

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



Využití hnojiv s fosforem při pěstování špenátu setého

Bakalářská práce

Bárta Lukáš

Rostlinná produkce ABRKS

Ing. Jindřich Černý, Ph. D.

© 2019 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Využití hnojiv s fosforem při pěstování špenátu setého" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 11. 4. 2019

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Jindřichu Černému, Ph.D. za užitečné rady, pomoc a trpělivost při psaní bakalářské práce. Rovněž bych rád poděkoval farmě Vladimír Pokorný za podporu při polních pokusech.

Využití hnojiv s fosforem při pěstování špenátu setého

Souhrn

Na pozemcích zemědělské farmy Vladimír Pokorný byly 2. srpna 2018 založeny poloprovozní pokusy, za účelem hodnocení vlivu hnojiv s obsahem fosforu na výnos špenátu setého. Celkem bylo oseto dvanáct parcel s tím, že v pokusech byla porovnávána aplikace fosforu do půdy, mimokořenová aplikace fosforu v listových hnojivech a kombinace obou způsobů hnojení, včetně nehnojené kontrolní varianty. Každá varianta měla v poloprovozním pokusu tři opakování. Dále byl předmětem pozorování vliv hnojiv s fosforem na snížení napadení (výskytu) houbových chorob. Všechny založené parcely byly hodnoceny z hlediska výnosu špenátu setého, který byl po sklizni a zvažení dopočítán na průměrný výnos z jednotlivých variant. Na všech variantách hnojených fosforem bylo dosaženo vyššího výnosu než na variantách kontrolních. Hnojení bylo tedy přínosné a potvrdilo hypotézu, že na variantách hnojených fosforem bude dosaženo vyššího výnosu než na variantách bez hnojení fosforem. Z hlediska porovnání variant hnojení fosforem do půdy a foliární aplikací, byl dosažen vyšší výnos na variantě s foliární aplikací, avšak rozdíl nebyl statisticky průkazný. Velmi důležité bylo zjištění ekonomického přínosu jednotlivých variant. Ekonomicky jednoznačně nejlépe dopadla varianta s použitím listového hnojiva s fosforem, s malým odstupem vyšla kladně i varianta s použitím kombinace Amofos + listové hnojivo s fosforem. Ovšem varianta, kde bylo použito pouze hnojení do půdy dopadla jednoznačně s ekonomickou ztrátou. Nakolik je takto špatný výsledek ovlivněn vlivem ročníku je otázkou diskuse.

Klíčová slova: fosfor, špenát setý, poloprovozní pokus, výnos, choroby

Use of fertilizers with phosphorus in the spinach production

Summary

On August 2, 2018, pilot plant experiments were established on the land of the agricultural farm, Vladimír Pokorný, in order to evaluate the effect of phosphorus-containing fertilizers on the spinach yield. A total of twelve plots were sown, with the application of phosphorus to soil, the non-root application of phosphorus in foliar fertilizers and the combination of both fertilization methods, including non-fertilized control variants. Each variant had three replicates in a pilot run. Furthermore, the effect of phosphorus fertilizers on the reduction of fungal disease was observed. All the parcels were evaluated in terms of spinach yield, which was calculated after the harvest and weighed on the average yield of the varieties. All varieties fertilized with phosphorus yielded a higher yield than the control and fertilization variants, thus confirming the hypothesis that higher yields would be achieved on phosphorus-fertilized variants than on variants without phosphorus fertilization. In terms of comparing phosphorus fertilization options to soil and foliar application, a higher yield was obtained on the variant with foliar application, but the difference was not statistically significant. It was very important to find out the economic benefits of the individual options. The economically unambiguously best option was using a foliar fertilizer with phosphorus, and a variant with the use of a combination of Amofos + foliar fertilizer with phosphorus came out with a small distance. However, the option where only soil fertilization has been used has clearly resulted in an economic loss. The extent to which such a bad result is influenced by the vintage is a matter of discussion.

Keywords: phosphorus, spinach, pilot plant, yield, disease

Obsah

1 Úvod.....	11
2 Cíl práce a hypotézy	12
3 Literární rešerše	13
3.1 Historický vývoj názorů na výživu rostlin.....	13
3.2 Chemické složení rostlin	13
3.3 Využití chemických analýz rostlin.....	14
3.4 Příjem živin rostlinou	15
3.4.1 Faktory ovlivňující příjem živin	15
3.4.2 Příjem živin rostlinou.....	16
3.4.3 Mykorhiza	18
3.4.4 Kořenová exsudace	19
3.4.5 Mimokořenová výživa rostlin.....	20
3.5 Fosfor.....	22
3.5.1 Fosfor v půdě	22
3.5.2 Fosfor v rostlinách	23
3.5.3 Vliv fosforu na choroby rostlin.....	27
3.5.4 Fosforečná hnojiva.....	28
3.6 Špenát setý – spinacia oleracea L.	29
3.6.1 Původ a botanická charakteristika	29
3.6.2 Nároky na stanoviště.....	29
3.6.3 Nároky na hnojení.....	29
3.6.4 Pěstování.....	30
3.6.5 Choroby	30
3.6.6 Moření osiva	31
3.6.7 Ochrana proti plevelům	31
3.6.8 Sklizeň	31
3.6.9 Ekonomika pěstování.....	32
4 Materiál a metody	33
4.1 Metodika	33
4.2 Podnik.....	33
4.3 Lokalita	33
4.4 Meteorologické údaje z lokality	34
4.5 Agrotechnika	35
4.6 Použitá hnojiva	36
4.6.1 Amofos 52 - 12	36
4.6.2 Listové hnojivo	36
4.7 Sklizeň	36

5	Výsledky	37
5.1	Vliv ročníku 2018	37
5.2	Výnosy špenátu setého	38
5.3	Zdravotní stav porostu	39
5.4	Ekonomické zhodnocení	40
6	Diskuze	43
6.1	Vliv použití hnojiv s fosforem na výnos špenátu setého	43
6.2	Vliv fosforečného hnojení na choroby rostlin.....	44
6.3	Ekonomické zhodnocení	44
7	Závěr.....	45
8	Literatura.....	46

1 Úvod

Celosvětově je známo více než čtvrt milionu rostlinných druhů, z toho 30 000 druhů je jedlých a z nich se 7 000 využívá jako potravina. Ve velkém se však pěstuje asi 120 druhů rostlinných potravin. Pouze 9 druhů rostlin dodává lidstvu více než 75 % rostlinné potravy. K udržení většího počtu konzumovaných rostlin přispívá se stovkami druhů a tisíci odrůdami právě zelenina. Zeleninu charakterizuje vitamínová bohatost, značný obsah minerálních složek, vlákniny (zvláště pektinu) a velký komplex ocharanných látek, zejména vitamínů. Velmi významné vitaminy zeleniny jsou vitamin C, provitamin A, vitaminy skupiny B. Zelenina je pro zdraví přínosem, ať již se konzumuje v čerstvém stavu, různě konzervovaná nebo potravinářsky a kulinárně upravovaná nesčetnými způsoby (Kopec, 2010).

Výživa zeleniny představuje jednu ze základních podmínek pro její úspěšné pěstování. Souběžně s dosahováním jisté výnosové úrovně (naše přírodní podmínky umožňují při volbě optimálního stanoviště a nezbytné úrovně výživy dosahovat výnosů, které zaručují rentabilitu pěstované zeleniny) rostou nároky na strukturu, vyšší nutriční hodnotu, kvalitu a hygienickou nazávadnost produkce (Petříková a kol., 2012).

Zelenina je nezbytnou součástí racionální výživy člověka. Je významná svou nutriční hodnotou a zdravotními účinky. Doporučené množství zeleniny je 130 kg za rok (Petříková a kol., 2006). V roce 2015 byla spotřeba zeleniny v ČR na obyvatele a rok 84,8 kg. A do roku 2017 spotřeba vystoupala na 88,1 kg spotřebované zeleniny (ČSÚ).

Problematika fosforu se znovu dostala do popředí celospolečenských zájmů hlavně argumentací ekologů. Je pravdou, že fosfor je po dusíku dalším biogenním prvkem s výrazným environmentálním dopadem na kvalitu vod. Fosfor je primární příčinou eutrofizace povrchových vod, (tj. nadměrného rozvoje nežádoucích řas, cyanobakterií, okřehků, ...), jejímž důsledkem je pokles obsahu kyslíků ve vodě, vzrůst nadměrné kumulace a rozklad organických látek včetně tvorby toxických produktů. Problematiku efektivní zásoby P v půdách je třeba řešit z pohledu zemědělské produkce, ochrany životního prostředí a omezenosti P-surovin pro výrobu hnojiv (Matula, 2012).

2 Cíl práce a hypotézy

Cílem práce bylo hodnocení vlivu hnojení fosforem na produkci špenátu setého. Při prováděném pokusu jsme se snažili zjistit vliv aplikace hnojiv s fosforem na dosažení vyššího výnosu špenátu než na variantách bez hnojení fosforem. Dále bylo předmětem poloprovozních pokusů zjištění vlivu aplikace listových hnojiv s fosforem na vyšší výnos špenátu, než-li tomu bylo na variantě samotného hnojení fosforem do půdy.

Hnojení fosforem mělo jako vedlejší účinek snížit výskyt houbových chorob ve špenátu setém.

Hypotéza č. 1: Při aplikaci hnojiv s fosforem bude dosaženo vyššího výnosu špenátu než na variantách bez hnojení fosforem.

Hypotéza č. 2: Při aplikaci listových hnojiv s fosforem bude dosaženo vyššího výnosu špenátu než při samotném hnojení fosforem do půdy.

Hypotéza č.3: Hnojení fosforem sníží výskyt houbových chorob ve špenátu setém.

3 Literární rešerše

3.1 Historický vývoj názorů na výživu rostlin

Patrně již od starých Římanů a Řeků až do středověku byli pěstitelé rostlin i profesionální botanici přesvědčeni o tom, že rostliny čerpají živiny hlavně z vody. V 17. století tuto domněnku velmi přesvědčivě doložil J. B. van Helmont (1577-1644) pěstováním vrby v hrnci, kterou zaléval dešťovou vodou. Po pěti letech zjistil velký přírůstek hmotnosti vrby, aniž by se prokazatelně zmenšila hmotnost půdy. Na toto přesvědčení neměl žádný vliv ani velmi moderní názor alchymisty B. Palissyho (1511-1589), podle nějž hlavním zdrojem výživy jsou soli v půdě, které se na pole vracejí s hnojením chlévskou mrvou. Za předěl v názorech lze považovat rok 1840, kdy německý chemik J. von Liebig (1803-1872) svým spisem „Organická chemie a její použití v zemědělství a fyziologii“ definitivně prosadil přijetí tzv. teorie minerální a zároveň definoval tzv. zákon minima, který je po něm rovněž pojmenován jako Liebigův zákon minima (Procházka a kol., 1998).

3.2 Chemické složení rostlin

Ke zjišťování obsahu jednotlivých prvků v rostlinách se využívá chemických analýz rostlin, případně vegetačních pokusů. Protože obsah vody v rostlinách je značně rozdílný a proměnlivý (pohybuje se mezi 10 – 95 % v závislosti na druhu a odrůdě rostliny, vývojovém stádiu, části rostliny, podmínkách prostředí apod.), je nutno na začátku chemické analýzy vzorky nejprve vysušit a stanovit tak obsah vody a sušiny (Vaněk a kol., 2016).

Vaněk a kol. (2012) dále uvádějí, že prvky obsažené v sušině lze z hlediska analytických postupů rozdělit do dvou skupin: spalitelný podíl a popeloviny.

Spalitelný podíl je organická část rostlin tvořena organickými sloučeninami, které se při žihání rozloží na elementární části (spálí se) a ve formě plynů uniknou do prostředí. Převážnou část sušiny rostlin tvoří uhlík (C) – asi 45 %, kyslík (O) – asi 42 %, vodík (H) – asi 6 % a dusík (N) – okolo 1,5 %. Na popeloviny připadá asi 3-5 % sušiny rostlinné hmoty. Do prvků bohatěji zastoupených v rostlinách patří fosfor (P), draslík (K), vápník (Ca), hořčík (Mg), síra (S), sodík (Na), chlór (Cl), křemík (Si) a řada dalších, které se vyskytují v menším množství, jako je železo (Fe), mangan (Mn), měď (Cu), zinek (Zn), bór (B), molybden (Mo) a další (Vaněk a kol., 2012).

Zvýrazněné obsahy prvků v tab. 1 ukazují na druhové rozdíly ve složení popelovin, zvláště vysoký obsah sodíku v popelovinách špenátu.

Tab. 1 – procentuální zastoupení popelovin u vybraných druhů rostlin (Vaněk a kol., 2012)

Rostlina	% v popelu							
	P	K	Ca	Mg	Na	S	Cl	Si
Pšenice zrnó	48,9	30,5	2,8	12,0	1,7	1,3	0,5	1,5
Ředkvička (bulva)	10,4	39,0	10,1	3,7	2,1	24,7	1,4	7,2
Celer (bulva)	12,8	43,2	13,1	5,8	5,7	5,6	10,0	3,8
Špenát	10,2	16,6	11,9	6,4	35,3	6,9	6,2	4,5
Brambory (hlízy)	16,9	60,1	2,6	4,9	3,0	6,5	3,5	2,0
Přeslička	1,4	8,0	8,8	1,8	0,6	2,8	5,6	70,6

Kvalitativně odpovídá obsah prvků v rostlinách jejich výskytu v kořenovém substrátu. Je evidentní, že nepřítomnost prvku v půdě a okolní atmosféře znamená i jeho nepřítomnost v rostlině. Obdobně se pak prvky, vyskytující se v dosahu kořenů nebo listů rostlin, nacházejí i v jejich strukturách. Ovšem kvantitativní zastoupení jednotlivých prvků v rostlině a v půdě může být naprosto rozdílné (Procházka a kol., 1998).

3.3 Využití chemických analýz rostlin

Chemické analýzy rostlin poskytují důležité informace o:

- Celkové potřebě jednotlivých živin pro rostliny.
- Časových nárocích rostlin na živiny během vegetace.
- Výživném stavu rostlin během vegetace.
- Kvalitě sklizených produktů.

Množství živin obsažené v biomase rostlin nazýváme odběr. Vychází v podstatě z obsahu prvku v biomase a jeho množství. V období sklizně mluvíme o hospodářském odběru, který je nejvýznamnějším podkladem pro stanovení potřeby hnojení. Udává se v tzv. normativch odběru na jednotku sklizně hlavního produktu (Vaněk a kol., 2016).

Vaněk a kol. (2012) dále dělí odběr živin na biologický a hospodářský. Biologický odběr označuje jako množství živin obsažené v biomase v určité fázi vegetace (na počátku růstu, v době květu apod.), kdežto hospodářský odběr je odběr v době sklizně a udává množství živin obsažené ve sklizených produktech, které se odvázejí z pozemku.

