

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroekologie a rostlinné produkce**



**Vliv aplikace listových hnojiv na zdravotní stav a  
výnosotvorné prvky máku setého**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Daniel Klofáč  
Výživa a ochrana rostlin (AMRV)  
Vedoucí práce: Ing. Pavel Cihlář, PhD.**

© 2019 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv aplikace listových hnojiv na zdravotní stav a výnosotvorné prvky máku setého" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne \_\_\_\_\_

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Pavlu Cihlařovi, PhD. za profesionální vedení a poskytnutí cenných rad a připomínek k této diplomové práci. Dále pak rodičům za jejich pomoc a podporu, bez nichž by tato práce nevznikla.

# Vliv aplikace listových hnojiv na zdravotní stav a výnosotvorné prvky máku setého

## Souhrn

Cílem této práce bylo určit vliv aplikace foliární výživy na zdravotní stav a výnosotvorné prvky máku setého. Pro potřeby výzkumu byl v roce 2015 založen maloparcelkový pokus v Červeném Újezdu o 6 variantách se 4 opakováními. V pokusu byly použity přípravky CARBON S, CARBONBOR 200, CARBON Mo a CARBON Zn. První tři uvedené přípravky byly aplikovány ve fázi 6. listu, poslední přípravek byl použit k moření osiva. Hnojiva CARBON S a CARBONBOR 200 byly aplikovány i jako tank mix. Dále byl v roce 2017 na farmě Petra Nouzy v Dolní Pěně založen poloprovodní pokus, velikost jednotlivých parcel byla 0,12 ha. Pokus byl rozdělen na 2 skupiny, první s použitím fungicidního ošetření a druhý bez. V každé skupině bylo 5 variant včetně kontroly. Z každé varianty byly odebrány 4 vzorky použité ke statistickému vyhodnocení. V pokusu byly použity přípravky FUMAG 6NK – Zn, FUMAG NK – Ca, SULFIKA SB – C, SULFIKA SNP + Zn, CARBONBOR Mo, CARBON Si a INSENOL. Aplikace byly ve fázi 6. případně 10. listu.

Sledovanými parametry byly hektarový výnos, hmotnost tisíce semen, počet makovic na m<sup>2</sup>, hmotnost prázdných makovic a hmotnost semen v makovici.

Vyhodnocení výsledků z Červeného Újezdu nepřineslo žádné statisticky významné výsledky. Všechny měřené hodnoty se nijak výrazně nelišily od kontrolní varianty. Největší vliv na výnos z hektaru měl tank mix hnojiv CARBON S a CARBONBOR 200. Nejvyšší hmotnost tisíce semen byla navážena u varianty ošetřené přípravkem CARBON Mo, stejně tak počet makovic na m<sup>2</sup> a hmotnost prázdných makovic.

V Dolní Pěně byly výsledky podstatně zajímavější. Téměř všechny pozorované parametry dosáhly lepších výsledků jak kontrola. Hnojivo SULFIKA mělo nejvyšší vliv na hektarový výnos semene a hmotnost semen v makovici. Aplikací fungicidu došlo ve všech případech k nižšímu výnosu jak u variant bez fungicidního ošetření. Zdravotní stav z důvodu minimálního napadení nebyl vyhodnocen.

**Klíčová slova:** mák, listové hnojivo, zdravotní stav, výnos semen

# Effect of foliar fertilizers application on the health status and yielding elements of poppy seed

## Summary

The aim of this work was to determine the effect of the foliar application of nutrient on the health and yielding elements of the poppy seed. In 2015, a small plot experiment in Červený Újezd was established with 6 variants with 4 repetitions for the purposes of research. CARBON S, CARBONBOR 200, CARBON Mo and CARBON Zn were used in the experiment. The first three preparations were applied in phase of 6<sup>th</sup> leaf, the last preparation was used as a seed treatment. The CARBON S and CARBONBOR 200 fertilizers were used as a tank mix. In 2017, another experiment was established on the farm of Petr Nouza in Dolní Pěna, where the size of the individual plots was 0,12 ha. The experiment was divided into 2 groups, the first using the fungicidal treatment and the other without. There were 5 variants in each group, including control group. Four samples were taken from each variant for statistical evaluation. FUMAG 6NK - Zn, FUMAG NK - Ca, SULFIKA SB - C, SULFIKA SNP + Zn, CARBONBOR Mo, CARBON Si and INSENOL were used in the experiment. Applications were done in the phase 6<sup>th</sup> or 10<sup>th</sup> leaf.

The observed parameters were the yield per hectare, the weight of thousands of seeds, the number of poppies per m<sup>2</sup>, the weight of the empty poppies and the weight of the seeds in the poppy.

The evaluation of results from Červený Újezd did not produce any statistically significant results. All measured values did not differ significantly from the control variant. The CARBON S and CARBONBOR 200 fertilizer mix had the biggest impact on the hectare yield.

The results were much more interesting in Dolní Pěna. Almost all observed parameters achieved better results than control. SULFIKA fertilizer had the highest impact on hectare seed yield and seed weight in poppy seed. By applying the fungicide, the yield was lower in all cases than in the non-fungicidal treatments. Health status due to minimal pathogen attack was not evaluated.

**Keywords:** poppy, foliar fertilizer, plant health, yield

# Obsah

<b>1 Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Literární přehled .....</b>	<b>10</b>
2.1 Význam pěstování máku .....	10
2.2 Požadavky na půdu a předplodinu.....	11
2.3 Výživa a hnojení máku .....	11
2.4 Příjem živin rostlinami .....	13
2.4.1 Foliární příjem živin .....	13
2.4.2 Struktura a funkce kutikuly.....	16
2.5 Draslík .....	17
2.5.1. Draslík v půdě .....	17
2.5.2. Draslík v rostlině .....	18
2.5.3. Nedostatek a nadbytek draslíku v rostlině .....	19
2.5.4. Vliv draslíku na zdravotní stav rostlin.....	20
2.6 Síra .....	21
2.6.1 Síra v půdě .....	21
2.6.2 Síra v rostlině .....	22
2.6.3 Nedostatek a nadbytek síry v rostlině .....	23
2.6.4 Vliv síry na zdravotní stav rostlin .....	24
2.7 Vápník .....	25
2.7.1 Vápník v půdě .....	25
2.7.2 Vápník v rostlině .....	25
2.7.3 Nedostatek a nadbytek vápníku v rostlině .....	27
2.7.4 Vliv vápníku na zdravotní stav rostlin.....	27
2.8 Hořčík .....	28
2.8.1 Hořčík v půdě.....	28
2.8.2 Hořčík v rostlině.....	28
2.8.3 Projev nedostatku a nadbytku hořčíku v rostlině.....	29
2.8.4 Vliv hořčíku na zdravotní stav rostlin .....	29
2.9 Bor.....	30
2.9.1 Bor v půdě .....	30
2.9.2 Bor v rostlině .....	30
2.9.3 Nedostatek a nadbytek boru v rostlině .....	31

2.9.4 Vliv boru na zdravotní stav rostlin.....	32
2.10 Molybden.....	32
2.10.1 Molybden v půdě.....	32
2.10.2 Molybden v rostlině.....	33
2.10.3 Nedostatek a nadbytek molybdenu v rostlině .....	34
2.11 Zinek.....	35
2.11.1 Zinek v půdě .....	35
2.11.2 Zinek v rostlině .....	36
2.11.3 Nedostatek a nadbytek zinku v rostlině .....	37
2.12 Křemík.....	38
2.12.1 Křemík v půdě.....	38
2.12.2. Křemík v rostlině.....	39
2.12.3 Vliv křemíku na zdravotní stav rostlin .....	40
<b>3 Cíl práce.....</b>	<b>42</b>
3.1 Materiál a metodika.....	42
3.1.1 Charakteristické údaje o pokusné lokalitě .....	43
3.1.2 Metodika pokusu.....	48
<b>4. Výsledky pokusu .....</b>	<b>49</b>
4.1 Červený Újezd .....	49
4.1.1 Výnos semen .....	49
4.1.2 Hmotnost tisíce semen.....	50
4.1.3 Počet makovic na m <sup>2</sup> .....	51
4.1.4 Hmotnost semen v makovici a hmotnost makovic .....	52
4.2 Dolní Pěna .....	53
4.2.1 Výnos semen .....	53
4.2.2 Hmotnost tisíce semen.....	55
4.2.3 Počet makovic na m <sup>2</sup> .....	57
4.2.4 Hmotnost makovic .....	59
4.2.5 Hmotnost semen v makovici .....	61
4.2.6 Vliv fungicidu na výnos máku setého .....	63
4.2.7 Zdravotní stav máku setého v poloprovozním pokusu v Dolní Pěně .....	64
<b>5 Diskuze.....</b>	<b>65</b>
<b>6 Závěr .....</b>	<b>69</b>

<b>7 Seznam použité literatury .....</b>	<b>71</b>
<b>8 Příloha.....</b>	<b>79</b>



# 1 Úvod

Mák je plodinou, jejíž historie sahá až k samým počátkům pěstování rostlin. Jsou dochovány záznamy o jeho pěstování ve starověkém Řecku, Malé Asii, Egyptě i Dálném Východě. Využíván byl především v lékařství, ale i v potravinářství na produkci oleje. Na počátku 90. let došlo z důvodu velmi příznivé ekonomiky této plodiny k nárůstu pěstebních ploch v České republice, až jsme se v roce 2006 stali největším producentem a vývozcem potravinového máku na světě. Z tohoto důvodu se i zvyšuje množství pokusů a výzkumů zaměřených na zvýšení kvalitativních a kvantitativních parametrů máku. Mák velmi dobře reaguje na mimokořenovou výživu a je náročný na některé mikroelementy, jako například bor a zinek. Tato práce se zaměřuje právě na příjem prvků nadzemní části rostliny, konkrétně draslíku, vápníku, síry, boru, molybdenu, zinku, křemíku a vliv moření osiva zinkem.

V literární rešerši uvedu souhrn dostupných poznatků o příjmu živin rostlinami se zaměřením na mimokořenovou výživu, dále pak informace o obsahu prvků v půdě, jejich příjem do rostliny, funkce v rostlině, vlivu na zdravotní stav, projevy nedostatku a nadbytku těchto prvků.

V praktické části popíši metodiku pokusů, charakterizuji lokality a uvedu použité přípravky. Uvedu výsledky variant s komentářem pro jednotlivé pozorované parametry, konkrétně hektarový výnos, hmotnost tisíce semen, počet makovic na m<sup>2</sup>, teoretický počet, hmotnost semen v makovici, hmotnost prázdných makovic,

V diskuzi se pokusím porovnat své závěry s výsledky z pokusů jiných autorů.

## 2 Literární přehled

### 2.1 Význam pěstování máku

Pěstování máku v Evropě má dlouhodobou tradici. Od středověku byl pěstován jako zahradní rostlina a od konce 17. století jako polní plodina. Jako olejnina se začal využívat až v 19. století, z tohoto období pochází nejstarší zprávy o větších plochách máku na našem území. První údaje o rozloze a produkci máku pocházejí ze 70. let 19. století. V roce 1868 byly největší pěstitelské plochy soustředěny v okolí Tábora (1 001 ha), Prahy (385 ha) a Písku (360 ha) (Fábry 1992).

Pro pěstování máku je rozhodující úroda semene a jeho cena na trhu. Přesto že jde o maloobjemovou plodinu, snaží se pěstitelé dosahovat stabilních výnosů. Kromě semen může pěstitel prodat sklizené tobolky, které obsahují makovinu, pro farmaceutické účely (Popovec 1998). Pěstování máku je ekonomicky velmi uspokojivé. To dokazuje růst sklizňových ploch, v roce 1990/91 bylo sklizeno okolo 9 000 ha a v roce 2008/09 téměř 70 000 ha (Vašák 2010). Pěstební plochy s hektarovými a celkovými výnosy v České republice uvádí tabulka 1.

**Tabulka 1: Plochy s hektarovými a celkovými výnosy v ČR v letech 2005-2015**

Rok	Sklizená plocha [ha]	Produkce [t.ha <sup>-1</sup> ]	Produkce semen [t]
2005	44 613	0,82	36 418
2006	55 785	0,55	31 591
2007	56 914	0,58	33 101
2008	69 793	0,71	49 428
2009	53 623	0,61	32 692
2010	51 103	0,46	23 690
2011	31 495	0,85	26 918
2012	18 363	0,70	12 814
2013	20 250	0,69	13 911
2014	27 020	0,91	24 665
2015	32 650	0,82	26 743
2016	35 543	0,80	28 574
2017	32 586	0,62	20 048
2018	26 608	0,51	13 666

*Zdroj: Český statistický úřad*

## 2.2 Požadavky na půdu a předplodinu

Pro mák je nutné vybírat půdy hlinité, středně těžké, s dobrou strukturou, dostatečně hluboké a vzdušné. Půdní reakce by měla být neutrální. V suchých oblastech je možné mák pěstovat na těžších půdách, jílovitých ale strukturních. Naopak ve vlhčích oblastech mohou být využity lehčí písčitohlinité až hlinitopísčité půdy (Fábry 1992)

Jako nejvhodnější předplodiny doporučuje Richter (2016) organicky hnojené plodiny nebo vikvovité rostliny. Případné hnojení hnojem doporučuje pouze na méně úrodných půdách a horších předplodinách. Organické hnojení může mít v některých případech záporný efekt, zejména tím, že při použití ve větším množství vytváří v půdě izolační vrstvu. Ta může na sušších stanovištích narušit kapilaritu a zhoršit tak podmínky pro počáteční vzcházení máku.

Vašák (2010) jako nejvhodnější předplodiny uvádí cukrovku, silážní kukuřici, brambory a luskoviny. Naopak nedoporučuje pěstovat mák po zrnové kukuřici, slunečnici a vojtěšce kvůli vysušení půdy a nedostatku vláhy pro dobré vzejití máku. Z důvodu zaplevelení nemá pěstitel do osevního postupu zařazovat různobarevné máky a řepku.

## 2.3 Výživa a hnojení máku

Mák se ve svých požadavcích na výživu a díky horším schopnostech příjmu živin řadí mezi náročné plodiny na hnojení. Vyžaduje tedy hnojení v lehce přijatelných formách a dostatečném množství (Havelka 1984). Dle Gupty (1984) mák příznivě reaguje na hnojení organickými hnojivy. Jen dávka organického hnojiva nesmí přesáhnout míru, aby nedošlo k vytvoření izolační vrstvy po zaorání. Doporučená dávka je 10 – 20 t.ha<sup>-1</sup> hnoje.

V množství odčerpaných živin na 1 t semena se literatura rozchází. Edelbauer a Strangl (1993) a Duchoň (1948) doporučují podobné dávky. Pro 1 tunu semena je potřebné dodat rostlině 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) a 15 kg Mg (25 kg MgO). Naproti tomu Richter (2016) uvádí následující množství odčerpaných živin: 40 kg N, 8,8 kg P (20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 41,5 kg K (50 kg K<sub>2</sub>O), 4,8 kg Mg (8 kg MgO) a 18 kg síry. V případě mikroelementů doporučují dávky boru v hodnotách okolo 0,1 kg

a zinku 0,2 kg. Pro intenzivní pěstování máku se autoři shodují na dodání živin pro 2 t semen.

Dříve než mák vytvoří kulový kořen, který může dosáhnout hloubky až 75 cm, má malou osvojovací schopnost na živiny. Z tohoto důvodu musíme zajistit jejich obsah v co nejpříjemnější formě v půdě, protože zvláště v období pozvolného růstu je produkce biomasy snížena a koncentrace živin předbíhá jejich odběr (Richter & Lošák 2004).

Příjem živin je v jednotlivých fázích růstu a etapách vývoje velmi rozdílný. V prvních fázích růstu je nejdůležitější příjem dusíku, pak fosforu a draslíku pro tvorbu sacharidů. Ve fázi stonkování vyžaduje relativně více dusíku než fosforu a draslíku pro dobrý vývin hlavní a postranních lodyh, pro vytvoření dostatečného množství velkých listů a poupat. Od fáze kvetení až do plného vytvoření semen je přijímán relativně vyšší podíl draslíku a fosforu, které zajišťují dobrý průběh kvetení, tvorby tobolek a semen (Fábry 1992).

Z mikroelementů je pro rostlinu nejdůležitější bor a zinek. Bor zvyšuje transport cukrů a má pozitivní vliv na metabolismus fosforu v listech. Jeho nedostatek, zejména při nízké hmotnosti rostlin, vede ke kumulaci fenolických sloučenin a ke zvyšování hladiny auxinů, což se projeví nekrotizací vegetačního vrcholu (Vaněk 2012). Ve fázi čtvrtého listu doporučuje Bechyně (1993) přihnojovat na list borem v dávce 100 g a molybdenem 30 g na hektar. Fyziologický význam zinku spočívá hlavně ve specifické aktivaci mnoha enzymových reakcí. Významnou roli hraje také při tvorbě růstových hormonů. Ovlivňuje syntézu tryptofanu, z kterého vzniká kyselina  $\beta$ -indolyloctová (IAA) (Vaněk 2012). Zinek doporučuje Bechyně (1993) rostlině dodat ve fázi pylových tetrad – malých poupat, v nichž nevybarvené květní lístky jsou na úrovni vrcholu tyčinek. Doporučená dávka zinku je 300 g na hektar.

Bor a zejména zinek výrazně ovlivňují jak kvantitativní, tak i kvalitativní ukazatele máku, jak ukazuje tabulka 2.

**Tabulka 2: Vliv ošetření citrátem Zn na výnosové a jakostní ukazatele máku**

Varianta	Tobolek	Průměrná		Tobolky		
	ve	hmotnost semene		s velkou		
	vzorku	na 1 tobolek		HTS		redukcí semen
	ks	g	%	g	%	%
300 g Zn (fáze pylových tetrad)	398	2,01	120,8	0,43	113	11,3
Kontrola	380	1,66	100	0,38	100	25,8

*Zdroj: Bechyně et al. 2001*

## 2.4 Příjem živin rostlinami

Pod tímto pojmem rozumíme proces postupu živin z vnějšího prostředí do rostliny. Příjem živin je jedním ze základních projevů života rostliny a zahrnuje v sobě kvantitativní změnu, kdy z abiotického materiálu se stává složka buňky schopná dalších asimilačních procesů, jejichž výsledkem je produkce nové hmoty (Richter & Hlušek 1994). Rostliny mohou přijímat živiny všemi orgány: kořeny, listy, stonky, květy a u stromů i větvemi a kmenem. (Vaněk 2012). Příjem rostlin jinými orgány než kořeny se nazývá foliární (listová) výživa (Richter & Hlušek 1994).

### 2.4.1 Foliární příjem živin

Schopnost listů rostlin absorbovat vodu a živiny byla rozpoznána přibližně před třemi stoletími (Fernández & Eichert 2009). Aplikace živných roztoků na listy rostlin jako alternativního prostředku k hnojení plodin, jako je např. pěstování vinné révy, byla zaznamenána na počátku 19. století. Následně byly aplikovány výzkumné práce, které se pokusily charakterizovat chemickou a fyzikální podstatu rostlinné kutikuly, buněčné fyziologie a struktury listů rostlin a zaměřily se na potenciální mechanismy průniku listové aplikace. S příchodem první fluorescenční a pak radio-značkovácí techniky v první polovině 20. století bylo možné vyvinout přesnější metody pro zkoumání mechanismů průniku a translokace kutikuly listů v rostlině po aplikaci živných roztoků (Fernandez et al. 2009).

V literatuře se používá termín foliární výživa, protože nejvíce aplikovaných roztoků ulpí na listech, kde je také největší množství živin přijímáno. Mechanismus příjmu živin listy se vyznačuje tím, že povrch listu na kterých ulpí postřik je chráněn před vypařováním kutikulou. Ta se při ovlhčení listu rozestoupí a umožní kontakt roztoku s buňkami epidermální části listu. Po překonání kutikuly vstupují živiny do tzv. volného prostoru, který zahrnuje intermicelární prostor buněčných a mezibuněčné prostory. Tímto volným prostorem mohou živiny difundovat do hlubších vrstev mezofylu a dále do vodivých pletiv a celé rostliny (Richter & Hlušek 1994).

Listová aplikace minerálních látek ve formě postřiku poskytuje rostlinám rychlejší dodávku živin, než příjem živin kořeny. Avšak tento způsob dodávky živin sebou nese celou řadu problémů:

- Nízká prostupnost u rostlin se silnou kutikulou (citrusy, kávovník)
- Stékání z hydrofobních povrchů
- Smytí deštěm
- Rychle vysychání roztoku postřiku
- Nízké schopnosti transportu určitých prvků z místa vstupu do dalších částí rostlin (např. vápník)
- Limitní množství makroprvků, které mohou být dodány jednou dávkou postřiku
- Poškození listu (popálení, nekrózy) (Marschner 1995)

Pro foliární aplikaci je důležitá rychlost absorpce živin do rostliny, která je pro každý prvek jiná, jak ukazuje tabulka 3. Kationty pronikají přes membrány rychleji než anionty. Nejrychleji je přijímán dusík (močovina) za ½ až 2 hodiny, dále pak draslík 10 až 24 hodin. Pro vápník, mangan a zinek je doba potřebná pro absorpci v průměru 1 až 2 dny, pro fosfor 5 až 10 dnů. Mezi nejpomalejší prvky patří železo a molybden s 10 až 20 dny (Richter & Hlušek 1994).

**Tabulka 3: Rychlost absorpce jednotlivých prvků listy**

Rychlá absorpce	Střední absorpce	Pomalá absorpce
Dusík (močovina)	Vápník	Hořčík
Sodík	Síra	Měď
Draslík	Fosfor	Železo
Chlor	Mangan	Molybden
Zinek	Brom	Stroncium
Rubidium	Baryum	

*Zdroj: Richter 1994*

Další faktor důležitý pro listovou výživu je mobilita jednotlivých prvků v rostlině. Z důvodů vodního gradientu v xylému je transport zajištěn floémem. Pro stanovení rychlosti transportu jednotlivých prvků byly aplikovány izotopy (radioaktivní nebo stálé) na špičku listu a v čase sledován jejich pohyb v rostlině. Na základě těchto pokusů byly jednotlivé prvky rozděleny do skupin dle své mobility ve floému (Marschner 1995).

**Tabulka 4: Mobilita jednotlivých prvků ve floému**

Vysoce mobilní	Středně mobilní	Málo mobilní
Draslík	Železo	Vápník
Hořčík	Zinek	Mangan
Fosfor	Měď	
Síra	Bor	
Dusík (amonný)	Molybden	
Chlor		
Sodík		

*Zdroj: Marschner 1995*

Ze dvou výše uvedených tabulek vyplývá, že řada živin, které jsou pomalu přijímány (ionty železa, molybdenu a manganu) mohou ve formě listové výživy preventivně zajistit, případně odstranit jejich nedostatky.

