

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ  
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**BRNO 2015**

**IVETA HAJÁTKOVÁ**



**Účinek aplikace vybraných forem selenu na výnos a  
kvalitu máku (*Papaver sommiferum L*)**

Bakalářská práce

*Vedoucí práce:*  
Ing. Petr Škarpa, Ph.D.

*Vypracovala:*  
Iveta Hajátková

---

Brno 2015



## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Autorka práce: Iveta Hajátková  
Studijní program: Agrobiologie  
Obor: Fytotechnika

Vedoucí práce: Ing. Petr Škarpa, Ph.D.

Název práce: **Účinek aplikace vybraných forem selenu na výnos a kvalitu máku (*Papaver somniferum* L)**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literárního přehledu na zadané téma
2. Založení vegetačního experimentu s mákem setým a jeho ošetřování v průběhu vegetace dle zvolené metodiky
3. Vyhodnocení produkčních a kvalitativních parametrů sklizně máku setého
4. Navržení a realizace metodiky statistického zpracování dat

Rozsah práce: 30 - 40 stran

Literatura:

1. RICHTER, R. -- LOŠÁK, T. -- ŠKARPA, P. -- HŘIVNA, L. a kol. *Mák*. In: *Mák*. Powerprint, 2010. s. 129--158. ISBN 978-80-904011-8-1.
2. ŠKARPA, P. -- RICHTER, R. Foliar Nutrition of Poppy Plants (*Papaver Somniferum* L.) with Selenium and the Effect on its Content in Seeds. *Journal of Elementology*. 2011. sv. 16, č. 1, s. 85--92. ISSN 1644-2296.
3. Licencované databáze: CAB abstract (online)
4. Licencované databáze: Biological Abstracts (online)
5. Licencované databáze: SCOPUS (online)
6. Licencované databáze: Web of Science (online)

Datum zadání: říjen 2013

Datum odevzdání: duben 2015

**Iveta Hajátková**  
Autorka práce

**Ing. Petr Škarpa, Ph.D.**  
Vedoucí práce

**prof. Ing. Jaroslav Hlušek,**  
**CSc.**  
Vedoucí ústavu

**prof. Ing. Ladislav Zeman,**  
**CSc.**  
Děkan AF MENDELU

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Účinek aplikace vybraných forem selenu na výnos a kvalitu máku (*Papaver somniferum L.*) vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....  
podpis

**Poděkování:**

Chtěla bych touto cestou poděkovat především svému vedoucímu bakalářské práce váženému panu doc. Ing. Petru Škarpovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při psaní této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Selen patří mezi důležité minerální živiny ve výživě zvířat a lidí. Nedostatek tohoto prvku ve výživě člověka je celosvětovým problémem. Předmětem této práce bylo zjištění vlivu jeho mimokořenové aplikace na výnos máku setého (*Papaver somniferum* L) a na jeho obsah v semeni máku. Pokus byl založen formou nádobového experimentu. Selen byl aplikován listovou výživou v minerální formě selenanu a seleničitanu v dávkách 20 a 40 g Se/ha. Foliární výživa selenem neměla průkazný vliv na hmotnost rostlin a výnos semene máku. Aplikací selenu se průkazně zvýšila hmotnost semen a obsah selenu v semeni máku. Účinek mimokořenové aplikace selenanu na obsah Se v semeni máku byl oproti přihnojení seleničitanem vyšší v rozmezí 40 - 50 %. U formy selenanu se u zvýšené aplikační dávky zvětšil obsah selenu v semeni máku 1,19 krát a u formy seleničitanu 1,11 krát proti nižší aplikované dávce. Kombinací pozitivního ovlivnění produkčních parametrů a nejvýraznějším zvýšením obsahu Se v semenech máku se jeví jako nejvhodnější aplikace 40 g Se/ha ve formě selenanu.

**Klíčová slova:** mák, selen, selenan, seleničitan, mimokořenová výživa, výnos, obsah selenu v semeni

## **Abstract**

Selenium belongs to important mineral nutrients in terms of animal and human diet. Insufficient amount of this element in diet has been a worldwide problem. The study objective was to determine the effect of its foliar application on the poppy yield (*Papaver somniferum* L) and its content within the seed. The test was based on a pot experiment. Selenium was applied as a foliar feeding in minerals form of selenate and selenite in dosages of 20 and 40 g Se/ha. Foliar applications with selenium had no effect on plant weight and the poppy yield. The application of selenium proved to increase the weight of 1000 seeds and the selenium content within the poppy seed. The effect of foliar application of selenate on the Se content within the poppy seed compared to fertilization with selenite was higher ranging from 40 to 50%. The form of selenate with increased rate of application increased the content of selenium in the seed of the poppy 1.19 times and in the form of selenite 1.11 times against the lower of the applied dose. The combination of positive influence in production parameters and the most significant increase of Se content within poppy seeds suggests that the most appropriate application is 40 g Se/ha in form of selenate.

**Key words:** poppy, selenium, selenate, selenite, foliar application nutrition, yield, selenium content in seed



## **OBSAH**

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>LITERÁRNÍ PŘEHLED</b> .....	<b>11</b>
2.1	Selen.....	11
2.2	Selen v půdě.....	12
2.3	Selen v rostlině.....	13
2.3.1	Příjem.....	13
2.3.2	Metabolismus.....	13
2.4	Mimokořenová výživa selenem.....	15
2.5	Biofortifikace selenem.....	16
2.6	Význam selenu pro člověka.....	17
2.7	Mák setý význam pěstování v české republice.....	18
2.8	Růst a vývoj máku setého.....	19
2.8.1	Růst máku setého.....	19
2.8.2	Vývojové fáze máku.....	20
<b>3</b>	<b>CÍL PRÁCE</b> .....	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>MATERIÁL A METODIKA</b> .....	<b>24</b>
4.1	Metodika pokusu.....	24
4.2	Analýza půdy.....	27
4.3	Analýza rostlinné hmoty.....	27
4.4	Statistické vyhodnocení.....	27
<b>5</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE</b> .....	<b>28</b>
5.1	Hmotnost rostlin.....	28
5.2	Výnos semen máku.....	29
5.3	Hmotnost 1000 semen.....	30
5.4	Obsah Selenu v semeni máku.....	32
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>35</b>

## 1 ÚVOD

Mák setý (*Papaver somniferum* L.) je v České republice významnou tržní plodinou. V některých zemích je však považován za hrozbu a to z důvodu obsahu opia v jeho určitých stádiích růstu. V zemích, kde pěstují nelegálně mák na výrobu opia, je k němu, ale přihlíženo dost negativně, což má dopad na jeho potravinářské využití.

Výše uvedená skutečnost je pro naše zemědělce výhodou. V České republice je mák využíván bez jakýchkoli předsudků pro potravinářské a pekařské účely a je velice žádanou a oblíbenou potravinou. Česká republika je jedním z největších producentů máku ve světě. Jeho pěstování má dlouholetou tradici a jeho pěstitele se organizují ve „*Sdružení Český mák*“, který má snahu poskytnout zemědělcům kompletní metodický servis a další důležité informace spojené s pěstováním případně dalším uplatněním na našem i zahraničním trhu. Mák je velice zajímavou tržní plodinou a jeho cena se pohybuje mezi 20 až 50 Kč za kilogram. Při maximální intenzitě a optimálních klimatických podmínkách je možno dosáhnout výnosu 1,3 až 1,8 t/ha.

V lidské výživě selen zaujímá důležitou a nepostradatelnou úlohu. Nejdůležitější funkcí jsou jeho antioxidační účinky, kterými se zabraňuje poškození organismu volnými radikály. Také bylo prokázáno, že se selen podílí na léčení některých civilizačních nemocí a může působit i preventivně.

Ve světě se vyskytují oblasti, které vykazují jeho přebytek, nebo naopak deficit v půdách. Zejména tam, kde je nedostatek Se v půdě, tím pádem i v potravinách, je snaha zvyšovat jeho množství v rostlinách, tzv. agronomickou biofortifikací. Ve své bakalářské práci jsem se zaměřila na posouzení možnosti zvýšení obsahu selenu v semenech máku setého a to jeho dodáváním foliární výživou. Konzumací máku, obohaceného o selen, je také možné kompenzovat jeho případný deficit v lidské výživě.

## 2 LITERÁRNÍ PŘEHLED

### 2.1 Selen

Selen byl objeven v roce 1817 švédskými chemiky J. J. Berzelieusem a J. G. Gahnem v červenohnědé usazenině. Tento prvek dostal jméno podle měsíce, který se v řečtině nazývá selen, díky podobnosti s tellurem. Snadno se slučuje s většinou kovů i nekovů za vzniku binárních chalkogenidů (Greenwood, 1993). Selen se řadí k vzácnějším prvkům, ale je značně rozšířen v malém množství. Samostatné minerály selenu jsou velmi vzácné, většinou se jedná o selenidy. Selen se vyskytuje podobně jako síra v několika alotropických modifikacích (Čermáková, 1990). Selen je brán jako nepostradatelný stopový prvek. V lidském těle má důležitou roli, jelikož by bez tohoto minerálu nemohl lidský život existovat. Tento prvek bereme jako esenciální minerál, protože ho musíme získávat z potravy a jeho přiměřené množství je nezbytné pro dobrý zdravotní stav. Sloučeniny obsahující selen mají výkonné antioxidační enzymy, které redukují škodlivé chemické reakce (Passwater, 1999).