3.4 Příjem živin rostlinou

3.4.1 Faktory ovlivňující příjem živin

3.4.1.1 Vnitřní faktory

Příjem živin je ovlivňován celou řadou faktorů, které můžeme rozlišit na vnitřní a vnější. Vnitřní faktory souvisí s druhem pěstované plodiny a jsou dány geneticky. Charakteristickým znakem jak rostlinného druhu, tak odrůdy je příjmová kapacita rostlin. Ta je ovlivněna „mohutností“ kořenového systému rostlin (velikostí a množstvím kořenového vlášení) a jeho vlastnostmi. Jednotlivé druhy rostlin odčerpávají z půdy prvky rozdílně, některé přijímají z půdy více N, P či K než jiné. Výrazné jsou i druhové rozdíly v příjmu živin z méně přístupných forem (Richter, 2004). Na toto poukazují i Vaněk a kol. (2012), když říká, že charakteristickým znakem rostlinného druhu, a v mnohých případech i odrůd, je příjmová kapacita rostlin, která souvisí s genetickým založením a je dána především uspořádáním a rozvojem kořenového systému (hloubka pronikání kořenů, množství kořenového vlášení a celkový povrch kořenů) jednotlivých druhů rostlin. Příjmová kapacita rostlin je dále ovlivněna především:

- Biologickou hodnotou rostliny, celkovým metabolismem, vysokým asimilačním efektem.
- Rozdílným množstvím a složením exsudátů, které významně ovlivňují počet mikroorganismů a jejich aktivitu v rhizosféře.
- Výskytem a rozvojem mykorhizy.

3.4.1.2 Vnější faktory

Zasahují velmi významně do příjmu živin i jejich využití na tvorbu výnosu a kvalitu produkce. Jsou to především podmínky daného stanoviště určované polohou, povětrnostními a půdními podmínkami. Výrazný vliv na příjem živin má teplota prostředí, zvláště u živin, jež jsou přijímány aktivně (Vaněk a kol., 2016). Richter (2004) vnější faktory dále člení na:

- Teplota

Při nižších teplotách než 10°C se snižuje příjem fosforu kořeny. Teplota kolem 5°C je hranicí pro příjem dusíku nitrátového, zatímco dusík amoniakální přijímají rostliny i při teplotě nižší. U většiny plodin mírného pásma je při teplotě pod 10°C omezen příjem síry a draslíku, naopak dochází ke zvýšení příjmu vápníku a hořčíku. Vaněk a kol. (2012) uvádí, že při vyšších teplotách a dostatečné vlhkosti se tedy většinou zvyšuje příjem živin, hlavně draslíku, fosforu a dusíku. Je to dáno vlastním příjmem živin i tím, že jsou příznivě ovlivněny biologické procesy v půdách a dochází k dostatečnému uvolňování živin z půdní zásoby.

- **Voda**

Voda obsahuje nezbytné prvky, pro zajištění všech životních pochodů rostlin, čímž je zdrojem živin, umožňuje difúzi, transport a distribuci látek v celé rostlině. Za vyšší půdní vlhkosti se obvykle v půdním roztoku zvyšuje koncentrace Ca^{2+} , Mg^{2+} v poměru k jednomocným kationtům K^+ , Na^+ .

Hlubší kořenový systém zlepšuje přístup k zásobě vody v podorničí, vyšší hustota kořenů zlepšuje příjem živin z vysychající půdy. Rostliny jsou dokonce schopny kořeny vylučovat vodu přijatou z hlubokých vrstev do vyschlých povrchových vrstev a tak zlepšovat v malé míře podmínky pro příjem živin (Haberle a kol., 2008).

- **Sluneční záření**

Kvalita, intenzita a doba osvětlení ovlivňuje celou řadu fyziologických procesů v rostlině. Zvýšená intenzita osvětlení pozitivně působí na příjem dusíku, fosforu a síry. Vaněk a kol. (2012) uvádějí ještě jeden důležitý faktor, a to interferenci iontů. Mezi ionty existují významné vzájemné vztahy a vzájemná ovlivňování, která značně zasahují do jejich příjmu, zvláště dojde-li k jednostrannému zvýšení či snížení jejich koncentrace v živném prostředí. Větší vliv je v živných roztocích, substrátech a půdách s malou sorpční schopností, tedy na lehkých půdách s nízkým obsahem jílu a kvalitní organické hmoty. Podle vlastností jednotlivých iontů (velikost, hydratace, valence, aktivita a pohyblivost v rostlinách) nastává rozdílné působení. Vzájemné ovlivňování iontů lze rozdělit na negativní, tedy antagonistické – omezení příjmu druhého iontu, a pozitivní, synergické – zvýšení příjmu dalšího iontu.

3.4.2 Příjem živin rostlinou

Příjem fosforu rostlinou je rovnoměrný během celé vegetace. Rozhodující je však příjem na počátku růstu (je značně ovlivněn tvorbou kořenů a prokořeněním celého půdního profilu), kdy rostlina přechází na autotrofní výživu. Při dostatečném příjmu je více než polovina fosfátů v buňce soustředěna ve vakuolách. Nedostatek fosforu v tomto období významně snižuje výnos pěstované plodiny. Přijatý fosfor je v rostlinách dobře pohyblivý a je transportován do vegetačních vrcholů (Pavlíková a kol., 2008). Důsledkem značné pohyblivosti fosforu v rostlině může docházet i k jeho zpětnému přechodu do půdního roztoku, představující někdy až šestinu přijatého množství (Prokeš, 2008). Procházka a kol. (1998) dále upřesňují, že rostliny většinou přijímají všechny ionty, které se vyskytují v kořenovém substrátu. Ovšem mají schopnost selektivně udržovat koncentraci jednotlivých látek nižší nebo vyšší, než je jejich koncentrace v okolním prostředí. Příslušnou bariéru selektující vstup látek do buňky představují membrány.

Rozhodující podíl minerálních živin nezbytných pro růst rostlina přijímá z půdy, kde jsou přítomny v relativně nízkých koncentracích, které se významně mění během vegetace. Tato vnější koncentrace živin ovlivňuje jak rychlost příjmu, tak i jejich vnitřní obsah v rostlině.

Prvním krokem v osvojování živin rostlinou je jejich transport z bezprostředního okolí kořenů do buňky (Haberle, 2008). Toto více rozvádějí ve své publikaci Vaněk a kol. (2016), kdy proces příjmu živin kořeny rozděluje na několik fází:

1. přísun živin do bezprostřední blízkosti kořenů
2. průnik živin do volného prostoru buněk kořenů
3. vstup živin do vnitřního prostoru buněk kořenů (průnik polopropustnou membránou – plazmalemou, do cytoplazmy)
4. transport živin v rostlině

Procházka a kol. (1998) uvádějí, že se v zásadě transportní mechanismy dělí do těchto skupin:

1. nspecifický transport
 - a. prostá difuze
 - b. zprostředkovaná difuze
2. zprostředkovaný transport
 - a. primární aktivní transport
 - b. sekundární aktivní transport

3.4.2.1 Difuze

Difuze je transport iontů do míst s jejich nižší koncentrací. Jedná se v podstatě o pohyb iontů z volné části půdy do ochuzené (odčerpané) zóny v rhizosféře – tedy na místa s nižší koncentrací, než je ve volné půdě (Vaněk a kol., 2012). Procházka a kol. (1998) ve své publikaci zmiňují, že difuzí jsou ionty transportovány v kompartmentech buňky nebo v buněčné stěně. Ionty spontánně difundují z míst s jejich vyšší koncentrací do míst s nižší koncentrací. Dále uvádí, že na krátké vzdálenosti odpovídající rozměrům buněčných kompartmentů je tento způsob transportu dostatečně rychlý.

3.4.2.2 Aktivní příjem živin

Za normálních fyziologických podmínek je vyžadována transportní energie pro přenos fosfátu (Pi) napříč plazmatickou membránou z půdy do rostliny z důvodů relativně vysoké koncentrace Pi v cytoplazmě a negativního membránového potenciálu, který je charakteristický pro rostlinou buňku (Schachtman et al., 1998). Vaněk a kol. (2012) dále vysvětlují, že aktivní příjem živin a jejich selektivita je vysvětlována teorií přenašečů. Existují představy, že se jedná o integrované membránové proteiny, vykazující specifickou afinitu k některým iontům. Aktivované přenašeče vytvářejí s ionty komplex, který je v membráně difuzibilní a iont je takto přenášen z vnější části membrány k vnitřní. Tam je odevzdán do nitra buňky (cytoplazmy – cytosolu). Pro opětovnou aktivaci přenašeče je zapotřebí energie, kterou poskytuje ATP (adenosintrifosfát) a současně je přenašeč fosforylován.

Existuje obecná představa, že příjem fosforu rostlinou probíhá jako přímý důsledek absorpce kořenovými buňkami z půdy. U více jak 90 % rostlin však vznikají symbiotické asociace s mykorhizními houbami (Schachtman et al., 1998).

3.4.3 Mykorhiza

Kořeny většiny rostlin žijí v mykorhizní symbióze s houbami. V celosvětovém měřítku se předpokládá, že přibližně 83 % dvouděložných a 79 % jednoděložných rostlin žijí v tomto soužití. Vlákná mykorhizních hub propojují vnitřní prostor kořene s půdním prostředím. Houba však nekolonizuje kořen chaoticky, ale omezuje se na některé jeho části – na kořenovou pokožku a na kořenovou kůru (Balík a kol., 2008). Schachtman et al. (1998) ke kořenům dále zmiňují, že existuje několik publikovaných studií kinetiky absorpce fosfátů (Pi), které ukazují, že mykorhizní kořeny a izolované hyfy mají systém Pi absorpce s charakteristikami podobnými těm, které se vyskytují u nemykorhizálních kořenů. Byl identifikován gen GvPT, který kóduje vysoce afinitní fungální fosfátový transportér ve vnějších hyfách, který je podobný jak ve struktuře, tak ve funkci jako transportéry s vysokou afinitou v rostlinách.

Fosfor pro rostliny patří mezi makroelementy nejméně v půdě dostupné. Rostliny proto vyvinuly řadu strategií pro jeho získávání i z velmi těžko dostupných půdních zásob v půdě. Velmi účinné jsou mykorhizní asociace. Základními typy mykorhizy s vysokou účinností v získávání rostlině těžko dostupných minerálních živin a v rozšiřování oblasti, do níž zasahuje sorpční schopnost kořenového systému, jsou ektotrofní a endotrofní mykorhiza (Pavlíková a kol., 2008). Kořenové exsudáty hostitelské rostliny mají silný chemoaktivní stimulační vliv na hyfy. Především se na něm podílejí flavonoidy a jejich efektivnost se zvyšuje se stoupající koncentrací CO₂ (Balík a kol., 2008). Rovněž Vaněk a kol. (2012) toto potvrzují, když uvádí, že na růst mykorhizních hub mají stimulační efekt kořenové exsudáty a v nich zejména flavonoidy. Ty jsou sice látkami omezujícími růst kořenových patogenů a brání do jisté míry degradaci sloučenin obsažených v exsudátech, ale současně působí příznivě jako signální molekuly pro klíčení spor a růst hyf mykorhizy. Balík a kol. (2008) ještě uvádějí, že u všech typů mykorhizních symbióz platí, že má-li symbióza vůbec vzniknout, je třeba, aby půda (nebo jiný substrát) obsahovala živé mykorhizní houby. Ty mohou být přítomny buď ve formě klidových stadií – spor, nebo jako již symbioticky rostoucí či vegetativní (dočasně bez hostitele přežívající) podhoubí (mycelium). Symbiotické nebo vegetativní mycelium kolonizuje kořen přímo, spory musí nejprve vyklíčit.

Mykorhizní houby jsou schopny efektivněji zachytit fosfor z půdního roztoku. Spolupráce s houbami rostlinám umožňuje účinněji soutěžit s půdními mikroorganismy o fosfor dostupný z půdy. Mykorhizní houby jsou schopny také získat fosfor z organických vazeb, které nejsou přímo dostupné rostlině (např. kyselina fytová, NK) (Schachtman et al., 1998).

Ektotrofní mykorhiza má houbová vlákna opředena v podobě husté plsti na povrchu kořínků, které tak úplně odloučí od substrátu. Hyfy pronikají daleko do půdy a odtud čerpají živiny. Při endotrofní mykorhize houbová vlákna neobalují kořeny a kořeny nejsou obvykle deformované. Vlákná hub ale pronikají do buněk korového pletiva (Pavlíková a kol., 2008). Frey-Klett et al. (2007) ve své publikaci uvádějí, že v přírodních podmínkách jsou mykorhizní

houby obklopeny komplexem mikrobiálních společenstev, které upravují mykorhizní symbiózu. Jedná se o tzv. pomocné bakterie mykorhizální. Tyto bakterie napomáhají tvorbě mykorhizy a pozitivně ovlivňují fungování symbiózy.

Minerální výživa významně zasahuje do kolonizace kořenů mykorhizou. Za extrémně nízkého obsahu fosforu v půdě je velmi malé obsazení kořenů hyfami, jako by nedostatek fosforu limitoval i rozvoj hyf. Se stoupající výživou P je zvyšován i růst kořenů a podíl „infikovaných“ kořenů až do dosažení optima. Negativní korelace mezi výživou fosforem a intenzitou mykorhizní symbiózy je determinována především hostitelskou rostlinou. Jako příklad lze uvést zvýšený počet nekrotických míst na kořenech a drastické snížení přísunu exsudátů k hyfám hub při nadměrné výživě fosforem (Balík a kol., 2008).

Je zřejmé, že v rhizosféře se odehrávají nejvýznamnější biologické, chemické i fyzikální procesy, protože jsou mnohem intenzivnější než ve volné půdě a rozhodují o zdárném růstu rostlin na daném stanovišti (Vaněk a kol., 2012).

3.4.4 Kořenová exsudace

Rostliny získávají minerální živiny převážně z půdy přes rhizosféru. Vylučují velké množství metabolitů do rhizosféry, aby upravili dostupnost živin a detoxikovaly nežádoucí škodliviny z půdy (Yi-Tze Chen et al., 2017).

Kořenové exsudáty jsou vysokomolekulární nebo nízkomolekulární rozpuštěné látky, uvolněné nebo vylučované kořeny rostlin. Nejdůležitějšími složkami vysokomolekulárních exsudátů jsou ektoenzymy a vrstva slizu na kořenové čepičce (mucilage), z nízkomolekulární frakce jsou to organické kyseliny, cukry, fenoly a aminokyseliny včetně fyto sideroforů. Kořenové exsudáty jsou produkty autolýzy epidermálních a kortexových buněk Balík a kol. (2008) a jak dále zmiňují Bais et al. (2006), kořenové exsudáty se mohou účastnit i signalizačních procesů, které iniciují provádění interakcí mezi kořeny rostlin a jinými rostlinami či mikroby a hád'átky přítomnými v rhizosféře.

Suma všech látek deponovaných kořeny rostlin do půdy je nazývána „rhizodepozice“. Tu lze rozdělit podle různých kritérií. Často je suma látek v rámci rhizodepozice rozdělována podle způsobu uvolňování těchto látek do půdy takto:

- vodorozpustné kořenové exsudáty uvolňované z kořenů rostlin pasivní difuzí
- sekreci zahrnující vysokomolekulární látky
- sekreci zahrnující CO_2 , HCO_3^- , H^+ , e^- , ethylen atd.
- lyzáty s obsahem odlupujících se kořenových buněk a celých kořenů
- vysokomolekulární rostlinný sliz (v anglicky psané literatuře označovaný jako „mucilage“), který pokrývá kořeny rostlin a je složen z polysacharidů a polygalakturonových (pektinových) kyselin (Vranová a kol., 2012).

