

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra botaniky a fyziologie rostlin**



**Studium rychlosti výměny plynů u různých genotypů  
máku**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Lukáš Slowiaczek**

**Vedoucí práce: Ing. František Hnilička, Ph.D.**

© 2014 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Studium rychlosti výměny plynů u různých genotypů máku" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 11. dubna 2014

\_\_\_\_\_

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Františku Hniličkovi Ph.D. za odborné vedení, ochotu a cenné informace při zpracování bakalářské práce. Dále můj dík patří Ing. Martinu Matějovičovi za pomoc při pokusech a měřeních.

# Studium rychlosti výměny plynů u různých genotypů máku

## Souhrn

Bakalářská práce na téma: Studium rychlosti výměny plynů u různých genotypů máku, byla zpracována na Katedře botaniky a fyziologie rostlin, Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů ČZU v Praze. Cílem této práce bylo stanovit genotypové a ontogenetické rozdíly v rychlosti výměny plynů vybraných odrůd máku setého. Bakalářská práce vznikla na základě skutečnosti, že většina studií spojených s plodinou mák setý (*Papaver somniferum*) se zaměřují na obsah alkaloidů a jiných látek v makovině. Fyziologické studie k této plodině chybí.

Do pokusu byly vybrány následující odrůdy máku setého: Botond, Major, Maratón, Mieszko, Opál a Redy. Odrůdy byly vybrány na základě obsahu alkaloidů, především morfinu – vysoko obsažné (Botond), se středním obsahem (Major, Maratón a Opál) a nízko obsažné (Mieszko a Redy). Veškeré testované genotypy byly testovány v rámci studia genetických zdrojů máku. Osivo bylo dodáno z GB Oseva Pro s.r.o., o.z. VÚO Opava a z firmy Český mák.

Pokus byl založen jako skleníkový, v částečně řízených podmínkách. Světelný režim byl nastaven na 14 hodin světla a 10 hodin tmy, při teplotním režimu 22 °C ve dne a v noci 15 °C. Rostliny máku vybraných genotypů byly pěstovány v nádobách. Rostliny máku byly nejprve předpěstovány v nádobách o rozměrech 11 x 11 cm. Ve vývojové fázi BBCH 35 byly přesazovány do pěstebních nádob o výšce 18 cm a šířce 15 x 15 cm.

Rostliny byly zavlažovány 100 ml vody na nádobu. V průběhu vegetace byly rostliny 2x (fáze BBCH 22 a 35) ošetřeny fungicidním přípravkem Previkur 607 SL proti padání klíčnicích rostlin. Dále bylo provedeno ošetření proti škůdcům – sviluška a mšice maková. Na ochranu rostlin vůči těmto patogenním organismům byly použity přípravky Vertimex 1,8 EC a Chess 50WG. Přípravky byly aplikovány ve fázi BBCH 35.

Rostliny máku byly během ontogenetického vývoje 2x přihnojeny NPK o koncentraci 3 %, ve vývojových fázích BBCH 27 a 45.

Pro měření rychlosti výměny plynů byl použit přístroj LCpro+ (ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, Velká Británie), kdy rychlost výměny plynů byla měřena v následujících vývojových fázích BBCH: 25, 27, 35, 41, 45, 49 a 50. Z poměru hodnot rychlosti fotosyntézy a transpirace byla vypočtena efektivita využití vody.

Ze získaných výsledků vyplývá, že rychlost fotosyntézy byla nejvyšší u odrůd se středním obsahem morfinu (odrůdy Major  $16,43 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , Maratón  $15,28 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  a Opál  $14,93 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Nejnižší rychlost fotosyntézy byla naměřená u odrůd s vysokým obsahem morfinu (odrůda Botond  $14,51 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) a odrůd s nízkým obsahem morfinu (odrůdy Mieszko  $14,88 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  a Redy  $14,45 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Nejvyšší rychlost transpirace byla naměřena u odrůdy Maratón  $4,65 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  a Redy  $4,34 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Naopak odrůdy Mieszko  $2,91 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  a Botond  $3,16 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  byly transpiračně nejnižší. Efektivita využití vody byla nejvyšší u odrůdy Mieszko  $5,11 (10^{-3})$ . Nejnižší hodnotu WUE vykazovaly odrůdy Maratón  $3,29 (10^{-3})$  a Redy  $3,33 (10^{-3})$ . V rámci ontogenetického vývoje vybraných odrůd máku setého byl zaznamenán nárůstu rychlosti fotosyntézy a transpirace. Byl potvrzen vliv genotypu na sledované fyziologické charakteristiky.

**Klíčová slova:** mák setý; *Papaver somniferum*; genotypy; fotosyntéza; transpirace

# **Study of gas exchange by different genotypes of poppy**

## **Summary**

Bachelor thesis with the topic: Study of gas exchange by different genotypes of poppy, was worked out at the Department of botanics and plant physiology, Faculty of agrobiological, food and natural resources ČZU in Prague. The purpose of this thesis was to determine genotype and ontogenetic differences in the speed of gas exchange for certain species of opium poppy. Bachelor thesis was based on the fact that most studies about opium poppy (*Papaverum somniferum*) are focused on the content of alkaloids and other substances that are present in poppy seeds. There is a lack of physiological studies about this plant.

Following species of opium poppy were chosen for the experiment: Botond, Major, Maratón, Mieszko, Opál and Redy. These species were chosen according to the content of alkaloids, especially morphine – high content (Botond), medium content (Major, Maratón a Opál), and low content (Mieszko a Redy). All of the tested genotypes were tested as object of study of genetic poppy resources. Seed were supplied by GB Oseva Pro s.r.o., o.z. VÚO Opava and company Český mák.

The experiment was founded as greenhouse project in partially directed conditions. Light conditions were set to 14 hours of light and 10 hours of darkness, with the temperature 22°C during day and 15°C at night. Poppy plants were planted in containers. At the beginning, plants were placed in containers 11x11 cm. In phase BBCH 35, they were replaced into containers with height 18 cm and width 15x15 cm.

Plants were watered by 100 ml of water per container. During vegetation, they were treated by fungicide Previkur 607 SL twice (phase BBCH 22 and 35) against falling of germinative plants. Treatment against pests – tetrachynus and aphids, was done as well. Vertimex 1,8 EC and Chess 50WG were used as a protection against these pathogenic organisms. They were applied during phase BBCH 27 and 45.

Machine LCpro+ (ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, Great Britain) was used for measuring the speed of gas exchange, which was measured during ontogenetic phases BBCH: 25, 27, 35, 41, 45, 49 and 50. Water usage effectiveness was then calculated from the ratio of the speed of photosynthesis to the speed of transpiration.

Achieved results imply that the speed of photosynthesis was higher for the species with medium content of morphine (Major 16,43  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , Maratón 15,28  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  and Opál 14,93  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Lowest speed of photosynthesis was measured for the species with high content of morphine (Botond 14,51  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) and low content of morphine (Mieszko 14,88  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  and Redy 14,45  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). The highest speed of transpiration was measured for species Maratón 4,65  $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  and Redy 4,34  $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . On the contrary, species Mieszko 2,91  $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  and Botond 3,16  $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  had lowest values of transpiration. Water usage effectiveness was highest for species Mieszko 5,11 ( $10^{-3}$ ). WUE was lowest for Maratón 3,29 ( $10^{-3}$ ) and Redy 3,33 ( $10^{-3}$ ). During ontogenesis of chosen species of opium poppy, the increase in the speed of photosynthesis and transpiration was noticed. The influence of genotype on observed physiological characteristics was confirmed.

**Keywords:** Opium poppy; *Papaver somniferum*; genotypes; photosynthesis; transpiration

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Cíle a hypotézy.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Literární přehled .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>Botanická charakteristika máku setého.....</b>	<b>4</b>
<b>3.2</b>	<b>Historie pěstování máku setého.....</b>	<b>7</b>
<b>3.3</b>	<b>Růst a vývoj máku setého .....</b>	<b>12</b>
<b>3.4</b>	<b>Agrotechnika pěstování máku setého .....</b>	<b>16</b>
<b>3.5</b>	<b>Legislativa v pěstování máku setého .....</b>	<b>22</b>
<b>3.6</b>	<b>Nejdůležitější makové alkaloidy.....</b>	<b>24</b>
<b>3.7</b>	<b>Odrůdová skladba máku setého.....</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>Materiál a metodika.....</b>	<b>27</b>
<b>4.1</b>	<b>Charakteristika pokusného materiálu .....</b>	<b>27</b>
4.1.1	Odrůda Botond .....	27
4.1.2	Odrůda Major .....	27
4.1.3	Odrůda Maratón .....	28
4.1.4	Odrůda Mieszko.....	28
4.1.5	Odrůda Opál.....	28
4.1.6	Odrůda Redy .....	29
<b>4.2</b>	<b>Založení pokusu.....</b>	<b>29</b>
<b>4.3</b>	<b>Měření fyziologických charakteristik .....</b>	<b>30</b>
4.3.1	Měření výměny plynů .....	30
4.3.2	Měření fotosyntézy a transpirace.....	31
4.3.3	Efektivita využití vody (WUE).....	32
<b>5</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>33</b>
<b>5.1</b>	<b>Rychlost výměny plynů.....</b>	<b>33</b>
<b>5.2</b>	<b>Efektivita využití vody (WUE).....</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>Diskuse .....</b>	<b>42</b>
<b>6.1</b>	<b>Rychlost výměny plynů.....</b>	<b>42</b>
6.1.1	Rychlost fotosyntézy .....	42
6.1.2	Rychlost transpirace .....	43
6.1.3	Efektivita využití vody (WUE).....	44
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>46</b>
<b>8</b>	<b>Přehled použité literatury.....</b>	<b>47</b>



# 1 Úvod

Pro lidstvo je mák setý (*Papaver somniferum* L.) významnou rostlinou již od neolitu. Mák je pěstován v polních kulturách pro olejnatá semena, která obsahují 50 % polovysychavého oleje a používají se hlavně k potravinářským účelům (buchty, makovec, koláče, závin, posyp na pečivo aj.). Z pravých tobolek s krátkým stonkem se získávají farmaceuticky cenné alkaloidy (morfin, kodein, thebain, papaverin, narkotin aj.), zejména s analgetickými a narkotickými účinky. V semenech alkaloidy chybějí. V řadě asijských zemí se mák setý pěstuje pro opium vznikající ztuhnutím latexu vytékajícího z naříznutých nezralých tobolek (makovic). Opium, z něhož bylo izolováno asi 50 alkaloidů, je zhoubné narkotikum zneužívané (např. kouřením, žvýkáním) jako omamný prostředek. Z podstatné části světové produkce opia (resp. morfinu) se získává krajně škodlivý a nebezpečný heroin (diacetylmorfin). Podle použití se tradičně rozlišuje máky (resp. kultivary) olejné se slaběji vyvinutým systémem mléčnic a máky opiové s mléčnicemi dobře vyvinutými. Mák se vysévá též jako okrasná letnička.

Legislativa spojená s pěstováním máku, produkci semene, makoviny a opia je v mnoha zemích odlišná. V některých je pěstování povoleno bez větších omezení (např. Česká republika), v jiných je produkce máku pod přísnou kontrolou státních orgánů (např. Indie).

V ČR upravuje pěstování, dovoz i vývoz máku zákon č. 167/1998 Sb. o návykových látkách. Opium je na rozdíl od máku považováno za omamnou či psychotropní látku a neoprávněné držení více než 700 mg je trestným činem. Česká republika se 47 tis. ha pěstební plochy patří k nejvýznamnějším pěstitelům máku nejen v evropském ale i světovém měřítku. Hlavní a v poslední době téměř výhradní zájem pěstitelů je záměr pěstovat mák pro vysoký výnos kvalitního modrého semene pro kulinářské použití. Turecko s plochou okolo 36 tis. ha, kde se mák pěstuje jak pro semeno, tak i pro obsah alkaloidů v makovině, v závislosti na odrůdách, je po České republice druhým největším legálním pěstitelem máku ve světě. Oproti tomu Slovensko je zemí, jejíž šlechtitelé se snaží vyprodukovat odrůdy máku, které by poskytovaly „jedlé“ semínko a zároveň by jejich makovina byla použitelná pro výrobu alkaloidů.

Tato bakalářská práce vznikla na základě skutečnosti, že většina studií spojených s plodinou mák setý (*Papaver somniferum*) se zaměřují na obsah alkaloidů a jiných látek v makovině. Fyziologické studie k této plodině chybí.

## 2 Cíle a hypotézy

U vybraných genotypů máků, využitelných jako genetické zdroje, byla v průběhu vegetace zjišťována rychlost výměny plynů, především rychlost fotosyntézy a transpirace.

Byly navrženy následující cíle práce:

- a) Stanovit rozdíly v rychlosti výměny plynů u vybraných odrůd máku setého.
- b) Stanovit rozdíly v rychlosti výměny plynů v rámci ontogenetického vývoje vybraných odrůd máku setého.

Na základě navržených cílů byly navrženy následující hypotézy:

- 1) Existují genotypové rozdíly v rychlosti výměny plynů u máku setého?
- 2) Existují rozdíly v rychlosti výměny plynů v rámci ontogenetického vývoje rostlin máku setého?

Kulturní mák je prastarou, historií opředenou, lidem velmi prospěšnou plodinou. Pro nezaměnitelnou chuť semene je užíván v potravinářství. Pletiva, především tobolek (makovic), produkují alkaloidy, které se po tisíciletí užívají pro tišení nejkřutějších bolestí. Česká republika se od roku 2006 stala největším producentem a vývozcem makového semene a proto je vhodné vedle obsahových látek popsat primární metabolismus rostlin a tyto údaje využít při popisu daných genotypů.

### 3 Literární přehled

#### 3.1 Botanická charakteristika máku setého

Čeleď *Papaveraceae* – mákovité jsou jednoleté až vytrvalé byliny, alespoň v mládí mléčící. Listy střídavé, bez palistů. Květy jednotlivé, zřídka v chudokvětých okolících, oboupohlavné, bisymetrické až téměř pravidelné, různobalné. Kališní lístky většinou 2 volné nebo srostlé, korunní obvykle 4 ve dvou kruzích, volné; tyčinek mnoho, pylová zrna trikolpatní nebo od tohoto typu odvozená; semeník svrchní, synkarpní, ze 2 – 19 plodolistů, s velkým množstvím obrácených nebo ohnutých dvouobalných vajíček. Plod tobolka. Semena se silně vyvinutým endospermem, bohatým na olej a bílkoviny; embryo malé, zakřivené. Asi 26 rodů (420 druhů), převážně v mimotropických pásech severní polokoule (Slavík a kol., 1988).

*Papaver somniferum* – Mák setý je jednoletá bylina, ze všech částí mléčící. Lodyha je 30 – 180 cm vysoká, přímá, jednoduchá až bohatě větvená, lysá nebo řídce štětinatě chlupatá, modře ojíněná. Listy celistvé, zubaté, dolní podlouhlé, v řapík zúžené, horní poloobjímavé. Korunní lístky bílé, růžové, červené, fialové až tmavofialové, někdy na bázi s tmavší skvrnou. Tobolka různého tvaru, nejčastěji válcovitá, elipsoidní až téměř kulovitá. Semena 1,0 – 1,5 mm velká, modrošedá, vzácněji bílá, žlutá, růžová, hnědá až téměř černá viz obr. 1 (Slavík a kol., 1988).



obr. 1: Mák setý (zdroj wikipedie).

Mák je často pěstován v polních kulturách pro olejnatá semena, používaná v domácnostech a k získávání oleje, nebo jako okrasná letnička. Nařezáváním nezralých makovic se získává opium; obsahuje asi 50 alkaloidů, největší význam mají alkaloidy morfinového typu (morfin, kodein, thebain aj.) (Slavík a kol., 1988).

U nás se alkaloidy získávají jen zpracováním suchých makovic, které jsou důležitou surovinou pro farmaceutický průmysl. Původ druhu *Papaver somniferum* není spolehlivě znám, vznik snad z diploidního typu *Papaver somniferum* subsp. *setigerum* (nebo s ním má společného předka) v Přední Asii nebo ze Středozeří. V Evropě pěstován již od neolitu (Švýcarsko, Francie), první nálezy od nás (severní Morava) se datují předběžně do boreálu až subatlantiku (Slavík a kol., 1988).

### **Vegetativní orgány rostliny máku**

**Kořenová soustava máku** je tvořena hlubokým křovitým kořenem (kolem 750 mm) s několika silnými postranními kořeny a velkým množstvím vláscitých kořínků, které se tvoří mělce pod povrchem půdy. Při bezorebném zpracování půdy je hlavní kořen výrazně zkrácen a větší na povrchu (Vašák, 2010).

**Lodyha** je vzpřímená, ortotropicky orientována k povrchu půdy. Vnitřek je vyplněn dřevem. Je hranatá, přičemž stupeň její hranatosti a větví (počet hran) závisí na počtu cévních svazků, jež odpovídá počtu paprsků bliznového terče. Výška lodyhy je odrůdovým znakem. Je ovlivněna i počtem rostlin na jednotce plochy, raností setby, výživou, poměry klimatickými, ročníkem aj. Pohybuje se od 60 do 200 cm. Lodyha má barvu šedozelenou až modrozelenou s voskovým povlakem. Nafialovělé zbarvení antokyany se objevuje po odkvětu a jeho intenzita odpovídá zbarvení hypokotylu, bazální skvrny petalů a tobolky (Fábry a kol., 1992). Podle uvedených autorů tvoří lodyha v úžlabí středních listů větve. Větvení je cymózní. Větve 1. řádu převyšují hlavní lodyhu. Odklon větví od lodyhy je vzpřímený až přímo odstávající. Tloušťka lodyhy na bázi nad zemí je průměrně 18 – 20 mm, pod rozvětvením 8 – 15 mm. Přirozený počet větví je 3 – 7. Při hustotě porostu v současně prováděné velkovýrobní technologii je 0 – 2. Pod květem může být lodyha lysá slabě štětinatá až silně štětinatá. Tento znak se výrazně dědí.

