obsahu morfinu v makovině

$$\text{Morfin \%} = \frac{\text{Plocha morfinu} \times 0,89 \text{ (monochlorid morfinu)} \times 100}{\text{Plocha cholesterolu} \times f \times \text{navážka [mg]}}$$

$f = 0,80$ (faktor korekce, dle kalibrace)

Výsledky a diskuse

V tabulce 4 jsou uvedeny srážkové úhrny a průměrné teploty vzduchu během vegetace roku 2010 v Červeném Újezdě, které měly výrazný vliv na výnosové parametry tohoto roku.

Tab. 4: Srážkové úhrny a teploty během vegetace roku 2010 v Červeném Újezdě (Cihlář, 2010)

Měsíc	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
Průměrná teplota (°C)	3,6	8,6	12,0	16,4	20,2	17,7
Úhrn srážek (mm)	18,7	37,4	83,8	60	145,3	145,7
% normálu (srážky)	72	92	155	100	227	211

Ad. 1. Porovnání 5-ti odrůd. Graf 1 uvádí výsledky ve výnosech semene pro vybrané odrůdy. Nejlepších výnosů bylo dosaženo v prvním pokusném roce 2008, který byl z hlediska růstu máku velmi příznivý. Naopak nejhorší z hlediska výnosnosti máku byl rok 2010. Celkové výnosy semen byly v roce 2010 téměř o polovinu nižší než předešlé roky.

Na počátku vegetace máku v roce 2010 bylo velké sucho a porosty měly problém se vzcházením. Po polovině července bylo horko vystřídáno výrazným ochlazením a vytrvalými srážkami, které byly o více než 200 % nad normálem (tab. 4) a trvaly až do sklizně máku. Deštivé počasí v době dozrávání způsobilo vyšší výskyt tzv. hledáček (otevřených makovic) v porostu a tím vyšší sklizňové ztráty. Na výnos měl také vliv fakt, že i přes aplikaci herbicidů došlo k většímu rozšíření některých vytrvalých plevelů, především pýru plazivého, dále se poměrně hodně v porostu rozšířila i pohanka svlačcovitá. Navíc pokusné parcely byly v roce 2010 umístěny na okraj pozemku, což mělo také vliv na růst a vývoj rostlin. U odrůdy Zeno 2002 došlo dokonce k totální likvidaci rostlin máku okusem králíků na všech čtyřech opakováních, proto také nejsou v roce 2010 uvedeny žádné výsledky pro tuto odrůdu.

Trend, kdy se zvyšujícím se obsahem morfinu dochází ke snížení výnosu semen je nejvíce patrný u vysokomorfinových odrůd Buddha a Lazur. Velmi nízký výnos semen u odrůdy Buddha v roce 2009 byl způsoben vysokým stupněm polehnutí na všech pokusných parcelách, v roce 2010 byly parcely umístěny na

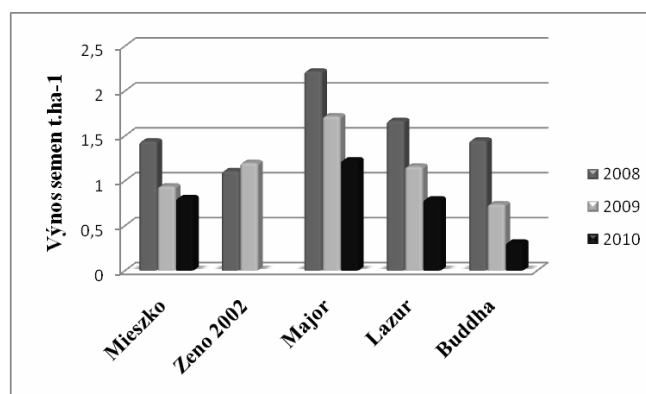
Silylace: 0,2 ml N-methyl-N(trimethylsilyl)-heptafluorobutyramidu a dále 0,5 µl trimethylchlorsilanu. Plamenem byly zataveny zkumavky a dány do sušárny při 105°C na cca 3 hodiny.

Vlastní chromatografické stanovení bylo provedeno na přístroji Agilent Technologies 6890 N s kolonou DB/5, 30 mm x 0,32 mm. Teplotní program: počáteční teplota 80 °C, po dobu 2 minut, poté postupný nárůst teploty až na 280 °C rychlostí 10 °C za minutu.

okraji pozemku a byly silně zaplevelené, jak již bylo zmíněno výše.