Vaněk a kol. (2012) shrnují význam kořenové sekrece do následujících bodů:

- Poskytuje energetický materiál i živiny pro mikroorganismy – jedná se o snadno využitelné a odbouratelné látky, které bezprostředně využívají mikroorganismy.
- Řada látek má amfoterní charakter a pufovací schopnost (aminokyseliny), čímž mohou udržovat, či vyrovnávat změny pH prostředí v bezprostřední blízkosti kořenů. Současně jsou však rostliny schopny do určité míry usměrňovat výdej látek tak, aby pH půdy odpovídalo potřebě rostlin – vyšší uvolňování iontů H^+ na alkalických půdách.
- Enzymy jsou schopné rozkládat organické sloučeniny a zpřístupňovat je pro rostliny.
- Kořenová sekrece příznivě ovlivňuje živinný režim v rhizosféře, a proto rostliny produkující větší množství exsudátů mají vyšší osvojovací schopnost pro živiny.

Živiny vydané do prostředí mohou být opětně přijaty kořeny. Jedná se nejen o příjem iontů fosforu, draslíku a dalších, ale zřejmě i některých nízkomolekulárních organických látek (např. aminokyselin), případně produktů jejich rozkladu. Většinou jsou však tyto látky velmi rychle rozloženy a využity mikroorganismy (Vaněk a kol., 2012).

3.4.5 Mimokořenová výživa rostlin

Rostliny mohou přijímat živiny všemi orgány – tedy i listy, stonky, květy a u stromů i větvemi a kmenem. Mechanismus vstupu živin do rostliny je podobný jako u kořenů, má však některé odlišnosti. Významnou překážkou pro příjem živin listy je kutikula. K průniku živin a nízkomolekulárních organických látek (sacharidy, aminokyseliny) kutikulou slouží velké množství pórů ($10^{10}/\text{cm}^2$) o velikosti do 1 nm, které jsou soustředěny hlavně kolem svěracích buněk průduchů (Vaněk a kol., 2016). Procházka a kol. (1998) dále zmiňují, že po aplikaci roztoku živin procházejí jednotlivé ionty nejprve kutikulou, která se skládá z několika vrstev tvořených kutinem a vosky. Houbovitá struktura kutikuly umožňuje pomalý transport vody a v ní obsažených živin. Tato propustnost je větší při ovlhčení povrchu listu, kdy se zvyšuje hydratace a bobtnání kutikuly.

Mimokořenovou výživu lze použít k operativnímu odstranění deficitu živin v rostlině, ale jak Škarpa a kol. (2015) uvádějí, je důležité si uvědomit, že mimokořenová výživa nemůže nahradit kořenovou výživu, protože se její pomocí do porostu dodá pouze malé množství živin (u dusíku v jednotkách kg/ha, u ostatních živin od jednotek po stovky g/ha). Proto je třeba ji chápat jako výživu doplňkovou, kterou lze operativně řešit aktuální poruchy ve výživě rostlin způsobené stresem nebo nevhodnými vnějšími podmínkami. Toto tvrzení doplňuje Fageria et al. (2009), když zmiňuje, že foliární aplikace hnojiv vyžaduje vyšší index listové plochy pro dostatečné absorbování aplikovaných živin. Dále říká, že koncentrace živin a denní teploty by měli být optimální, aby nedošlo vlivem nepříznivých faktorů k popálení listů. Foliární aplikace hnojiv se provádí hlavně na základě chemické analýzy rostlin či vizuálních příznaků na listech. Správná diagnóza nedostatku živin je tedy zásadní pro úspěšnou foliární aplikaci hnojiv.

Škarpa a kol. (2015) dále specifikují, že pro vstup živin do listové buňky platí, že rychleji jsou přijímány:

- kationty než anionty
- ionty živin s jedním nábojem (K^+ , Na^+ , NH_4^+) než se dvěma (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+}) nebo třemi (Fe^{3+} , Al^{3+}) náboji.

Tab. 2 Rychlost příjmu jednotlivých živin listy rostlin (Trčková a Jandová 2003)

Živina	Doba při 50 % absorpci
Dusík (N z močoviny)	½–2 hod.
Hořčík (Mg)	2–5 hod.
Bór (B)	5 hod.
Draslík (K)	10–24 hod.
Vápník (Ca)	1–2 dny
Mangan (Mn), Zinek (Zn)	1–2 dny
Fosfor (P)	1–5 dnů
Síra (S)	5–8 dnů
Železo (Fe), Molybden (Mo)	10–12 dnů

Příjem živin listy je ovlivněn vnějšími podmínkami, jako je koncentrace živin v roztoku, valence iontů, teplota, vlhkost a vnitřními faktory, mezi které řadíme metabolickou aktivitu rostlin. To je také důvod, proč účinek mimokořenové výživy je v jednotlivých letech velmi rozdílný (Škarpa a kol., 2015).

Tab. 3 Rozdíly v mobilitě minerálních biogenních živin (White, 2012)

Vysoká mobilita	Střední mobilita	Nízká mobilita
dusík (NH_2)	železo (Fe)	vápník (Ca)
draslík (K)	zinek (Zn)	mangan (Mn)
hořčík (Mg)	měď (Cu)	
fosfor (P)	bór (B)	
síra (S)	molybden (Mo)	

3.5 Fosfor

3.5.1 Fosfor v půdě

Celkové množství fosforu v půdě kolísá od 0,01-0,15 %. Vyšší obsah P vykazují většinou půdy s vyšším obsahem organické hmoty, zatímco půdy lehké s malým obsahem organické hmoty mají obsah P nízký. Převážná část celkového P v půdách je pro rostliny nepřijatelná. Základem různých forem fosforu v půdě jsou sloučeniny kyseliny trihydrogenfosforečné (H_3PO_4) a jen v menší míře vazby kyseliny difosforečné ($\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$). Sloučeniny fosforu, sloužící jako potenciální zdroj pro výživu rostlin a půdních mikroorganismů, jsou minerální a organické sloučeniny (Vaněk a kol., 2012). Procházka a kol. (1998) uvádějí, že fosfor se v závislosti na složení půdy nachází ve formě fosfátu vápenatého, adsorbovaných fosfátů, vázaných fosfátů a organických fosfátů. Podíl vápenatých fosfátů se zvyšuje s pH v půdě, takže tato forma převažuje na vápenatých půdách. Naopak při pH menším než 7 adsorbované fosfáty tvoří největší podíl. Dále uvádí, že fosfatázy se vyskytují u mnoha mikroorganismů i v hyfách mykorhizních hub, ale mohou být také vylučovány kořeny rostlin. Obsah fosfátu v půdním roztoku, odkud je přístupný rostlinám, je nejvíce ovlivňován hodnotami pH a obsahem Ca^{2+} . V půdách, kde převládají vápenaté fosfáty, příjem Ca^{2+} nebo uvolnění H^+ zvýší obsah fosfátů v roztoku.

Minerální formy fosforu jsou tvořeny primárními fosforečnými minerály (apatity) – vyskytují se rozptýleně ve všech magmatických horninách. Jedná se o vápenaté sloučeniny sestávající ze tří molekul $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ a jedné molekuly chloridu, fluoridu nebo hydroxidu vápenatého. Podle této doprovodné sloučeniny se odvozuje jejich název – chlorapatit apod. Převažujícími anorganickými sloučeninami P v půdách slabě kyselých až alkalických jsou soli vápenaté – jsou to sloučeniny, které vznikají v půdách při chemických reakcích původně rozpustných sloučenin či uvolňované z kyseliny fosforečné (Vaněk a kol., 2016).

Převážná část minerálních sloučenin P v půdě je ve formách ve vodě nerozpustných, a proto fosfor v nich obsažený je pro rostliny málo přístupný. Vedle těchto původních (primárních) minerálů se v půdě vytvořily druhotné sekundární minerály. V zásaditých a neutrálních půdách jsou nejčastější formou fosforečnany vápenaté, dále fluorapatit, karbonát apatit aj. Na těchto půdách dochází k vyvázání dodaného vodorozpustného fosforu na méně rozpustný CaHPO_4 , popřípadě až na $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Uvedený proces je součástí retrogradace, která negativně ovlivňuje využití živiny rostlinami. Na půdách kyselých je fosfát vázán na hliník a železo za vzniku jejich vodných fosfátů, které postupně se ztrátou vody se mění ve stabilní hlinité nebo železité fosfáty, jejichž rozpustnost v půdním roztoku je minimální (Hřivna a kol., 2014).

Fosfor je velmi reaktivní prvek, který se rychle spojuje s dalšími prvky, jako je vodík (H) a kyslík (O) za vzniku sloučenin s proměnlivými oxidačními stavy (Mohan et al., 2017).

Jedním ze způsobů, jak zabránit vazbě fosforu do těžko rozpustných hlinitých a železitých sloučenin je vápnění kyselých půd. Na půdách neutrálních a alkalických je naopak třeba vápnění vynechat, protože na půdách s vysokým obsahem vápníku může docházet až k tvorbě těžko rozpustného fosforečnanu vápenatého (Mikanová a Šimon, 2011).

Organické formy fosforu jsou nedílnou součástí organické půdní hmoty. Proto také obsah organického P v půdě koresponduje s rozdělením organické hmoty v profilu. Podíl takto

vázaného P činí většinou 30-50 % celkového obsahu P v půdě. Podstatnou část organického fosforu tvoří fyty (až 50 %), dále fosfolipidy, nukleové kyseliny, nukleoproteidy a fosforylované lipidy, které se nacházejí v kořenové hmotě a dostávající se do půdy posklizňovými zbytky (opad listů, strniště, vedlejší produkty – sláma, chrást, nať apod.) a statkovými hnojivy (Vaněk a kol., 2016).

Bezprostředním zdrojem fosforu pro rostliny je pouze ta malá zásoba půdního fosforu, která je obsažena v půdním roztoku. Když je vyčerpána, naruší se rovnovážný stav systému a uvolní se část labilního fosforu do půdního roztoku. Některé propočty naznačují, že při intenzivním růstu rostlin a tím velkém příjmu P rostlinami se obsah fosforu v půdním roztoku může obnovit 50-250 krát za den. Rostlinami (a mikroorganismy) odčerpaný fosfor je kontinuálně nahrazován z jiných zásobníků P v půdě – pokud je v nich k dispozici. Přívod fosforu do kořenové zóny rostlin je především závislý na mechanismu difúze. Výkonnost difúze je dána koncentračním gradientem a vláhovými podmínkami. I v půdách s dobrým fosfátovým režimem se labilní formy fosforu, které jsou vzdálené více než 3 mm od povrchu kořene, nemohou prakticky podílet na výživě rostlin fosforem během vegetace (Mikanová a Šimon, 2011).

3.5.2 Fosfor v rostlinách

Fosfor je jedním ze základních makrobiogenních prvků, nezbytných pro všechny metabolické procesy růstu a vývoje rostlin a je také jedním z rozhodujících faktorů tvorby výnosu (Mikanová a Šimon, 2011). Timothy et al. (2016) potvrzují, že fosfor je základní živinou pro primární produktivitu ekosystémů a zemědělské produkce.

Fosfor je přijímán rostlinami ve formě aniontů kyseliny trihydrogenfosforečné, převážně ve formě H_2PO_4^- a HPO_4^{2-} . Protože v půdním roztoku se vyskytuje velmi málo, je důležité, aby byl po odčerpání z roztoku dostatečně rychle doplňoval z pevné fáze půdy. Rostliny jsou schopny přijímat fosfor i při velmi nízké koncentraci v půdním roztoku. Musí však překonávat značný koncentrační gradient (100-1000x větší koncentrace v rostlinách než v půdním roztoku). Příjem fosforu je aktivní proces vyžadující dostatek energie. Zásobárnou této energie jsou makroenergetické vazby v ATP, která se uvolňuje pomocí enzymu ATPázy (Vaněk a kol., 2016).

Rostliny přijímají fosfor rovnoměrně během celé vegetace. Běžný obsah fosforu v rostlinách se pohybuje mezi 0,3-0,4 % v sušině (Tlustoš a kol., 2002). Avšak Schachtman et al. (1998) uvádí obsah fosforu v sušině 0,2 % a dále zmiňuje, že se jedná o složku klíčových molekul jako jsou nukleové kyseliny, fosfolipidy a ATP, proto rostliny bez přísunu fosforu nemohou růst. Po dusíku je fosfor duhým nejfrekventovanějším limitním makroelementem pro růst rostlin.

K jeho výrazné distribuci dochází až při tvorbě semen a zrání rostlin. Mnohem vyšší obsah fosforu se ukládá v semenech rostlin a jeho obsah kolísá okolo 0,5 %. Naopak ve slámě obilovin obsah P výrazně klesá a pohybuje se okolo 0,15 % v sušině. Pokud obsah fosforu v biomase poklesne pod 0,1 % začínají se projevovat symptomy jeho nedostatku (Tlustoš a kol., 2002), avšak Vaněk a kol. (2016) ve své publikaci zmiňují, že rostliny mohou do určité míry

ovlivňovat příjem fosforu. Pokud je v jejich pletivech jeho nedostatek, aktivují v membránách kořenů fosfatázy a přenašeče s vysokou afinitou k fosforečnanům, aby se zlepšil příjem. Zvýšeným růstem kořenů na úkor nadzemní biomasy prokořeňují větší objem půdy, ze kterého mohou získat fosfor. Zvyšuje se i kořenová sekrece, umožňující zvýšení rozpustnosti, a tím přijatelnosti P v rizosféře. Procházka a kol. (1998) podobně uvádějí, že pokud se projeví deficit fosfátu, tak se aktivují proteiny zahrnující fosfatázy, transportéry fosfátu s vysokou afinitou k této sloučenině i další bílkoviny účastníci se transportu a asimilace P. U mnoha druhů rostlin navozuje deficit fosfátu několikanásobné zvýšení rychlosti transportu fosfátu do buňky, čemuž předchází indukce přenašeče s vysokou afinitou k fosfátu.

Deficit fosforu zvyšuje také aktivitu kyselých fosfatáz i jejich sekreci do vnějšího prostředí. Tím se patrně zvyšuje dostupnost fosfátu, protože fosfátová skupina je odštěpena z různých organických sloučenin. Kromě toho bývají sekretovány i organické kyseliny, které umožňují rozpuštění slabě rozpustných fosfátových sloučenin, jako jsou například $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Rostliny tedy reagují na nedostatek P specifickými mechanismy, které zvyšují dostupnost fosfátu i rychlost jeho příjmu. Některé z těchto mechanismů mohou být důsledkem aktivace specifických genů, ale u jiných se může jednat o metabolickou regulaci (Procházka a kol., 1998).

Vedle tradičních metod mobilizace fosfátů se ukazuje jako velmi perspektivní využití půdní mikroflóry. Asi 20 – 30 % půdních mikroorganismů má schopnost transformovat málo rozpustné fosfáty do forem rozpustných. Jsou to zejména P-solubilizující bakterie a P solubilizující houby. Primárním mechanismem solubilizace je uvolňování kyselin P solubilizujícími mikroorganismy. Z bakterií se vyskytují například rody *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas* a řada dalších (Mikanová a Šimon, 2011).

Mikanová a Šimon (2011) dále uvádějí, že distribuce fosforu do rostliny je nerovnoměrná a ovlivňuje ji stáří a funkce orgánů. Nejvyšší spotřeba fosforu je v období květu a zrání plodů. Až 50 % rostlinou přijatého fosforu se hromadí v semenech. Nejcitlivější parametry, které mají vliv na příjem fosforu, jsou růst kořenů a průměr kořenů. Rozhodující pro příjem není délka kořenů, jako spíše bohatost kořenového vlášení, koncentrace P v půdním roztoku v zóně prokořenění a aktivita půdní nebo kořenové mikroflóry.