**List** máku je bifaciální. Svrchní a spodní epidermis je jednovrstevná s voskovým povlakem, ve spodní pokožce jsou průduchy. Palisádový parenchym tvoří dvě vrstvy protáhlých a navzájem těsně přiléhajících buněk s velmi hojnými chloroplasty, interceluláry téměř chybějící. V houbovém parenchymu jsou laločnaté buňky nepravidelného tvaru

s poměrně malým počtem chloroplastů, mezi buňkami se nacházejí rozsáhlé interceluláry. V listovém parenchymu procházejí svazky cévní. Listy jsou řapíkaté, poloobjímavé či přisedlé, s čepelemi různého tvaru (Fábry a kol., 1992). Fábry a kol. (1992) dále konstatují, že okraj čepele spodních a středních listů je vykrajovaný – listy jsou peřenolaločnaté až peřenodílné, okraj horních listů je pilovitý až zubatý, místy dvakrát zubatý až dvakrát pilovitý. Listy jsou lysé nebo s ojedinělými až roztroušenými trichomy na žilnatině u odrůd s více nebo méně štětinatými stonky. Listy jsou rozestaveny na lodyze v levotočivé genetické spirále třířadově střídavě. Olistěnost hlavní lodyhy je velká a má rozhodující význam pro asimilaci rostliny, olistěnost větví je malá (listy jsou malé) až žádná. Počet listů na jedné rostlině bývá 15 – 28. Celková listová plocha rostliny máku na začátku kvetení dosahuje asi 130 000 mm<sup>2</sup>.

### **Generativní orgány rostliny máku**

**Poupata** mají tvar podlouhle oválný, oválný, vejčitý i opakvejčitý, délky 3,3 až 4,3 cm, šířku 1,5 až 2,5 cm. Jsou lysá. Květní stopka je obvykle obarvená, po odkvětu zjizvená na místech, kde přisedaly tyčinky (tzv. tyčinkový pásek) (Fábry a kol., 1992).

**Květ máku** má dva lístky kališní a čtyři korunní plátky. Korunní plátky mohou být různě zbarvené. Některé odrůdy mají květy celé bílé, ale ve většině případů se na bázi korunních plátek objevuje velká skvrna. Je buď světlejší, nebo ještě častěji tmavší než je zbývající část korunního plátku. Květy mohou být růžové, světle nebo tmavě červené, fialové. Korunní plátky jsou buď celokrajné nebo zubaté, nebo i silně roztřepené. Tyčinek je mnoho, od 150 do 250. Také pylu se tvoří velké množství. Pylová zrna jsou životná asi týden. Mák je samosprašný, ale protože vytváří velké množství pylu je vyhledáván včelami i blýskáčkem řepkovým. Uvádí se, že včely pracující na máku jsou více agresivní, útočné (Vašák, 2010).

**Tobolka**, tzv. makovice, má tvar úzce elipsoidní, široce elipsoidní, kulovitý, válcovitý, vejčitý, opak srdčitý, ledvinovitý a jiný. Je velmi variabilní i u jedné odrůdy. Typ je buď otevřený (hledák), polootevřený, nebo uzavřený (slepák). Povrch tobolky může být hladký nebo hrbolatý či žebernatý. Barva v technické zralosti je žlutozelená až anthokyanově zbarvená, v plné zralosti šedě hnědá až kávově hnědá. Na rostlině bývá 2 – 3 – 7 tobolek, při silném větvení 15 i více. Podíl makoviny na hmotnost plné tobolky 2/3 až 3/5. Počet semen v tobolce je 1 000 až 12 000 (Fábry a kol., 1992).

**Semeno máku** je podle Vašáka (2010) ledvinovité, dlouhé asi 1,0 – 1,5 mm. Jeho povrch je rozbrázděný v šestiúhelníkové plošce ohraničené mírně vystouplými žebry. Povrch je proto drsný a to zvyšuje přilnavost práškovitých ochranných prostředků i vody. Naše

odrády mají modré, šedomodré či bílé, případně okrové osemení. Barva osemení však může být také stříbrošedá, fialová, růžová, hnědá někdy až černá. Průměrná hmotnost tisíce semen u dnes pěstovaných odrůd máku se pohybuje kolem 0,55 g. Tmavá = blankytně modrá barva osemení je současně určitou garancí typické makové chuti máku. Bílá a obecně světlá semena mají nevýraznou chuť a vůni. Bílá barva je typická pro velmi tenká osemení, tedy pro nízký obsah vlákniny a ligninu, včetně chuťově významných doprovodných látek. Tím, že je osemení tenké má méně „balastu“, je ale ve světlém semeni více tuku. Zralé semeno obsahuje 42 až 55 % polovysychavého oleje.

### 3.2 Historie pěstování máku setého

Podle Slavíka a kol. (1988) vznikl mák setý (*Papaver somniferum* L.) z diploidního typu *Papaver somniferum* subsp. *setigerum* – mák štětinkatý, nebo s ním má alespoň společného předka. Pro lidstvo je významnou rostlinou již od neolitu, přitom se planá forma máku setého v přírodě nevyskytuje (Novák, 1990). Fábry a kol.(1992) potvrzují, že kulturní mák setý (*Papaver somniferum* L.) se jako planá rostlina v přírodě nevyskytuje. Z počátku se pravděpodobně pěstoval pro semena, jako potravina, teprve později byl zjištěn narkotický účinek jiných části rostlin (Zimova, 1971). V současné době je pěstován jako olejnina, farmaceutická a dekorativní rostlina (Novák, 1990).

O původu máku setého (*Papaver somniferum* L.), neexistuje jednotný názor (Gajdaš a kol., 2002). Vašák (2010) předpokládá jeho původ ve východoasijském a předoasijském genovém centru. K nejstarším historickým nálezům máku patří zbytky semen a tobolk z období neolitu, objevené ve švýcarských kolových stavbách v jižní Francii (Novák, 1990). Ve Středomoří se mák zřejmě pěstoval již v 6. stol. př. n. l. První zmínka o máku setém byla zapsaná 3000 let př. n. l. klínovým písmem na hliněných destičkách nalezených v Nippuru, duchovním centru Sumerů (Paul a Schiff, 2002). Typickým pěstitelem máku setého (*Papaver somniferum* L.) je Turecko, kde je mák tradiční rostlinou od cca 3 000 let př. n. l. (Vašák, 2010). Starým Egypťanům, Řekům a Římanům sloužil latex ke zmírnění bolesti a jako léčivo. Spánkotvorné účinky máku znali i Sumerové (Novák, 1992). Nazývali jej, Hul Gil nebo-li květina radosti (Nožina, 2001). Opiová tinktura tzv. „laudánium“ se užívala k léčbě průjmu, kašle, k tišení bolesti nebo se zneužívala jako droga. Dnes se laudánium využívá velmi vzácně.

Hippokrates často zmiňoval použití opia v léčebných přípravcích. Mluvil o hypnotických, omamných a také projímavých účincích „makové šťávy“ (Kritikos a Papadaki, 1967).

V Evropě se mák pěstoval od středověku, kde byl zpočátku zahradní a okrasnou rostlinou (Vašák, 2010). Podle Fábryho a kol. (1975) se mák jako polní plodina objevil v Evropě teprve na konci 17. století. Na větších plochách jako olejnina se mák pěstoval až začátkem 19. století. Vývoj osevních ploch a výnosů na území České republiky lze nepřetržitě sledovat od roku 1895, i když existují četné údaje i z předcházejícího období. Mák si u nás udržoval poměrně stálou plochu od první světové války (Bechyně a Novák, 1987).

### **Pěstování máku setého v České republice**

K nejvýznamnějším pěstitelům máku nejen v evropském ale i světovém měřítku patří Česká republika (Vlk a kol., 2010). Česká republika je příkladem země, kde je pěstování máku povoleno bez větších omezení, byť tato komodita je řazena společně s konopím mezi položky, na něž se vztahuje zákon č. 167/1998 Sb., o látkách vzbuzujících závislost a její produkce je podrobena přísnějším pravidlům a kontrole ze strany státu (Lohr a kol., 2012). Hlavní a v poslední době téměř výhradní zájem pěstitelů je záměr pěstovat mák pro vysoký výnos kvalitního modrého semene pro kulinářské použití (Vlk a kol. 2010). Produkce makového semene v České republice je v dlouhodobém průměru z 88 % exportována (Zukalová, 2010).

Z tabulky 1 vyplývá, že sklizňové plochy, kromě roku 2004, se zvyšovaly do roku 2008, kdy dosáhly 69,7 tis. ha. Od roku 2009 se sklizňové plochy snižovaly, až dosáhly 20,3 tis. ha v roce 2013.

**Tab. 1: Sklizňová plocha, průměrný hektarový výnos semen máku v ČR (zdroj český statistický úřad, 2013).**

Období	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Sklizňová plocha (tis. ha)	29,6	38,1	27,6	44,6	57	57	69,7	52,5	51,1	31,5	18,4	20,3
Výnos semen (t/ha)	0,57	0,51	0,9	0,82	0,55	0,59	0,75	0,63	0,5	0,85	0,75	x
Produkce semen (tis. t)	16,9	19,5	24,8	36,4	31,6	33,8	52,1	33,7	25,5	26,9	13,7	x



## **Pěstování máku setého ve světě**

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 123 tis. ha. Skutečná výměra, která zahrnuje i nelegální produkci však dosahuje plochy až 300 tis. ha (INCB, 2012).

Existuje několik skupin zemí, pěstujících mák, přičemž každá skupina k této plodině přistupuje rozdílně. Slovensko je zemí, jejíž šlechtitelé se snaží vyprodukovat odrůdy máku, které by poskytovaly „jedlé“ semínko a zároveň by jejich makovina byla použitelná pro výrobu alkaloidů. Podobně i Turecko, kde se mák pěstuje jak pro semeno, tak i pro obsah alkaloidů v makovině, v závislosti na odrůdách. Španělsko, Francie, Tasmánie a Maďarsko pěstují mák kvůli makovině, kvalita a chuťové vlastnosti máku je příliš nezajímají a prodej makového semene považují za bonus navíc. Indie představuje tu skupinu zemí, které vylučují produkci makového semene a mák pěstují pouze kvůli extrakci opia. Další země zakazují mák vůbec, některým se daří potlačovat jeho pěstování (např. Laos), jiným nikoliv. Je logické, že mezi těmito skupinami zemí musí dojít k rozporům. Nejde ani tak o to, že různé skupiny pěstitelských zemí zajímá na máku něco jiného, ale spíš o to, že země, kde považují mák za zdroj škodlivé grogy a tudíž za čisté zlo, nechápou, jak je možné, že jinde se mák produkuje takřka bez omezení. A že za jeho pěstování není trest smrti nebo alespoň doživotí (Lohr a kol., 2012).

Z tabulky 2 je patrné, že největším producentem máku je Česká republika s pěstební plochou 18 363 ha v roce 2012. Druhým největším producentem máku je Turecko s 13 511 ha pěstební plochy máku pro rok 2012. Z tabulky je patrné, že v roce 2010 Turecko překonalo Českou republiku ve velikosti pěstební plochy máku o 794 ha.

**Tab. 2: Sklizňové plochy máku setého ve vybraných zemích (zdroj FAO, 2013).**

ZEMĚ	PLOCHA (v ha)					
	rok 2007	rok 2008	rok 2009	rok 2010	rok 2011	rok 2012
Rakousko	2644,00	2011,00	2186,00	2536,00	1740,00	1548,00
Chorvatsko	800,00	1211,00	1642,00	3479,00	3492,00	2500,00
Česká republika	56914,00	69793,00	53623,00	51103,00	31495,00	18363,00
Francie	9500,00	9800,00	10,00000	9900,00	10,00000	10,00000
Německo	5546,00	4934,00	5281,00	5264,00	5300,00	5500,00
Maďarsko	4268,00	3376,00	3928,00	9169,00	8344,00	5281,00
Nizozemí	700,00	842,00	680,00	708,00	508,00	370,00
Okupovaná palestinská území	155,00	194,00	198,00	212,00	206,00	200,00
Rumunsko	3100,00	3241,00	3291,00	3678,00	3880,00	4000,00
Srbsko	850,00	944,00	864,00	950,00	900,00	900,00
Slovensko	1588,00	1923,00	1904,00	1594,00	1115,00	1053,00
Španělsko	6110,00	7220,00	7770,00	6507,00	6923,00	7000,00
Bývalá jugoslávská republika, Makedonie	236,00	222,00	618,00	413,00	284,00	180,00
Turecko	24586,00	20043,00	48893,00	51897,00	54911,00	13511,00

### Pěstování máku v Indii

Pěstování máku má v Indii dlouhou tradici. O využití látek, obsažených v makovicích, se mimo jiné zmiňují i základní díla tradičního indického lékařství, ajúrvédy. Mák je v současné Indii pěstován výhradně jako surovina pro výrobu alkaloidů. Indie tak představuje protipól České republiky, kde se mák pěstuje takřka výhradně jako pochutina (Lohr a kol., 2012). Indie je největším světovým výrobcem opia. Kromě pokrytí domácí poptávky je opium vyváženo do celého světa (Abhishek a Choudhary 2010). Produkce máku je v této zemi v zásadě zakázána podle článku 8 zákona o omamných a psychotropních látkách z roku 1985, s výjimkou pěstování na základě licencí udělovaných podle téhož zákona. Produkce je pod přísnou kontrolou státních orgánů, Centrálního úřadu pro kontrolu narkotik, který vydává licence k pěstování máku (Lohr a kol., 2012).

Z tabulky 3 je patrné, že nejnižší sklizňová plocha byla v roce 2008 – 09 pouhých 2 653 ha. Nejvyšší sklizňová plocha byla podle tabulky zaznamenána v roce 2003 – 04, kdy dosáhla 18 591 ha. Celkově je z tabulky patrné, že v Indii se od roku 2001 – 02 do roku 2007 – 08 plochy máku snižovaly, s výjimkou roku 2003 – 04, a od roku 2008 – 09 se začínají opět zvyšovat. V roce 2009 – 10 byla pěstební plocha 12 237 ha.

**Tab. 3: Rozlohy, počet (udělených) licencí a produkce opia v Indii (Lohr a kol., 2012).**

Sklizňový rok	Počet licencovaných pěstitelů	Celkem licencovaná plocha (v ha)	Sklizená plocha (v ha)	Produkce opia (v tunách při hustotě 70°)	Průměrný výnos (v kg/ha v přepočtu na hustotu 70°)
2001 – 02	114486	22,847	18447	1055	57,19
2002 – 03	102042	20,410	12320	684	55,52
2003 – 04	105697	21,141	18591	1096	58,95
2004 – 05	87670	8,770	7833	457	58,34
2005 – 06	72478	7,252	6976	442	63,36
2006 – 07	62658	6,269	5913	357	60,38
2007 – 08	46775	4,680	2653	176	66,41
2008 – 09	44821	11,020	8853	524	59,18
2009 – 10	60787	23,425	12,237	739	60,37

### 3.3 Růst a vývoj máku setého

Vývoj máku setého (*Papaver somniferum* L.) znázorňuje tab. 4. Vývojové fáze lze rozdělit na fáze klíčení, fáze vzcházení a fáze vytváření prvních listů, kdy semeno vytváří v místě pupku kořínek, pak dělohy a primární pravé listy. Ve fázi přizemní růstové růžice, má rostlina výšku 4-5 cm a stonek 0,5-0,8 cm dlouhý. Na konci této fáze je vzrostlý – vegetační vrchol organizován tak, že vedle základů vegetativních orgánů jsou zde patrné základy všech květů a jejich částí. Ve fázi stonkování, větvení a tvorby pupat – butonizace, rostliny přirůstají 2 – 3 cm za 24 hodiny, přičemž nejvíce mezi 4. – 10. uzlem – nodem. Při fázi kvetení a fázi tvorby semen a vývinu tobolky květy rozkvétají ráno a během 1 – 2 dnů odkvétají. Po odkvětu květu na hlavním stonku se rychle rozvíjejí pupata a odkvétají květy na vedlejších stoncích, a to v intervalu 1 – 4 dnů. Za 14 dnů po odkvětu se vytvoří tobolka v konečné formě a rozměrech a probíhá vývoj semene (technická – opiová zralost). Fáze zrání tobolky a fáze plné zralosti tobolky probíhají od technické zralosti tobolek až do plné (biologické) zralosti semen, to je do doby, kdy semena v tobolkách chrastí. Tobolky zhnědnou, vyschnou a vybarvená semena v nich volně leží. Rostliny zežloutnou, zhnědnou a vyschnou (Fábry a kol., 1992).

Podle výzkumu ČHMÚ na fenologických stanic Kujavy (260 m n. m.), Trštěnice (430 m n. m.) a Vysoké nad Jizerou (670 m n. m.) probíhá vzcházení rostlin máku setého v průměru mezi 26. dubnem a 7. květnem, pentádní teplota vzduchu nabývá hodnot v rozmezí 11,5 až 12,5 °C. Počátek kvetení probíhá na konci června a v první dekádě července (pentádní teplota vzduchu v rozmezí 17,3 až 18,8 °C), konec kvetení nastává ve druhé polovině července pentádní teplota vzduchu je v rozpětí 18,6 až 19,5 °C) a plní zralost začíná na konci srpna a začátkem září (pentádní teplota vzduchu nabývá hodnot od 17,5 do 19,2 °C) (Hájková a kol., 2012).

**Tab. 4: Vývojové fáze BBCH máku setého (Fábry a kol., 1992)**

Název vývojové fáze	BBCH stupnice	Popis vývojové fáze
fáze klíčení	BBCH 01 - 07	Tyto fáze trvají celkem 15 – 20 dní i více. Semeno vytváří v místě pupku kořínek, pak dělohy a primární pravé listy.
fáze vzcházení	BBCH 10 - 14	
fáze vytváření prvních listů	BBCH 20 - 27	
fáze přizemní růstové růžice	BBCH 35	Tato fáze trvá 45 – 60 dní. Rostlina má v tomto období výšku 4 – 5 cm a stonk 0,5 – 0,8 cm dlouhý. Na konci této fáze je vzrostlý – vegetační vrchol organizován tak, že vedle základů vegetativních orgánů jsou zde patrné základy všech květů a jejich částí.
fáze stonkování, větvení a tvorby poupát – butonizace	BBCH 40 - 49	Tato fáze trvá 15 – 20 dní. Rostliny přirůstají 2 – 3 cm za 24 hodiny, přičemž nejvíce mezi 4. – 10. uzlem – nodem.
fáze kvetení	BBCH 50 - 56	Tyto fáze trvají 20 – 25 dní. Po ukončeném vývoje se poupata napřímí (plná butonizace). Květy rozkvétají ráno a během 1 – 2 dnů odkvétají. Po odkvětu květu na hlavním stonku se rychle rozvíjejí poupata a odkvétají květy na vedlejších stoncích, a to v intervalu 1 – 4 dnů. Za 14 dnů po odkvětu se vytvoří tobolka v konečné formě a rozměrech a probíhá vývoj semene (technická – opiová zralost).
fáze tvorby semene a vývinu tobolky	BBCH 60-64	
fáze zrání tobolky	BBCH 70 - 76	Tyto fáze trvají 15 – 20 dní. Probíhají od technické zralosti tobolek až do plné (biologické) zralosti semen, to je do doby, kdy semena v tobolkách chrastí. Tobolky zhnědnou, vyschnou a vybarvená semena v nich volně leží. Rostliny zežloutnou, zhnědnou a vyschnou.
fáze plné zralosti tobolky	BBCH 80 - 81	

## **Požadavky na vnější prostředí**

Mák nemá zvláštní požadavky na vnější prostředí a u nás se dá s úspěchem pěstovat zejména v řepařském a bramborářském výrobním typu. Přesto však velmi citlivě reaguje na nevyrovnanost a odchylky v půdě, výživě a na povětrnostní podmínky (Bechyně, 1993). Změny klimatu se i v našich oblastech projevují stále zřetelněji. Tyto změny s sebou přináší výrazné výkyvy počasí v jednotlivých měsících, velmi nepravidelné a často přívalové srážky následované dlouhými obdobími sucha nebo naopak dlouhá deštivá období, kdy plodiny trpí nedostatkem vzduchu v půdě. Mák se v důsledku extrémního průběhu počasí musí vyrovnávat s řadou stresů, které negativně ovlivňují jeho konečnou produkci (Bubeník a Peza, 2010).