V České republice nejpěstovanější odrůda Major potvrdila ve všech třech letech svoji univerzálnost pro naše podmínky a její výnos byl ve všech třech sledovaných letech nejvyšší.

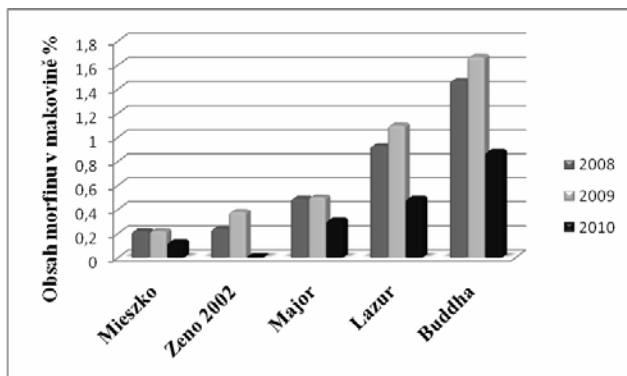
Graf 1: Výnosy semen jednotlivých odrůd v letech 2008 - 2010



Jak je patrné z grafu 2, z hlediska obsahu alkaloidů, v našem případě především morfinu byl v tříletém porovnání nejpříznivější rok 2009, a to hlavně díky teplému průběhu počasí, kdy se v rostlinách máku tvoří bílkoviny (prekurzory morfinu). Nejlepších obsahů samozřejmě dosahovaly vysokomorfinové odrůdy Buddha a Lazur. Oproti tomu v letošním roce 2010 bylo počasí pro kvalitu makoviny značně nepříznivé, hlavně kvůli vytrvalému deštivému počasí na

konci vegetace máku, které způsobilo vymývání alkaloidů (morfinu) ze zralých makovic. Dosažený výnos byl podobně jako u semen snížen na polovinu v porovnání s předešlými roky.

Graf 2: Obsah morfinu jednotlivých odrůd v letech 2008 - 2010

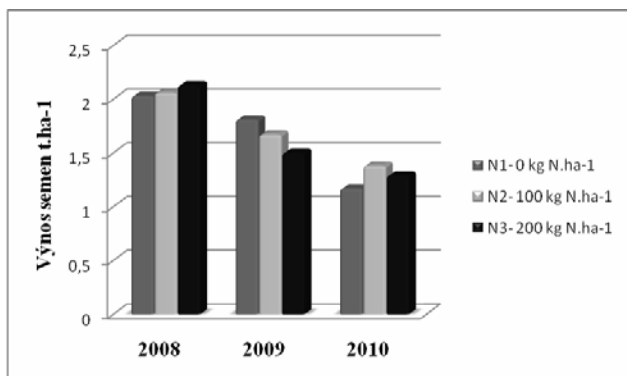


Ad. 2. Aplikace N – hnojiv. Dusík rostliny máku potřebují především v prvních fázích růstu, dále v období růstu stonku (pro dobrý vývin hlavní a postranních lodyh), pro vytvoření dostatečného počtu velkých listů a velkých pupat. Od fáze kvetení až do plného vytvoření semen je rostlinami přijímán relativně vyšší podíl draslíku a fosforu – zajišťují dobrý průběh kvetení, tvorby tobolek a semen (FÁBRY a kol., 1992). Správná výživa je také důležitá pro tvorbu alkaloidů v makovině, více je však ovlivňována genetickým základem odrůdy.

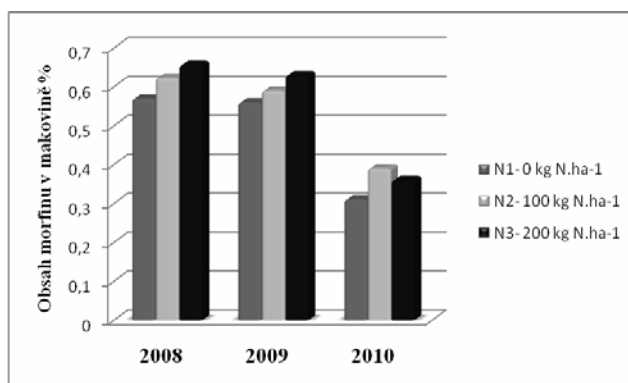
Pro optimalizaci výnosu je tedy důležité dodat veškerý N nejpozději do fáze kvetení.