**Tab. 1** Atomové vlastnosti selenu (Haynes, 2011)

<b>Název:</b>	Selen
<b>Symbol:</b>	Se
<b>Atomové číslo:</b>	34
<b>Relativní atomová hmotnost:</b>	78.96
<b>Teplota tání:</b>	221°C
<b>Bod varu:</b>	685°C
<b>Objemová hmotnost:</b>	4.79 g/cm <sup>3</sup>
<b>Elektronegativita:</b>	2.55
<b>Počet izotopů:</b>	6
<b>Stav:</b>	Pevný
<b>Barva:</b>	Šedý – kovově - lesklý±
<b>Klasifikace:</b>	Kovový±

## 2.2 Selen v půdě

Selen v zemské kůře je zastoupen asi 0,05 ppm. Řadí se mezi rozptýlené prvky a je přirozenou součástí pedosféry (Koutník, 1996). V některých oblastech se vyskytuje ve velké koncentraci (Blažej, 1981). Nejčastější formou selenu v půdě je selenan, seleničitan, selenid a organické sloučeniny selenu (Sharma, 2011). Základním zdrojem selenu pro živočichy je půda. Z tohoto důvodu se začal mapovat obsah selenu v půdách (Oldfield, 1995). Oxidace selenu závisí na pH a redoxním potenciálu půdy, tyto parametry jsou silně závislé na faktorech ročního období, složení půdy, obsahu vody, organické hmoty a bakteriální činnosti. Bylo pozorováno, že v kyselých půdách je hlavní formou selenu seleničitan. V zásaditých půdách je to forma selenanu, který je rozpustnější než seleničitan a vyskytuje se častěji (Masschelein, 1990). Seleničitan vykazuje vyšší toxicitu než selenan, ale selenan je lépe rozpustný ve vodě a tudíž je také lépe přijímán rostlinami. Toxicita selenu může být ovlivněna redoxním potenciálem v půdě (Martin, 1988). V některých oblastech nedostatek selenu v půdě způsobuje nemoci jako Keshanská nemoc, která se projevuje poruchami funkce srdečního svalu. Tato nemoc se vyskytuje zejména v jihovýchodní Číně, kde mají nízký obsah selenu v půdě (Dhillon, 1991).

Půdy, které byly vytvořeny sedimentací hornin, obsahují vysoké koncentrace toxického selenu, naproti tomu půdy vytvořené magmatickými horninami jsou chudé na selen (Fleming, 1980). Celosvětový obsah selenu v půdě je v průměru 0,44 mg.kg<sup>-1</sup> a vyskytuje se ve vyvěřelých i usazených horninách. Nejmenší obsah selenu je v pískovcích a vápencích. Větší koncentrace je naopak v jílových minerálech. V provzdušněných a neutrálních půdách se vyskytuje forma selenanu, která tvoří rozpustný selen v půdě.

Půda se obohacuje o selen minerálními hnojivy zařazujícími se do zdrojů antropogenních. Používají se v oblastech s nízkým obsahem selenu přístupného v půdě. V oblasti Finska přidávají selen ve formě selenanu sodného (Aspila, 2005).

## **2.3 Selen v rostlině**

Nejdůležitějším zdrojem selenu pro člověka je potrava, proto hrají rostliny důležitou roli v doplnění jeho potřebného množství (Finley, 2005). Rostliny syntetizují selenoprotein z obsahu selenu v půdě a bioakumulace selenu jsou důležité pro lepší pochopení růstových změn a příjmu živin.

### **2.3.1 Příjem**

Selen můžeme pro zvýšení obsahu v rostlinách aplikovat v podobě seleničitanu sodného. Do atmosféry se selen dostává, při spalování fosilních paliv s obsahem síry. Následně po přeměně dopadá na zemský povrch v podobě suchého nebo mokrého skupenství (Koutník, 1996). Selenan a organické sloučeniny selenu jsou absorbovány kořeny rostlin prostřednictvím aktivních procesů. Schopnost rostlin absorbovat a metabolizovat selen závisí na jeho koncentraci. Dalšími faktory ovlivňující příjem selenu rostlinou jsou půdní pH, redoxní potenciál, slanost, mikrobiální činnost a organické sloučeniny (Sharma, 2011). Schopnost rostlin přijímat selen z půdy se liší podle druhu rostlin. Vstřebávání selenu rostlinami je také závislé na typu půdy (Olson, 1989).

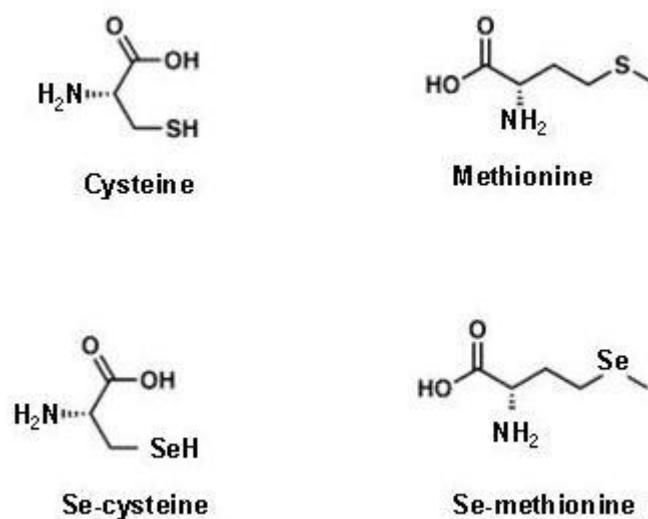
### **2.3.2 Metabolismus**

Selen v rostlinách ovlivňuje enzymovou aktivitu. Zvyšuje aktivitu enzymu nitrátoreduktázy a biosyntézu aminokyselin (Koutník, 1996). Rostliny pěstované na půdách bohatých na selen přijímají značné množství Se, který je asimilován do organických složek v rostlinách. Na půdách kde se nachází selen ve formě selenanu, rostlinné zbytky a živočišný hnůj vedou k výraznému snížení příjmu selenu rostlinami (Sharma, 2011).

Selen a síra jsou si chemicky velice podobné a mají společné metabolické dráhy v rostlinách. Tyto dva prvky vzájemně soutěží v biochemických procesech, které mají vliv na spotřebu, translokaci a asimilaci celého vývoje rostlin. Drobné rozdíly v reaktivitě a metabolické interakci mohou zapříčinit, že některé biochemické procesy zahrnující Se mohou být vyloučeny z procesů vztahující se k S (Sors, 2005).

Selenan a organické sloučeniny selenu jsou absorbovány kořeny rostlin prostřednictvím aktivních procesů. Selenan nezůstává v kořenech, ale přemísťuje se do chloroplastů, kde se naváže na síru a asimiluje se. Při tvorbě selenoamidových kyselin v důsledku substituce síry se selenem se zvyšuje produkce ethylenu. Při vysokém příjmu selenu rostlinou, dosahuje rostlina horších výsledků a dochází u ní k otravě (Sharma, 2011).

Selen nekumulovatelný, který je přijímán pícninami a zeleninou, jako je zelí (*Brassica oleracea* L.), brokolice (*Brassica oleracea* L.), česnek (*Allium sativum* L.), a cibule (*Allium cepa* L.) se akumuluje při nízké hladině selenu (25 mg kg<sup>-1</sup>). Rostliny přijímají Se z půdy většinou formami selenanu (SeO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) a seleničitanu (SeO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). Tyto sloučeniny jsou pak dopravovány asimilací síry a převedeny na organické sloučeniny selenu jako selenocysteinu, selenomethioninu a Se-methylselenocysteinu. Většina selenu, který rostliny přijímají je v organické formě, a proto by měl být přijatelný pro člověka (Sors, 2005).



**Obr. 1** Chemické struktury aminokyselin (Weiss, 2010)

## 2.4 Mimokořenová výživa selenem

Rostliny jsou schopny přijímat živiny nejen z půdy kořeny, ale i nadzemními orgány. Rostliny přijímají ionty z roztoků, které dopadly na její povrch. Největší plochou nadzemní části jsou listy, proto se této aplikaci říká foliární. Mimokořenová výživa ovšem nemůže plně nahradit výživu kořenovou. Lze ji chápat jako doplněk výživy nebo jako opatření pro eliminaci nepříznivých podmínek pro kořenový příjem živin při nevhodných půdních podmínkách (Vaněk, 1999).

Mezi jeden z nejdůležitějších faktorů ovlivňující mimokořenový příjem můžeme zařadit například působení světla. Bylo dokázáno, že světlo podporuje absorpci minerálních živin do listů. Dalším významným faktorem je vlhkost vzduchu, která stimuluje absorpci živin. Zrychlující účinky má také teplota vzduchu. Při suchém počasí může docházet k nežádoucímu rychlému oschnutí postřiku a naopak při deštích může být smyta aplikovaná látka (Wójcik, 2004).

Nejsvrchnější částí listů epikutikulární vosky se skládají z řetězců alkoholů, ketonů a esterů (Marschner, 1995). Tato nejsvrchnější část je jedna z epidermální vrstvy. Pod epikutikulárními vosky je kutikulární membrána, která je tvořena kutikulární a pektinovou vrstvou. Ionty prostupují těmito vrstvami pomocí volných hydroxylových skupin. Důležitý faktor při foliární aplikaci je koncentrace použitého roztoku, kdy ionty selenu pronikají z povrchu listů do epidermálních buněk. Při vysoké koncentraci selenu může dojít k poškození povrchu listů (Wójcik, 2004).

