

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin

Vliv hnojení na příjem fosforu ozimou pšenicí při různých
stanovištních podmínkách

Bakalářská práce

Autor práce: Tomáš Nejedlý

Obor studia: Rostlinná produkce

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Černý, Ph.D.

2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Vliv hnojení na příjem fosforu ozimou pšenicí při různých stanovištních podmínkách vypracoval(a) samostatně a použil(a) jen pramenů, které cituji a uvádím v přiložené bibliografii.

V Praze dne:

podpis autora práce

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval všem, kteří mi při tvorbě bakalářské práce pomohli. Především děkuji vedoucímu práce panu Ing. Jindřichu Černému, Ph.D. za cenné rady, připomínky a čas, který mi věnoval.

Souhrn

Cílem práce je shromáždit a utřídit dostupné informace o vlivu hnojení fosforem na ozimou pšenici. Práce je rozdělena na pět hlavních částí. V první části se práce věnuje pšenici ozimé, jejím požadavkům na prostředí a výnosovým prvkům. V druhé části je popisován koloběh fosforu, jeho obsah v půdě a přeměny, ke kterým v půdě dochází. V následující části je rozebrán význam fosforu pro rostliny. Jeho příjem a využití, projevy jeho nedostatku nebo naopak přebytku a také význam fosforu pro pšenici. Ve čtvrté části jsou popsána organická a minerální hnojiva obsahující fosfor, spolu se způsobem jejich výroby, použití a obsahu fosforu. V poslední části práce se řeší problematika hnojení fosforem a dalšími živinami u pšenice.

Klíčová slova: Pšenice ozimá, Fosfor, Hnojení, Hnojiva, Koloběh fosforu

Summary

The aim of this work is to collect and sort out available information on the influence of phosphorus fertilization on winter wheat. The work is divided into five main parts. The first part deals with winter wheat. Its environmental requirements and nutrition requirements for optimal yield. In the second part is described the phosphorus cycle in the soil and the changes which it undergoes in the soil. The importance of phosphorus for plants is discussed in the next part of this work as well as its intake and utilization, the manifestations of its deficiency or the surplus, as well as the importance of phosphorus for wheat. The fourth part describes phosphorus-containing organic and mineral fertilizers, together with their production, use and phosphorus content. The last part of this work deals with phosphorus and other nutrients fertilization in wheat.

Key words: Winter wheat, Phosphorus, Fertilization, Fertilizers, Phosphorus Cycle

Obsah

Úvod.....	1
Prohlášení	2
Poděkování.....	3
Souhrn.....	4
Summary	5
Obsah	6
1 Úvod	1
2 Cíl práce.....	2
3 Literární rešerše	3
3.1 Pšenice obecná.....	3
3.1.1 Požadavky na prostředí pšenice obecné	4
3.1.2 Zařazení pšenice obecné v osevním postupu.....	4
3.1.3 Výnosové prvky obilnin	5
3.1.4 Vlivy působící na úroveň výnosových prvků.....	5
3.1.5 Výživový stav a půdní úrodnost.....	6
3.2 Fosfor v půdě, jeho přeměny a koloběh	8
3.2.1 Minerální formy fosforu	9
3.2.2 Organické formy fosforu	10
3.2.3 Přístupný fosfor	11
3.2.4 Koloběh fosforu v prostředí.....	12
3.2.5 Koloběh fosforu v půdě	12
3.2.6 Pohyblivost fosforu v půdě.....	14
3.3 Fosfor v rostlinách.....	15
3.3.1 Význam fosforu v rostlinách	15

3.3.2 Příjem fosforu rostlinou	16
3.3.3 Nedostatek fosforu v rostlině	18
3.3.4 Nadbytek fosforu v rostlině	19
3.3.5 Význam fosforu pro pšenici	19
3.4 Hnojení fosforem	20
3.4.1 Hnojení organickými hnojivy	23
3.4.2 Hnojení minerálními hnojivy	28
3.4.3 Typy fosforečných hnojiv	29
3.5 Hnojení pšenice ozimé	30
3.5.1 Hnojení fosforem	32
3.5.2 Hnojení dusíkem	33
3.5.3 Hnojení ostatními živinami	33
4. Závěr	34
5. Seznam literatury	35

1 Úvod

Pšenice je nejrozšířenější obilninou v České republice. V osevních postupech zaujímá téměř polovinu všech pěstovaných obilnin a tvoří asi 25 % celkové oseté plochy. Při pěstování představuje produkční jistotu díky své stabilní úrovni výnosů a kvality. Asi 30 % pšeničného zrna se v České republice používá v potravinářství, 10 % jako osivo a zbývajících cca 60 % se využívá na krmiva, na průmyslové využití a na export.

Dosažení vysokých výnosů a kvality je nutné zajistit správnými agrotechnickými zásahy vhodnými pěstebními podmínkami a hnojením. Výživa rostlin je nejdůležitějším předpokladem pro zdárný růst a vývoj rostlin, protože při nedostatku živin klesá výnos i kvalita. Nejdůležitější roli ve výživě rostlin má dusík. Používáním dusíkatých hnojiv bez ostatních živin zejména fosforu však není možné dlouhodobě docílit efektivních výsledků.

Hnojení fosforem bylo v minulých letech v českém zemědělství podceňováno, což dokazuje nárůst ploch s nízkým obsahem fosforu v půdě. Ovšem jeho zanedbávání může časem vést ke zmenšování půdní úrodnosti a celkovému poklesu výnosů. Přitom se jedná o jeden z nejdůležitějších biogenních prvků a jeho koncentrace často limituje produkční procesy, a proto by jeho problematice mělo být věnováno více pozornosti.

2 Cíl práce

Cílem práce je z knižních zdrojů a vědeckých publikací shromáždit údaje o pšenici ozimé, jejích požadavcích na výživu a hnojení, a to zvláště na výživu a hnojení fosforem ať už ve formě minerálních, či organických hnojiv. Dále také zjištění dostupných informací o příjmu fosforu rostlinami, jeho koloběhu v prostředí a o jeho obsahu a chování v půdě.

3 Literární rešerše

3.1 Pšenice obecná

Pšenice obecná (*Triticum aestivum* L.), tedy její ozimá forma, je nejrozšířenější domácí plodinou. V současnosti zaujímá asi 25 % plochy orné půdy. Pšenice ozimá má dominantní postavení i mezi ostatními obilninami, tvoří 50 % pěstovaných obilnin v České republice. K potravinářským účelům se využívá asi 35 % z celkové produkce, ke krmným účelům se využívá 58 % a 7 % se používá jako osivo (Faměra, 1993).

Pšenice obecná (*Triticum aestivum* L.) hraje důležitou roli ve výživě světové populace, neboť tvoří základ jídelníčku pro asi 40 % světové populace. Slouží jako zdroj 55 % sacharidů a 20 % potravinových kalorií spotřebovaných na celém světě (Breiman a Graur, 1995), (Bockus a kol., 2010).

Dle údajů FAO z roku 2014 se ve světě ročně produkuje více než 700 milionů tun pšenice.

Jedním z důvodů takového rozsahu pěstování pšenice jsou její biologické vlastnosti. Pšenice ozimá je velmi přizpůsobivá rostlina. Lze jí pěstovat ve všech výrobních oblastech, kromě extrémních stanovišť. Vynikající výnosy na provozních plochách jsou 8 - 10 t. ha. Maximální možný výnos, dle genetických dispozic je odhadován na 20 t. ha (Curtis, 2002).

Pšenice obecná (*Triticum aestivum* L.) patří do čeledi lipnicovitých (Poaceae) (Muhammad a kol., 2017).

Jedná se o jednoděložnou rostlinu. V průběhu vegetace prochází rostliny vývojovými změnami, které se projevují morfologickými a anatomickými změnami. Vnější znaky hodnotí makrofenologická stupnice. Organogenezi vzrostného vrcholu zachycuje mikrofenologická stupnice. Některé agrotechnické zásahy např. hnojení dusíkem, aplikace regulátoru atd. jsou vázány na určitou fázi růstu. Nástup růstové fáze se zaznamenává tehdy, jestliže 50 - 70 % rostlin v porostu dosáhlo uvedené fáze (Faměra, 1993).

Pšenice mají duté kolénkaté stéblo. Květenstvím je kláskový lichoklas s obilkami s výraznou podélnou rýhou. Kvítků v klásku je 2 až 5. Plevy jsou široké a žilnaté. Pluchy jsou hladké. Pluška je blanitá. Osina je přisedlá k vrcholu pluchy. Plodem je obilka. Pokud zůstává

obilka až do zralosti volná a nesrůstá s pluchou a pluškou, patří druh mezi tzv. nahé pšenice. Pšenice, u kterých přirůstá obilka k pluše a plušce, jsou nazývány pšenícemi pluchatými (plevnatými). Barva vzcházejících rostlin je zelená. Jazyček je krátký, po okraji vroubkovaný. Ouška jsou malá, ochmýřená.

3.1.1 Požadavky na prostředí pšenice obecné

Pšenice ozimá je nejnáročnější obilninou na půdní podmínky a živiny. Nejvhodnější jsou střední až těžší půdy s neutrální až slabě kyselou reakcí. Pro pšenici jsou nevhodné půdy písčité, kyselé a zamokřené. Pšenice využívá živiny z půdní zásoby, takže je nutné je do půdy pravidelně dodávat v různých formách ať už v průmyslových nebo organických hnojivech (Curtis, 2002).

Pro zajištění stabilních a vysokých výnosů zrna ozimé pšenice je nutné poskytnout pšenici dobré podmínky. Vaněk a kol. (1995) uvádí, že z výsledků četných pokusů vyplývá, že rozhodujícími faktory, které vytvářejí předpoklady dobrých a kvalitních sklizní jsou: vysoká půdní úrodnost, mimo jiné zásobení půdy fosforem, draslíkem a hořčíkem, dále vhodná předplodina a správná výživa rostlin zajištěná hnojením i starou půdní silou.

Křen a Smutný (1998) se domnívají, že optimální souhrn vegetačních teplot pro pšenici se pohybuje od 1960 do 2530 °C. Optimální úhrn srážek za vegetaci je potom 400 mm a půda by měla být v rozmezí pH od 6,2 do 7,0.

3.1.2 Zařazení pšenice obecné v osevním postupu

Pšenice ozimá je plodina náročná na předplodinu. Vysoký výnosový potenciál je zpravidla po zlepšujících plodinách (Petr, 2001).

Vhodnými předplodinami jsou: jeteloviny, luskoviny a včas sklizené okopaniny. Zařazení pšenice po jiné obilnině zvyšuje možnost výskytu chorob a škůdců a tím zhoršuje výnosovou stabilitu pšenice. Zcela nevhodné je setí pšenice po pšenici. Setí pšenice po pozdě sklizených okopaninách, nevyužívá dobrou předplodinovou hodnotu těchto plodin. S pozdějším výsevem pšenice klesá její výnosnost (Faměra, 1993).

Klasickou dobrou předplodinou je i ozimá řepka, která jediná z dobrých předplodin zvyšuje svůj podíl na orné půdě (Petr, 2001).

Jeteloviny jsou vhodnou předplodinou díky schopnosti hlízkových bakterií na jejich kořenech vázat vzdušný dusík. Tento dusík pak zůstává na pozemku a může být využit následnou plodinou. V případě brambor se jedná o dobrou předplodinu zejména v případě, kdy jsou brambory hnojené hnojem, a to díky dodání organické hmoty do půdy a její postupné mineralizaci. (Křen a Smutný, 1998).

3.1.3 Výnosové prvky obilnin

1. Počet klasů na jednotku plochy. Ideální je asi 400 až 500 klasů na m².

2. Počet zrn v klasu

3. Hmotnost 1000 zrn (Faměra, 1993).

Uvedené výnosové prvky jsou navzájem na sobě závislé a vzájemně se ovlivňují a do jisté míry i kompenzují. Pro optimalizaci výnosu je důležité sladění poměrů všech těchto tří výnosových prvků (Vaněk a kol., 1998).