Účinnost listové výživy je ovlivněna celou řadou faktorů. Mezi ty které nemůžeme ovlivnit patří anatomicko-morfologická stavba listů, tloušťka kutikuly, stáří listů a rostliny. Ovlivnit ale můžeme koncentraci a dávku roztoku, ta by se u makrobiogenních prvků měla pohybovat okolo 2 % a mikrobiogenních do 0,2 %,

aby nedocházelo k popálení listové plochy. Značný vliv mají i faktory vnějšího prostředí: vlhkost, teplota a světlo. Čím je relativní vlhkost vzduchu vyšší, tím déle zůstane roztok na povrchu listů a zvýší se vstup iontů do listu. Po odpaření vody, při vyšší teplotě, je příjem iontů omezen a může docházet i k popálení listů (Richter & Hlušek 1994).

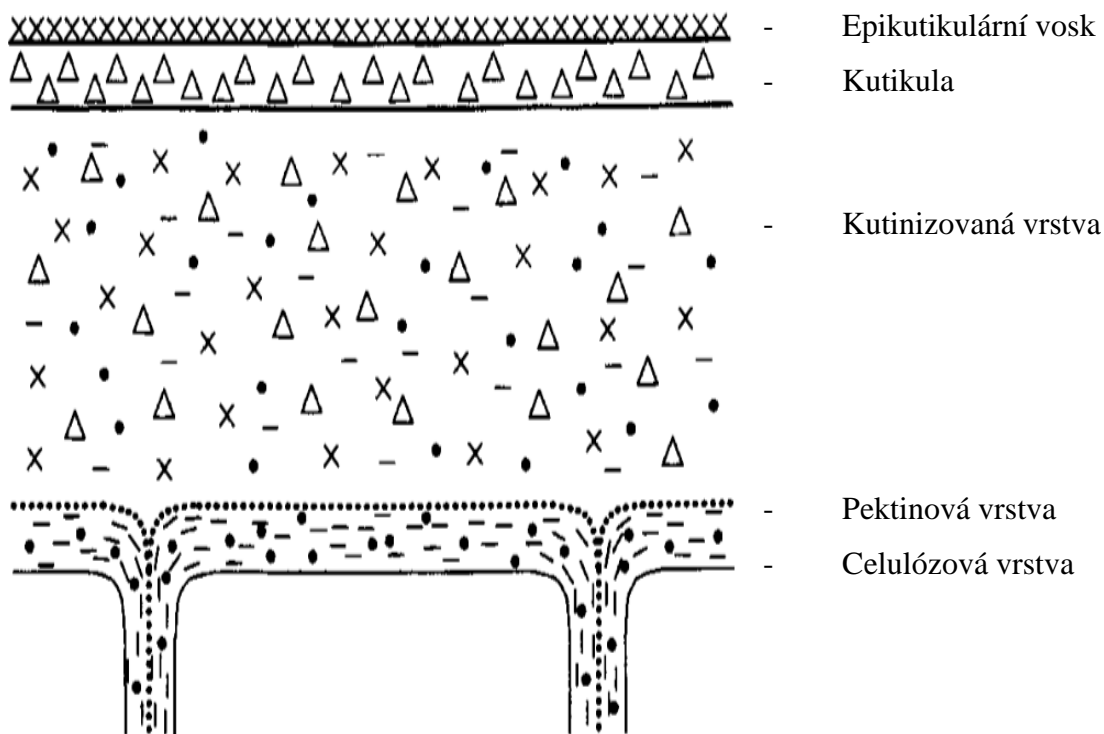
Listovou výživou můžeme zabránit přehnojování půd a snížit tak riziko ohrožení životního prostředí, avšak dojde ke zvýšení nákladů na hnojení. Při mimokořenové výživě lze dosáhnout až 85% účinnosti živin, kdežto při aplikaci hnojiv přes půdu pouze 30 - 60 % účinnosti podle druhu živiny (Richter & Hlušek 1994).

## 2.4.2 Struktura a funkce kutikuly

U vodních rostlin jsou listy hlavním zdrojem živin místo kořenů, kdežto u rostlin kořenících v půdě je příjem živin přes listy a dalšími nadzemní orgány omezen epidermálními buňkami. Struktura těchto buněk je znázorněna na obrázku 1. Vnější strana je kryta vrstvou kutikuly a epikutikulárními vosky, které mají typickou strukturu. Tyto vosky jsou vyměšovány epidermálními buňkami a skládají se z alkoholů, ketonů a esterů vyšších mastných kyselin. Kutikula obsahuje kutin (Marschner 1995). Ten je tvořen omega hydroxylovými kyselinami. Převážně 16-hydroxy palmitovou kyselinou, 18-hydroxy olejovou kyselinou a 18-hydroxy stearovou kyselinou (Holloway 1992). Z důvodu přítomnosti vyšších mastných kyselin je vnější strana kutikuly hydrofobní a vnitřní strana hydrofilní. Kutinizovaná vrstva obsahuje vosk, kutin, pektin a celulózu. Kutikula má mnoho funkcí. Mezi hlavní patří ochrana rostliny před nadměrnou ztrátou vody transpirací. Další funkcí je zamezení jak organickým, tak anorganickým sloučeninám ve volném vstupu do rostliny a ochrana před škůdci a chorobami. Tyto funkce jsou silně ovlivněny teplotou, klimatickými a světelnými podmínkami (Marschner 1995). Prostupnost molekul s nízkou hmotností (cukr, minerální prvky) a evaporace vody přes kutikulu probíhá přes hydrofilní póry v kutikule. Drtivá většina těchto pórů má rozměry menší než 1 nm a hustotu větší než  $10^{10} \cdot \text{cm}^{-2}$  plochy listu (Schönherr 1976). Tyto póry jsou nabitý záporným nábojem (pravděpodobně díky přítomnosti pektidové kyseliny) a výrazně tak zvyšují příjem kationtů, avšak anionty jsou odpuzovány (Tyree 1990). Kationty jsou tedy přijímány lépe než anionty (např.  $\text{NH}_4^+$  je lépe přijímán než  $\text{NO}_3^-$ ), ale v případě listového postřiku, kde je vysoká koncentrace, je vliv náboje zanedbatelný (Bowman & Paul 1992).



**Obrázek 1: Schématický náčrt struktury typických epidermálních buněk listu**



X - vosk, Δ - kutin, • - pektin, — - celulóza

*Zdroj: Marschner 1995*

## 2.5 Draslík

Draslík je jeden z nejdůležitějších prvků ve výživě rostlin a má nenahraditelnou roli. Příjem draslíku je obecně vyšší v porovnání s ostatními prvky. Draslík je základním prvkem pro všechny živé organismy. V rostlinné fyziologii je nejvýznamnějším kationtem nejen s ohledem na jeho koncentraci v rostlinných pletivech, ale také s ohledem na jeho fyziologické a biochemické funkce. Hlavním znakem  $K^+$  je jeho vysoká pohyblivost v rostlině (Prabhu et al. 2007)

### 2.5.1. Draslík v půdě

Průměrná koncentrace draslíku v zemské kůře je  $23 \text{ g.kg}^{-1}$ . Nejdůležitějšími minerály obsahujícími draslík v půdě jsou alkalické živce ( $30 \text{ až } 20 \text{ g K.kg}^{-1}$ ), muskovit

(60 až 90 g K.kg<sup>-1</sup>), biotit (36 až 80 g K.kg<sup>-1</sup>) a illit (32 až 56 g K.kg<sup>-1</sup>). Jedná se o hlavní přírodní zdroje, z nichž se draslík uvolňuje postupným zvětráváním (Mengel 2007).

Draslík lze podle Vaňka (2012) v půdě rozlišit na 3 kategorie: nevýměnný, výměnný a vodorozpustný.

Nevýměnný draslík se nachází v primárních a sekundárních minerálech a postupem zvětrávání se pomalu stává dostupným pro rostliny. Do této skupiny je též řazen draslík, který je zadržen po určitou dobu mezi jílovými minerály a je pro rostlinu nepřístupný. Jakmile se půda zvlhčí, některé zachycené draslíkové ionty se uvolní do půdního roztoku.

Výměnný draslík je snadno dostupný pro rostliny. Tento draslík se udržuje na půdním sorpčním komplexu, kde se nachází nejčastěji okolo 3 nebo 4 % celkové sorpční kapacity. Nachází se v rovnováze s půdním roztokem a snadno se uvolňuje, když rostliny absorbují draslík z půdního roztoku.

Vodorozpustný draslík je rozpuštěný v půdním roztoku v koncentraci 10 - 20 mg K.l<sup>-1</sup> a je snadno dostupný pro rostliny. V případě vyšší koncentrace může dojít k omezení příjmu ostatních kationtů z důvodu antagonistického působení draslíku.

### 2.5.2. Draslík v rostlině

Draslík rostliny přijímají ve formě kationtu K<sup>+</sup>. Jeho příjem probíhá jak aktivně (při nízké koncentraci draslíku v půdním roztoku) tak pasivně. V případě jeho vysoké koncentrace v půdním roztoku může docházet ke zvýšenému příjmu a hromadění v rostlinných pletivech, což je nazýváno jako „luxusní konzum“. To vede k omezení příjmu dalších kationtů (Na, Mg, Ca). Kromě koncentrace v půdním roztoku je jeho příjem značně ovlivňován půdní vlhkostí, intenzitou slunečního záření a teplotou (Vaněk 2012).

Draslík se vyznačuje vysokou mobilitou v rostlinách na všech úrovních, v rámci jednotlivých buněk, v tkáních i v dálkové dopravě přes xylém a floém. Odběr a transport K<sup>+</sup> do rostliny je usnadněn integrálními membránovými proteiny (transportéry a kationtové kanály), které umožňují jeho pohyb přes plazmatickou membránu. Draslík je nejrozšířenějším kationtem v cytosolu a K<sup>+</sup> a jeho doprovodné anionty významně přispívají k osmotickému potenciálu buněk a tkání. Vzhledem ke svým vysokým koncentracím v cytosolu a chloroplastech vyrovnává náboj rozpustných (např. aniontů

organických kyselin a anorganických aniontů) a nerozpustných aniontů, a tak usnadňuje stabilizaci pH mezi 7 a 8 v rostlině, což je optimální pro většinu enzymových reakcí (Marschner 1995).

### 2.5.3. Nedostatek a nadbytek draslíku v rostlině

Nedostatek draslíku nemá okamžitě za následek viditelné příznaky. Zpočátku dochází pouze ke snížení tempa růstu a teprve později dochází k chlorózám a nekrotickým. Tyto příznaky obvykle začínají ve starších listech, vzhledem k tomu, že tyto listy dodávají mladším  $K^+$ . Podle průzkumů Pissarka (1973) na řepce jsou symptomy deficitu draslíku nejprve pozorovány u 2. a 3. nejstaršího listu. Ve většině rostlinných druhů začíná chloróza a nekróza v okrajích a špičkách listů (kukuřice, obiloviny, ovocné stromy) ale u některých druhů, jako je například jetel, se na listech vyskytují nepravidelné nekrotické skvrny.

Rostliny trpící nedostatkem draslíku vykazují pokles turgoru a pod tlakem vody se snadno stávají ochablé. Odolnost vůči suchu je následně nízká a postižené rostliny vykazují zvýšenou náchylnost k poškození mrazem, napadení plísní a zhoršení růstu v zasolených podmínkách. Abnormální vývoj tkání a buněčných organel je pozorován v  $K^+$  deficientních rostlinách. Nedostatečná nabídka  $K^+$  vedla ke snížení tempa růstu kambia ve stoncích řepky (Pissareck 1973).

Tvorba xylémové a floémové tkáně byla omezena, zatímco kortikální tkáň byla ovlivněna pouze v malém rozsahu. Lignifikace vaskulárních svazků je obecně zhoršena nedostatkem draslíku. Tento efekt pravděpodobně způsobuje, že  $K$  deficientní plodiny jsou náchylnější k poléhání. Nedostatek  $K^+$  má také za následek kolaps chloroplastů a mitochondrií (Kursanov & Vyskrebentzeva 1966). Vývoj kutikuly je značně zpomalen, když je výživa draslíkem nízká.

Výjimečně na místech skladování organických hnojiv (polních hnojišť, silážních jam) a na polích hojně hnojených organickými hnojivy se může projevit nadbytek draslíku. Ten brzdí příjem ostatních kationtů, hlavně sodíku, vápníku a hořčíku a v důsledku toho se můžou projevit příznaky jejich nedostatku. Naopak se zvyšuje příjem aniontů  $Cl^-$  a  $NO_3^-$ . Další projev nadbytečného hnojení draslíkem je plazmolýza buněk, způsobená koncentrací (Vaněk 2012).

#### 2.5.4. Vliv draslíku na zdravotní stav rostlin

Draslík nejenže ovlivňuje produkci plodin tím, že zvyšuje transport asimilátů a syntézu celé řady chemických sloučenin významných pro kvalitu plodin, ale je také velmi důležitý při zvyšování odolnosti mnoha druhů rostlin proti chorobám. V kukuřici jsou například stonková hniloba a poléhání obvykle závažnější, když je obsah K v půdě vzhledem k ostatním živinám nízký (Krüger 1976). Příznivý účinek draslíku při prevenci poléhání kukuřice platí také pro jiné obiloviny (Trolldenier 1969). U pšenice bylo také pozorováno nižší napadení padlím způsobené houbou *Erysiphe graminis* na parcelách ošetřených dodatečným draslíkem (Glynne 1959).

Povaha působení draslíku při kontrole závažnosti chorob rostlin není dosud plně chápána. Může se částečně týkat účinku  $K^+$  na podporu vývoje silnějších vnějších stěn v epidermálních buňkách, čímž se zabrání napadení chorobami (Trolldenier & Zehler 1976). Navíc, jak již bylo naznačeno, metabolismus rostlin je velmi ovlivněn draslíkem. Vzhledem k tomu, že rostliny, které jsou dobře zásobovány draslíkem, mají vyšší energetický stav než rostliny s nižší výživou draslíkem (Peoples & Koch 1979), dobře zásobované rostliny mají větší energii, např. ATP a NADPH pro syntézu fytoalexinů a tím umožňují hostitelské rostlině bránit se proti napadení patogeny (Mengel 2001).

**Tabulka 5: Vliv draslíku na snížení napadení rostlin patogeny**

Plodina	Choroba	Patogen
Cukrová řepa	Hád'átko řepné	<i>Heteodera schachtii</i>
Ječmen obecný	Hnědá skvrnitost	<i>Helminthosporium teres</i>
	Virová žlutá zakrslost obilnin	<i>Barle yellow dwarf virus</i>
Lilek brambor	Měkká hniloba hlíz	<i>Erwinia carotovora</i>
Pšenice setá	Rez	<i>Puccinia graminis</i>
	Padlí	<i>Erysiphe graminis</i>
	Mazlavá sněť	<i>Tilletia</i> spp.

Zdroj: Prabhu et al. 2007

## 2.6 Síra

Pohled na síru se za poslední dekády značně změnil. Ze znečišťujícího a škodlivého prvku ve formě oxidu siřičitého na jeden z hlavních prvků ovlivňující výnos plodin v západní a východní Evropě. Zavedením legislativy ve světě za účelem snížení emisí síry dochází k nedostatku tohoto prvku a nutnosti jím hnojit. Bylo odhadnuto, že za rok 2012 bude potřeba dodat ve formě hnojiv 11 milionů tun síry, aby došlo k pokrytí původního množství síry před odsiřováním (Barker & Pilbeam 2006). V tabulce 6 můžeme sledovat dramatický pokles emisí síry v ČR v 90. letech minulého století.

**Tabulka 6: Měrné emise síry v ČR ze stacionárních zdrojů v kg.ha<sup>-1</sup>**

Region	1990	1995	1999
Hl. m. Praha	424,0	249,5	36,0
Středočeský	89,2	61,1	13,0
Jihočeský	27,5	12,0	7,0
Západočeský	83,6	31,0	16,0
Severočeský	550,1	359,2	58,6
Východočeský	99,7	54,1	14,0
Jihomoravský	41,6	16,0	5,0
Severomoravský	84,6	46,1	19,0

*Zdroj: Richter 2003*

### 2.6.1 Síra v půdě

Celkový obsah síry v půdě může být od velmi malých hodnot až do 2 %. Pro dobrou zásobenost rostliny je vhodný obsah vodorozpustné síry v půdě okolo 20 mg.kg<sup>-1</sup>. Síra se v půdě vyskytuje jak v minerálních, tak organických formách. Z minerálních sloučenin jsou přirozeným zdrojem síry siřník (pyrit, markasit a chalkopyrit) a sírany (sádrovec, anhydrit, baryt). V provzdušněných půdách (aerobních) převládají sírany a v hůře provzdušněných (anaerobních) siřníky. Síra je v půdě nejvíce rozšířená ve formě sádry (hydrát síranu vápenatého), která může rostlinám zajišťovat potřebné množství síry během vegetace. Půdní reakce nemá větší vliv na příjem síry rostlinou. (Richter 2003).

Pro rostlinu má hlavní význam šestivazná síra ve formě síranů (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), která je po přijetí rostlinou redukována a poté zabudována do organických látek (Richter & Hlušek 1994).

Mikkelsen a Camberato (1995) rozdělili síru v půdě do 3 skupin:

- vázaná na organické sloučeniny
- nerozpustné sírany
- rozpustné sírany

Dále uvádí, že největší podíl má síra v organicky vázaných sloučeninách (až 95 % z celkové síry v půdě).

V půdě síra podléhá přeměnám v závislosti na obsahu vzduchu. Mikroorganismy rozkládají organický materiál obsahující síru a vzniká sirovodík ( $H_2S$ ) a menší množství merkaptanů (SH). Pokud jsou v půdě aerobní podmínky, je sirovodík rychle oxidován sirtými bakteriemi na elementární síru a dále až na slabou kyselinu sírovou ( $H_2SO_4$ ). Tento proces přeměny redukované síry se nazývá sulfurikace a je při něm uvolněno značné množství energie (Richter 2003).

## 2.6.2 Síra v rostlině

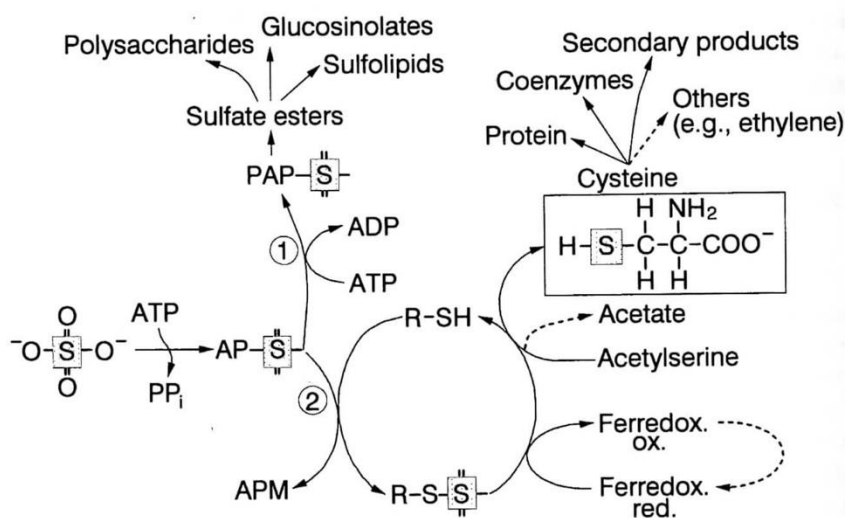
Celkový obsah síry v rostlině se pohybuje mezi 0,2 – 0,5 %, u olejnin je to 1 – 1,7 % (Richter & Hlušek 1994). Všechny rostliny obsahují síru ve formě aminokyselin cysteinu a methioninu, které jsou použity ke stavbě proteinů. Zvířata a lidé nedokáží syntetizovat aminokyseliny obsahující síru přímo ze síranů a proto je pro nás nezbytné přijímat je z rostlin. Síra je také komponentem vitamínů (vitamín B<sub>1</sub> a B<sub>7</sub>) koenzymů (acetylkoenzym A) a organických kyselin (lipoová kyselina) (Barker & Pilbeam 2006). Také obsah oleje v olejnatých rostlinách je velmi silně ovlivněn sírou (Richter & Hlušek 1994).

Síra je v rostlině dobře pohyblivá a je transportována především do mladých listů a do meristematických pletiv. Pokud není využita přímo do organické sloučeniny, je síra v rostlině ukládána ve formě síranů jako zásobní látka. Pomocí obsahu síranu v rostlinách lze stanovovat zásobenost síry. Obsah síry pod 100 mg.kg<sup>-1</sup> v sušině značí nedostatek síry pro rostlinu (Vaněk 2012).

Prvním stupněm pro využití síry v rostlině je reakce kyseliny sírové s ATP. Sulfurylová skupina  $H_2SO_4$  nahrazuje pyrosulfurylovou skupinu, za vzniku adenosinfosulfát a pyrofosfát. Reakce je katalyzována enzymem ATP-sulfuryláza. Sulfurylová skupina adenosinfosulfátu je přenášena na komplex SH nosiče, dále

na acetylserin a přitom je původní SH komplex nosiče regenerován. Acetylserin je štěpen na cystein a acetát. Pro zabudování síranu do organické sloučeniny je zapotřebí energie z ATP. Místem reakce je s největší pravděpodobností mitochondrie (Richter & Hlušek 1994).

**Obrázek 2: Asimilace síranu v rostlinách**



Zdroj: Marschner 1995

Obrázek 2 znázorňuje celý postup redukce síranu až na první stabilní produkt asimilace cystein. Ten dále funguje jako prekurzor pro všechny ostatní organické sloučeniny, které obsahují síru (Marschner 1995).

### 2.6.3 Nedostatek a nadbytek síry v rostlině

Nedostatek síry se v rostlině nejdříve projeví omezením syntézy bílkovin, včetně enzymů. Výrazně je snížena aktivita například nitrátreduktázy. Přijaté nitráty nejsou v dostatečné míře převáděny na amoniak, takže v rostlinách je omezena tvorba prvotních zdrojů organických látek obsahujících dusík a nitrátový dusík se hromadí nevyužit v pletivech rostlin (Vaněk 2012). Jelikož je síra v rostlině málo mobilní, projeví se znaky jejího nedostatku nejdříve na mladých listech, pokud nedostatek přetrvává, objeví se postupně symptomy na všech listech. Deficit se projevuje typickým mramorováním listů a chlorózou. Ta začíná na okrajích listů a postupně se rozšiřuje ke středu. Jediná část listu, která si zachová zelené zbarvení je žilnatina. Možný důvod zachování zeleného zbarvení je redukce mezibuněčného prostoru v okolí žilnatiny,

což vede ke snížení transportních vzdáleností a zvýšení efektivity transportu sulfátů (Barker & Pilbeam 2006).