## **Světlo**

Nedostatek světla v období pomalého růstu rostlin může vážně ohrozit vitalitu vzešlých rostlinek, které jsou malé, děložní lístky velmi úzké, s malou asimilační plochou (Bechyně, 1993). Světlo a sluneční svit zajišťují vytvoření silných mladých růžicovitých rostlin se základy postranních stonků a květů. Slunečné a teplé počasí v době kvetení a zrání urychluje jejich průběh. Nedostatek světla způsobený jakýmkoliv vlivem zastínění stromy, plevely atd. vede k velmi silnému oslabení rostlin a tím i výnosu semene a alkaloidů (Fábry a kol., 1975).

Jak potvrzuje Bechyně (1993) naše odrůdy máku patří mezi rostliny dlouhodobní, náročné na světlo. Nedostatek světla se na rostlinách projevuje celkovým oslabením, snížením výnosů semene i menším obsahem alkaloidů v tobolkách. Zastíněné květy a vyvíjející se tobolky vytvářejí drobná semena a při silném zastínění nemusí vytvořit semena vůbec. Dostatečné sluneční ozáření je na druhé straně nutné pro vývin silných rostlin ve stádiu listové růžice a zejména v období rychlého růstu rostlin. Zvláště žádoucí je slunečné a teplé počasí v době kvetení a dozrávání tobolek. Urychluje průběh těchto procesů.

## **Teplota**

Mák je plodinou, která v raných fázích růstu až do začátku stonkování je velmi otužilá a snáší i velmi nízké teploty. Semeno obvykle klíčí při teplotě prostředí 3 – 4 °C za předpokladu dostatku vláhy. Optimální teplota pro klíčení je 18 – 20 °C, maximální 32 °C. Při teplotě půdy 4 – 8 °C vzchází porost za 14 – 21 dní, při teplotě 10 – 15 °C za 7 – 12 dní a při teplotě 18 – 22 °C za 3 – 6 dní, a to podle zásoby vláhy v půdě. Mladé vzcházející rostlinky snášejí dobře mráz -3 až -4 °C a hynou teprve při teplotě pod -7 až -8 °C (Fábry a kol., 1975).

Jakmile však začne dlouhivý růst lodyhy, což bývá po 45 – 60 dnech od vzejití, tato odolnost se velmi snižuje a rostliny hynou při -2 až -3 °C. Fáze stonkování a butonizace, které trvají asi 20 dní, jsou středně náročné na teplo. Ve fázi kvetení, která začíná rozkvetem poupěte na hlavním stonku, teplo a sucho tuto periodu zkracuje, kdežto vlhko a chladno ji prodlužuje. Ve fázi technické (opiové) zralosti je mák nejvíce citlivý na teplotu (Fábry a kol., 1975).

Teplé a suché počasí je podmínkou intenzivní tvorby alkaloidů v mléčné šťávě a u opiových forem vysoké sklizně opia. Ve fázi plné – fyziologické (biologické) zralosti vyžaduje mák teplo a sucho, ale příliš vysoká teplota průběh této fáze urychluje a má za následek více špatně vyvinutých semen a větší rozvoj škůdců (Fábry a kol., 1975).

Pro úspěšný vývin a výnos potřebuje rostlina máku sumu teplot asi 2 000 – 2 200 °C, přičemž na vzcházení až tvorbu růžice listů za dobu 22 dní 155 °C (průměrná teplota 6,9 °C), na tvorbu růžice listů až stonkování za dobu 45 dní 571 °C (průměrná teplota 12,5 °C), na stonkování až kvetení za dobu 31 dní 574 °C (průměrná teplota 18,8 °C), na kvetení až zrání za dobu 36 dní 766 °C (průměrná teplota 21,5 °C). Při podzimním výsevu je tepelná suma asi 2 700 °C (Fábry a kol., 1975).

### **Vlaha**

Mák je náročný na vláhu od vzejití až do rozkvetu, později se jeho nároky snižují. Celková potřeba vody se během vegetace odhaduje na 250 – 350 l na 1 m<sup>2</sup> při jarním výsevu, při podzimním výsevu se o 50 l ještě zvyšuje (Bechyně, 1975).

Podle Fábryho a kol. (1975) přijímá semeno při klíčení téměř tolik vláhy (91 %), kolik samo váží. Ve fázi vývinu listové růžice mají zpočátku rostliny ještě slabý kořenový systém, který se postupně rozvíjí, a proto je v této době důležitá dobrá zásoba vláhy v půdě. Jakmile kořínky dosáhnou hloubky 15 až 20 cm a více, mohou již rostliny zásobovat z těchto spodních vrstev půdy vláhou. Ve fázi stonkování rostliny nejlépe rostou při zásobě vláhy dosahující asi 85 % polní vodní kapacity půdy.

Ve fázi butonizace, kdy mají rostliny již vyvinutou obrovskou listovou plochu, potřebují velké množství vody. Ve fázi kvetení je potřeba vláhy menší, a rovněž tak i ve fázi technické (opiové) i plné (fyziologické) zralosti. Teplotní a vláhové poměry jednotlivých oblastí pěstování máku jsou rozhodující pro jejich vhodnost pro kultury opiového máku (oblasti sušší a teplejší) a olejného máku (oblasti vlhčí a chladnější). Transpirační koeficient u máku je asi 800 g, sací síla kořenů -0,8 až -1,2 MPa (Fábry a kol., 1975).

### 3.4 Agrotechnika pěstování máku setého

#### Osevní postup

V osevním postupu se doporučuje odstup 5 let. Na předplodinu je mák poměrně náročný, zejména ve vazbě na pečlivou jarní předseťovou přípravu půdy a vysoké nároky na setí. Při výběru předplodiny je třeba dbát o dobré odplevelení předplodiny. V předplodině lze dobře vyhubit některé obtížné plevele – pcháč (Kazda a kol., 2013).

Při regulaci pcháče má velký význam kvalitní a hluboké zpracování půdy, především orba. Kořenový systém pcháče je orbou oslabován a vzházení omezováno. Stejně tak má v komplexní regulaci výskytu pcháče na pozemku velký význam zařazení podmítky. Je-li u předplodin tato operace vynechána, pcháč vytváří na strništi značné množství listových růžic, které již sice nevykvetou, ale zato zásobují podzemní systém kořenových výběžků značným počtem asimilátů, které jsou následně využity při rozrůstání jednotlivých ohnisek v dalších letech (Jursík a kol., 2011).

Nejčastějšími předplodinami jsou obilniny, ale mohou to být i brambory či jiné výborné předplodiny. Nepoužívat řepku jako předplodinu, výdrol řepky je obtížněji hubitelný a je zde možnost vyššího infekčního tlaku *Sclerotinia sclerotiorum* (Kazda a kol., 2013). Předplodina musí máku zajistit čistý pozemek bez plevelů a dobrou zásobu pohotových živin. Nepřípustné je zasít mák po předplodině, která byla ošetřena herbicidy, jejichž rezidua by citlivý mák poškodila (Bechyně, 1993).

Mák dává nejvyšší výnos při zařazení v první trati, tj. po chlévském hnojem hnojené předplodině nebo po jetelovině. Nejčastěji se však zařazuje do druhé tratě, po obilnině, kde z hlediska fyto-sanitárního plní funkci tzv. přerušovače mezi oběma obilninami a přispívá ke zvýšení celkové výrobnosti osevního postupu (Fábry a kol., 1992).

#### Příprava půdy a setí

Založení porostu a následné vzejití je kritickým bodem agrotechniky máku. Základem je dodržení všech známých pravidel tj. podzimní urovnání povrchu při orebném zpracování, nebo při bezorebném hlubokém kypření kombinovanými kypřiči, za nimiž zůstává také rovný pozemek (Cihlář a kol. 2012).

Mák se doporučuje pěstovat v konvenční orební technologii. V dobrých půdních podmínkách, pokud je kvalita obdělání srovnatelná s orební technologií, lze použít i bezorební způsob zpracování půdy (Hirai a kol., 2013). Vždy však by podzimní i jarní příprava



půdy pro mák měla přísně sledovat omezení výskytu plevelů, zejména těch, které se v porostu těžko likvidují. Podzimní základní příprava půdy po obilninách, luskovinách, směskách a podobných plodinách vyžaduje kvalitní hlubokou orbu s předchozí podmínkou a ošetřením půdy proti plevelům a výdrolu. Jedním z nejdůležitějších cílů při jarní přípravě půdy je upravit ji tak, aby nedovolila semenu při setí zapadnout do příliš velké hloubky. Při předseťové přípravě půdy bychom měli dosáhnout ideálního stavu, kdy je půda urovnaná, nakypřená do hloubky kolem 4 až 5 cm, s pevnějším seťovým lůžkem (Bechyně, 1993).

Vlhkost půdy při setí by měla být taková, že se půda na pracovní orgány secího stroje nelepí, netvoří se hrudky, ale po přejezdu secího stroje je patrná „vlhká stopa“. Při teplém a suchém počasí je vhodné mák zasít i hlouběji okolo 2 cm. Setí máku by se nemělo uspěchat, z dlouhodobých pokusu vyplývá, že průměrný výnos z březnových výsevů je nižší než z dubnových (Cihlár a kol., 2013).

K setí využíváme univerzální secí stroje s úpravou na setí drobných semen a možnosti nízkého výsevu nebo stroje pro výsev zeleninových semen (Bechyně, 1993). Pro založení porostů se stále častěji používají diskové nebo radličkové secí stroje. Řada pěstitelů používá diskové secí stroje na pozemcích, kde byla na podzim provedena orba s následným urovnáním povrchu.

Na jaře je možné do takto připraveného pozemku přímo zaset diskovým secím strojem (např. Horsch Pronto) bez jakékoliv předseťové přípravy půdy. Diskový secí stroj dokáže při dostatečném zahloubení odhrnout suchou půdu na povrchu, vytvoří seťovou rýhu s dostatkem vláhy na dně a osivo máku je následně zasypáno tenkou vrstvou drobných hrudek z boků rýhy (Vlk a kol. 2012).

Ozimé máky lze doporučit do všech výrobních oblastí, které trpí jarními přísuškami a do oblastí, kde jarní máky dosahují výnosů nižších než 0,5 t/ha. Zvýšení pěstební jistoty je v těchto oblastech zajištěno příznivějšími vlhkostními poměry na podzim než na jaře. Posun jednotlivých vegetačních fází omezuje negativní vliv přísušků v červnu a červenci a zajišťuje zvýšení pěstitelské jistoty. Optimální termín pro setí ozimého máku je 10. až 20. září. Doporučený výsevek je o něco vyšší než při jarním výsevu a pohybuje se v rozmezí od 1,7 do 2,0 kg.ha<sup>-1</sup>. Při normálním průběhu počasí by rostliny měly na podzim před ukončením vegetace vytvořit listovou růžici (6 – 8 listů) (Kosek a Vlk, 2011).

V běžných poměrech u jarních výsevů vyséváme 1,2 až 1,5 kg osiva na hektar. Výsev tohoto množství nám umožňuje při meziřádkové vzdálenosti 20-25 cm dosáhnou

potřebného množství rostlin na ploše bez dalších úprav porostu a prosvětlování nebo jednocení (Bechyně, 1993). Základem pro dobrý a kvalitní výnos je kvalitně zasetý porost, udržovaný v čistém bezplevelném a v dobrém zdravotním stavu. Jen takový porost může dát dobrý výnos o vysoké potravinářské kvalitě (Richter a Škarpa, 2013). I přes dodržení všech výše uvedených zásad sklízíme porosty s průměrným počtem okolo 55 rostlin na 1 m<sup>2</sup>. Přitom při výsevu 1,5 kg a HTS 0,5 g vysejeme na 1 m<sup>2</sup> 300 semen máku. To znamená, že výsledný výnos porostu tvoří něco okolo 20 % zasetých rostlin. K tomuto úbytku dochází zejména napadením houbovými patogeny, likvidací krytonoscem kořenovým a v neposlední řadě prostým nevzejitím osiva v důsledku sucha (Cihlář a kol., 2013).

### **Hnojení**

Hnojení máku vychází z jeho celkové potřeby živin a některých specifických zvláštností. Mák patří ke středně náročným plodinám na živiny. Má však omezenou schopnost osvojit si živiny, zvláště na počátku vegetace (Vaněk a kol., 2007). Předpokladem stabilních a kvalitních výnosů je dobrá půdní úrodnost. Tu udržíme vyrovnanou bilancí živin v půdě, při které množství odčerpaných živin sklizněmi bude doplňováno živinami ze statkových a minerálních hnojiv (Škarpa a Richter, 2010).

Na výnos 1 t semene a odpovídající množství makoviny odčerpá porost máku v průměru 70 kg N, 26 kg P (60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 90 kg K (108 kg K<sub>2</sub>O), 79 kg Ca (111 kg CaO), 15 kg Mg (25 kg MgO), 18 kg S, 0,11 kg B, 0,2 kg Zn a 0,34 kg Mn (Richter a Škarpa, 2013).

Mák vyžaduje také příznivé pH půdy – podle půdního druhu by se pH mělo pohybovat v rozmezí 6,2 – 6,8 s tím, že na lehčích půdách mohou být hodnoty nižší, a naopak na těžších půdách hodnoty pH okolo 7. Mák má vysokou potřebu bóru, což zřejmě souvisí s tvorbou velkého množství meristematických pletiv (buněk mléčných žláz – mléčnic pro tvorbu mléčných šťáv – latexu), pro které je B nezbytným mikroprvkem. Při maloprovozním pěstování bylo zdůrazňováno hnojení statkovými hnojivy (minerálních hnojiv byl nedostatek). Z tohoto období je znám výrok významného odborníka na pěstování rostlin dr. Kuhna: „Mák by se nestyděl růst na hnoji“. Z běžných statkových hnojiv je nejvhodnější dobře vyzrálý, případně kompostovaný chlévský hnůj, aplikovaný v podzimním období v dávce 30 t.ha<sup>-1</sup>. Dobře se může uplatnit i kejda aplikovaná již na podzim. (Vaněk a kol., 2007). Z mikrobiogenních prvků upřednostňujeme bór a zinek. Tyto prvky aplikujeme v listových hnojivech, a to bór v dávce 120 – 150 g. ha<sup>-1</sup> ve fázi 4 – 6 listů a zinek v dávce 200 – 400 g.ha<sup>-1</sup> ve fázi listové růžice. Mohou být určité problémy v některých letech

s obsahem Cd v semeni. Nebezpečí zvýšeného obsahu Cd v rostlině roste při pěstování máku na půdách s jeho vyšším přirozeným obsahem a v oblastech s vyšší hodnotou Cd v atmosférických spadech (Richter a Škarpa, 2013).

### **Hnojení dusíkem před setím nebo po vysetí máku**

Průměrná dávka N pro výnos 2 t semene je  $140 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Dusík můžeme aplikovat před nebo pro vzcházení. Z pevných hnojiv před nebo při vzcházení použijeme DA, LAV, LAD, DASA, močovinu. Dusík můžeme aplikovat také do 3 – 7 dnů po zasetí v DAM 390 s herbicidem Callisto. Skutečnou dávku N určenou pro základní hnojení snížíme o 20 až  $30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ , kterou následně použijeme k přihnojení v průběhu vegetace (tzv. dělená dávka) (Richter a Škarpa, 2013).

### **Dělené dávky dusíku**

Dělené dávky dusíku pozitivně působí na vývoj máku. Nedochází již k dalšímu větvení rostlin, ale zvyšuje se velikost listů, prodlužuje se jejich aktivní činnost a to při vhodných povětrnostních podmínkách přispívá ke zvýšení výnosu semene. Přihnojení provedeme hnojivy SAM 240, DAM 390 nebo LAV, LAD, močovinou. Pokud nebyla k základnímu hnojení aplikována minerální hnojiva se sírou, aplikujeme SAM 240, který působí rovněž příznivě na využití draslíku, na zdravotní stav rostlin a na výnos semene (Richter a Škarpa, 2013).

Při nedostatku dusíku v půdním prostředí se jeho obsah v rostlině silně snižuje. Mák se omezeně vyvíjí a špatně roste. Rostliny jsou na pohled nevyrovnané, s omezeným počtem světlých a tmavých listů. Podle stupně nedostatku N se mění barva listů od bledě zelené po žlutou. Při nedostatku dusíku je snížen počet semen v tobolce a HTS. Snižuje se také obsah morfinu v makovině (Vašák, 2010).

### **Plevelle**

Mák setý je vzhledem k drobnému semenu a pomalému růstu na počátku vegetace vystaven konkurenční schopnosti plevelů, které není schopen odolávat. Systém regulace plevelů v máku setém je poměrně dokonalé propracován, problémem však mohou být příbuzné plevelné rostliny jako mák vlčí, mák pochybný, zemědým lékařský aj. (Kazda a kol., 2010). Nejdůležitější faktory určující druhové složení vegetace plevelů v máku lze rozdělit na faktory agrotechnické, patří zde období setí (jaro, podzim), předchozí plodina, rozestup řádků a faktory životního prostředí jako jsou teplota, struktura půdy, obsah Mg a Ca v půdě (Pinke a kol., 2011).

Z rodu mák (*Papaver*) je nejvýznamnějším plevelným druhem **mák vlčí**. Oproti ostatním příbuzným druhům je rozhodně nejrozšířenější a jeho konkurenční schopnost vůči plodinám je nejvyšší. Protože semena máku vlčího přežívají dlouhodobě v půdě, je třeba systematicky omezovat jejich doplňování do půdní zásoby. I jediné opomenutí vedoucí k vysemenění máku způsobí zvýšené zaplevelení v mnoha následujících letech (Jursík a kol., 2011). Uvedení autoři dále uvádí, že kvůli dlouhověkosti nažek v půdě je potřebné řešit regulaci **zemědýmu lékařského** ve všech pěstovaných plodinách. Nepřímá opatření spočívají zejména v zajištění dostatečné konkurence schopnosti porostu. Při předseťové přípravě je nutno zajistit dostatečně intenzivní zpracování půdy, které eliminuje všechny vzešlé rostliny. Pokud rostliny zemědýmu tento zásah přežijí, budou mít značný náskok před plodinou a jejich herbicidní regulace bude obtížná.