3.1.4 Vlivy působící na úroveň výnosových prvků

1. Počet rostlin na m²: Záleží na biologické hodnotě osiva, způsobu setí, termínu setí a hloubce seťového lůžka, na výsevku a na vzházivosti.

2. Redukce počtu rostlin: Je ovlivněná průběhem počasí, chorobami, škůdci, agrotechnickými zásahy a mezidruhovými i vnitrodruhovými vztahy.

3. Produktivní odnožování: Je dáno genetickým základem rostlin, agrotechnikou, způsobem setí, konkurencí mezi rostlinami a výskytem chorob a škůdců.

4. Počet zrn v klasu: Může být ovlivněn geneticky, dále průběhem počasí, produktivitou fotosyntetického aparátu listů, konkurencí mezi rostlinami a výskytem chorob a škůdců.

5. Hmotnost obilek: Se odvíjí od plochy aktivního asimilačního aparátu horních listů a od délky jeho funkce. Dále od schopnosti rostliny převádět asimiláty do zrna, na průběhu počasí a na výskytu chorob a škůdců (Faměra, 1993).

Jednotlivé výnosové prvky se tvoří postupně a navazují na sebe. Kvantitativní úroveň nižšího výnosového prvku může být kompenzována úrovní dalšího výnosového prvku např.

nižší počet klasů může být kompenzován vyšším počtem zrn v klasu. Tyto kompenzační vztahy jsou u obilnin významnou schopností autoregulace (Faměra, 1993).

Výhodou ozimů oproti jařinám je, že mohou lépe zakořenit a částečně odnožit již na podzim a časně na jaře. Odnožování tedy u nich probíhá za lepších vláhových podmínek a může tak vést k vyšším výnosům (Curtis, 2002).

Hlavní živinou zvyšující výnos pšenice je dusík. Ovšem pro jeho příjem je důležitý silně vyvinutý kořenový systém. Využití dusíku na tvorbu zrna je však často omezováno nízkým obsahem fosforu a dalších prvků. Proto je nutné hladinu těchto deficitních prvků zmírnit hnojením a tím zvýšit využitelnost dusíku pšenicí (Rabbi a kol., 2017).

Li a kol. (2018) během nádobových pokusů zjistili, že použití fosforečných hnojiv zvýšilo jednak výnos pšenice a také napomohlo většímu příjmu fosforu z půdy. Způsobeno to bylo především větším nárůstem kořenů. Použití fosforečných hnojiv tedy přispívá k efektivnějšímu využití fosforu a napomáhá vyššímu výtěžku.

Sledováním stavu porostu obilnin během vegetace a využitím znalostí tvorby výnosu lze aktivně regulovat optimální stav porostu, a to podporou zakládání výnosových prvků a omezením redukce jejich úrovně. Regulace těchto procesů zahrnuje řadu agrotechnických a organizačních opatření. Správná volba pěstitelské technologie a zásahů do porostu zohledňuje ekonomické i ekologické hledisko (Curtis, 2002).

3.1.5 Výživový stav a půdní úrodnost

Účelem diagnostiky výživného stavu je získání informací o stavu porostu pro potřeby možného zlepšení výživy rostlin pro dosažení lepšího výnosu. Kritéria pro hodnocení výživového stavu obilnin pro fosfor jsou uvedeny v tabulce (Tab. 1.). Příjem a celá výživa rostlin fosforem vykazuje, oproti ostatním živinám, značnou specifikou. Podstata výjimečnosti fosforu spočívá v možnosti ustálení pouze velmi malé koncentrace fosforečnanového aniontu v půdním roztoku v kontrastu s nárokem plodiny. Příjmový mechanismus fosforu rostlinou musí být tedy nezbytně výkonnější. Možnost výživy na stanovišti je závislá na podmínkách rozvoje kořenového systému. Dále na koncentraci labilních forem fosforu v půdě a stupni koncentračního gradientu. Toto vše je ovlivněno fyzikálními a chemickými vlastnostmi profilu půdy stanoviště. Podmínky pro příjem fosforu se tedy mohou během vegetace měnit. Snížený

obsah fosforu v rostlinách tedy nemusí nutně znamenat nedostatečnou zásobu fosforu v půdě (Matula, 2002).

Tabulka č. 1. Kritéria výživného stavu obilnin (Matula, 2002)

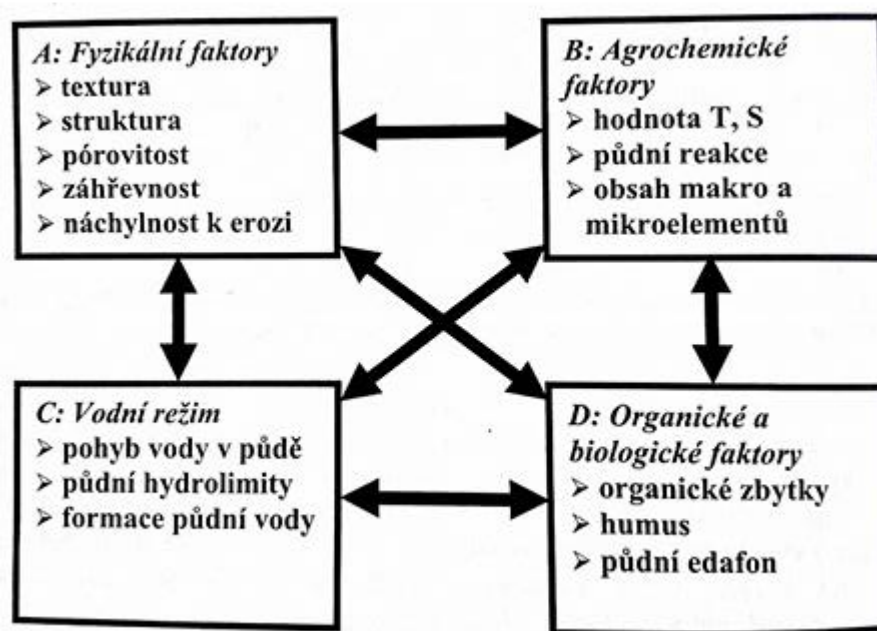
Plodina	Fenofáze	Část rostliny	Nízký obsah	Optimální obsah	Vysoký obsah
Pšenice oz.	Konec odnožování	Nadzemní hmota	<3 g/kg	4 - 5 g/kg	>5 g/kg
	Sloupkování	Nadzemní hmota	<2 g/kg	2 - 4 g/kg	>4 g/kg
	Konec sloupkování	Praporcový list	<3 g/kg	3 - 5 g/kg	>5 g/kg

Výživový stav rostlin se silně odvíjí od podmínek na stanovišti. Soubor půdních a dalších vlastností na stanovišti můžeme označit jako půdní úrodnost. Půdní úrodnost je souborem vlastností, které při vhodné kombinaci zajišťují rostlinám optimální podmínky růstu. Prvky půdní úrodnosti můžeme rozdělit do čtyř podskupin a to na: fyzikální faktory, agrochemické faktory, vodní režim a organické a biologické faktory (Balík a kol., 2009).

Půdní úrodnost se dále skládá z řady dynamických prvků, které se mohou v čase měnit. Jedná se třeba o množství přístupných živin, kationtovou výměnnou kapacitu či o hodnotu pH. Přehled prvků úrodnosti půdy a vztahy mezi nimi je uveden ve schématu (Obr. 1.) (Curtis, 2002).

Balík a kol. (2009) se domnívají, že zejména změna pH může mít výrazný vliv na půdní úrodnost. Především na činnost mikroorganismů, či rozpustnost sloučenin biogenních prvků. Proto negativní změny v hodnotě pH je nutno brát se značnou obezřetností zejména z hlediska dlouhodobého vývoje půdní úrodnosti.

Obrázek č. 1. Prvky půdní úrodnosti (Balík a kol., 2009)



3.2 Fosfor v půdě, jeho přeměny a koloběh

Celkové množství fosforu v půdě se pohybuje od 0,01 % do 0,15 %. Vyšší obsah fosforu většinou vykazují půdy s větším obsahem organické hmoty, zatímco půdy lehké s malým obsahem organické hmoty mají obsah fosforu nízký (Vaněk a kol., 2007).

Fosfor v přírodě lze nalézt v jeho nejvyšším oxidačním stupni tedy PO_4^{3-} . V zemské kůře je fosfor zastoupen přibližně 0,12 % a jeho koncentrace se odhaduje cca na 1 - 2 g na 1 kg (Šimek, 2003).

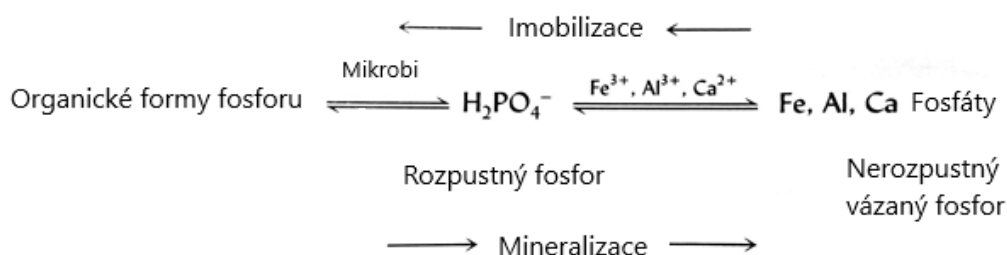
Základem různých forem fosforu v půdě jsou sloučeniny kyseliny trihydrogenfosforečné (H_3PO_4). Sloučeniny fosforu, které jsou využitelné jako možný zdroj pro výživu mikroorganismů nebo rostlin jsou představovány minerálními a organickými sloučeninami (Vaněk a kol., 2007).

Primárním zdrojem fosforu jsou sedimenty a horniny, které tvoří současně i největší přírodní zásobárnu tohoto prvku. Zvětváním minerálů, a také z organických zbytků, se fosfor uvolňuje do prostředí a akceleruje globální cyklus fosforu. Významnou roli hraje i lidský faktor. Suchozemské ekosystémy uvolňují fosfor do koloběhu jeho zabudováním do organických

látek. Na konci tohoto cyklu se fosfor dostává do moří a následně je ukládán v sedimentech (Vaněk a kol., 2007).

Velká část celkového fosforu v půdách je pro rostliny nepřijatelná, a to z důvodu vázání a následného srážení fosforu s vápenatými ionty ve vápenatých půdách či jeho adsorbci pomocí železitých a hliníkových oxidů v půdách kyselých (Obr. 2.) (Bai a kol., 2013).

Obrázek č. 2. Mobilizace a imobilizace fosforu v půdě (Nyle a Weil, 2008)



3.2.1 Minerální formy fosforu

Obsah fosforu v minerálních vazbách zastupuje v našich podmínkách více než polovinu celkového obsahu fosforu v zemědělsky obhospodařovaných půdách. Prakticky všechny minerální sloučeniny fosforu jsou nerozpustné ve vodě, tedy pro rostliny málo přístupné (Tab. 2.) (Richter, 1999).

Tabulka č. 2. Významné minerály fosforu v půdě (Balík a kol., 2002)

hydrogenfosforečnan vápenatý	CaHPO_4
oktalciumfosfát	$\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6$
hydroxylapatit	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$
fluorapatit	$\text{Ca}(\text{PO}_4)_3\text{F}$
chlorapatit	$\text{Ca}(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$
strengit	$\text{Fe}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$
variscit	$\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$

Minerální formy fosforu v půdě jsou tvořeny dvěma skupinami látek. Primárními fosforečnými minerály, tedy především apatity, a sekundárními vysráženými a adsorbovanými fosforečnany (Sharpley a kol., 2003).

Primární fosforečné minerály se vyskytují ve všech magmatických horninách. Jedná se o vápenaté sloučeniny tvořené třemi molekulami $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ a jedné molekuly chloridu, fluoridu nebo hydroxidu vápenatého např. CaCl_2 . Od těchto doprovodných molekul se odvozují názvy minerálů např. chlorapatit atd. (Richter, 1999).

