

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Fosfor ve výživě okrasných rostlin

Bakalářská práce

Autorka: Hamouzová Tereza

Obor: Zahradnictví

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Kulhánek, Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Fosfor ve výživě okrasných rostlin" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22.4.2022

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Martinu Kulhánkovi, Ph.D. za vstřícnost a rady při vypracování této bakalářské práce a dalším vyučujícím na fakultě FAPPZ, kteří mi předali vědomosti v předmětech, ze kterých budu též čerpat pro tuto bakalářskou práci.

Fosfor ve výživě okrasných rostlin

Souhrn

Hlavním cílem bakalářské práce bylo shrnout formou literární rešerše poznatky v oblasti výživy okrasných rostlin fosforem.

První část práce je věnována koloběhu fosforu a jeho formám v půdě. Ukazuje na širokou škálu forem P v půdě, a především na jeho nízkou dostupnost ve srovnání s ostatními makroprvky. Další část je věnována fosforu v rostlině od jeho příjmu po využití. Zde je zřejmá nezbytnost P v celé řadě procesů souvisejících zejména s přenosy energie. Popsány jsou rovněž projevy nedostatku i nadbytku P. Na tuto kapitolu navazuje popis fosforečných hnojiv, především minerálních, protože právě tato hnojiva jsou zdrojem P využívaným při hnojení okrasných rostlin. Je však patrné, že současné hlavní zdroje minerálních hnojiv jsou neobnovitelné, a tak bude třeba hledat další alternativy.

V neposlední řadě je sledován vliv hnojení P u konkrétních druhů okrasných rostlin. Ze studia literatury vyplývá, že hnojení okrasných rostlin fosforem je podceňovanou kapitolou a zatím téměř chybí zdroje shrnující požadavky jednotlivých skupin rostlin. To je dáno i značnou variabilitou požadavků P v rámci těchto skupin. Práce se tak spíše zužuje na popis konkrétních pokusů s aplikací fosforu. Z různých studií vyplývají následující nejpodstatnější informace: 1) důležitější než samotné hnojení fosforem je vyrovnaná výživa zahrnující všechny živiny, 2) rozhodující je často i forma aplikovaného fosforu a termín aplikace, 3) fosfor ve formě fosfitu působí i jako prostředek proti rostlinným chorobám. Zatím je ale stále nejasné, jestli je potenciálním zdrojem přístupného P pro rostliny, 4) na fosfor je třeba nahlížet i jako na potenciálně toxický prvek, zejména u okrasných rostlin citlivých na vyšší obsahy P (*Banksia ericifolia* nebo *Scaevola aemula*), 5) fosfor může ve vyšších dávkách sloužit i jako regulátor růstu některých okrasných rostlin, 6) pozitivní působení P lze spatřovat i v omezení vstupů některých rizikových prvků (Cd) do rostlin a snížení jejich toxicity u citlivých rostlin.

Klíčová slova: Fosfor; Půda; Substrát; Výživa rostlin; Okrasné rostliny

Phosphorus in the nutrition of ornamental plants

Summary

The aim of this bachelor thesis was to summarize the knowledge in the field of nutrition of ornamental plants with phosphorus with the help of literature review.

The first part of the thesis is dedicated to the phosphorus cycle and its forms in the soil. It shows the various forms of P in the soil and especially its deficit in comparison with other macroelements. The next part is describing the phosphorus in plants from its uptake to utilization. Here, the necessity of P in a number of processes related mainly to energy transfers is obvious. The signs of shortage and surplus P are also described. This chapter is followed by a description of phosphorous fertilizers, especially mineral fertilizers, because these fertilizers are the source of P used in fertilizing ornamental plants. However, the current main sources of mineral fertilizer are non-renewable, so further alternatives have to be investigated.

Last but not at least, the effect of P fertilization on specific species of ornamental plants is described. The literature review shows that fertilization of ornamental plants with phosphorus is an underestimated chapter and so far that there are almost no sources summarizing the requirements of individual groups of plants. This is also due to the considerable variability of P requirements within these groups. The work thus rather narrows the description of specific experiments with the phosphorus application. The following most important information emerges from the studies: 1) more important than phosphorus fertilization itself is balanced nutrition, 2) the form and the term of the application of phosphorus is often determining the optimal plant growth 3) phosphorus in the form of phosphorite also acts as a protection against plant diseases. However, it is still unclear whether it is a potential source of bioavailable P for plants, 4) phosphorus should also be seen as a potentially toxic element, especially in ornamental plants sensitive to higher P content (*Banksia ericifolia* or *Scaevola aemula*), 5) phosphorus in higher doses can also serve as a growth regulator of some ornamental plants, 6) positive effects of P can be seen in the reduction of uptake of certain risk elements (Cd) into plants and therefore reducing their toxicity.

Keywords: Phosphorus; Soil, Growing substrate; Plant nutrition; Ornamental plants

1. Úvod.....	8
2. Cíl práce	9
3. Literární rešerše	9
3.1 Fosfor, význam a koloběh.....	9
3.2 Fosfor v půdě	10
3.2.1 Anorganická forma.....	11
3.2.2. Organická forma	12
3.3 Nadbytek fosforu v prostředí	12
3.4. Fosfor v rostlině	13
3.4.1 Příjem fosforu	13
3.4.2 Obsah P v rostlinách	13
3.4.3 Funkce P v rostlině.....	14
3.4.4 Projevy nedostatku a nadbytku	14
3.4.5 Fosfor v fotosyntetickém metabolismu uhlíku	15
3.5 Fosforečná hnojiva	16
3.5.1 Fosforečné minerály.....	16
3.5.2 Historie hnojení fosforem.....	16
3.5.3 Použití fosforečných hnojiv	16
3.5.4 Rozdělení podle rozpustnosti.....	17
3.5.5 Mleté fosfáty	17
3.6 Metody hnojení fosforem.....	18
3.6.1 Moderní metody hnojení fosforem	19
3.6.2 Aplikace P do půdy a substrátu	19
3.7 Fosfor v okrasných rostlinách	20
3.7.1 Chrysanthemum a Poinsettia.....	21
3.7.2 Hibiscus rosa chinensis, Pseuderanthemum laxiflorum, Jasminum multiflorum, Dyopsis lutescens a 'Jetty' Spathiphyllum	22
3.7.3 Petunia Hybrida	23
3.7.4 Capsicum annum.....	24
3.7.5 Banksia ericifolia	24
3.7.6 Scaveola aemula	24
3.7.7 Mirabilis jalapa	25
3.7.8 Tagetes erecta	25
3.7.9 Okrasné školky	25
4. Závěr	26
5. Literatura	27

1.Úvod

Tato bakalářská práce je věnována problematice hnojení okrasných rostlin fosforem. Fosfor je součástí makrobiogenních prvků, kam řadíme i uhlík, kyslík, vodík, dusík a vápník. Brzy se pravděpodobně stane rozhodujícím prvkem ve výživě rostlin. Je nezbytný pro život a chod procesů v rostlině, nemůžeme jej tedy nahradit.

Díky dnešním technologiím, které umožňují provádět rozbory půd a rostlin rychle, efektivně a spolehlivě, dokážeme zjistit, kolik se daného prvku v rostlině nachází nebo jaké množství různých forem P je v půdě a kolik ho rostlina bude potřebovat pro zajištění funkcí.

V bakalářské práci bude probírána definice tohoto prvku jako živiny v půdě, v jaké formě se zde nachází a co udělat pro to, abychom umožnili rostlině co nejsnadněji ho přijmout.

Bude rozebírána výživa daných rostlin, příjem a chování fosforu v rostlinách, a jak rostliny ovlivňuje jeho dostatek a nedostatek.

V neposlední řadě bude řešeno hnojení touto makroživinou u určitých skupin rostlin a metody, které se v posledních letech začaly uplatňovat čím dál častěji. Výživa rostlin se dělí do mnoha kategorií a je zde mnoho možností, postupně se zdokonaluje a díky své nezbytnosti nabývá na popularitě. Vzhledem k tomu, jak moc je dnes důležitá správná výživa rostlin fosforem a tento obor představuje budoucnost plnou různých možností, rozhodla jsem se právě pro toto téma.

Okrasné rostliny nás obklopují na každém kroku. Díky jejich estetickému vzhledu utváří krásno kolem nás a lze z nich vytvářet kombinace, které přísluší zvolenému prostředí. Vzhledem k tomu, že velká část těchto rostlin pochází i z tropických a subtropických oblastí, je nutné zvážit, jakým způsobem o ně bude pečováno, ať už v ohledu na vnější podmínky nebo jejich výživu. V této bakalářské práci budou rozebrány metody hnojení některých z těchto okrasných rostlin.

2.Cíl práce

Cílem práce bylo přehledné shrnutí literárních poznatků o roli fosforu ve výživě okrasných rostlin. Prvním dílčím cílem byla charakteristika chování fosforu v substrátu, jeho příjmu a využití rostlinami. Druhým dílčím cílem bylo shrnutí možností hnojení konkrétních skupin okrasných rostlin fosforem.

3.Literární rešerše

3.1 Fosfor, význam a koloběh

Fosfor je biogenním prvkem, který limituje produkční procesy, zároveň je součástí protoplazmy a nukleových kyselin. Je stavebním prvkem kostí, zubů a chrupavek živočichů. Zásobníkem fosforu je litosféra (vyvřelé a sedimentární horniny), i když obsah fosforu v horninách je velmi nízký a utváří jen 0,93 % (Hudec a Stanko, 2001).

Fosfor se řadí mezi nezastupitelné makrobiogenní prvky, nezbytné pro růst a vývin rostlin. Nemůže být nahrazen jiným prvkem. Přesto je jeho obsah v půdě poměrně nízký (Blume et al., 2002; Mengel, 1991).

Sloučeniny fosforu mají významnou úlohu v přírodním koloběhu látek. Jsou nezbytné pro nižší a vyšší organismy, které je přeměňují na organicky vázaný fosfor. Po uhynutí a rozkladu organismů se fosforečnany opět uvolňují do prostředí. Zvláště významně se fosforečnany uplatňují při růstu zelených organismů ve vodě (řas a sinic). Proto bývá jejich koncentrace ve vodních nádržích a jezerech nejnižší v letním období, kdy probíhá intenzivní fotosyntetická asimilace. Fosfor má tak klíčový význam pro eutrofizaci povrchových vod (Pitter, 2009).