### **Choroby**

Původci aktuálně nejvýznamnějších chorob máku jsou přenosní osivem, proto je nutné vysévat mořené osivo máku. Od vzcházení až do sklizně jsou všechny části makové rostliny silně poškozovány houbovými chorobami. Hospodářský nejvýznamnější jsou plíseň máku, helmintosporióza, plíseň šedá, padlí a sklerociová hniloba. Fungicidní ošetření v první polovině vegetace se stalo nezbytnou součástí pěstitelské technologie (Kazda a kol., 2010). Původcem choroby **plíseň máku** je patogen *Peronospora arborescens*, který přežívá období vegetačního klidu v endospermu semen ve formě perenujícího mycelia, popř. ve stádiu oospór. Ty se vytvářejí i v napadeném pletivu, jehož zbytky zůstávají na pozemku. Příznaky se pak liší podle toho, zda se jedná o primární, či sekundární infekci (Cihlář a Vašák, 2013).

**Helmintosporióza máku** (*Helminthosporium papaveris*, teleomorpha *Pleospora papaveracea*) je přenosná osivem i půdou. Houby přežívají zimu na rostlinných zbytcích peritéciemi anebo tzv. zimními konidii vytvořenými na podzim. Primární infekci na jaře způsobují konidie při vzcházení rostlin. Pěstitelé ale spíše znají hromadnou infekci listů a stonků, obvykle v období před nebo během kvetení. Tu způsobují konidie, kterými se patogen šíří během vegetace. Poměrně velkou měrou se na samotném napadení podílí i živočišní škůdci (Cihlář a Vašák, 2013). Příznakem **plísně šedé** (*Botryotinia fuckeliana*) jsou vytvářející se mokravé skvrny na špičkách listů nebo v jejich úžlabí, na kterých za vlhka narůstají husté šedohnědé povlaky mycelia a konidioforů. Onemocnění se šíří na listovou čepel a případně dále na stonk. Napadené rostliny žloutnou a zasychají. Napadení plísní

šedou omezuje dobrá výživa rostlin, zejména listové přihnojení sírou a draslíkem po zapojení porostu (Říha a Kraus, 2013).

### **Škůdci**

Rovněž živočišní škůdci mohou způsobit mimořádně závažná poškození rostlin od vzcházení až do sklizně. Během vzcházení poškozuje rostliny krytonosec kořenový (*Stenocarus ruficornis*) (Kazda a kol., 2010). Tento brouk přezimuje převážně jako dospělec v půdě, či schován na okrajích pozemků pod listím či trávou. Vylézá až na jaře dalšího vegetačního roku, kdy žírem poškozuje vzcházející rostlinky (Schreier, 1997). Stonky jsou deformovány sáním klopušek (*Lygus*) a mšic (*Aphis fabae*), uvnitř stonku způsobují žír larvy žlabatky stonkové. Makovice jsou silně poškozovány krytonoscem makovicovým (*Neoglocianus maculaalba*) a bejломorkami (*Dasineura papaveris*). Insekticidní moření osiva a opakované insekticidní ošetření se stalo nezbytnou součástí technologie pěstování máku (Kazda a kol., 2010).

### **Sklizně máku**

Mák dozrává v závislosti na době vzejití začátkem až koncem srpna. Optimální termín sklizně se určuje technologickou znalostí porostu v závislosti na způsobu sklizně. Jsou dvě koncepce sklizně. Přímá sklizeň sklízecí mlátičkou a dělená sklizeň – samostatně sklizeň celých makovic a pak jejich výmlat (Fábry a kol., 1992). Častěji se využívá přímá sklizeň sklízecí mlátičkou, která je jednodušší a výkonnější. Sklízecí mlátičku upravíme pro bezztrátovou sklizeň drobných semen. Tímto způsobem sklízíme pohromadě semeno a makovinu (makovicovou drť) (Bechyně, 1993).

Dělená sklizeň – samostatná sklizeň celých makovic se provádí adapterem k žací mlátičce a výmlat po jejich dosušení speciální mlátičkou s hřbovým mláticím ústrojím, které současně semeno čistí na potravinářskou jakost. K dělené sklizni je možno přistoupit mnohem dříve, tj. v plné zralosti porostu (Fábry a kol., 1992). Dvoufázovou sklizeň bychom měli přednostně uplatňovat ve vyšších polohách s větší vlhkostí vzduchu, kde mák dozrává až na počátku září (Bechyně, 1993).

### 3.5 Legislativa v pěstování máku setého

Pěstování máku podléhá řadě legislativních opatření a to nejenom na národní úrovni, ale také v rámci EU. Nejvýznamnějším právním předpisem je zákon 167/1998 Sb., o návykových látkách a o změně některých dalších zákonů.

**Podle § 24 výše uvedeného zákona se zakazuje** pěstovat odrůdy máku setého (*Papaver somniferum* L.), které mohou v sušině z tobolek obsahovat více než 0,8 % morfinu; zákaz se nevztahuje na pěstování odrůd máku setého (*Papaver somniferum* L.) pro výzkumné a pokusné účely, pro šlechtění nových odrůd rostlin a pro zachování genetické rozmanitosti rostlin vědeckými a výzkumnými pracovišti.

Dále se v uvedeném paragrafu zákona uvádí, že osoba pěstující mák setý (*Papaver somniferum* L.) nebo osoba, která makovinu zpracovává nebo skladuje, je dále povinna neprodleně oznámit místně příslušnému oddělení Policie České republiky veškeré podezřelé okolnosti, zejména vstup cizích osob do porostu, nařezání makovic, odcizení makovic nebo neobvyklé objednávky, jež naznačují, že makovina může být zneužita k nelegální výrobě návykových látek. A makovina vyprodukovaná na území České republiky musí být vyvezena nebo zneškodněna anebo zpracována tak, aby obsažené návykové látky nebylo možné použít nebo získat jakýmkoliv technologickými prostředky.

**Podle § 25 zákona se k** vývozu nebo dovozu makoviny vyžaduje povolení k vývozu makoviny nebo povolení k dovozu makoviny. Žádost o vydání vývozního povolení nebo dovozního povolení se podává na formuláři vydaném Ministerstvem zdravotnictví. Povolení k vývozu makoviny a povolení k dovozu makoviny vydává Ministerstvo zdravotnictví, které je rovněž oprávněno vydané povolení odejmout, pokud je důvodné podezření, že došlo k porušení povinností vyplývajících z tohoto zákona či z rozhodnutí vydaného na jeho základě nebo že se jedná o nedovolený obchod podle mezinárodních smluv, kterými je Česká republika vázána. Povolení k vývozu makoviny lze vydat na dobu v něm určenou pro více vývozů. Povolení k dovozu makoviny lze vydat na dobu v něm určenou pro více dovozů. Jinak se při vydávání a odnětí povolení k vývozu makoviny a povolení k dovozu makoviny použijí ustanovení hlavy čtvrté.

**Podle § 29 zákona 167/1998 Sb. jsou** osoby pěstující mák setý nebo konopí na celkové ploše větší než 100 m<sup>2</sup> povinny předat hlášení místně příslušnému celnímu úřadu podle místa pěstování, písemně nebo v elektronické podobě podepsané uznávaným elektronickým podpisem podle zvláštního právního předpisu

**a to:**

**1.** do konce května:

- a)** výměru pozemků osetých mákem setým nebo konopím pro sklizeň v příslušném kalendářním roce, včetně názvu použité odrůdy, čísla parcely, názvu a čísla katastrálního území, nebo identifikačního čísla půdního bloku, případně dílu půdního bloku evidence půdy,
- b)** odhad výměry pozemků, na nichž bude pěstován mák setý nebo konopí v příštím kalendářním roce,

**2.** v průběhu vegetace a sklizně nebo při zneškodňování sklizené makoviny :

- a)** údaje o výměře pozemků a způsobu zneškodnění máku setého, makoviny ponechané na pozemku nebo sklizené nebo konopí, včetně názvu použité registrované odrůdy, čísla parcely, názvu a čísla katastrálního území nebo identifikačního čísla půdního bloku, popřípadě dílu půdního bloku, evidence půdy, a to nejpozději do 5 dnů před provedením jejich zneškodnění; pokud osoba pěstující mák setý zpětně neodebere makovinu pocházející z vyčištěných semen, přechází povinnost předat hlášení při zneškodňování makoviny na osobu, která provedla čištění makových semen,

**3.** do konce prosince příslušného kalendářního roku:

- a)** výměru pozemků, které byly oseté mákem setým nebo konopím, výměru pozemků, ze kterých byl sklizen mák setý nebo konopí, včetně názvu použité registrované odrůdy, čísla parcely, názvu a čísla katastrálního území, nebo identifikačního čísla půdního bloku, případně dílu půdního bloku evidence půdy,
- b)** množství sklizené makoviny, konopí, semene máku setého a semene konopí,
- c)** hmotnost, sklizňový rok makoviny nebo konopí prodaného nebo jinak převedeného a identifikační údaje nového nabyvatele.

**Podle § 30 výše uvedeného zákona má** ohlašovací povinnost každý, kdo uskutečnil vývoz nebo dovoz makoviny. Je povinen předat Ministerstvu zdravotnictví do patnáctého dne prvního měsíce kalendářního čtvrtletí čtvrtletní hlášení o vývozu nebo dovozu makoviny v uplynulém čtvrtletí. Čtvrtletní hlášení se podává na formuláři vydaném Ministerstvem zdravotnictví písemně nebo v elektronické podobě podepsané uznávaným elektronickým podpisem podle zvláštního právního předpisu.

### **3.6 Nejdůležitější makové alkaloidy**

Alkaloidy se syntetizují v rostlinách máku již od začátku vegetace, v průběhu vegetace jich přibývá a nejvíce jsou uloženy v zelené tobolce v době technické – opiové zralosti (De-la-Cruz Chacón a kol., 2013). Podle Vlka a kol (2010) je za makovinu pro farmaceutické účely považována suchá, rozdrčená tobolka bez semen s krátkým stonkem (cca 15 cm dlouhým). Opium se získává nařezáváním zelených tobolek opiového máku. Vlastní nařezání makovic vyžaduje řadu zkušeností především v určení termínu sklizně. Pokud se makovice nařezávají příliš brzy, latex vykapává do půdy. Na druhou stranu pozdní sklizeň je spojena s nižším výnosem morfinu. Řez nesmí být příliš hluboký, jinak by se latex dostal dovnitř makovic a kontaminoval semena (Šakamon a Labun, 2009).

Maková sláma i opium se získává za účelem extrakce morfinanových alkaloidů. Ročně se zpracovává 35 tis. t makoviny a 1000 t opia (Doležalová a kol. 2010).

Opium obsahuje asi 25 % své váhy alkaloidů. V opiu je přes 40 alkaloidů, přičemž několik z nich je velmi významných. V tabulce 5 jsou znázorněny obsahy nejvýznamnější alkaloidů v opiu a makovině. Opium obsahuje až 21 % morfinu, 10 % narkotinu (noskapiu), 0,4 % kodeinu, 1 % papaverinu a 0,6 % thebainu. Zpravidla bývají tyto alkaloidy děleny do dvou chemických skupin lišících se i farmakologickými vlastnostmi (Melichar a kol., 1972).

Benzylisochinolinové alkaloidy představují skupinu přírodních produktů s různými strukturami, které jsou odvozené od aminokyseliny tyrosinu. Dosud bylo identifikováno asi 2 500 sloučenin (Goodman a kol., 2007). Hlavním opiovým alkaloidem fenanthrenové skupiny je morfin, který mj. zůstává standardem pro hodnocení dalších analgetik (Srivastava a Sharma, 1990). Morfin je používán jako lék proti bolesti. Průmyslová syntéza morfinu je možná, ale je nevýhodná kvůli velmi nízkým výnosům. Kodein a noskapiu se používají jako prostředek proti kašli a papaverin na uvolnění hladkého svalstva. Thebain se pro



terapeutické účely nepoužívá, ale je průmyslově převáděn do jiných léků utišujících bolest (Dittbrenner a kol., 2009). V posledních letech se globální poptávka po specifických alkaloidech, zejména thebainu, kodeinu a morfinu drasticky zvýšila. Prostřednictvím pěstitelských postupů je potřeba rozvíjet výnos vysoce latexových odrůd bohatých na konkrétní alkaloidy (Abhishek a Choudhary 2010).

**Tab. 5: Obsah hlavních alkaloidů (Vašák, 2010).**

<b>Alkaloid</b>	<b>Přibližný obsah v makovině (%)</b>	<b>Přibližný obsah v opiu (%)</b>
Morfin	0,10 - 2,8	2,7 - 21,0
Narkotin	0,00 - 0,3 (1,6)	6,0 - 10,0
Kodein	0,01 - 0,4	0,3 - 0,4
Papaverin	0,00 - 0,2	0,8 - 1,0
Thebain	0,00 - 0,4 (0,7)	0,1 - 0,6

### **Morfin**

Obsah morfinu je ze všech alkaloidů nejvyšší, obvykle zastupuje 45 až 90 % z obsahu všech alkaloidů (Stranská a kol., 2013). Morfin je bezvodý hydrochlorid. Je to bílý mikrokrytalický prášek o bodu tání 285-300 °C. Je rozpustný ve vodě (1:25) a methanolu (1:20), méně v ethanolu (1:50), prakticky nerozpustný v ostatních organických rozpouštědlech. Uchovává se v dobře uzavřených nádobách, chráněn před světlem. Jako silné analgetikum je indikován k potlačení bolesti při zhoubných nádorech, po operacích apod. Jeho tlumivého účinku se využívá v psychiatrii k sedaci psychomotorického neklidu a excitace (Melichar a kol., 1972).

### **Kodein**

Kodein je krystalická látka o bodu tání 157 °C. Fosforečnan, který krystalizuje s 1 – 2 molekulami vody, tvoří bílý, nahořklý prášek, tající při 235 °C za rozkladu. Lehce se rozpouští ve vodě (1:3,2), těžko v ethanolu (1:270) a velmi těžko v chloroformu a etheru. Uchovává se v dobře uzavřených nádobách, chráněn před světlem. Oproti morfinu je kodein 6 až 10krát méně analgeticky účinný, nepůsobí však tak velký útlum dechového centra. Nebezpečí návyku je sníženo na minimum. Používá se většinou jako antitusikum v humánní i veterinární medicíně, dále k potencování analgetického účinku antipyretik i k zvládnutí anxiosních stavů v psychiatrii (Melichar a kol., 1972).

## Thebain

Thebain patří mezi morfinové alkaloidy, tedy alkaloidy fenantrenového typu. Bod tání je 91 °C. Uchovává se v dobře uzavřených nádobách, chráněn před světlem. Je podobně analgeticky účinný jako morfin, ale méně nebezpečný a návykový (Melichar a kol., 1972).

### 3.7 Odrůdová skladba máku setého

Odrůdy pěstované v ČR musí být registrovány v rámci národního registru odrůd ve Státní odrůdové knize, nebo v rámci EU zapsány v Katalogu doporučených odrůd. Kolekci odrůdové skladby máku setého je možné rozdělit do několika podskupin podle formy (ozimé a jarní), barvy semene (modrosemenné, šedosemenné, bělosemenné a okrové), převládajícího alkaloidu (morfinové, thebainové, narkotinové) nebo obsahu morfinu (s vyšším, středním a nižším obsahem morfinu) (Vašák, 2010).

Šlechtitelské úsilí mnoha šlechtitelů po celém světě se v současnosti zaměřuje na spektrum alkaloidů obsažených v máku. Morfin, jako snadno zneužitelný a návykový alkaloid, je nahrazován méně nebezpečnými, ale stejně účinnými alkaloidy jako je thebain a narkotin (noscipin). Odrůdy s nejvyšším obsahem morfinu jsou například odrůda Buddha, Postomi nebo Botond. Vysoký obsah thebainu je u odrůdy Monaco registrované do roku 2012. U odrůdy Korona je zaznamenán vysoký obsah narkotinu (Vlk a kol., 2010).

Dalším směrem šlechtění je vyšlechtění ozimých forem máku setého. Přestože ve Státních odrůdových zkouškách jsou od loňského roku zkoušeny i naše české novošlechtění ozimého máku, jsou pro pěstitele zatím k dispozici jen zahraniční odrůdy zapsané v Evropském katalogu. Ozimé máky jsou registrovány v Rakousku (např. Zeno 2002, Josef) nebo Maďarsku (Kosmosz) (Kosek a Vlk, 2011).

Třetím významným směrem šlechtění je šlechtění máku s jinou barvou semene. Odrůdy modrosemenné jsou nejvíce využívány pro kulinářské účely, patří mezi ně např. Major, Maratón, Opál. V roce 2008 přibýly k již dříve registrovaným odrůdám Albín a Sokol další dvě bělosemenné odrůdy Orel a Racek a okrová odrůda Redy (Vlk a kol., 2010).

Odrůdy máku lze rozdělit taky podle obsahu morfinu (odrůdy s vyšším, středním a nižším obsahem morfinu). Z důvodu bezpečnosti jsou v některých zemích EU (např. Polsko) povoleny jen odrůdy s obsahem morfinu nižším než 0,2 %. Tuto podmínku splňují odrůdy, jako jsou např. Mieszko, Edel-Weiss, Florian, Zeta a Rubin (Vlk a kol., 2010).

## **4 Materiál a metodika**

### **4.1 Charakteristika pokusného materiálu**

Do pokusu byly vybrány následující odrůdy máku setého: Botond, Major, Maratón, Mieszko, Opál a Redy. Odrůdy jsou vybrány na základě obsahu alkaloidů, především morfinu – vysoko obsažné, se středním obsahem a nízko obsažné. Veškeré testované genotypy jsou testovány v rámci genetických zdrojů. Osivo bylo dodáno z GB Oseva Pro s r.o., o.z. VÚO Opava a z firmy Český mák.

#### **4.1.1 Odrůda Botond**

Typ s vysokým obsahem morfinu. Odrůda určená k produkci makoviny pro farmaceutický průmysl. Středně raná odrůda, rostliny jsou středně vysoké s dobrou odolností proti poléhání.

Průměrný obsah morfinu v makovině: 1,5 %.

Pěstitelská rizika: Výrazná nemá.

Registrace: 2006, Maďarsko

(Zehnálek a Holubář, 2013).