Výskyt a složení sekundárních vysrážených a adsorbovaných fosforečných minerálů úzce souvisí s pH půdy. V neutrálních půdách nejčastěji vznikají sloučeniny fosforečnanu vápenatého a hydrogenfosforečnanu vápenatého. V zásaditém prostředí vzniká především hydroxylapatit. Naproti tomu v kyselém prostředí se díky vyšší rozpustnosti Al a Fe iontů v půdním roztoku, tvoří soli těchto kationtů nejčastěji je to variscit a strengit (Vaněk a kol., 2007).

Tvorba solí kyseliny fosforečné má dopad na chování fosforu v půdě a na dostupnost fosforu pro rostliny (Bai a kol., 2013).

3.2.2 Organické formy fosforu

Organické formy fosforu jsou nedílnou součástí organické půdní hmoty. Proto také rozdělení organického fosforu v půdě koresponduje s rozdělením organické hmoty v profilu. Podíl organicky vázaného fosforu tvoří 30–50 % celkového obsahu fosforu v půdě (Vaněk a kol., 2007).

Podstatná část tohoto fosforu se nachází ve formě fytinu. Tedy molekule, která slouží jako zásobní látka např. v semenech rostlin. Dále ve formě fosfolipidů a nukleových kyselin (Richter, 1999).

Velká část organicky vázaného fosforu v půdách je výsledkem biologické sorpce půdními mikroorganismy. Ty vážou fosfor do svých těl. Tento fosfor se může po odumření mikroorganismů uvolnit do prostředí a po mineralizaci být zpřístupněn pro rostliny (Sharpley a kol., 2003).

Množství fosforu poutaného mikroorganismy v orničním profilu se pohybuje od 60 do 120 kg/ha (Tlustoš a kol., 2002).

Organický fosfor v půdě má z hlediska výživy rostlin význam úměrný své hydrolyzovatelnosti. Tedy schopnosti rychle přejít na minerální formu přístupnou rostlinám. Některé organofosfáty se v půdě přeměňují na minerální formy rychle například hexafosfát mesoinositolu, fytyl se v půdě mineralizuje velmi pomalu (Kolář a Kužel, 2002).

3.2.3 Přístupný fosfor

Zdrojem pro rostliny je jen malá zásoba fosforu, která je obsažena v půdním roztoku, tj. okamžitě přístupný fosfor. V případě odčerpání této zásoby fosforu dojde k narušení rovnováhy systému a do půdního roztoku se postupně uvolňuje labilní fosfor. Odčerpaný fosfor je tedy nepřetržitě doplňován z ostatních zásob. Toto doplňování je však poměrně pomalé (McGecha et Lewis, 2002).

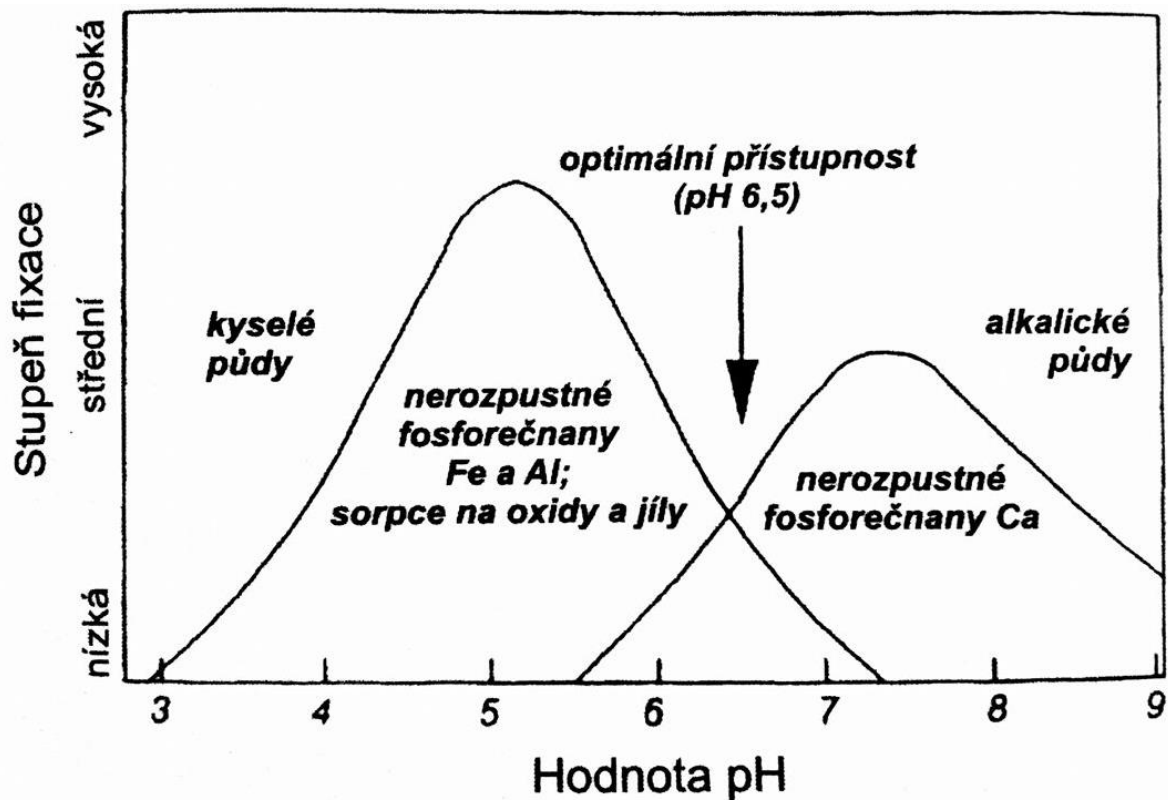
Uvolňování fosforu do půdního roztoku probíhá v důsledku rozpouštění stabilnějších fosforečnanových solí nebo v důsledku desorpce. Uvolňování sorbovaného ortofosfátu probíhá výměnou za OH^- , HCO_3^- a organické anionty nebo působením H_2O molekul, tedy výměnou ligandů. Při normálním pH kulturních půd je v půdním roztoku anorganický fosfor především ve formě H_2PO_4^- . Samotné PO_4^{3-} ionty tvoří rozhodující podíl až při pH 9,5. Rostliny mohou snížit obsah fosforu v půdním roztoku až na hodnotu 0,005 mg P/l (Balík a kol., 2002).

Nízká koncentrace fosforu posouvá rovnováhu a dochází k rozpouštění fosforečnanů vápenatých. Změny hodnot pH v rhizosféře mohou významně ovlivnit rozpustnost těchto solí. Nejlepší přístupnost pro rostliny vykazuje fosfor při pH kolem 6,5 (Graf. 1.). Při nižších hodnotách pH sice vykazuje menší stupeň fixace, ale tyto podmínky jsou zcela nevhodné pro růst kulturních plodin (McGecha et Lewis, 2002).

Chemická sorpce fosforu v půdě probíhá rychle. Stárnutím sloučenin fosforu se snižuje jejich rozpustnost a tím i přijatelnost pro rostliny (Vaněk a kol., 2007).

Fosfor je v půdě málo mobilní a jeho obsah v půdním roztoku je malý. I po dlouhodobém hnojení je zaznamenán velmi malý průnik fosforu do hlubších horizontů (Vaněk a kol., 2007).

Graf č. 1. Vliv pH na mobilitu fosforu v půdě (Balík a kol., 2008)



3.2.4 Koloběh fosforu v prostředí

Cyklus fosforu je důležitým procesem ekosystému Země. Zatímco přirozená mobilizace fosforu je pomalá, lidé změnili cyklus fosforu zesíleným uvolňováním fosforu z litosféry do ekosystémů. Přibližně 30 % atmosférického přenosu fosforu je způsobeno lidskou činností, která hraje významnější roli, než se dříve myslelo. Lidský faktor zahrnuje extrakci fosfátů, aplikaci hnojiv, tvorbu odpadů a ztráty fosforu z osevních plodin (Zengeey a kol., 2018).

Z globálního měřítka se v případě fosforu nejedná o klasický cyklus, ale spíše o jednosměrný přesun fosforu z hornin do sedimentů. Avšak ty se mohou postupem času ze dna moří vyzdvihnout. Následně může být fosfor opět zvětráván a jinými procesy se pak může uvolňovat a přesouvat do nových sedimentů. Lidský faktor v podobě těžby fosforečných minerálů či užití fosforu jako hnojiva, výrazně urychluje tento cyklus (Šimek, 2003).

3.2.5 Koloběh fosforu v půdě

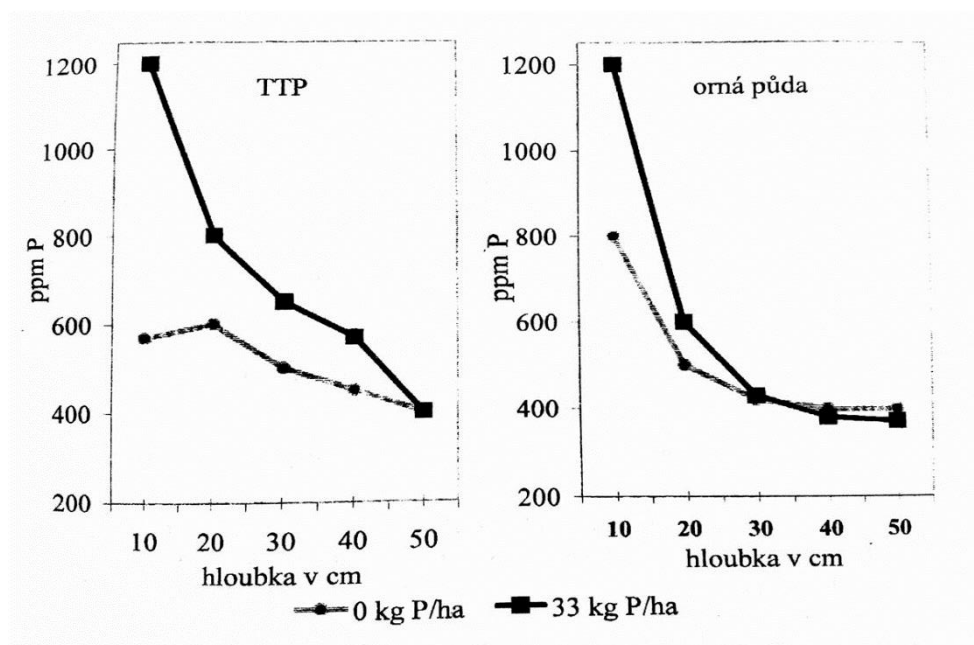
Koloběh fosforu, na rozdíl od koloběhů dusíku nebo uhlíku, nezahrnuje masivní přenos mezi suchozemskými a vodními ekosystémy a atmosférou. Naproti tomu při cyklu fosforu hrají

Naproti tomu zásoba fosforu v podobě půdního roztoku neobsahuje vysokou koncentraci tohoto prvku (Mackey a Paytan, 2009).

3.2.6 Pohyblivost fosforu v půdě

Nízký obsah fosforu v půdním roztoku a jeho vysoká sorpce neumožňují jeho výraznější pohyb v půdním profilu. Dokládají to údaje z pokusů, kdy i po dlouhodobém hnojení fosforem je jeho průnik do hlubších půdních horizontů malý. Průnik fosforu je větší u trvalých travních porostů než u orné půdy, což může být způsobeno vyšším obsahem organických látek a také samotnou činností kořenů (Graf. 2.) (Vaněk a kol., 2002).