Vysoký obsah síranů v půdě většinou nepůsobí negativně na rostliny. Vyšší obsah snášejí rostliny poměrně dobře, protože mohou nadbytečné množství síranů ukládat v pletivech bez poškození. Teprve velmi vysoké koncentrace nad 4 000 mg v 1 l půdního roztoku působí depresivně na rostliny (Vaněk 2012). Tudíž poškození rostlin vlivem nadbytku síry v našich podmínkách nebylo pozorováno. Častější mohou být otravy oxidem siřičitým. Poškození vlivem zvýšené koncentrace oxidu siřičitého se u rostlin projeví od lehkých skvrn na špičkách listů až po úplné vyblednutí listů (Richter & Hlušek 1994).

#### 2.6.4 Vliv síry na zdravotní stav rostlin

Po odsíření elektráren bylo pozorováno zvýšení výskytu houbových onemocnění, převážně v oblasti, kde dříve nebyly pozorovány. Hnojení sírou, aplikovaná ve formě síranů do půdy, mělo signifikantní vliv na snížení napadení rostlin houbovými chorobami. Možným vysvětlením pro pokles napadení je uvolňování plynů obsahujících síru, například sirovodíku ( $H_2S$ ), rostlinou, který je pro houby toxický. Pomocí enzymu L-cystein desulfohydrogenázy je cystein rozložen na pyruvát, amoniak a sirovodík, který se pak následně uvolňuje z rostliny a působí fytosanitárně (Barker & Pilbeam 2006).

**Tabulka 7: Vliv síry na snížení napadení rostlin patogeny**

Plodina	Choroba	Patogen
Cukrová řepa	Listová skvrnitost	<i>Ramularia beticola</i>
Pšenice setá	Padlí	<i>Erysiphe graminis</i>
	Rez	<i>Puccinia graminis</i>
Brukev řepka	Bílá hniloba řepky	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
	Alternáriová skvrnitost	<i>Alternaria brassicae</i>

*Zdroj: Haneklaus et al. 2007*



## 2.7 Vápník

### 2.7.1 Vápník v půdě

Vápník je dvojhvalenčný alkalický kationt. Je 5. nejvíce se vyskytující prvek v litosféře a jeho obsah se pohybuje v rozmezí 0,15 – 10 %, v průměru 3,6 %. Převážná část Ca v půdě se vyskytuje v těžko rozpustných sloučeninách, především uhličitanech, síranech, křemičitanech a hlinitokřemičitanech. Jak uvádí Vaněk, dostatečná zásoba vápníku v půdě má velký význam z chemického, fyzikálního i biochemického hlediska (Vaněk 2012).

Je rozšířeným faktem, že půdní koloidy jsou značně ovlivněny přítomností vápníku. Jeho vysoký podíl má za následek tvorbu půdních agregátů a tím i dobré provzdušnění, vsakování vody do půdy a její zádržnost v kapilárních pórech (Rahman & Punja 2007).

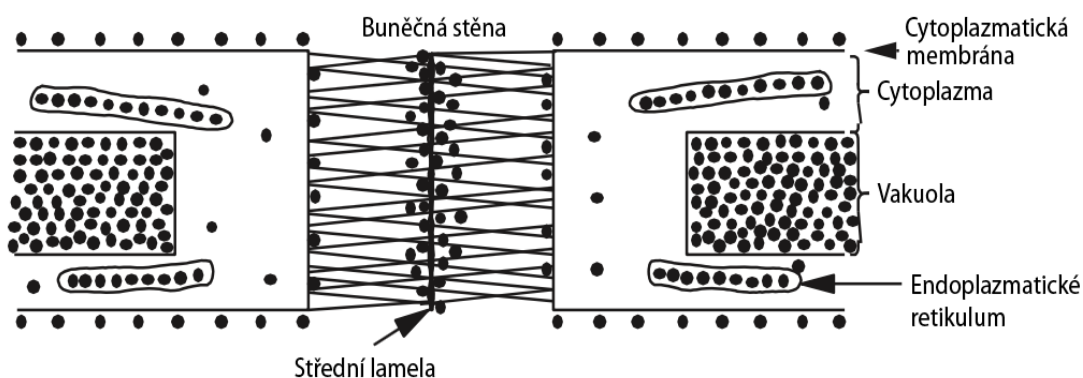
Z pohledu výživy rostlin a půdní úrodnosti je rozhodující obsah výměnného vápníku vázaného na půdní koloidy. Množství tohoto vápníku by se mělo pohybovat v rozmezí 60 – 80 % sorpční kapacity v závislosti na půdním druhu (Vaněk 2012).

### 2.7.2 Vápník v rostlině

Vápník je přijímán ve formě kationtu  $\text{Ca}^{2+}$  z půdního roztoku pasivně přes kořenové špičky. Aktivní příjem a jeho průchod přes buněčné membrány je značně omezen. Pohyb v rostlině je uskutečňován výhradně transpiračním proudem. Jen malé množství Ca je transportováno ve floému. Ve strašících buňkách a pletivech je ukládán ve vakuolách ve formě těžko rozpustných solí, například s oxalátem. Jeho opakovaná reutilizace nebyla zjištěna, proto je potřeba pravidelné zásobování mladých pletiv nově přijímaným vápníkem (Vaněk 2012).

Vápník má v rámci vyšších rostlin několik různých funkcí. Bangerth (1979) uvádí, že tyto funkce lze rozdělit do čtyř hlavních oblastí: efekt na membrány, účinky na buněčné stěny, vliv na enzymy a fytohormony. Ačkoli účinky na enzymy a interakce s fytohormony mohou být stejná činnost.

**Obrázek 3: Rozdělení vápníku v buňce rostliny**



*Zdroj: Marschner 1995*

#### Vliv na membrány

Epstein (1972) zjistil, že membrány se stávají netěsnými, když se rostliny pěstují v nepřítomnosti vápníku a že se ztrácí iontová selektivita. Vápenaté ionty (Ca<sup>2+</sup>) přemost'ují fosfátové a karboxylátové skupiny fosfolipidů a proteinů na membránových površích, což napomáhá udržet membránovou strukturu. Také určitý účinek se vyskytuje ve středu membrány, nejspíše prostřednictvím interakce vápníku a membránových proteinů.

#### Vliv na buněčnou stěnu

Vápník vázaný jako Ca-pektát ve střední lamelle a je nezbytný pro posílení buněčných stěn a rostlinných tkání. Tato funkce Ca se jasně odráží v pozitivním vztahu mezi kapacitou výměny kationtů buněčných stěn a koncentrací Ca v rostlinných tkáních potřebných pro optimální růst. Degradace pektátů je zprostředkována polygalakturonázou, která je silně inhibována vysokými koncentracemi Ca (Wehr et al. 2004). Proto je u Ca-deficientní tkáně zvýšená polygalakturonázová a typickým příznakem deficitu Ca je rozpad buněčných stěn a kolaps postižených tkání, jako jsou řapíky nebo horní části stonků (Marschner 1995).

#### Vliv na enzymy a fytohormony

Podle Rensinga (1980) Ca<sup>2+</sup> neaktivuje mnoho enzymů a jeho koncentrace v cytoplazmě je udržována na nízké úrovni. Tato homeostáza vápníku se dosahuje působením ATPáz vázaných na membránu a vápník, které aktivně čerpají ionty Ca<sup>2+</sup> z cytoplazmy do vakuol, endoplazmatického retikula a mitochondrií. Tento proces

zabraňuje konkurenci s  $Mg^{2+}$ , čímž by se snížila aktivita některých enzymů. Působením  $Ca^{2+}$  dochází k inhibici cytoplazmatických a chloroplastických enzymů, jako je například fosfoenolpyruvát karboxyláza. Zapojení vápníku do působení fytohormonů se jeví jako pravděpodobné, protože růst kořene se zastaví během několika hodin po odstranění vápníku z živného roztoku. Proto lze předpokládat, že vápník je zapojen do buněčného dělení a je spojen s působením auxinů (Barker & Pilbeam 2006).

### 2.7.3 Nedostatek a nadbytek vápníku v rostlině

Vzhledem k vysokému obsahu vápníku v půdě, dochází k projevům nedostatku pouze zřídka a většinou jde jen o latentní formu. Pokud již k nějakým projevům dojde, jedná se především o sníženou tvorbu kořenů, lámání vegetačního vrcholu (především u máku a řepky), vyšším opadem květů a poruch pletiv u plodové zeleniny a ovoce (nekróza vrcholové části plodu rajčete, pihovitost jablek) (Vaněk 2012).

Nedostatek vápníku v půdě se ale projevuje hlavně nepřímo přes půdní vlastnosti. Při nedostatku Ca dojde ke snížení pH, pufrovací schopnosti půdy a zhoršením půdní struktury. To má za následek zvýšení rozpustnosti rizikových prvků, hlavně Al, Fe, Pb a Cd. (Vašák 2010).

### 2.7.4 Vliv vápníku na zdravotní stav rostlin

Vápník je pravděpodobně nejdůležitějším prvkem pro obranyschopnost rostliny před patogeny. Pozitivní efekt přihnojení Ca na zdraví rostlin bylo prokázáno u celé řady rostlin jak ukazuje tabulka č. 8:

**Tabulka 8: Vliv vápníku na snížení napadení rostlin patogeny**

Plodina	Choroba	Patogen
Jabloň	Kruhová hnědá hniloba	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>
Lilek brambor	Měkká hniloba hlíz	<i>Erwinia carotovora</i>
Lilek rajče	Fusariové vadnutí	<i>Fusarium oxysporum</i>
Mák setý	Spála máku	<i>Pythium ultimum</i>
Pšenice setá	Hniloba stébel	<i>Pythium Arrhenomanes</i>
Vinná réva	Padlí	<i>Uncinula necator</i>

*Zdroj: Rahman & Punja 2007*

## 2.8 Hořčík

### 2.8.1 Hořčík v půdě

Koncentrace Mg ve většině půd obecně leží v rozmezí od 0,5 g.kg<sup>-1</sup> pro písčité půdy a 5 g.kg<sup>-1</sup> pro hlíněné půdy. Vyšší hladiny se nacházejí v jílovitých půdách, protože hořčík je přítomen v relativně snadno zvětrávajících železnatohořečnatých minerálech, jako je biotit, hadec a olivín s průměrnými koncentracemi hořčíku od 130 do 240 g Mg.kg<sup>-1</sup> (Dejou 1992). Je také přítomen v sekundárních jílových minerálech včetně chloritu a vermikulitu a při relativně nízkých koncentracích v illitu a smektitech. Významný zdroj hořčíku je v uhličitanových sloučeninách společně s vápníkem. Čistý uhličitan hořečnatý (magnezit, MgCO<sub>3</sub>) se vyskytuje jen vzácně v půdách (Donner & Lynn 1989). V aridních nebo polosuchých oblastech mohou půdy obsahovat velké množství Mg jako MgSO<sub>4</sub>.

### 2.8.2 Hořčík v rostlině

Rostliny přijímají hořčík převážně pasivně jako kationt Mg<sup>2+</sup> a tudíž je příjem značně ovlivňován jeho koncentrací v půdním roztoku. Další faktor ovlivňující jeho příjem je koncentrace draslíku a amonného iontu, které působí jako antagonisté. Množství hořčíku v rostlině se bude lišit pro různé rostlinné orgány, s tendencí k

většímu rozdělení hořčíku v transpiračních orgánech, jako jsou listy a květy, spíše než kořeny. Jeho transport v rostlině je dobrý a reutilizace také. Z tohoto důvodu se nedostatek hořčíku projevuje především na starších listech, kde je odbouráván a převáděn do mladších listů. V rostlinných tkáních je vysoký podíl celkového Mg, často přes 70 %, a je spojen s anorganickými a organickými anionty, jako je malát a citrát. Frakce celkového rostlinného Mg spojeného s chlorofylem je však relativně malá a pouze v řádu 15 až 20 % (Mengel 2001). Další význam má hořčík na enzymatické reakce, aktivuje například fosfakinázy, dehydrogenázy, dekarboxylázy a působí na aktivitu rubisco (Vaněk 2012).

### 2.8.3 Projev nedostatku a nadbytku hořčíku v rostlině

Příznaky nedostatku hořčíku se liší mezi rostlinnými druhy, i když jsou zřejmé některé obecné charakteristiky. Ionty hořčíku jsou pohyblivé v rostlině a nedostatek vždy začíná ve starších listech a pak se přesouvá do mladších listů. Dochází k mezicévnímu žloutnutí nebo chloróze a v extrémních případech k nekróze. (Marschner 1995). Nadbytek hořčíku se u nás prakticky nevyskytuje. Hnojení hořčíkem u nás je velmi omezené, převážně je dodáván při vápnění půdy dolomity nebo dolomitickými vápenci (Vaněk 2012).

### 2.8.4 Vliv hořčíku na zdravotní stav rostlin

Hořčík a jeho role v ochraně rostlin nebyla tak dobře prozkoumána jako u jiných makroprvků a tudíž je jeho efekt prokázán jen v několika málo případech.

**Tabulka 9: Vliv hořčíku na snížení napadení rostlin patogeny**

Plodina	Choroba	Patogen
Mák setý	Plíseň maková	<i>Peronospora arborescens</i>
	Čerň máku	<i>Alternaria</i> spp.
Lilek brambor	Fomová hniloba	<i>Phoma exigua</i>
	Měkká hniloba hlíz	<i>Erwinia carotovora</i>
Brukvovité	Nádorovitost brukvovitých	<i>Plasmodiophora brassicae</i>

*Zdroj: Jones & Huber 2007*

## 2.9 Bor

V roce 1857 dokázali Wittstein A. a Apoiger F. jako první stanovit obsah kyseliny borité v semenech rostlin a objevili tak bor v rostlinách. Ve 20. století Agulhon, Brenchley a Warington v dalších studiích s různými rostlinami potvrzují význam boru v rostlině (Veliký 1968).

### 2.9.1 Bor v půdě

Celkový obsah boru ve většině zemědělských půd je v rozmezí 1 - 467 mg.kg<sup>-1</sup> a v průměru 9 – 85 mg.kg<sup>-1</sup>. Nejvyšší hodnoty boru byly naměřeny v půdách vzniklých z mořských sedimentů. Vysoké rozmezí v obsazích boru je přičítáno různým matečným horninám a typům půd v různých geografických a klimatických oblastech (Barker & Pilbeam 2006). Minerály s vysokým obsahem boru jsou například křemičitany: turmalín (3 - 4 % B), muskovit (1,7 % B), biotit (1,5 % B) a v malých koncentracích některé vápence a dolomity (Ryant 2003).

Evans a Sparks (1983) rozdělili bor v půdě do 3 skupin:

- nerozpustný – vázaný na povrch jílových minerálů a hydroxidů Al a Fe
- vázaný v organické půdní hmotě
- rozpustný v půdním roztoku (volný)

Pro rostlinu je však důležitý obsah rozpuštěného boru v půdním roztoku. Nejčastěji se vyskytuje ve formě nedisociované kyseliny borité. V této formě se obsah boru pohybuje v rozmezí 0,5 – 5 mg.kg<sup>-1</sup> (Barker & Pilbeam 2006). Příjem boru je výrazně ovlivněn vnějšími podmínkami, především vlhkostí. Za sucha se zvyšuje jeho vazba v půdě – zřejmě fixací, takže je omezena jeho rozpustnost a tím i přijatelnost rostlinami. Dalším faktorem ovlivňujícím přijatelnost je půdní reakce. V kyselém prostředí je lépe přijímán než v zásaditém. Při vyšším pH se zřejmě vytvoří vápenitohlinitokřemičitanové sraženiny boru, které jsou málo rozpustné a pro rostlinu nepřijatelné (Vaněk 2012).

### 2.9.2 Bor v rostlině

Bor má v rostlině nezastupitelnou funkci v celé řadě biochemických procesů. Parr a Loughman (1983) uvádí význam boru hlavně pro:

- transport cukrů
- syntézu buněčných stěn
- lignifikaci
- metabolismus karbohydrátů
- metabolismus RNA
- dýchání
- metabolismus kyseliny indolyloctové (IAA)
- metabolismus fenolů
- membrány

V rostlině je bor relativně málo pohyblivý a jeho obsah stoupá od nižších částí do vyšších. Koncentrace v rostlinách je různá, běžně se pohybuje u jednoděložných v hodnotách mezi 2 - 5 mg.kg<sup>-1</sup> a u dvouděložných 22 - 77 mg.kg<sup>-1</sup> (Brown et al. 1999). Podle Vaňka (2012) je ze všech zemědělských plodin obsah boru nejvyšší u rostlin produkující latex. Mezi tyto rostliny patří mák, pryšec a smetánka, obsah boru se zde pohybuje okolo 90 mg.kg<sup>-1</sup>. Takto vysoká hodnota je vysvětlována vysokým množstvím meristematických pletiv, které obsahují bor, potřebných pro tvorbu latexu.

### 2.9.3 Nedostatek a nadbytek boru v rostlině

Kritická hodnota pro obsah boru v sušině je různá pro každou rostlinu. U obilnin se pohybuje okolo 5 mg.kg<sup>-1</sup>, kdežto u dvouděložných v rozmezí 22 - 77 mg.kg<sup>-1</sup> (Richter & Hlušek 1994).

Nedostatek boru se v rostlině projevuje nejrozličnějšími příznaky. V latentní formě se projeví sníženou tvorbou zásobních látek a tím i kvality produkce. Až při výraznějším nedostatku je snížen výnos rostlin. Běžné symptomy se projevují zpomalením růstu vegetačního vrcholu. Mladé listy jsou zakrnělé, tlusté se svinutými okraji. Růstový vrchol s vrcholnými listy odumírají a rostlina krní (Vaněk 2012).

Vysoká koncentrace boru je pro rostliny toxická. Opět je pro každou rostlinu jiná mez toxicity. Platí, že rostliny s vyššími nároky na bor snesou větší koncentrace a naopak. Příznaky se projevují na vrcholových listech, na kterých vzniká žluté zbarvení, okraje nekrotizují a celý list následně zasychá (Richter 2003).

## 2.9.4 Vliv boru na zdravotní stav rostlin

Pro potvrzení přímého efektu boru v ochraně rostliny neexistují relevantní podklady, můžeme ale s jistotou říci, že hlavní vliv boru na zdraví rostlin je přes jeho role v metabolismu ligninů a fenolů, které jsou úzce spjaté s obranyschopností rostliny před patogeny. Dále je bor jako strukturální komponent buněčné stěny nenahraditelný a tvoří s ní základní prvek obrany rostliny proti průniku patogenů (Stangoulis & Graham 2007).

**Tabulka 10: Vliv boru na snížení napadení rostlin patogeny**

Plodina	Choroba	Patogen
Květák	Nádorovitost brukvovitých	<i>Plasmodiophora brassicae</i>
Lilek brambor	Rakovina bramboru	<i>Synchytrium endobioticum</i>
Pšenice setá	Rez	<i>Puccinia striiformis</i>
Brukev řepka	Fomové černání stonků	<i>Leptosphaeria maculans</i>

*Zdroj: Stangoulis & Graham 2007*

## 2.10 Molybden

Molybden byl objeven roku 1778 Švédským chemikem Carlem Wilhelmem Scheelem. Avšak jeho důležitost pro rostliny byla poprvé pozorována až v roce 1939 Arnonem a Soutem v pokusech na salátu a chřestu (Barker & Pilbeam 2006).

### 2.10.1 Molybden v půdě

V půdě je obsažen v minerálech (molybdenit, olivín), oxidech a ve vazbě na organickou hmotu (Richter 2003). Celkový obsah molybdenu v půdě závisí na typu půdy a zeměpisné oblasti. Půda nejčastěji obsahuje 0,013 až 17 mg.kg<sup>-1</sup> celkového molybdenu. Avšak na půdách vzniklých z organicky bohatých jílovitých břidlic může být koncentrace až 300 mg.kg<sup>-1</sup> (Barker & Pilbeam 2006).

Nejběžnější forma molybdenu v půdě je MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, ale na půdách s pH nižším než 5 se může vyskytovat v nedisociovaných formách HMoO<sub>4</sub><sup>-</sup> a H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> (Kabata & Pendias



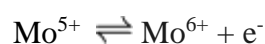
2001). Rozhodující je tedy pro příjem molybdenu pH. S každým zvýšením o 1 bod se zvýší koncentrace rozpuštěného molybdenu stonásobně (Barker & Pilbeam 2006).

### 2.10.2 Molybden v rostlině

Molybden potřebují rostliny v malém množství. Běžně je v sušině rostlin obsaženo okolo 0,5 mg.kg<sup>-1</sup>, což většině rostlin plně stačí ke krytí fyziologických požadavků. Rostlina přijímá molybden rozpuštěný v roztoku ve formě MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup> a hlavními faktory ovlivňující příjem je alkalické pH půdy a přítomnost fosforu (Vaněk, 2012). Hnojení fosforem často uvolňuje vázaný molybden z půdy do půdního roztoku a ten se pak stává přijatelný pro rostliny (Xie & Mackenzie 1991). Fosfor také vytváří s molybdenem fosfomolybdenový komplex, který rostliny velmi ochotně absorbují (Barshad 1951). Richter a Hlušek (1994) jako další faktor uvádí přítomnost síranových iontů v půdním roztoku, které inhibují příjem molybdenu rostlinou.

Molybden vstupuje do rostliny jak kořeny, tak nadzemní částí v případě foliární výživy. Na delší vzdálenosti je snadno transportován floémem i xylémem (Kannan 1978). V jaké formě je přenášen v rostlině není známo, ale z chemického hlediska je jeho pravděpodobnější transport ve formě MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup> než v komplexních sloučeninách (Marschner 1995). Na rozdíl od ostatních mikroživin může být molybden přijímán ve vysokém množství, aniž by měl toxický vliv na vývoj a růst rostlin. Při vyšší koncentraci je molybden ukládán do vakuol (Richter & Hlušek 1994). Obsah molybdenu v jednotlivých částech rostliny je u každé plodiny jiný, ale obecně bývá koncentrace nejvyšší v semenech (Marschner 1995).

Molybden je nepostradatelný pro většinu organismů a vyskytuje se ve více než 60 enzymech katalyzující oxidačně-reduční reakce (Mendel 1999). Mezi hlavní enzymy, které by se bez molybdenu neobešly, patří nitrogenáza, nitrátoreduktáza, xantindehydrogenáza, aldehydoxidáza nebo sulfidoxidáza. Díky svému zapojení do procesu fixace vzdušného dusíku a redukce nitrátu na amoniak má molybden nepostradatelnou roli v metabolismu dusíku v rostlinách (Srivastava 1997). Jeho hlavní význam je ve schopnosti měnit oxidační číslo, neboli schopnost přijímat a vzdávat se elektronů (Marschner 1995).