3.5.2.1 Funkce fosforu v rostlině

Fosfor je součástí mnoha významných sloučenin. Jsou to zejména fosfolipidy jako složky membrán, fosforylované sacharidy a bílkoviny, ribonukleová a deoxyribonukleová kyselina, adenyláty (NAD^+ , NADP^+) a sloučeniny ADP, ATP. Již tato skutečnost vypovídá o všudypřítomném výskytu a podílu fosforu na metabolických procesech, počínaje expresí genů až například po aktivaci H^+ -ATPáz. Jako konkrétní příklady lze uvést např. aktivní transport minerálních živin. Elektrogenní typ přenosu, kdy výsledkem transportu je změna velikosti náboje na obou stranách membrány. Příkladem tohoto typu přenosů je tzv. sodíková pumpa (Na^+ , K^+ -ATPáza, která přenáší ionty Na^+ ven a ionty K^+ dovnitř buňky za souběžné hydrolýzy intracelulárního ATP). Je známo, že na membránách tylakoidů nebo na vnitřní membráně mitochondrií se vytváří gradient elektrochemického potenciálu, jímž je zajišťována syntéza

ATP. Ovšem tato disipace iontového gradientu může být využita také pro pohon sekundárního aktivního transportu. Jako příklad lze uvést translokátor ADP-ATP ve vnitřní mitochondriální membráně. Jeho elektrogenní (vyměňuje ATP^{4-} za ADP^{3-}) export ATP a import ADP je poháněn rozdílem elektrochemických potenciálů na obou stranách vnitřní mitochondriální membrány. Jiný mechanismus přenosu představují H^+ -ATPázy, které jsou v membránách prokaryotických buněk velmi rozšířeny. Volná energie reakce je využita na přenos H^+ proti elektrochemickému gradientu. Protonová pumpa H^+ -ATPáza aktivním přenosem H^+ přes membránu vytváří rozdíl pH a elektrického potenciálu na této membráně, který pak může být následně využit k transportu oběma směry. Protonmotorická síla vytvořená H^+ -ATPázou je rovněž využívána v symportu sacharidy/ H^+ nebo v symportu aminokyseliny/ H^+ při vstupu těchto látek do vodivých cest. H^+ -ATPáza se rovněž uplatňuje při regulaci buněčného turgoru nebo regulaci intracelulárního pH. Zdá se, že sekundární transport umožněný aktivitou H^+ -ATPázy je významný pro každou rostlinnou buňku. Bylo prokázáno, že se hojně vyskytuje v pokožce kořenů, zejména v kořenové špičce, a v doprovodných buňkách floému (Procházka a kol., 1998).

Dále Procházka a kol. (1998) uvádějí, že fosfor je důležitou součástí systémů zabezpečujících přenos signálů na vnitrobuněčné i mezibuněčné úrovni. Jedním z klíčových druhých posílů je cyklický adenosinmonofosfát, cAMP vznikající z ATP.

Přijatý minerální fosfor je rychle zabudován do organických sloučenin a takto transportován do míst jeho nejvyšší potřeby – do mladých listů, vegetačního vrcholu, později květů a semen. Funkci fosforu v rostlině můžeme rozdělit na energetickou a stavební. Kyselina fosforečná v živých systémech snadno reaguje s organickými látkami za vzniku organofosfátů. Velmi významné jsou z tohoto hlediska nukleotidy, které jsou stavebními jednotkami nukleových kyselin, aktivují meziprodukty v řadě biosyntéz, nukleosidpolyfosfáty jsou přenašeči energie v biologických systémech. Nejznámější a nejvýznamější je adenosintrifosfát (ATP) a adenosindifosfát (ADP). Rostliny přijímají fosfor během celé vegetace poměrně rovnoměrně, pro dobrý výnos a kvalitu produkce je však rozhodující jeho obsah v mladých rostlinách. Nároky jednotlivých druhů rostlin na fosfor se výrazně neliší. Jsou však značné rozdíly ve schopnostech rostlin osvojovat si fosfor z půdy i z méně rozpustných sloučenin. K rostlinám, které si velmi dobře osvojují fosfor z půdy patří bobovité rostliny, jeteloviny, dále hořčice a pohanka. Okopaniny mají střední schopnost k příjmu fosforu a nejmenší osvojovací schopnost mají obiloviny a z nich ječmen (Klement a kol., 2012).

Mimořádný je význam fosforu v reakcích souvisejících s využíváním a přeměnou energie. Zvláštní význam v regulaci rychlosti fotosyntetické fixace CO_2 přísluší translokátoru, který v membráně chloroplastu zabezpečuje přenos fosfátu do stromatu při současném výstupu triázafosfátů do cytozolu. Při dostatečné výživě je víc než polovina fosfátu v buňce lokalizována ve vakuole. To znamená, že v tonoplastu existují přenašečové systémy, jejichž směr přenosu fosfátu je řízen především obsahem fosfátu v cytozolu (Procházka a kol., 1998).

Významnou organickou sloučeninou fosforu v rostlinách je fytin. Je to vápenato-hořečnatá sůl kyseliny fytové, která se tvoří a hromadí v semenech. Obsah fytinu v semenech obilnin je okolo 1 %, hrachu a sóji 1,2 % a řepky až 4 %. Představuje zásobní nízkoenergetickou sloučeninu fosforu. V semenech tvoří obsah P ve fytinu 60 až 80 % celkového obsahu P a také velká část Mg v semenech je soustředěna ve fytinu. Aktivitou enzymu fytázy se při klíčení

semen uvolňují anionty kyseliny fosforečné a kationty Mg^{2+} , případně Ca^{2+} , které jsou hlavním zdrojem fosforu a hořčíku pro klíčící a mladé rostliny (Vaněk a kol. 2016).

Vaněk a kol. (2012) poukazují na to, že vytvoření bohaté kořenové soustavy je důležitým předpokladem pro příjem fosforu. Kritickým obdobím příjmu fosforu je proto také u většiny rostlin počátek vegetace, kdy se vyčerpají zásoby P ze semen, rostlina postupně přechází na autotrofní výživu a nemá ještě dostatečný kořenový systém, který by zvláště na stanovištích s nižším obsahem P zajistil jeho dostatek pro rostlinu.

3.5.2.2 Nedostatek fosforu u rostlin

V důsledku nedostatku P, jako akumulátoru energie v makroenergetických vazbách, se snižuje proteosyntéza, tím vzniká v listech rostliny relativně více sacharidů, které podmiňují zvýšenou tvorbu antokyanů tvořící fialovočervené zbarvení (Kováčik, 2009).

Vzhledem k tomu, že fosfor je klíčovým prvkem k akumulaci chemické energie v rostlinách, jeho sloučeniny jsou strategické z hlediska celkového vývoje rostlin i tvorby zásobních látek a příjem fosforu je závislý na zásobách energie v rostlinných tkáních, může jeho nedostatek nastat nejen pokud rostliny nemají možnost příjmu dostatečného množství fosforu z vnějšího prostředí, ale též, pokud nemají dostatek energie naakumulované ve fosforečných esterech. V praxi to pak znamená, že nedostatek fosforu může nastat i u rostlin, které mají k dispozici dostatek přístupného P, ale nedostává se jim energie na jeho transport. Jedná se zejména o rostliny teplomilné, u kterých asimilační procesy startují až při vyšších teplotách, a proto při nízkých teplotách je příjem fosforu těmito rostlinami významně omezen (Tlustoš a kol., 2002). Vaněk a kol. (2016) popisují, že je omezena i tvorba kořenů. Listy a také paty stébel mají špinavě zelenou barvu, která velmi často přechází do červeného až fialového zbarvení, jež je způsobeno vyšší tvorbou antokyanů. Běžný je výskyt těchto příznaků v podzimním období na řepce a na jaře na ječmeni, především na chudých stanovištích, utužených půdách a okrajích pozemků za chladného počasí, kdy je také nižší biologická činnost půd a omezené uvolňování P z organických sloučenin mineralizací.

Kováčik (2009) uvádí, že symptomy nedostatku fosforu můžeme pozorovat i tehdy, když v půdě zaznamenáváme dostatek přístupného P, ale teplota půdy, resp. vzduchu je nízká, resp. nižší než 10 °C. Příčinou je skutečnost, že z hlediska příjmu fosforu je teplota 10 °C hraniční teplotou, pod kterou příjem N a K, i když v omezené míře, pokračuje, ale příjem P je takřka nulový, a tak dochází k disharmonii mezi danými prvky v rostlině. Uvedená disharmonie je častým jevem pozorovaným na rostlinách řepky olejky v podzimních měsících, během kterých rostliny červenají. Je třeba si uvědomit, že příčinou tohoto jevu není nedostatek mobilního P, ale neschopnost rostliny přijmout ho. Z toho důvodu přihnojení fosforem v podmínkách, kdy teploty během dne jsou nižší, případně kolem 10 °C, není efektivní.

Navození deficitu fosforu snižuje přenos friózafosfátů z chloroplastu do cytozolu příslušným translokátorem. Zároveň je pak indukována syntéza škrobu v chloroplastech i syntéza sacharózy v cytozolu. Dlouhodobý deficit fosforu však vede k aklimaci rostlin, kdy je zabezpečena téměř normální funkce fotosyntetického aparátu několika mechanismy:

1. zvyšuje se syntéza látek, které neobsahují fosfor, jako jsou jednoduché cukry, škrob nebo polysacharidy tvořící buněčnou stěnu
2. zvyšuje se aktivita fosfatáz
3. snižuje se tvorba molekul obsahujících fosfor, jako jsou fosfáty sacharidů nebo adenyláty (Procházka a kol., 1998).

3.5.3 Vliv fosforu na choroby rostlin

Během politických otřesů v Evropě třicátých let a Pacifické války (1940) nabídka a dostupnost fosfátů v Evropě a USA byla v ohrožení. Začaly se hledat alternativní zdroje fosforu, přičemž byl nalezen fosfit (Phi, PO_3^{-3}). Ačkoliv Phi vypadá strukturně analogicky k fosfátu (Pi), nepřítomnost jednoho atomu O významně mění jeho chemické vlastnosti. Soli Phi jsou obecně více rozpustné než analogické soli Pi a Phi navíc reaguje méně s půdou, což jej činí snadněji dostupným pro kořeny rostlin než Pi.

Gomez-Merino and Trejo-Tellezb (2015) představují fosfit (Phi) jako redukovanou formu fosfátu (Pi). Fosfit se ukazuje jako nový biostimulátor, ačkoliv stále neexistuje shoda o jeho fyziologické funkci zdroje fosforu pro výživu rostlin. Experimentální důkazy ukázaly, že Phi může působit jako biocid a ovlivňovat rostlinou produkci a produktivitu. Pozitivní účinky Phi na metabolismus rostlin jsou více patrné při aplikaci na kořeny v hydroponických systémech, nebo na listy ve formě postřiku, ovšem za dostatečného množství Pi. Publikovaný výzkum přesvědčivě ukazuje, že Phi funguje jako účinný pesticid proti různým druhům patogenních bakterií a Oomycetes. Při aplikaci na půdu se Phi dostane do kontaktu s mikroorganismy a ty ho zoxidují na fosfát. Phi prokázal svou účinnost proti různým stresovým faktorům a zlepšil výnos a kvalitu plodin. Bultreys et al. (2018) uvádějí, že Fosetyl-Al (hlinitá sůl ethylfosfitu) je produkt značné kyselosti, který se používá k ochraně rostlin proti chorobám způsobených oomycety. Dále v článku uvádí možnost použití fosfitu proti bakteriálním chorobám u rostlin.

Mohan et al. (2017) popisují myšlenku komplexního použití Phi. Dostupnost fosforečnanů je klíčovým faktorem produktivity plodin, protože hrozí jeho přeměna na pro rostliny nepřístupné formy. Konkurenceschopnost plevelů o tuto živinu nadále snižuje její biologickou dostupnost. Aby se řešila nízká efektivita Pi a zaplevelenost používají se vysoké dávky Pi a herbicidy, což zvyšuje výrobní náklady a degraduje půdu. Fosfit by mohl toto nadužívání řešit tím, že by se mohl používat jako hnojivo, herbicid, biostimulant a biocid v dnešním moderním zemědělství. Použití hnojení na bázi Phi umožní snížit spotřebu Pi hnojiv a usnadnit kontrolu plevelů a patogenů pomocí stejné molekuly.

Na úlohu fosforu v rezistenci proti chorobám existují různé názory. Všeobecně však platí, že racionální hnojení fosforem spojené s draselným hnojením má pozitivní vliv na tvorbu silnějších buněčných stěn, v důsledku čehož je průnik patogenů do buněk menší. Aplikace P je nejprospěšnější při redukci houbových chorob klíčnicích semen, resp. při pěstování semenáčů, u nichž rozsáhlý rozvoj kořenů umožňuje rostlině vyhnout se chorobě. Fosforečné hnojení

snižuje výskyt nespecifické kořenové hniloby způsobené houbami z rodu *Pythium* (*Pythium root rot*), kořenové hniloby, perenospóry (Kováčik, 2009).

3.5.4 Fosforečná hnojiva

Fosforečné minerály, nejčastěji vápenaté, představované fosforečnanem vápenatým $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ a sumárně označované jako fosfority či apatity, dále s Al (wawelity), případně s Fe a Mn (tripity), jsou v přírodě rozptýleny v malém množství v četných horninách. Z nich je odčerpávala pravěká vegetace a následně ukládala do mohutných koster pravěká zvířata. Tak mohly být během dlouhého období (150 mil.let) soustředěny na pokrajích moří rozsáhlé sedimenty organogenního fosforu, které se staly hlavní surovinou pro výrobu fosforečných hnojiv (Vaněk a kol., 2016).

Základní surovinou pro výrobu všech minerálních fosforečných hnojiv jsou fosfáty. Výroba hnojiv dominuje jejich světové spotřebě (Tlustoš a kol., 2008).

Přibližně 80 % současných zdrojů fosforu se používá v zemědělství, především jako hnojivo. Bez dostatečné zásoby fosforu v půdě nemohou rostliny dosáhnout optimálních výnosů. Fosfor v půdách existuje v různých formách, ve své minerální formě je vázán především na oxidy Fe-Al nebo na uhličitany vápenaté. Do půd je dodáván v hnojivech anorganických, zpravidla ve formě fosfátů, superfosfátů nebo jako NPK směsi, v menší míře je do půd dodáván ve formě organických hnojiv. Fosfáty jsou důležité pro energetické procesy rostlin (Mühlbachová, 2012).

V hnojivech je fosfor obsažen ve formě fosforečnanů, nejčastěji vápenatých, vykazujících rozdílnou rozpustnost. Působení hnojiva v půdě a využití P rostlinami je značně závislé právě na rozpustnosti dodávaných sloučenin. Podle rozpustnosti rozlišujeme hnojiva s fosforem rozpustným ve vodě (superfosfáty, Amofos aj.) a v kyselině citronové (citrofosfát, většina NPK hnojiv aj.) a s fosforem nerozpustným – celkovým (mleté fosfáty) (Vaněk a kol., 2012).