Graf č. 2. Obsah fosforu v půdě v různých hloubkách při dlouhodobém hnojení (Vaněk a kol., 2002)



Li a kol. (2017) během pokusů zjistili, že rozsáhlé využití fosforečných hnojiv by mohlo způsobit řadu problémů. Aplikace K_2HPO_4 a KH_2PO_4 do půdy totiž výrazně zhoršila kvalitu půdních agregátů a tím zvýšila nebezpečí eroze půdy. Intenzita rozpadu agregátů půdy a eroze půdy, při aplikaci K_2HPO_4 , byla mnohem silnější než intenzita rozpadu při aplikaci KH_2PO_4 . Aplikace fosfátu snížila stabilitu půdních agregátů a stimulovala erozi půdy. Došlo zde ke zvýšení hustoty povrchových negativních nábojů půdních částic a tím se zvýšil elektrostatický odpuzující tlak mezi sousedními částicemi půdy v agregátech a v důsledku toho

se zvýšila intenzita eroze půdy. Přestože tedy fosfor jako takový není v půdě příliš pohyblivý, může být spolu s půdou smýván a přispívat tak k eutrofizaci vod.

Většina dnešních hnojiv je však založená na fosforečnanu vápenatém a vliv draslíku na oslabování vazeb uvnitř půdních agregátů tedy po jejich aplikaci nehrozí (Vaněk a kol., 2002).

Vaněk a kol. (2002) se domnívají, že pohyb fosforu v půdách je možný jen v místech s vysokou hustotou dobytka nebo v případě silně přehnojených půd, kde jsou již vyčerpány možnosti sorpce fosforu na organické sloučeniny a ten může být transportován do spodních horizontů. Ovšem v podmínkách České republiky tyto podmínky nenastávají. V našich podmínkách spíše řešíme problémy s rovnoměrným zapravením fosforu do profilu, aby se nacházel zvláště v zónách nejsilnějšího prokořenění, kde je zároveň dostatečná vlhkost.

Ve studii týkající se šíření kalu. Byl zkoumán model kontaminujícího transportu, který reprezentuje přesun fosforu z fekálií přes půdu do odtokových zón. Výstupy modelu podpořily experimentální důkazy o tom, že úroveň znečištění fosforu vypouštěné z pastvin mohou podstatně stoupat, jestliže se pastva prodlužuje až do pozdního podzimu a že fosfor je v půdách pohyblivý při vyšší vlhkosti. Výstupy modelu naznačují, že při pastvě v suchých podmínkách ke znečištění fosforem nedochází (McGechan, 2003).

3.3 Fosfor v rostlinách

3.3.1 Význam fosforu v rostlinách

Obsah fosforu v rostlině kolísá mezi 0,2-0,4 % (Kincl a kol., 2000).

Existují čtyři hlavní skupiny organických látek, ve kterých je nezastupitelná funkce fosforu. Prvním z nich jsou nukleové kyseliny. Tedy DNA a RNA ty se liší povahou své sacharidové složky. DNA je tvořena sacharidem deoxyribózou a je nositelkou genetické informace buňky. RNA je tvořena sacharidem ribózou a je přenašečem informací pro biochemickou syntézu proteinů. Druhou skupinou jsou fosfolipidy. Ty jsou hlavní složkou všech membrán. Třetí skupinou látek jsou fosforečné monoestery. Zatím bylo identifikováno asi 50 těchto esterů. Jednou z nejznámějších látek z této skupiny je adenosin trifosfát (ATP), který slouží při transportu energie. Poslední látkou je fytin. Ten v rostlinách slouží jako

zásobárna fosforu. Rostliny fytyin ukládají především do semen, kořenů a hlíz (Tlustoš a kol., 2002).

Fosfor je prvek o vysoké reutilizaci. Jakmile po napojení na substrát skončí jeho funkce, může se ihned odpojit a znovu být použit. V takové míře to nedokáže žádný jiný prvek (Vaněk a kol., 2007).

Fosfor může být rychle přesouván a svojí molekulovou strukturu nikdy nemění (Procházka a kol., 1998).

Fosfor je důležitou součástí systémů zabezpečujících přenos signálů na vnitro i mezibuněčné úrovni. Jedním z hlavních druhých poslů je cAMP, tedy cyklický adenosinmonofosfát. Neméně důležitý je i fosfoinositidový signální systém, jehož dva poslové, inositol-1,4,5-trifosfát a diacylglycerol, se podílejí na přenosu signálů z vnějšího prostředí do buněk (Nátr, 1998).

Fosfor je obsažen i v základní cytoplazmě a při jeho nedostatku se zpomaluje růst nových buněk. Nejvíce fosforu rostlina potřebuje při zakládání a zrání semen. (Kincl a kol., 2000).

Hladina fosforu ve stromatu ovlivňuje syntézu škrobu v chloroplastu a transport sacharidů do cytoplazmy (Buchanan a kol., 2000).

Běžný obsah fosforu v rostlině je kolem 0,3 %. Mnohem více fosforu se ukládá v semenech rostlin a jeho obsah kolísá kolem 0,5 %. Naopak ve slámě obilovin obsah fosforu klesá až na hodnotu 0,15 %. Pokud obsah fosforu klesne pod 0,1 % začnou se projevovat symptomy jeho nedostatku (Tlustoš a kol., 2002).

3.3.2 Příjem fosforu rostlinou

Pro příjem fosforu rostlinami je důležitá intenzita slunečního záření, vlhkost a teplota půdy, dostatek půdní organické hmoty, dobrá mikrobiální aktivita a také hodnota pH půdy (Sharpley a kol., 2003).

Mezi prvky nezbytnými pro výživu rostlin je fosfor, hned po dusíku, druhým nejvýznamnějším prvkem, co se týče jeho významu na produktivitu plodin. Z toho důvodu rostliny vyvinuly celou řadu mechanismů, které jim umožňují zaprvé zvýšit příjem fosforu

z půdy a zadruhé lépe fosfor využívat a přepravovat uvnitř pletiv do míst nejvyšší potřeby (Nyle a Weil, 2008).

Příjem fosforu rostlinou je rovnoměrný během vegetace. Rozhodující je však jeho příjem na počátku vegetace, kdy rostlina přechází na autotrofní výživu. Při nedostatečné výživě je více než polovina fosforu v buňce soustředěna ve vakuolách. Nedostatek fosforu v tomto období významně snižuje výnos pěstované plodiny (Grant a kol., 2001).

Získání anorganického fosforu v rostlinách je zprostředkováno přes plazmatickou membránu, ve které jsou lokalizované fosfátové transportéry (Pht) proteiny. Tyto proteiny se podílejí na počátečním získávání fosforu přes kořeny, stejně jako na translokaci fosforu v celé rostlině (Gruen a kol., 2018).

Transportéry Pht1 v pšenici mohou být důležité cíle pro zvýšení nízké tolerance fosforu a získání efektivnosti využití fosforu v agronomických systémech kde je fosforu nedostatek (Huang a kol. 2011).

Fosfor je přijímán rostlinami jako aniont. Při značné chemické variabilitě je především sorbován jako ortofosfát H_2PO_4 nebo HPO_4 (Procházka a kol., 1998).

Rostliny jsou schopny přijímat fosfor i při velmi nízké koncentraci v půdním roztoku. Musí však překonávat značný koncentrační gradient. Příjem fosforu je aktivní proces vyžadující dostatek energie. Zásobárnou této energie jsou makroergické vazby v ATP. Při nízkých teplotách mohou mít rostliny k dispozici málo energie pro příjem fosforu. Mohou tak přechodně vykazovat nedostatek fosforu i při jeho dostatku v půdě (Vaněk a kol., 2007).

Vytvoření bohaté kořenové soustavy je důležitým předpokladem pro příjem fosforu, protože rostliny mohou přijímat jen ty živiny, které se nacházejí v blízkosti kořenů. Jedná se o vzdálenost pouhých několika milimetrů (Rabbi a kol., 2017).

Příjem fosforu rostlinami je ovlivňován vnějšími podmínkami. Toto působení je přímé i nepřímé. Jedná se především o půdní podmínky, kde rozhodující je pH prostředí, výskyt a aktivita mikroorganismů a také obsah a kvalita organické hmoty. Předpoklady pro zajištění přiměřené výživy rostlin fosforem, i účinnost fosforečného hnojení, jsou v půdách v oblasti pH slabě kyselé až neutrální. Vyšší výskyt a aktivita mikroorganismů vede k produkci většího množství CO_2 , který zvyšuje rozpustnost fosforečnanů (Vaněk a kol., 2002).

3.3.3 Nedostatek fosforu v rostlině

Nedostatek fosforu se projeví nižším růstem a hlavně tím, že rostlina nekvete a neplodí (Procházka a kol., 1998).

Při nedostatku fosforu se v listech rostlin zvyšuje obsah glycidů. Jejich hromadění podporuje koncentraci antokyanů, které dodávají listům modravý až fialový odstín (Obr. 4.). Proto se žilky a stonky mohou zbarvit červeně až fialově. Přitom čepele listů jsou tmavě zelené, jako v případě nadbytek dusíku. Listy jsou drobné a zpomaluje se růst stonků i kořenů. Fosfor v rostlině se může přemísťovat ze spodních listů rostliny do vrchních. Nedostatek fosforu se tedy nejprve projeví na nejstarších listech (Kincl a kol., 2000).

Obrázek č. 4. Projev nedostatku fosforu na listech pšenice



Pokud se v rostlinách projeví nedostatek fosforu, rostlina začíná velmi rychle aktivovat fosfatázy a přenašeče s vysokou afinitou k fosforečnanům, a tím dochází ke zvýšení transportu fosforu. Rostlina se též snaží velmi rychle zvětšit prostor, z kterého může získávat nedostatkový fosfor. Omezuje tedy tvorbu nadzemní biomasy a zvyšuje růst hmoty a délky kořenů. Na nedostatek fosforu reaguje rostlina i zvýšenou sekrecí kořenových exudátů do vnějšího prostředí (Tlustoš a kol., 2002).

Při nedostatku fosforu rostliny reagují tvorbou velmi členitého a hustého kořenového systému, aby kořeny lépe prostoupily půdu a aby zvýšily rozpustnost fosfátového iontu (Wang a kol., 2008).

Schulze a kol. (2002) uvádějí, že při nedostatku fosforu rostliny začnou z kořenů vylučovat velké množství kořenových exudátů. Zejména organických kyselin, a to kyselinu citrónovou, jablečnou a šťavelovou.

Další strategií rostlin, kterou čelí nedostatku fosforu, je zvyšování aktivity kyselých fosfatáz a jejich vylučování do rhizosféry. Tyto enzymy odštěpují fosfát z organických sloučenin v půdě a uvolňují jej pro příjem do rostliny (Gunes a kol., 2008).

Kincl a kol. (2000) během pokusů zjistil, že obilniny při nedostatku fosforu slabě odnožují a jejich kořenové systémy se vyvíjejí slabě.

Při pokusech Hernández a kol. (2007) byl zjištěn nárůst poměru biomasy kořenů oproti biomase nadzemní části rostlin u bobu. Ke stejným výsledkům, ale na rostlinách pšenice dospěl i Ma a kol. (2008).

3.3.4 Nadbytek fosforu v rostlině

V našich podmínkách se nadbytek fosforu téměř nevyskytuje. Především proto, že fosfor je velmi dobře sorbován půdou a jeho obsah ani zdaleka nedosahuje kritických hodnot, kdy by mohl přecházet ve vyšších koncentracích do půdního roztoku. Při vysoké dávce fosforu v hnojivu může krátkodobě dojít ke zhoršení dostupnosti některých kovů například zinku a to tím, že spolu s fosforem vytvoří nerozpustné sloučeniny (Vaněk a kol., 2007).

Při nadbytku fosforu se rostlinám zkracuje vegetační doba a jejich plody brzy dozrávají (Procházka a kol., 1998).

3.3.5 Význam fosforu pro pšenici

Fosfor sehrává podstatnou roli v energetickém metabolismu, a právě pšenice je velmi citlivá na jeho nedostatek. Fosfor má výrazný vliv na proces fotosyntézy, dělení buněk, a také na syntézu proteinů a lipidů. Množství fosforu vysoce koreluje s výnosem zrna a schopností rostliny přezimovat (Vaněk a kol., 2007).