Příjem molybdenu je také ovlivněn formou výživy dusíku. Při nitratové výživě rostlina přijímá více molybdenu než při amoniakální (Agarwala & Hewit 1954). Zajímavé jsou i účinky molybdenu v interakci s těžkými kovy. Molybden snížil toxicitu manganu, zinku, kobaltu, mědi, niklu a hliníku. Není jisté, zda dochází k přímé iontové výměně, nebo o detoxikaci nadbytečných kovových iontů tvorbou komplexních vazeb s oxidy molybdenu (Richter & Hlušek 1994).

### 2.10.3 Nedostatek a nadbytek molybdenu v rostlině

V závislosti na druhu rostliny a formě hnojení dusíkem je kritické množství nedostatku molybdenu různé, obvykle je toto množství okolo  $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$  sušiny. Symptomy nedostatku molybdenu jsou velmi časté u rostlin pěstované na kyselých půdách, z důvodů nízké koncentrace rozpuštěného molybdenu v půdním roztoku, a enormně hnojených nitratovou formou dusíku (Barker & Pilbeam 2006).

Jelikož je molybden vysoce pohyblivý v rostlině, je jeho deficit viditelný v celé nadzemní části. Tyto symptomy jsou téměř totožné jako nedostatek dusíku, z důvodu nutné přítomnosti molybdenových enzymů v nitrátoreduktáze a nitrogenáze. Typický je zakrnělý růst a chlorózy na mladých listech. U dvouděložných rostlin je dalším znakem drastické snížení plochy listu, způsobené nekrotizací pletiva a nedostatečným vyvinutím cévních svazků v počátečních fázích vývoje listu (Barker & Pilbeam 2006). Vysoké nároky na molybden mají brukvovité rostliny, zejména květák a kapusta. Typickým symptomem je stáčení listů do lžičkovitého tvaru a u kvěťáku vyslepnutí srdéčka, načež rostlina nevytváří zdužnatělé květenství (Vaněk 2012).

Rostliny díky své schopnosti ukládat nadbytečný molybden do vakuol nejsou citlivé na zvýšený obsah tohoto prvku. Toxická hodnota je u každého druhu jiná, například u ječmene se pohybuje okolo  $135 \text{ mg.kg}^{-1}$  sušiny, kdežto květák ani při obsahu  $600 \text{ mg.kg}^{-1}$  molybdenu v sušině nevykazuje známky toxicity (Barker a Pilbeam 2006). Ta se projevuje deformací listů, žlutavým zbarvením a inhibicí růstu kořenů a rostlinného vrcholu (Kevresan et al. 2001). Vysoký obsah molybdenu v rostlinách ale může způsobovat problémy ve výživě zvířat. Už koncentrace vyšší jak  $10 \text{ mg.kg}^{-1}$  v sušině způsobuje molybdenovou podagru u přežvýkavců (Marschner 1995). Molybden v bachoru skotu reaguje se sírou za vzniku thiomolybdenového komplexu, který inhibuje metabolismus mědi v těle zvířete (Stark & Redente 1990).

## 2.11 Zinek

V roce 1869 Raulin prokázal důležitost zinku pro některé druhy hub a předpokládal zásadní význam tohoto prvku i pro vyšší rostliny. Jeho domněnku potvrdili Sommer a Lipman během pokusů na ječmeni a slunečnici (Barker & Pilbeam 2006).

### 2.11.1 Zinek v půdě

Jeho koncentrace v půdě je 10 – 300 mg.kg<sup>-1</sup>, je obsažen v křemičitanech, uhličitaněch, hydroxidech a silně kumuluje se v organické hmotě (Richter 2003).

Dle Shumana (1991) se zinek v půdě vyskytuje v 5 formách:

- v půdním roztoku
- sorbovaný a výměnný
- zabudovaný v organických sloučeninách
- ve sloučeninách oxidů a uhličitánů
- v primárních minerálech a sekundárních hlinito-křemičitých minerálech

Na množství přijatelného zinku pro rostliny mají hlavní vliv pH a fosfor. Tabulka 11 zobrazuje vliv těchto faktorů na příjem zinku kukuřicí.

**Tabulka 11: Vliv zvýšené nabídky fosforu na příjem zinku kukuřicí**

pH	Obsah P v živném roztoku (ppm)	Přijato Zn (mg)
5,2	80	98,9
	160	90
6,4	80	56,6
	160	16,5

*Zdroj: Vaněk 2012*

Z tabulky je patrný negativní vliv rostoucího pH a zvýšená koncentrace fosforu na příjem zinku. Zvýšené množství fosforu v půdním roztoku reaguje s přijatelným zinkem za vzniku nerozpustného fosforečnanu zinečnatého a zabrání tak sorpci zinku do rostliny (Marschner 1995).

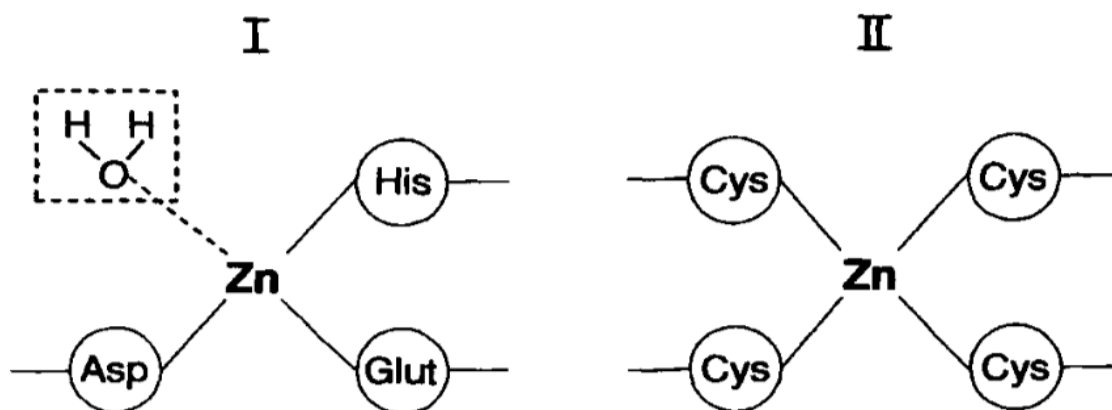
## 2.11.2 Zinek v rostlině

Zinek je přijímán rozpuštěný, převážně ve formě  $Zn^{2+}$ . Za vyššího pH může být přijat i jako kationt  $ZnOH^+$  (Barker & Pilbeam 2006). Forma, ve které je zinek translokován z kořenů do nadzemní části rostliny, není známá. Zinek byl stanoven v xylémovém exudátu dekapitovaných rostlin rajčat a v sóji. Pohyb zinku je však velmi pomalý. Ve starých listech je zinek imobilní, to je vysvětlováno jeho reakcí s fosforem za vzniku sraženiny tetrahydrátu fosforečnanu zinečnatého ( $Zn_3(PO_4)_2$ ) (Richter & Hlušek 1994). Vyšší obsah fosforu v rostlině má tedy vliv na transport zinku. Proto je důležitý poměr fosforu a zinku v rostlině, za normální je například u kukuřice považován poměr P/Zn (obsah obou prvků v  $mg.kg^{-1}$ ) 50 - 200 (Vaněk 2012). Optimální obsah zinku je 20 – 100  $mg.kg^{-1}$  v sušině (Richter & Hlušek 1994).

Vliv na metabolismus je dán silnou tendencí formovat čtyřvazné komplexy s dusíkem, kyslíkem, příležitostně také s ligandy síry a hraje tak významnou roli v enzymatických reakcích (Vallee & Auld 1990).

Je celá řada enzymů, ve kterých je zinek nedílnou součástí. V těchto enzimech má zinek tři funkce: katalytickou, kokatalytickou nebo strukturální (Valee & Auld 1990). V enzimech s katalytickou funkcí (anhydráza oxidu uhličitého) je zinek vázán na 4 ligandy (model I). Tři jsou aminokyseliny, nejčastěji histidin, následován glutaminem a asparaginem. Čtvrtým ligandem je molekula vody. Pokud plní zinek strukturální funkci (alkohol dehydrogenáza), tak je koordinován do velmi stabilní S-skupiny se čtyřmi cysteiny (model II) (Coleman 1992).

Obrázek 4: Schéma vázaného zinku v enzimech



Zdroj: Marschner 1995

### 2.11.3 Nedostatek a nadbytek zinku v rostlině

Nedostatek zinku je častější na zvětralých, kyselých půdách a půdách obsahujících uhličitanu (Trehan & Sekhon 1977). Prvotními znaky nedostatku zinku v rostlině je snížená biosyntéza chlorofylu a auxinu. Při deficitu může obsah auxinu klesnout až na 50 % normální hodnoty (Veliký 1964). Typický je zakrslý růst z důvodu zkrácení internod a drastické zmenšení velikostí nových listů. Dalším znakem je odumírání vegetačního vrcholu (Boardman & McGuire 1990). Dále se na listech mezi žilnatinami vytvářejí světlé až bílé skvrny. V chlorotických pásech se objevují červenohnědé nekrotické skvrny, které se zvětšují a listy následně odumírají (Vaněk 2012). Deficitní hodnota je pro každý druh rozdílná, obvykle se pohybuje pod 15 mg.kg<sup>-1</sup> (Richter & Hlušek 1994).

Toxické působení zinku není v přirozených podmínkách běžné. Taková situace může nastat v průmyslových oblastech s nadměrným hnojením odpady obsahujících zinek (Boardman & McGuire 1990). Častým projevem toxicity je chloróza u mladých listů, jelikož nadbytek zinku působí negativně na příjem železa a hořčíku. Toxicita opět závisí na rostlinném druhu, tato hodnota se pohybuje od 100 mg.kg<sup>-1</sup> výše (Marschner 1995). U tolerantních druhů je zinek přesunut z cytoplasmy do vakuoly, kdežto u netolerantních druhů zůstává v cytoplasmě, kde působí toxicky. Pozorována byla pozitivní korelace mezi obsahem organických kyselin (kys. jablečná, kys. citronová) a tolerancí na vyšší obsahy zinku v rostlině (Barker & Pilbeam 2006).

**Tabulka 12: Vliv zinku na snížení napadení rostlin patogeny**

Plodina	Choroba	Patogen
Kukuřice setá	Snětivost kukuřice	<i>Ustilago maydis</i>
Pšenice setá	Černání kořenů a bází stébel	<i>Gaeumannomyces graminis</i>
	Fusarióza klasů	<i>Fusarium graminearum</i>
Tolice vojtěška	Obecná skvrnitost	<i>Pseudopeziza medicaginis</i>

*Zdroj: Duffy 2007*

## 2.12 Křemík

Křemík je v pořadí druhý nejčastěji se vyskytující prvek v půdě po kyslíku a vyskytuje se téměř ve všech minerálech. Prameny uvádí přibližně 28% zastoupení křemíku v litosféře (Elawad & Green 1979).

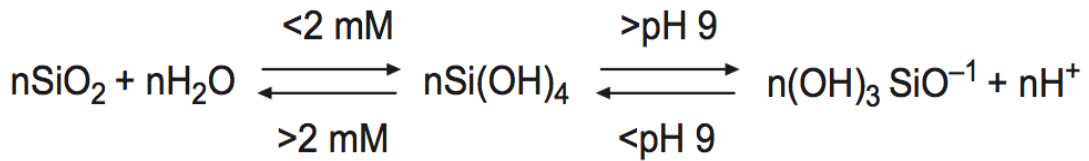
Příznivý efekt hnojení křemíkem byl prokázán u řady plodin, například rýže, kukuřice, pšenice, ječmene a cukrové třtiny. Hnojení křemíkem má dvojitý efekt na rostlinu. Za prvé posiluje schopnost rostlin bránit se proti houbovým chorobám, škůdcům a stresovým vlivům způsobené klimatickými podmínkami. Za druhé hnojení křemíkem do půdy zlepšuje fyzikálně-chemické parametry půdy, zadržnost vody a tím i celkovou půdní úrodnost (Barker 2007).

### 2.12.1 Křemík v půdě

Půdy obvykle obsahují 50 až 400 g Si.kg<sup>-1</sup> půdy. Sloučeniny zeminy a křemíku jsou obvykle přítomny jako SiO<sub>2</sub> nebo různé aluminosilikáty. Křemen, spolu s krystalickými formami křemičitanů (plagioklasy, orthoclasy a živce), nebo minerály bohaté na a křemíky (kaolin, vermikulit a smektit) a amorfními oxid křemičitý jsou hlavními složkami většiny půd. Tyto formy křemíku jsou jen málo rozpustné a obvykle biogeochemicky inertní. Kyselina křemičitá a její polymery jsou hlavními rozpustnými formami křemíku v půdě (Orlov 1985).

V půdním roztoku při pH nižším než 9,0 je převažující formou kyselina křemičitá, H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> s rozpustností ve vodě (při 25 °C) ~ 2mM (ekvivalentní 56 mg Si.L<sup>-1</sup>) Koncentrace v půdním roztoku je v průměru 14 až 20 mg Si.L<sup>-1</sup> (s rozsahem 3,5 až 40 mg) se sklonem k nižším koncentracím při vysokém pH >7) a při velkém množství seskvioxidů v půdách a dominantní adsorpcí aniontů (Jones & Handreck 1965). Tyto podmínky jsou velmi rozšířené ve vysoce zvětralých tropických půdách. Koncentrace Si ve vodných roztocích vyšších než 56 mg Si.L<sup>-1</sup> ukazují buď přesycení H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> nebo částečnou polymeraci kyseliny. (Marschner 1995)

**Obrázek 5: Formy Si v půdě v závislosti na pH**



*Zdroj: Marschner 1995*

### 2.12.2. Křemík v rostlině

Rostliny absorbují křemík z půdního roztoku ve formě kyseliny křemičité. Největší množství Si přijímají cukrová třtina (300-700 kg Si.ha<sup>-1</sup>), rýže (150-300 kg Si.ha<sup>-1</sup>) a pšenice (50-150 kg Si.ha<sup>-1</sup>). Rostliny absorbují nejčastěji od 50 do 200 kg Si.ha<sup>-1</sup>. Takové hodnoty absorbovaného křemíku nelze plně vysvětlit pasivní absorpcí (např. difúzí nebo hmotnostním tokem), protože horní 20cm půdní vrstva obsahuje pouze průměrně 0,1 až 1,6 kg Si.ha<sup>-1</sup> jako kyselina křemičítá. U rostlin s vyšším příjmem křemíku byl zjištěn aktivní příjem pomocí proteinů (rýže, kukuřice, ječmen) (Marschner 1995).

**Tabulka 13: Koncentrace křemíku v rostlině**

Plodina	Koncentrace Si v mg.g <sup>-1</sup> v suché hmotě
Rýže	39,1
Pšenice setá	15,4
Dýně	13,4
Okurka	22,9
Kukuřice setá	21

*Zdroj: Marschner 1995*

Přeprava Si probíhá pouze v xylému, distribuce v rostlině je tedy závislá na rychlostech transpirace různých částí rostlin, a proto jsou koncentrace Si obecně vyšší ve starších listech. Křemík se vyskytuje v xylemové míze jako kyselina křemičítá (Jones & Handreck 1965) a je uložen ve vnějších epidermálních buňkách jako amorfni oxid křemičitý nebo jako opálové fytolity s definovanými trojrozměrnými tvary. Křemík může být úzce spojen s matricí buněčné stěny jako kovalentně vázaný Si v pektinech (Barker & Pilbeam 2006). Podle Weissa a Herzoga (1978) kyselina křemičítá reaguje

analogicky s kyselinou boritou s o-fenoly, jako je kyselina kávová, která je prekurzorem biosyntézy ligninu, za vzniku mono-, di- nebo polymerních komplexů Si. Křemík proto může hrát zásadní roli při syntéze ligninu. Tento názor je podpořen zjištěními Jonese et al. (1978), kteří zjistili, že nepřítomnost Si v kořenových buňkách má za následek snížení podílu ligninu a zvýšení fenolů.

Křemík může hrát významnou roli v účincích hliníku na biologické systémy. Hlavní mechanismus účinku křemíku na toxicitu hliníku je pravděpodobně spojen stvořením netoxických komplexů hydroxyaluminosilikátů (Exley & Birchall 1993).

Anion kyseliny křemičité může nahradit fosfátový aniont  $\text{HPO}_4^{2-}$  z fosfátů vápníku, hořčíku, hliníku a železa. Křemík může nahradit fosfát z molekul DNA a RNA. Výsledkem je, že za zvýšení stability molekul DNA a RNA je zodpovědná správná křemíková výživa.

Bylo také prokázáno, že křemík má za následek vyšší koncentrace chlorofylu na jednotku plochy listů. To může znamenat, že rostlina může efektivněji využívat jak nižší, tak vyšší úroveň světla pro fotosyntézu. Kromě toho, doplňkové hladiny rozpustného křemíku jsou zodpovědné za produkci vyšších koncentrací enzymu ribulóza bifosfát karboxylázy v listové tkáni. Tento enzym reguluje metabolismus  $\text{CO}_2$  a podporuje účinnější využití  $\text{CO}_2$  rostlinami (Barker & Pilbeam 2006).

### 2.12.3 Vliv křemíku na zdravotní stav rostlin

Bylo zjištěno, že křemík potlačuje mnoho chorob rostlin a napadení hmyzem. Vliv křemíku na odolnost rostlin vůči škůdcům je považován za důsledek akumulace absorbovaného křemíku v epidermální tkáni nebo exprese reakcí hostitelovy obrany vyvolaných patogeny. Nahromaděná kyselina křemičítá polymeruje na kyselinu polykřemičitou a následně se transformuje na amorfní oxid křemičitý, který tvoří zhuštěnou silikono-celulózovou membránu a který může být spojen s pektinem a ionty vápníku (Hodson & Sangster 1988). Tímto způsobem chrání a mechanicky zpevní rostliny dvojitá kutikulární vrstva. Křemík může také tvořit komplexy s organickými sloučeninami v buněčných stěnách epidermálních buněk, čímž se zvyšuje jejich odolnost vůči degradaci enzymy uvolňovanými hubovými chorobami. Křemík může být spojen s komplexy ligninu a sacharidů v buněčné stěně epidermálních buněk rýže (Barker & Pilbeam 2006).



**Tabulka 14: Vliv křemíku na snížení napadení rostlin patogeny**

Plodina	Choroba	Patogen
Dýně	Padlí	<i>Sphaerotheca xanthii</i>
Hrách	Hnědá strupovitost hrachu	<i>Mycosphaerella pinodes</i>
Ječmen obecný	Černě obilnin	<i>Alternaria</i> spp.
	Padlí travní	<i>Blummeria graminis</i>
Kukuřice setá	Hniloba stébel	<i>Pythium aphanidermatum</i> , <i>Fusarium moniliforme</i>
	Sněť kukuřičná	<i>Ustilago maydis</i>
Lilek rajče	Fusariové vadnutí	<i>Fusarium</i> spp.
	Bakteriální vadnutí	<i>Ralstonia Solanacearum</i>
Pšenice setá	Černě obilnin	<i>Alternaria</i> spp.
	Septoriová skvrnitost	<i>Septoria nodorum</i>
	Rzivost pšenice	<i>Puccinia recondita</i>
	Stéblolam	<i>Oculimacula yallundae</i>
	Tmavohnědá skvrnitost	<i>Phaeosphaeria nodorum</i>
Vinná réva	Padlí	<i>Uncinula Necator</i>

*Zdroj: Datnoff et al. 2007*

### 3 Cíl práce

Diplomová práce je příspěvkem ke studiu vlivu vybraných prvků na kvantitativní a kvalitativní parametry máku setého. Řešení této studie vychází z jednoletého maloparcelkového pokusu založeného ve Výzkumné stanici Červený Újezd a jednoletého poloprovozního pokusu na zemědělském podniku Nouza s.r.o. v Dolní Pěně.

Pozorované parametry jsou:

Výnos semen

Hmotnost tisíce semen

Počet makovic m<sup>2</sup>

Hmotnost semen v makovici a hmotnost makovic

Zdravotní stav porostů v poloprovozním pokusu

Hypotézy

Listová hnojiva s obsahem S a Si příznivě ovlivňují zdravotní stav rostlin máku.

Listová hnojiva aplikovaná na rostliny máku průkazně zvyšují výnos semen.

#### 3.1 Materiál a metodika

Přesný maloparcelkový pokus byl proveden v roce 2015 ve výzkumné stanici FAPPZ ČZU v Červeném Újezdě, nacházející se v okrese Praha – západ, přibližně 25 km od Prahy. Zeměpisné údaje: 50°04' severní šířky, 14°10' východní délky a nadmořská výška 398 m n. m.

Poloprovozní pokus byl proveden v roce 2017 na zemědělské farmě Nouza s.r.o. v Dolní Pěně 5 km jižně od Jindřichova Hradce. Zeměpisné údaje: 49°6' severní šířky, 15°1' východní délky a nadmořská výška 473 m n. m.

### 3.1.1 Charakteristické údaje o pokusné lokalitě

#### Červený Újezd

##### Půdní charakteristika

Rovinatý charakter terénu s mělkými mikrodepresemi podmiňuje dobrý zásak srážkových vod a tím i uplatnění illimerizačního procesu. Jeho vlivem se na území obvodu vytvořily půdy hnědozemního typu, u kterých dochází k vyluhování svrchních půdních horizontů a posunu koloidních částic do spodiny.

Půdotvorným substrátem (80 - 120 cm) je spraš a sprašový pokryv s velmi dobrou vododržností, dobrou vnitřní drenáží. Na opukách v důsledku větší štěrkovitosti a tím rychlého zásaku se projevuje vyšší vysýchavost v půdním profilu.

Zájmové území je tvořeno opukami křídového stáří, překryto sprašemi a sprašovitými pokryvy pleistocenními. Opuky jsou vápnité se štěrkovitým rozpadem. Spraše a nevápnité sprašové pokryvy jsou převažujícím půdním substrátem tvořícím hnědozem, méně hnědozem luvickou, černozem hnědozemní (při slabší illimerizaci) popř. černozem luvickou (při silnější illimerizaci) a hnědozemě pseudoglejové.

Ornice je šedohnědá, hlinitá, s drobtovitou strukturou. Její hloubka je od 28 do 35 cm a má střední až silné prokořenění a biologickou činnost. Podorniční horizont (50 – 70 cm) je hnědý až rezavý, hlinitý s příměsí opuky. Prokořenění a biologická aktivita je střední.

Na pokusných plochách převažuje BPEJ 4.10.00.