Příjem živin ovlivňuje vodní deficit rostliny, který rozhoduje o smáčitelnosti listů. Zároveň má vliv na dobré ulpívání aplikovaného roztoku na listech nebo jeho stékání na spodní část listové čepele, kde může v případě nevyrovnaného dodání živin vyvolávat popáleniny. Na tento jev má velký význam smáčitelnost listů. Asimilační schopnost rostlin můžeme zvyšovat správným hnojením. Při aplikaci minerálních látek v roztoku na list bylo prokázáno zvýšení intenzity fotosyntézy. Toto zvýšení závisí na použité živině, koncentraci roztoku, druhu, stáří rostliny a listů (Škopík, 1961).

## 2.5 Biofortifikace selenem

Selen můžeme dostávat do půdy v podobě hnojiv. Pak je spotřebován člověkem nebo zvířetem s potravou (Aspila, 2005). Mnohé experimenty ukazují, že aplikace selenu může zlepšit jeho obsah v konzumovaných částech rostlin. Zlepšování obsahu selenu se dá ovlivňovat hnojením. Zvýšení obsahu selenu v rostlině může být realizováno mořením osiva, suplementací Se do půdy nebo listovou výživou. Nejpoužívanější jsou poslední dvě aplikace pro svou jednoduchost a praktičnost (Zhang, 2011). Biofortifikace potravinářských plodin selenem byla prováděna v některých oblastech chudých na selen (Finsko), kde se přidával anorganický selen v podobě hnojiv. Tato aplikace se ukázala jako bezpečný a efektivní způsob pro zvýšení koncentrace selenu v pěstovaných rostlinách pro lidskou výživu (Alfthan, 2010). Před biofortifikací je potřeba si určit vhodnou plodinu, zhodnotit půdu, kde bude experiment probíhat a vybrat nejpříjemnější formu selenu (Aspila, 2005).

Hartikainen (2005) dokázal, že selen jako doplněk pozitivně ovlivňuje nejen nutriční hodnotu celého potravinového řetězce, ale také zlepšuje rostlinné výnosy. Rostliny působí jako pufry, protože se jejich růst snižuje při vysoké hladině Se. Z toho vyplývá, že selen může být považován za velmi účinný a snadno řízený způsob, jak zvýšit průměrný denní příjem selenu. Varo et al. (1988) pozorovali zvýšení obsahu selenu v mléce, masě a vejcích 7-8, 4-5, 2-3 krát, v uvedeném pořadí.

Zvyšování obsahu Se u pšenice představuje velký potenciál. Při zvyšujícím počtu obyvatel je výhodné zvyšovat u potravin nutriční hodnotu a výnos. Agronomickou biofortifikací pomocí selenanu můžeme efektivně a relativně snadno zvyšovat kvalitu plodin (Lyons, 2005).



## 2.6 Význam selenu pro člověka

Selen získal pozornost lidí především v minulém století. Je to esenciální stopový prvek ve výživě člověka a zvířat především pro jeho přítomnost v některých důležitých enzymech, například glutathion-peroxidázy (Deagan, 1991).

Selen je pro člověka významný, ale v malém množství, protože jeho nadbytek je toxický. Lidé mohou trpět jeho nedostatkem i přebytkem. Některé rostliny přijímají z půdy větší množství selenu, což má vliv na jejich spotřebitele (Gray, 2012). Nedostatek selenu v organismu zapříčiňuje svalové dystrofie, srdeční onemocnění a nekrózy jater. V organismu působí antioxidačně, ale při přebytku působí intoxikaci organismu (Koutník, 1996). Denní příjem selenu pro člověka je v množství asi 0,07 mg. V potravinách je obsažen přibližně 0,01-0,5 mg (Blažej, 1981).

V lidské potravě se selen nachází ve více formách. Například formu aminokyseliny selenomethion přijímáme z rostlinných zdrojů zejména z obilovin. Selenocystein se nachází v potravinách živočišného původu. Nově bylo zjištěno, že zdroji selenu jsou i tuňák (*Thunnus* South, 1845) a makrela (*Scomber* Linné, 1758). Další formy jsou seleničitan a selenan. Selenan se nachází v rybách a v rostlinných zdrojích například v zelí (Rayman, 2012).

Výsledky klinických studií prokázaly, že selen dokáže léčit rakovinu a představuje i její prevenci. Také je účinný proti viru HIV (Passwater, 1999). Oproti jiným stopovým prvkům se příjem selenu liší po celém světě od nedostatku až po toxické koncentrace, které způsobují ztrátu vlasů, nehtů, kožní vyrážky, dech se zápachem po česneku, skvrnitost zubů či abnormality nervového systému (Rayman, 2012).

## 2.7 Mák setý význam pěstování v České republice

Mák je pro Českou republiku odedávna významnou plodinou. Na jeho významnost například poukazují vzniklá přísloví a vesnice nazvané po máku (Vašák, 2010).

Mák se do České republiky dostal při stěhování národů. V 19. století se zde začal pěstovat jako olejnína a v současné době zaujímá Česká republika prvenství v pěstování legálního máku. Je to zapříčiněno především tím, že v jiných zemích EU nejsou vyjednány dotační tituly na mák, a proto je pro ostatní členské státy pěstování máku nevýhodné. V ostatních zemích EU legislativní předpisy nepovolují pěstování máku z důvodu obavy zneužití pro získání opia. V těchto zemích se smí pěstovat mák pouze na zakázku od farmaceutických firem. V České republice nebylo zatím evidováno větší zneužívání porostů.

V současné době jsou odrůdy máku pěstované na našem území vyšlechtěné na malou produkci mléčnic, které produkují malé množství opiového latexu (Kubánek, 2008). V ČR se máku podle zákona týká ohlašovací povinnost. Tuto povinnost mají osoby pěstující mák na větší ploše než 100 m<sup>2</sup> (Pulkrábek, 2004).

Z našeho pěstovaného máku se menší část používá v olejářském průmyslu. Většinu produkce spotřebováváme v kuchyních při cukrářské výrobě a další část se pak exportuje (Kubánek, 2008).

Novodobý nepřítel „českého máku“ je dovoz máku ze zahraničí (například z Tasmánie), který není tolik kvalitní, ale je za nižší cenu. Tato skutečnost má následně dopad na náš trh, na cenu a také prodej. Tento problém by se mohl vyřešit ochranným potvrzením původu českého máku. I přes tyto problémy se začalo dařit v odbytech a ceně máku (Vašák, 2014).

Mák se využívá například v potravinářství, farmaceutickém průmyslu a také se vyváží až 90% z jeho celkové produkce. Nejvýznamnější legální pěstitelé jsou vedle České republiky také Ukrajina, Francie a další (Urban, 2014).

V roce 2014 se pěstoval mák v České republice na ploše 27 tis. ha. V tomto roce podmínky umožnily včasné setí. Problém byl, ale u sklizně, kvůli deštům. To měla za následek menší kvalitu semen. Ale někteří pěstitelé dosáhli výnosu až 2 t/ha (Cihlár, Vašák, Tomášek, 2014).

## 2.8 Růst a vývoj máku setého

V našich podmínkách, lze optimálně vysévat mák v období teplého února nebo začátkem března. Někdy se uvádí, jak je možné na jaře vjet na pole (Bechyně, 1993). Mák klíčí v půdě o teplotě 3-4 °C a pak vzhází po třech týdnech. V případě špatného vzejití se mák přesévá v půlce dubna. V tomto období je teplota půdy teplejší o 5-6 °C a vzhází po 10 dnech. V případě, že se mák vysévá v květnu, kdy je teplejší půda, mák vzejde do týdne. Avšak z hlediska výnosu a kvality na velikost semene a olejnatost, dosahuje o dost horších výsledků než při včasném vysetí. Čím později se seje, tím se projevuje větší vliv škůdců (Vašák, 2010).

### 2.8.1 Růst máku setého

Nejprve si můžeme rozdělit růst této plodiny na tři části:

- pozvolný růst
- největší asimilace
- odumírání rostlin

Období pozvolného růstu vzešlých rostlin bývá postupné. Zřetelnější přírůstky se sledují až po uplynutí čtyř týdnů potom co rostlina vzejde. Právě listy 4-5 párů má již rostlina ve třetím až pátém týdnu a v tomto čase usychají děložní lístky. Po těchto fázích začíná u rostliny rychlejší narůst. Prodlužování internodií se zaznamenává v sedmém až osmém týdnu, kdy začíná mohutnět lodyha a její růst je velký do výšky. Zároveň už je vytvořen silný kůlový kořen (Bechyně, 2001).

Mák vyžaduje hodně vláhy, protože je silně olistěný a proto má velkou vypařovací plochu. Kořenový systém je převážně rozmístěný v ornici a není schopen tolik rostlinu zásobovat vodou, proto má mák vysoké nároky na vláhu (Fábry, 1954). Od začátku se dbá na ochranu plodiny proti škůdcům a plevelům. V této počáteční fázi je rostlina velmi náchylná (Bechyně, 1993).