V grafu 3 jsou uvedené výsledky pro tři varianty hnojení. U sledovaných charakteristik je v roce 2008 patrný trend zvyšování výnosu semene i obsahu morfinu v makovině. V roce 2009 tomu bylo opačně. Příčinou bylo suché počasí v rozhodující růstové fázi máku, které neumožnilo příjem dusíku z aplikovaných hnojiv. Za optimální můžeme považovat variantu N2 - 100 kg N.ha⁻¹, která se osvědčila v letošním roce jak pro výnos semen, tak i v obsahu morfinu (graf 4). Vyšší dávky N nezajistí ekonomicky rentabilní výnos a navíc mohou zvýšit riziko napadení houbovými chorobami.

Graf 3: Vliv N-hnojení na výnos u odrůdy Major



Graf 4: Vliv N-hnojení na obsah morfinu v makovině u odrůdy Major



Ad. 3. Aplikace fungicidů. Houbové choroby patří stále k důležitým limitujícím činitelům při pěstování máku. Škodlivost houbových chorob v máku je ovlivněna průběhem povětrnostních podmínek, možným zdrojem infekce a způsobem pěstování. To úzce souvisí s rostoucí výměrou ploch a s vyšším podílem pozemků obhospodařovaných redukováným zpracováním půdy (KULHÁNEK, 2008).

Za nejrozšířenější chorobou máku je považována helmintosporiáza (*Pleospora papaveraceae*). Výnosové ztráty se při napadení touto chorobou pohybují každoročně v rozmezí 10 – 40 %.

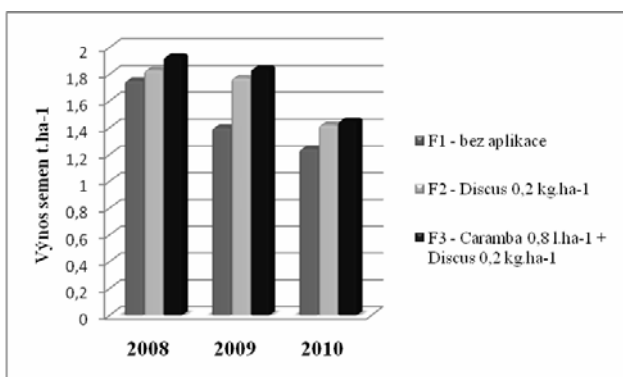
Další významná choroba je plíseň maková (*Perenospora arborescens*), která často představuje riziko hlavně u porostů založených na podzim.

KULHÁNEK (2008) uvádí zvýšení výnosu semene o 58 % při aplikaci přípravku Discus oproti neošetřené kontrole a 63% navýšení výnosu při aplikaci Caramba + Discus. V našich pokusech nedošlo k tak výraznému nárůstu ve výnosu semen, přesto měla aplikace fungicidů pozitivní vliv na výnos. V roce 2008 byly porosty téměř bez chorob, proto se účinek fungicidů projevil více až v roce následujícím. Letošní rok 2010 byl typický silným napadením porostu chorobami, výnosy byly celkově nižší.

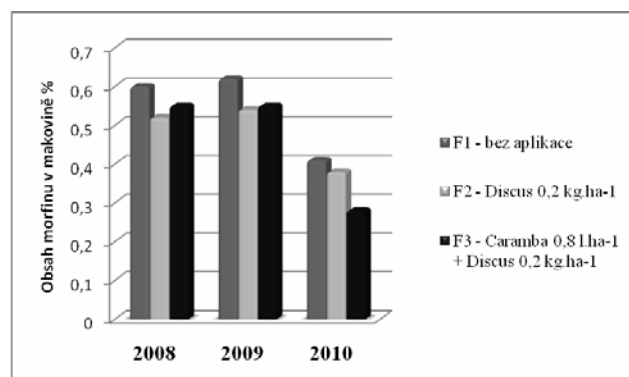
Jako nejlepší lze považovat variantu F3 (graf 5), tedy společnou aplikaci přípravku Caramba a Discus, která znamenala navýšení výnosu oproti neošetřené kontrole o 10 % v roce 2008, 31 % pro rok 2009 a 17 % v roce 2010.