Po stránce zrnitostního složení se jedná o půdy středně těžké. Objemová hmotnost činí přibližně  $1,4 \text{ t.m}^{-3}$ , 7 % skeletu.

Půda má střední až vysokou sorpční kapacitu, sorpční komplex je plně nasycen. Půdní reakce je neutrální, obsah humusu střední. Obsah P a K je střední až dobrý. Průměrné obsahy N<sub>min</sub> v předjaří činí 15,7-29,1 ppm.

## Povětrnostní podmínky

Leden byl téměř bez mrazů, ve středních polohách bylo sněhu kolem 5 cm. Tzv. řepková zima (promrzlá půda) byla velmi krátká (27.12. až 10.1.15 a 7.2.-9.2.), nejvýše 16 dnů. V r. 2013/14 panovala mezi 24.1.-9.2.14, tedy 15 dnů. Jarní práce na Slánsku začaly 26.2.2015. Brzy se i selo a hnojilo prvním dusíkem (někdy i před 15.2.15), nejčastěji od přelomu února a března a poloviny března. Zima byla v oblastech se zemědělstvím obecně bez sněhu, nebo ho bylo jen 5-15 cm.

Od 16.3. 15 přišlo velké ochlazení (noc -3 °C, den +12 až +15 °C), které se jen málo zmírnilo do konce března, kdy na konci měsíce a počátkem dubna (i na Velikonoce 5. - 6.4.) až do 9.4. 15 bylo i ve středních polohách až 20 cm sněhu (v průměru jen 5-10 cm). Po zbývající část dubna byly časté noční mrazíky a už nastávalo sucho. Teprve po 26.4. 15 se oteplilo a mírně (v sumě cca 25 mm) napršelo. Od 3.5. 15 začalo teplo a bylo velké sucho. Květen byl vegetačně teplejší (den i nad 20 °C, noc pod 10 °C) s chladnými nocemi, s málo dešti. Červen již byl teplý nad 25 °C, mimo 3. dekádu bez významnějších dešťů.

Celý červenec, srpen a září 2015 se dají charakterizovat jako extrémně suché, mezi 27.7. až 16.8. i jako mimořádně horké (+32 až +39 °C). Je sice skutečností, že mezi 16.8. až 25.8. 15 přišly dost vydatné deště (v sumě i 70 mm), ale protože zem byla vyprahlá a tepla pokračovala, velké sucho zůstalo.

Dlouhodobé klimatické průměry a průběh počasí v roce 2015 v Červením Újezdu zobrazuje tabulka 32 v příloze.

## Použitá agrotechnika

Předplodina: ozimá pšenice

12.11. 2014 orba

18.3. 2015 příprava půdy (1 přejezd smyk + brány)

19.3. 2015 hnojení před setím 50 kg.ha<sup>-1</sup> N DASA

19.3. 2014 setí mák 1,5 kg.ha<sup>-1</sup> Major mořeno M Sunagreen + Enviseed

29.3. 2015 postřik Callisto 480 SC 0,25 l.ha<sup>-1</sup> + Command 36 SC 0,15 l.ha<sup>-1</sup>

15.5. 2015 hnojení 55 kg N LAD

16.5. 2015 Targa Super 5 EC 2,5 l.ha<sup>-1</sup> + Cyperkill 0,1 l.ha<sup>-1</sup>

22.5. 2015 aplikace testovaných variant BBCH 16

4.6. 2015 aplikace testovaných variant BBCH 39

12.6. 2015 Laudis OD 1,8 l.ha<sup>-1</sup> + Starane 250 EC 0,3 l.ha<sup>-1</sup> TM

18.6. 2015 aplikace testovaných variant BBCH 59

14.8. 2015 odběr makovic

14.8. 2015 sklizeň parcelní sklízecí mlátičkou Wintersteiger Classic, následně posklizňové rozборы v průběhu měsíce října na Výzkumné stanici v Červeném Újezdu

Použité přípravky

CARBON S -Listové hnojivo na bázi uhlíku s obsahem elementární síry.

S 200 g.l<sup>-1</sup> + C 12,5 g.l<sup>-1</sup>; pH 7-9

CARBON Zn - Listové hnojivo na bázi uhlíku se zinkem v síranové formě.

Zn 150 g.l<sup>-1</sup> + C 75 g.l<sup>-1</sup>; pH 3

CARBONBOR 200 - Listové hnojivo na bázi boru navázaným na uhlík.

B 200 g.l<sup>-1</sup> + C 90 g.l<sup>-1</sup>; pH 7-9

CARBON Mo - Listové hnojivo na bázi uhlíku a dimolybdenu amonného.

Mo 60 g.l<sup>-1</sup> + C 48 g.l<sup>-1</sup>; pH 4-6,5

Dolní Pěna

Půdní charakteristika

Pozemky na kterých hospodaří společnost Nouza s.r.o. spadají do bramborářské výrobní oblasti. BPEJ pokusného půdního bloku je 7.32.14, tudíž se jedná o produkčně málo významné kambizemě na mírných svazích s obsahem skeletu 25 – 50 %.

Dle posledních rozborů AZP provedených v roce 2011 není výživový stav zvlášť dobrý. Obsahy přijatelných živin jsou následující: fosfor 65 mg.kg<sup>-1</sup>, draslík 208 mg.kg<sup>-1</sup>, hořčík 88 mg.kg<sup>-1</sup> a vápník 779. Hodnota pH je 4,6, tudíž půdu můžeme považovat za velmi kyselou. Takto nízká hodnota pH má velký vliv na přijatelnost jednotlivých živin pro rostlinu. Orniční profil je mělký až středně hluboký. Obsah humusových látek se pohybuje v rozmezí 2 – 3 %.

## Povětrnostní podmínky

Nadmořská výška pozemků je od 470 do 570 m n. m. Průměrná roční teplota je okolo 6-7 °C, suma teplot nad 10 °C je 2200 – 2400 a průměrný roční úhrn srážek je přibližně 650-750 mm. Pravděpodobnost suchých vegetačních období je nízká (5 – 15 %). Podle informací od Petra Nouzy je situace zcela rozdílná. Pozemky jsou často velmi silně postiženy suchem a srážky za vegetaci nemusí dosahovat ani 200 mm.

Dlouhodobé klimatické průměry a průběh počasí v roce 2017 z meteorologické stanice Děbolín (10 km od Dolní Pěny) zobrazuje tabulka 33 v příloze.

## Použitá agrotechnika

Předplodina: ozimá pšenice

11.10. 2016 hnojení Kamex 200 kg.ha<sup>-1</sup>

18.3. 2017 Roundup bioaktiv 2 l.ha<sup>-1</sup>

14.4. 2017 výsev máku odrůdy Onyx 2,5 kg/ha

25.4. 2017 Nurelle D 0,6 l.ha<sup>-1</sup>

2.5. 2017 Dithane DG 2 kg.ha<sup>-1</sup>

3.5. 2017 aplikace močoviny 120 kg.ha<sup>-1</sup>

5.5. 2017 Laudis WG 1,7 l.ha<sup>-1</sup> + Starane 250 SC 0,3 l.ha<sup>-1</sup>

8.5. 2017 Fusilade forte 1 l.ha<sup>-1</sup>

26.5. 2017 aplikace testovaných variant BBCH 16

8.6. 2017 aplikace testovaných variant BBCH 39

15.6. 2017 Caramba 1 l.ha<sup>-1</sup> na variantách s fungicidem

8.8. 2017 sklizeň pokusů a odběr makovic, následné posklizňové rozbory v průběhu měsíce listopadu na Výzkumné stanici v Červeném Újezdu

### Použité přípravky

FUMAG 6NK – Zn – Listové hnojivo na bázi vysokého pH s obsahem hořčíku, dusíku, draslíku a zinku.

$\text{MgO } 120 \text{ g.kg}^{-1} + \text{N } 60 \text{ g.kg}^{-1} + \text{K}_2\text{O } 60 \text{ g.kg}^{-1} + \text{Zn } 100 \text{ g.kg}^{-1}$ ; pH 9,5 – 13,5

FUMAG NK – Ca - Listové hnojivo na bázi vysokého pH s obsahem hořčíku, dusíku, draslíku a vápníku.

$\text{MgO } 120 \text{ g.kg}^{-1} + \text{N } 120 \text{ g.kg}^{-1} + \text{K}_2\text{O } 60 \text{ g.kg}^{-1} + \text{CaO } 50 \text{ g.kg}^{-1}$ ; pH 8,5 – 10,5

SULFIKA SB – C – Listové hnojivo na bázi elementární síry, boru a uhlíku.

$\text{S } 350 \text{ g.kg}^{-1} + \text{B } 50 \text{ g.kg}^{-1} + \text{C } 25 \text{ g.kg}^{-1}$ ; pH 7,5 – 9

SULFIKA SNP + Zn – Listové hnojivo na bázi elementární síry, dusíku, fosforu a zinku.

$\text{S } 200 \text{ g.kg}^{-1} + \text{N } 50 \text{ g.kg}^{-1} + \text{P}_2\text{O}_5 \text{ } 150 \text{ g.kg}^{-1} + \text{Zn } 25 \text{ g.kg}^{-1}$ ; pH 5,5 – 7,5

CARBONBOR Mo – Listové hnojivo na bázi uhlíku s navázaným borem a molybdenem.

$\text{C } 70 \text{ g.l}^{-1} + \text{B } 90 \text{ g.l}^{-1} + \text{Mo } 10 \text{ g.l}^{-1}$ ; pH 7 – 9

CARBON Si – Listové hnojivo na bázi uhlíku s navázaným draslíkem a křemíkem.

$\text{C } 10 \text{ g.l}^{-1} + \text{K}_2\text{O } 50 \text{ g.l}^{-1} + \text{SiO}_2 \text{ } 150 \text{ g.l}^{-1}$ ; pH 10,5 – 12,5

INSENL – Pomocný přípravek pro zamezení ztrát během dozrání a sklizně

### 3.1.2 Metodika pokusu

Ve výzkumné stanici Červený Újezd byl založen přesný maloparcelkový pokus, velikost parcel 15m<sup>2</sup> brutto, 11,250 m<sup>2</sup> netto. Počet variant bylo včetně kontroly 6, kde každá varianta byla provedena ve čtyřech opakováních.

**Tabulka 15: Schéma pokusu Červený Újezd**

Var.	Použitý přípravek	Dávka	Čisté živiny na 1 hektar	Fáze
k	Kontrola	-	-	-
1	CARBON S	2 l.ha <sup>-1</sup>	400 g S + 25 g C	6. list
2	CARBON Zn	5 l.t <sup>-1</sup>	750 g Zn.t <sup>-1</sup> + 375 g C.t <sup>-1</sup>	Moření
3	CARBONBOR 200	1,5 l.ha <sup>-1</sup>	300 g B + 135 g C	6. list
4	CARBON Mo	2 l.ha <sup>-1</sup>	120 g Mo + 96 g C	6. list
5	CARBON S + CARBONBOR 200	2 l.ha <sup>-1</sup> + 1,5 l.ha <sup>-1</sup>	400 g S + 300g B + 160 g C	6. list

Na farmě Petra Nouzy v Dolní Pěně byl založen poloprovozní pokus, velikost jednotlivých parcel byla 0,12 ha. Pokus byl rozdělen na 2 skupiny, první s použitím fungicidního ošetření a druhý bez. V každé skupině bylo 5 variant včetně kontroly. Z každé varianty byly odebrány 4 vzorky použité ke statistickému vyhodnocení.

**Tabulka 16: Schéma pokusu Dolní Pěna**

Var.	Použité přípravky	Dávka	Čisté živiny na 1 hektar	Fáze
k	Kontrola			
1	FUMAG 6NK - Zn	2 kg.ha <sup>-1</sup>	120 g N + 120 g K <sub>2</sub> O + 240 g MgO + 200 g Zn	6. list
	FUMAG 6NK - Zn	2 kg.ha <sup>-1</sup>	120 g N + 120 g K <sub>2</sub> O + 240 g MgO + 200 g Zn	10. list
2	SULFIKA SB - C	3 kg.ha <sup>-1</sup>	75 g C + 150 g B + 1050 g S	6. list
	SULFIKA SNP + Zn	3 kg.ha <sup>-1</sup>	150 g N + 450 g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 600 g S + 75 g Zn	10. list
3	CARBONBOR Mo + FUMAG NK - Ca	1,25 l.ha <sup>-1</sup> + 4 kg.ha <sup>-1</sup>	118 g C + 151 g B + 17 g Mo + 200 g CaO + 480 g MgO + 480 g N + 240 g K <sub>2</sub> O	6. list
4	CARBON Si + INSENOL	1 l.ha <sup>-1</sup> + 0,5 l.ha <sup>-1</sup>	18 g C + 90 g K <sub>2</sub> O + 270 g SiO <sub>2</sub>	10. list

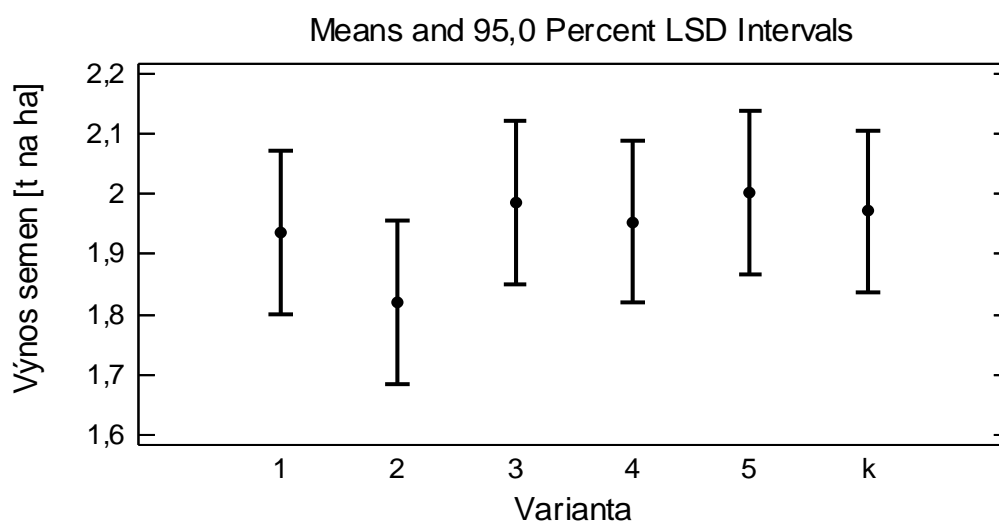


## 4. Výsledky pokusu

### 4.1 Červený Újezd

#### 4.1.1 Výnos semen

Graf 1: Výnos semen



Zdroj: Výstup z programu Statgraphics Centurion XVI

Tabulka 17: Výsledky analýzy výnosu semen

Varianta	Výnos semene [t.ha <sup>-1</sup> ]	Relativní výnos semene [%]
1	1,935	98,22
2	1,818	92,28
3	1,985	100,76
4	1,953	99,14
5	2	101,52
Kontrola	1,97	100

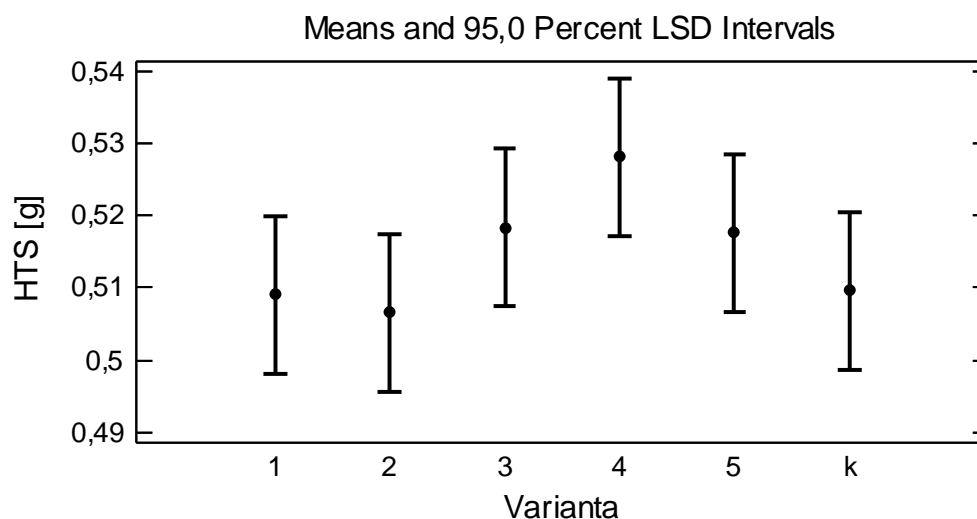
Zdroj: Vlastní zpracování dat

Při hodnocení výnosu semen je patrné, že žádná z proměnných není statisticky významná. Lépe než kontrola dopadly varianty 3 a 5. Nejvyšší hodnota byla zjištěna u varianty 5, při použití kombinace přípravků CARBON S a CARBONBOR 200.

Výnosy u ostatních variant byly nižší než kontrola. Nejmenší výnos byl naměřen u varianty 2, o 7, 72 % nižší než u kontroly, kde bylo osivo mořeno CARBON Zn.

#### 4.1.2 Hmotnost tisíce semen

**Graf 2: Hmotnost tisíce semen**



*Zdroj: Výstup z programu Statgraphics Centurion XVI*

**Tabulka 18: Výsledky analýzy hmotnosti tisíce semen**

Varianta	Hmotnost tisíce semen [g]	Hmotnost tisíce semen [%]
1	0,509	100
2	0,507	99,61
3	0,518	101,77
4	0,528	103,73
5	0,518	101,77
Kontrola	0,509	100

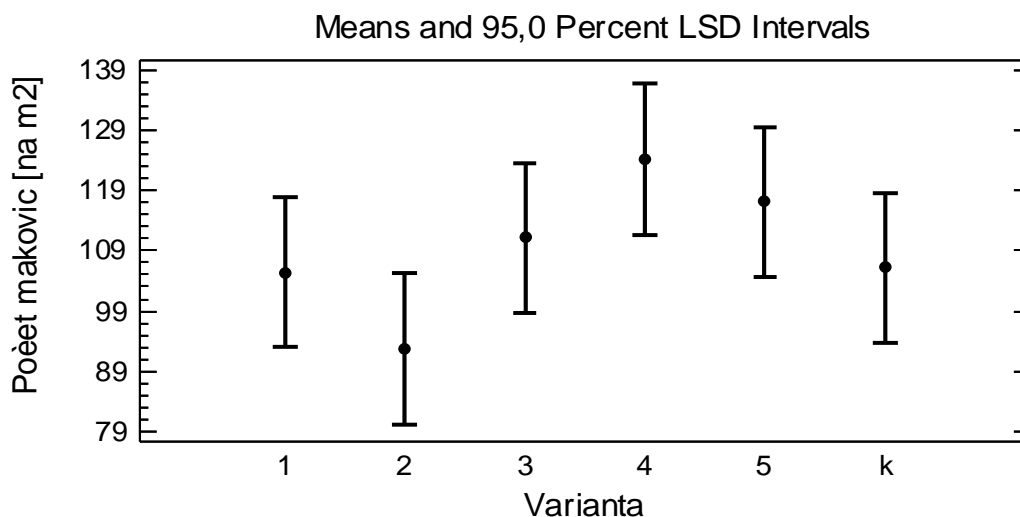
*Zdroj: Vlastní zpracování dat*

Z výsledku je patrné, že žádná hodnota není statisticky významná a rozdíly mezi jednotlivými variantami jsou minimální. Nejvyšší hmotnost měla 4. varianta, o 3, 73 % více než kontrola. Další varianty, u kterých byla hmotnost vyšší než u kontroly byly 3 a 5. Hmotnost u varianty 1, které bylo dodáno 400 g S.ha<sup>-1</sup> a 25 g C.ha<sup>-1</sup>, byla zcela totožná jako nehnojená varianta. Moření osiva mělo negativní vliv na hmotnost semen,

avšak pouze o 0,39 %. Ve všech případech byla hmotnost tisíce semen téměř totožná s kontrolní variantou.

#### 4.1.3 Počet makovic na m<sup>2</sup>

**Graf 3: Počet makovic na m<sup>2</sup>**



*Zdroj: Výstup z programu Statgraphics Centurion XVI*

**Tabulka 19: Počet makovic na m<sup>2</sup>**

Varianta	Počet makovic na m <sup>2</sup> [ks]	Počet makovic na m <sup>2</sup> [%]
1	105,25	99,29
2	92,5	87,26
3	111	104,72
4	124	116,98
5	117	110,38
Kontrola	106	100

*Zdroj: Vlastní zpracování dat*

Proměnné počet makovic jsou také statisticky nevýznamné. Oproti kontrole byl sledován vyšší počet makovic u variant 3, 4 a 5. Aplikace 120 g Mo.ha<sup>-1</sup> a 96 g C.ha<sup>-1</sup> u varianty 4 měla nejvyšší vliv na počet makovic na m<sup>2</sup> a to o 16,98 % vůči kontrole. Dobrý vliv měla také aplikace přípravků CARBON S společně s CARBONBOR 200 u varianty 5, kde byl nárůst o 10,38 %. Avšak použití samostatného přípravku

CARBONBOR 200 způsobil nárůst o 4,72 % a CARBON S neměl téměř žádný vliv na počet makovic. U mořené varianty byl pozorován nižší počet makovic a to o 12,74 %.

#### 4.1.4 Hmotnost semen v makovici a hmotnost makovic

**Tabulka 20: Hmotnost semen v makovici a hmotnost makovic**

Varianta	Hmotnost semen v makovici [g]	Hmotnost makovice [g]
1	2,653	1,588
2	2,618	1,548
3	3,055	1,735
4	3,02	1,795
5	2,638	1,573

*Zdroj: Vlastní zpracování dat*

Největší hmotnost semen v makovici byl navážen u varianty 3, kde bylo aplikováno 300 g boru na hektar, a to 3,055 g. Varianta 4 hnojená CARBON Mo měla také hmotnost semen přes 3 g. U zbylých 3 variant se hmotnosti pohybovaly na úrovni 2,6 g.