#### **4.1.2 Odrůda Major**

Typ modrosemenného máku s nízkým až středně vysokým obsahem morfinu. Odrůda určená k produkci semene pro potravinářské účely a makoviny pro farmaceutický průmysl. Středně raná odrůda, rostliny jsou středně vysoké s dobrou odolností proti poléhání. Odrůda typu slepák, výskyt hledáků velmi nízký. Obsah oleje v semeni je středně vysoký.

Průměrný obsah morfinu v makovině: 0,68 %.

Přednosti: Velmi dobrá odolnost proti nežádoucímu otvírání tobolek, vysoká úroda makoviny.

Pěstitelská rizika: Výrazná nemá.

Registrace: 2002, Slovensko

(Zehnálek a Holubář, 2013).

#### **4.1.3 Odrůda Maratón**

Typ modrosemenného máku s nízkým až středně vysokým obsahem morfinu. Odrůda určená k produkci semene pro potravinářské účely a makoviny pro farmaceutický průmysl. Středně raná odrůda, rostliny jsou středně vysoké až vysoké s dobrou odolností proti poléhání. Odrůda typu slepák, výskyt hledáků velmi nízký. Obsah oleje v semeni je středně vysoký.

Průměrný obsah morfinu v makovině: 0,6 %.

Přednosti: Vysoký výnosový potenciál.

Pěstitelská rizika: Výrazná nemá.

Registrace: 2000, Slovensko

(Zehnálek a Holubář, 2013).

#### **4.1.4 Odrůda Mieszko**

Typ modrosemenného s nízkým obsahem morfinu. Odrůda určená k produkci semene pro potravinářské účely. Raná až středně raná odrůda, rostliny jsou středně vysoké, středně odolné proti poléhání. Odrůda typu slepák, výskyt hledáků nízký. Obsah oleje v semeni je středně vysoký.

Průměrný obsah morfinu v makovině: 0,17 %.

Pěstitelská rizika: Výrazná nemá.

Registrace: 1999, Polsko

(Zehnálek a Holubář, 2013).

#### **4.1.5 Odrůda Opál**

Typ modrosemenného máku se středně vysokým obsahem morfinu. Odrůda určená k produkci semene pro potravinářské účely a makoviny pro farmaceutický průmysl. Středně raná odrůda, rostliny jsou nízké, středně odolné až odolné proti poléhání. Odrůda typu slepák, výskyt hledáků nízký. Obsah oleje v semeni středně vysoký.

Průměrný obsah morfinu v makovině: 0,74 %.

Přednosti: Vysoký výnos semene.

Pěstitelská rizika: Výrazná nemá.

Registrace: 1995, Slovensko

(Zehnálek a Holubář, 2013).

#### 4.1.6 Odrůda Redy

Typ bělosemenného a okrovosemenného máku s nízkým a nízkým až středně vysokým obsahem morfinu. Odrůda určena pro produkci semene pro potravinářské účely. Raná odrůda, rostliny středně vysoké, středně odolné proti poléhání. Odrůda typu slepák, výskyt hledáků středně vysoký. Obsah oleje v semeni vysoký, okrové semeno je jiné chuti (oříšková příchut').

Průměrný obsah morfinu v makovině: 0,25 %.

Přednosti: Ranost, okrové semeno jiných chuťových vlastností.

Pěstitelská rizika: Výrazná nemá.

Udržovatel: OSEVA PRO, s.r.o., Praha

Registrace: 2008, Česká republika

(Zehnálek a Holubář, 2013).

#### 4.2 Založení pokusu

Pokus byl založen jako skleníkový, v částečně řízených teplotních a světelných podmínkách, viz obr. 1. Světelný režim byl nastaven na 14 hodin světla a 10 hodin tmy, při teplotním režimu 22 °C ve dne a v noci 15 °C. Rostliny máku vybraných genotypů byly pěstovány v nádobách. Rostliny máku byly nejprve předpěstovány v nádobách o rozměrech 11 x 11 cm. Ve vývojové fázi BBCH 35 byly přesazovány do pěstebních nádob o výšce 18 cm a šířce 15 x 15 cm.



Obr. 1. Založení pokusu. (foto autor)

Rostliny byly pěstovány ve směsi zahradního substrátu A a říčního písku, v poměru 2:1. Zahradní substrát A je jemný (maximálně 10 % částic nad 10 mm), udržující vzdušnost prostředí, neslévavý, nezasolený, pH ve vodném roztoku 5,5 – 6,5, bez plevelů a škůdců, obsahující 55 % spalitelných látek ve vysušeném vzorku. V nádobách byl zahradní substrát s upravenou reakcí, kdy jeho optimální pH je od 5,5 – 6. Spalitelné látky min. 35 %, částice nad 25 mm max. 5 %, N 80 – 120 mg; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 50 – 100 mg; K<sub>2</sub>O 100 – 150 mg. Obsah rizikových prvků splňuje zákonem stanovené limity mg.kg<sup>-1</sup> sušiny: Cd 1; Pb 100; Hg 1; As 10; Cr 100; Cu 100; Ni 50; Zn 200 (primaflora).

Rostliny byly zavlažovány 100 ml vody na nádobu. V průběhu vegetace byly rostliny 2x (fáze BBCH: 22 a 35) ošetřeny fungicidním přípravkem Previkur 607 SL proti padání klíčících rostlin. Dále bylo provedeno ošetření proti škůdcům – sviluška a mšice maková. Na ochranu rostlin vůči těmto patogenním organismům byly použity přípravky Vertimex 1,8 EC a Chess 50WG. Přípravky byly aplikovány ve fázi BBCH 35.

Rostliny máku byly během ontogenetického vývoje 2x přihnojeny NPK o koncentraci 3 %, ve vývojových fázích BBCH 27 a 45.

### **4.3 Měření fyziologických charakteristik**

#### **4.3.1 Měření výměny plynů**

Pro měření rychlosti výměny plynů byl použit přístroj LCpro+ (ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, Velká Británie), který využívá princip nerozptýleného infračerveného záření (NDIR). Tento přístroj pracuje na principu gazometrické metody otevřeného systému měření, který umožňuje měřit při hustotě ozáření FAR (400 – 700 nm) v rozsahu 0-2000 mol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> a teplotě -5 až +50 °C. Jedná se o nejrozšířenější metodu měření výměny plynů (Nátr, 1998).

LCpro+ využívá nerozptýlené infračervené záření pro měření CO<sub>2</sub>. To vychází ze skutečnosti, že CO<sub>2</sub> absorbuje infračervené oblasti v poměru ke koncentraci plynu. Plyny vstupující do komůrky (retenční) a analyzované plyny (vystupující z komůrky) jsou střídány s takzvaným nulovým plynem během měřicího cyklu, který trvá 16 - 20 sekund. Nulový plyn vzniká při průchodu vzduchu přes natronové vápno, který z něj odstraní veškerý CO<sub>2</sub>. Toto uspořádání zajišťuje měření CO<sub>2</sub> v referenčním i analyzovaném plynu (Šesták a kol., 1966).

### 4.3.2 Měření fotosyntézy a transpirace

Měření rychlosti výměny plynů se uskutečnilo v následujících vývojových fázích BBCH: 25, 27, 35, 41, 45, 49 a 50. V asimilační komoře byla teplota při měření 25 °C, ozáření 650  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , vlhkost vzduchu 50 % a koncentrace  $\text{CO}_2$  350  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ . Měřené charakteristiky byly ukládány vždy po 1 minutě. Vedle základních charakteristik rychlosti výměny plynů –  $P_N$  a  $E$  byly přístrojem zaznamenávány další údaje: hodnota procentuální relativní vlhkosti vzduchu vstupujícího do komory, dále teplota, ozáření uvnitř komory, vstupní koncentrace  $\text{CO}_2$  a asimilační plocha listu.

Po ustálení podmínek uvnitř komory bylo pro stanovení okamžité rychlosti výměny plynů 10 – 15 měření, které reprezentovaly ustálený stav. Rychlost výměny sledovaných plynů mezi listem a atmosférou v komoře byla určována z průtoku a změny koncentrace plynu mezi vstupem a výstupem z listové komory a na základě výpočtů byly stanoveny následující charakteristiky:

Rychlost fotosyntézy a transpirace se vypočítá z průtoku a změny koncentrace plynů mezi vstupem a výstupem z komůrky.

**Rychlost fotosyntézy ( $P_N$ )** se vypočítá podle matematického vztahu:

$$P_N = us \cdot \delta c \text{ (}\mu\text{mol CO}_2\text{.m}^{-2}\text{.s}^{-1}\text{)}.$$

Kdy:

$us$  je průtok vzduchu listovou komůrkou na  $\text{m}^2$  listové plochy.

$\delta c$  je rozdíl koncentrace  $\text{CO}_2$  na vstupu a výstupu z komůrky.

**Rychlost transpirace ( $E$ )** se stanovuje na základě matematického vztahu:

$$E = us \cdot \delta w \text{ (mmol H}_2\text{O.m}^{-2}\text{.s}^{-1}\text{)}.$$

Kdy:

$us$  je průtok vzduchu listovou komůrkou na  $\text{m}^2$  listové plochy.

$\delta w$  je rozdíl koncentrace vodní páry na vstupu a výstupu z komůrky.

Pro měření rychlosti fotosyntézy byly využity metodické postupy dle Holé a kol. (2010).

### 4.3.3 Efektivita využití vody (WUE)

Efektivita využití vody (WUE) je dána poměrem mezi rychlostí fotosyntézy a transpirace. Čím je uvedená hodnota vyšší, tím lze předpokládat, že daný genotyp je odolnější vůči vodnímu deficitu (Zámečnicková, 2000).

**Efektivita využití vody (WUE)** se tedy vypočítá na základě matematického vztahu:

$$WUE = P_N / E (10^{-3}).$$

Kdy:

$P_N$  je intenzita fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

$E$  je intenzita transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

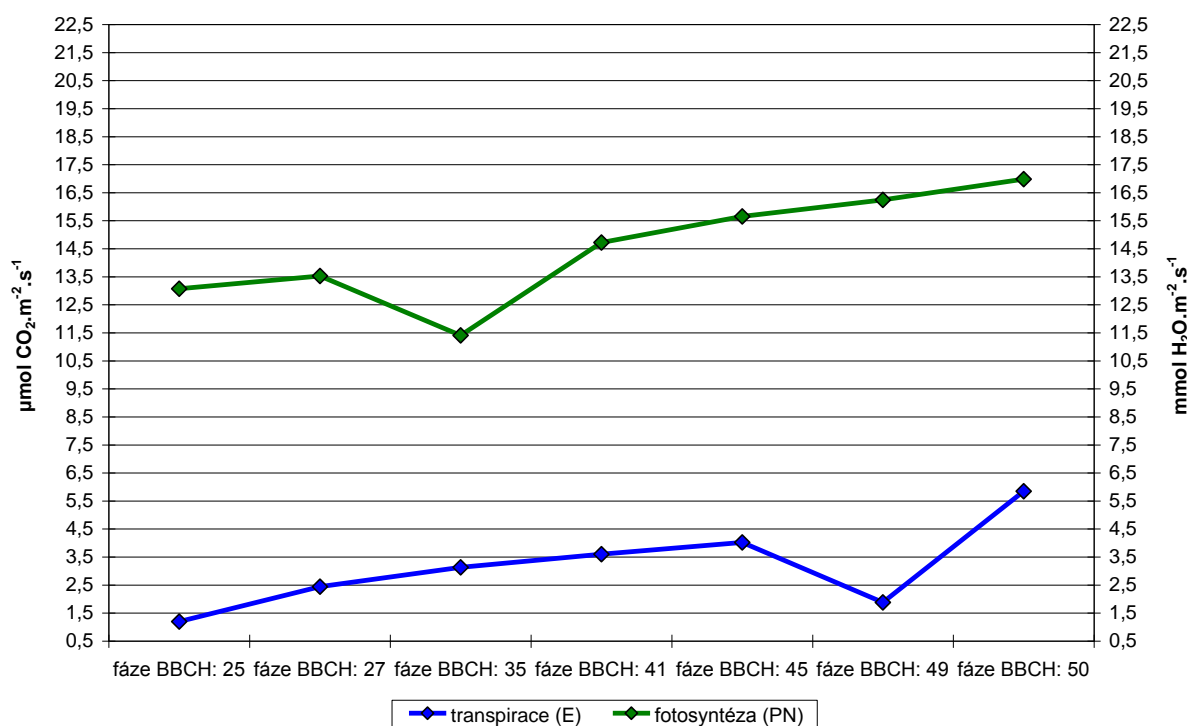


## 5 Výsledky

Pro měření rychlosti výměny plynů sledovaných genotypů máku byl použit přístroj LCpro+ (ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, Velká Británie). Z naměřených hodnot rychlosti fotosyntézy a transpirace byla vypočtena efektivita využití vody (WUE).

### 5.1 Rychlost výměny plynů

Graf 1. Rychlost fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) u odrůdy Botond.

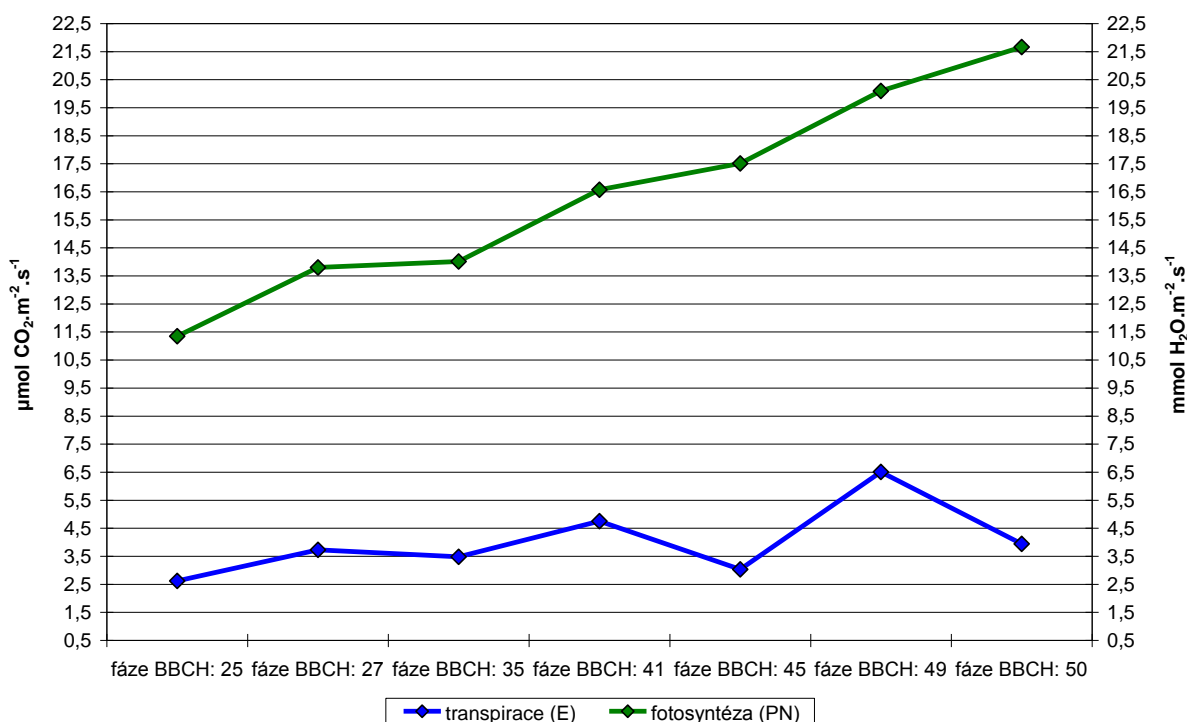


U odrůdy Botond rychlost fotosyntézy dosahovala ve fázi BBCH 25 hodnoty  $13,07 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Při následném měření ve fázi BBCH 27 se fotosyntéza zvýšila o  $0,46 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  na hodnotu  $13,53 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . V následném termínu měření byl zaznamenán výrazný pokles rychlosti fotosyntézy až na  $11,41 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (BBCH 35). Od této vývojové fáze až do konce sledovaného období, tedy od fáze BBCH 41 až do fáze BBCH 50, se rychlost fotosyntézy zvyšovala. Tento nárůst byl téměř lineární. V tomto období byl interval hodnot rychlosti fotosyntézy od  $14,72 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (BBCH 41) do  $16,98 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (BBCH 50). Celkově se rychlost fotosyntézy zvýšila z hodnoty

13,07  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  až na hodnotu 16,98  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  což představuje rozdíl 3,91  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  za sledované období, jak dokumentuje graf 1.

Z uvedeného grafu dále vyplývá, že u sledované odrůdy máku Botond se rychlost transpirace nejprve zvyšovala. Tento trend byl zaznamenán mezi fázemi BBCH 25, kdy rychlost transpirace byla 1,2  $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a BBCH 45. V této vývojové fázi byla rychlost transpirace 4,02  $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . V následující fázi ontogenetického vývoje (BBCH 49) byl zaznamenán výrazný pokles rychlosti transpirace o 2,14  $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  na hodnotu 1,88  $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Ke konci sledovaného období se rychlost transpirace opět zvýšila, až na svou maximální hodnotu, která byla ve fázi BBCH 50 5,85  $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

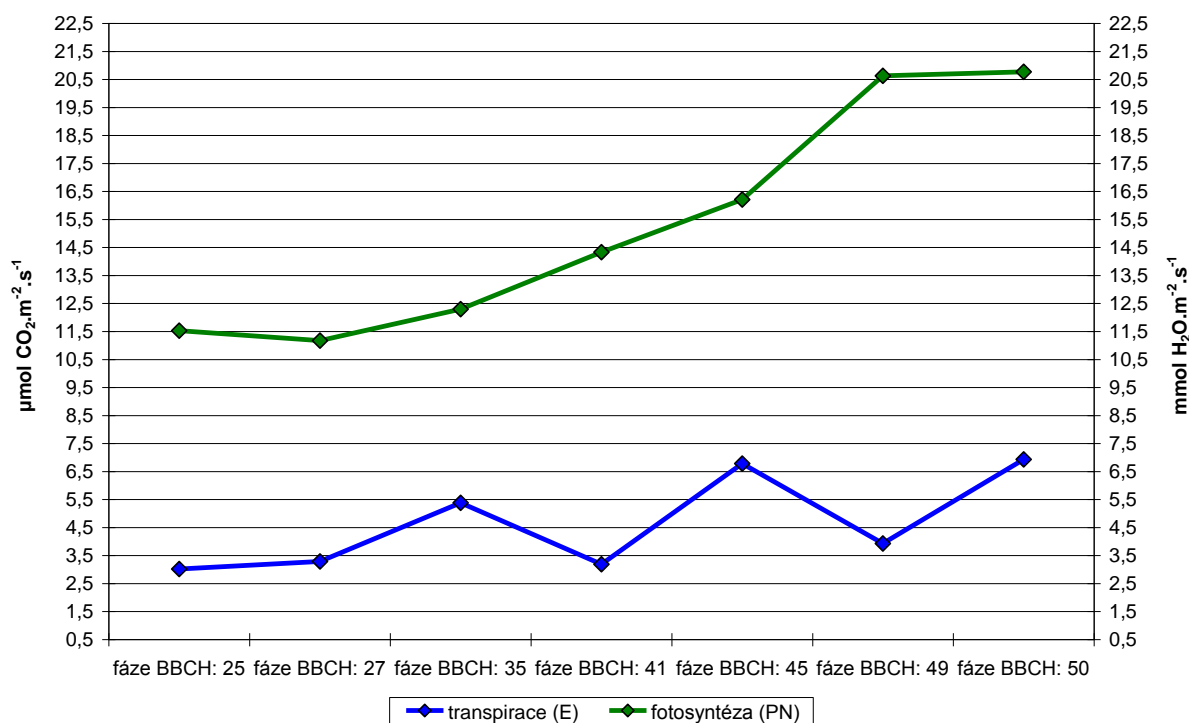
Graf 2. Rychlost fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) u odrůdy Major.