Druhé období růstu dosahuje největšího nárůstu a nazýváme ho období největší asimilace rostlin (Bechyně, 2001). Až do rozkvětu je mák náročný na vláhu. Odhadovaná celková spotřeba vody během vegetace je 250-350 l na 1 m<sup>2</sup> pro jarní výsevek (Bechyně, 1993). Zvětšuje se objem organické hmoty. Probíhá odumírání listů,

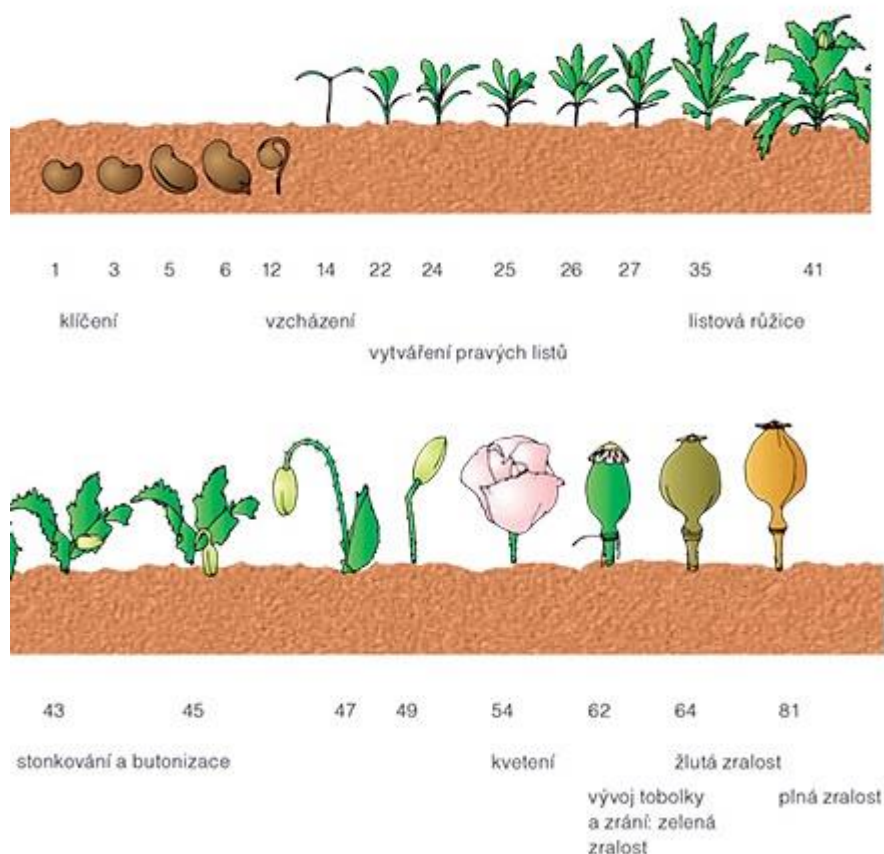
ubývá asimilační plocha. Do tohoto období připadá i kvetení máku. Zpočátku se začíná stonek s malým poupětem prodlužovat, ale pak se ze vzpřímené polohy začíná ohýbat do etapy než je poupě kolmo k zemi. Následně se začíná zase napřimovat, vykvétá a opadávají kališní lístky. Brzy ráno se rozvírají květy a odpoledne většinou opadávají korunní plátky. Generativní orgány květu dozrávají s napřimováním poupat. Následně se srovnávají paprsky blizny a uvolňují se tyčinky. Pak se kališní lístky vyvinou, začínají se zabarvovat žlutozeleně, poupě puká, prašníky jsou zralé a vypadává pyl. Květy rozkvétají zprvu na prvních osách a následně na druhých. Ve stadiu poupěte dochází k opylení a mák je většinou samosprašný (Vašák, 2010). V tomto období vyžaduje mák slunné a teplé počasí a škodí mu silný vítr (Fábry, 1954).

Poslední období růstu se nazývá tvorba makovic, zrání a odumírání rostlin. Během kvetení a po odkvětu roste semeník. Vývoj tobolek se může rozdělit na tři etapy, v první dorůstá makovice do konečného tvaru, v další se vyvíjejí pouze semena a v poslední dozrává a zasychá. Tobolka během kvetení má objem přibližně 4 ml a hmotnost sušiny přibližně 0,4 g. Největších rozměrů dosahuje 16-21 den po odkvětu. Po dozrání dosahuje makovice menší hmotnost sušiny o 10 - 15% než v době maximálního růstu. Morfin v makovicích dosahuje největšího obsahu přibližně 40. den po odkvětu (Bechyně, 2001). K dozrání máku dochází, když listy zežloutnou, a opadávají. Lodyhy a makovice zežloutnou a zhnědnou. Vhodná doba ke sklizni podle Fábry (1954) je, když mák v makovicích chrastí, semena se oddělují od příhrádek a makovice při zmačknutí v dlani praská.

### **2.8.2 Vývojové fáze máku**

Fáze klíčení a vzcházení - kde nám osivo klíčí, když má určitou teplotu, vláhu a dostatek kyslíku. Semeno neobsahuje moc vody, ale pro bobtnání potřebuje dostatek vody. Pro vyklíčení semene je důležité dobré set'ové lůžko, voda a vzduch. Toto je důležité od 3. dne klíčení, protože začínají oxidační procesy. Bílkoviny jsou pro rostlinu významnými zásobními látkami (Mach, 2014). Pro vyrovnanější vzcházení byly zkoušeny pokusy s aplikací přímo k osivu přípravkem Hydrogel + Physiostart. Hydrogel je půdní sorbent, pohlcující vodu s živinami a v okamžiku, kdy rostlina potřebuje tuto vodu s živinami, je uvolňuje zpět do půdy (Cihlár, 2014).

Fáze listových růžic - rostlina se začíná větvit a zvětšuje se nadzemní část. Při prodlužování dne a zvyšující se teplotě rostlina přechází do generativní fáze. Hodně důležité je mít silné kořeny, protože ty následně mohou odolávat nepříznivým vlivům (Mach, 2014). První postemergentní aplikací můžeme provádět přípravky na bázi chlorotoluronu to je například Lentipur 500 FW. Tuto aplikaci můžeme provádět od fáze 4 - 6 pravých listů. Pro bezpečné použití je důležitá vosková vrstvička, která se vytvoří po třech dnech sucha, při teplotách pod 18 °C a při nižším slunečním záření. Vosková vrstvička máku je důležitá pro nízké poškození máku. K jejímu narušení dochází při velkých srážkách a obnovuje se při suchém a teplém počasí (Klem, 2011).



**Obr. 2** Makrofenologická stupnice máku (Syngenta, 2014)

Fáze hlavního růstu a tvorby pupat - rostlina do nadzemní části dává velké sumy auxinů a ty zvětšují apikální dominanci. V tomto období se dbá, aby měla rostlina hodně výživy. Jsou důležité kořeny, které do rostliny zajišťují příjem živin. Pokud je příjem malý, podporuje se listovými aplikacemi mikroprvků. Poupata už jsou tak velká, že auxiny jim dodávají mnoho živin (Mach, 2014). V tomto období můžeme podporovat růst máku aplikací auxinového stimulátoru například Hergit a zinku (Lister Zn) v chelátové vazbě, současné použití těchto kombinací podporuje vegetativní orgány (Petrásek, 2013).

Fáze kvetení, růst semen a plodů - po odkvetení, začíná velký růst plodů a semen. V této fázi se cestování auxinů prohodí a jdou ze semen, kde se vytvářejí do kořenů. Pro zajištění další generace se dostávají živiny hlavně do semen. Na tvorbu výnosu je zapotřebí činný kořen. Hladina inhibitorů se zvětší při dozrávání, pak již nelze ovlivnit výnosy (Mach, 2014). Po opadu listové plochy se objevují v porostu tři problémy. Za prvé dochází k nerovnoměrnému dozrávání, to je způsobené větvením máku, potom dozrávají makovice na hlavních stoncích dříve než ty na větvích. Další problém je pozdní zapelevelení, které komplikuje sklizeň a může docházet ke zvýšení obsahu nečistot a větší vlhkosti. Posledním problémem je, že v deštivých letech mohou být makovice napadány černěmi, ty pak poškozují makovinu a klesá obsah morfinu (Cihlář, 2011).

#### **Hlavní výnosotvorné prvky při pěstování máku setého:**

- Počet rostlin na jednotku plochy (50 – 70 rostlin na m<sup>2</sup>)
- Počet makovic na jednotku plochy (90- 120 ks na m<sup>2</sup>)
- Hmotnost semen v makovici (2 – 2,4 g)
- HTS (0,55 g)

Tyto prvky se vzájemně ovlivňují a největší vliv na výnos má počet rostlin na ploše (Pulkrábek, 2004).

### 3 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo vypracování literárního přehledu na zadané téma a založení a vyhodnocení nádobového experimentu.

Konkrétní cíle byly stanoveny takto:

- 1) vypracování literárního přehledu zaměřeného na selen a mák setý (*Papaver somniferum* L.),
- 2) založení vegetačního experimentu s mákem setým formou nádobového pokusu za účelem ověření účinku mimokořenového přihnojení stupňovaných dávek selenu aplikovaného ve 2 formách (selenan a seleničitan) na výnos a obsah Se v semeni máku,
- 3) vyhodnocení produkčních a kvalitativních parametrů sklizně máku setého a jejich statistické zpracování.