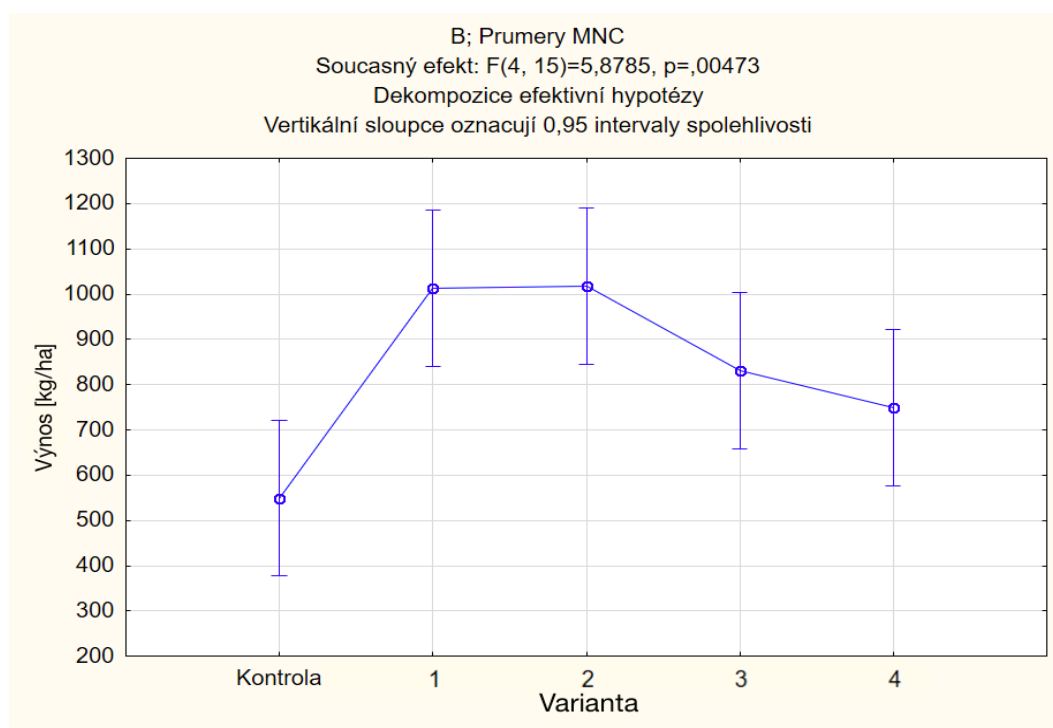
Výsledky u hmotnosti makovic jsou obdobné jako u hmotnosti semen v makovicích. Nejvyšší hmotnosti byly zjištěny u variant 3 a 4 a to 1,735 g a 1,795 g. Ostatní varianty dosahovaly hodnot okolo 1,5 g.

## 4.2 Dolní Pěna

Po provedení statistické analýzy zde bylo zjištěno mnoho statisticky významných proměnných, proto jsou zde jednotlivé varianty děleny do homogenních skupin dle vzájemné statistické významnosti.

### 4.2.1 Výnos semen

**Graf 4: Výnos semen s aplikací fungicidu**



*Zdroj: Výstup z programu Statistica*

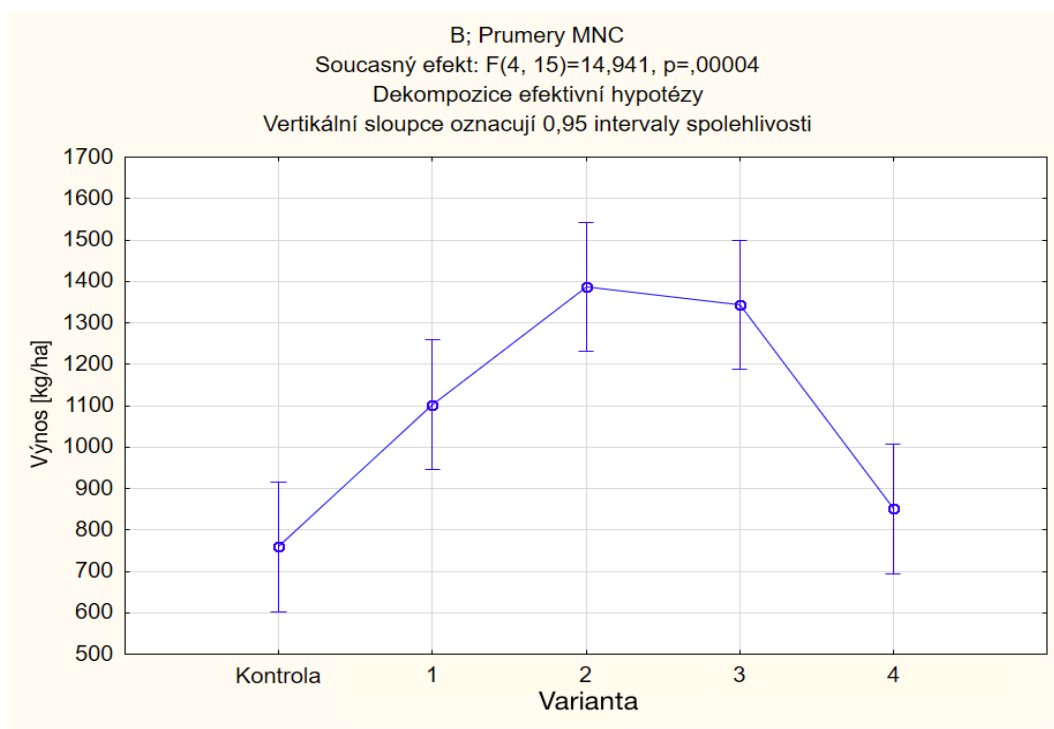
**Tabulka 21: Výnos semen s aplikací fungicidu**

Varianta	Výnos semene [t.ha <sup>-1</sup> ]	Relativní výnos semene [%]	Homogenita skupin
Kontrola	0,549	100	X
1	1,012	184,34	X
2	1,018	185,43	X
3	0,831	151,37	XX
4	0,749	136,43	XX

*Zdroj: Vlastní zpracování dat*

Výnos máku aplikacemi hnojiv s fungicidy byl značně ovlivněn ve všech variantách. Nejvyšší výnos daly varianty 1 a 2, 84,34% navýšení u varianty 1 s aplikací hnojiv FUMAG a 85,43% u varianty 2 s hnojivy SULFIKA. Tyto 2 varianty jsou také statisticky významné v porovnání s kontrolní variantou. Postřik hnojivy s obsahem molybdenu a křemíku (var. 3 a 4) neprokázaly statisticky významný efekt.

**Graf 5: Výnos semen bez aplikace fungicidu**



*Zdroj: Výstup z programu Statistica*

**Tabulka 22: Výnos semen bez aplikace fungicidu**

Varianta	Výnos semene [t.ha <sup>-1</sup> ]	Relativní výnos semene [%]	Homogenita skupin
Kontrola	0,759	100	X
1	1,103	145,32	XX
2	1,387	182,74	X
3	1,344	177,08	X
4	0,851	121,21	XX

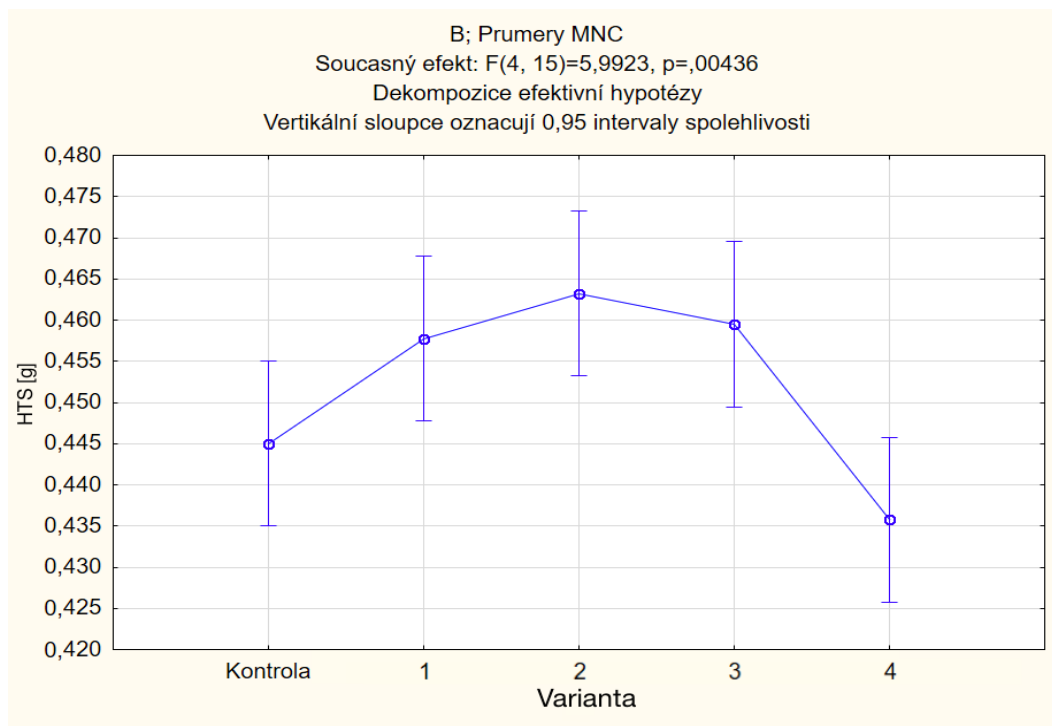
*Zdroj: Vlastní zpracování dat*

I u variant, kde nedošlo k aplikaci fungicidu, byl nárůst statisticky průkazný. V porovnání s kontrolou se jedná o varianty 1, 2 a 3. Nejvyšší hektarový výnos byl

zjištěn v případě aplikace hnojiv SULFIKA o 82,74 % a CARBONBOR Mo s FUMAG o 77,08 %. Ani v tomto případě nebyla aplikace hnojiva s křemíkem statisticky významná vůči kontrole.

#### 4.2.2 Hmotnost tisíce semen

**Graf 6: Hmotnost tisíce semen s použitím fungicidu**



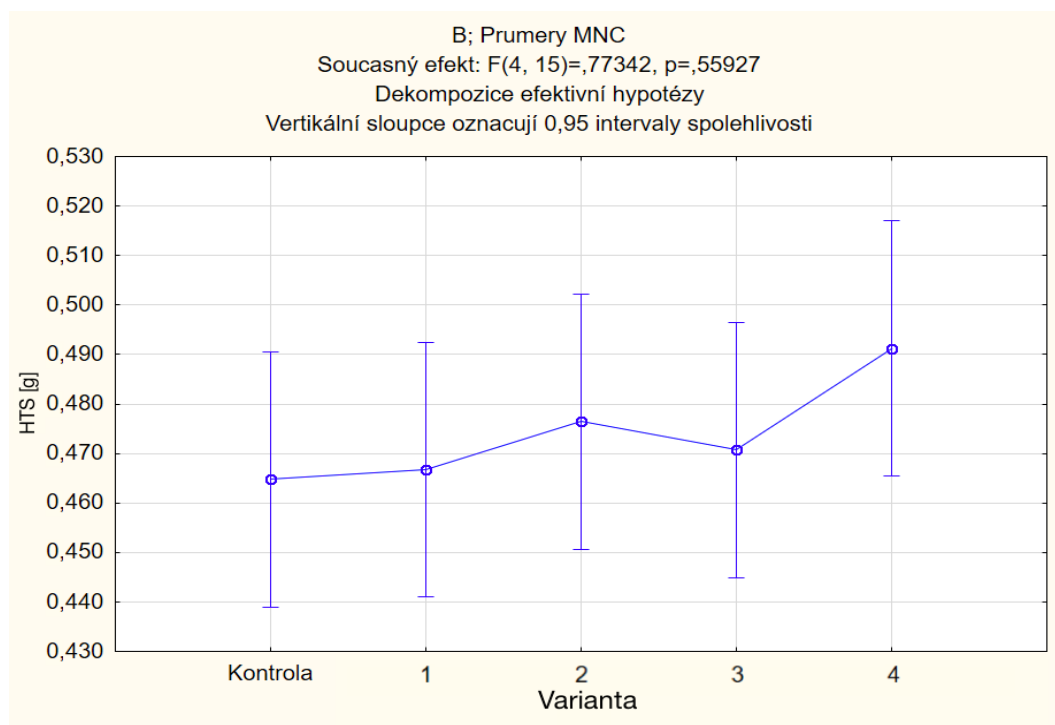
*Zdroj: Výstup z programu Statistica*

**Tabulka 23: Hmotnost tisíce semen s použitím fungicidu**

Varianta	Hmotnost tisíce semen [g]	Relativní hmotnost tisíce semen [%]	Homogenita skupin
Kontrola	0,445	100	XX
1	0,458	102,92	X
2	0,463	104,45	X
3	0,460	103,37	X
4	0,436	97,98	X

*Zdroj: Vlastní zpracování dat*

Při zjišťování vlivu hnojiv s fungicidem na hmotnost tisíce semen nebyla prokázána statistická významnost vůči kontrole. Pouze mezi jednotlivými hnojivy, a to konkrétně varianty 1,2 a 3 vůči variantě 4. Byl zjištěn pouze nepatrný efekt aplikací, nejvyšší HTS byla naměřena u varianty 2 o 4,45 % a u varianty 4 byla dokonce zjištěna nižší hmotnost jak u kontroly o 2,02 %.

**Graf 7: Hmotnost tisíce semen bez použití fungicidu**

*Zdroj: Výstup z programu Statistica*



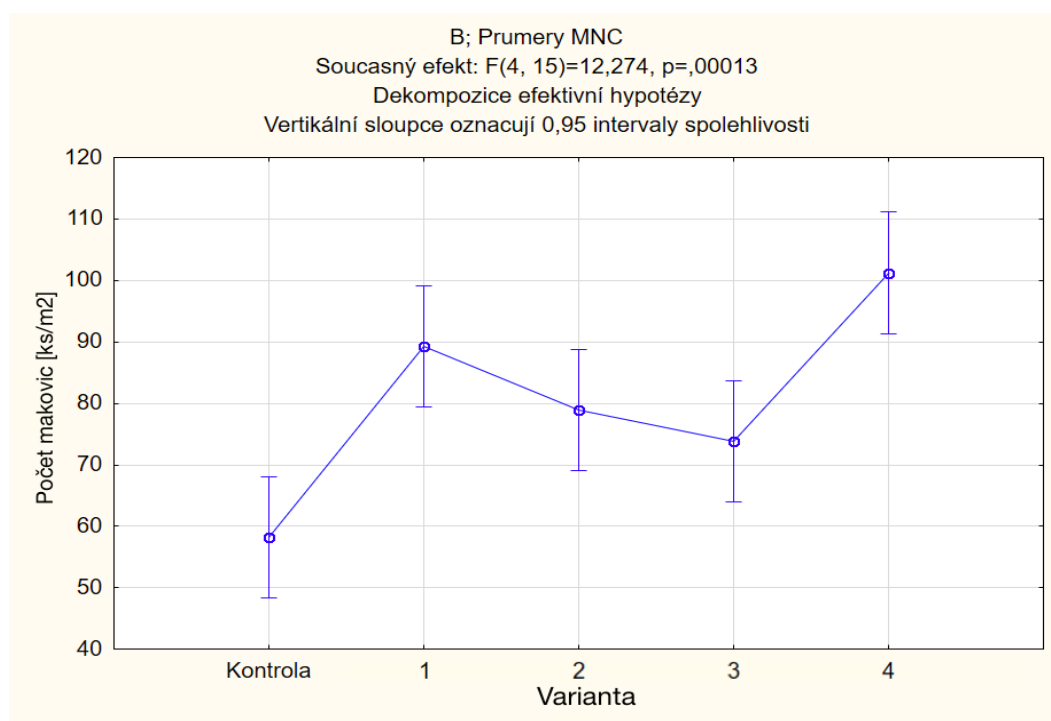
**Tabulka 24: Hmotnost tisíce semen bez použití fungicidu**

Varianta	Hmotnost tisíce semen [g]	Relativní hmotnost tisíce semen [%]	Homogenita skupin
Kontrola	0,465	100	X
1	0,467	100,43	X
2	0,477	102,58	X
3	0,471	101,29	X
4	0,491	105,59	X

*Zdroj: Vlastní zpracování dat*

Proměnné HTS bez použití fungicidu jsou statisticky nevýznamné. Všechny hodnoty se pohybují pouze o pár procent nad kontrolní variantou, u které byla naměřena nejnižší hmotnost. Nejvyšší byla zjištěna u varianty 4, tank mixu CARBONBOR Si s přípravkem INSENOLO a to 5,59 % vyšší než kontrola.

#### 4.2.3 Počet makovic na m<sup>2</sup>

**Graf 8: Počet makovic na m<sup>2</sup> s použitím fungicidu**

*Zdroj: Výstup z programu Statistica*

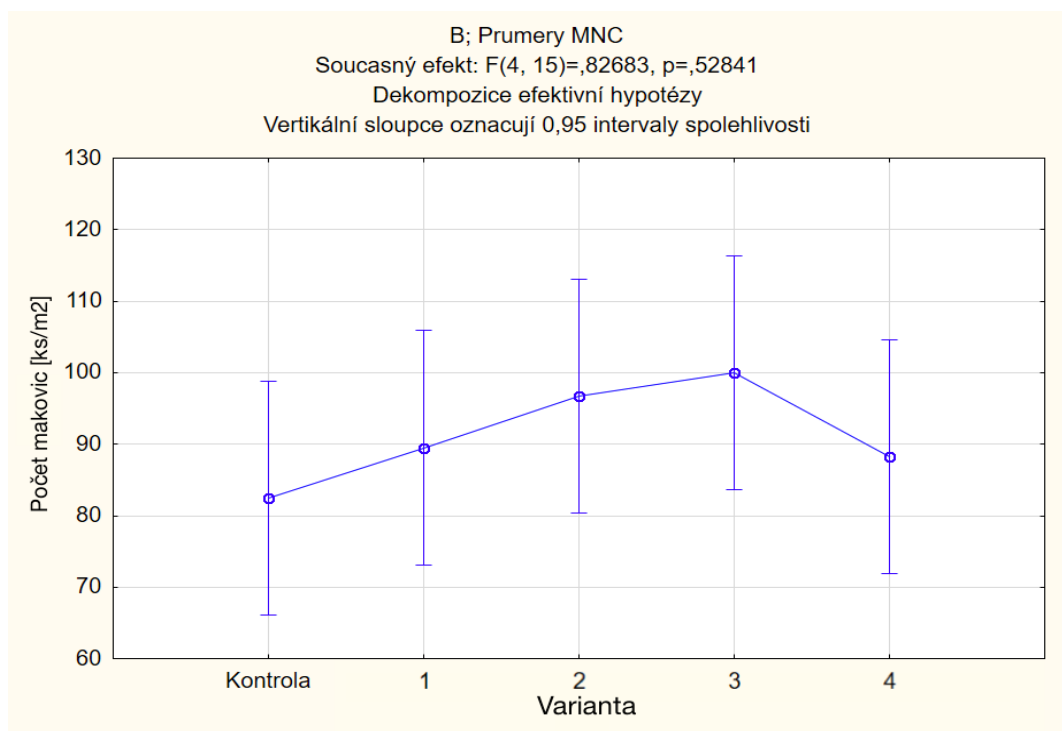
**Tabulka 25: Počet makovic na m<sup>2</sup> s použitím fungicidu**

Varianta	Počet makovic na m <sup>2</sup> [ks]	Relativní počet makovic na m <sup>2</sup> [%]	Homogenita skupin
Kontrola	58,25	100	X
1	89,25	153,22	XX
2	79	134,3	X
3	73,75	126,61	X X
4	101,25	173,82	X

*Zdroj: Vlastní zpracování dat*

Jediná varianta 3 neprokázala statistickou významnost vůči kontrole. Všechny varianty prokázaly pozitivní efekt při měření počtu makovic na m<sup>2</sup>, konkrétně nejvyšší varianta 4, kde byl použit tank mix CARBON Si a INSENOLO, o 73,82 %. První varianta dosáhla druhých nejlepších hodnot a to o 53,22 % oproti kontrole.

**Graf 9: Počet makovic na m<sup>2</sup> bez použití fungicidu**



*Zdroj: Výstup z programu Statistica*

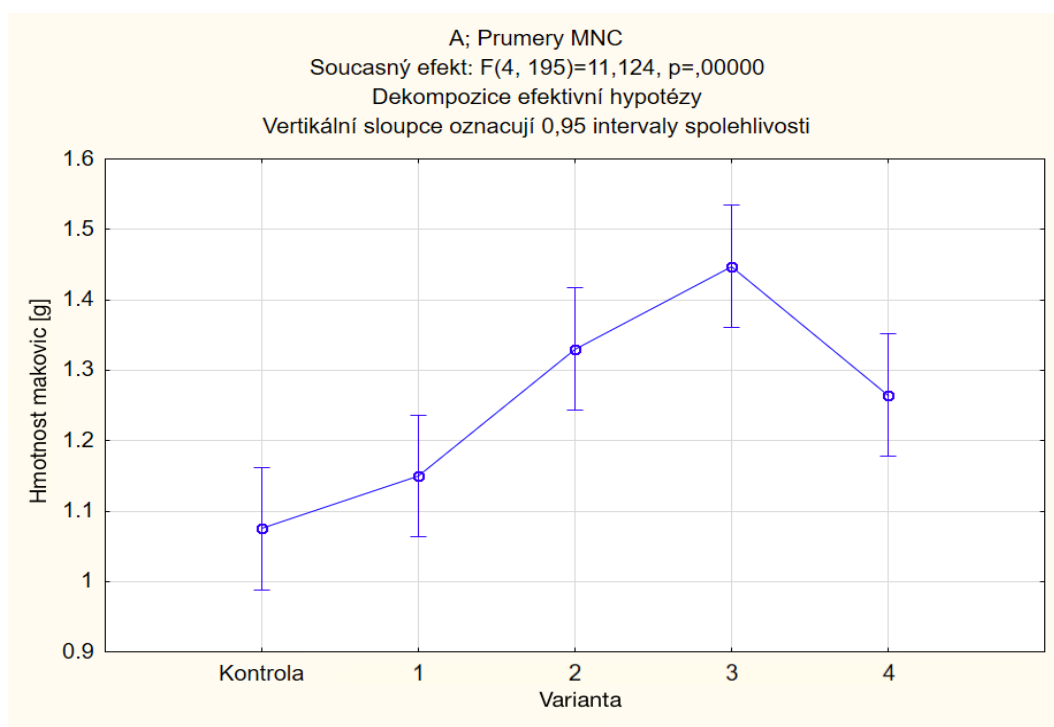
**Tabulka 26: Počet makovic na m<sup>2</sup> bez použití fungicidu**

Varianta	Počet makovic na m <sup>2</sup> [ks]	Relativní počet makovic na m <sup>2</sup> [%]	Homogenita skupin
Kontrola	82,5	100	X
1	89,5	108,48	X
2	96,75	117,27	X
3	100	121,21	X
4	88,25	106,97	X

*Zdroj: Vlastní zpracování dat*

Jako statisticky neprůkazné se projeví výsledky zkoumání počtu makovic na jednotku plochy bez použití fungicidu. Nejnižší hodnota byla napočítána u kontrolní varianty a nejvyšší u varianty 3 s navýšením o 21,21 % oproti kontrole.