Stejného názoru je i Prugar (2008), který uvádí, že fosfor hraje důležitou roli v energetickém metabolismu a na jeho nedostatek je pšenice velmi citlivá. Jeho obsah má vysokou korelaci s výnosem a se schopností přezimování. Významně ovlivňuje fotosyntézu, dělení buněk syntézu lipidů a bílkovin. Kladně působí na všechny pochody při metání, kvetení a formování zrna, zvyšuje HTS, ovšem neovlivňuje vždy obsah lepku.

Příjem fosfátu kořeny je závislý na hodnotě pH půdy. Velikost příjmu je také závislá na světle, které podporuje jeho příjem, dále pak na obsahu kyslíku v půdě a také na poměru

H_2PO_4^- a HPO_4^{2-} . Příjem fosforu z půdy zpomalují látky obsahující OH^- (Schachtman a kol., 1998).

Během vegetace se fosfor výrazně podílí na intenzitě a rozsahu asimilace dusíku. Jeho význam se odráží především v prvním období růstu, protože je zvyšována odolnost vůči vymrzání, a dále se fosfor podílí na tvorbě kořenového systému. Kladně působí během všech fází růstu (Šimek, 2003).

Aplikace fosforu vyústila ve zvýšení výnosů pšenice o 0,2-1,9 t / ha. Ovšem pokud koncentrace fosforu v půdě překročila obsah 100 mg / kg na kyselých půdách a 150 mg / kg na vápenitých půdách k dalšímu nárůstu výnosu již nedocházelo. (Csatho, 2003)

Poměr hmotností jednotlivých frakcí velikosti zrna ukázal, že hnojení fosforem vedlo ke zvýšení poměru kvalitního zrna většího než 2,2 mm. Změny obsahu bílkovin a lepku se ukázaly být v pozitivní korelaci s velikostí zrn. (Arendas a kol. 2000)

Kang a kol. (2014) uvádí, že aplikace fosforu do hlubších vrstev půdy, může být užitečným opatřením ke zlepšení výkonnosti plodin v sušších oblastech. Pšenice potom vytváří větší a mohutnější kořenový systém, který napomáhá zvýšenému příjmu vody a živin.

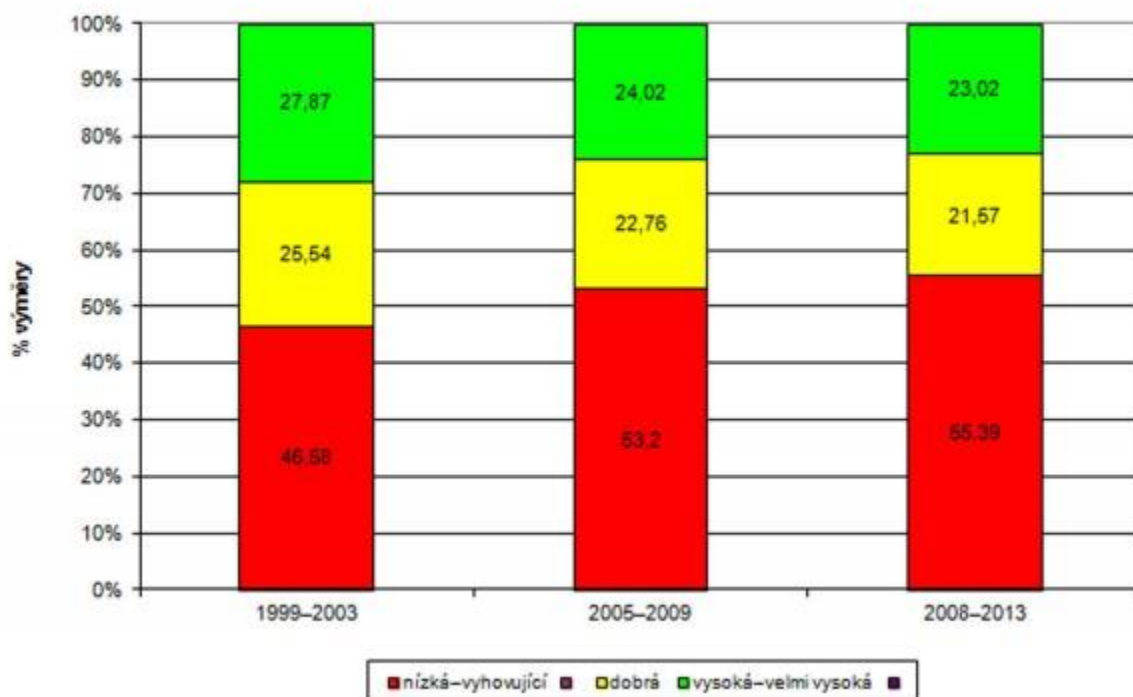
3.4 Hnojení fosforem

Pro výživu rostlin je důležitý fosfor z půdní zásoby, z něhož je tvořena velká část produkce. Hnojením jsou doplňovány živiny, které byly odebrány při sklizni. Je důležité aplikovat fosforečná hnojiva tak, aby následným zpracováním a zapravením do půdy pronikla do celého půdního profilu, neboť fosfor je v půdě málo pohyblivý (Sharpley et al., 2003).

Fosfor patří mezi makroelementy v půdě nejméně dostupné rostlinám. Podle schopnosti rostlin osvojit si fosfor z půdní zásoby je možné sestavit toto pořadí pro obilniny: ječmen < pšenice < oves < žito (Rabbi a kol., 2017).

Fosfor společně s dusíkem a draslíkem patří k nejčastěji hodnoceným živinám ve výživě rostlin. Abychom mohli odpovědně stanovit dávku hnojení fosforem, je třeba velmi dobře znát nejen celkovou potřebu rostlinami, a významně závisí i na dosaženém výnosu (Tlustoš a kol., 2002).

Graf č. 3. Vývoj výměry orné půdy v ČR podle zásoby přístupného fosforu v čase (Škarpa a kol., 2016)



Z tohoto grafu (Graf. 3.) je patrné, že v posledních desetiletích se v České republice zanedbávalo hnojení fosforem, pravděpodobně proto, že na rozdíl od dusíku nemá jeho aplikace okamžitý, a natolik výrazný vliv na výnos. Ideálně bychom však měli směřovat k vyrovnané bilanci živin, což platí i u půd úrodných, kde setrvalé hospodaření na úkor staré půdní síly působí pozvolný pokles jejich zásoby v půdě a vytváří tak dluh vůči další generaci. Tento jev je již dnes patrný na vývoji zásoby půdního fosforu, u kterého se postupně zvyšuje výměra půd s nízkým a vyhovujícím obsahem (Škarpa a kol., 2016).

Při hnojení fosforem se držíme zásady, že hnojíme půdu. Hnojením bychom tedy měli udržovat střední obsah přijatelných živin, který zajistí dlouhodobý stabilní výnos. Dávky živin jsou určovány podle zásoby živin v půdě a podle výnosové úrovně (Vaněk a kol., 2007).

Vaněk a kol. (2002) uvádějí, že hnojení půdy fosforem tak, aby byl udržován přiměřený obsah přijatelného fosforu v půdě je předpokladem pro stabilní a kvalitní výnosy. Zatím však pro vlastní hnojení chybí hraniční hodnoty pro určité lokality a půdní podmínky.

V případě nedostatku fosforu v půdě je nutné tento deficit doplnit, a to buď hnojivy organickými nebo minerálními. I v případě dobré zásoby fosforu v půdě je třeba doplňovat fosfor, který je odebírán rostlinami (Vaněk a kol., 2007).

V případě zjištění nedostatku fosforu během vegetace je problematické jeho doplnění. Běžné hnojení na povrch půdy je téměř neúčinné, protože dodaný fosfor není pohyblivý a nepronikne ke kořenům rostlin (Richter, 1999).

Stejně i Vaněk a kol. (1995) uvádějí, že přihnojování fosforem během vegetace není účelné a hnojivo by se mělo aplikovat nejpozději při předseťové přípravě.

Vaněk a kol. (2007) doplňují, že následná opatření jsou mnohem důležitější a účinnější. Můžeme je však plně realizovat teprve po sklizni plodiny. Kromě vlastního dodání fosforu např. aplikací trojitého superfosfátu je také možné ovlivnit půdní vlastnosti. Možné je například odstranit nevhodnou kyselou půdní reakci pomocí vápnění. Dále je možné zvýšení obsahu organické hmoty v půdě aplikací statkových hnojiv, zeleným hnojením či zaorávkou slámy.

Při volbě hnojiv bychom měli preferovat hnojiva s vysokým obsahem vodorozpustného fosforu, jako je například trojitý nebo jednoduchý superfosfát (Zimolka a kol., 2005).

Pro výživu rostlin fosforem je důležitý rozvoj kořenové soustavy. Jedná se o celkové množství kořenů, jejich povrch, ale i produkci a aktivitu organických látek a jejich výdej do okolí kořenů. Bohatší kořenový systém s velkou aktivitou má vyšší schopnost příjmu živin. Proto všechna opatření vedoucí k dobrému prokořenění půdního profilu zvyšují předpoklady lepšího příjmu fosforu (Vaněk a kol. 2002).

V zemědělských půdách může být příjem dusíku a fosforu nedostatečný pro rostlinnou výrobu, i když celková koncentrace dusíku a fosforu v půdě je vysoká. Nkebiwe a kol. (2016) se domnívají, že to může být způsobeno aplikací hnojiv na celou plochu pozemku. Což způsobí, že značná část použitého hnojiva není k dispozici ve správném čase a místě pro optimální příjem kořeny rostlin. Výsledky ukázaly, že lokální aplikace hnojiv vedla ke zvýšení výnosu o 3,7 % a zvýšila obsah živin v nadzemních částech rostlin o 11,9 %.

Lokální aplikací fosforečných hnojiv lze docílit celkovému snížení spotřebovaného hnojiva. Neboť ho není nutné aplikovat na celou plochu a zároveň se sníží riziko jeho přechodu

do nerozpustných solí. Stejného efektu lze dosáhnout i použitím granulovaných minerálních hnojiv na místo mletých fosfátů (Nyle a Weil, 2008).

Řízení hnojení fosforem má zásadní význam pro zajištění bezpečnosti potravin a životního prostředí a prodloužení životnosti zdrojů fosforu. Dlouhodobé experimenty byly prováděny za účelem zjištění účinnosti hnojení fosforem, dostupnosti fosforu z půdy při pěstování ozimé pšenice. Khan a kol. (2018) Závěrem dospěli k závěru, že dodávka fosforu nad rámec požadavku plodiny nebo nevyváženého zásobování živinami vedla nejen k nízkému účinku fosforečného hnojení, ale i k masivní akumulaci fosforu v ornici a také k vyplavování fosforu z kořenové zóny. Doporučení o hnojení fosforem je proto třeba upravit na základě změn obsahu fosforu v průběhu času.

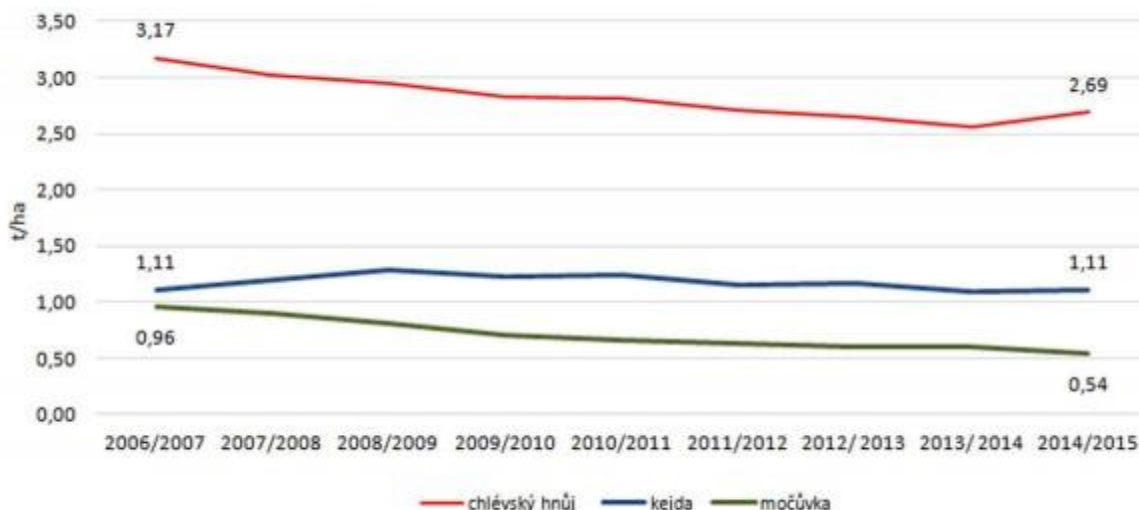
Při kombinaci amonných a fosforečných hnojiv můžeme docílit lepšího příjmu fosforu. Okyselení půdy způsobené oxidací amonných iontů totiž udržuje fosforečnany v lépe vodou rozpustných sloučeninách (Nyle a Weil, 2008).