V grafu 2 je uvedena rychlost výměny plynů u odrůdy máku Major. Z grafu vyplývá, že rychlost fotosyntézy byla ve fázi BBCH 25 nejnižší a dosáhla hodnoty 11,35  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Shodně s odrůdou Botond se rychlost fotosyntézy zvýšila ve fázi BBCH 27 o 2,45  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  v porovnání s předcházejícím termínem měření. Mezi fázemi BBCH 27 a 35 se rychlost fotosyntézy nevýrazně snížila o 0,3  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Od této vývojové fáze až do konce sledovaného období byl zaznamenán postupný nárůst rychlosti fotosyntézy. Toto zvýšení je možné zaznamenat od fáze BBCH 35 až do konce fáze BBCH 50, kdy byla naměřena hodnota 21,66  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Oproti rychlosti fotosyntézy nevykazuje okamžitá transpirace výrazný trend v nárůstu či poklesu, jak je patrné z grafu 2. Z něho vyplývá, že na počátku sledování výměny plynů byla rychlost transpirace  $2,62 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Druhá nejvyšší rychlost transpirace byla zaznamenána ve fázi BBCH 41 ( $4,75 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Ve fázi BBCH 45 byl zaznamenán pokles rychlosti transpirace o  $1,72 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a poté následoval výrazný vzestup rychlosti transpirace o  $3,48 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  na maximální hodnotu  $6,51 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (BBCH 49). Ve fázi BBCH 50 následuje pokles transpirace na hodnotu  $3,94 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

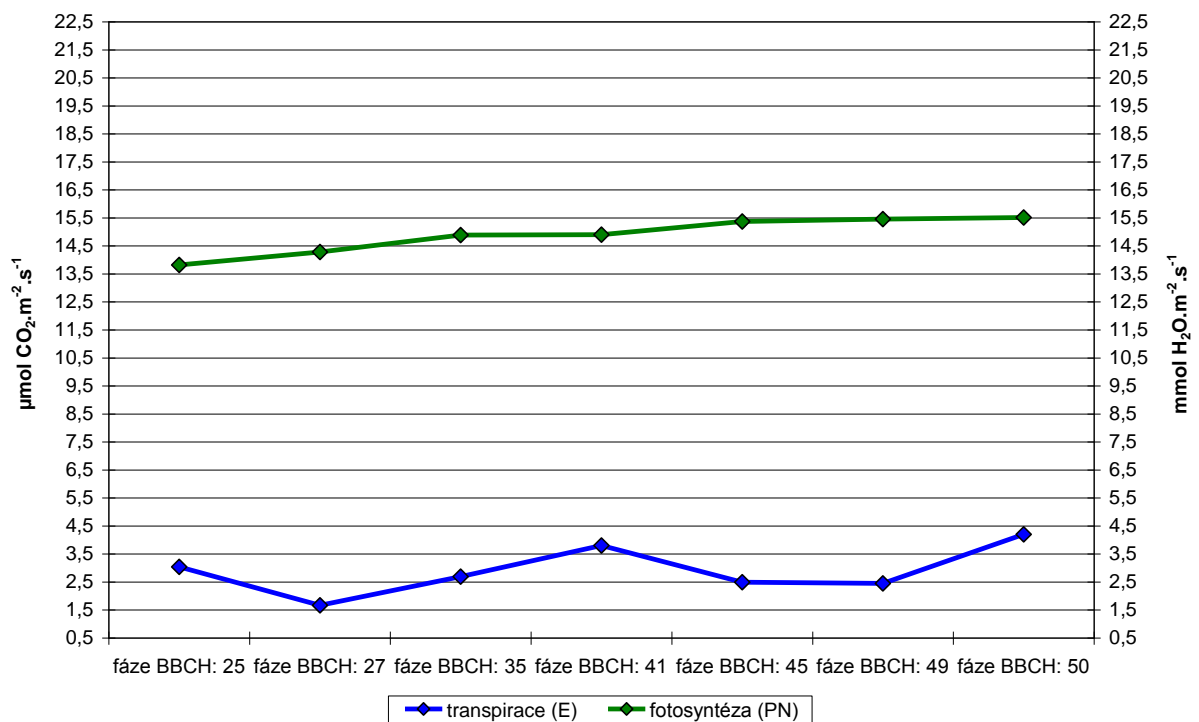
Graf 3. Rychlost fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) u odrůdy Maratón.



Rychlost fotosyntézy odrůdy Maratón se mezi fázemi BBCH 25 a 27 snížila z hodnoty  $11,53 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  na hodnotu  $11,17 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Poté již následuje postupný nárůst fotosyntézy až do konce sledovaného období. Tento vzestup je možné zaznamenat od fází BBCH 35 až BBCH 50. Interval hodnot rychlosti fotosyntézy v tomto období byl  $12,3 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (BBCH 35) až  $20,77 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (BBCH 50). Ve vývojové fázi BBCH 49 je možné zaznamenat výrazné zvýšení rychlosti fotosyntézy na  $20,77 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , naopak v poslední měřené fázi BBCH 50 je zaznamenán nejnižší nárůst fotosyntézy o  $0,14 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , jak je patrné z grafu 3.

Z grafu 3 je dále patrné, že rychlost transpirace nabývala při prvním měření ve fázi BBCH 25 nejnižší hodnoty za celé sledované období  $3,02 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Ve fázi BBCH 27 a 35 se rychlost transpirace zvýšila na  $3,92 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a  $5,38 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Od fáze BBCH 35 do konce sledovaného období má transpirace kolísavý charakter, s nárůstem a poklesem hodnot. Ve fázi BBCH 41 a 50 byla naměřena maximální hodnota transpirace a to  $6,93 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Graf 4. Rychlost fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) u odrůdy Mieszko.

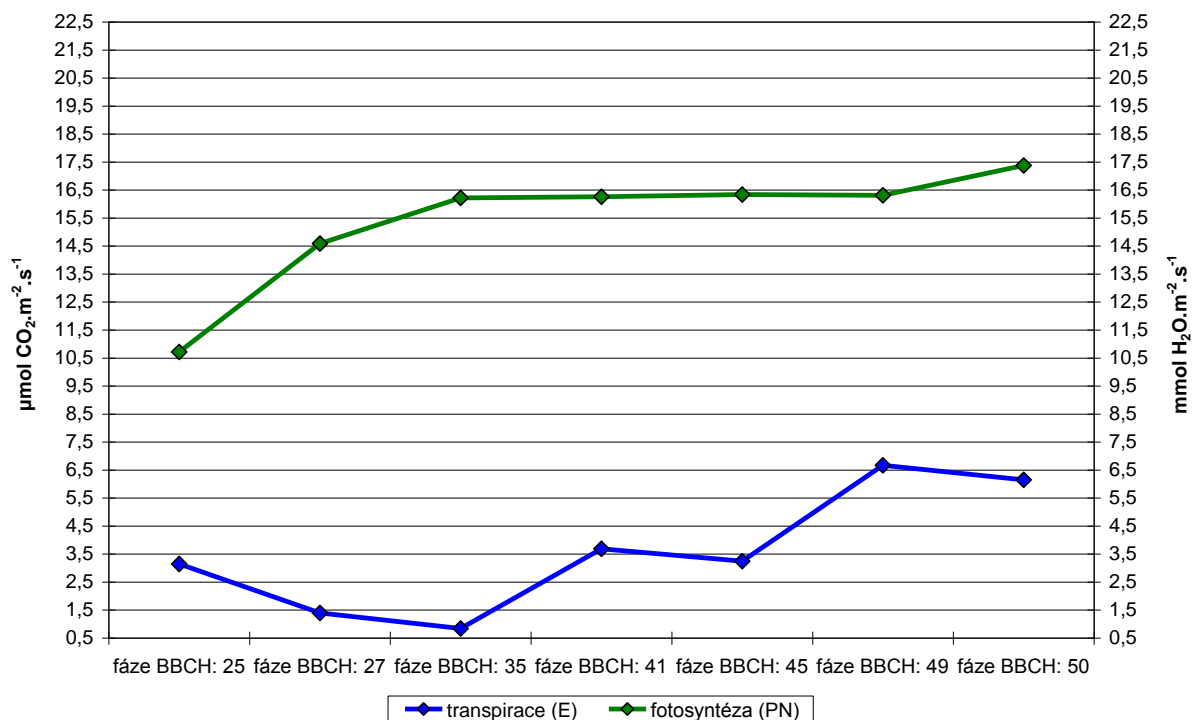


Rychlost fotosyntézy odrůdy Mieszko je zaznamenána v grafu 4. Z uvedeného grafu vyplývá, že se rychlost fotosyntézy v rámci ontogenetického vývoje zvyšovala pouze pozvolna. Od počátku měření rychlosti fotosyntézy, fáze BBCH 25, až do konce měření ve fázi BBCH 50 se rychlost fotosyntézy zvyšovala téměř lineárně. Rychlost fotosyntézy se u této odrůdy pohybovala v rozpětí hodnot od  $13,82 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (BBCH 25) do  $15,51 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (fáze BBCH 50). Rychlost fotosyntézy se zvýšila pouze o  $1,69 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Oproti rychlosti fotosyntézy měla rychlost transpirace kolísavý charakter, jak je patrné z grafu 4. Z něho je patrné, že ve fázi BBCH 25 byla rychlost transpirace  $3,04 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Ve fázi následující se transpirace snížila o  $1,37 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,

jedná se o nejnižší naměřenou rychlost transpirace odrůdy Miezska v rámci ontogenetického vývoje. Naměřená rychlost transpirace byla  $1,67 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Ve fázích BBCH 35 a 41 transpirace postupně narůstala na hodnotu  $3,8 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Ve fázi BBCH 45 byl zaznamenán opět pokles na hodnotu  $2,49 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Transpirace dosáhla nejvyšší hodnoty v poslední měřené fázi BBCH a to  $4,2 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Graf 5. Rychlost fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) u odrůdy Opál.

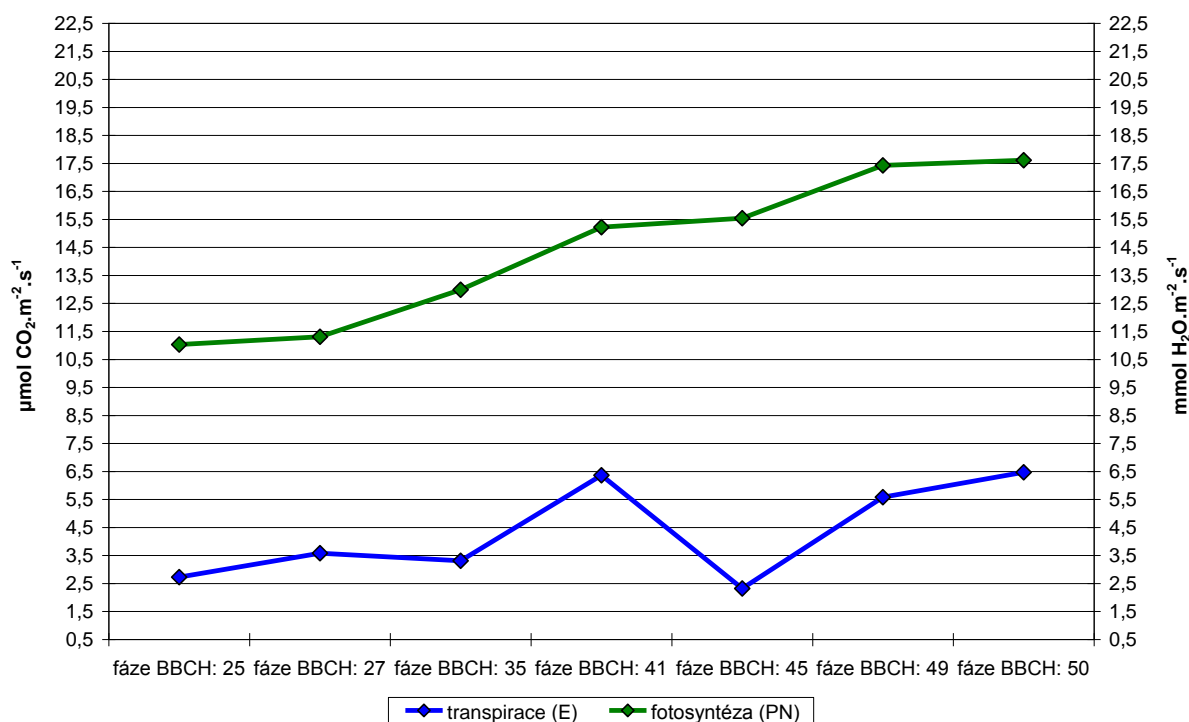


Rychlost fotosyntézy odrůdy Opál se výrazně zvyšovala mezi fázemi BBCH 25 až BBCH 35. Naměřený interval hodnot rychlosti fotosyntézy v rámci těchto vývojových fází byl  $10,72 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  až  $16,22 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Od fáze BBCH 35 do fáze BBCH 45 byl zaznamenán pouze pozvolný nárůst rychlosti fotosyntézy o  $0,12 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  na hodnotu  $16,34 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Výraznější nárůst rychlosti fotosyntézy byl zaznamenán až ve fázi BBCH 50, kdy naměřená hodnota fotosyntézy dosáhla výše rychlosti  $17,38 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , viz graf 5.

Z grafu 5 je dále patrné, že rychlost transpirace měla od fáze BBCH 25 do fáze BBCH 35 klesající charakter. Ve fázi BBCH 25 byla hodnota  $3,15 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , ale ve fázi BBCH 35 se snížila až na hodnotu  $0,84 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Jedná se o nejnižší naměřenou hodnotu během celého měření. Od fáze BBCH 35 do konce měření, fáze BBCH 50, nevykazují

hodnoty transpirace trend v nárůstu či poklesu hodnot, neboť např. ve fázi BBCH 41 byla rychlost transpirace  $3,69 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a ve fázi následující  $3,25 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Ve fázi BBCH 50 byl opět zaznamenán mírný pokles transpirace na hodnotu  $6,15 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  v porovnání s předcházející růstovou fází.

Graf 6. Rychlost fotosyntézy ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) u odrůdy Redy.

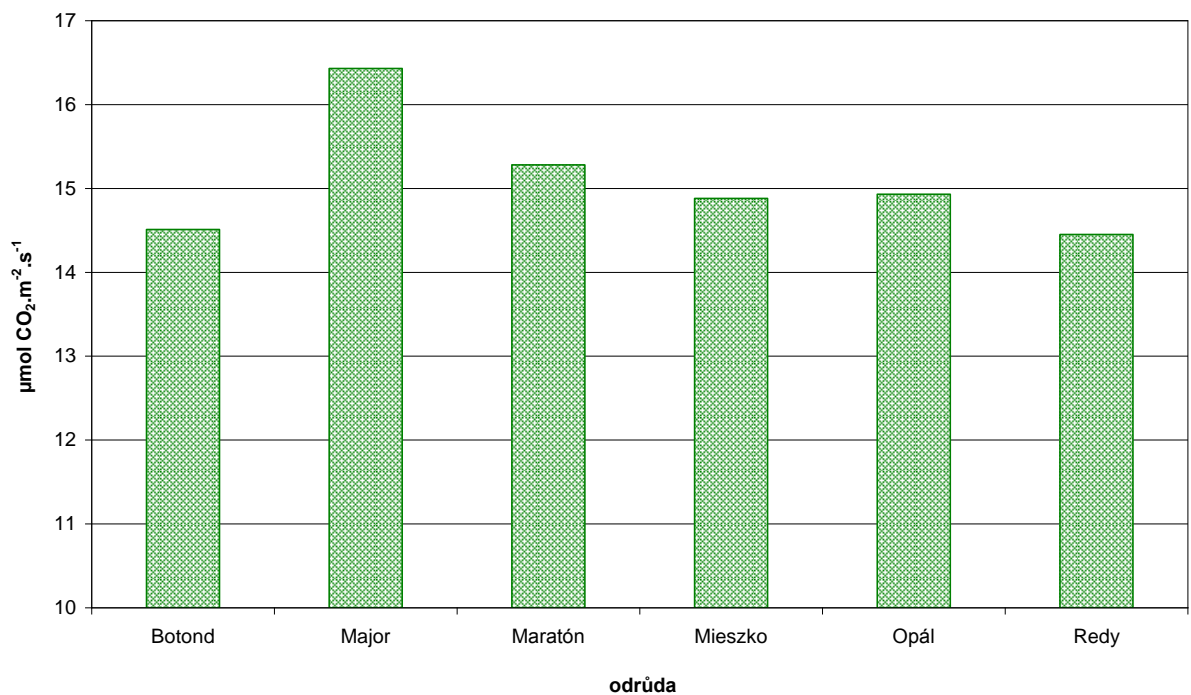


Rychlost fotosyntézy odrůdy máku Redy byla nejnižší ve fázích BBCH 25, kdy rychlost fotosyntézy dosáhla výše  $11,03 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Výraznější nárůst rychlosti fotosyntézy byl zaznamenán ve fázích BBCH 35 a 41, kdy se rychlost fotosyntézy zvýšila na  $12,99 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a  $15,22 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Další výrazný nárůst fotosyntézy byl zaznamenán ve fázi BBCH 49, ve srovnání s fází předcházející. Ve fázi BBCH 49 se rychlost fotosyntézy zvýšila na  $17,43 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Maximální rychlost fotosyntézy byla zaznamenána ve fázi BBCH 50 ( $17,61 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), jak dokládá graf 6.