Vaněk a kol. (2016) uvádějí, že pro zajištění dostatečné výživy rostlin fosforem je rozhodující obsah přijatelného P v půdě. Dobrý obsah přijatelných forem fosforu v půdě dává předpoklady pravidelného příjmu této živiny rostlinami v průběhu vegetace. Jestliže je dosaženo potřebného obsahu P v půdě, je zajištěna produkce rostlin a výnos plodin již většinou není závislý na vlastním hnojení. Dále uvádí, že při hnojení fosforem uplatňujeme zásadu, že se hnojí půda. Hnojením bychom měli vytvořit a udržovat vyhovující (střední) obsah přijatelných živin, zajišťující přiměřený a stabilní výnos. Podobnou myšlenku zmiňuje ve své publikaci i Kováčik (2009) kdy říká, že přihnojení fosforem na zlepšení stavu P výživy není tak účinné jako u dusíku. Proto je třeba zabezpečit, aby už klíčící rostliny měli dostatek fosforu, protože jejich zásoby P v semeni jsou malé a rychle vyčerpatelné.

3.6 Špenát setý – *spinacia oleracea* L.

3.6.1 Původ a botanická charakteristika

Patří do čeledi laskavcovité – *Amaranthaceae*. Pochází pravděpodobně z druhu *Spinacia tetrandra* Roxb., který se vyskytuje v oblasti od Kavkazu přes Turkestán, Írán až po Afghánistán. První zmínky o špenátu pocházejí z 9. století ze Španělska, teprve v 16.-17. století se stal v Evropě běžnou kulturní plodinou (Petříková a kol., 2012).

Špenát setý je jednoletá dlouhodobní rostlina. Vytváří málo větvený, kulový kořen, který zasahuje do hloubky 0,3 - 0,4 m. Má lesklé, středně až dlouze řapíkaté listy s čepelemi plochými až bublinatě zvlněnými, oválnými či zašpičatělými, hluboce vykrajovanými nebo laločnatými. Listy jsou uspořádány v přízemní růžici. Při letním pěstování se růžice tvoří jen nepatrná a rostlina rychle vybíhá do květu (Petříková a kol., 2012).

3.6.2 Nároky na stanoviště

Teplotní nároky špenátu jsou poměrně nízké a nevyhraněné – klíčí od 2 do 30 °C, pro růst jsou pak vhodné teploty od 5 do 24 °C s optimem kolem 15 až 18 °C. Pokud klesnou teploty během klíčení pod 5 °C, může špenát vybíhat dříve do květu. Dobře vyvinuté rostliny špenátu snášejí bez problémů dlouhodobé mrazy do -9 °C (Petříková a kol., 2006).

Optimální hodnota pH je kolem 7, může být i více. Špenát nesnáší kyselé půdy a je velmi citlivý na utužení půdy. Proto jsou vhodnější lehčí půdy s dostatkem humusu. Na těžších půdách je třeba opatrně zalévat, aby nedošlo k vytěsnění vzduchu z půdy. Špenát je relativně tolerantní k zasolení půdy (Bartoš a kol., 2000). Melichar a kol. (1997) dále specifikují, že nemá velké nároky na světlo, naopak vysoké nároky má na vláhu. Pro pěstování jsou vhodné půdy středně těžké, humózní s dostatkem pohotových živin. Toto potvrzují i Petříková a kol. (2012) když uvádějí, že vzhledem ke krátké vegetační době a malému kořenovému systému má vysoké nároky na vodu. Při nedostatku vláhy pomalu roste, vytváří malý počet listů a urychluje vybíhání do květu.

3.6.3 Nároky na hnojení

Vzhledem ke krátké vegetační době (kolem 60 dnů) se špenát pěstuje jako předplodina nebo jako následná plodina. Jedna tuna špenátu odčerpá z půdy 4,75 kg N, 0,75 kg P, 4 kg K, 1 kg Ca, 0,95 kg Mg a 0,4 kg S. Dobře reaguje na hnojení mědí, manganem, železem a středně dobře potom na aplikaci bóru a molybdenu. Množství fosforu, draslíku a hořčíku aplikovaného před setím na hektar je doporučováno v rozpětí 17,6 kg P, 83kg K, a kolem 18 kg Mg (Petříková a kol., 2012).

Ozimý i jarní špenát velmi dobře reagují na přihnojování dusíkatofosforečným hnojivem na list v období, kdy jsou teploty ještě nízké na to, aby mohl probíhat dostatečný příjem fosforu z půdy (Petříková a kol., 2006). Avšak Procházka a kol. (1998) poukazují na to, že v praxi pěstování polních, ovocných i zahradních plodin se mimokořenová (foliární) aplikace živin uplatňuje především u mikroživin. Naproti tomu makroživiny představují vždy jen

dočasné řešení příjmu živin (například při nedostatku vody v půdě, a tedy omezení příjmu živin kořeny), případně jisté korekce okamžitého stavu zásobením rostlin minerálními živinami. V žádném případě nelze předpokládat, že by foliární aplikace a příjem živin nahradily příjem kořeny. Důvodem je i celková ekonomika, kdy aplikace roztoku na porost je nejen velmi nákladná, ale i množství přijatých živin jako podíl z obsahu živin aplikovaných je poměrně malý. Část aplikovaného roztoku se vůbec na povrch rostlin nedostane a příjem z kapiček, které na povrchu ulpěly, závisí na klimatických podmínkách během aplikace a zejména po ní. Například brzký déšť živiny rychle smyje, zatímco slunečné počasí zkoncentruje roztok, který na listech ulpěl, důsledkem čehož může být i popálení listů.

Pokud se jedná o dusíkaté hnojení, tak Bartoš a kol. (2000) uvádějí, že pokud je dusíkaté hnojení prováděno dle půdních analýz na obsah N_{min} , je jeho optimální hladina u průmyslového špenátu při výsevu $70 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ v profilu do 30 cm. Za tři týdny po výsevu (u ozimého špenátu zjara na začátku vegetace) by měl být obsah dusíku doplněn na $95 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Poslední měření se provede v 6. týdnu po výsevu, kdy by mělo v půdě být $85 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Při pěstování v systému integrované produkce zeleniny je pro špenát povolen maximální limit aplikovaného dusíku 75 kg/ha (Petříková a kol., 2012).

3.6.4 Pěstování

Pokud to průběh počasí dovolí, vysévá se špenát již koncem února na venkovní stanoviště pro nejranější sklizeň v dubnu. Pro průmyslové zpracování se špenát běžně vysévá během března až do poloviny dubna. Pro podzimní sklizeň ke zpracování se špenát vysévá během srpna až začátkem září. Nejžádanější surovinou pro zpracování je špenát ozimý, pěstovaný z výsevu koncem září a sklizený po přezimování na jaře. Špenát je velmi náročný na půdní vláhu, neboť má vysoký transpirační koeficient, krátkou vegetační dobu a chudý kořenový systém (Petříková a kol., 2012).

3.6.5 Choroby

Choroby rostlin způsobují zejména mikroskopické houby, viry a bakterie, v omezeném množství pak i viroidy, fytoplazmy (mykoplazmy), rickettsie a jim podobné organismy a parazitické rostliny (např. kokotice či jmelí). Tvrdí se, že každá pěstovaná rostlina má v průměru asi sto organismů, které jí škodí. Toto vše zahrnujeme mezi tzv. biotické či parazitické škodlivé činitele. Kromě nich se na poškozování rostlin podílejí i neparazitní (abiotické) příčiny, mezi které patří poruchy z nedostatku (tzv. deficiencie) nebo nadbytku živin (dohromady tzv. kareňní choroby), poruchy z nedostatku nebo nadbytku vláhy, poruchy půdního charakteru (zasolenost, půdní únava, nevhodná půdní reakce), poruchy způsobené nízkými nebo vysokými teplotami (mrazová a chladová poškození, sluneční úžeh), mechanická poškození (vítr, kroupy, nešetná kultivace, okus apod.), exhalace (oxidy síry a dusíku, fluoridy, ozón, popílek, prach, saze), genetické poruchy (např. fasciace, panašování, metlovitost), ale i poruchy způsobené nevhodným používáním přípravků na ochranu rostlin (reziduální účinek herbicidů, fytotoxicita pesticidů při předávkování apod.), odborně nazývané jako iatrogenní poruchy (Rod, 1997).

Špenát jako zelenina s velmi krátkou vegetační dobou je poškozován jen omezeným počtem škodlivých organismů. Nejzávažnější chorobou je dle Petříkové a kol. (2012) plíseň špenátu (plíseň špenátová, *Peronospora farinosa* f. sp. *Spinaciae*). Na vrchní straně listů se projevuje žlutými rozptýlenými skvrnami, které jsou na spodní straně listů pokryty šedofialovým povlakem reprodukčních orgánů patogenu. V případě systémové infekce dochází k retardaci růstu napadených rostlin. I slabě napadené rostliny jsou nahořklé. Jedinou ochranou je pěstování odolnějších odrůd a opatrná zálaha.

Rod (1997) ještě uvádí, že napadené rostliny za sucha usychají a za vlhka podléhají hnilobě. Dále poukazuje na to, že plíseň špenátová je závažná choroba špenátu v celé Evropě. Z pěstovaných plodin napadá tato plíseň pouze špenát setý, z plevelných pak i jiné rostliny z čeledi merlíkovitých (*Chenopodiaceae*).

Primárním zdrojem choroby jsou napadené posklizňové zbytky, speciální pohlavní výtrusy (oospory) v půdě a infikované osivo. Za vegetace se choroba šíří větrem prostřednictvím výtrusů (konidií). Chorobu silně podporuje vlhké počasí bez ohledu na teploty. Důležitým preventivním opatřením je dodržování osevního postupu, dezinfekce půdy a pěstebních substrátů, nepřehnojování dusíkem a řídká výsevy. Vzhledem k tomu, že původce choroby je přenosný osivem, je vhodné moření osiva, které je účinné i proti půdním houbám, které napadají vzcházející rostliny (Rod, 1997).

Méně významnou chorobou v konzumních porostech je skvrnitost listů špenátu (antraknóza špenátu, *Davidiella variabile*), při které na listech vznikají okrouhlé, hnědé a mírně propadlé skvrny (Petříková a kol., 2012).

3.6.6 Moření osiva

Moření osiva je opatření proti chorobám a škůdcům přenášených osivem a chránící klíčící semena a mladé rostliny proti půdním parazitním organismům (Rod, 1997).

3.6.7 Ochrana proti plevelům

Bartoš a kol. (2000) uvádějí, že je nutno věnovat zvláštní pozornost preemergentnímu ošetření. Používá se do tří dnů po zasetí postřik na půdu lenacilem (Venzar). Ke spolehlivému účinku jsou nutné srážky nebo zálaha. Z pohledu mrazírenského zpracování bývají nejzávažnější plevele laskavce a lebedy se svými silnými a poměrně tvrdými stonky. V případě zaplevelení porostu těmito druhy trvají mrazírny i na velmi pracném ručním vytrhávání a vynášení přerostlých plevelů z porostu. Z dalších plevelů bývají ve špenátech rozšířeny zejména penízecká rolní, kokoška pastuší tobolka, vesnovka a hluchavky.

3.6.8 Sklizeň

Optimální sklizňové období (bohatě olistěná růžice) je u špenátu krátké. Sklízají se rostliny od stadia 5. do 9. listu, do doby před vytvářením květního stonku. U jarní kultury špenátu pro zpracování uplyne od výsevu do sklizně 45 až 70 dní, pro přímou spotřebu je tato

doba přibližně poloviční (ruční sklizeň mladých rostlin). Zpracovatelské podniky požadují rozložení sklizně špenátu do delšího období, proto se často sklízí porosty v různých stádiích růstu, čímž se značně mění výnos. Vyběhlé rostliny mají nahořklou chuť, obsahují více dusičnanů a snižují celkově hodnotu sklizeného špenátu. Sklizeň v ranném chladnějším období je výhodná z hlediska omezení výparu a s tím souvisejícími ztrátami na hmotnosti a jakosti. Špenát pro průmyslové zpracování se obvykle sklízí upravenými žacími nakladači. Pro mechanizovanou sklizeň je nezbytné, aby se v porostech nevyskytovaly rostliny se žlutými listy a plevele, neboť jejich odstranění je během procesu zpracování prakticky vyloučené (Petříková a kol., 2012).

Co nejdříve po sklizni je nutno špenát zchladit. Při vakuovém zchlazování může být schlazen z 20 °C na 3°C během 10 minut, při klasickém zchlazování z 20 °C na -1°C za čtyři hodiny. Při 0°C a relativní vlhkosti 95 – 100 % lze špenát skladovat 10 až 14 dnů (Petříková a kol., 2006).

3.6.9 Ekonomika pěstování

Z ekonomického hlediska je v rámci listových zelenin špenát na druhém místě hned za salátem. Jako tržní plodina se špenát v ČR pěstuje většinou pro zpracování v mrazírnách. Technologii pěstování a sklizně i úrovní nákladovosti lze špenát přirovnat k píceinám na orné půdě (Petříková a kol., 2012).

Ve srovnání s jinými zeleninami jsou náklady špenátu poměrně rovnoměrně rozděleny na jednotlivé nákladové položky. Je to ovlivněno zejména nižšími pracovními náklady při plně mechanizované sklizni, což zvyšuje procentuální podíl ostatních nákladových položek. Tři nejvýznamnější nákladové položky (režijní náklady, pracovní náklady a ostatní přímé náklady a služby) se pohybují přibližně na úrovni 20 % podílu z celkových nákladů, další dvě položky (náklady na osiva a provoz vlastní techniky) představují kolem 15 % celkových nákladů (Petříková a kol., 2012).

4 Materiál a metody

4.1 Metodika

Poloprovozní pokus se špenátem setým (*Spinacia oleracea*) byl založen 2. srpna 2018 jako porost určený ke sklizni v říjnu 2018 v lokalitě Dvory u Nymburka, okres Nymburk, na honu číslo 9405/11. Tento pokus byl založen za účelem zjištění vlivu hnojení fosforem na produkci špenátu setého při různých variantách hnojení. Dalším ze zkoumaných vlivů tohoto hnojení, bylo snížení výskytu houbových chorob na pokusných rostlinách špenátu.

Byly založeny tři pokusné varianty hnojení fosforem a jedna kontrolní, bez aplikace fosforečných hnojiv. Tyto varianty jsou v pokusu ve třech opakováních. Velikost osetých parcel byla 0,1 ha a mezi každou parcelou byla zhotovena ulička 0,5 m. Založení porostu bylo provedeno sečkou HORSCH Pronto 8 DC v kombinaci s traktorem JD 8370 R. Šíře řádku 15,5 cm při výsevku 2 MKS a hloubce setí 3 cm. Předplodina na tomto půdním bloku byla pšenice ozimá odrůdy Elly. Pro tento poloprovozní pokus byla vybrána odrůda špenátu setého SV 1714, která se vyznačuje kvalitou produkce, rychlostí vegetace, ale na druhou stranu je trochu náchylnější k houbovým chorobám.

Jednotlivé varianty pokusu byly hnojeny následujícím způsobem:

1. Kontrola
2. Amofos 150 kg
3. Listové hnojivo s fosforem v dávce 0,5 l/ha
4. Amofos 150 kg + listové hnojivo s fosforem v dávce 0,5 l/ha

4.2 Podnik

Poloprovozní pokus byl založen na farmě Vladimír Pokorný, která hospodaří na 600 ha orné půdy. Farma je situována svými polnostmi okolo obcí Dvory u Nymburka, Veleliby a Nymburk. Podnik je zaměřen převážně na rostlinnou produkci, ve které se zaměřuje hlavně na pěstování sóji luštinaté (*Glycine max* L.), máku setého (*Papaver somniferum* L.), pšenice ozimé (*Triticum aestivum* L.), ječmene jarního (*Hordeum vulgare*) a špenátu setého (*Spinacia oleracea*). Další plodiny jsou zastoupeny v menším měřítku. V současné době je na pozemcích farmy Vladimíra Pokorného vybudován již čtvrtý rybník jako přirozená zásobárna vody.