3.4.1 Hnojení organickými hnojivy

Organická nebo také statková hnojiva je třeba na pozemky aplikovat v přiměřených dávkách a v určitých časových odstupech. Značným nedostatkem je např. často opakovaná aplikace kejdy na stejný pozemek poblíž objektů živočišné výroby. Statková hnojiva přednostně používáme ke hnojení okopanin, kukuřice, plodové zeleniny, řepky a některým speciálním plodinám. Obecně platí, že pro dobré výsledky organického hnojení je nutné dodržovat tři pravidla. Dodržovat pravidelné hnojení pozemků v intervalu 4 až 5 let, aplikovat jen doporučené dávky hnojiv a hnojiva urychleně zapravit do půdy (Vaněk a kol., 2007).

V české republice dochází v posledních letech ke snížení množství aplikovaných organických hnojiv (Graf. 4.).

Graf č. 4. Spotřeba statkových hnojiv na zemědělské půdě (ČSÚ)



3.4.1.1 Chlévký hnůj

Chlévký hnůj je tuhé statkové hnojivo vzniklé fermentací chlévké mrvy. Chlévká mrva je směs výkalů, steliva, močůvky a zbytků krmiv. Zrání mrvy probíhá na hnojišti. Aplikace chlévkého hnoje se hodí zejména pro rostliny s delší vegetační dobou, jako jsou okopaniny nebo píce, aby mohlo dojít k mineralizaci organických látek a jejich zpřístupnění pro rostliny. Použití chlévkého hnoje se však nedoporučuje pro sladovnický ječmen a len. Chlévký hnůj by se měl aplikovat na zemědělskou půdu na podzim a to tak, že musí být kvalitně rozmetán a ihned poté zaorán do půdy (Vostal, 1994).

Tabulka č. 3. Obsah fosforu u hlavních druhů chlévkého hnoje v % (Richter a kol., 2002)

	Skot	Koně	Ovce	Drůbež
Fosfor	0,11	0,13	0,14	1,25

Z této tabulky (Tab. 3.) je patrné, že co do obsahu fosforu je nejbohatší drůbeží hnůj, který je ale oproti ostatním druhům hnoje produkován v menším množství (Richter a kol., 2002).

3.4.1.2 Močůvka

Močůvku lze řadit k dusíkato - draselným hnojivům. Obsah organických látek a fosforu je zanedbatelný. Močůvka je vhodná především pro hnojení trvalých travních porostů. Velmi vhodné je také použití močůvky se společnou zaorávkou slámy. Močůvka ani kejda se nesmí aplikovat v zimním období (Vaněk a kol., 2007).

3.4.1.3 Kejda

Částečně zkvašená směs tuhých a tekutých výkalů hospodářských zvířat a zbytků krmiv s vysokým podílem vody se nazývá kejda. Vzniká při roštovém ustájení zvířat bez podestýlky. Kejdou je možné hnojit každý rok. Aplikovat se může k různým rostlinám, avšak množství závisí na konkrétním druhu rostliny (Vostal, 1994).

Tabulka č. 4. Obsah fosforu v kejdě skotu a (prasat) (Neuberg a kol. 1995)

Sušina (%)	P ₂ O ₅ (kg/m ³)
10 - 12	2,0 (4,0)
8 - 10	1,7 (3,4)
6 - 8	1,3 (2,6)
5 - 6	1,1 (2,2)

Množství kejdy skotu a prasat použité k plodinám se stanoví jako u kombinovaných hnojiv (NPK), podle obsahu dusíku. Chceme-li zaručit harmonickou výživu plodin na pozemku, je nutno vybalancovat živiny, a vždy po několika letech provést u fosforu a draslíku vyrovnání živin (Tab. 4.). Občasně proto musí být hnojení kejdou nahrazeno hnojením dusíkem (Neuberg a kol. 1995).

3.4.1.4 Sláma a zelené hnojení

Zaorávka slámy přichází stále více v úvahu vzhledem k rozvoji nových technologií v živočišné výrobě, kde se omezuje potřeba steliva. Sláma je významný zdroj organických látek, a proto je účelné ji zapojit do koloběhu látek a živin. Hnojení slámou je důležité zejména pro podniky bez živočišné výroby, které nemohou produkovat jiné typy statkových hnojiv (Vaněk a kol., 2007).

Zeleným hnojením rozumíme způsob organického hnojení, při němž se do půdy zaorává hmota rostlin k tomu účelu pěstovaná. Plodiny pro zelené hnojení se pěstují ve formě podsevů výjimečně i jako hlavní plodina. Hlavní plodiny pěstované na zelené hnojení jsou hořčice, řepka, ředkev a jetel plazivý (Vaněk a kol., 2007).

Zelené hnojení však do půdy nedodává, kromě organické hmoty, žádné živiny, kromě těch, které rostliny odčerpají z půdy. Slouží tak spíše k imobilizaci živin, které v půdě jsou a může zamezit jejich ztrátám (Gruter a kol. 2017).

3.4.1.5 Kompost

Kompost se získá převažujícím aerobním rozkladem směsi organického materiálu. Kompostování je základním opatřením, jak udržet, nebo dokonce zvýšit úrodnost půdy. Je to také nejekonomičtější a nejekologičtější způsob, jak naložit s bioodpadem ze zahrady i z domácnosti. Obsah organické hmoty by se měl pohybovat mezi 10 –20 % a poměr C : N by měl být 20 –30 : 1. Zralý kompost má tmavou barvu, drobtovitou a kyprou strukturu bez zápachu. Půda se kompostem nedá přehnojit a lze jej aplikovat na podzim i na jaře (Vostal, 1994).

Tabulka č. 5. Průměrný obsah fosforu v kompostu (Habart a kol. 2009)

Živina	Kg živiny v 1 t kompostu při 50 % sušiny
Fosfor	1,2 - 2

Obsah fosforu v kompostu se pohybuje od 0,12 do 0,2 % (Tab. 5.). Toto množství odpovídá půdě dobře zásobené fosforem (Habart a kol. 2009).

3.4.1.6 Kaly

Kal je podle základní definice suspenze nerozpustných látek ve vodě. Čistírenské kaly vznikají při různých procesech při čištění odpadních vod. Hlavní podíl kalu vzniká v čistírnách odpadních vod během mechanického (primárního) a biologického (sekundárního) čištění odpadní vody (Černý a kol., 2009).

Primární kal se odděluje ze surové odpadní vody v usazovacích nádržích. Sekundární kal je oddělován z biologického stupně čištění v dosazovací nádrži (Raclovská, 2007).

Primární a sekundární kal se na ČOV zpravidla mísí a dále se zpracovává ve formě směsi (Černý a kol., 2009).

Čistírenské kaly jsou významným zdrojem uhlíku a organické hmoty. Obsah organických látek je 33 – 57 %. Tedy dvakrát až třikrát více než v chlévském hnoji. Organické látky v kalech jsou však v porovnání s hnojem méně stabilní (Saviozzi a kol., 1999).

To vysvětluje rychlejší rozklad organických látek čistírenských kalů v porovnání s chlévským hnojem (Černý a kol., 2009).

Živiny z čistírenských kalů jsou tedy rostlinám rychleji přístupné. I přesto jsou organické látky z čistírenských kalů stabilnější komponenty ve srovnání s posklizňovými zbytky (Barzegar a kol., 2002).

Tabulka č. 6. Obsah fosforu v kalu z ČOV (Raclovská, 2007)

Fosfor	0,8 – 2,5 hm. %
--------	-----------------

Fosfor se v kalu vyskytuje především ve formě vivianitu. Tedy $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$. Vivianit má proměnlivou barvu od bílé, modré až po zelenou. Jejich proměnlivá barva je ovlivněna redoxními podmínkami v kalech, tedy oxidací železa v povrchových vrstvách vivianitu (Raclovská, 2007).

Množství fosforu, které je přítomno v čistírenských kalech a živočišných odpadech je velmi významné z hlediska jeho možného dalšího využití. Jen ve Velké Británii je každý rok produkováno 40 miliónů tun čistírenských kalů, které obsahují 40 000 tun fosforu. Což zhruba odpovídá roční spotřebě fosfátových produktů ve velké Británii (Driver, 1998).

Recyklace fosfátů z odpadních vod má potenciál časem nahradit průmyslu dováženou surovinu z neobnovitelných zdrojů. Současné světové zásoby fosfátů jsou odhadovány na 100 let. Problémem světových zásob není ani tak množství, ale zhoršující se kvalita. I tento problém by mohla pomoci řešit recyklace fosforu z odpadních vod a živočišných odpadů (Raclovská, 2007).

3.4.2 Hnojení minerálními hnojivy

Minerální hnojiva se vyznačují vyšším obsahem živin. Jsou vyráběna z přírodních surovin. V procesu výroby se většinou omezuje množství vedlejších složek, čímž se koncentruje obsah živin a živiny se transformují do využitelných forem. Obsahy živin v půdách a jejich spotřeba rostlinami se dnes uvádí v čistých živinách. U hnojiv přetrvává uvádění obsahů v procentuálním zastoupení oxidů daných živin např. P_2O_5 a K_2O (Vaněk a kol., 2007).

Fosforečná minerální hnojiva se vyrábějí z fosfátových hornin. Jedná se především o karbonátové fluorapatity. Jejich zdroje jsou především v Maroku a dalších státech severní Afriky v USA, Číně a na blízkém východě. V roce 2007 bylo ročně těženo asi 156 milionů tun fosfátů. V současnosti známé světové zásoby by měli zabezpečit světovou spotřebu fosforu asi na 100 let (Tab. 7.) (Zapata a Roy, 2004).

Tabulka č. 7. Ověřené a odhadované světové zásoby fosfátů (Zapata a Roy, 2004)

Stát	Zásoba (mil./t)	Odhadovaná zásoba (mil./t)
USA	1 000	4 000
Čína	500	1 200
Maroko a Západní sahara	5 700	21 000
Jižní Afrika	1 500	2 500
Jordánsko	900	1 700
Izrael	180	180
Rusko	150	1 000

Fosforečná hnojiva mohou být zdrojem těžkých kovů a některých radionuklidů. Jejich koncentrace závisí velmi významně na typu fosfátů, na nalezišti a na způsobu jejich zpracování (Tab. 8.) (Tlustoš a kol., 2008).

Tabulka č. 8. Průměrný obsah toxických prvků ve fosfátech Van Kauwenberg (1997)

Prvek	Sedimentární fosfáty	Vyvřelé fosfáty
Arzén (ppm)	13,2	121,4
Cadmium (ppm)	20,8	1,5
Chrom (ppm)	129,2	26,9
Rtuť (ppm)	0,375	0,062
Olovo (ppm)	8,4	15
Selen (ppm)	4,8	3,8
Uran (ppm)	96,1	59,8
Vanad (ppm)	129,6	49,5

3.4.3 Typy fosforečných hnojiv

3.4.3.1 Jednoduchý superfosfát

Převážná část fosforu v tomto hnojivu je ve vodorozpustné formě. Jsou to univerzální hnojiva ke všem plodinám při předsetové přípravě. Účinnost superfosfátu je možné zvýšit kombinací s organickým hnojením. V hnojivu je navíc velké množství sádry, a proto je vhodná k řešení nedostatku síry v půdě. Superfosfáty, by se neměly používat na kyselých půdách, kde fosfor celkem rychle přechází na formy pro rostliny málo přijatelné (Kalina, 2005).