Transpirace na začátku měření dosahovala hodnoty  $2,73 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Ve fázi BBCH 35 bylo v porovnání s předcházejícími vývojovými fázemi zaznamenáno mírné snížení rychlosti transpirace o  $0,27 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Avšak ve fázi BBCH 41 je zaznamenán výrazný nárůst rychlosti transpirace na  $6,36 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , který je ve fázi BBCH 45 vystřídán výrazným snížením transpirace až na nejnižší hodnotu během celého měření

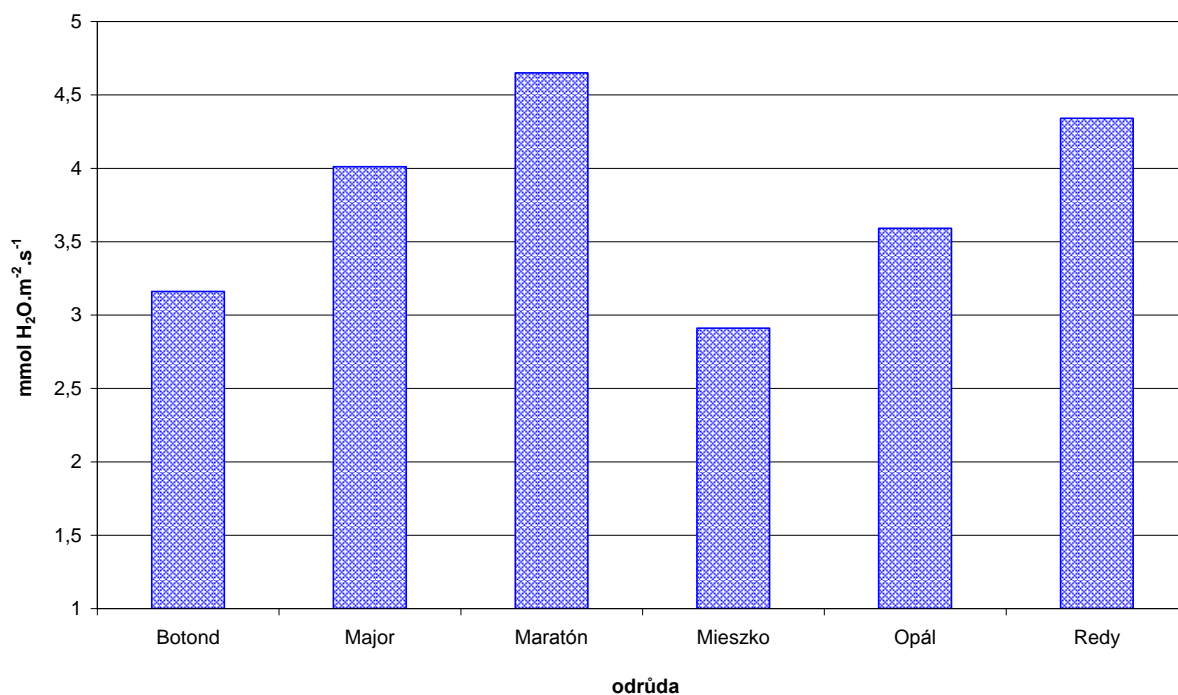
2,32 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>. Naopak na konci měření, ve fázi BBCH 50 byla naměřena maximální rychlost transpirace a to 6,47 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>, viz graf 6.

Graf 7. Vliv genotypu na průměrnou rychlost fotosyntézy (μmol CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>).



Ze sledovaných genotypů máku vykazuje odrůda Major nejvyšší průměrnou rychlost fotosyntézy. U této odrůdy byla průměrná fotosyntéza ve výši 16,43 μmol CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>, jak dokládá graf 7. Z něho je dále patrné, že naopak nejnižší průměrnou rychlost fotosyntézy vykazují odrůdy Redy (14,45 μmol CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>) a Botond (14,51 μmol CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>). Při porovnání odrůd s vysokým, středním a nízkým obsahem morfinu je patrné, že odrůda Botond s vysokým obsahem morfinu a odrůdy Redy a Mieszko s nízkým obsahem morfinu vykazují výrazně nižší rychlost fotosyntézy oproti odrůdám Major, Maratón a Opál se středním obsahem morfinu.

Graf 8. Vliv genotypu na průměrnou rychlost transpirace ( $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ).



Průměrná rychlost transpirace byla nejvyšší u odrůdy Maratón  $4,65 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , poté následuje odrůda Redy  $4,34 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a odrůda Major  $4,01 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Odrůdy Botond a Mieszko vykazují nízkou průměrnou rychlost transpirace a to  $3,16 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  a  $2,91 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Přičemž u odrůdy Mieszko byla zjištěna nejnižší průměrná rychlost transpirace ze všech sledovaných genotypů, viz graf 8.

## 5.2 Efektivita využití vody (WUE)

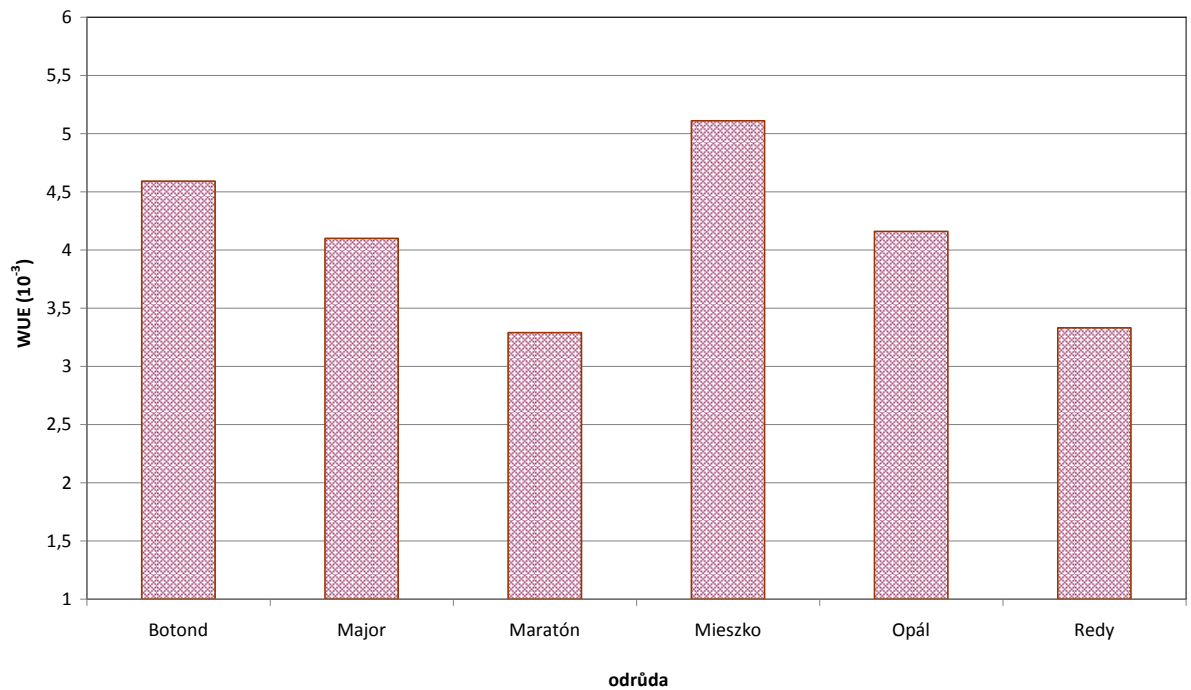
Efektivita využití vody je dána poměrem mezi rychlostí fotosyntézy a transpirace. Čím je uvedená hodnota vyšší, tím lze předpokládat, že daný genotyp je odolnější vůči vodnímu deficitu

Z grafu 9 vyplývá, že hodnota WUE je výrazně nejvyšší u odrůdy Mieszko  $5,11 (10^{-3})$ . Následují odrůdy Botond ( $4,59 (10^{-3})$ ), Opál ( $4,16 (10^{-3})$ ) a Major s hodnotou  $4,1 (10^{-3})$ . Nejnižší hodnotu WUE vykazují odrůdy Maratón  $3,29 (10^{-3})$  a Redy  $3,33 (10^{-3})$ . Z uvedených hodnot efektivity využití vody lze usuzovat, že odrůda Mieszko by měla být odolnější vůči vodnímu deficitu, zatímco u odrůd Maratón a Redy lze předpokládat vyšší citlivost vůči vodnímu stresu. Při srovnání odrůd s vysokým, středním a nízkým obsahem morfinu není jednoznačně patrná souvislost. Nízko-obsažná odrůda Mieszko a odrůda Botond s vysokým



obsahem morfinu vykazují nejvyšší efektivitu využití vody. Naopak u odrůdy Redy s nízkým obsahem morfinu je hodnota WUE nízká. Celkově byla hodnota WUE u odrůd se středním obsahem morfinu v průměru o 0,49 ( $10^{-3}$ ) nižší.

Graf 9. Změny v hodnotách efektivity využití vody ( $10^{-3}$ ) v rámci sledovaných genotypů máku.



## 6 Diskuse

Cílem práce bylo během ontogenetického vývoje vybraných genotypů máků zjišťovat rychlost výměny plynů, především rychlost fotosyntézy a transpirace a z těchto hodnot stanovit efektivitu využití vody (WUE).

### 6.1 Rychlost výměny plynů

#### 6.1.1 Rychlost fotosyntézy

Z naměřených hodnot rychlosti fotosyntézy sledovaných genotypů máku vyplývá, že u všech odrůd byl zaznamenán její postupný nárůst v rámci ontogenetického vývoje rostlin. Ve vývojové fázi BBCH 25 byla naměřena rychlost fotosyntézy v intervalu hodnot od 10,72  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (odrůda Opál) do 21,66  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (odrůda Major). Na konci sledovaného období, ve vývojové fázi BBCH 50, byla rychlost fotosyntézy nejnižší u odrůdy Mieszko (15,51  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a naopak nejvyšší u odrůdy Major (21,66  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Uvedené výsledky jsou v souladu s pracemi např. Böhning a Burnside (1956) nebo Aftab a kol. (2010), kteří uvádějí, že rychlost fotosyntézy v průběhu ontogenetického vývoje rostlin narůstá. Obdobný trend potvrzuje také Slatyer a Gilbert (1971) a Jonese a kol. (1998).

Podle Hniličky a kol. (2004) dosahuje maximální rychlost fotosyntézy svého maxima v období kvetení a krátce po anthezi. Tento závěr nemohl být v pokusu potvrzen, neboť pokus byl ukončen před nástupem kvetení.

Rychlost fotosyntézy se v rámci ontogeneze nezvyšovala u všech genotypů shodně. Nejvýraznější nárůst rychlosti fotosyntézy v rámci ontogeneze byl zaznamenán u odrůdy Major. U této odrůdy byla rychlost fotosyntézy v rozpětí hodnot od 11,35  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (BBCH 25) do 21,66  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (BBCH 50). Naopak u odrůdy Mieszko se rychlost fotosyntézy zvyšovala pozvolna z hodnoty 13,82  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (BBCH 25) na hodnotu 15,51  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (BBCH 50).

Rostliny máku patří mezi rostliny citlivé na chemické zbytky v prostředí, jak uvádí např. Bechyně (1993). Uvedená citlivost máku na aplikaci a rezidua insekticidních a fungicidních ochranných prostředků se mohla projevit krátkodobým snížením rychlosti fotosyntézy v rámci ontogenetického vývoje např. odrůdy Botond, Maratón nebo Opál.

Uvedený závěr potvrzuje např. práce Reheem (1991). Uvedený autor prokázal snížení rychlosti fotosyntézy u sóji v důsledku aplikace insekticidu.

Rychlost fotosyntézy byla vedle ontogenetického vývoje rostlin ovlivněna také použitým genotypem. Ze získaných výsledků vyplývá, že při porovnání odrůd s vysokým, středním a nízkým obsahem morfinu je patrné, že odrůda Botond ( $14,51 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) s vysokým obsahem morfinu a odrůdy s nízkým obsahem morfinu Redy ( $14,45 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) a Mieszko ( $14,88 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) vykazují výrazně nižší rychlost fotosyntézy oproti odrůdám Major ( $16,43 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), Maratón ( $15,28 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) a Opál ( $14,93 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) se středním obsahem morfinu. Vztah mezi primárním metabolismem máku a obsahem sekundárních látek nebyl sledován. Avšak mezi genotypové rozdíly v rychlosti fotosyntézy potvrzují také práce Veneklaas a Van Den Boogaard (1994), Loggini a kol. (1999) a Kocon (2006). Uvedení autoři sledovali rozdíly v rychlosti fotosyntézy u pšenice a kukuřice.

### **6.1.2 Rychlost transpirace**

Ze získaných výsledků měření transpirace sledovaných genotypů v rámci ontogenetického vývoje máku nebyl oproti fotosyntéze prokázán vliv nárůstu či poklesu hodnot výdeje vody listy. U všech sledovaných odrůd máku vykazuje rychlost transpirace kolísavý nárůst či pokles transpirace vlivem ontogeneze rostlin. Uvedený závěr byl potvrzen také např. u rostlin chmele, jak dokládá práce Hniličkové a kol. (2005). Tento trend potvrzuje také práce Downese (1970).

V rámci ontogenetického vývoje rostlin byly nižší hodnoty transpirace zaznamenány ve vývojových fázích BBCH 25 a 45 a naopak nejvyšší rychlost transpirace byla naměřena ve fázi BBCH 49. Změny rychlosti transpirace v rámci ontogenetického vývoje pšenice potvrzují práce např. Kumara a Tripathiho (1990), Ahmadiho a Siosemardecha (2005).

Podle Hniličky a Petra (2003) má rychlost transpirace u rostlin pšenice po navození své maximum ve fázi kvetení. Uvedený závěr nemohl být v pokusu s mákem potvrzen, neboť pokus byl ukončen před nástupem kvetení.

V pokusu s mákem byl potvrzen vliv genotypu na změny rychlosti transpirace. Z výsledků je patrné, že nejvyšší průměrná rychlost transpirace byla naměřena u odrůdy Maratón  $4,65 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  a Redy  $4,34 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Naopak odrůdy Mieszko

2,91 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> a Botond 3,16 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> dosahovaly nízkých hodnot transpirace v průměru všech měření.

Genotypové rozdíly v rychlosti transpirace uvádí např. Salomon a Labuschagne (2003), Siosemardeh a kol. (2004) a Lu a kol. (2005), kteří sledovali genotypové rozdíly a reakci rostlin pšenice nebo kukuřice na vodní deficit.

Při srovnání odrůd podle obsahu morfinu nebyla zjištěna výrazná souvislost mezi rychlostí transpirace a obsahem morfinu. U vysokoobsažné odrůdy Botond byla průměrná rychlost transpirace 3,16 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> u nízko obsažných odrůd byla transpirace 2,91 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> u odrůdy Mieszko a 4,34 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> u odrůdy Redy. U odrůd se středním obsahem morfinu byla rychlost transpirace 4,01 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> u odrůdy major, 4,65 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> u odrůdy Maratón, 3,59 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> u odrůdy Opál. Uvedené závěry nepotvrzuje práce Jaafar a kol. (2012), kteří uvádějí, že zvýšený obsah sekundárních metabolitů je u druhu *Labisia pumila* Benth při nižším relativním obsahu vody v rostlině u něhož lze předpokládat i nižší rychlost transpirace. Rozdíl může být způsoben jiným rostlinným druhem a odlišným způsobem pěstování. Kdy rostliny máku byly pěstovány v částečně řízených podmínkách skleníku, kdežto rostliny *Labisia pumila* Benth v polních podmínkách (Jaafar a kol., 2012).

### 6.1.3 Efektivita využití vody (WUE)

Efektivita využití vody (WUE) je dána poměrem mezi rychlostí fotosyntézy a transpirace. Čím je uvedená hodnota vyšší, tím lze předpokládat, že daný genotyp je odolnější vůči vodnímu deficitu (Zámečnicková, 2000). Na základě tohoto tvrzení je možné konstatovat, že ze sledovaných genotypů máku se jako tolerantní k vodnímu deficitu jeví odrůda Mieszko a naopak jako citlivý genotyp lze označit odrůdu Maratón či Redy. U těchto genotypů byla vypočtená hodnota efektivitě využití vody nejvyšší u odrůdy Mieszko 5,11 (10<sup>-3</sup>) a nejnižší u odrůd Maratón 3,29 (10<sup>-3</sup>) nebo Redy 3,33 (10<sup>-3</sup>).

Rozdíly v efektivitě využití vody v rámci genotypů máku při působení vodního deficitu potvrzuje také např. Damghania a kol. (2010). Uvedený závěr byl potvrzen také v případě testovaných genotypů máku v našem pokusu. Genotypové rozdíly v hodnotách WUE uvádí v případě jiných plodin (pšenice, kukuřice, rajčata) i další autoři např. Sinclair a kol. (1983) nebo Bjorn a kol. (1989).

Z práce Zámečníka (2008) vyplývá, že hodnoty WUE jsou ovlivněny změnou rychlosti fotosyntézy a transpirace a stomatální vodivosti v průběhu ontogenetického vývoje rostlin. Získaný závěr nelze zcela potvrdit, neboť v pokusu byla zjišťována hodnota WUE pouze v rámci genotypových rozdílů. Z naměřených hodnot fotosyntézy a transpirace však vyplývá, že tento závěr by byl také potvrzen.

V práci Damghania a kol. (2010) je zaznamenán rozdíl v odolnosti vůči vodnímu deficitu u máku setého (*Papaver somniferum* L.) s rozdílným obsahem morfinu. Toto je patrné i u sledovaných genotypů máku. Při srovnání odrůd s vysokým, středním a nízkým obsahem morfinu není jednoznačně patrná souvislost. Nízko-obsažná odrůda Mieszko a odrůda Botond s vysokým obsahem morfinu vykazují nejvyšší efektivitu využití vody. Naopak u odrůdy Redy s nízkým obsahem morfinu je hodnota WUE nízká. Celkově byla hodnota WUE u odrůd se středním obsahem morfinu v průměru o 0,49 ( $10^{-3}$ ) nižší. Z uvedeného vyplývá, že existuje vztah mezi efektivitou využití vody a obsahem sekundárních metabolitů, konkrétně morfinu. Uvedený závěr potvrzují např. Szabó a kol. 2008, kteří uvádí, že existuje vztah mezi obsahem sekundárních metabolitů a efektivitou využití vody v rostlinách máku. Tento závěr byl částečně potvrzen u vysoko obsažné odrůdy Botond a u odrůdy s nízkým obsahem morfinu Redy.