4.3 Lokalita

Jedná se o lokalitu v nadmořské výšce 193 m. n. m. a je řazena do řepařské výrobní oblasti. Na bloku s pokusnými parcelami je půda střední písčitohlinitá až hlinitá a půdním typem se jedná o hnědozem s pH 7,5. Jedná se tedy o půdu alkalickou. Zásobenost živin je uvedena v tab. 4.

Tab. 4 Zásobenost pozemku živinami

živina	zásobenost
P	dobrá
Mg	vyhovující
K	vysoká
Ca	vysoká
K:Mg	vyhovující

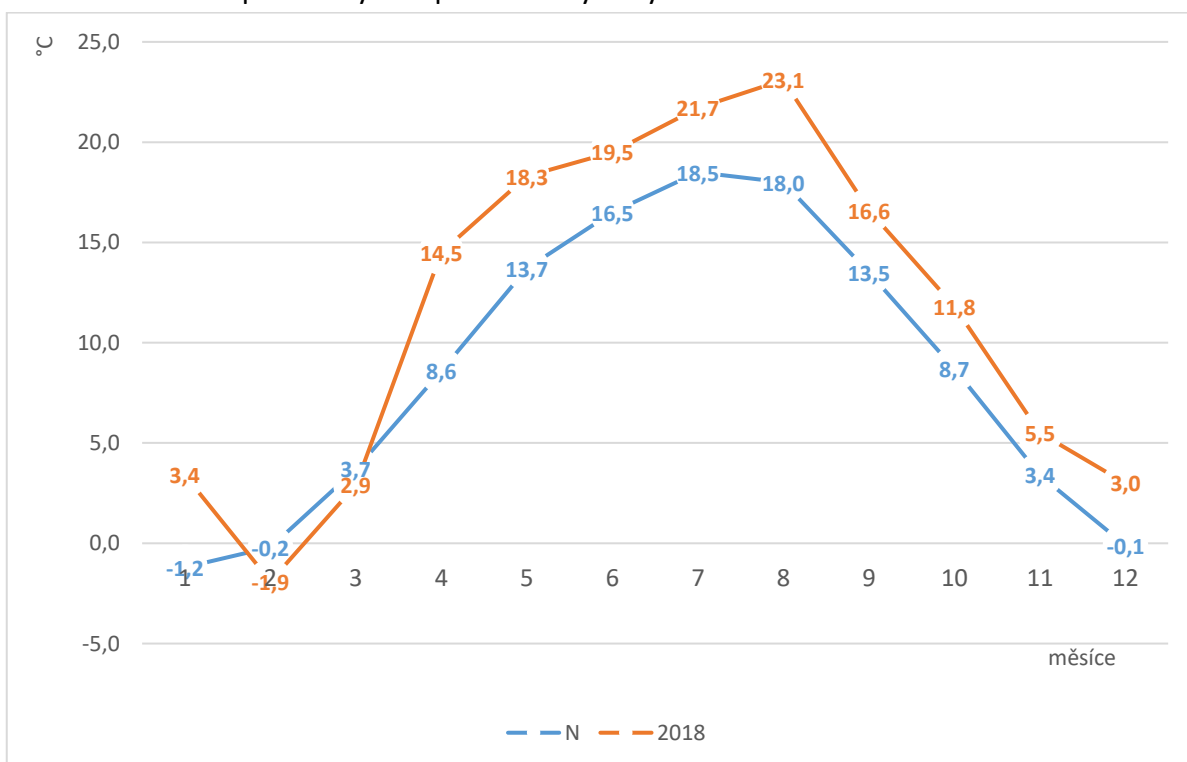
4.4 Meteorologické údaje z lokality

Tab. 5 Průměrné teploty lokality Dvory u Nymburka vůči dlouhodobému normálu teplot

Teplota (°C)													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	průměr
N	-1,2	-0,2	3,7	8,6	13,7	16,5	18,5	18,0	13,5	8,7	3,4	-0,1	11,3
2018	3,4	-1,9	2,9	14,5	18,3	19,5	21,7	23,1	16,6	11,8	5,5	3,0	11,6

N - dlouhodobý normál teploty vzduchu 1981-2010 [°C]

Graf 1: Porovnání průměrných teplot – Dvory u Nymburka

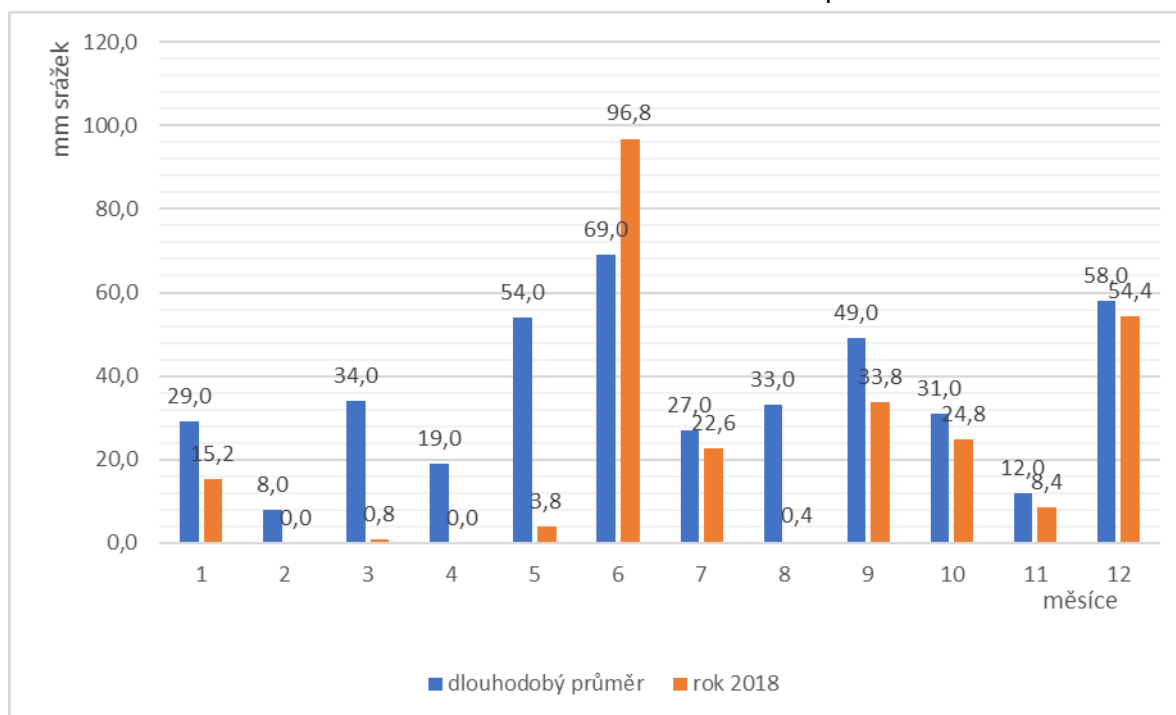


Tab. 6 Úhrny srážek v jednotlivých měsících na lokalitě Dvory u Nymburka

Srážky (mm)													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	roční úhrn
N	29,0	8,0	34,0	19,0	54,0	69,0	27,0	33,0	49,0	31,0	12,0	58,0	423,0
2018	15,2	0,0	0,8	0,0	3,8	96,8	22,6	0,4	33,8	24,8	8,4	54,4	261,1

N - dlouhodobý srážkový normál 1981-2010 [mm]

Graf 2: Porovnání úhrnu srážek roku 2018 vůči dlouhodobému průměru



4.5 Agrotechnika

Na půdním bloku, kde byly založeny pokusné parcely, je uplatňován následující osevní postup:

1. pšenice ozimá
2. špenát setý
3. sója luštinatá
4. pšenice ozimá
5. špenát setý

Po sklizni pšenice ozimé odrůdy Elly 10. července 2018 byly provedeny následující operace:

- podmítka
- kypření Horsch Terrano
- předseťová příprava kompaktozemem
- seť Horsch Pronto DC8

4.6 Použitá hnojiva

4.6.1 Amofos 52 - 12

Amofos je šedobílé granulované NP hnojivo dovážené především z Ruska, Běloruska a Ukrajiny. Základem je fosforečnan amonný, který se získává z apatitového koncentrátu neutralizací kyseliny fosforečné amoniakem. Jedná se tedy o dvousložkové minerální hnojivo obsahující 12 % dusíku ve formě NH_3 a 52 % fosforu ve formě P_2O_5 , což se dá interpretovat i jako 22,88 kg P ve 100 kg hnojiva. Amofos se dá použít k podzimnímu hnojení fosforem, ale také k regeneračnímu hnojení ozimů.

4.6.2 Listové hnojivo

Jedná se o listové fosforečné hnojivo doporučené do zelinářství a sadařství. Toto hnojivo obsahuje 30 % fosforu ve formě P_2O_5 . Dále obsahuje draslík ve formě K_2O a to 20 %. V raných fázích vývoje velmi dobře ovlivňuje zakořenění rostlin a vysoký obsah draslíku vede k posílení buněčných stěn, čímž zvyšuje odolnost vůči suchu a přízemním mrazíkům. Formulace fosforu a draslíku zajišťuje vysokou efektivitu v obraně proti půdním patogenům rodu *Pythium* a *Phytophthora*.

4.7 Sklizeň

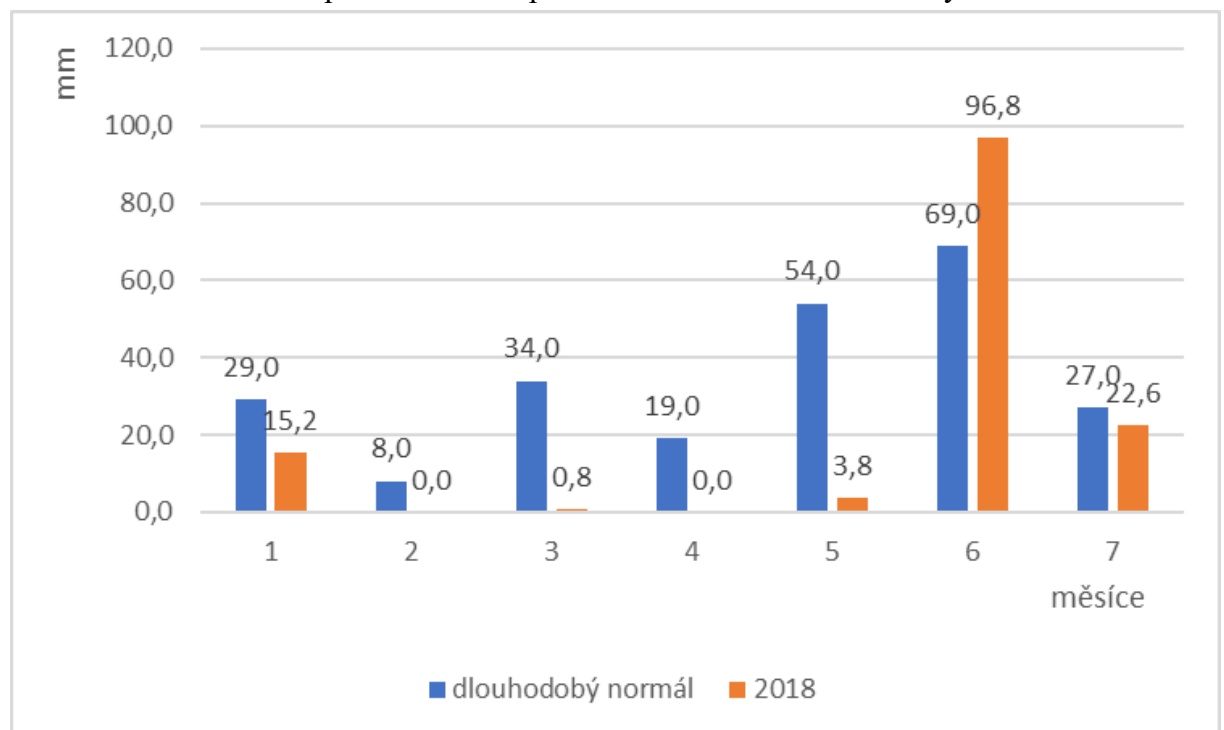
Sklizeň byla provedena samochodným sklízecím strojem, kdy každá jednotlivá parcela byla samostatně sklizena a poté výnos zvážen. Traktory naložené sklizeným špenátem z jednotlivých parcel odvážely materiál na farmu, kde byla každá jednotlivá fůra zvážena. Sklizeň proběhla 20. listopadu, což je velmi pozdní termín zapříčiněný extrémním suchem podzimu 2018 a i celého roku. Výnosy z jednotlivých parcel jsou uvedeny v tabulce č. 7.

5 Výsledky

5.1 Vliv ročníku 2018

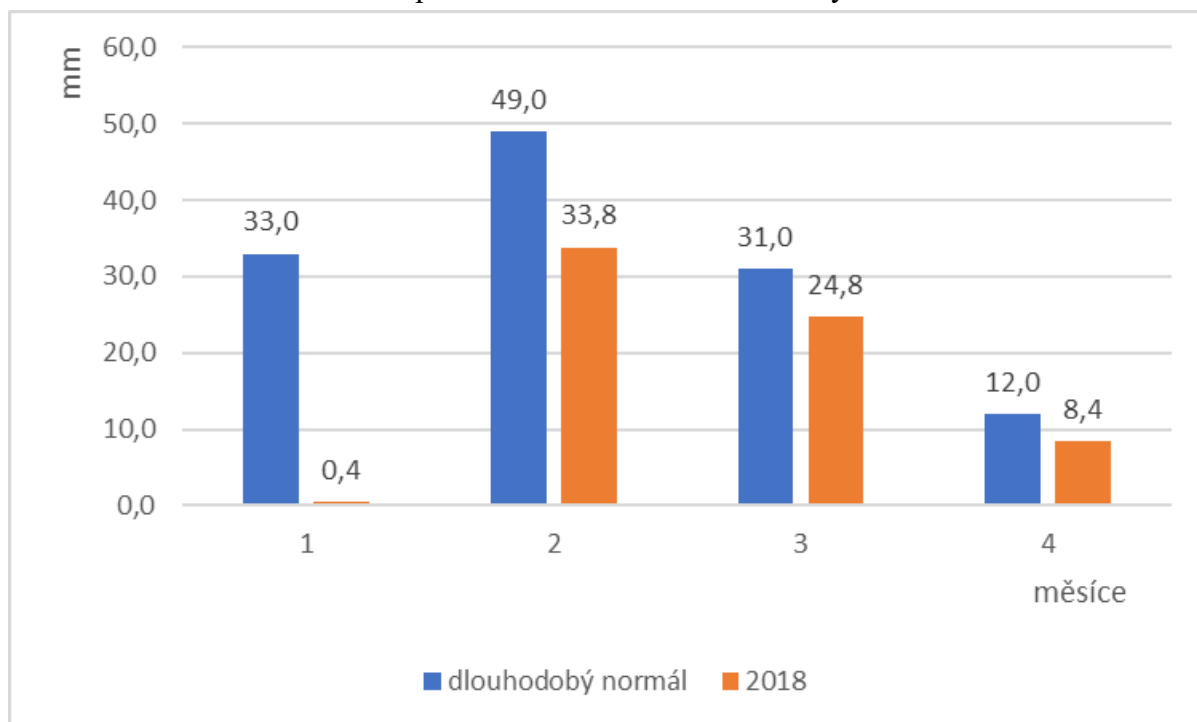
Během celého roku na lokalitě panovalo extrémní sucho, a to se bohužel podepsalo na kvalitě vegetace špenátu setého. Již zakládání porostu bylo problematické, když bylo vyséváno do prachové půdní struktury. Po celou dobu vegetace byly parcely zavlažovány, ale i přes toto úsilí rostlinám dlouho trvalo vzcházení, následkem čehož byla místy značná mezerovitost porostu. Důsledkem nutnosti častého zavlažování byla trvalá půdní krusta, která dále mladým rostlinám špenátu setého bránila v rozvoji vegetace. Na lokalitě panovaly po celou dobu vegetace nadprůměrné teplotní podmínky, jak je uvedeno v tab. 4. První srážky od založení porostu (2. srpna) přišly až 3. září, a to „pouze“ 8,8 mm, za celý srpen tedy 0,4 mm srážek. Další srážky 23. září 13,4 mm a významnější déšť až 28.10., a to 18,2 mm, ale to se již omezujícím vegetačním faktorem stala nízká teplota. Jako kritické jsou pro porost považovány podmínky srpna 2018. Spadlo 0,4 mm srážek a průměrná teplota byla 23,1 °C z čehož bylo 17 dní, kdy teplota přesahovala hranici 30 °C. Před samotnou vegetací byl deficit srážek 101 mm oproti normálu a v průběhu vegetace se deficit dále prohloubil o 57,6 mm. Jednotlivé měsíce z pohledu úhrnu srážek ukazuje graf 3. Připočteme-li k těmto negativním faktorům ještě minimum oblačnosti, bohužel musíme konstatovat, že rostlina neměla pro svou vegetaci zdaleka ideální podmínky.