## 4 MATERIÁL A METODIKA

### 4.1 Metodika pokusu

V jednoletém vegetačním nádobovém pokusu byl sledován vliv účinku mimokořenové aplikace Se na výnos máku setého (*Papaver somniferum* L.) a obsah selenu v semeni. Nádobový pokus byl založen ve vegetační hale biotechnologického pavilonu M v pokusných prostorech Ústavu agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin, AF, Mendelovy univerzity v Brně. Na jaře 2014 (10. 3. 2014) byl proveden odběr zeminy z pole na lokalitě ŠZP v Žabčicích, která byla převezena do Brna. Po jejím zpracování (homogenizaci) byla navážena 14. 3. 2014 do Mitscherlichových nádob (6,4 kg zeminy/nádoba). Její základní agrochemickou charakteristiku uvádí tab. 2.

**Tab. 2** Agrochemické vlastnosti půdy

pH/CaCl <sub>2</sub>	Obsah přístupných živin v mg.kg <sup>-1</sup> (Mehlich III)			
	P	K	Ca	Mg
6.08	172.99	307	2905	210.1

Do pokusu byl použit mák odrůdy Major. Jedná se o modrosemenný typ se středním obsahem morfinu. Tato odrůda je středně raná a středně vysoká. Její robustnější habitus jí dává předpoklad pro větší odolnost proti vyvracení a poléhání. Má odolnost proti nežádoucímu otevírání tobolek po dozrání. Dosahuje vysokého výnosu. Můžeme ji využít pro farmaceutické i potravinářské účely. Má velkou odolnost proti plísni makové a helmintosporiíze. Proti ostatním odrůdám je odolnější k používaným herbicidům. Tato odrůda je přizpůsobivá k půdním a klimatickým podmínkám (Vašák, 2010).

Mák byl do nádob vyset 19. 3. 2014. Osivo bylo mořeno insekticidním přípravkem Cruiser 350 FS. Po vzejití máku byly nádoby jednoceny 4. 4. 2014 a následně 17. 4. 2014 na počet 10 rostlin/nádobu.





**Obr. 3** Porost máku v Mitscherlichových nádobách (4. 4. 2014)

Aplikace dusíku v dávce 0,6 g N/nádoba byla provedena 15. 4. 2014. V souvislosti s výskytem plísně makové byl 9. 5. 2014 aplikován fungicidní přípravek DITHANE DG NEO-TEC v dávce 2 kg/ha v objemu 300 l vody/ha (přepočteno na plochu nádoby – 1,05 ml). Aplikace přípravku v kombinaci s vývojem povětrnostních podmínek však způsobila nevratné poškození porostu.

Z výše uvedeného důvodu byl mák opětovně vyset 26. 5. 2014. Do nádob byla umístěna kapková závlaha. Jednocení máku bylo provedeno po jeho vzejití (13. 6. 2014), následně 25. 6. 2014 (obr. 4) na 7 rostlin na nádobu a 18. 7. 2014 na konečný počet 4 rostliny/nádoba.



**Obr. 4** Porost máku v Mitscherlichových nádobách (25. 6. 2014)

V termínu posledního jednocení byl mák přihnojen dusíkem (LA) v dávce 0,3 g N/nádoba. Mimokořenová aplikace Se byla provedena po odkvětu 5. 8. 2014, podle schématu uvedeného v tabulce 3.

**Tab. 3** Schéma hnojení

Varianta	Forma selenu	Dávka selenu		Dávka vody	
		g/ha	mg/nádoba	l/ha	ml/nádoba
<b>Kontrola</b>		-	-	-	-
<b>Se 1</b>	seleničitan	20	0,07	300	1,05
<b>Se 2</b>	seleničitan	40	0,14	300	1,05
<b>Se 3</b>	selenan	20	0,07	300	1,05
<b>Se 4</b>	selenan	40	0,14	300	1,05

Mimokořenová aplikace byla provedena ručním postřikovačem.

Sklizeň máku byla provedena 10. 9. 2014. Po sklizni byla hodnocena hmotnost celé rostliny, výnos semen, HTS (hmotnost tisíce semen) a obsah Se v semeni máku. Hmotnost tisíce semen byla zjišťována na přístroji Contador (Pfeuffer, Kitzingen, Německo).

## **4.2 Analýza půdy**

Před setím byly stanoveny základní agrochemické vlastnosti zeminy použité v nádobovém pokusu. Byla stanovena půdní reakce (1:5 půda: 0,01M CaCl<sub>2</sub>) podle Zbírala et al. (2002) a obsah přístupných živin (P, K, Ca a Mg) v půdním vzorku z výluhu Mehlich III (Jones, 1990). Obsah K, Ca a Mg byl stanoven pomocí AAS – atomové absorpční spektrofotometrie na přístroji ContrAA 700 (Analytik Jena AG, Jena, Německo). Množství P bylo zjištěno z extraktu kolorimetricky přístrojem UV/VIS spektrofotometr ATI Unicam 8625 (ATI Unicam, Cambridge, Velká Británie).

## **4.3 Analýza rostlinné hmoty**

V semeni máku byl po sklizni stanoven obsah Se. Po vysušení semene při teplotě 50 °C byla provedena jeho homogenizace. Vzorky semene byly zmineralizovány ve směsi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Zbírál, 2005) v uzavřeném systému s mikrovlnným ohřevem v přístroji Ethos 1 (Milestone S. r. l., Sorisole, Itálie). Z mineralizátu bylo stanoveno množství Se metodou AAS – atomové absorpční spektrofotometrie na přístroji ContrAA 700 (Analytik Jena AG, Jena, Německo).

## **4.4 Statistické vyhodnocení**

Pro hodnocení byl použit program Statistika 7.1 CZ. Vliv aplikace selenu na sledované charakteristiky byl hodnocen jednofaktorovou analýzou variance (ANOVA) podle modelové rovnice:  $y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$ , kde  $y_{ij}$  je závisle proměnná;  $\mu$  celkový průměr;  $\alpha_i$  odchylka průměru  $i$ -té skupiny podle jednoho třídícího faktoru a  $\epsilon_{ij}$  jsou náhodné disturbanční odchylky. Rozdíly mezi jednotlivými variantami byly hodnoceny následným testováním dle Fishera (LSD test) při 95,0% ( $p \leq 0,05$ ) hladině významnosti.

## 5 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 5.1 Hmotnost rostlin

Z tabulky 4 je patrné, že aplikace Se neměla signifikantní vliv ( $p \leq 0,05$ ) na hmotnost rostlin máku. Ta se pohybovala v rozmezí 8,083 – 8,793 g/rostlinu. Tato velmi nízká hmotnost sklizených rostlin byla způsobena velmi rychlým vývojem pozdně setého máku, jak uvádí metodika.

**Tab. 4** ANOVA – vliv aplikace Se na hmotnost rostlin

	<b>Stupně volnosti</b>	<b>Hmotnost rostlin (g/rostlina) SČ</b>	<b>Hmotnost rostlin (g/rostlina) PČ</b>	<b>Hmotnost rostlin (g/rostlina) F</b>	<b>Hmotnost rostlin (g/rostlina) p</b>
<b>Abs. Člen</b>	1	1422,478	1422,478	2196,917	0,000000
<b>Varianta Se</b>	4	1,064	0,266	0,411	0,798251
<b>Chyba</b>	15	9,712	0,647		
<b>Celkem</b>	19	10,776			

V tabulce 5 jsou uvedeny hmotnosti rostlin máku. Z výsledků vyplývá, že aplikace Se zvýšila hmotnost rostlin pouze na variantě po mimokořenové výživě 40 g Se/ha aplikovaného ve formě seleničitanu (var. Se 2). U zbylých kombinací hnojení se hmotnost rostlin redukovala. Feng et al. (2013) prezentují ve svém příspěvku stimulaci růstu rostlin účinkem nižších dávek Se, v porovnání s dávkami vysokými, které mohou vést až k poškození rostlin. Ožbolt et al. (2008) a Saidi et al. (2014) prezentují pozitivní vliv růstu rostlin pohanky a slunečnice vyklíčených ze semen mořených selenem. V našem experimentu byl však selen aplikován po odkvětu máku a jeho účinek na produkci sušiny nadzemní části rostlin nebyl tak výrazný. Ramos et al (2010) prokázal pokles produkce sušiny salátu vlivem stupňovaných dávek Se aplikovaného jak ve formě selenanu, tak i seleničitanu. Podobně jako v našem experimentu i Boldrin et al. (2013) nezjistili vliv těchto dvou forem na produkci sušiny rostlin, v jejich případě rostlin rýže. Podobně ani Wang et al. (2013), kteří dodávali Se do rostlin kukuřice

mimokořenovou výživou, nezjistili průkazný vliv aplikace dávek od 11 do 228 g Se/ha na produkci biomasy.

**Tab. 5** Hmotnost rostlin (g/rostlina) ± SEM

<b>Varianta</b>	<b>Hmotnost (g/rostlina) ± SEM</b>	<b>Průkaznost (p≤0,05)</b>	<b>Relativní hmotnost (%)</b>
<b>Kontrola</b>	8,480 ± 0,206	a	100,00
<b>Se 1</b>	8,335 ± 0,346	a	98,29
<b>Se 2</b>	8,793 ± 0,299	a	103,69
<b>Se 3</b>	8,083 ± 0,636	a	95,32
<b>Se 4</b>	8,478 ± 0,392	a	99,97

Následné testování (Fisherův LSD test) V případě, jsou-li písmena u hmotnosti rostlin stejná, nedošlo ke statisticky průkaznému rozdílu mezi jednotlivými variantami při hladině významnosti p≤0,05

## 5.2 Výnos semen máku

Selen (jeho forma a ani dávka) neměl na výnos máku statisticky průkazný (p≤0,05) vliv, jak je zřejmé z tabulky 6. Průměrný výnos semen se pohyboval od 1,005 do 1,323 g/nádobu.