Celkový obsah fosforu v půdě se pohybuje obvykle v rozmezí od 0,03 do 0,13 %, v některých případech až do 0,20 %. V ornici našich půd však bývá obsah fosforu nízký (kolem 0,07 % P). Většina fosforu je v půdě v pevné fázi (v anorganických a organických vazbách) a jen velmi malý podíl je rozpuštěn v půdním roztoku, popř. výměnně sorbován (Baier a Baierová, 1985).

Přeměny fosforu v půdě jsou podmíněny třemi druhy sorpce: Chemickou, fyzikálně chemickou a biologickou. Chemická sorpce funguje na základě srážení fosfátových iontů z půdního roztoku kationty buď dvojmocnými, nebo trojmocnými za vzniku těžko rozpustných sekundárních anorganických fosfátů, zatímco fyzikální sorpce, je poutání fosfátových iontů na povrchu minerálů hlavně jílových a jiných koloidů. Sorpce biologická

funguje na základě toho, že dochází k imobilizaci fosforu životní činností organismů (Richter, 2007).

Vodní mikroorganismy a rostliny přijímají fosfor v rozpuštěné orthofosforečnanové formě a zabudovávají ho do své biomasy. Sloučeniny fosforu v biomase se stávají součástí koloběhu ve vodních ekosystémech, postupují v potravních řetězcích až po odumření organismu nebo exkreci. Biochemicky jsou hydrolyzovány zpatky na orthofosforečnany, které mohou být opět využity pro růst dalších organismů. Určitá část fosforu tvoří nerozpustné sloučeniny s kovy (Ca, Fe, Al, Mg), které se stávají součástí sedimentu na dně nádrží (Novotná, 2010).

3.2 Fosfor v půdě

Půdy v České republice nejsou příliš bohaté na fosfor, a to převážně ty lehkého typu. Nachází se zde v nízkých koncentracích, jeho obsah se pohybuje podle Ivaniče et al. (1984) v rozmezí od 0,01 % do 0,15 %, což je obsah velmi nízký, a proto může být limitujícím prvkem při pěstování rostlin.

Základem různých forem fosforu v půdě jsou sloučeniny kyseliny trihydrogenfosforečné H_3PO_4 a jen v menší míře vazby kyseliny difosforečné $H_4P_2O_7$. Sloučeniny fosforu, sloužící jako potenciální zdroj pro výživu rostlin a půdních mikroorganismů, jsou minerální a organické (Vaněk et al., 2012).

Podle Ivanič et al. (1984) je rozmístění veškerého fosforu v půdě ovlivňováno genezí půdy. Například v půdách černozemního typu je vertikální rozložení vyrovnané narozdíl od půd vyluhovaných, kde je nejvíce fosforu v iluviálním horizontu. V ornici se s přibývajícím půdním organickou hmotou zvyšuje i obsah organofosfátů. Proto povrchové vrstvy půd obsahují více fosforu než spodní části. Molekulární sloučeniny půdního fosforu jsou podle Ivanič et al. (1984) představovány primárními fosforečnými minerály, a to především apatity, poté sekundárními, vysráženými a absorbovanými fosfáty, organickými sloučeninami fosforu, a nakonec fosforečnými hnojivy.

Hlavním minerálem a zdrojem fosforu je apatit. Ten se vyskytuje v magmatických horninách, a to rozptýleně s příměsí fluoru chloru a hydroxidu. V bazických horninách je jeho podíl vyšší než v kyselých. V menší míře se nacházejí v půdách jako primární minerály fosforečnany železa s příměsí manganu – tripity nebo hydratované fosforečnany hliníku – wavelity. V málo provzdušněných, zamokřených půdách může se také vyskytovat fosforečnan železnatý – vivianit (Ivanič et al., 1984).

Zvětráváním těchto minerálů se aniont kyseliny ortofosforečné uvolňuje a přechází do velmi rozmanitých forem anorganických nebo organických fosforečných sloučenin, z nichž některé slouží bezprostředně k výživě rostlin fosforem (Jurčík, 1978).

Přeměny fosforu v půdě jsou podle Ivanič et al. (1984) rozděleny na tři druhy sorpce – chemickou, kterou rozumíme srážení fosfátových iontů z půdního roztoku dvojmocnými a trojmocnými kationty za vzniku těžko rozpustných sekundárních anorganických fosfátů. Další je sorpce fyzikálně chemická, kdy se poutají fosfátové ionty na povrchu jílových minerálů a jiných koloidů a v poslední řadě sorpce biologická, kde dochází k imobilizaci fosforu životní činností mikroorganismů a rostlin.

3.2.1 Anorganická forma

McDowell a Sharpley (2001) uvádějí, že anorganický fosfor je pro výživu rostlin důležitý a je také nejčastějším zdrojem fosforu v půdě. Anorganický fosfát je velmi mobilní.

Obsah fosforu v minerálních vazbách tvoří v našich podmínkách více než polovinu veškerého množství fosforu v zemědělsky využívaných půdách. Přičemž většina jeho minerálních sloučenin je ve vodě nerozpustných, a tím pádem pro rostliny málo přístupných (Richter a Hlušek, 1999). Anorganický fosfor je však jedním z nejméně dostupných makroživin v mnoha suchozemských a vodních ekosystémech (Hallama et al., 2019).

To, v jakém množství se minerální sloučeniny nacházejí v půdě, záleží na druhu půdy, jejím typu, hloubce a na hnojení. Tvorba sekundárních fosfátových minerálů je určována stupněm zvětralosti půdy, obsahem organické substance, jílových minerálů, CaCO_3 , výměnného vápníku a volných oxidů železa a hliníku – to se děje reakcí fosfátových iontů s minerálními sorbenty, především ionty a aktivními sloučeninami vápníku, hliníku a železa. Nutno říct, že pro rostliny je možné ho přijmout pouze buď jako dihydrogenfosforečnan H_2PO_4^- , nebo hydrogenfosforečnan HPO_4^{2-} . Rostliny nejsou téměř schopny přijímat P v jiné formě. H_2PO_4^- je přijímán více v kyselém prostředí, kde je pH nižší, a pohybuje se mezi pH 1-6. HPO_4^{2-} je spíše v půdě, která je neutrální, což je pH 6 nebo 7. Se stoupající hodnotou pH se zvyšuje množství Ca-fosfátů. Dominuje sorpce chemická, u které se vytváří méně rozpustné sloučeniny, a čím vyšší je valence aniontu, tím je sorpce intenzivnější. V málo provzdušněných a mokřích půdách se vyskytuje fosforečnan železnatý – vivianit (Ivanič et al., 1984).

Zvětráváním fosfátových minerálů se uvolňují anionty kyseliny orthofosforečné a ty přecházejí do sekundárních forem minerálních nebo organických povah (Ivanič et al., 1984).

Často se uvádí, že přidání anorganického fosforu do půdy způsobuje zvýšení mineralizačních schopností půdy (Spohn a Scheluss, 2019).

Anorganický fosfát nebo orthofosfát je nepostradatelná, ale z hlediska životního prostředí omezující makroživina, která hraje ústřední roli v přenosu energie a metabolické regulaci a zároveň slouží jako klíčová strukturální složka důležitých biomolekul, jako jsou fosfolipidy, nukleové kyseliny, fosforylované cukry a adenyláty (Lambers a Plaxton, 2015).

3.2.2. Organická forma

Organicky vázaný fosfor v půdě tvoří integrální část půdní organické hmoty. Tato forma půdního fosforu pochází z minerálního podílu fosforu, který byl do organických vazeb imobilizován biologickou sorpcí rostlinami a půdními mikroorganismy (Ivanič et al., 1984). Podle Ivanič et al. (1984) se organický fosfor hromadí převážně ve svrchním humusovém horizontu půdy, a proto s hloubkou směrem k půdnímu substrátu jeho množství i kvalita klesá. V našich půdách z různých stanovišť bylo zjištěno 11,5-55 % organicky vázaného fosforu z jeho celkové zásoby, a v půdách s travním porostem organický fosfor převládá a dosahuje někdy i 80 % z veškeré zásoby fosforu v půdě. V organické formě se P může vyskytovat ve fytinu, vícesytném alkoholu, který se nachází v kyselině fytoové a vyskytuje se nejčastěji v semenech rostlin, je zásobní látkou rostlin, fuguje jako zásoba přijatelného fosforu v případě jeho potřeby v nukleových kyselinách a fosfolipidech. Biochemicky nejvýznamnější organické sloučeniny v půdě jsou triózy, hexózy anebo fosforylované pyrimidinové sloučeniny. Nejvyšší podíl organického fosforu tvoří fytin, dále fosfolipidy, nukleové kyseliny, nukleoproteidy a fosforylované lipidy, které se nacházejí v kořenové hmotě a do půdy se dále dostávají posklizňovými zbytky (Vaněk et al., 2012).

3.3 Nadbytek fosforu v prostředí

Nadbytek fosforu v rostlinách může mít velmi negativní dopad i na životní prostředí. Obohacování hydrosféry fosforem používaným v globální produkci potravin ohrožuje kvalitu vody, biologickou rozmanitost a poskytování souvisejících ekosystémových služeb (MacDonald et al. 2016, Campbell et al. 2017). Některé řeky a jezera v rozvinutých regionech zaznamenaly vítaný pokles stavu P v důsledku snížení vypouštění odpadních vod (European Environment Agency 2015).

3.4. Fosfor v rostlině

Fosfor je základním prvkem určujícím růst a produktivitu rostlin. Vzhledem k půdní fixaci P je jeho dostupnost v půdě zřídka dostatečná pro optimální růst a vývoj rostlin (Malhotra et al., 2018). Podle Richter (1999) je pro rostliny energeticky nejvýznamnější soustava ADP a P anorganický a tuto tepelnou stránku je možné považovat za chladicí směs, která odebírá energii v centrech intenzivního energetického metabolismu a transportuje ji v molekule ATP na jiná místa, kde ji postupně degraduje po malých kvantech, uvolňuje teplo a zabraňuje tak tepelnému zničení metabolických center.