Graf 3. Množství srážek před založením pokusu ve srovnání s dlouhodobým normálem



Deficit srážek během vegetace uvádí graf 4.

Graf 4. Množství srážek během pokusu ve srovnání s dlouhodobým normálem



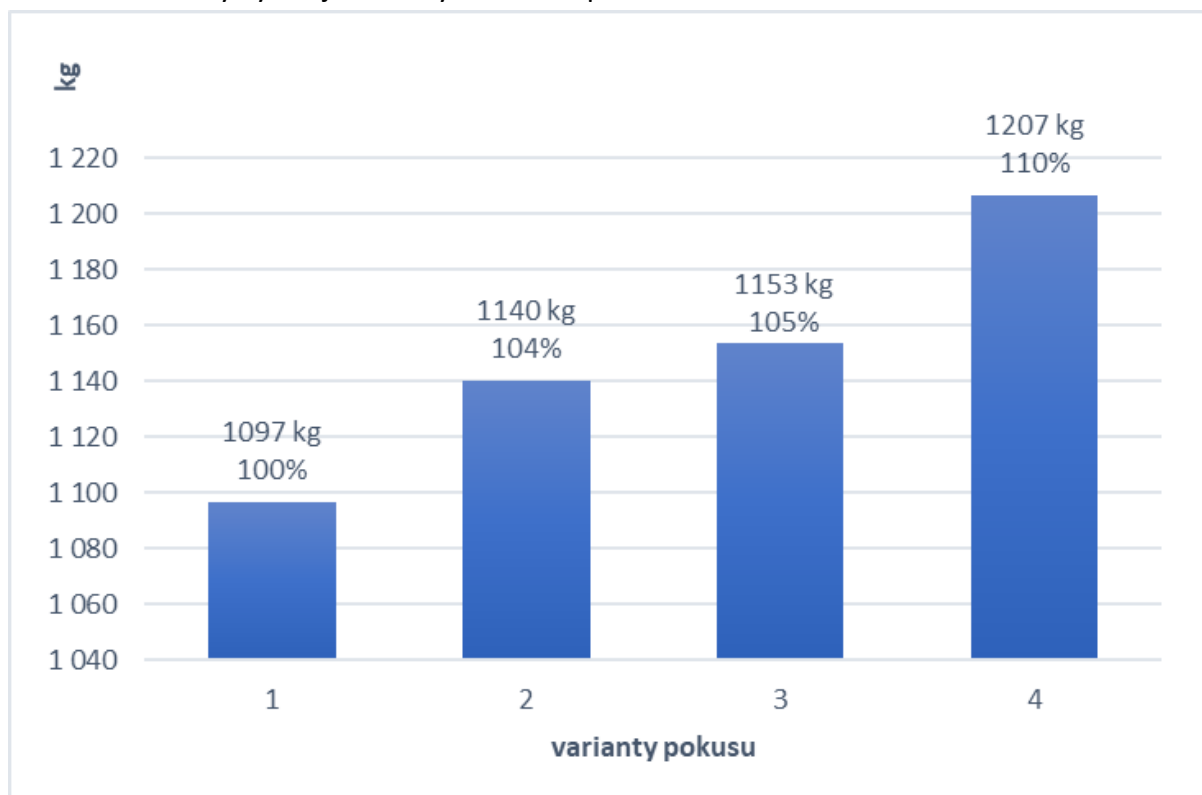
5.2 Výnosy špenátu setého

Tab. 7 Výnos jednotlivých variant polního pokusu - parcely 0,1 ha

Varianta	parcela	kontrola	Amofos 150 kg	listové hnojivo s P 0,5 l/ha	Amofos 150 kg + listové hnojivo s P 0,5 l/ha
výnos kg/0,1 ha	1	1150	1180	1110	1210
	2	1030	1150	1150	1180
	3	1110	1090	1200	1230
průměr		1096,7	1140,0	1153,3	1206,7

Výsledky poloprovozních pokusů nejsou statisticky průkazné z pohledu kolísání ve variantách, ale z pohledu zemědělské praxe jsou důležitým pohledem na chování špenátu setého při jednotlivých variantách hnojení. Při hladině významnosti 95 % rozdíly mezi variantami nejsou statisticky průkazné, kdy $p = 0,1$.

Graf 4: Průměrný výnos jednotlivých variant pokusu



Varianta 1, tedy neošetřená kontrola měla přepočtený hektarový výnos 10,97 tuny. Uvažujeme-li kontrolu jako 100 %, tak varianta 2, kde bylo hnojeno hnojivem Amofos v dávce 150 kg na hektar, vyšla lépe než-li kontrola s výnosem 11,40 tuny sklizeného špenátu, tedy 104 % výnosu oproti kontrole. U varianty 3 bylo použito pouze listové hnojivo s fosforem v dávce 0,5 l/ha a její výnos byl 11,53 tuny. Tento zásah představuje 5 % nárůst výnosu. A nejnvýnosnější se stala varianta 4, s použitím jak hnojiva Amofos v dávce 150 kg na hektar, tak s foliární aplikací hnojiva s fosforem v dávce 0,5 l/ha, která vynesla 12,07 tuny špenátu, což představuje 10 % nárůstu oproti kontrole a jeví se jako nejlepší varianta poloprovozního pokusu pro složité klimatické podmínky roku 2018.

5.3 Zdravotní stav porostu

Zdravotní stav porostu, z hlediska chorob, byl po celou dobu pokusu velmi dobrý. V pokusu sice byla záměrně použita odrůda špenátu SV 1714, která je náchylnější k houbovým chorobám, ale vlivem suchého a velmi teplého počasí nebyl infekční tlak houbových chorob nijak vysoký. Ani na jedné z pokusných variant nedošlo k napadení listové plochy houbovými chorobami.

V průběhu pokusu byly sledovány následující choroby, které se mohly vyskytnout v porostu špenátu setého:

- *Perenospora farinosa f. sp. Spinaciae*
- *Davidiella variabile*
- *Sclerotinia sclerotinium*

- *Botrytis cinerea*
- *Rhizoctonia solani*

Porosty byly pravidelně kontrolovány a výskyt houbových chorob hodnocen na škále 1- 9, přičemž 1 – velmi silný výskyt a 9 – žádný výskyt. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tab. 8.

Tab. 8 Sledované choroby ve špenátu setém

sledované choroby	hodnocení (1-9)
<i>Perenospora farinosa f. sp. Spinaciae</i>	9
<i>Davidiella variable</i>	9
<i>Sclerotinia sclerotinium</i>	9
<i>Botrytis cinerea</i>	9
<i>Rhizoctonia solani</i>	9

5.4 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení rentability vynaložených nákladů na intenzifikaci pěstování špenátu setého je jedním z důležitých ukazatelů tohoto pokusu. Je důležité zakalkulovat přírůstky nákladů na jednotlivé varianty hnojení a porovnat je s přírůstky výnosů při jednotlivých variantách hnojení. V následující kalkulaci počítáme s prodejní cenou špenátu setého, cenou hnojiv, která byla aplikována při tomto pokusu a cenou aplikace hnojiv.

Tab. 9 Ceny hnojiv

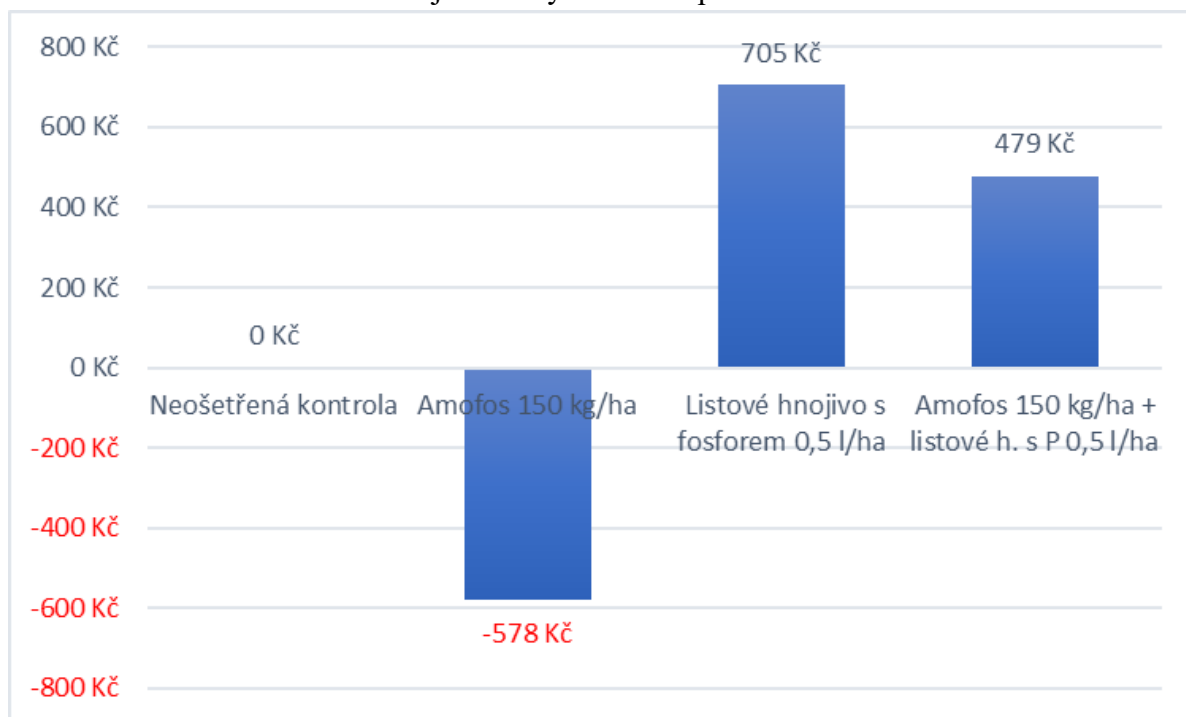
hnojivo	cena
Amofos 52-12	11 760 Kč/t
listové hnojivo s P	299 Kč/l
aplikace hnojiva	190 Kč

Při výpočtech rentability jednotlivých variant hnojení vycházíme z prodejní ceny špenátu 3,20 Kč/kg. V Tab. 10 porovnááme intenzifikační přínos různých variant hnojení s jejich přírůstkem nákladů. Z tohoto vyvozujeme ziskovost, či naopak ztrátu vynaložených nákladů.

Tab. 10 Ekonomický přínos jednotlivých variant poloprovozního pokusu

Varianty pokusu	průměrný výnos t/ha	zhodnocení 3,20 Kč/kg	intenzifikační přínos (Kč)	přírůstek nákladů (hnojivo + aplikace)	zisk/ztráta
Neošetřená kontrola	10,97	35 104 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Amofos 150 kg/ha	11,40	36 480 Kč	1 376 Kč	1 954 Kč	-578 Kč
Listové hnojivo s fosforem 0,5 l/ha	11,53	36 896 Kč	1 792 Kč	1 087 Kč	705 Kč
Amofos 150 kg/ha + listové h. s P 0,5 l/ha	12,07	38 624 Kč	3 520 Kč	3 041 Kč	479 Kč

Graf 5: Ekonomické zhodnocení jednotlivých variant pokusu



Uvedené hodnoty tedy vyjadřují zisk či ztrátu na jeden hektar sklizňové plochy. Jak vidíme, samostatná aplikace Amofosu v dávce 150 kg/ha dopadla nejhůře ze zkoušených variant. Takto velký propad lze přisuzovat extrémnímu suchu v celém půdním profilu a s tím související konkurencí o vodu pevně vázanou půdou. Rozpuštěné živiny z Amofosu nemohly tedy přejít do půdního roztoku a dále do rhizosféry. Naopak obě varianty s použitím listového hnojiva s fosforem dopadly dobře. Varianta s nejvyšším výnosem, tedy kombinace hnojiv Amofos a listového hnojiva s obsahem fosforu, je v ekonomickém hodnocení na druhém místě, protože takto vysoký přírůstek nákladů porost nebyl schopný vrátit odpovídajícím navýšením výnosu. V konečném ekonomickém hodnocení dopadla nejlépe varianta se samotným listovým

hnojivem, i když neměla nejvyšší výnos, avšak oproti variantě (Amofos + listové hnojivo) nebyla zatížena cenou dvou aplikací hnojiv a samotnou cenou Amofosu.

Lze tedy říci, že ve složitých podmínkách roku 2018 byla nejvhodnější varianta č. 3, tedy samostatná foliární aplikace hnojiva s fosforem v dávce 0,5 l/ha. Listové hnojivo s fosforem zde projevilo účinek proti abiotickým stresům, dodalo rostlině problematicky přijímané živiny a současně porost nebyl zatížen v tomto roce zbytečně vysokými přírůstky nákladů na další intenzifikační vstupy.

6 Diskuze

6.1 Vliv použití hnojiv s fosforem na výnos špenátu setého

Z výše uvedených kapitol lze konstatovat, že hnojení hnojivou obsahujícími fosfor má svoje opodstatnění a nezastupitelné místo v základní agrotechnice nejen špenátu setého, na který je zaměřena tato práce, ale i všech ostatních kulturních plodin. Značný význam má ovšem forma, ve které se fosforečnany v půdě vyskytují. Jak Mohan et al. (2017) uvádějí, dostupnost fosforečnanů je klíčovým faktorem produktivity plodin, protože hrozí jeho přeměna na pro rostliny nepřístupné formy.