**Tab. 6** ANOVA – vliv aplikace Se na výnos

	<b>Stupně volnosti</b>	<b>Výnos (g/nádobu)</b>	<b>Výnos (g/nádobu)</b>	<b>Výnos (g/nádobu)</b>	<b>Výnos (g/nádobu)</b>
		<b>SČ</b>	<b>PČ</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Abs. Člen</b>	1	28,49123	28,49123	141,8714	0,000000
<b>Varianta Se</b>	4	0,25277	0,06319	0,3147	0,863724
<b>Chyba</b>	15	3,01236	0,20082		
<b>Celkem</b>	19	3,26513			

Nepatrné zvýšení výnosu se projevilo u varianty s mimokořenovou aplikací selenanu v dávce 20 g Se/ha. U ostatních variant byl výnos nižší než na variantě kontrolní, jak je patrné z tabulky 7. Na rozdíl od těchto výsledků prezentovali Boldrin et al. (2013) ve svých pokusech signifikantní zvýšení výnosu obilok rýže účinkem mimokořenové aplikace selenanu i seleničitanu, a to o 22 %, respektive 17 % v porovnání s kontrolou.

Další pozitivní vliv selenu na výnos zjistili Seppänen et al. (2010), kteří aplikovali do řepky mimokořenovou výživou 30 g Se/ha, Jejím účinkem došlo k výraznějšímu nárůstu výnosu účinkem selenanu v porovnání se seleničitanem. Wang et al. (2013) neprokázali aplikací seleničitanem žádné významné účinky na výnos zrna kukuřice. Rovněž Cartes et al. (2011), nezjistili průkazný vliv půdní aplikace seleničitan v dávce 60 g Se ha<sup>-1</sup> na výnos jílku. Podobně i Broadley et al. (2010) a Chilimba et al. (2012) uvádějí neprůkazný účinek aplikaci Se na výnos pšenice, respektive kukuřice.

**Tab. 7** Průměrný výnos semen (g/nádoba) ± SEM

<b>Varianta</b>	<b>Průměrný výnos (g/nádoba) ± SEM</b>	<b>Průkaznost (p≤0,05)</b>	<b>Relativní výnos (%)</b>
<b>Kontrola</b>	1,322 ± 0,139	a	100,00
<b>Se 1</b>	1,055 ± 0,045	a	79,85
<b>Se 2</b>	1,090 ± 0,152	a	82,46
<b>Se 3</b>	1,179 ± 0,417	a	89,18
<b>Se 4</b>	1,323 ± 0,181	a	100,09

Následné testování (Fisherův LSD test) V případě, jsou-li písmena u výnosu máku stejná, nedošlo ke statisticky průkaznému rozdílu mezi jednotlivými variantami při hladině významnosti p≤0,05

### 5.3 Hmotnost 1000 semen

Aplikace selenu statisticky průkazně (p≤0,05) ovlivnila hmotnost 1000 semen (tab. 8). Ta se pohybovala v rozmezí 0,198 – 0,267 g.

**Tab. 8** ANOVA - HTS

	<b>Stupně volnosti</b>	<b>HTS (g/rostlina) SČ</b>	<b>HTS (g/rostlina) PČ</b>	<b>HTS (g/rostlina) F</b>	<b>HTS (g/rostlina) p</b>
<b>Abs. Člen</b>	1	3,231041	3,231041	820,4550	0,000000
<b>Varianta Se</b>	4	0,029276	0,007319	1,85	0,130851
<b>Chyba</b>	55	0,216596	0,003938		
<b>Celkem</b>	59	0,245872			

Signifikantní ( $p \leq 0,05$ ) zvýšení hmotnosti tisíce semen máku proti kontrole účinkem aplikace selenu je zřejmé z tabulky 9. Proti kontrole se průkazně ( $p \leq 0,05$ ) zvýšila hmotnost tisíce semen u varianty s přihnojením seleničitanu v dávce 20 g Se/ha, a to o 34 %. Dávka 20 g Se/ha, aplikovaného ve formě selenanu, zvýšila HTS oproti dávce 40 g Se/ha, přihnojeného ve stejné formě, o 5 %. Nejmenší vliv na HTS máku měla forma seleničitanu v dávce 40 g Se/ha. Podobných výsledků dosáhli Darnia et al. (2008), kteří zjistili nárůst výnosu slunečnice a zvýšení HTS aplikací Se v dávce 18 g Se.ha<sup>-1</sup>. Nazemi et al. (2012) zjistili vliv aplikace selenu na HTS u řepky, přišli k významnému rozdílu mezi jednotlivými odrůdami na příjem selenu. Těchto výsledků dosáhli i Sappingron et al. (2002) a Smrkoli et al. (2006). V případě pokusů na čočku neměl selen žádný významný vliv na HTS podle pokusů Ekanayake et al. (2015).

**Tab. 9** HTS (g/rostlina)  $\pm$  SEM

<b>Varianta</b>	<b>HTS (g/rostlina) <math>\pm</math> SEM</b>	<b>Průkaznost (<math>p \leq 0,05</math>)</b>	<b>Relativní HTS (%)</b>
<b>Kontrola</b>	0,198 $\pm$ 0,009	a	100,00
<b>Se 1</b>	0,267 $\pm$ 0,019	b	134,37
<b>Se 2</b>	0,225 $\pm$ 0,010	ab	113,53
<b>Se 3</b>	0,240 $\pm$ 0,032	ab	120,96
<b>Se 4</b>	0,230 $\pm$ 0,010	ab	115,93

Následné testování (Fisherův LSD test) V případě, jsou-li písmena u hmotnosti tisíce semen rostlin různá, došlo ke statisticky průkaznému rozdílu mezi jednotlivými variantami při hladině významnosti  $p \leq 0,05$

## 5.4 Obsah Selenu v semeni máku

Obsah selenu v semeni máku byl vysoce průkazně ( $p \leq 0,05$ ) ovlivněn listovou aplikací selenu, jak prezentuje tabulka 10.

**Tab. 10** ANOVA Obsah Se v semeni máku

	Stupně volnosti	Obsah Se (mg/kg) SČ	Obsah Se (mg/kg) PČ	Obsah Se (mg/kg) F	Obsah Se (mg/kg) p
<b>Abs. Člen</b>	1	102,6568	102,6568	1555,359	0,000000
<b>Varianta Se</b>	4	7,0743	1,7686	26,796	0,000000
<b>Chyba</b>	45	2,9701	0,0660		
<b>Celkem</b>	49	10,0444			

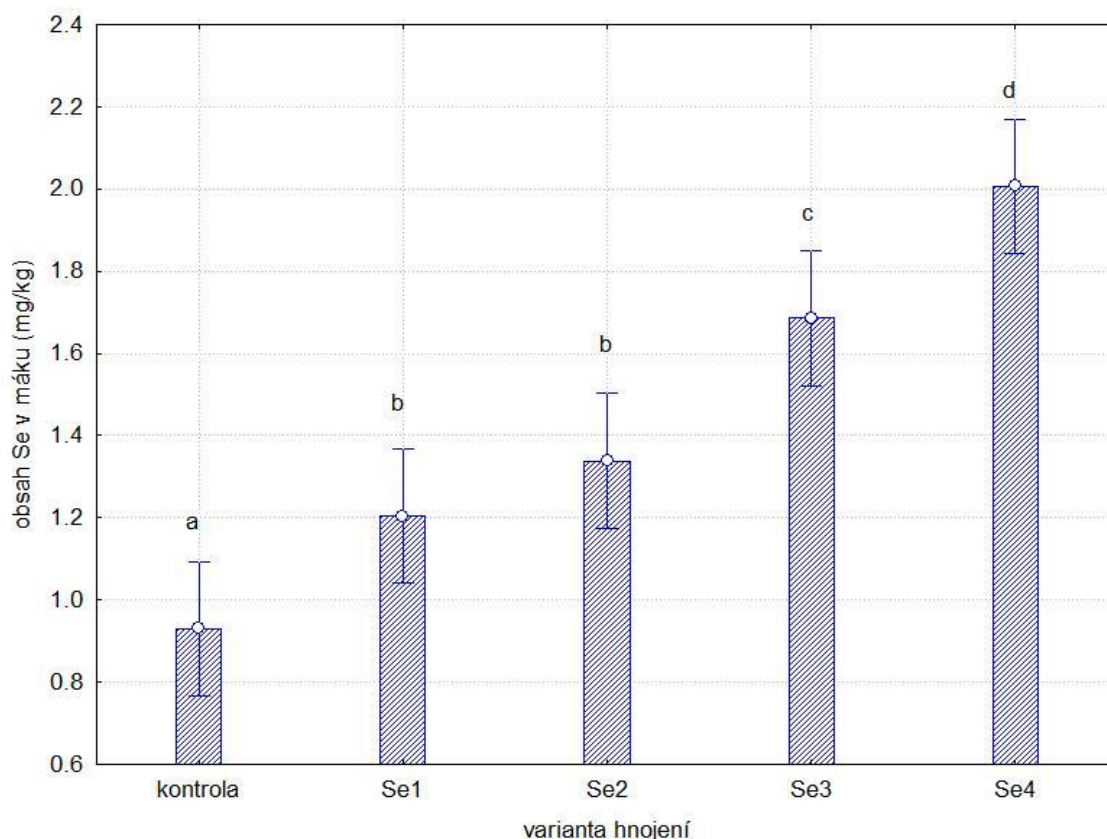
Obsah sledovaného prvku v semeni máku se průkazně ( $p \leq 0,05$ ) zvýšil v závislosti na jeho formě a dávce o 29,5 – 115,8 % v porovnání s kontrolou, jak je zřejmé z tabulky 11 a grafu 1. Největší nárůst jeho množství byl zjištěn po přihnojení selenanem v dávce 40 g/ha, na úroveň 215,8 % varianty kontrolní. Toto navýšení bylo 1,5 krát vyšší v porovnání se stejnou dávkou aplikovanou ve formě seleničitanu. Dávka 20 g Se/ha aplikovaného v selenanu zvýšila obsah Se v semeni máku o více než 25 % při srovnání s jeho dvojnásobnou dávkou aplikovanou ve formě seleničitanu. Také Wang et al. (2013) zvýšili obsah selenu v kukuřici účinkem listové aplikace Se bez negativního vlivu na ostatní prvky. Zkonstatovali, že listová aplikace Se je nákladově efektivnější a účinnější než aplikace do půdy. Dle Duma et al. (2011) bylo zjištěno při srovnání forem aplikovaného Se jako účinnější varianta se selenanem, podobně jako v našem experimentu. Nejmenší nárůst v obsahu Se v semeni máku, který představoval 29 %, byl zaznamenán u varianty se seleničitanem v dávce 20 g Se/ha. Je nutné rovněž konstatovat, že rozdíl v obsahu Se v semeni máku, navýšeného stupňovanými dávkami seleničitanu, nebyl signifikantní (graf. 1). V pokusech Poldma et al. (2011) byl sledován vliv mimokořenového přihnojení Se na jeho obsah v palicích česneku. Tito autoři dospěli k závěru, že nízké dávky Se mohou být pro některé rostlinné druhy výhodnější, protože vyšší dávky by mohly působit toxicky.