#### 4.2.4 Hmotnost makovic

**Graf 10: Hmotnost makovic s použitím fungicidu**

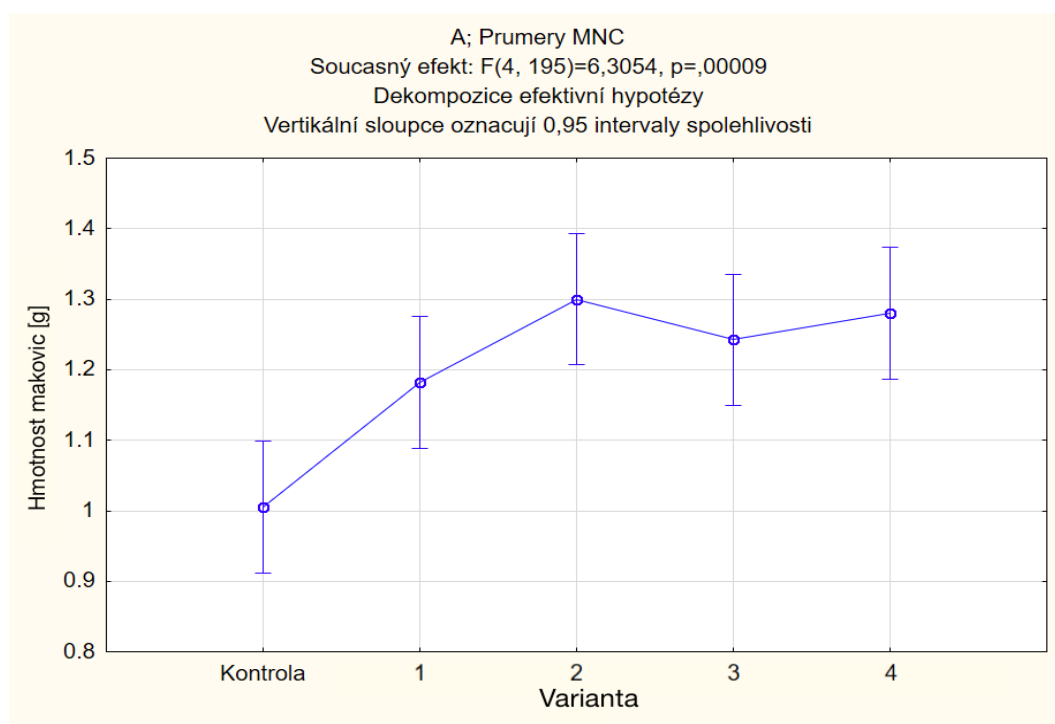
*Zdroj: Výstup z programu Statistica*

**Tabulka 27: Hmotnost makovic s použitím fungicidu**

Varianta	Hmotnost makovice [g]	Relativní hmotnost makovice [%]	Homogenita skupin
Kontrola	1,08	100	X
1	1,15	106,48	XX
2	1,33	123,15	XX
3	1,45	134,26	X
4	1,27	117,59	XX

*Zdroj: Vlastní zpracování dat*

Při vážení prázdných makovic po aplikaci hnojiv s fungicidem nebyla zjištěna statistická významnost pouze u varianty s aplikací přípravků FUMAG. Postřiky SULFIKA, CARBON Mo s FUMAG a CARBON Si s INSENOLO měly velmi dobrý vliv na hmotnost makovic, a to konkrétně o 23,15 %, 34,26 % a 17,59 %.

**Graf 11: Hmotnost makovic bez použití fungicidu**

*Zdroj: Výstup z programu Statistica*

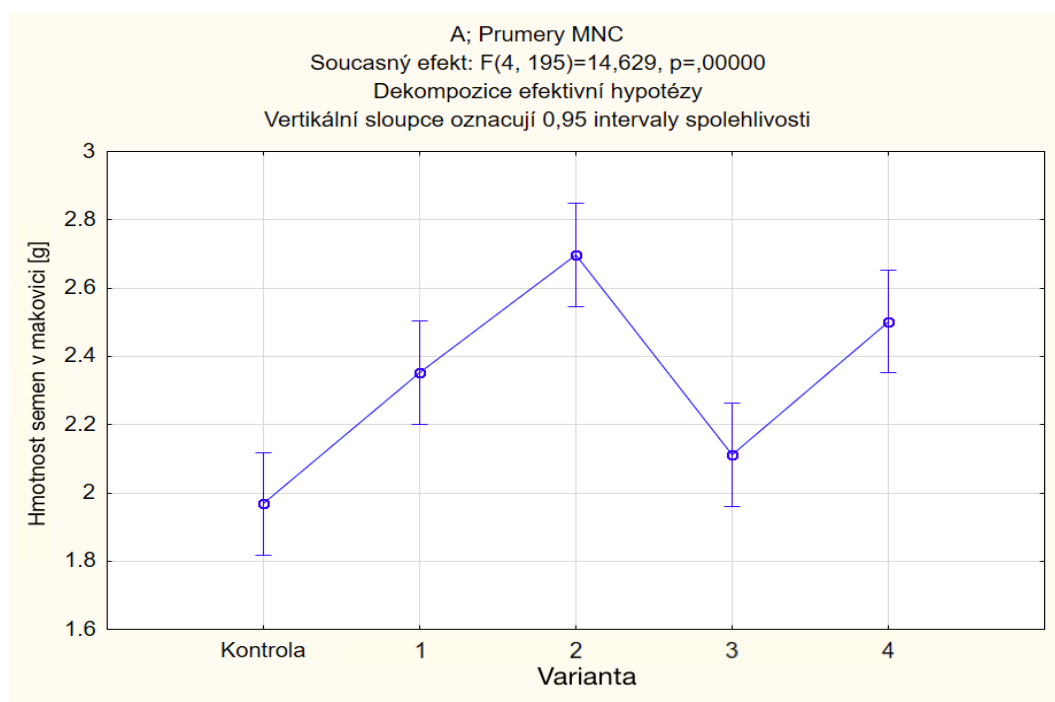
**Tabulka 28: Hmotnost makovic bez použití fungicidu**

Varianta	Hmotnost makovice [g]	Relativní hmotnost makovice [%]	Homogenita skupin
Kontrola	1,01	100	X
1	1,18	116,83	XX
2	1,3	128,71	X
3	1,24	122,77	X
4	1,28	126,73	X

*Zdroj: Vlastní zpracování dat*

I u variant bez použití fungicidu došlo k statisticky významným nárůstům hmotností makovic, pouze varianta 1 není vůči kontrole významná. Varianty 2,3 a 4 měly opět nejlepší efekt, obdobně jako u varianty s fungicidem. Aplikací hnojiv SULFIKA došlo k navýšení o 28,71 %, CARBON Mo s FUMAG o 22,77 % a CARBON Si s INSENOLO o 26,73 %.

#### 4.2.5 Hmotnost semen v makovici

**Graf 12: Hmotnost semen v makovici s použitím fungicidu**

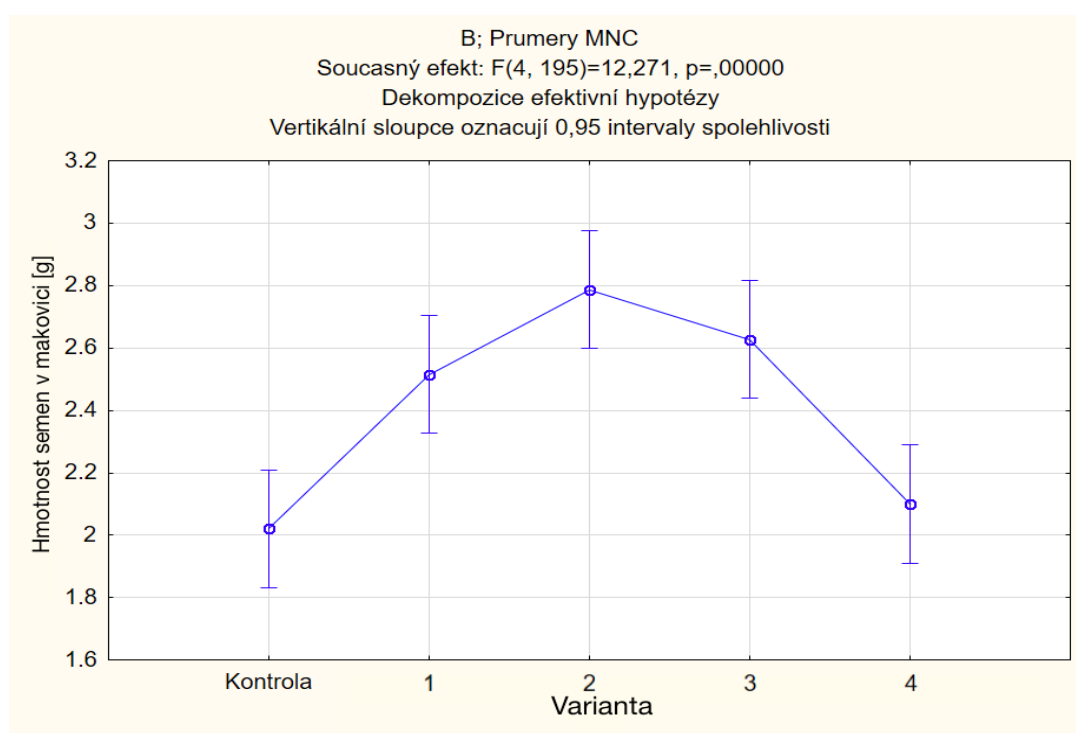
*Zdroj: Výstup z programu Statistica*

**Tabulka 29: Hmotnost semen v makovici s použitím fungicidu**

Varianta	Hmotnost semen v makovici [g]	Relativní hmotnost semen v makovici [%]	Homogenita skupin
Kontrola	1,97	100	X
1	2,35	119,29	XX
2	2,7	137,06	X
3	2,11	107,11	XX
4	2,5	126,9	XX

*Zdroj: Vlastní zpracování dat*

Při statistickém vyhodnocování vlivu aplikovaných přípravků s fungicidem na hmotnost semen v makovicích byla zjištěna statistická významnost vůči kontrole u variant 2,3 a 4. Relativní rozdíl v hmotnosti byl 19,29 %, 37,06 % a 26,9 %. Pouze varianta 3 s navýšením o 7,11 % nebyla vůči kontrole statisticky významná.

**Graf 13: Hmotnost semen v makovici bez použití fungicidu**

*Zdroj: Výstup z programu Statistica*

**Tabulka 30: Hmotnost semen v makovici bez použití fungicidu**

Varianta	Hmotnost semen v makovici [g]	Relativní hmotnost semen v makovici [%]	Homogenita skupin
Kontrola	2,02	100	X
1	2,52	124,75	X
2	2,79	138,12	X
3	2,63	130,2	X
4	2,1	103,96	X

*Zdroj: Vlastní zpracování dat*

U zjišťování efektu aplikace hnojiv bez fungicidu byla u všech variant kromě varianty 4 zjištěna statistická významnost. Hlavní přínos měl postřik hnojivy SULFIKA o 38,12 % obdobně jako u variant s fungicidním postřikem. Nejnižší efekt byl zjištěn u varianty 4, kde byl aplikován CARBON Si s INSENOLOM a to o 3,96 %.

#### 4.2.6 Vliv fungicidu na výnos máku setého

**Tabulka 31: Vliv aplikace fungicidu na výnos máku setého**

Varianta	Výnos bez aplikace fungicidu [t.ha <sup>-1</sup> ]	Výnos s aplikací fungicidu [t.ha <sup>-1</sup> ]	Relativní vliv aplikace fungicidu na výnos [%]
Kontrola	0,759	0,549	-38,25
1	1,103	1,012	-8,99
2	1,387	1,018	-36,25
3	1,344	0,831	-61,73
4	0,851	0,749	-13,62

*Zdroj: Vlastní zpracování dat*

U všech variant došlo po použití fungicidu ke znatelnému poklesu výnosu, a to i u kontrolní varianty, konkrétně o 38,25 %. Nejvyšší pokles byl zaznamenán u varianty 3 s hnojivy CARBON Mo + FUMAG a to o 61,73 %. U varianty 1 s hnojivy FUMAG byl naměřen nejnižší pokles o 8,99 %.

#### 4.2.7 Zdravotní stav máku setého v poloprovozním pokusu v Dolní Pěňě

Při osobní návštěvě za účelem zjištění zdravotního stavu bylo zjištěno minimální napadení rostlin patogeny a nebylo tedy možné prokázat jakýkoliv efekt přípravků na zdravotní stav. Z osobního sdělení Ing. Petra Nouzy vyplývá, že oblast, kde hospodaří, je v posledních letech často sužována suchem a napadení houbovými chorobami tak nebývá příliš obvyklé.



## 5 Diskuze

Mák se ve svých požadavcích na výživu a díky horším schopnostech příjmu živin řadí mezi náročné plodiny na hnojení. Vyžaduje tedy hnojení v lehce přijatelných formách a dostatečném množství (Havelka, 1984). Je tedy vhodné zvážit použití listové výživy a dodat plodině konkrétní požadované živiny. V této práci byl formou foliární aplikace dodán dusík, draslík, fosfor, vápník, síra, bor, molybden, křemík a zinek.

Je zapotřebí se zamyslet nad důvodem zcela abnormálních nárůstů v hodnotách sledovaných faktorů mezi lokalitami Červený Újezd a Dolní Pěna. První a zcela zásadní vliv má půda a její výživový stav. Půda v Červeném Újezdě je v porovnání s Dolní Pěnou v podstatně lepším stavu. Obsah prvků v půdě je dle rozborů dobrý, obdobně obsah humusových látek. Půdní reakce je neutrální a umožňuje tak optimální příjem živin pro rostliny. Kdežto v Dolní Pěně je půdní reakce kyselá s hodnotou pH 4,6, lze tedy předpokládat blokaci některých prvků, zejména fosforu, vápníku, hořčíku a molybdenu (Vaněk, 2012). Samotný obsah živin je už tak nízký a v kombinaci se špatnou přístupností pro rostliny se potenciální efekt vlivu listové výživy značně zvyšuje. Právě z toho důvodu byl tento pozemek v Dolní Pěně zvolen.

Dalším rozhodujícím faktorem jsou povětrnostní podmínky. Dle dat získaných od Českého hydrometeorologického ústavu ze stanice Děbolín (viz. tabulka 33) byl rok 2017 zcela normální a odpovídal dlouhodobým průměrům z let 1981 – 2010. Stanice se nachází cca 10 km od farmy Nouza s.r.o., avšak dle osobního sdělení Petra Nouzy (Nouza, 2017) a vlastních pozorování z několika návštěv farmy, nejsou tyto údaje příliš relevantní. Většina obhospodařované půdy, včetně pokusné plochy, se nachází ve srážkovém stínu a srážky za vegetaci se pohybují okolo 200 mm. Jak zjistil Škarpa et al. (2015), foliární aplikace mikroprvků má velmi dobrý vliv na mák postižený stresem způsobeným suchem. Konkrétně došel k závěru, že efektivita mimokořenového hnojení zinkem se zvyšuje s prohlubujícím se deficitem srážek.

Existuje řada vědeckých studií o pozitivním působení foliární aplikace živin na mák setý. Například při aplikaci 400 g elementární síry na hektar ve formě síranu draselného ( $K_2SO_4$ ) byly všechny pozorované parametry, kromě počtu rostlin na  $m^2$  a teoretického počtu makovic na rostlině, téměř totožné s kontrolou. V případě nádobových pokusů, kde byla aplikována síra také ve formě síranu draselného ( $K_2SO_4$ )

byl vliv na výnos byl oproti kontrole statisticky významný, konkrétně o 18 a 25,1 % (Lošák a kol. 2005b).

U varianty, kde byl aplikován samostatný bor ve fázi 6. listu, došlo téměř pokaždé ke zlepšení sledovaných parametrů, pouze u teoretického počtu makovic na rostlině byla hodnota nižší než u kontroly, avšak statistická významnost nebyla ani jednou prokázána. Obdobný pokus provedl Lošák a Richter (2006), v jednoletém polním maloparcelkovém pokusu foliárně aplikovali 300 g B.ha<sup>-1</sup> ve fázi 6. a 8. listu. U varianty, kde byl bor dodán ve fázi 6. listu došlo ke snížení výnosu o 1,2 % oproti kontrole. Aplikace listové výživy na 8. list měla za následek navýšení výnosu o 4,1 % vůči kontrole. U nádobových pokusů, kde byl bor dodán rostlině máku ve fázi 8. listu, dospěl Lošák a kol. (2005a) ke zvýšení výnosů o 6,4 %.

Vlivu molybdenu na výnos z hektaru a hmotnost semen z tobolky máku zjišťoval Schreier (1985), který aplikoval na maloparcelkových pokusech 30 g Mo.ha<sup>-1</sup> ve fázi 6. – 7. pravého listu. Forma aplikovaného molybdenu byla molybden amonný, molybden v chelátové formě a kapalné hnojivo MKH – 18 v 1% roztoku. Nejvyšší vliv na hektarový výnos a hmotnost semen v tobolce měla chelátová forma molybdenu a to o 13 % u výnosu a 6,7 % u hmotnosti semen. Následovalo hnojivo MKH – 18 kde došlo k navýšení o 3,4 a 2,1 %. Nejnižší vliv měl molybden amonný a to o 1,3 a 1,1 %. Ani jedna z pozorovaných variant nebyla statisticky významná vůči kontrole. Vlivem molybdenu na výnos máku se zabýval také Škarpa et al. (2012). Na pozemcích v Lešanech a Žabčicích byly provedeny pokusy s dávkou 30 g molybdenu na hektar. V Lešanech byl nárůst oproti kontrole o 1,6 %, kdežto v Žabčicích o 20,4 %.

V případě zinku provedl Škarpa et al. (2015) mezi roky 2011 – 2015 dlouhodobý maloparcelkový pokus na lokalitě Žabčice. Aplikovaná dávka byla 150 – 250 g Zn.ha<sup>-1</sup> ve fázi 8. – 10. listu. Ve všech letech došlo k navýšení výnosu semen v rozmezí 6,9 – 25,2 %, z čehož ve 2 letech došlo ke statisticky významnému nárůstu.

Již řadu let provádí doc. Škarpa pokusy s hnojivem firmy KLOFÁČ, spol. s r.o. na pokusné stanici v Žabčicích. Díky těmto pokusům se stejnými, případně obdobnými hnojivy, lze snížit pravděpodobnost vlivu ročníku na výsledky pokusů provedených pro tuto práci. Lokalita je obdobně jako Dolní Pěna postižena častým suchem a lze předpokládat dobrý efekt foliární aplikace hnojiv.

Konkrétně v roce 2015 byly provedeny pokusy s hnojivy CARBONBOR Mo, CARBONBOR Mo + CARBON Si a CARBON Ca – Si. U všech variant došlo k nárůstu výnosu, avšak ne statisticky významných. Při aplikaci hnojiva CARBON s borem a molybdenem došlo k nárůstu o 16,1 %, Varianta, kde byl přidán CARBON Si k hnojivu CARBONBOR Mo, došlo k dalšímu nárůstu výnosu o 7 %, na celkových 23,1 % oproti kontrole. Postřik samotným CARBON Ca – Si zvýšil výnos o 13,7 % (Škarpa & Richter 2016).

V roce 2017 proběhl v Žabčicích další pokus, konkrétně s hnojivy CARBONBOR K + FUMAG NK – Ca, CARBONBOR K + SULFIKA SNP + Zn a CARBON Si + INSENOL. U prvních dvou variant došlo k nárůstu výnosu o 18,1 % a 8,2 % v porovnání s kontrolou. Aplikací CARBON Si společně s INSENOL došlo k poklesu o 6,6 % (Škarpa 2017).

I v dalším roce se uskutečnily pokusy s listovou výživou. Všechny varianty se skládaly z aplikací tank mixu hnojiva FUMAG LAN s přidáním CARBONBOR Zn, CARBONBOR Mo a CARBON Si s INSENOL. Při hodnocení výsledků nebyla prokázána statistická významnost vlivu hnojení na výnos, avšak všechny varianty daly vyšší výnos než kontrola. U zinku o 16,8 %, molybdenu 30,3 % a křemíku 18,9 % (Škarpa 2018).

Další pokus s hnojivy ze skupiny CARBON provedl ve své bakalářské práci Ježek (2018), šlo o přípravky CARBONBOR Q, CARBON Zn a CARBON Si. Pokus byl také proveden na stanici Žabčice. V první variantě ověřoval vliv tank mixu CARBONBOR Q + CARBON Zn a ve druhé přidal k tomuto tank mixu CARBON Si. U 1. kombinace došlo k nárůstu výnosu o 4 % a u druhé o 6,6 %.

Pokud porovnáme všechny výsledky o hnojivech z jednotlivých pokusů, získáme zajímavý a ucelený ukazatel o vlivu listové aplikace hnojiv na mák. Nelze mezi sebou porovnávat výsledky ze stanice Červený Újezd a Dolní Pěna s Žabčicemi. V Červeném Újezdu byl pokus zaměřen na sledování vlivu jednoho konkrétního prvku na pozorované parametry, kdežto v dalších dvou lokalitách šlo vždy o tank mix hnojiv se širší škálou prvků. I to lze považovat za jeden z faktorů, spolu s kvalitou půdy a povětrnostními podmínkami, proč výsledky v Červeném Újezdu nebyly statisticky prokazatelné a hodnota se pohybovala vždy v těsné blízkosti kontroly.

Co se týče vlivu fungicidu na výnos semene, jsou získané výsledky zcela mimo očekávání. Aplikací fungicidu v různých vývojových fázích nemusí být vždy dosaženo navýšení výnosu máku, jak prokázala Plachká et al. (2015). Jednalo se ale vždy o změny v řádu desítek kilogramů z hektaru a výsledky byly vždy statisticky neprůkazné. Naměřené hodnoty se pohybovaly v rozmezí -9 až -63 % oproti neošetřeným variantám. Jako možné vysvětlení se jeví variabilita pozemku, kdy fungicidní ošetření bylo provedeno vždy v horní polovině pozemku, kde mohly být horší podmínky pro dosažení dostatečných výnosů.

Škarpa (2015) ve svých pokusech také zjišťoval vliv aplikace hnojiv na zdravotní stav máku setého v roce 2015 v Žabčicích. Tři varianty po čtyřech opakováních byly ošetřeny CARBONBOR Mo, CARBONBOR Mo s CARBON Si a CARBON Ca + Si. U všech variant byl zjištěn nižší stupeň napadení mšicemi a helmintosporiozou oproti kontrole. Také počet rostlin na jednotku plochy byl u hnojených variant navýšen v průměru o 10 %.