Aplikace fungicidů na obsah morfinu v makovině měla v našich pokusech spíše negativní vliv (graf 6). Neošetřená kontrola vykazovala vždy vyšší množství morfinu v makovině oproti ostatním variantám. Při porovnání dvou zvolených variant aplikace fungicidů dosáhla vyššího výnosu společná aplikace přípravků Caramba a Discus. Samotná aplikace přípravku Discus se ale osvědčila v deštivém letošním roce 2010 a zaostala za neošetřenou kontrolou jen o 7 %.

Graf 5: Vliv aplikace fungicidů na výnos semen u odrůdy Major t.ha⁻¹



Graf 6: Vliv aplikace fungicidů na obsah morfinu v makovině (%)



Závěr

Z tříletých výsledků odrůdových pokusů je patrný rozhodující vliv genetického základu odrůdy na obsah morfinu, tento vliv je pak více či méně modifikován ročníkem. Ve všech pokusných letech dopadla nejlépe z hlediska výnosu semen odrůda Major.

Optimální dávkou dusíku je, s ohledem na ekonomické hledisko 100 kg N na ha. Vyšší dávky nezajistí potřebný výnos, aby byla aplikace rentabilní, a navíc mohou zvýšit riziko napadení houbovými chorobami.

Agrotechnické zásahy mají za svůj hlavní úkol eliminovat nepřízeň ročníku. Některé zákroky však musí být vedeny se zvýšeným ohledem na vyšší citlivost rostlin máku ke stresu, který je vyvoláván aplikací pesticidů. Pokud se v daném roce na porostech nevy-

skytne patogen v míře ohrožující výnos, je lepší aplikace omezit. Společná aplikace přípravku Caramba a Discus dosahovala lepších výsledků ve výnosu semen než samotný Discus. Aplikované fungicidy obsah morfinu v našich pokusech snižovaly.

Problematika je součástí disertační práce a byla také řešena v projektu CIGA 21160/1313/3106, Farmaceuticky využitelné alkaloidy v máku (*Papaver sp.*) a jejich produkce, dále FRVŠ 21160/1161/1606 (Vliv způsobu pěstování na produkci hlavních alkaloidů u *Papaver somniferum L.* a *Papaver bracteatum Lindl.*) a také ve výzkumném závěru MSM 6046070901 (Setrvalé zemědělství, kvalita zemědělské produkce, krajinné a přírodní zdroje).

Použitá literatura

- FÁBRY, A. a kolektiv (1992): Olejiny, MZE, s. 280.
- INCB (2009): Narcotic drugs. Estimated World Requirements for 2010, Statistics for 2008 (E/INCB/2009/2), United Nations, New York.
- KULHÁNEK, I. (2008): Zkušenosti s fungicidy Caramba a Discus v máku v roce 2007. Sdružení Český Mák informuje, 7. Makový občasník, Sborník odborných seminářů „Mák v roce 2008“, Praha, p. 57 – 58.
- SZÜCS, Z., SZABADY, B., SZATMÁRY, M., CIMPAN, G., NYIREDY, S. (2002): High-Trouth Analytical Strategy with Combined Plana rand Column Liquid Chromatography for Improvement of the Poppy (*Papaver somniferum L.*) with a High Alkaloid Content. Chromatographia, 56, p. 49 – 54.
- VLK, R. (2004): Možnosti zvyšování obsahu morfinu v makovině, Sborník konference s mezinárodní účastí, Praha, p. 145 – 148.
- VLK, R., KOSEK, Z., ŠIMEK, P. (2010): Výsledky odrůdových pokusů máku ze Společného katalogu odrůd EU. Sdružení Český Mák informuje, 9. makový občasník, ČZU v Praze, p. 20 – 23.
- WORLD DRUG REPORT (2009): dostupné z:
http://www.unodc.org/documents/wdr/WDR_2009/WDR2009_eng_web.pdf
- ZUKALOVÁ, H., CIHLÁŘ, P., KOSEK, Z. (2005): Požadavky na kvalitu makoviny, kvantitativní stanovení morfinu v makovině. Sdružení Český Mák informuje, 4. Makový občasník, Sborník odborných seminářů „Mák v roce 2005“, ČZU, p. 59 – 62.
- www.chmi.cz
- www.srs.cz

Kontaktní adresa

Ing. Jana Doležalová, Katedra rostlinné výroby a Centrum pro výuku chovu koní Humpolec, ČZU v Praze, Lužická 468, Humpolec, tel. 224 386 501, e-mail: DolezalovaJ@af.czu.cz.