## 7 Závěr

Cílem práce bylo u vybraných genotypů máků, využitelných jako genetické zdroje, v průběhu vegetace zjišťovat rychlost výměny plynů, především rychlost fotosyntézy a transpirace a stanovit efektivitu využití vody (WUE)

- Nejvyšší rychlost fotosyntézy byla zaznamenána u odrůd se středním obsahem morfinu. U odrůdy Major  $16,43 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , Maratón  $15,28 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  a Opál  $14,93 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .
- Nejnižší rychlost fotosyntézy byla naměřená u odrůd s vysokým obsahem morfinu (odrůda Botond  $14,51 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) a odrůd s nízkým obsahem morfinu (odrůdy Mieszko  $14,88 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  a Redy  $14,45 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ).
- Nejvyšší rychlost transpirace byla naměřena u odrůd Maratón  $4,65 \text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  a Redy  $4,34 \text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .
- Naopak u odrůdy Mieszko  $2,91 \text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  a Botond  $3,16 \text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  byly transpiračně nejnižší.
- Efektivita využití vody byla nejvyšší u odrůdy Mieszko  $5,11 (10^{-3})$ , proto lze předpokládat odolnost vůči vodnímu deficitu.
- Nejnižší hodnotu WUE vykazovaly odrůdy Maratón  $3,29 (10^{-3})$  a Redy  $3,33 (10^{-3})$ . U těchto odrůd lze na základě hodnot WUE předpokládat vyšší citlivost k vodnímu deficitu.
- V rámci ontogenetického vývoje vybraných odrůd máku setého byl zaznamenán nárůstu rychlosti fotosyntézy a transpirace.
- Byl potvrzen vliv genotypu na sledované fyziologické charakteristiky.

## 8 Přehled použité literatury

- Abhishek, D., Choudhary, Ch. K. 2010. Genetics of morphine, yield and its candidate characters in opium poppy (*Papaver somniferum* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 1 (4). p. 649-655.
- Aftab, T., Khan, M. A., Idrees, M., Naeem, M., Singh, M., Ram, M. 2010. Stimulation of crop productivity, photosynthesis and artemisinin production in *Artemisia annua* L. by triacontanol and gibberellic acid application. *Journal of Plant Interactions*. 5 (4). p. 273-281.
- Ahmadi, A., Siosemardeh, A. 2005. Investigation on the physiological basis of grain yield and drought resistance in wheat: leaf photosynthetic rate, stomatal conductance, and non-stomatal limitations. *International Journal of Agriculture and Biology*. 7 (5). p. 807-811.
- Bechyně, M. 1993. *Základy pěstování máku*. Institut výchovy a vzdělávání Mze ČR. Praha. s. 36. ISBN: 8071050377.
- Bechyně, M., Novák, J. 1987. *Biologie máku a systém jeho produkce*. VŠZ. Praha. s. 94.
- Bjorn, M., Nienhuis J., King G., Schaefer, A. 1988. Restriction Fragment Length Polymorphisms Associated with Water Use Efficiency in Tomato. *Science*. 24 (7). p. 1725-1728.
- Böhning, R. H., Burnside Ch. A. 1956. The effect of light intensity on rate of apparent photosynthesis in leaves of sun and shade plants. *American Journal of Botany*. 43 (8). p. 557.
- Bubeník, R., Peza, Z. 2010. Možnosti eliminace stresových vlivů při pěstování máku. *Prosperující olejnin*. 2010. s. 131. ISBN: 9788021321281.
- Cihlář, P., Vašák, J. 2013. Choroby máku a možnosti ochrany proti nim. *Agromanuál*. 8 (4). s. 71-73.

Cihlář, P., Vašák, J., Voršilka, T., Vlažný, P. 2012. Nové možnosti založení porostu a ochrany máku setého. Prosperující olejny. 2012. s. 81. ISBN: 9788021323353.

Cihlář, P., Vlažný, P., Voršilka, T., Vašák, J. 2013. Vybrané výsledky z pokusů s mákem na ČZU v roce 2012. Sdružení český mák informuje. Sborník odborných seminářů „Mák v roce 2013“. 12. s. 72-74.

Cihlář, P., Vlažný, P., Bečka, D., Vašák, J. 2011. Vliv ročníků a způsobu aplikace hnojiv na výnos semen máku setého. Prosperující olejny. 2011. s. 90. ISBN: 9788021322189.

Česko. Zákon č. 167/1998 Sb., o návykových látkách a o změně některých dalších zákonů. Sbírka zákonů. 1999, 57/1998, s. 6770.

Český statistický úřad. [online]. 2013. [cit. 2013-12-29]. Dostupné z <<http://csu.cz>>.

Damghania, A. M., Kamkarb, B., Al-Ahmadib, M. J., Testi L., Villalobosb F. J. 2010. Water stress effects on growth, development and yield of opium poppy (*Papaver somniferum* L.). Agricultural Water Management. 2010 (97). p. 1582-1590.

De-la-Cruz Chacón, I., Riley-Saldaña, Ch. A., González-Esquinca, A. R. 2013. Secondary metabolites during early development in plants. Phytochemistry Reviews. 12 (1). 47-64.

Dittbrenner, A., Mock, H. P., Börner, A., Lohwasser U. 2009. Variability of alkaloid content in *Papaver somniferum* L. Journal of applied Botany and Food Quality. 2009 (82). p. 103-107.

Doležalová, J., Zukalová. H., Cihlář. P., Vašák. J. 2010. Výnos semen a obsah morfinu v závislosti na odrůdě a zvolené agrotechnice u máku setého (*Papaver somniferum* L.). Prosperující olejny. 2012. s. 91. ISBN: 9788021321281.

Downes, R. W. 1970. Effect of Light Intensity and Leaf Temperature on Photosynthesis and Transpiration in Wheat and Sorghum. Australian Journal of Biological Sciences. 23 (4). p. 775-782.



Fábry, A., Bartoška, J., Bechyně, M., Janovec, J., Kadlec, T., Kosek, Z., Kovačik, A., Kohout, V., Kutina, J., Novák, J., Maléř, J., Pawlica, R., Schreier, J., Souček, J., Sýkora, L., Šedivý, J., Škaloud, V., Táborský, V., Vašák, J., Vincenc, J., Voškeruša, J., Zbuzek, B., Zukalová, H. 1992. Olejniny. Ministerstvo zemědělství ČR. Praha. s. 419. ISBN: 80-7084-043-9.

Fábry, A., Bechyně, M., Blažek, F., Derco, M., Hannich, K., Korda, J., Kovačik, A., Kratochvíl, V., Kurzová, E., Kutina, J., Liška, O., Martínek, V., Schreier, J., Voškeruša, J., Zakopal, J., Zukalová, H. 1975. Řepka, hořčice, mák a slunečnice. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. s. 358.

Food and Agricultural Organization of the United Nations. [online]. 2013. [cit. 2013-12-29]. Dostupné z <<http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>>.

Gajdaš, V. D., Gurinovič, S. J., Mazur, V. O., Pasičnik, P. K., Moskvič, S. O., Roškovan, V. V., Juchimčuk, G. V. 2002. Mak. Ukraine Akademia Agronomia Nauk. s. 184. ISBN: 9668064001.

Goodman, A. J., Le Bourdonnec, B., Dolle, R. E. 2007. Mu opioid receptor antagonists: recent developments. ChemMedChem. 2. p. 1552-1570.

Hájková, L., Vondráková, A., Vávra, A. 2012. Atlas fenologických poměrů Česka. Český hydrometeorologický ústav. Praha. s. 311. ISBN: 9788086690988.

Hirai, K., Hukuda, M., Ujihara, A., Narita, M. 2013. Cultivation of opium poppy (*Papaver* spp.) and history of opium: A study on origin and diversity of opium poppy. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 12 (2). p. 31.

Holá, D., Benešová, M., Honnerová, J., Hnilička, F., Rothová, O., Kočová, M., Hniličková, H. 2010. The evaluation of photosynthetic parameters in maize inbred lines subjected to water deficiency: Can these parameters be used for the prediction of performance of hybrid progeny? Phtosynthetica 48 (4). s 545-558.

Hnilička, F., Hniličková, H., Česká, J. 2004. The influence of abiotic stresses upon photosynthesis and growth of wheat. *Žemdirbyste*. 86 (2). s. 54-66.

Hnilička, F., Petr, J. 2003. Vliv nízkého pH a sucha na fotosyntézu a tvorbu výnosu ozimé pšenice. In.: *Udržitelné poľnohospodárstvo a rozvoj vidieka. Proceedings of Scientific Conference with International Participation. SPU v Nitre. Slovenská republika*. s. 168-170.

International Narcotic Control Board. [online]. 2012. [cit. 2014-1-24]. Dostupné z <[http://www.incb.org/documents/Newsletter/INCB Newsletter Issue 6.pdf](http://www.incb.org/documents/Newsletter/INCB_Newsletter_Issue_6.pdf)>.

Jaafar, H. Z. E., Ibrahim, M. H., Fakri, N. F. M. 2012. Impact of Soil Field Water Capacity on Secondary Metabolites, Phenylalanine Ammonia-lyase (PAL), Malondialdehyde (MDA) and Photosynthetic Responses of Malaysian Kacip Fatimah (*Labisia pumila* Benth). *Molecules*. 17 (6). p. 7305-7322.

Jones, H. G., Kershanskaya, O. I., Bogdanova, E. D. 1998. Photosynthesis characteristics of rolling leaf wheat lines in response to drought stress. *Photosynthesis: mechanisms and effects*. Volume V. In. (Galab ed.) *Proceedings of the XI<sup>th</sup> International Congress on Photosynthesis*. Budapest. Hungary. p. 3833-3836.

Jursík, M., Holec, J., Hamouz, P., Soukup, J. 2011. *Plevelé Biologie a regulace*. Kurent. České Budějovice. s. 232. ISBN: 9788087111277.

Kazda, J., Ackermann, P., Baranyk, P., Bubínek, J., Cagaš, B., Čech, P., Dědek, J., Douba, O., Harašta, P., Hausvater, E., Havel, J., Honěk, A., Huňatý, I., Chovhová J., Janků, J., Jursík, M., Kasal, P., Klašková, L., Klem, K., Kocourek, F., Konečný, I., Kudela, V., Macháč, R., Matušinský, P., Málek, B., Mikulka, J., Nedělník, J., Ondráčková, E., Ondřej, M., Petrucha, J., Plachká, E., Poslušná, J., Rotrekl, J., Řehák, V., Seidenglanz, M., Spačilová V., Spitzer, T., Stará, J., Šmehal, P., Šmirous, P., Tvarůžek, L., Vaculík, A., Veverka, K., Zapletal, M. 2013. *Polní plodiny*. Česká společnost rostlinolékařská. Praha. s. 360. ISBN: 9788002024804.

Kazda, J., Mikulka, J., Prokinová, E. 2010. Encyklopedie ochrany rostlin. Vydavatelství Profi Press. Praha. s. 399. ISBN: 9788086726342.

Kocon, A. 2006. Efektywnosc fotosyntetyczna pszenicy w warunkach stresu wodnego. Nawozy i Nawozenie Fertilisers and Fertilization. 8 (1). p. 101-111.

Kritikos, P. G., Papadaki, S. P. 1967. History of Poppy and of Opium and their Expansion in Antiquity in Eastern Mediterranean. Bulletin on Narcotics. 19 (3). p. 17-38.

Kumar, A., Tripathi, R. P. 1990. Relation of leaf-water potential, diffusive resistance, transpiration rate and canopy temperature in bread wheat (*Triticum aestivum*). Indian Journal of Agricultural Sciences. 60 (2). p. 128-131.

Loggini, B., Scartazza, A., Brugnoli, E., Navari-Izzo, F. 1999. Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. Plant Physiology. 119 (3). p. 1091-1099.

Lohr, V., Kosek, Z., Vlk, R., Cihlár, P. 2012. Mezinárodní symposium o máku 2011 v indickém městě Lákhnau, pěstování máku v Indii. Sdružení český mák informuje. Sborník odborných seminářů „Mák v roce 2012“. 11. s. 71-76.

Lu, L. H., Li, Y. M., Hu, Y. K. 2005. Effect of water stress on photosynthetic characteristics and yield characters of two wheat cultivars with different resistances to drought. Journal of Agricultural University of Hebei. 28 (3). p. 1-5.

Kosek, Z., Vlk, R. 2011. Ozimý mák. Sdružení český mák informuje. Sborník odborných seminářů „Mák v roce 2011“. 10. s. 51-53.

Melichar, B., Čeladník, M., Palát, K., Kňazko, L., Nováček, L., Sova, J. 1972. Chemická léčiva. Avicenum Zdravotnické nakladatelství. Praha. s. 956.

- Nárt, L. 1988. Rostliny, lidé a trvale udržitelný život člověka na Zemi. Karolinum. Praha. s. 135.
- Novák, J. 1990. Genetické zdroje *Papaver somniferum* L. a příbuzných druhů. MON. Praha. s. 71. ISBN: 8021300620.
- Nožina, M. 2001. Cesty za opiem. Nakladatelství Lidové noviny. Praha. s. 259. ISBN: 807106534X.
- Paul, L., Schiff, J. 2002. Opium and Its Alkaloids. American Journal of Pharmaceutical Education. 66. p. 186-194.
- Pinke, G., Pál, R. W., Tóth, K., Karácsony, P., Czúcz, B., Botta-dukát, Z. 2011. Weed vegetation of poppy (*Papaver somniferum*) fields in Hungary: effects of management and environmental factors on species composition. Weed Research. 51 (6). p. 621-630.
- Primaflora. [online]. 2014. [cit. 2014-1-24]. Dostupné z <<http://primaflora.de/>>.
- Reheem, S. A. 1991. Photosynthesis inhibition of soybean leaves by insecticides. Environmental Pollution. 74 (3). p. 245-250.
- Richter, R., Škarpa, P. 2013. Zásady hnojení máku s ohledem na výnos a kvalitu produktu. Agromanuál. 8 (2). s. 60-62.
- Říha, K., Kraus, P. 2013. Sklerotiniová hniloba máku. Agromanuál. 8 (4). s. 70.
- Schreier, J. 1997. Krytonosec kořenový – vážný škůdce máku. Agro ochrana a výživa rostlin. 3. s. 36-38.
- Sinclair, T. B., Tanner, C. B., Bennet, J. M. 1983. Water-Use Efficiency in Crop Production. BioScience. 34 (1). p. 36-40.

Siosemardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., Ebrahimzadeh, H. 2004. Stomatal and nonstomatal limitations to photosynthesis and their relationship with drought resistance in wheat cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. 35 (1). p. 93-106.

Slatyer, R. O., Gilbert, N. E. 1971. Photosynthesis and Photorespiration. *Science*. 173 (4002). p. 1162-1167.

Slavík, B., Hejný, S., Čvančara, A., Dvořáková, M., Hrouda, L., Husar, Š., Chrtek, J., Chrtková, A., Kovanda, M., Křísa, B., Kubát, K., Ložek, V., Moravec, J., Neuhausl, R., Osvačilová, V., Skalická, A., Skalický, V., Slavíková, Z., Smejkal, M., Sutorý, K., Šourková, M., Tomšivic, P., Zelený, V. 1988. *Květena České socialistické republiky 1*. Academia. Praha. s. 560. ISBN: 2106987.

Srivastava, N. K., Sharma S. 1990. Effect of triacontanol on photosynthesis, alkaloid content and growth in opium poppy (*Papaver Somniferum* L.). *Plant Growth Regulation*. 9 (1). p. 65-71.

Stranská, I., Skalický, M., Novák, J., Matyášová, E., Hejnák, V. 2013. Analysis of selected poppy (*Papaver somniferum* L.) cultivars: Pharmaceutically important alkaloids. *Industrial Crops and Products*. 41 (1). p. 120-126.

Szabó, B., Lakatos, Á., Koszegi, T., Botz, L. 2008. Investigation of abiotic stress-induced alterations in the level of secondary metabolites in poppy plants (*Papaver somniferum* L.). *Acta Biologica Hungarica*. 59 (4). p. 425-438.

Šakamon, I., Labun, P. 2009. Makové Ópium a jeho aktuálna produkcia vo svete. Sdružení český mák informuje. Sborník odborných seminářů „Mák v roce 2009“. 8. s. 107-111.

Škarpa, P., Richter, R., 2010. Využití vybraných pomocných rostlinných přípravků při pěstování máku setého. *Prosperující olejniny*. 2010. s. 89. ISBN: 978-80-213-2128-1.

Šesták, Z., Čatský, J. a kol. 1966. Metody studia fotosyntetické produkce rostlin/metodické příručky experimentální botaniky 2. Academia. Praha. s. 394.

Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2007. Výživa polních a zahradních plodin. Vydavatelství Profi Press. Praha. s. 176. ISBN: 9768086726250.

Vašák, J. 2010. Mák Kolektiv autorů pod vedením Jana Vašáka. Powerprint. Praha. s. 352. ISBN: 9788090401181.

Veneklaas, E., Boogaard, van den R. 1994. Leaf age-structure effects on plant water use and photosynthesis of two wheat cultivars. *New Phytologist*. 128 (2). p. 331-337.

Vlk, R., Kosek, Z., Šimek, P. 2010. Výnosy odrůd máku ze Společného katalogu odrůd EU – tříleté výsledky. *Prosperující olejny*. 2010. s. 84-85. ISBN: 9788021321281.

Vlk, R., Kosek, Z., Šimek, P. 2010. Výsledky odrůdových pokusů máku ze Společného katalogu odrůd EU. *Sdružení český mák informuje. Sborník odborných seminářů „Mák v roce 2010“*. 9. s. 20-23.

Vlk, R., Kosek, Z., Šimek, P. 2012. Nové trendy v technologii pěstování máku, výsledky odrůdových pokusů. *Prosperující olejny*. 2012. s. 84. ISBN: 978-80-213-2335-3.

Wikipedie otevřená encyklopedie. [online]. 2014. [cit. 2014-4-1]. Dostupné z [http://cs.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1k\\_set%C3%BD](http://cs.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1k_set%C3%BD).

Zámečník, J. 2008. Hospodaří rostliny s vodou efektivně? [online]. [cit. 2014-4-02] Dostupné z [http://www.mcm.yc.cz/skola/fnr/prednaska/stresory\\_2008.pdf#page=66](http://www.mcm.yc.cz/skola/fnr/prednaska/stresory_2008.pdf#page=66)

Zámečníková, B. 2000. Vliv vodního potenciálu, dusíkaté výživy a abiotických stresů na fotosyntézu a transpiraci u rostlin ječmene a pšenice. ČZU. Praha.

Zehnálek, P., Holubář, J. 2013. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Národní odrůdový úřad. Brno. s. 128. ISBN: 9788074010699.

Zimová, D. 1971. Nové směry v pěstování máku. Ústav vědeckotechnických informací. Praha. s. 44.

Zukalová, H., Bečka, D., Vašák, J., Kunzová, E. 2010. Současný pohled na kvalitu hlavních pěstovaných olejnin. Prosperující olejniny. 2010. s. 96. ISBN: 9788021321281.