3.4.1 Příjem fosforu

Rostliny přijímají fosfor ve formě aniontů H_2PO_4^- nebo HPO_4^{2-} . Příjem P aniontu probíhá za podmínek, kdy jeho koncentrace v cytoplazmě výrazně převyšuje obsah P v živném prostředí. Z tohoto důvodu je přijímán proti koncentračnímu gradientu (aktivně). Příjem P a jeho akumulace kořeny je spojená s jeho inkorporací do nízkomolekulárních sloučenin (estery kyseliny fosforečné, fosforylované cukry, volné nukleotidy). Studie prokázaly, že primárními metabolity jsou adenyl nukleotidy (hlavně ATP). Příjem a utilizace fosforu mají kladný vztah k celé řadě metabolických procesů uskutečňovaných jak v kořenových buňkách, tak v nadzemních částech rostlin. Intenzita příjmu P je závislá na obsahu kyslíku v živném prostředí, světle, teplotě (opt. při 20 stupních Celsia), poměru H_2PO_4^- ku HPO_4^{2-} a na přítomnosti Ca^{2+} , NO_3^- a BO_3^{3-} . Příjem P výrazně inhibují také OH^- ionty (Richter, 2004).

Podle Sorauer (1969) je hlavní vodivou dráhou pro fosfor vázaný v organických vazbách z kořene do nadzemních částí rostlin floém. Procesy přeměn fosforu jsou ovlivněny mnoha faktory: jak velké je množství fosforečných sloučenin v půdě a jak na sebe navzájem působí se svými vlastnostmi. Důležité jsou také povětrnostní podmínky a chemické nebo biologické složení půdy i kořenový systém rostlin. Různé druhy rostlin přijímají fosfor jiným způsobem. Příjem je zajištěn pomocí xylému. Pomocí adenosintrifosfátu překoná membránu a dostane se do buňky. Tam se zabuduje do cukerných esterů. Zabudování je důležité z jednoho důvodu, aby se nevysrážel či nenavázal jinam. Dalším krokem je defosforylace, proces, kdy dochází k odstranění fosfátové skupiny z molekuly.

3.4.2 Obsah P v rostlinách

V sušině kulturních rostlin se nachází 0,1 až 0,5 % fosforu (Sorauer et al., 1969). Obsah vodorozpustných sloučenin je malý a přijatelnost fosforu rostlinami je v rozmezí mezi 1–8 % z celkového obsahu fosforu v půdě (Ivanič et al., 1984). Potřebný fosfor získávají rostliny z fytinu v semeni a dále z lehce přístupných forem P sloučenin z vnějšího prostředí. V této fázi

růstu kořenový systém není ještě plně rozvinut, a proto má velký význam hladina přijatelného P v blízkosti primárních kořenů. Výsledky řady pokusů prokazují významný vliv dodaného fosforu na zvýšení jeho obsahu v rostlině, což se projevuje v optimálním růstu rostlin a tvorbě semen se zvýšeným obsahem P. Dobrá zásoba fosforu v půdě zabezpečuje nejen kvalitní výnosy, ale zajišťuje i jeho koloběh v celém potravním řetězci. Fosfát je přítomný v kořenech, stéblech a listech v anorganické formě. Rozdíly mezi anorganickým P a celkovým P jsou největší v mladých listech, které obsahují relativně větší množství organického P ve formě nukleových kyselin (Richter, 2007).

3.4.3 Funkce P v rostlině

Fosfor má v rostlinách různé fyziologické funkce. V buněčných systémech existuje několik základních sloučenin, které pro svou strukturu a biologické funkce vyžadují fosfor včetně DNA, RNA, ATP, NADPH a fosfolipidů. Je nezbytný při přenosu a ukládání energie prostřednictvím ATP v biologických systémech a přispívá k syntéze a stabilitě RNA a DNA. Podobně jako základní složka membránových fosfolipidů je výživa P nezbytná také pro strukturální a funkční integritu buněčných membrán (Hawkesford et al., 2012).

Fosfolipidy jsou hlavní složkou buněčných membrán, které jsou nezbytné pro strukturální stabilitu a funkci. Ovlivňují rovněž membránové transportní systémy. Při nedostatku P lze očekávat strukturální poškození buněčných membrán s nepříznivými účinky na transport živin přes membrány kořenových buněk. NADPH slouží jako hlavní zprostředkovatel redukce v buněčných systémech a hraje různé kritické role včetně v regeneračních antioxidačních obranných systémech (Ivanič et al., 1984).

3.4.4 Projevy nedostatku a nadbytku

V rostlině můžeme pozorovat několik projevů nedostatku P. Jedním z nich je tmavé zbarvení listů a menší listová plocha. Vaněk et al. (1998) uvádí, že nedostatek fosforu je většinou latentní, neprojevuje se tedy vnějšími příznaky na rostlině. Jestliže je obsah fosforu v rostlinách nízký, nemohou probíhat všechny biochemické funkce na potřebné úrovni. Na rostlinách nejsou symptomy nedostatku fosforu příliš nápadné. Dochází ke změně habitu rostliny, protože růst kořenů a nadzemních orgánů je potlačován. Listy jsou malé a jejich odumírání, které vždy začíná u starších listů, je předčasné. Deficit fosforu inhibuje růst listů výrazněji než tvorbu chlorofylu, v důsledku jsou listy charakteristicky tmavě zelené nebo olivově zelené vzhledem k zvýšenému obsahu chlorofylu na jednotku plochy listů. Nedostatek brzdí i generativní vývoj. Kvetení je redukováno a výnos plodů či semen je malý. Nedostatek fosforu například snížil výšku i čerstvou hmotnost u rostliny *Pelargonium zonale*,

Petunia, Salvia splendens, Impatiens walleriana, Petunia x hybrida a Poinsettia (Baas et al., 1995).

Podle Troeh a Thompson (2005) lze nedostatek fosforu napravit různými způsoby. Například vápněním kyselé půdy se zmírní nedostatek P. Vápnění má však i jiné výhody – zlepšuje aktivitu mikroorganismů a zvyšuje mobilitu živin v půdě, přičemž zvýšíme pravděpodobnost vyšší sklizně. Základním způsobem, jak aplikovat fosforečné hnojivo, je ve formě pevné v podobě granulované. Fosfor se může aplikovat i ve formě kapalné. Jak uvádí Wallace (1961), déle trvající výrazný nedostatek fosforu vyvolává účinky, které jsou podobné příznakům nedostatku dusíku. Dochází ke změnám habitu rostliny. Růst nadzemních orgánů, kořenů a listů je potlačován. Nedostatek fosforu brzdí i generativní vývoj. Kvetení je značně redukováno s následujícími nízkými výnosy plodů a semen.

Podle Sorauer (1969) dochází u rostlin trpících nedostatkem fosforu k abnormálnímu obohacení antokyanem, který se tvoří následkem poruch glycidového metabolismu. Deficit fosforu u obilnin se projevuje menším odnožováním, stébla jsou krátká a slabá, celá rostlina ztrácí pružnost. Listy jsou úzké, vzpřímené, tmavě zelené. Při silném nedostatku fosforu dochází až k fialovému zbarvení stébel a čepelí listů.

Wallace (1961) však upozorňuje, že jakkoliv je fialový odstín listů a stonků v podmínkách deficitu fosforu velmi častý, měl by být při provádění diagnózy tento charakteristický symptom používán velmi obezřetně s ohledem na skutečnost, že může vzniknout také z mnoha jiných příčin. Nadbytek fosforu nebývá pozorován, může vést k předčasnému zrání rostlin. Bývá poměrně rychle vyplaven. Může také docházet k omezení příjmu Fe a Zn.

3.4.5 Fosfor v fotosyntetickém metabolismu uhlíku

Existuje několik studií zabývajících se úlohou fosforu ve fotosyntetickém metabolismu uhlíku a produkci fotoasimilátů. Většina naznačuje velmi kritické funkce P v procesu fotosyntézy. Jako strukturální složka různých cukerných fosfátů, jako je ribulóza-1,5-bifosfát (RuBP) a fruktóza 6-fosfát, P výrazně ovlivňuje fotosyntetickou fixaci oxidu uhličitého. Při nízké výživě P je zhoršení regenerace RuBP dobře zdokumentováno snížením aktivity Rubisco a následně fixace oxidu uhličitého (Hammond a White, 2009). Regenerace v chloroplastech je proces závislý na ATP. Zásoba ATP je u rostlin s deficitem P velmi nízká. Orthofosfátové ionty jsou důležitými složkami ve fotosyntetickém metabolismu uhlíku a používají se jako substrát pro syntézu ATP prostřednictvím procesu fotofosforylace. Jak se očekávalo, nedostatek P je často spojen s nízkou koncentrací orthofosfátových iontů v chloroplastech, což vede ke zhoršení produkce ATP prostřednictvím snížené aktivity ATP

syntázy (Carstensen et al., 2018). Je zřejmé, že dostatečná výživa P je nezbytná pro správnou fotosyntetickou aktivitu rostlin.

3.5 Fosforečná hnojiva

3.5.1 Fosforečné minerály

V přírodě se vyskytuje více než 200 nerostů, které obsahují fosfor, avšak pro výrobu hnojiv jsou vhodné jen ty fosfáty, které je možno prakticky využít na výrobu fosforu nebo jeho sloučenin (Ivanič et al., 1984). Podle Ivanič et al. (1984) se rozdělují fosfátová ložiska na dva typy, a to vulkanické horniny, ve kterých se vyskytují apatity, a sedimentační ložiska, kde najdeme fosfority. Česká republika nemá přirozená naleziště fosforu. Nejvíce jsou ložiska rozšířena v těchto oblastech: Severní Amerika, Maroko, Alžír, Tunis, Egypt. Jde o takzvané měkké fosfáty, které se snadno melou a lze je využít k přímému hnojení. Minerální fosforečná hnojiva podporují vysoké výnosy plodin a přispívají k pokrytí potřeb stále stoupajícího světového zalidnění (Bindraban et al., 2020).