V roce 2018 proběhl v Žabčicích obdobný pokus, kombinace hnojiva FUMAG LAN s CARBONBOR Zn, CARBONBOR Mo, CALCIOSTIM Zn a CARBON Si. Z hodnocení zdravotního stavu byl patrný pozitivní efekt mimokořenové výživy na výskytu zejména helmintosporií na stonku, jímž byly rostliny kontrolní varianty napadeny z 10 – 15 %, zatímco na všech ošetřených variantách byly jeho výskyty spíše ojedinělé. U hodnocení napadení plísni makovou a padlím nebyl mezi variantami hnojení zaznamenán významný rozdíl. Lze rovněž konstatovat, že rok 2018 poskytl díky teplému průběhu ideální podmínky k rozvoji hmyzích škůdců, zejména mšic. Všechny varianty jimi byly velmi silně napadeny, až na variantu CARBONBOR Mo s FUMAG LAN (Škarpa, 2018).

## 6 Závěr

Cílem práce bylo zjistit vliv listových hnojiv na kvantitativní parametry a zdravotní stav u máku setého. Za tímto účelem byl proveden maloparcelkový pokus ve Výzkumné stanici Červený Újezd a to v 6 variantách a 4 opakováních. Na jednotlivé varianty byly aplikovány přípravky CARBON S, CARBONBOR 200, CARBON Mo ve fázi 6. listu a CARBON Zn ve formě moření osiva. Dále pak poloprovozní pokus na farmě Nouza s.r.o. v 5 variantách s 4 opakováními s aplikací fungicidu Caramba a 5 variantách s 4 opakováními bez fungicidu. Zde byly použity přípravky FUMAG 6NK – Zn, FUMAG NK – Ca, SULFIKA SB – C, SULFIKA SNP + Zn, CARBONBOR Mo, CARBON Si a INSENL.

Shrnutí výsledků z Červeného Újezdu:

- Všechny sledované znaky byly ve všech variantách statisticky nevýznamné.
- Moření osiva mělo negativní vliv na všechny kvantitativní ukazatele, kromě počtu rostlin na m<sup>2</sup>. Energie klíčivosti semen merkantilu byla ze všech variant nejvyšší, ale zaznamenala nejvyšší úmrtnost klíčenců.
- Aplikace přípravku CARBON Mo zvýšila počet rostlin na m<sup>2</sup>, počet makovic na m<sup>2</sup>. Hmotnost semen v makovici byla 2. nejvyšší a hmotnost samostatných makovic byla nejvyšší ze všech variant. Semena merkantilu měla 2. nejnižší klíčivost v porovnání s ostatními variantami.
- CARBON S měl téměř nulový efekt na hektarový výnos, hmotnost tisíce semen a počet makovic na m<sup>2</sup>. Velmi dobrý efekt síry se projevil v počtu rostlin na m<sup>2</sup>, kde bylo zjištěno nejvíce jedinců ze všech variant.
- Foliární hnojení přípravkem CARBONBOR 200 mělo vliv na zvýšení výnosu vůči kontrole o 0,76 %. Hmotnost semen v makovici byla nejvyšší vůči zbylým variantám, stejně tak klíčivost semen merkantilu.
- V případě tank mixu přípravků CARBON S a CARBONBOR 200 byl zjištěn nejvyšší výnos z hektaru, počet makovic na m<sup>2</sup>. Ostatní sledované parametry byly průměrné nebo nižší v porovnání s ostatními variantami.

Shrnutí výsledků z Dolní Pěny:

- Aplikací přípravků došlo téměř u všech pozorovaných znaků ke statisticky významným zlepšením.
- Nejvyšší vliv na výnos semene měly aplikace přípravků SULFIKA. V porovnání s kontrolou o 85,43 % s fungicidem a o 82,74 % bez fungicidu. Všechny varianty daly vyšší výnos než kontrola. Nejnižší nárůst byl zjištěn po aplikaci CARBON Si s INSENOL bez fungicidu o 21,21 %.
- Hmotnost tisíce semen nebyla výrazně ovlivněna aplikací a všechny hmotnosti se pohybovaly lehce nad hmotností kontrolní varianty. Pouze aplikace CARBON Si s INSENOL a fungicidem byla o 2,02 % nižší než kontrola.
- Počet makovic na jednotku plochy byl ve všech variantách napočítán vyšší než kontrola. U variant bez použití fungicidu nebyla zjištěna statistická významnost.
- Proměnná hmotnost makovic byla také vždy vyšší než kontrolní varianta. Hodnoty se pohybovaly v rozmezí 6,48 % po aplikaci hnojiv FUMAG s fungicidem až 34,26 % po postřiku CARBON Mo s fungicidem.
- Aplikace CARBON Mo s fungicidem a CARBON Si s INSENOL měla nejnižší vliv na hmotnost semen v makovici. Konkrétně 7,11 %, respektive 3,96 %. Nejlepší efekt byl zjištěn po postřiku přípravkem SULFIKA u varianty s i bez fungicidu a to o 37 a 38 %.
- Varianty s fungicidním postřikem přinesly neočekávané výsledky. Ve všech případech vždy došlo ke snížení výnosů v porovnání s variantami bez fungicidního ošetření včetně kontrol. Nejvyšší propad byl u varianty s CARBON Mo a to o více jak 60 % vůči neošetřené variantě.

Hypotéza o vlivu aplikace přípravků se sírou a křemíkem na zlepšení zdravotního stavu se nepodařila potvrdit ani vyvrátit z důvodu chybějících dat. Pokusy provedené doc. Škarpou s přípravky obsahující křemík tuto hypotézu potvrzují.

Aplikací listových hnojiv na rostliny máku setého potvrzují hypotézu o jejím pozitivním vlivu na výnos semene. Pokus v Červeném Újezdu sice nepřinesl statisticky průkazná data, ale Dolní Pěna již ano. Verifikace hypotézy byla potvrzena výsledky doc. Škarpy na pokusné stanici v Žabčicích.

## 7 Seznam použité literatury

Agarwala SC, Hewitt EJ. 1954. Molybdenum as a plant nutrient. III. The interrelationships of molybdenum and nitrate supply in the growth and molybdenum content of cauliflower plants grown in sand culture. *J. Hort. Sci.* **29**:278-290.

Bangerth F. 1979. Calcium related physiological disorders of plants. *Annu. Rev. Phytopath.* **17**:97-122.

Barker AV, Pilbeam DJ. 2006. Handbook of plant nutrition. CRC Press, Boca Raton.

Barshad I. 1951. Factors affecting the molybdenum content of pasture plants. II. Effect of soluble phosphates, available nitrogen and soluble sulfates. *Soil Sci.* **71**:387-398.

Bechyně M. 1993. Základy pěstování máku. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha.

Bechyně M, Kadlec T, Vašák J a kol. 2001. Mák. Agrospoj, Praha.

Bernath J. 1998. Poppy: the genus *Papaver*. Harwood Academic Publishers, Amsterdam.

Boardman R, McGuire DO. 1990. The role of zinc in forestry. I. Zinc in forest environments, ecosystems, and tree nutrition. *Forest Ecol. Manag.* **37**:167-205.

Bondarian F, Torabi S, Omid M, Behreini M. 2013. Study of callus induction and regeneration of *Papaver somniferum* L. *International Journal of Current Research* **7**:20955-20957.

Bowman DC, Paul JL. 1992. Foliar absorption of urea, ammonium, and nitrate by perennial ryegrass turf. *Am. Soc. Hortic. Sci.* **11**:75-79.

Brown PH, Bellaloui N, Hu H, Dandekar A. 1999. Transgenically enhanced sorbitol synthesis facilitates phloem boron transport and increases tolerance of tobacco to boron deficiency. *Plant Physiol.* **119**:17-20.

Cihlář P. 2015. Osobní sdělení.

Coleman JE. 1992. Zinc proteins: Enzymes, storage proteins, transcription factors, and replication proteins. *Annu. Rev. Biochem.* **61**:897-946.

Datnoff LE, Rodrigues FA, Seebold KW. 2007. Silicon and Plant Disease. Pages 233-246 in Datnoff LE, Elmer WH, Huber DM, editors. Mineral Nutrition and Plant Disease. The American Phytopathological Society, St. Paul.

Dejou, J. 1992. Review of minerals and rocks containing magnesium. Pages 35-49 in Huguet C, Coppenet M, editors. Le magnesium en agriculture. INRA, Paris.

Donner HE, Lynn WC 1989. Carbonate, halide, sulfate, and sulfide minerals. Pages 279-330 in Kissel DE, Madison, editors. Minerals in Soil Environments. Soil Sci. Soc. of America, Wisconsin.

Duffy B. 2007. Zinc and Plant Disease. Pages 155-176 in Datnoff LE, Elmer WH, Huber DM, editors. Mineral Nutrition and Plant Disease. The American Phytopathological Society, St. Paul.

Duchoň F. 1948. Výživa a hnojení kulturních rostlin zemědělských. Československá akademie zemědělská, Praha.

Edelbauer A, Stangl J. 1993. Nährstoffentzug durch den Waldviertler Graumohn (*Papaver somniferum* L.). Verlauf der Vegetationszeit. Journal für landwirtschaftliche Forschung **44**:15 – 27.

Elawad SH, Green VE. 1979. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. Riso **28**:235-253.

Epstein E. 1972. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. Wiley, New York.

Evans CM, Sparks DL. 1983. On the chemistry and mineralogy of boron in pure and in mixed systems: a review. Commun. Soil Science. Plant Anal. **14**:827-846.

Exley C, Birchall JD. 1993. A mechanism of hydroxyaluminosilicate formation. Polyhedron **12**:1007-1017.

Fábry A. 1992. Olejniny. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha.

Farr DF, O'Neil NR. 2000. Morphological and molecular studies on *Dendryphon penicillatum* and *Pleospora papaveracea*, pathogens of *Papaver somniferum* L. Mycologia **92**:145-153.



Fernandez, V, Eichert T. 2009. Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: Current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Plant Sciences* **28**:36-68.

Fernández V, Sotiropoulos T, Brown P. 2012. *Foliar Fertilization: Scientific Principles and Field Practices*. International Fertilizer Industry Association, Paris.

Glynne MD. 1959. Effect of potash on powdery mildew in wheat. *Plant Path.* **8**: 15-16.

Gupta CU. 2007. Boron. Pages 241-278 in Barker AV, Pilbeam DJ, editors. *Handbook of plant nutrition*. CRC Press, Boca Raton.

Haneklaus S, Bloem E, Schnug E. 2007. Sulfur and Plant Disease. Pages 101-118 in Datnoff LE, Elmer WH, Huber DM, editors. *Mineral Nutrition and Plant Disease*. The American Phytopathological Society, St. Paul.

Havelka B. 1989. *Výživa a hnojení rostlin*. Vysoká škola zemědělská v Brně, Brno.

Hodson MJ, Sangster AG. 1988. Silica deposition in the influence bracts of wheat (*Triticum aestivum*). Scanning electron microscopy and light microscopy. *Can. J. Bot.* **66**:829–837.

Holloway PJ. 1982. The chemical constitution of plant cutins. Pages 45-85 in Cutler DF, Alvin KL, Price CE, editors. *The Plant Cuticle*. Academic Press, London.

Ježek J. 2018. *Využití hnojiv skupiny CARBON ve výživě máku* [BSc. Thesis]. Mendelova univerzita v Brně, Brno.

Jones JB, Huber DM. 2007. Magnesium and Plant Disease. Pages 95-100 in Datnoff LE, Elmer WH, Huber DM, editors. *Mineral Nutrition and Plant Disease*. The American Phytopathological Society, St. Paul.

Jones LHP, Handreck KA. 1965. Studies of silica in the oat plant, uptake of silica from soils by the plant. *Plant Soil* **23**:79-96.

Jones L.H.P, Hartley RD, Jarvis SC. 1978. Mineral content of forage plants in relation to nutritional quality-silicon. *Ann. Rep. of Grassland Res. Inst.* 25-26.

Kabata-Pendias A, Pendias H. 2001. *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press, Boca Raton.

Kannan S, Ramani S. 1978. Studies on molybdenum absorption and transport in bean and rice. *Plant Physiol.* **62**:179-181.

Kapoor LD. 1995. *Opium poppy: botany, chemistry, and pharmacology*. Food Products Press, New York.

Kevresan S, Petrovic N, Popovic M, Kandrac J. 2001. Nitrogen and protein metabolism in young pea plants as affected by different concentrations of nickel, cadmium, lead, and molybdenum. *J. Plant Nutr.* **24**:1633-1644.

Kruger W. 1976. The influence of fertilizers on fungal disease of maize. Pages 145-156 in *Fertilizer Use and Plant Health*. International Potash Institute, Bern.

Kursanov AL, Vyskrebentzewa E. 1966. The role of potassium in plant metabolism and the biosynthesis of compounds important for the quality of agricultural products. Pages 401-420 in *Potassium and the Quality of Agricultural Products*. Proc. 8th Congress. International Potash Institute, Bern.

Lošák T, Richter R, Hlušek J. 2005a. The Effect of Nitrogen and Boron Fertilisation on Poppy (*Papaver somniferum* L.) Yield and Composition. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* **48**:911-917.

Lošák T, Richter R, Hlušek J, Popp T, Antonkiewicz J, Ducsay L. 2005b. Potassium and its forms in the nutrition of poppy (*Papaver somniferum*, L.). *Fertilizers and Fertilization* **7**:379-383.

Lošák T, Richter R. 2006. Bór ve výživě máku setého (*Papaver somniferum* L.). Pages 171-174 in *Sborník z konference řepka, mák, hořčice*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Marschner H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press Limited. London.

Mendel RR, Schwarz G. 1999. Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants. *Crit. Rev. Plant Science* **18**:33-69.

Mengel K, Kirkby EA, Kosegarten H, Appel T. 2001. *Principles of Plant Nutrition*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Nouza P. 2017. Osobní sdělení.

Orlov DS. 1985. *Soil Chemistry*. Moscow State University, Moscow.

Parr AJ, and Loughman, BC. 1983. Boron and membrane functions in plants. Pages 87-107 in Robb DA, Pierpoint WS, editors. *Metals and Micronutrients: Uptake and Utilization by Plants*. Academic Press London, London.

Pissarek HP. 1973. The development of potassium deficiency symptoms in spring rape. *Z. Pflanzenernahr. Bodenk* **136**:1-96.

Plachká E, Poslušná J, Cihlár P, Větrovcová M, Havel J. 2015. Vliv fungicidního ošetření máku setého na zdravotní stav a výnos v roce 2015. Pages 130-133 in Bečka D, Švachula V, Vach M, editors. *Sborník z konference Prosperující olejnin 2015*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Popovec M. 1998. Agronomické zásady pestovania maku. Pages 90-101 in *Olejnin - Strategické, agronomické a ekonomické trendy pestovania olejnin na Slovensku*. Výskumný ústav rastlinnej výroby v Piešťanoch, Piešťany.

Prabhu AS, Fageria NK, Huber DM, Rodrigues FA. 2007. Potassium and Plant Disease. Pages 57-78 in Datnoff LE, Elmer WH, Huber DM, editors. *Mineral Nutrition and Plant Disease*. The American Phytopathological Society, St. Paul.

Rahman M, Punja ZK. 2007, Calcium and Plant Disease. Pages 79-94 in Datnoff LE, Elmer WH, Huber DM, editors. *Mineral Nutrition and Plant Disease*. The American Phytopathological Society, St. Paul.

Rensing L, Cornelius G. 1980. Biological membranes as components of oscillating systems. *Biol. Rundschau* **18**:197-209.

Richter R, Hlušek J. 1994. *Výživa a hnojení rostlin*. Vysoká škola zemědělská v Brně, Brno.

Richter R, Hlušek J. *Půdní úrodnost*. 2003. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.

Richter R, Lošák T. 2004. Aktuální otázky výživy máku. Pages 27-31 in *Sdružení Český Mák informuje*, 3. makový občasník. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Schonherr J. 1976. Water permeability of isolated cuticular membranes: the effect of cuticular waxes on diffusion of water. *Planta* **131**:159-164.

Schreir J. 1985. Vliv bóru a molybdenu na výnosové prvky u máku setého (*Papaver somniferum*, L.). Rostlinná výroba **31**:773-775.

Shuman LM, Welch RM. 1991. Micronutrients in Agriculture. University of Michigan, Michigan.

Srivastava PC. 1997. Biochemical significance of molybdenum in crop plants. Pages 47-70 in Gupta UC, editor. Molybdenum in Agriculture. Cambridge University Press, New York.

Stangoulis JCR, Graham RD. 2007. Boron and Plant Disease. Pages 207-214 in Datnoff LE, Elmer WH, Huber DM, editors. Mineral Nutrition and Plant Disease. The American Phytopathological Society, St. Paul.

Stark JM, Redente EF. 1990. Copper fertilization to prevent molybdenosis on retorted oil shale disposal piles. J. Environ. Qual. **19**:502-504.

Škarpa P, Richter R, Vlk R. 2012. Mikrobiogenní prvky ve výživě máku. Pages 86-88 in Bečka D, Švachula V, Vach M, editors. Sborník z konference Prosperující olejniný 2012. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Škarpa P, Richter R, Hlavinka P, Trnka M. 2015. Mimokořenová aplikace zinku snižuje riziko stresu suchem u máku setého (*Papaver somniferum* L.). Pages 123-126 in Bečka D, Švachula V, Vach M, editors. Sborník z konference Prosperující olejniný 2015. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Škarpa P, Richter R. 2016. Účinek listové aplikace hnojiv CARBON na produkci máku setého při rozdílných úrovních výnosu. Pages 128-132 in Bečka D, Švachula V, Vach M, editors. Sborník z konference Prosperující olejniný 2016. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Škarpa P. 2017. Zjištění účinku vybraných hnojiv na výnosové ukazatele máku setého. Mendelova univerzita v Brně, Brno.

Škarpa P. 2018. Účinek mimokořenové aplikace vybraných hnojiv na výnos máku setého. Mendelova univerzita v Brně, Brno.

Trehan SP, Sekhon GSS. Effect of clay, organic matter and CaCO content on zinc absorption by soils. Plant Soil **46**:329-336.

Trolldenier G. 1969. Cereal diseases and plant nutrition. Potash Review **23**:24.

Tyree MT, Scherbatskoy TD, Tabor CA. 1990. Leaf cuticles behave as asymmetric membranes. Evidence from the measurement of diffusion potentials. *Plant Physiol.* **92**: 103-109.

Vallee BL, Auld DS. 1990. Zinc coordination, function, and structure of zinc enzymes and other proteins. *Biochemistry* **29**:5647-5659.

Vaněk V. 1998. *Výživa a hnojení polních plodin, ovoce a zeleniny*. Farmář – Zemědělské listy, Praha.

Vaněk V, Balík J, Černý J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P, Valtera J. 2012. *Výživa zahradních rostlin*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Vašák J, Bechyně M, Vlk J, Vašák J, Cihlár P, Kosek Z, Pšenička P, Zehnálek P, Roubal T. 2010. *Mák*. Powerprint, Praha.

Veliký I. 1964. *Mikroelementy v teorii a praxi: Úvod do biochemie a fyziologie stopových prvků u zvířat a rostlin*. Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry, Bratislava.

Vlk R. 2009. *Ovlivnění dozrávání, kvality a výnosu máku setého (Papaver somniferum L.)*. [Ph.D. Thesis]. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Wehr JB, Menzies NW, Blamey FPC. 2004. Inhibition of cell-wall autolysis and pectin degradation by cations. *Plant Physiol. Bioch.* **42**:485-492.

Weiss A, Herzog A. 1978. Isolation and characterization of a silicon-organic complex from plants. Pages 109-127 in Bendz G, Lindquist I, editors. *Biochemistry of Silicon and Related Problems*, Plenum, New York.

Xie RJ, Mackenzie AF. 1991. Molybdate sorption-desorption in soils treated with phosphate. *Geoderma* **48**:321-333.

## **Internetové zdroje**

Richter R. Multimediální učební texty z výživy a hnojení polních plodin  
Available from  
[http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/hnojeni\\_plodin/html/olejniny/a\\_index\\_olejny.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/hnojeni_plodin/html/olejniny/a_index_olejny.htm) (accessed February 2019).

Sálusová D. 2018. České zemědělství očima statistiky 1918-2017. Český statistický úřad, Praha. Available from <https://www.czso.cz/csu/czso/ceske-zemedelstvi-ocima-statistiky-1918-2017> (accessed May 2019).

## 8 Příloha

**Tabulka 32: Meteorologické údaje na VS Červený Újezd v roce 2015**

Měsíc	I 15	II 15	III 15	IV 15	V 15	VI 15	VII 15	VIII 15	IX 15	X 15	XI 15	XII 15
Tepłota [°C]	1,8	0,7	5,5	9	13,7	16,2	20,8	21,9	14,6	8,2	6,7	4,8
Srážky [mm]	19,1	1,6	32,6	30	44,7	37	29,4	54,7	11,5	53,2	52,3	11,3
Počet dešt. dnů	5	0	5	5	6	4	6	1	7	4	5	3
Měsíc 1-5 mm celkem												
Počet dešt. dnů 5-10 mm	1	0	2	2	2	2	3	1	0	2	3	0
Počet dešt. dnů <10 mm	0	0	0	9	1	1	0	2	0	2	1	0
Tepłota [°C]	-2,3	-0,8	2,9	7,6	12,9	16,2	17,6	17,3	13,4	8,4	3	-0,5
Srážky [mm]	21,6	21,4	26,3	34,9	67,2	63,5	58,7	67,5	33	26,5	29,9	22,3
Normal*												

\*Praha Ruzyně 1960 – 2010

*Zdroj: Meteorologická stanice Červený Újezd*

**Tabulka 33: Meteorologické údaje ze stanice ČHMÚ Děbolín v roce 2017**

Měsíc	I 17	II 17	III 17	IV 17	V 17	VI 17	VII 17	VIII 17	IX 17	X 17	XI 17	XII 17
Teplota [°C]	-6	1,1	6,1	6,7	13,9	18,4	18,4	18,8	11,6	9,6	3,2	0,4
Srážky [mm]	30,1	25,8	60,1	103,6	19,5	43,6	127,9	67,5	29,5	74,8	42,6	34,8
Počet dešt. dnů	10	2	6	7	2	3	7	5	5	8	9	6
Měsíc 1-5 mm celkem												
Počet dešt. dnů 5-10 mm	0	3	2	3	0	3	3	2	3	4	3	1
Počet dešt. dnů <10 mm	0	0	1	3	1	1	4	2	0	1	0	1
Teplota [°C]	-2,2	-1,1	2,8	7,8	12,9	15,6	17,7	17,3	12,8	8	2,5	-1,2
Srážky [mm]	40,8	33,6	45,6	40,7	69,1	77,4	85,7	83,5	59,5	38,8	41,1	40,6

\*Děbolín 1981 – 2010

Zdroj: ČHMÚ Děbolín