V našich pokusech se klíčová role fosforu při výživě rostlin projevila nejhorším výsledkem výnosu na nehnojených kontrolách, a to ve všech třech opakováních. Na ostatního hnojených parcelách (ať už variantě 2, 3 či 4) si dokázaly rostliny dodaný fosfor osvojit a profitovat z jeho doplnění ve formě vyššího výnosu. Ovšem u varianty 2 nebyl přínos vlivem sucha takový, aby se stal kladným i z pohledu ekonomického zhodnocení. Půdní profil byl přeschlý a jak ve své publikaci uvádějí Haberle a kol. (2008), s poklesem vlhkosti půdy se zvyšuje sací tlak půdy, což snižuje množství vody, které je rostlina schopna přijmout kořeny. Současně s vysoušením půdy se zhoršuje kontakt kořenů s půdními agregáty a kořeny samy se částečně smršťují. Z hlediska příjmu živin dochází při vysychání k nepříznivým změnám v přístupnosti živin – snižuje se pohyb živin ke kořenům difúzí a transpiračním tokem, zvyšuje se osmotický tlak půdního roztoku, utlumují se mikrobiální procesy, takže klesá mineralizace dusíku a dalších živin z organické hmoty, snižuje se pufrční schopnost půdy a může docházet k hromadění škodlivých látek. Důsledkem je nevyrovnaná výživa, protože například dostupnost fosforu a draslíku je závislá hlavně na difúzi iontů ke kořenům. Zde je pravděpodobně vysvětlení, proč foliární aplikace hnojiva dopadly obecně lépe, než samotná aplikace granulovaného hnojiva do půdy.

Když uvažujeme, že vstupem 150 kg Amofosu se dodá do půdy 34,32 kg fosforu jako čisté živiny a normativ odběru špenátu setého je 0,75 kg P/t produkce zjistíme, že při výnosu 11,4 tuny z hektaru (varianta 2) bylo porostem odebráno 8,55 kg fosforu. Petříková a kol. (2012) specifikují, že množství fosforu aplikovaného před setím je doporučováno v rozpětí 35 – 40 P₂O₅ kg/ha, což činí při dávce 40 kg/ha P₂O₅ 17,6 kg fosforu. Toto předimenzování dávky fosforu pomohlo produkci i udržení půdní úrodnosti, avšak z hlediska ekonomického hodnocení by bylo lepší dávku fosforu snížit na doporučených 40 kg P₂O₅ na hektar.

Pokud bychom brali v úvahu výnosy z předešlých roků, kdy byl výnos okolo 15,5 tuny, tedy dle normativu odběru bylo třeba 11,63 kg fosforu, dospěly bychom pravděpodobně k závěru, že 17,6 kg fosforu před setím by bylo nedostatečných z hlediska imobilizace této živiny v půdě.

6.2 Vliv fosforečného hnojení na choroby rostlin

Pokud se zaměříme na hodnocení vlivu používání hnojiv s obsahem fosforu na houbové choroby u špenátu setého, zjistíme, že by to mohla být cesta, jak do určité míry snížit používání fungicidů. Ani na jedné parcele poloprovozního pokusu nebylo zjištěno napadení houbovými chorobami. Nutno dodat, že na podzim 2018 nebyl v pokusné lokalitě infekční tlak chorob.

Při normálním průběhu počasí a tedy i tlaku infekčních chorob by se dal očekávat zcela jistě výskyt plísňě špenátové (*Perenospora farinosa* f. sp. *Spinaciae*), antraknózy špenátu (*Davidiella variabile*) či plísňě šedé (*Botrytis cinerea*). Předpokládá se, že na tyto choroby by přítomnost fosforu měla působit a eliminovat jejich rozvoj.

6.3 Ekonomické zhodnocení

Při počítání kalkulace na jednotlivých variantách pokusu bylo vycházeno ze základních ceníkových cen hnojiv, průměrné ceny aplikace hnojiv a průměrné prodejní ceny špenátu setého prodávaného do zpracovatelského průmyslu. Jako ekonomicky rentabilní se ukázaly varianty 3 a 4, tedy 3. varianta – listové hnojivo s fosforem v dávce 0,5 l/ha (přínos 705 Kč) a 4. varianta – listové hnojivo s P 0,5 l/ha + Amofos 150 kg/ha (přínos 479 Kč).

Negativní výsledek přinesla varianta druhá, kdy bylo použito pouze hnojivo Amofos v dávce 150 kg před setím. Tato varianta přinesla ztrátu 578 Kč, i když ji přisuzujeme spíše vlivu ročníku.

Poptová (2018) ve svém článku uvádí, že celkové ekonomické dopady období sucha a nedostatku vody v posledních třech desetiletích byly vyčísleny v Evropské unii na 100 miliard EUR.

7 Závěr

Z poloprovozního pokusu, kde byl sledován vliv aplikace hnojiv s obsahem fosforu na produkci špenátu setého a zdravotní stav této zeleniny, lze vyvodit tyto závěry:

- Hypotéza č. 1, která předpokládá, že při aplikaci hnojiv s fosforem bude dosaženo vyššího výnosu špenátu než na variantách bez hnojení fosforem, byla potvrzena.
- Hypotéza č. 2, ve které se zmiňuje, že při aplikaci listových hnojiv s fosforem, bude dosaženo vyššího výnosu špenátu než při samotném hnojení fosforem do půdy, byla potvrzena. Průměrné výnosy byly vyšší, ale rozdíl nebyl statisticky průkazný.
- S ohledem na dobrý zdravotní stav nemohl být hodnocen vliv P na houbové choroby a z tohoto důvodu nemohla být hypotéza č. 3 potvrzena ani vyvrácena.
- Při foliární aplikaci hnojiva s obsahem fosforu bylo dosaženo mírně lepšího výnosu, než-li při variantě s hnojením Amofosem 150 kg/ha do půdy. Tento závěr však považují za nejednoznačný a měl by být předmětem dalších poloprovozních pokusů, protože uvažují, že na tento výsledek měly významný vliv abiotické faktory, konkrétně nadprůměrně teplé a srážkově podprůměrné období vegetace.
- Z ekonomického hlediska byla nejefektivnější varianta 3, s použitím foliární aplikace listového hnojiva s fosforem v dávce 0,5 l/ha.
- Z literární rešerše vyplynulo, že rostlina má speciální mechanismy k osvojení živin, zejména fosforu. Ovšem pokud jsou abiotické podmínky významně nepříznivé, např. vysušený půdní profil, ani tyto mechanismy ji nemohou výrazněji pomoci. Při znaze o zachování produkce jsme odkázáni na foliární aplikaci, která se ve variantě 3 ukázala jako nejlepší řešení tohoto ročníku z námi zkoušených variant hnojení.
- V rešerši zmíněné fosfity (Phi) mohou být jako eventualita v době omezování účinných látek, zejména v oblasti fungicidní ochrany rostlin.

Při výrobě potravin je kladen čím dál tím větší nárok na kvalitu a zpracování produktu. Tím je vytvářen tlak na co možná nejvyšší intenzitu pěstování špenátu setého, ale zároveň na jeho potravinovou nezávadnost a kvalitu z pohledu reziduí pesticidů a obsahu nitrátů. Zde je pravděpodobně prostor se zamyslet nad racionálním způsobem hnojení a prostřednictvím hnojiv s obsahem fosforu zvýšit výnos a kvalitu produkce špenátu, samozřejmě ve spojení s ostatními živinami. Lze také uvažovat nad skutečností, že sloučeniny fosforu mají určitý fungicidní účinek, tudíž bychom těmito zásahy hnojení mohli snížit celkovou aplikaci pesticidů, přesněji fungicidů.

8 Literatura

Bais, H. P., Weir, T. L., Perry, L. G., Gilroy, S., Vivanco, J. M. 2006. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annual Review of Plant Biology*. 57 (1). 233-266

Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Vaněk, V., Pavlík, M. 2008. *Mobilita prvků a látek v rhizosféře*. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 150 s. ISBN: 978-80-213-1861-8

Bartoš, J., Kopec, K., Mydlil, V., Peza, Z., Rod, J. 2000. *Pěstování a odbyt zeleniny*. Agrospoj. Praha. 310 s.

Bultreys, A., Gheysen, I., Rousseau, G., Pitchugina, E., Planchon, V., Magein, H. 2018. Antibacterial activity of fosetyl-Al, ethyl-phosphite and phosphite against *Pseudomonas syringae* on plant surfaces and in vitro. *Plant Pathology*. 67 (9). 1955-1966

Český statistický úřad. [online]. [cit. 2018-02-15]. Dostupné z:

<<https://www.czso.cz/csu/czso/spotreba-potravin-2016>>

Fageria, N. K., Filho, M.P., Moreira, A., Guimaraes, C. M. 2009. Foliar Fertilization of Crop Plants. Taylor & Francis. *Journal of Plant Nutrition*. 32 (6). 1044-1064

Frey-Klett, P., Garbaye, J., Tarkka, M., 2007. The mycorrhiza helper bacteria revisited. *New Phytologist*. 176(1). 22-36

Gloser, J., Havel, L., Krekule, J., Macháčková, I., Nátr, L., Prášil, I., Procházka, S., Sladký, Z., Šantrůček, J., Šebánek, J., Tesařová, M., Vyskot, B. 1998. *Fyziologie rostlin*. Academia. Praha. 483 s. ISBN: 80-200-0586-2

Gómez-Merino, F. C. and Trejo-Téllez, L. I. 2015. Biostimulant activity of phosphite in horticulture. *Scientia Horticulturae*. 196 (11). 82-90

Haberle, J., Trčková, M., Růžek, P. 2008. Příčiny nepříznivého působení vlivu sucha a dalších abiotických faktorů na příjem a využití živin obilninami a možnosti jeho omezení. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha. 32 s. ISBN: 978-80-87011-45-4

Hřivna, L., Borovička, K., Bízík, J., Bittner, V. 2014. *Komplexní výživa cukrovky*. Maribo seed international. 112 s. ISBN: 978-80-260-7300-0

JAKL, Michal, ed. a PAVLÍKOVÁ, Daniela, ed. *Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku fosforu v rostlinné výrobě = Reasonable use of fertilizers focused on phosphorus in plant production: sborník z 8. mezinárodní konference konané 28.11.2002 na ČZU v Praze*. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2002. 149 s. ISBN 80-213-0957-1.

Klement, V., Smatanová, M., Trávník, K. 2012. *Čtyřicet let dlouhodobých výživářských pokusů v ÚKZÚZ*. ÚKZÚZ Brno. Brno. 95 s. ISBN: 978-80-7401-062-0

Kopec, K. 2010. *Zelenina ve výživě člověka*. Grada Publishing. Praha. 168 s. ISBN: 978-80-247-2845-2

- Kováčik, P. 2009. Výživa a systémy hnojení rostlin. Kurent. České Budějovice. 109 s. ISBN: 978-80-87111-16-1
- Kunzová, E. 2009. Výživa rostlin a hnojení fosforem. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha. 24 s. ISBN: 978-80-7427-015-4
- Matula, J. 2012. Inovace metod kontroly výživného stavu zemědělských půd fosforem z konsensu produkčního a environmentálního aspektu šetrného využívání přírodních zdrojů. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha. 51 s. ISBN: 978-80-7427-110-6
- Melichar, M., Kostrhounová, Nakladatelství Květ. Praha. 165 s. ISBN: 80-85362-29-5
- Mikanová, O., Šimon, T. 2011. Alternativní výživa rostlin fosforem. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha. 19 s. ISBN: 978-80-7427-080-2
- Mohan, V., Achary, M., Mrinalini, M., Dipanwita, D., Arun, B., Malireddy, K., Pawan, R., Agrawal, K. 2017. Phosphite: a novel P fertilizer for weed management and pathogen control. Plant Biotechnology Journal. 15 (12). 1493-1508
- Muhlbachová, G. 2012. Některé aspekty vlivu stresu na výživu rostlin. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha. ISBN: 978-80-7427-087-1
- Pavlíková, D., Pavlík, M., Balík, J. 2008. Úloha fosforu v rostlinách. Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku výživy a hnojení fosforem. ČZU. Praha. 31-35. ISBN: 978-80-213-1856-4
- Petříková, K., Koudela, M., Malý, I., Pokluda, R., Hlušek, J., Lošák, T., Ryant, P., Škarpa, P., Rod, J., Jánský, J., Poláčková, J. 2012. Zelenina pěstování, výživa, ochrana a ekonomika. Profi Press. Praha. 191 s. ISBN: 978-80-86726-50-2
- Petříková, K., Jánský, J., Malý, I., Peza, Z., Poláčková, J., Rod, J. 2006. Zelenina pěstování, ekonomika, prodej. Profi Press. Praha. 237 s. ISBN: 80-86726-20-7
- Potopová, E., 2018. Nové poznatky, které jsou odrazem změny klimatu - vliv sucha na rostlinnou produkci. Agromanuál. 2018 (8). 102-105
- Prokeš, K., 2008. Výživa kukuřice v podmínkách bramborářské výrobní oblasti. Doktorská disertační práce, MZLU v Brně, 170 s.
- Richter, R., 2004. Faktory příjmu živin. Ústav agrochemie a výživy rostlin, MZLU v Brně. [online]. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/prijem_zivin/prijem_faktory.htm
- Rod, J. 1997. Choroby zeleniny a brambor. Český zahrádkářský svaz. Praha. 69 s. ISBN: 80-85362-30-9
- Schachtman, Daniel P., Reid, Robert J., Ayling, S.M., 1998. Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. American Society of Plant Biologists. Plant Physiology. 116 (2). 447-453

- Škarpa, P., Richter, R., Ryant, P. 2015. Mimokořenová výživa je součástí systému hnojení rostlin. *Agromanuál*. 2015 (3). 92-94
- Timothy, S. G., Hinsinger, P., Turner, B. L. 2016. Phosphorus in soils and plants – facing phosphorus scarcity. *Plant and Soil*. 401 (1-2). 1-6
- Tlustoš, P., Száková, J., Budňáková, M., Hendrych, K., Mihalík, J., Trkal, L. 2008. Zdroje fosforu a výroba fosforečných hnojiv. Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku výživy a hnojení fosforem. ČZU v Praze. Praha. 42-51. ISBN: 978-80-213-1856-4
- Trčková, M., Jandová, G., 2003. Fyziologické aspekty listové výživy. In: *Výživa rostlin v trvale udržitelném zemědělství*. MZLU Brno, 160–163.
- Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera, J. 2012. *Výživa zahradních rostlin*. Nakladatelství Academia. Praha. 570 s. ISBN: 978-80-200-2147-2
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlík, M., Pavlíková D., Tlustoš, P. 2016. *Výživa a hnojení polních plodin*. Vydavatelství Profí Press. Praha. 224 s. ISBN: 978-80-86726-79-3
- Vranová, V., Rejšek, K., Formánek, P. 2012. Vodorozpustné kořenové exsudáty rostlin: úloha a význam jejich studia. *Listy cukrovarnické a řepařské*. 128 (11). 350-353
- White, P. J., 2012. Long-distance Transport in the Xylem and Phloem. In: Marschner, P. (Ed.): *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition)*, Academic Press, 49–70.
- Yi-Tze Chen, Ying Wang, Kuo-Chen Yeh, 2017. Role of root exudates in metal acquisition and tolerance. *Agricultural Biotechnology Research Center. Academia Sinica. Taipei. Taiwan. Current Opinion in Plant Biology*. 39 (10). 66-72