**Tab. 11** Obsah Se v semeni máku (mg/kg) ± SEM

Varianta	Obsah Se (mg/kg) ± SEM	Relativní Obsah Se (%)
Kontrola	0,930 ± 0,091	100,00
Se 1	1,204 ± 0,065	129,48
Se 2	1,338 ± 0,066	143,91
Se 3	1,685 ± 0,098	181,25
Se 4	2,007 ± 0,081	215,81

Do semen máku je aplikovaný selen mimokořenovou výživou dobře distribuován, z čehož tedy vyplývá, že je tato plodina vhodná pro biofortifikaci.

**Graf. 1** Obsah selenu v semeni máku setého průkaznost ( $p \leq 0,05$ )

Následné testování (Fisherův LSD test) V případě, jsou-li písmena u obsahu selenu v semeni různá, došlo ke statisticky průkaznému rozdílu mezi jednotlivými variantami při hladině významnosti  $p \leq 0,05$

## 6 ZÁVĚR

Mimokořenová výživa Se neměla vliv na hmotnost rostlin a výnos máku. Vlivem aplikace sledovaných forem selenu došlo k průkaznému zvýšení obsahu selenu v semeni máku a zvýšení HTS. Obsah selenu v semeni máku byl nejvýrazněji navýšen aplikací selenanem v dávce 40 g Se/ha, který zvýšil jeho množství 1,5 krát více v porovnání se stejnou dávkou Se přihnojenou seleničitanem. Dokonce i dávka 20 g Se/ha aplikovaného ve formě selenanu zvýšila obsah Se v semeni máku o více než 25 % ve srovnání s jeho dvojnásobnou dávkou ve formě seleničitanu.

S ohledem na ovlivnění produkčních parametrů a výši akumulace tohoto prvku v semenech se z jednoletého pokusu jako nejvhodnější varianta jeví aplikace selenanu v dávce 40 g Se/ha.

## 7 POUŽITÁ LITERATURA

- ALFTHAN G. P., ASPILA P., EKHOLM M., EUROLA M., HARTIKAINEN H., 2010: Nationwide supplementation of sodium selenate to commercial fertilizers: History and 25 year results from the Finnish selenium monitoring program, B. Thompson, L. Amoroso (Eds.), *Combating micronutrient deficiencies: Food-based approaches*, FAO/CAB International, Rome: s. 312–337.
- ASPILA P., 2005: History of selenium supplemented fertilization in Finland. *Proceedings Twenty years of selenium fertilization. MTT Agrifood research Finland*: s. 8-13.
- BECHYNĚ M., 1993: *Základy pěstování máku*. Mze ČR, Praha, s. 3.
- BECHYNĚ M., KADLEC T., VAŠÁK J., 2001: *Mák*. Praha: Agrospoj: s. 127.
- BLAŽEJ A., 1981: *Chemické aspekty životního prostředí: vysokoškolská příručka*. 1. vyd. Bratislava: Alfa: s. 595.
- BOLDRIN P. F., FAQUIN V., RAMOS S. J., BOLDRIN K. V. F., ÁVILA F. W., GUILHERME L. R. G., 2013: Soil and foliar application of selenium in rice biofortification. *J. Food Compos. Anal.*, 31 (2013), s. 238–244.
- BROADLEY M. R., ALCOCK J., ALFORD J., CARTWRIGHT P., FOOT I., FAIRWEATHER-TAIT S. J., HART D. J., HURST R., KNOTT P., MCGRATH S. P., MEACHAM M. C., NORMAN K., MOWAT H., SCOTT P., STROUD J. L., TOVEY M., TUCKER M., WHITE P. J., YOUNG S. D., ZHAO F. J., 2010: Selenium biofortification of high-yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilisation, *Plant Soil*, 332, s. 5–18.
- CARTES P., GIANFREDA L., PAREDES C., MORA M. L., 2011: Selenium uptake and its antioxidant role in ryegrass cultivars as affected by selenite seed pelletization, *Plant Nutr.*, 11: s. 1–14.
- CIHLÁŘ P., VAŠÁK J., 2011: *Regulace zrání* (126 - 129) In: *Intenzivní olejniný: Agricultura - scientia - prosperitas ; Prosperita v zemědělství je věda: sborník*

- referátů z konference katedry rostlinné výroby ČZU v Praze: Praha, 11. -12. 12. 2001. Praha: Česká zemědělská univerzita: s. 155.
- ČIHLÁŘ P., VAŠÁK J., TOMÁŠEK J., 2014: *Mák ve výsledcích pokusů roku 2014.* – In: *Prosperující olejniny: sborník referátů z konference katedry rostlinné výroby ČZU v Praze*: Praha: Česká zemědělská univerzita.
- ČERMÁKOVÁ L., ZÝKA J., 1990: *Analytická chemie méně běžných prvků.* 1. vyd. Praha: SPN: s. 176.
- DADNIA, M. R., HABIB, D., NOURMOHAMMAD, G., ARDAKANI, M. R. 2008: Antioxidative response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) varieties under water deficit and selenium foliar application. *Crop Research*, 35(3): s. 195-200.
- DEAGEN J. T., BEILSTEIN M. A., WHANGER P. D., 1991: Chemical forms of selenium in selenium containing proteins from human plasma, *J. Inorg. Biochem.*, 41: s. 261–268.
- DHILLON K. S., DHILLON S., 1991: Selenium toxicity in soils, plants and animals in some parts of Punjab, India. *Inter. J. Env. Stud.*, 37(12): s. 15-24.
- DUMA M., ALSINA I., DUBOVA L., STROKSA L., SMILTINA Z., 2011: *The effect of sodium selenite and selenate on the quality of lettuce, Conference Proceedings of the 6th Baltic Conference on Food Science and Technology FOODBALT-2011*, Jelgava, Latvia.
- EKANAYAKE J. L., THAVARAJAH D., VIAL E., SCHATZ B., MCGEE R., THAVARAJAH P., 2015: Selenium fertilization on lentil (*Lens culinaris* Medikus) grain yield, seed selenium concentration, and antioxidant activity, *Field Crops Research*, 177, s. 9–14.
- FÁBRY A., 1954: *Olejninny*, Státní pedagogické nakladatelství v Praze: s. 126.
- FENG R., WEI C., TU S., 2013: The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. *Environmental and Experimental Botany*, 87: s. 58-68.
- FINLEY, J. W., 2005: Selenium accumulation in plant foods, *Nutr. Rev.*, 63: s. 196–202.