3.5.2 Historie hnojení fosforem

Od pradávna člověk využíval přírodní zdroje jako hnůj, zbytky rostlin a kosti jako hnojiva. Užití fosforečných hnojiv je datováno od druhé poloviny 18. století a prvním zdrojem byly kosti ve formě namleté nebo popel z kostí. V Anglii se první výroba hnojiv uskutečnila kolem roku 1853. Začaly se používat kosti a koprolyt na výrobu superfosfátu. Na konci 19. století se začaly používat přírodní fosfáty a Thomasova moučka. Jednoduchý superfosfát zůstal téměř sto let nejvýznamnějším hnojivem (Ivanič et al., 1984).

Přírodní minerály – apatity a fosfority se v převážné míře používají i v dnešní době. Méně významným zdrojem fosforu jsou železné rudy, ze kterých se při výrobě oceli musí fosfor odstraňovat vazbou na vápník za vzniku strusky (Hlušek, 2004).

3.5.3 Použití fosforečných hnojiv

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 (Vaněk et al., 2012).

Podle rozpustnosti rozlišujeme hnojiva na:

- S fosforem rozpustným ve vodě (superfosfáty, Amofos aj.) a v kyselině citronové (citrofosfát, většina NPK hnojiv aj.),

- S fosforem nerozpustným – celkovým (mleté fosfáty) (Vaněk et al., 2012).

Podle Ivaniče et al. (1984) je vhodné na půdy zásadité a neutrální používat druhy jednoduchého superfosfátu a superfosfát koncentrovaný, popřípadě i fosforečnanu amonné, ale na půdy kyselé se lépe uplatňuje forma granulovaná než prášková. V minulosti se jako zdroj P pro kyselé půdy používal samotný mletý horninový fosfát. V zemědělství se však v současnosti používá velmi málo fosforečnanů z důvodu nízké dostupnosti fosforu v tomto přírodním materiálu, vysokých dopravních nákladů a malých reakcí plodin (Kaiser a Pagliari, 2018).

3.5.4 Rozdělení podle rozpustnosti

Rozpustná ve vodě:

Vzorky hnojiva analyzované kontrolní laboratoří se umístí do vody a poté se měří procento celkového rozpuštěného fosforečnanu. Toto procento se označuje právě jako fosforečnan rozpustný ve vodě (Kaiser a Pagliari, 2018).

Rozpustná v citrátu:

Hnojivý materiál, který není rozpuštěn ve vodě, se umístí do roztoku citronanu amonného. Množství P rozpuštěného v tomto roztoku se změří a vyjádří jako procento z celkového množství ve hnojivu (Kaiser a Pagliari, 2018). Součet ve vodě a v citrátech rozpustných fosfátů je považován za procento, které je rostlinám k dispozici. Obvykle se vyskytuje složka rozpustná v citrátu méně než ta rozpustná ve vodě (Kaiser a Pagliari, 2018).

3.5.5 Mleté fosfáty

Ve světě se začaly objevovat v 90. letech 19. století a byly využívány hojně v zemích s vlastními ložisky a méně vyvinutým chemickým průmyslem. V Československu došlo k rozvoji tohoto způsobu po druhé světové válce, kdy byl kvůli špatnému dodržování zásad hnojení využíván pouze krátkou dobu (Ivanič et al., 1984).

Od 80. let 20. století se používá jako fosforečné hnojivo měkký amorfní fosfát pro oblasti kyselých půd, které uvolňují fosfátové ionty do půdního roztoku. O účinnosti přírodních fosfátů rozhoduje hlavně jejich struktura, jemnost mletí, obsah fluóru a pH půdy více než vlastní obsah fosforu (Ivanič et al., 1984).

Dobrou volbou při hnojení mletými fosfáty je společná zaorávka se statkovými hnojivy. Nejlépe přijímají fosfor z mletých fosforů bobovité rostliny a rostliny s mohutně vyvinutým kořenovým systémem. Dále se hodí jemně mletý fosfát pro zásobní hnojení fosforem ve vyšších dávkách a lze současně aplikovat hořčík se stopovými prvky. Mezi nepříznivé

vlastnosti mletého fosfátu patří jejich použití hlavně u kyselých půd, problémy při manipulaci a aplikaci (Ivanič et al., 1984).

Z tohoto vyplývá, že principy, které řídí účinnost mletých fosfátů jako hnojiva, jsou nyní dobře známy, takže potenciální účinek materiálu lze s jistotou předvídat z laboratorní analýzy surovin. Důležité jsou vlastnosti půdy, zejména kyselost, obsah vápníku a fosfátů: pokud nevedou k rozpuštění P, reakce plodiny na mletý fosfát je malá. Některé vlastnosti plodin, zejména rozsah kořenového systému a to, zda využívají mykorhizu, také ovlivňují využití horninového fosfátu. Rozpuštění mletých fosfátů může být příliš pomalé pro rychle rostoucí plodiny, ale může být dostatečné pro víceleté plodiny. Tyto faktory omezují jejich použití pro přímou aplikaci, takže pro úspěšné použití je nezbytná mnohem větší znalost vlastností fosfátů, půd a plodin a jejich interakcí než v případě rozpustných fosfátů. Důležité jsou také ekonomické úvahy. Protože obsah fosforečnanů je nižší než u koncentrovaných rozpustných hnojiv, nemusí být náklady na přepravu mletých fosfátů na jednotku fosforu ekonomické. Avšak pro kyselé půdy a půdy s nedostatkem vápníku může být větší množství vápníku, které dodávají mleté fosfáty, výhodou a může snížit nebo odstranit potřebu vápna, zejména u plodin, které vyžadují relativně velké množství vápníku (Le Mare, 1991). Fosforečnan je přírodním zdrojem fosforu, ale bohužel postrádáme robustní technologie, abychom jej mohli účinně použít v alkalických půdách (Yadav et al., 2017).

3.6 Metody hnojení fosforem

Převážná většina hnojiv jsou v kompletním složení a obsahují základní makroprvky, které rostliny potřebují ve větších dávkách. Tato kombinovaná hnojiva pro zahrady jako třeba NPK 24-8-16 nebo 12-4-8 často obsahují více dusíku, což je první číslo v pořadí, více než fosforu nebo draslíku. Nicméně hnojiva určená především pro kvetoucí rostliny, například růže nebo cibulové rostliny, mají kombinace jako 15-30-50 nebo 10-30-20. Tato hnojiva se používají podle potřeby P na půdách, kde byl zjištěn jeho nedostatek (Smith a Cox, 2015).

Abychom rostlinu fosforem nepřehnojili, musíme nejdříve provést analýzu půdy. Příliš velká dávka hnojiva je škodlivá pro prostředí díky riziku úniku P do povrchové a spodní vody. Růst řas způsobuje větší mikrobiální aktivitu, jejímž důsledkem je úbytek kyslíku. To ohrožuje ryby a ostatní vodní živočichy. Vysoké hladiny fosforu, ať už z hnojiv minerálních nebo přírodních zdrojů jako je kostní moučka nebo z mletého fosfátu, mohou inhibovat růst prospěšných půdních organismů, zejména mykorhizních hub (Smith a Cox, 2015).

3.6.1 Moderní metody hnojení fosforem

Zásoba přijatelného fosforu v půdách klesá a fosfor se postupně stává limitujícím prvkem výnosu a kvality produkce. Při současném omezeném hnojení statkovými hnojivými (např. hnojem), případně organickými hnojivými (např. kompostem) a minerálními P-hnojivými dochází k odčerpání fosforu z půdy, které bilančně přesahuje vstupy. To má za následek snižování obsahu přístupného fosforu v půdě (Kunzová, 2009).

V průmyslově vyspělých zemích je nízká dostupnost fosforu v zemědělských půdách kompenzována vysokým vstupem P-hnojiv pro zajištění vysoké produktivity plodin a výnosu. Odtok vody, eroze půdy a prosakování v přehnojovaných zemědělských půdách však mohou způsobovat environmentální problémy, jako je eutrofizace jezer a řek (Sanchez et al. 1997).

Rostoucí množství organických materiálů nebo vedlejších produktů, dříve často považovaných za odpad, se nyní používá pro případné znovuvyužití fosforu v zemědělství. Jedná se např. o komposty, zbytky anaerobní fermentace, pevné komunální odpady a popel. Spolu s hnojem hospodářských zvířat mohou tyto biologické zdroje kromě fosforu obsahovat cenné množství organických látek a živin, které mají potenciál zlepšit strukturu a úrodnost půdy a nahradit tak anorganická hnojiva. Další strategií je přidání biostimulantů (jednoduchých a/nebo kombinovaných mikrobiálních přípravků), které stimulují mikrobiální přístupnost půdního anorganického a organického fosforu, ale jejich efektivita v polních pokusech je stále málo prozkoumaná. V posledních letech také došlo k pokroku v získávání fosforu z odpadních vod, kalů, hnoje a dalších vedlejších produktů odpadu do potenciálně užitečných hnojiv neobsahujících kontaminanty, jako je např. struvit (fosforečnan hořečnat-amonný) a produktů získaných spalováním odpadu (Withers et al. 2014).

Alternativou mohou být také biostimulanty, které byly představeny jako alternativní prostředky vedoucí ke snížení používání minerálních hnojiv. Obecně obsahují mikroorganismy schopné zvýšit úrodnost půdy (Mezuan et al. 2004). Biostimulant je látka obsahující živé mikroorganismy, které při aplikaci na semena, povrch rostliny nebo půdu kolonizují rhizosféru nebo vnitřní část rostliny a podporují růst zvýšením dostupnosti živin rostlině (Vessey 2003). Biostimulanty mohou také snižovat hodnotu pH, což vede ke zvýšení dostupnosti stopových prvků, které zlepší růst rostlin (Mahfouz a Eldin, 2007), měly by zvýšit i odolnost vůči chorobám a patogenům (Holečková et al. 2018).

3.6.2 Aplikace P do půdy a substrátu

Zvýšené používání fosforečných hnojiv a živočišná výroba zásadně změnila globální cyklus fosforu. Ačkoliv agronomické vstupy P-hnojiv globálně překročily odebraný P sklizenými plodinami, deficity P pokrývaly téměř 30 % celosvětové výměry půdy (MacDonald et al.

2011). Nadměrný vstup P ze zemědělských půd do vodních ekosystémů prostřednictvím odtoku nebo eroze půdy je navíc odpovědný za eutrofizaci (Bennett et al. 2001; Carpenter 2005). Řešení agronomických nerovnováh P může být možné díky účinnějšímu používání P-hnojiv (MacDonald et al. 2011).