3.4.3.2 Trojitý superfosfát

Vyrábí se rozkladem surových fosfátů kyselinou fosforečnou, čímž při procesu výroby odpadá tvorba sádry, která tak snižuje obsah fosforu v jednoduchém superfosfátu. Výsledný produkt obsahuje mezi 20 a 21 % fosforu. Téměř veškerý fosfor je vodorozpustný ve formě $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Má stejné použití jako jednoduchý superfosfát. Tím, že neobsahuje síran vápenatý, není na rozdíl od jednoduchého superfosfátu zdrojem síry (Vaněk a kol., 2007).

3.4.3.3 Hyperkorn

Hnojivo obsahuje 26 % P_2O_5 tedy 11,5 % fosforu a 1,8 % hořčíku. Vyrábí se mletím měkkých přírodních fosfátů a dále se granuluje. Kromě fosforu obsahuje i celou řadu balastních prvků například zinek, bór, molybden, mangan a dále minimálně 36 % vápníku.

Toto hnojivo má malý podíl lehce rozpustného fosforu. Je velmi vhodné do kyselých půd s pH < 5,5. Využití fosforu se zvýší kombinací s organickým hnojením (Vaněk a kol., 1995).

3.4.3.4 Hyperfosfát

Hyperfosfát se vyrábí mletím měkkých fosfátů. Účinnost fosforu je dána především jemností mletí. Čím jemnější tím účinnější. Vysoká jemnost hnojiva však komplikuje jeho aplikaci. Hnojivo obsahuje 29 % P₂O₅ tedy 12,8 % fosforu. Této těžce rozpustné formy je možno využít i k zásobnímu hnojení vytrvalých kultur nebo u plodin s dobrou osvojovací schopností např. jetelovin (Vaněk a kol., 1995).

3.5 Hnojení pšenice ozimé

Pšenice ozimá je nejrozšířenější plodinou v České republice. Pšenice je přizpůsobivá nejrůznějším přírodním podmínkám, ale nejvyšší kvality je dosaženo v teplých oblastech. Důležitými faktory, díky kterým je dosaženo kvalitní sklizně patří: vysoká půdní úrodnost, kde je důležitý obsah přijatelných živin zejména fosforu, draslíku a hořčíku v půdě. Ozimou pšenici řadíme mezi plodiny se střední potřebou živin. Druhým faktorem je vysazení vhodné předplodiny, ideálně bobovité čeledi. A v neposlední řadě je velmi důležitá správná výživa rostlin. Správnou výživu zajistíme živinami dodanými hnojením, zejména dusíkatými hnojivy (Vaněk a kol., 2007).

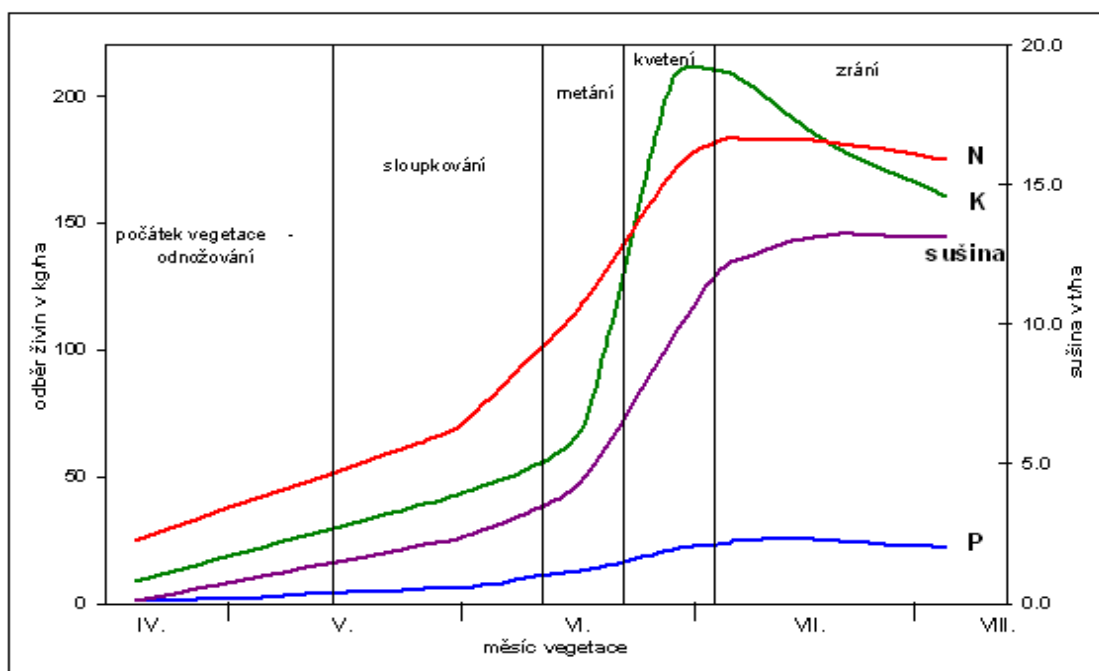
Cílem výživy a hnojení je vytvoření co nejlepších podmínek pro růst a vývoj plodin takovým způsobem, aby bylo dosaženo optimálního výnosu při požadované kvalitě produktu (Faměra, 1993).

Odběrový normativ živin pro pšenici ozimou je pro dusík 25 kg/t, draslík 20 kg/t, fosfor 5 kg/t, vápník 3 kg/t, síru 4 kg/t a pro hořčík 2 kg/t (Petr, 2001).

Při zakládání porostů pšenice ozimé je nutné provést základní hnojení fosforem a jinými hnojivy. Své uplatnění má i dohnojení hořčíkem či přihnojení sírou. Přihnojování sírou nabývá svého významu zejména v případě, že zapravujeme do půdního profilu zvýšené množství slamnatých posklizňových zbytků. Pro podporu rozkladu slámy je nutné dodávat do půdy též dusík. Obecně je dáno, že na 1 tunu slamnatých zbytků z obilnin je aplikováno 8 až 10 kg dusíku. Předplodina a následně i její zbytky mají vliv na půdu a půdní strukturu, dále

na biologickou aktivitu a fyzikální poměry, především pak ovlivňují živinný režim v půdě (Faměra, 1993).

Graf č. 5. Dynamika odběru živin ozimou pšenicí a nárůst sušiny (Vaněk a kol., 2007)



Z grafu (Graf. 5.) a ze studie Gruen a kol. (2018) vyplývá, že potřeba fosforu se mění během vegetace. Jeho potřeba během vývoje rostlin pšenice se mění. Na počátku vegetace přes odnožování až po sloupkování je poměrně malá. Ke zvýšenému odběru dochází až při začátku metání a vrcholu dosahuje během zrání zrn. Kdy je fosfor ukládán do semen ve formě zásobní látky fytinu.

Podíl odebraného dusíku na podzim nepřekračuje 10 % z celkového odběru, z tohoto důvodu není nutná aplikace vysoké dávky dusíku před setím. Zvýšený odběr dusíku je zaznamenáván na jaře, jelikož plodiny po zimním období musí obnovovat biomasu. Využití dusíku pro tvorbu zrna negativně ovlivňují nízké obsahy fosforu, draslíku, hořčíku a síry (Vaněk a kol., 2007).

Na chudších půdách pšenice přijímá více živin z průmyslových hnojiv, zatímco na úrodnějších půdách větší část živin z hnojiv přechází do půdní zásoby (Faměra, 1993).

3.5.1 Hnojení fosforem

Základní hnojení fosforem, draslíkem a hořčíkem by se mělo provádět již při předseťové přípravě. Množství fosforu, draslíku a hořčíku se určí na základě plánovaného výnosu zrna, měl by být brán ohled na živiny v půdě, a také na živiny, které se do půdy vrací spolu s posklizňovými zbytky (Tab. 9.). Dávku hnojiva lze stanovit pomocí součinu odběrového normativu na 1 tunu produkce zrna a předpokládaného výnosu (Vaněk a kol., 2007).

Odběr fosforu na 1 t zrna pšenice je okolo 5 kg (Vaněk et al., 2007).

Vyšší koncentrace živin v povrchové vrstvě půdy zhoršuje vzcházení rostlin. Fosforečná hnojiva jsou často dostupná jako vícesložková v kombinaci s dusíkem a draslíkem. U půd s vyšší zásobou draslíku zhoršují NPK hnojiva vyrovnanou bilanci živin. Z tohoto hlediska je žádoucí využívat buď jednosložková hnojiva nebo je třeba vybrat hnojivo s vhodným poměrem živin (Faměra, 1993).

Lepší příjem fosforu vykazují rostliny pšenice v zásaditějších půdách (Penn a kol., 2015).

Tabulka č. 9. Roční normativy hnojení fosforem u ozimé pšenice (Neuberg, 1990)

Kategorie zásobenosti	Obsah P (mg.kg ⁻¹ půdy) výluh podle Egnera	Normativy P ₂ O ₅ (kg.ha ⁻¹)			
		produktivnost stanoviště (t)			
		< 3,5	4,5	5,5	> 6,5
Malá	< 30	125	125	125	125
Střední	31-46	80	90	100	110
	47-65	65*	83	90	95
Dobrá	66-80	50	65*	80	90
Vysoká	81-120	40	55	70*	75*
	> 120	20	30	40	45

Studie Elwina a kol. (2017) potvrdila některé poznatky z jiných studií, že postupy hnojení mohou ovlivnit koncentraci prvků v zrně. Zjistili, že aplikace fosforečnanového hnojiva snížila koncentraci zinku, mědi a síře v porovnání s žádnou aplikací hnojiv. Nedostatek zinku, mědi a síry v pšeničném zrně by tak mohl být řešen menší dávkou fosforečných hnojiv. Zvýšený výnos zrna obecně zředí koncentraci živin v zrnech.

Lazarevic a kol. (2018) zkoumali vliv mykorrhizy na vývoj kořenů a její vliv na fotochemickou účinnost při deficitu fosforu. Inokulace houbou *Rhizophagus irregularis* zmírnila snížení celkové délky kořenů při nízkém ošetření fosforem, a to hlavně díky zvýšení délky jemných kořenů. Nedostatek fosforu snížil fotochemickou účinnost rostlin pšenice. Nicméně kvůli zvýšené kapacitě ukládání a přenosu živin inokulace zmírňuje stres z deficitu fosforu a zvyšuje fotochemickou účinnost.

3.5.2 Hnojení dusíkem

Hnojení dusíkem dělíme na základní hnojení a přihnojení během vegetace. Základní hnojení se provádí buď před setím nebo těsně po setí. S ohledem na malou potřebu rostlin v podzimním a zimním období i na možnost ztrát dusíku se toto hnojení doporučuje jen na méně úrodných pozemcích nebo tam kde byla zaorána sláma. Během vegetace můžeme aplikovat až tři dávky dusíku: regenerační, produkční a kvalitativní. Regeneračním hnojením můžeme urychlit vývin porostu a podpořit jeho regeneraci po zimě. Aplikuje se dávka od 20 do 60 kg N/ha nejlépe ve formě LAV. Produkční hnojení se provádí na počátku sloupkování, kdy se zakládá počet zrn v klase. V tomto období je tedy nutné zajistit rostlinám dostatek dusíku. Aplikujeme opět 20 až 60 kg N/ha ve formě LAV nebo DAM 390. Kvalitativní nebo také pozdní přihnojení provádíme před metáním. Tímto hnojením můžeme ovlivnit kvalitu zrna a výslednou HTS. Aplikujeme dávku 20 až 30 kg N/ha ve formě LV nebo LAV (Vaněk a kol., 2007).