- FLEMING G. A., 1980: *Essential micronutrients II: Iodine and selenium*. In: Davies B. E. (Ed.) *Applied Soil Trace Elements*, John Wiley & Sons: s. 199-234.
- GRAY T. W., 2012: *Prvky: obrazový průvodce všemi známými atomy ve vesmíru*. V Praze: Slovart: s. 240.
- GREENWOOD N., EARNSHAW A., 1993: *Chemie prvků*. 1. vyd. Praha: Informatorium: s. 794-1635.
- HARTIKAINEN H., 2005: Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. *J Trace Elem Med Biol*, 18: s. 309–18.
- HAYNES, W. M., 2011: *CRC Handbook of Chemistry and Physics, 91st*. Databáze online [cit. 2015-04-04]. Dostupné na: <http://www.hbcponline.com/>
- CHILIMBA D. C., YOUNG S. D., BLACK C. R., MEACHAM M. C., LAMMEL J., 2012: Broadley, Agronomic biofortification of maize with selenium (Se) in Malawi, *Field Crop Res.*, 125: s. 118–128.
- JONES J. J. B., 1990: Universal soil extractants: Their composition and use. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 21: s. 1091-1101.
- KABATA-PENDIAS A., 2011: Trace elements in soils and plants. 4th edition, *CRC Press, BocaRaton*: s. 520.
- KLEM K., FIŠER F., 2011: *Používání herbicidů proti dvouděložným plevelům v porostech máku*. – In: *Semináře pro pěstitele slunečnice a máku, RČ: 10/010/1310a/180/002216*. Praha: Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin: s 24.
- KOUTNÍK V., 1996: *Chemie: (systematika prvků)*. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, vii: s. 117.
- KUBÁNEK V., 2009: *Konopí a mák: (pěstování, výroby, legislativa)*. V Tribunu EU vyd. 2. Brno: Tribun EU: s. 101-108.
- LYONS G. H., JUDSON G. J., ORTIZ-MONASTERIO I., GENC Y., STANGOULIS J., GRAHAMA R. D., 2005: Selenium in Australia: Selenium status and biofortification of wheat for better health, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*: 19, s.75–82.

- MACH, J., 2014: Životní fáze máku. - In: *Sdružení Český mák informuje: makový občasník: sborník odborných seminářů "Mák v roce 2014."*. Praha: Česká zemědělská univerzita, Katedra rostlinné výroby: s. 47-46.
- MARSCHNER H., 1995: Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. *Elsevier science & technology books*: s. 889.
- MARTIN L., NAFTZ D. L., LOWHAM H. W., RANKL J. G., 1988: Cumulative Potential Hydrologic Impacts of Surface Coal Mining in the Eastern Powder River Structural Basin, Northeastern Wyoming. U. S. Geological Survey, *Water Resources Investigations Report* 88-4046.
- MASSCHELEYN P. H., DELAUNE R. D., PATRICK W. H., 1990: Transformations of selenium as affected by sediment oxidation-reduction potential and pH, *Environ. Sci. Technol.*, 24: s. 91–96.
- NAZEMI, L., NAZMARA S., ESHRAGHYAN M. R., NASSERI S., DJAFARIAN K., 2012: Selenium status in soil, water and essential crops of Iran. *Iranian Journal of Environmental Health Sciences & Engineering*, 9: s.1–8.
- OLDFIELD, J. E., 1995: Selenium in maps. *The bulletin of selenium-tellurium development association*.
- OLSON O. E., HILDERBRAND D. C., MATTHEES D. P., 1989: *Evaluation of Analytical Methods in Biological Systems - Hazardous Metals in Human Toxicology*.
- OŽBOLT L., KREFT S., KREFT I., GERM M., STIBILJ, V. 2008: Distribution of selenium and phenolics in buckwheat plants grown from seeds soaked in Se solution and under different levels of UV-B radiation. *Food Chemistry*, 110(3): s. 691-696.
- PASSWATER R. A., 1999: *O selenu*. Hodkovičky: Pragma: s. 98.
- PETRÁSEK, J., 2013: *Stimulační zásahy v máku, možnosti omezení ročníkových vlivů*. - In: *Sdružení Český mák informuje: makový občasník: sborník odborných seminářů "Mák v roce 2013."*. Praha: Česká zemědělská univerzita, Katedra rostlinné výroby.

- POLDMA P., TONUTARE T., VIITAK A., LUIK A., MOOR U., 2011: Effect of Selenium Treatment on Mineral Nutrition, Bulb Size, and Antioxidant Properties of Garlic (*Allium sativum* L.) *J. Agric. Food Chem.* 59: s. 5498–5503.
- PULKRÁBEK J., CAPOUCHOVÁ I., HAMOUZ K., 2003: *Speciální fytotechnika*. Praha: Česká zemědělská univerzita, Katedra rostlinné výroby: s. 188.
- RAYMAN, 2012: Selenium and human health, *The Lancet*. 379: s. 1256–1268.
- SAIDI I., CHTOUROU Y., DJEBALI W., 2014: Selenium alleviates cadmium toxicity by preventing oxidative stress in sunflower (*Helianthus annuus*) seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 171(5): s. 85-91.
- SAPPINGTON, K. G. 2002: Development of aquatic life criteria for selenium: A regulatory perspective on critical issues and research needs. *Aquatic Toxicol.* 57: s. 101-113.
- SEPPÄNEN M. M., KONTTURI J., HERAS I. L., MADRID Y., CÁMARA C., HARTIKAINEN H. 2010: Agronomic biofortification of *Brassica* with selenium-enrichment of SeMet and its identification in *Brassica* seeds and meal. *Plant Soil*, 337: s. 273-283.
- SHARMA, S., BANSAL, A., DOGRA, R., DHILLON, S. K., & DHILLON, K. S. 2011: Effect of organic amendments on uptake of selenium and biochemical grain composition of wheat and rape grown on seleniferous soils in northwestern India. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174(2): s. 269-275.
- SMRKOLJ, P., OSVALD, M., OSVALD, J., STIBILJ, V. 2006: Selenium uptake and species distribution in selenium-enriched bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds obtained by two different cultivations. *Europ. Food Res. Technol.* 22: s. 235-240.
- SORS T. G., ELLIS D. R., SALT D. E., 2005: Selenium uptake, translocation-, assimilation and metabolic fate in plants, *Photosynth. Res.*, 86: s. 373–389 .
- SYNGENTA, 2014: *Mák*, Databáze online [cit. 2015-04-20] Dostupné na: <http://www3.syngenta.com/country/cz/cz/syngenta/reseni-syngenta/reseni-plodinach/mak/Pages/home.aspx>.

- ŠKOPÍK P., BEZDĚK V., 1961: *Mimokořenová výživa rostlin*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství: s. 191.
- URBAN J., VAŠÁK J., 2014: *Zemědělské systémy II.: (rostlinná produkce)*. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta: s. 85.
- VAŇEK V., a kolektiv, 1999: *Výživa a hnojení polních plodin, ovoce a zeleniny*, Praha, Farmář a Zemědělské listy: s. 124.
- VARO P., ALFTHAN G., EKHOLM P., ARO A., KOIVISTOINEN P., 1988: Selenium intake and serum selenium in Finland: effects of soil fertilization with selenium. *Am J Clin Nutr*, 48: s. 324–9.
- VAŠÁK J., 2010: *Mák*. Vyd. 1. Praha: Powerprint: s. 336.
- VAŠÁK, J., 2014: *Základní informace o činnosti Českého máku a úvahy k trhu a agronomii máku* - In: *Sdružení Český mák informuje: makový občasník: sborník odborných seminářů "Mák v roce 2014."*. Praha: Česká zemědělská univerzita, Katedra rostlinné výroby: s. 47-46.
- WANG J., WANG Z., MAO H., ZHAO H., HAUNG D., 2013: Increasing Se concentration in maize grain with soil- or foliar-applied selenite on the Loess Plateau in China. *Field Crops Research*, 150: s. 83-90.
- WEISS W. P., 2010 *Selenium Sources for Dairy Cattle* Databáze online [cit. 2015-04-20] Dostupné na: <http://www.extension.org/pages/11053/selenium-sources-for-dairy-cattle#.VUEXSZPHjc5>.
- WÓJCIK, P., 2004: Uptake of mineral nutrients from foliar fertilization (review). *Journal of fruit and ornamental plant research*, 12: s. 201-218.
- ZBÍRAL, J., 2002: *Analýza půd I: jednotné pracovní postupy*. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Laboratorní odbor, s. 197.
- ZBÍRAL, J., 2005: *Jednotné pracovní postupy - Analýza rostlinného materiálu*. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Laboratorní odbor: s. 192.



ZHANG L., LI Q., YANG X., XIA Z., 2011: Effects of sodium selenite and germination on the sprouting of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and its content of selenium, formononetin and Biochanin A in the sprouts, *Biol. Trace Elem. Res.*, 146: s. 376–380.

### **Seznam obrázků:**

Obr. 1 Chemické struktury aminokyselin (Weiss, 2010).....	14
Obr. 2 Makrofenologická stupnice máku (Syngenta, 2014).....	21
Obr. 3 Porost máku v Mitscherlichových nádobách (4. 4. 2014).....	25
Obr. 4 Porost máku v Mitscherlichových nádobách (25. 6. 2014).....	26

### **Seznam tabulek:**

Tab. 1 Atomové vlastnosti selenu (Haynes, 2011) .....	11
Tab. 2 Agrochemické vlastnosti půdy .....	24
Tab. 3 Schéma hnojení.....	26
Tab. 4 ANOVA – vliv aplikace Se na hmotnost rostlin .....	28
Tab. 5 Hmotnost rostlin (g/rostlina) ± SEM .....	29
Tab. 6 ANOVA – vliv aplikace Se na výnos .....	29
Tab. 7 Průměrný výnos semen (g/nádoba) ± SEM .....	30
Tab. 8 ANOVA - HTS .....	30
Tab. 9 HTS (g/rostlina) ± SEM .....	31
Tab. 10 ANOVA Obsah Se v semeni máku .....	32
Tab. 11 Obsah Se v semeni máku (mg/kg) ± SEM .....	33

### **Seznam grafů:**

Graf. 1 Obsah selenu v semeni máku setého průkaznost ( $p \leq 0,05$ ).....	33
---	----