Přístupy k hnojení fosforem, které mají potenciál zlepšit účinnost využití P a umožňovat vysoké výnosy, zahrnují přesné umístění P-hnojiv pro konkrétní plodiny, správné načasování používání P-hnojiv a jejich nové vylepšení z pohledu přístupnosti P. Umístění a načasování musí zohledňovat špatnou mobilitu P v půdě (Hopkins a Hansen 2019).

Jedním ze způsobů, jak dosáhnout snížení používání P-hnojiv je jejich obalování osiva předvýsevem, což může snížit potřebu P-hnojiva při následném pěstování plodiny (Watanabe et al. 2005). Aby bylo dosaženo optimálního účinku pro různé druhy plodin, je třeba použít roztoky o různých koncentracích (Sekiya a Yano, 2010). Preston et al. (2019) uvádí, že tam, kde je obsah P v půdě nedostatečný, lze aplikovat P do půdy pomocí injektážní aplikace, která minimálně naruší porost a půdu, protože injektáž lze realizovat i pomocí GPS. Další technologií používanou ve vysoce výnosových systémech je přesné umístění pásů P-hnojiv (Lal a Stewart 2015). Přesné rozmístění je zvláště výhodné, když jsou tyto pásy aplikovány v jiném čase než výsev. Děje se tak za pomoci traktorů s GPS, kdy je hnojivo velmi přesně umístěno ve vztahu k umístění osiva, takže pás není příliš blízko nebo daleko od vysazených řad (Hopkins a Hansen 2019). Udržováním vysoké lokalizované koncentrace P činí formy-P rozpustnějšími (Preston et al. 2019).

3.7 Fosfor v okrasných rostlinách

Většina hrnkových rostlin, které se dnes pěstují, potřebuje chemickou regulaci růstu, ale omezení používání chemických regulátorů růstu zavedená v posledních letech budou pravděpodobně pokračovat. Jsou tedy hledány cesty, jak omezit závislost na intenzivním používání chemických regulátorů růstu ve školkách a v zemědělství. Vývoj alternativ k chemickým regulátorům růstu rostlin (PGR) při pěstování rostlin v květináčích je důležité pro snížení rizik negativních účinků na lidské zdraví a na životní prostředí (Hjollund et al., 2004).

Dostupnost PGR je v mnoha zemích kvůli rizikům omezená. Jako vhodné alternativy se jeví regulace mikroklimatu, jako teplota, délka dne, světelné spektrální složení a relativní vlhkost vzduchu (Bergstrand, 2017), omezování dostupnosti vody nebo rostlinných živin (Alem et al., 2015; Hansen a Nielsen, 2001; Petersen a Hansen, 2003; Hansen a Petersen, 2004; Nowak a Stroka 2001; Nowak, 2001). Dále byly navrženy alternativní metody pro produkci

kompaktnějších rostlin v květináčích, mezi něž patří i omezený přísun P, vedoucí k upřednostnění růstu kořenů před růstem nadzemní části rostlin (Hansen a kol., 1998: Kim a Li, 2016); zvýšení délky kořene na jednotku rostlinné biomasy a zlepšení distribuce kořenů (Hansen a Lynch, 1998). Omezené hnojení P může také zlepšit toleranci stresu vůči suchu (Borch et al., 2003) a zvýšit kvalitu po sklizni (Hansen a Nielsen, 2001: Petersen a Hansen, 2003: Hansen a Petersen, 2004).

Hlavní výzvou u některých druhů okrasných rostlin je omezit výšku rostliny (Baas et. al., 1995), snížit tvorbu pupenů (Baas et. al., 1995: Justice a Faust, 2015), nebo opozdit kvetení (Kageyama a Konishi, 1992: Justice a Faust, 2015). Bylo provedeno několik studií za účelem určit optimální koncentraci P pro produkci kontejnerových plodin (Wright a Niemiera, 1987). Aplikace $P \approx 10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ v závlahové vodě vedla k maximálnímu růstu *Ilex crenata* (Yeager a Wright, 1982) a *Chamaecyparis lawsoniana* (Van der Boon, 1981), což platilo i pro zakořeněné řízky rhododendronu a *Cotoneaster adpressus praecox* (Havis a Baker, 1985). *Vinca* a *Impatiens* 'New Guinea' vykazovaly nejlepší růst při koncentraci P kolem $20 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (Whitcher et al., 2005). Růst rostlin, akumulace biomasy a dynamika P mohou být ovlivněny během přechodu z vegetativního na reprodukční růst, jak bylo prokázáno u Chryzantémy (Hansen a Lynch, 1998). Proto by se při určování potřeby plodiny na P měla brát v úvahu fáze růstu rostlin. Mnoho dalších faktorů může ovlivnit potřebu P, včetně pěstebních substrátů, způsobu a frekvence zavlažování (Majsztrik et al., 2011); je však důležité definovat základní koncentraci P požadovanou pro optimální růst rostlin a význam této základní linie bez interference s jinými faktory.

3.7.1 Chrysanthemum a Poinsettia

Kaspersen a Bergstrand (2020) zkoumali rostliny *Poinsettia* a *Chrysanthemum*, kdy ke snížení ztrát fosforu je zapotřebí lepší synchronizace fosforu (P) dostupného pro rostliny s jejími požadavky na fosfor, a to i ve vztahu k životnímu prostředí. Synchronizovaná aplikace vede ke zlepšení účinnosti využívání zdrojů neobnovitelných fosfátových hornin. Při produkci zahradnických rostlin může omezená dostupnost P omezit délku stonku a zlepšit kompaktnost, což jsou žádoucími znaky pro mnoho okrasných rostlin. V této studii byl zkoumán účinek snížení dostupnosti P na kvalitu rostlin, produkci biomasy a účinnost využití fosforu Vánoční hvězdy (*Poinsettia* cv. 'Mira Red') a Chryzantémy (*Chrysanthemum* × *morifolium* cv. 'Breeze Cassis'). Pět různých P koncentrací (6, 12, 18, 24 a $48 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) bylo aplikováno jako startovací dávka P v substrátu pro zalévání na bázi rašeliny i v živném roztoku, který byl podáván během experimentu. Délka stonku obou rostlinných druhů byla silně omezena při dávce $6 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, ale nebyl významně ovlivněn vyššími hladinami P. Pro

Vánoční hvězdu byl optimální průměr listenů získán při 18 mg P.l⁻¹. Pro maximální suchou biomasu výhonků, větvení a průměr rostliny bylo potřeba 24 mg.l⁻¹. Optimální průměr rostlin a biomasa výhonků Chryzantémy byla získána při 18 mg P.l⁻¹, zatímco pro maximální počet květů bylo zapotřebí 24 mg l⁻¹. Zvýšení dávky P na 48 mg.l⁻¹ nezlepšilo výnos sušiny, větvení nebo kvetení obou druhů, ale indukovalo velký příjem P. Celkový příjem P výhonky se lineárně zvyšoval se stoupající dávkou hnojiv. Pro optimální rostlinnou biomasu v kombinaci s optimální kvalitou rostlin, koncentrace P u výhonků byla v rozmezí 0,30-0,35 % pro Vánoční hvězdu a 0,25-0,30 % pro chryzantémy. Chryzantéma vykazovala vyšší účinnost využití fosforu než Vánoční hvězda při nízkých hladinách P, což souvisí především s vyšší vnitřní účinností využití P. Účinnost akvizice byla v rozmezí 55–60 % pro oba druhy a nebyla významně ovlivněna celkovým množstvím aplikovaného fosforu (Kaspersen a Bergstrand, 2020).

3.7.2 Hibiscus rosa chinensis, Pseuderanthemum laxiflorum, Jasminum multiflorum, Dyspis lutescens a 'Jetty' Spathiphyllum

Orthofosfát (PO₄-P) je obecně uznáván jako jediná forma P, která může být přímo využita vyššími rostlinami (Mengel a Kirkby, 1979). Nicméně v posledních letech byla jako alternativní zdroj P hnojiv široce propagována kyselina fosforitá (=kyselina fosfonová) a její soli, fosfity nebo fosfonáty, souhrnně označované jako PO₃-P. PO₃-P musí být v půdě oxidován na PO₄-P, než jej mohou přijmout a využít rostliny. Jedná se o mikrobiálně zprostředkovaný proces, který může trvat měsíce nebo déle (Adams a Conrad, 1953; MacIntire et al., 1950; Malacin-ski a Konetzka, 1966). O PO₃-P je již dlouho známo, že je účinným fungicidem transportovaným floémem a působícím proti houbám, jako je *Pythium* a *Phytophthora* (Guest a Grant, 1991), ale jeho hodnota jako hnojiva P je předmětem diskuse (McDonald et al., 2001; Rickard, 2000).

Hibiscus rosa-chinensis, *Pseuderan-themumlaxiflorum*, *Jasminum multiflorum*, *Dypsis lutescens* a 'Jetty' *Spathiphyllum* byly pěstovány v nádobách pomocí Osmocote Plus 15–9–12 (15N–3,9P–10K). Toto hnojivo poskytlo mj. i dávku fosforu. Dále byla využita močovina potažená pryskyřicí se síranem draselným, který byl potažený elementární sírou. Toto hnojivo naopak neposkytnulo žádný fosfor. Rostliny byly ošetřeny vodou. Se zálivkami obsahující pouze metalaxylový fungicid, zálivkami kyselinou fosforečnou (PO₄-P), zálivkami metalaxylem s fosforem z kyseliny fosforečné, zálivkami PhytoFos 4–28–10 (4N–12.2P – 8,3K -hnojivem obsahujícím kyselinu fosforitou (PO₃-P), známou fungicidní sloučeninu, nebo postřikem na listy s PhytoFos 4–28–10. Rostliny, které dostávaly závlahu s ekvivalentním množstvím P z PhytoFos 4–28–10, PO₄-P nebo PO₄-P+metalaxyl, měly obecně

největší suchou hmotnost výhonků, kořenů i koncentrace $\text{PO}_4\text{-P}$ v listech. Nebyly žádné rozdíly mezi rostlinami ošetřenými metalaxylem, což naznačuje, že kořenová hniloba nebyla faktorem ovlivňujícím suchou hmotnost. Reakce na PhytoFos 4–28–10 jsou tak způsobeny jeho obsahem živin spíše než jeho fungicidními vlastnostmi. PhytoFos 4–29–10 aplikovaný na list produkoval rostliny, které měly podobnou velikost jako kontrolní rostliny nebo rostliny, které dostávaly pouze postřik metalaxylem. Hnojiva obsahující $\text{PO}_3\text{-P}$ se proto zdají být přibližně stejně účinná jako zdroje $\text{PO}_4\text{-P}$, když se aplikují na půdu, ale jsou relativně neúčinná jako zdroj P, když se aplikují jako postřik na list.

V pokusu ale nebylo možné jednoznačně oddělit účinky výživy P od dobře známých fungicidních vlastností $\text{PO}_3\text{-P}$. Například $\text{PO}_3\text{-P}$ nebyl srovnáván s ekvivalentními dávkami $\text{PO}_4\text{-P}$ nebo nebyl zahrnut žádný fungicid ekvivalentní k $\text{PO}_3\text{-P}$, aby se eliminovaly možné fungicidní účinky. Kromě toho se tyto „hnojivé“ formulace $\text{PO}_3\text{-P}$ doporučují především pro aplikaci jako postřik na list rostliny, které již dostávají typické hnojení P ze zdrojů $\text{PO}_4\text{-P}$. To by naznačovalo, že mnohé z pozorovaných reakcí na $\text{PO}_3\text{-P}$ mohou být ve skutečnosti způsobeny potlačením hub způsobujících hnilobu kořenů, což mohlo ovlivnit růst nebo výnos konkrétní plodiny. Takové produkty jsou však přesto někdy uváděny na trh jako hnojiva spíše než jako pesticidy, aby se předešlo nákladným toxikologickým studiím a studiím účinnosti (Broschat, 2006).

3.7.3 Petunia Hybrida

Nedostatek fosforu indukuje post-transkripční utlumení genu CHS v *Petunia corolla* Petúnie (*Petunia hybrida*) ‚Magic Samba‘. Následek je ten, že má nestabilní červeno-bílé dvoubarevné koruny, které reagují na nedostatek živin. Tento kultivar byl pěstován hydroponicky s použitím roztoků, které postrádaly jednu nebo několik živin k identifikaci specifické živiny související s expresí antokyanů v korunách. V podmínkách nedostatku fosforu se bílá oblast koruny rozšířila, když obsah P v korunách pěstovaných za podmínek s nedostatkem P klesl na méně než $2\ 000\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Jiné elementární nedostatky neměly žádné jasné účinky na potlačení antokyanů v koruně. Poté, co byl fosfát znovu dodán rostlinám s deficitem P, byl v korunách obnoven antokyan. Exprese chalkosyntázy-A (CHS-A) byla potlačena v bílé oblasti, která se rozšířila za podmínek nedostatku P, zatímco exprese několika dalších genů souvisejících s biosyntézou antokyanů byla zesílena více v bílé oblasti než v oblasti červené. Načervenalé listy a kališní lístky se vyvinuly za stavu nedostatku P, což je typický symptom nedostatku P. V načervenalých orgánech byly zesíleny dva geny související s biosyntézou antokyanů. Analýza RNA markeru CHS-A ukázala, že suprese je výsledkem post-transkripčního utlumení genu (PTGS). Byla tedy vyslovena hypotéza, že zvýšení exprese

genu pro biosyntézu antokyanů v důsledku nedostatku P spustilo PTGS CHS-A, což vedlo k vývoji bílé koruny (Hosokawa et. al., 2013).

3.7.4 *Capsicum annuum*

Alabi (2005) testoval účinek pěti dávek fosforu (0, 25, 50, 75, 100 a 125 kg.ha⁻¹) a pěti dávek drůbeží podestýlky (0, 100, 200, 300, 400 a 500 kg.ha⁻¹) na růst, výnos a jeho složky, koncentraci živin a nutriční hodnoty *Capsicum annuum*. Stoupající hladiny fosforu výrazně zvýšily výšku rostliny, počet listů na rostlinu, počet větví a listovou plochu až do maximální dávky 125 kg P.ha⁻¹. Aplikace fosforu také významně urychlila kvetení, zralost a výnos ošetřených rostlin. Aplikace drůbeží podestýlky zvýšila výnos a výnosotvorné prvky rostliny, a to výrazně více než hnojení samotným fosforem. Protože drůbeží podestýlka byla navíc cenově dostupnější, upřednostňuje autor její použití vzhledem k obsahu dalších živin kromě P (Alabi, 2005).

3.7.5 *Banksia ericifolia*

Účinky hnojení fosforem na růst biomasy a celkovou koncentraci P ve stonku, mladých a zralých listech, *Banksia ericifolia* L. f., druhu citlivého na P, byly zkoumány v šestiměsíčním pokusu ve skleníku. Suchá hmotnost rostlin rostoucích ve směsi rašeliny, hrubého písku a perlitu (1:1:1) se zvýšila při dávce 100 mg P. l⁻¹ dodávaného po 6 měsících ve formě hnojiva s řízeným uvolňováním P (0:18:0). Aplikáční dávka 200 mg P. l⁻¹ však naopak vedla k projevům toxicity P. Listy, pozorované při dávkách 60–100 mg P. l⁻¹ začaly mít omezený růst, a to souviselo právě s koncentrací P ve výhoncích. Koncentrace P byla silně ovlivněna přísunem P. Toto pletivo fungovalo jako jímka pro přebytek P, a pomáhala regulovat koncentraci P v listech. Přibližný rozsah koncentrací P ve stonku činil 0,5–1,5 g P kg⁻¹ suché hmotnosti. To bylo více než pro zralé listy (0,5–0,8 g kg⁻¹) nebo pro celou nadzemní biomasu (0,5–1,2 g.kg⁻¹). Schopnost ukládat přebytečný P do stonku z něj činí lepší indikační pletivo pro status rostlinného P než listy nebo celou nadzemní biomasu (Parks et. al., 2000).

3.7.6 *Scaevola aemula*

Scaevola aemula R.Br., okrasná rostlina pocházející z Austrálie, se projevuje zakrnělým růstem, když je hnojena vysokými koncentracemi P. Pro stanovení optimální koncentrace P byly zakořeněné řízků přesazeny do standardních květináčů o průměru 15 cm a ošetřovány pomocí hnojiva rozpustného ve vodě, kde koncentrace P byly 0; 14,5; 29,0; 43,5; 58,0; 72,5 a 87,0 mg. l⁻¹. Současně všechny rostliny obdržely 200 mg.l⁻¹ N a 166 mg.l⁻¹ K. Údaje o růstu a kvetení byly zaznamenávány každých 21 dní, dokud nebyl experiment po 84 dnech ukončen. Délka rostlin, počet, suchá hmotnost a velikost listů byly významně sníženy při koncentracích P vyšších než 14,5 mg.l⁻¹ s ještě výraznějším snížením při hladinách P vyšších než 43,5 mg.l⁻¹

¹. Počet květů na rostlině nebyl ovlivněn koncentracemi P v rozmezí 0 až 43,5 mg.l⁻¹, ale výrazně poklesl při hladinách P vyšších než 43,5 mg.l⁻¹. V důsledku kyselé povahy P hnojiva klesala při vyšších dávkách P hodnota pH. Optimální koncentrace fosforu tak byla 14,5 mg.l⁻¹ nebo méně. Při dávce vyšší než 43,5 mg.l⁻¹ byly již pozorovány příznaky toxicity, pravděpodobně způsobené samotnou dávkou P nebo přílišným okyselením substrátu (Zhang et al., 2004).

3.7.7 *Mirabilis jalapa*

Na základě identifikace *Mirabilis jalapa* L. jako nové okrasné rostliny s hyperakumulací Cd byla dále popsána její růstová reakce na interakci mezi kadmíem a fosforem, její vliv na akumulaci Cd a příslušné mechanismy. V nádobových pokusech bylo sledováno působení různých dávek P a Cd metodou blízkého okraje absorpce rentgenového záření (P-K edge XANES). Ukázalo se, že biomasa listů, stonků a kořenů se zvyšovala zvýšením zásob P z 20 na 100 mg.kg⁻¹ při různých testovaných hladinách Cd kromě 10 mg.kg⁻¹. Akumulace Cd v listech a stoncích významně klesala se zvyšujícími se koncentracemi P od 20 do 500 mg.kg⁻¹ při koncentracích Cd od 10 do 50 mg.kg⁻¹, kromě hladiny Cd 100 mg.kg⁻¹. Bylo tak zjištěno, že bioakumulační faktor Cd se zvyšujícím se P klesal. Kromě toho analýza P–K edge XANES spektra pro *M. jalapa* L. indikovala, že P může v půdě tvořit Cd-fosforečnan. Lze tedy usuzovat, že přidání P ve vhodném obsahu může být užitečným přístupem ke zvýšení růstu rostlin a k imobilizaci Cd v kontaminované půdě. Kromě toho mohou P a Cd tvořit v rostlině sloučeniny vedoucí ke snížení stupně strukturálního poškození rostliny (Zhiguo et al., 2009).

3.7.8 *Tagetes erecta*

V polních pokusech rostliny místního kultivaru *Tagetes erecta* dostávaly dusík a P₂O₅, každá v 0, 30, 60 nebo 90 kg.ha⁻¹, ve všech možných kombinacích, plus K₂O v 60 kg.ha⁻¹. Počet dní potřebných pro vykvetení rostlin byl se stoupající dávkou N a P nižší. Počet květů a individuální hmotnost jedné rostliny se zvyšovaly se zvyšujícími se dávkami N a P. Životnost rostliny ve váze se ale se stoupající dávkou N snižovala, zatímco P neměl žádný významný účinek. Nejlepší intenzita barvy květů (obsah karotenoidů) byla získána s N při 60 kg.ha⁻¹ a P₂O₅ při 90 kg.ha⁻¹. (Anuradha et. al., 1990).

3.7.9 Okrasné školky

V okrasných školkách jsou pěstovány různé taxony rostlin na substrátech s malým obsahem půdy s častou aplikací vody a živin, aby byl maximalizován růst a kvalita rostlin. Studie Poudyal et. al., (2021) byla provedena s cílem porozumět morfofyziologickému základu reakce rostlin na přidavek fosforu (P) a identifikovat optimální koncentraci P vyžadovanou pro tři běžné okrasné dřeviny: *Hydrangea quercifolia* 'Queen of Hearts', *Cornus obliqua*

'Powell Gardens' a *Physocarpus opulifolius* 'Seward'. Ve skleníkovém experimentu byly všechny rostliny zalévány kompletním živným roztokem, který se měnil v koncentraci P (0; 0,7; 1,3; 2,5; 3,7; 6,5 mg.l⁻¹). Optimální koncentrace P pro fotosyntetickou biochemii byla závislá na taxonech a pohybovala se mezi 2,5 a 3,7 mg.l⁻¹. Pro produkci suché biomasy byla optimální koncentrace P přibližně 4,0 mg.l⁻¹ pro všechny tři taxony. Koncentrace fosforu pod 2,5 mg.l⁻¹ snížila velikost listů a vedla ke zvýšenému růstu kořenů. Analýza intenzity fotosyntézy ukázala kontinuální nárůst fotosyntetických parametrů se zvyšující se koncentrací P. Rychlost účinku rubisco pro karboxylaci (V_{cmax}), rychlost regenerace RuBP (J) a rychlost využití triosafosfátu (TPU) omezily fotosyntézu u rostlin s deficitem P pro všechny tři taxony. Optimální koncentrace P identifikované v této studii jsou nižší než běžná doporučení a nižší než množství poskytovaná typickými komerčními hnojivy. U těchto tří taxonů by tedy aplikace P nad 4 mg.l⁻¹ v kombinaci s nadměrným zavlažováním vedoucím k vyplavování P mohla mít negativní důsledky pro životní prostředí, aniž by se zlepšil růst plodin nebo fyziologické procesy.

4.Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce bylo shrnout formou literární rešerše poznatky v oblasti výživy okrasných rostlin fosforem.

Z hodnocení literárních zdrojů je patrné, že fosfor je i přes malý obsah přístupné formy v půdě nezbytným prvkem ve výživě rostlin, kde se podílí na řadě fyziologických a metabolických procesů. Celosvětově je však hnojení P založeno na využití fosforečných minerálů, jejichž zdroje jsou omezené.

V bakalářské práci je sledován vliv hnojení P u konkrétních druhů okrasných rostlin. Ze studia literárních pramenů vyplývá, že hnojení okrasných rostlin fosforem je podceňovanou kapitolou, a zatím téměř chybí zdroje shrnující požadavky jednotlivých skupin rostlin. To je dáno i značnou variabilitou požadavků P v rámci těchto skupin. Práce se tak spíše zužuje na popis konkrétních pokusů s aplikací fosforu. Z různých studií vyplývají následující nejpodstatnější informace:

- Důležitější než samotné hnojení fosforem je vyrovaná výživa zahrnující všechny živiny
- Rozhodující je často i forma aplikovaného fosforu, termín a způsob aplikace.
- Fosfor ve formě fosfitu působí i jako prostředek proti rostlinným chorobám. Zatím je ale stále nejasné, jestli je potenciálním zdrojem přístupného P pro rostliny.

- Na fosfor je třeba nahlížet i jako na potenciálně toxický prvek, a to zejména u okrasných rostlin citlivých na vyšší obsahy P (*Banksia ericifolia* nebo *Scaevola aemula*).
- Vyšší dávky fosforu mohou být využity i jako regulátor růstu některých okrasných rostlin.
- Pozitivní působení P lze spatřovat i v omezení vstupů některých rizikových prvků (Cd) do rostlin a snížení jejich toxického působení u citlivých rostlin.

Lze tedy konstatovat, že výživa okrasných rostlin fosforem je v současné době značně podceňována. Fosfor zde nelze chápat jen jako nezbytnou živinu, ale i jako možný zdroj toxického působení u citlivých rostlin, jako prvek působící v ochraně proti chorobám (fosfit) a v neposlední řadě jako prvek redukující příjem některých rizikových prvků.

5.Literatura

Adams F., Conrad J.P. (1953) Transition of phosphite to phosphate in soils. *Soil Science* 75:361–371.

Alabi D.A. (2006) Effects of fertilizer phosphorus and poultry droppings treatments on growth and nutrient components of pepper (*Capsicum annuum* L). *African Journal of Biotechnology* 5 8:671-677.

Alem P., Thomas P.A., van Ieserl M.W. (2015a) Controlled water deficit as an alternative to plant growth retardants for regulation of poinsettia stem elongation. *Hort. Science* 50:565-569.

Alem P., Thomas P.A., van Ieserl M.W. (2015b) Use of controlled water deficit to regulate *Poinsettia* stem elongation. *Hort. Science* 50:234-239.

Anuradha K., Pampapathy K., Narayana N. (1990) *Indian Journal of Horticulture* 47:353-357.

- Baas R., Brandts A., Straver N. (1995) Growth regulation of bedding plants and *poinsettia* using low Phosphorus fertilization and ebb-and flow irrigation. *Acta horticulturae* 378:129-140.
- Baier J., Baierová V. (1985) *Abeceda výživy rostlin a hnojení*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 360 s.
- Bates T. R., Lynch J.P. (1996) Stimulation of root hair elongation in *Arabidopsis thaliana* by low phosphorus availability. *Plant, cell & environment* 19:529-538.
- Bergstrand K.J. (2017) Methods for growth regulation of greenhouse produced ornamental pot- and bedding plants – a current review. *Folia Hort.* 29:63-74.
- Bindraban P.S., Dimkpa C.O., Pandey R. (2020) Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health. *BiolFertilSoils* 56: 299–317.
- Blume H.P., Brümmer G.W., Scheffer F., Schachtschabel P., Schwertmann U., Horn R., Knabner I.K. (2002). *Lehrbuch der Bodenkunde*. Spektrum Akademischer Verlag, Stuttgart, Germany. 570 s.
- Borch K., Miller C., Brown K.M., Lynch J.P. (1998) Response to phosphorus availability during vegetative and reproductive growth of *Chrysanthemum*: II. Biomass and phosphorus dynamics. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 123:223-229.
- Borch K., Miller C.R., Brown K., Lynch J. (2003) Improved drought tolerance in marigold by manipulation of root growth with buffered-phosphorus nutrition. *HortSci.* 38:212-216.
- Broschat T. K. (2006) Effects of Phosphorous and Phosphoric Acids on Growth and Phosphorus Concentrations in Container grown Tropical Ornamental Plants. *HortTechnologyhorttech* 16:105-108.
- Büll T., Costa M., Novello A., Maximino F.D., Fernandes D.M., Bôas R. (2004). Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. *Scientia Agricola.* 61.

- Campbell B.M., Beare D.J., Bennett E.M, Hall-Spencer J.M, Ingram J. S. I., et. al. (2017) Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society* 22:8.
- Carstensen A., Herdean A., Schmidt S.B., Sharma A., Spetea C., et. al. (2018) The Impacts of Phosphorus Deficiency on the Photosynthetic Electron Transport Chain. *Plant Physiol.*177:271-284.
- Caspersen S., Bergstrand K.J. (2020) Phosphorus restriction influences P efficiency and ornamental quality of *Poinsettia* and *Chrysanthemum*. *Scientia Horticulturae* Volume 267.
- Bennett E., Carpenter S., Caraco N. (2001) Human Impact on Erodable Phosphorus and Eutrophication: A Global Perspective: Increasing accumulation of phosphorus in soil threatens rivers, lakes, and coastal oceans with eutrophication. *BioScience* Volume 51, Pages 227–234.
- European Environment Agency (2015) *The European Environment – State and Outlook 2015*.
- Guest D., Grant B. (1991) The complexation of phosphonates as anti-fungal agent. *Biol. Rev.* 66:159–187.
- Hallama M., Pekrun C., Lambers H., Kandeler E. (2019) Hidden miners – the roles of cover crops and soil microorganisms in phosphorus cycling through agroecosystems. *Plant Soil* 434:7-45.
- Hawkesford M. (2012) *Improving Nutrient Use Efficiency in Crops*.
- Havis J.R. a Baker J.H. (1985) Phosphorus requirement of *Rhododendron* ‘Victor’ and *Cotoneaster adpressa* grown in a perlite-peat medium. *J. Environ. Hort.* 3:63-64.
- Hansen C.W., Petersen K. (2004) Reduced nutrient and water availability to *Hibiscus rosa-sinensis* ‘Caiored’ as a method to regulate growth and improve post-production quality. *Eur. J. Hort. Sci.* 69:159-166.

- Hansen C.W., Lynch J., Ottosen C.O. (2001) The effect of phosphorus nutrition on growth, flowering and chlorophyll fluorescence of *New Guinea Impatiens*'PagoPago'. *Acta Hort.* 548:561-565.
- Hansen C.W., Lynch J. (2016) Effects of phosphorus on shoot and root growth, partitioning, and phosphorus utilization efficiency in *Lantana*. *HortSci.* 51:1001-1009.
- Hansen C.W., Nielsen K.L. (2003) Reduced phosphorus availability as a method to reduce chemical growth regulation and to improve plant quality 314-315.
- Hansen, C.W., Lynch, J. (1998) Response to phosphorus availability during vegetative and reproductive growth of *Chrysanthemum*: II. Biomass and phosphorus dynamics. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123:223-229.
- Hammond J.P., Broadley M.R., White P.J., King G.J., Bowen H.C., et. al. (2009) Shoot yield drives phosphorus use efficiency in *Brassica oleracea* and correlates with root architecture traits. *J Exp Bot.* 60:1953-68.
- Hansen N.C. (2019) Phosphorus management in high-yield systems. *J. Environ. Qual.* 48: 1265-1280.
- Hosokawa M., Yamauchi T., Takahama M., Goto M., Mikano S., et. al. (2013) Phosphorus starvation induces post-transcriptional CHS gene silencing in *Petunia* corolla. *Plant Cell Rep* 32:601–609.
- Hudec I., Stanko M. (2001) *Všeobecná ekológia*. Univerzita P.J. Šafárika, Košice. 116 s.
- Hlušek J. (2004) *Základy výživy a hnojení zeleniny a ovocných kultur*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. 56 s., ISBN: 80-7271-147-4.
- Holečková Z., Kulhánek M., Balík, J. (2017) Influence of Bioeffectors Application on Maize Growth, Yields and Nutrient Uptake. *Int. J. Plant Sci.*, 179:1041-1052.

- Hansen C.W., Nielsen K. (2001) Reduced phosphorus availability as a method to reduce chemical growth regulation and to improve plant quality, 314-315.
- Horst W.J., Schenk M.K., Bürkert A., Claassen N., Flessa H., et. al. (2001) Plant Nutrition – Food Security and Sustainability in Agro-Ecosystems Through Basic and Applied Research. Developments in Plant and Soil Sciences, USA, 92 s.
- Hopkins B.G., Hansen N.C. (2019) Phosphorus management in high-yield systems. J. Environ. Qual. 48:1265-1280.
- Hyeji K., Xinxin L. (2016) Effects of phosphorus on shoot and root growth, partitioning and phosphorus utilization efficiency in *Lantana*. Hortscience. 51:8
- Ivanič J., Havelka B., Knop K. (1984) Výživa a hnojení rostlín. Příroda, Bratislava, 486 s.
- Kageyana J., Konishi K. (1992) Effect of phosphorus application in hydroponic solution on growth and phosphorus uptake in *Chrysanthemum* plants. Hortic. Sci. 61:635-642.
- Jurčík F. (1978) Živiny v půdě. 1. vyd., Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství a výživy ČSR., 114 s.
- Justice A., Faust J.E. (1995) Growth regulativ of Bering plants and *Poinsettia* using low phosphorus fertilization and ebb – and flow irrigation
Acta Hortic. 378:129-137.
- Kaiser D.E., Pagliari P.H. (2018) Agronomic and environmental management of phosphorus.
- Kageyana Y., Konishi K. (2015) Phosphorus-restriction as a potential technique to control *Impatiens* stem elongation. Acta Hortic. 1104:9-13.
- Kim H.J., Li X. (1998) Response to phosphorus availability during vegetative and reproductive growth of *Chysanthemum*: I. Whole-plant carbon dioxide exchange
J. Am. Soc. Hortic. Sci. 123:215-222.

- Kunzová E. (2009) Výživa rostlin a hnojení fosforem. VÚRV, 24 str., ISBN 978-80-7427-015-4
- Lambers H. (2022) Phosphorus Acquisition and Utilization in Plants. Annual Review of Plant Biology. 73. 10.1146/annurev-arplant-102720-125738.
- Le Mare P. (1991) Rock Phosphates in Agriculture. Experimental Agriculture, 27:413-422.
- Lal R., Stewart B.A. (2015) Soil-specific farming: Precision agriculture. CRC Press.
- MacDonald G.K., Benett E.M., Potter P.A., Ramankutty N. (2011) Agronomic phosphorus imbalances across the world's crop lands. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 108:3086-3091.
- MacDonald G., Jarvie H.P., Withers P., Doody D., Keeler B., et. al. (2016) Guiding phosphorus stewardship for multiple Ecosystem services. Ecosystem Health and Sustainability 2:1-12.
- MacIntire W.H., Winterberg S.H, Hardin L.J., Sterges A.J, Clements L.B. (1950) Fertilizer evaluation of certain phosphorus, phosphorous, and phosphoric materials by means of pot cultures. Agron.J. 42:543-549.
- McDonald A.E., Grant B.R, Plaxton W.C. (2001) Phosphite (phosphorus acid): its relevance in the environment and agriculture and influence on plant phosphate starvation response. Journal of Plant Nutrition. 24:1505-1519.
- Mahfouz S., Sharaf-Eldin M. (2007) Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Int. Agrophys. 21(4):361-366.
- Majsztik J.C., Ristvey A.G., Lea-Cox J.D. (2011) Water and nutrient management in the production of container-grown ornamentals Hort. Rev. 38:253-296.
- Malacinski G., Konetzka W.A. (1966) Bacterial oxidation of orthophosphite. J. Bacteriol. 91:578-582.

- Malhotra H., Sharma S., Pandey R. (2018) Phosphorus Nutrition: Plant Growth in Response to Deficiency and Excess. 10.1007/978-981-10-9044-8_7.
- Marschner P. (2012) Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition), Academic Press, Pages 3-5, ISBN 9780123849052.
- Mengel K. (1991) Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer Verlag Jena. 466 s., ISBN 3-334-00310-8.
- Mengel K., Kirkby E.A. (1979) Principles of plant nutrition. Intl. Potash Inst., Bern, Switzerland.
- Nelson N.O., Shober A.L. (2012) Evaluation of Phosphorus Indices after Twenty Years of Science and Development. Journal of Environmental Quality, 41:1703-1710.
- Hjollund N.H., Bonde J.P, Ernst E., Lindenberg S., Andersen A.N., et. al. (2004) Pesticide exposure in 935 male farmers and survival of in vitro fertilized pregnancies. Hum. Reprod., 19:1331-1337.
- Novotná M. (2010) Počítačové modelování znečištění v přírodě s využitím Maple. Universitas masarykiana brunensis, Brno 2010, 72 s.
- Nowak J. (2004) Reduced nutrient and water availability to *Hibiscus rosa-sinensis* 'Cairored' as a method to regulate growth and improve post-production quality. Eur. J. Hortic. Sci., 69:159-166.
- Parks S., Haigh A., Cresswell G. (2000) Tissue phosphorus as an index of the phosphorus status of *Banksia ericifolia* L. f. Plant and Soil 227:59–65.
- Petersen K., Hansen C.W. (2003) Compact *Campanula carpatica* 'Uniform' without chemical growth regulators. Eur. J. Hortic. Sci.68:266-271.
- Pitter P. (2009) Hydrochemie. Praha: VŠCHT, 579 s. ISBN 978-80-7080-701-9.

Preston C.L, Mengel D., Ruiz Diaz D. (2019) Corn response to long-term phosphorus fertilizer application rate and placement with strip-tillage. *Agronomy Journal* 111. 10.2134/agronj2017.07.0422.

Richter R., Hlušek J., Hřivna L. (1999) *Výživa a hnojení rostlin: Praktická cvičení*. MZLU Brno, 188 s.

Richter R. (2004) *Biogenní prvky, Fosfor*.

Rickard D.A. (2000) A review of phosphorous acid and its salts as fertilizer materials. *J. Plant Nutr.* 23:161–180.

Sanchez P., Buresh R., Leakey R. (1997) Trees, soils, and food security. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 352. 10.1098/rstb.1997.0074.

Sekiya N., Yano K. (2010) Seed P-enrichment as an effective P supply to wheat. *Plant Soil*. 327:347-354.

Sharpley A.N., McDowell, R.W., Kleinman P.J.A. (2001) Phosphorus loss from land to water: integrating agricultural and environmental management. *Plant and Soil* 237:287–307.

Poudyal S., Owen J., Sharkey T., Fernandez R.T., Cregg B. (2021) Phosphorus requirement for biomass accumulation is higher compared to photosynthetic biochemistry for three ornamental shrubs, *Scientia Horticulturae*, Volume 275, 109719.

Sorauer P. (1969) *Handbuch der Pflanzenkrankheiten Bd. I: Die nicht parasitären Pflanzenkrankheiten*, Berlin– Hamburg. 478 s.

Smith T., Cox D. (2015) *Fertilizing Flower Gardens and Avoid Too Much Phosphorus*.

Spohn M., Schleuss P. (2018) Addition of inorganic phosphorus to soil leads to desorption of organic compounds and thus to increased soil respiration. *Soil Biology and Biochemistry*. 130. 10.1016/j.soilbio.2018.12.018

Stroka S., Nowak J. (2001) The effect of phosphorus nutrition on growth, flowering and leaf nutrient concentrations of *Osteospermum*. *Acta Hort.* 548:557-560.

Troeh F.R., Thompson L.M. (2005) *Soils and Soil Fertility*. Sixth Edition, Blackwell, Ames, Iowa, 489 s.

Van der Boon J. (1981) A slow-release fertilizer for nursery plants in container *Acta Hort.* 126:321-348.

Vaněk V., Balík J., Černý J., Pavlík M., Pavlíková D., et. al. (2012) *Výživa zahradních rostlin*. Academia. Praha. 570 s. ISBN: 978-80-200-2147-2.

Vessey J.K. (2003) Plant growth promoting rhizobacteria as bio fertilizers. *Plant and Soil* 255: 571–586.

Wallace T. (1961) *In The Diagnosis of Mineral Deficiencies in Plants by Visual Symptoms. A Colour Atlas and Guide*. HM Stationery Office, London. 116 s.

Watanabe K., Murayama T., Niino T., Nitta T., Nanzyo M. (2005) Reduction of phosphatic and potash fertilizer in sweet corn production by pre-transplanting application of potassium phosphate to plug seedlings. *Plant Prod. Sci.* 8:608-616.

Withers P., Sylvester-Bradley R., Jones D., Healey J., Talboys P. (2014) Feed the Crop Not the Soil: Rethinking Phosphorus Management in the Food Chain. *Environmental science & technology*. 48:6523-6530.

Mezuan I., Handayani P., Inorih E. (2004) Application biofertilizer formulation for plant cultivation rice. *J. Sci. Agric. Indo.* 4:27-34.

Wright R.D., Niemiera A.X. (1987) Nutrition of container-grown woody nursery crops. *Hort. Rev.* 9:75-150.

Yadav H., Fatima R., Sharma A., Mathur S. (2017) Enhancement of applicability of rock phosphate in alkaline soils by organic compost. *Applied Soil Ecology*. 113:80-85.

Yeager T.H., Wright R.D. (1982) Phosphorus requirement of *Ilex crenata* Thunb.cv. *Helleri* grown in a pine bark medium. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107:558-562.

Yu Z., Zhou Q. (2009) Growth responses and cadmium accumulation of *Mirabilis jalapa* L. Under interaction between cadmium and phosphorus. J Hazard Mater.167:38-43.

Zhang D., Moran R.E., Lois B. (2004) Effect of Phosphorus Fertilization on Growth and Flowering of *Scaevola aemula* R. Br. 'New Wonder'. Hort. Science 39:1728-1731.