3.5.3 Hnojení ostatními živinami

Hnojení draslíkem a hořčíkem vychází z jejich obsahu v půdách a zásadou musí být udržení či vytvoření takového stavu, aby výnos zrna byl zajišťován především živinami z půdy a hnojením byly doplňovány živiny z půdy odebrané. Vhodným obdobím ke hnojení je podzim a hnojiva by měla být aplikována nejpozději při předsetové přípravě. Přihnojování během vegetace není účelné. Pouze při nedostatku hořčíku lze doporučit přihnojení Kieseritem, případně hořkou solí (Vaněk a kol., 2007).

4. Závěr

Pšenice ozimá je jednou z nejdůležitějších světových plodin. Tvoří základ výživy pro 40 % světové populace. Pšenice ozimá je velmi přizpůsobivá rostlina. Lze jí pěstovat ve všech výrobních oblastech, kromě extrémních stanovišť. Její výnos je ovlivňován úrovní výnosových prvků. Ty jsou závislé jednak na biotických a abiotických vlastnostech stanoviště, ale také na lidské činnosti ať už správné agrotechnice nebo hnojení.

Fosfor se v půdě vyskytuje ve formě organické i anorganické. Pro rostliny je přístupný pouze vodorozpustný fosfor, který přechází do půdního roztoku. Celkový obsah fosforu v půdě je ve srovnání s ostatními živinami malý a jeho odčerpání rostlinami je jen pomalu doplňováno ze sedimentů nebo mineralizací organické hmoty. Přístupnost fosforu je úzce svázána s hodnotou pH půdy. Optimální pH pro příjem fosforu je 6,5.

V rostlině má fosfor zcela nezastupitelnou funkci je součástí makroenergetických vazeb, DNA, fosfolipidů a dalších látek. Rostliny fosfor přijímají ve formě aniontů a to H_2PO_4^- a HPO_4^{2-} . Příjem fosforu je aktivní děj, který vyžaduje přísun energie. Rostliny jsou schopny přijímat fosfor i při velmi nízké koncentraci v půdním roztoku. Příjem fosforu rostlinami je ovlivňován vnějšími podmínkami, a to zejména půdními podmínkami, kde rozhodující je výskyt a aktivita mikroorganismů a také obsah a kvalita organické hmoty.

Při hnojení pšenice fosforem byl zjištěn nárůst výnosů až o 1,9 t/ha. Aplikace fosforu také snižuje podíl malých zrn a přispívá k lepšímu rozvoji kořenového systému. Silnější kořenový systém zlepšuje příjem ostatních živin a vody což zlepšuje celkový stav porostu. Pšenice vykazuje lepší příjem fosforu na zásaditějších půdách.

Z organických hnojiv, která obsahují fosfor, má nejvyšší obsah kal z odpadních vod, který ho obsahuje až 2,5 %. Z hnojiv minerálních má nejvyšší obsah trojitý superfosfát, který obsahuje 21 % fosforu. Fosforečnými hnojivy hnojíme do zásoby a držíme se zásady, že hnojíme půdu. Při optimálním obsahu fosforu v půdě pouze doplňujeme fosfor, který odeberou rostliny.

5. Seznam literatury

- Arendas, T., Sarkadi, J., Bonis, P. 2000. Effect of mineral fertilisers on the quantity and quality traits of different grain size fractions of winter wheat. *NOVENYTERMELES*. 49 (5) 519-525.
- Bai, Z., Li, H., Yang, X., Zhou, B., Shi, X., Wang, B., Oenema, O. 2013. The critical soil P levels for crop yield, soil fertility and environmental safety in different soil types. *Plant and Soil*, 372(1-2), 27-37.
- Černý, J., Balík, J., Švehla, P., Kulhánek, M. 2009. Využití odpadů z ČOV jako zdroje organických látek a živin. *RACIONÁLNÍ POUŽITÍ HNOJIV Sborník z konference konané na ČZU v Praze dne 26.11.2009*. PowerPrint. Praha. 151 s. ISBN: 978-80-213-2006-2.
- Balík, J., Kulhánek, M., Pavlíková, D., Tlustoš, Pavel., Wisniowska-Kielian, B. 2008. Fosfor v půdě. *RACIONÁLNÍ POUŽITÍ HNOJIV Sborník z konference konané na ČZU v Praze dne 27.11.2008*. PowerPrint. Praha. 185 s. ISBN: 97-80-213-1856-4.
- Balík, J., Pavlíková, D., Kulhánek, M., Zitková, M., Jakl, M. 2002. Lokální aplikace fosforečných hnojiv. *RACIONÁLNÍ POUŽITÍ HNOJIV Sborník z konference konané na ČZU v Praze dne 28.11.2002*. PowerPrint. Praha. 185 s. ISBN: 97-80-213-1856-4.
- Balík, J., Pavlíková, D., Vaněk, V., Černý, J. 2009. Vliv hnojení na půdní vlastnosti a půdní úrodnost. *RACIONÁLNÍ POUŽITÍ HNOJIV Sborník z konference konané na ČZU v Praze dne 26.11.2009*. PowerPrint. Praha. 185 s. ISBN: 97-80-213-1856-4.
- Balík, J., Vaněk, V., Pavlíková, D., Kulhánek, M., Jakl, M. 2002. Fosfor v půdě a jeho koloběh v přírodě. *RACIONÁLNÍ POUŽITÍ HNOJIV Sborník z konference konané na ČZU v Praze dne 28.11.2002*. PowerPrint. Praha. 149 s. ISBN: 80-213-0957-1.
- Bockus, W. W., Bowden, R. L., Hunger, R. M., Morrill, W. L., Murray, T. D., Smiley, R. W. 2010. *Compendium of wheat diseases and pests (3rd ed.)*. St. Paul: The American Phytopathological Society Press.
- Breiman, A., Graur, D. 1995. Wheat evolution. *Israel Journal of Plant Sciences*. 43, 85–89.
- Barzegar, A.R., Yousefi, A., Daryashenas, A. 2002. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. *Plant and Soil*. 247(2):295-301.

- Buchanan, B., Gruissem, W., Jones, R. 2000. Biochemistry & molecular biology of plants / Biochemistry and molecular biology of plants. Rockville, Md. ISSN: 978-0-943088-37-2.
- Csatho, P. 2003. Investigation of factors influencing in winter wheat responses to P application obtained in the database of Hungarian field experiments published between 1960 and 2000. NOVENYTERMELES. 52 (6) 679-701.
- Curtis, B.C., Rajaram, S., Macpherson, H., 2002. Bread wheat Improvement and production. Rome. 554 s. ISBN 92-5-104809-6.
- Driver, J., 1998. Phosphates recovery for recycling from sewage and animal wastes. Phosphorus a Potassium, No.216.
- Elwin, G., Smith, H., Janzen H., Benjamin H., 2017. Effect of fertilizer and cropping system on grain nutrient concentrations in spring wheat. Canadian Journal of Plant Science. 98(1): 125-131.
- Faměra, O., 1993. Základy pěstování ozimé pšenice. Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství České republiky. Praha. 51 s. ISBN: 87-7105-045-8.
- Grant, C.A., Flaten, D.N., Tomasiewicz, D.J., Sheppard, S.C. 2001. Importance of early season phosphorus nutrition. Canadian journal of plant science. v. 81 (2) 211-224.
- Gruen, A., Buchner, P., Broadley, M. R., Hawkesford, M. J. 2018. Identification and expression profiling of Pht1 phosphate transporters in wheat in controlled environments and in the field. PLANT BIOLOGY. 20 (2) 374-389.
- Gruter, R., Costerousse, B., Bertoni, A., Mayer, J., Thonar, C., Frossard, E., Schulin, R., Tandy, S. 2017. Green manure and long-term fertilization effects on soil zinc and cadmium availability and uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) at different growth stages. SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT. 599. 1330-1343.
- Gunes, A., Inal, A. 2008. Interspecific root interactions and rhizosphere effects on salt ions and nutrient uptake between mixed grown peanut/maize and peanut/barley in original saline-sodic-boron toxic soil. Journal of Plant Physiology 165(5):490-503.

Habart, J., Tlustoš, P., Hanč, A., Vaněk, V. 2009. Komposty – významný článek využití odpadů a zajištění půdní úrodnosti. RACIONÁLNÍ POUŽITÍ HNOJIV Sborník z konference konané na ČZU v Praze dne 26.11.2009. PowerPrint. Praha. 185 s. ISBN: 97-80-213-1856-4.

Hernández, G., Ramírez, M., López, O. V., Tesfaye, M., Graham, M. A., Czechowski, T., Schlereth, A., Wandrey, M., Erban, A., Cheung, F., Wu, C. H., Lara, M., Town, C. D., Kopka, J., Udvardi, M. K., Vance, P.C. 2007. Phosphorus Stress in Common Bean: Root Transcript and Metabolic Responses. *Plant Physiology*. 144(2):752-767.

Huang C.Y., Shirley N., Genc Y., Shi B., Langridge P. 2011. Phosphate utilization efficiency correlates with expression of low-affinity phosphate transporters and noncoding RNA, IPS1, in barley. *Plant Physiology*, 156, 1217–1229.

Lazarevic, B., Losak, T., Manschadi, A. M. 2018. Arbuscular mycorrhizae modify winter wheat root morphology and alleviate phosphorus deficit stress. *PLANT SOIL AND ENVIRONMENT*. 64 (1) 47 – 52.

Kalina, M. 2005. Hnojení v zahradě. Grada Publishing, a. s. Praha. 116 s. ISBN: 80-247- 1275-X.

Kang L., Yue S., Li, S. 2014. Effects of Phosphorus Application in Different Soil Layers on Root Growth, Yield, and Water-Use Efficiency of Winter Wheat Grown Under Semi-Arid Conditions. *Journal of Integrative Agriculture*. 13 (9) 2028-2039.

Khan, A., Lu, G. Y., Ayaz, M., Zhang, H. T., Wang, R. J., Lv, F. L., Yang, X. Y., Sun, B. H., Zhang, S. L. 2018. Phosphorus efficiency, soil phosphorus dynamics and critical phosphorus level under long-term fertilization for single and double cropping systems. *AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT*. 256. 1-11.

Kincl M, M. Krpeš, V. 2000. Základy fyziologie rostlin., Ostravská univerzita Ostrava. 221 s., ISBN 80-7225-041-8.

Kolář, L. Kužel, S. 2002. Organický fosfor v půdách. RACIONÁLNÍ POUŽITÍ HNOJIV Sborník z konference konané na ČZU v Praze dne 28.11.2002. PowerPrint. Praha. 149 s. ISBN: 80-213-0957-1.

- Křen, J. Smutný, V. 2009. Porovnání pěstebních technologií ozimé pšenice. Variantní pěstitelské systémy pro 3. tisíciletí. Praha, ČZU. s. 58-64.
- Li, S., Li, Y., Huang, X., Hu, F., Liu, X., Li, H. 2017. Phosphate fertilizer enhancing soil erosion: effects and mechanisms in a variably charged soil. JOURNAL OF SOILS AND SEDIMENTS. 18 (3) 863-873.
- Lu, D. J., Jiang, S. T., Chen, X. Q., Wang, H. Y., Zhou, J. M. 2018. Wheat Growth as Affected by Combinations of Phosphate Dose and Patch Size. AGRONOMY JOURNAL. 110 (2) 707-714.
- Ma, Q., Rengel, Z., Bowden, B. 2008. Heterogeneous distribution of phosphorus and potassium in soil influences wheat growth and nutrient uptake. Plant and Soil. 291(1/2):301-309.
- Mackey, K.R.M. Paytan, A. 2009. Encyclopedia of Microbiology. 322-334 s., ISBN 9780123739445.
- Macourek, M. Optimalizace surovinové skladby při kompostování zbytkové biomasy [online]. 11.3.2002 [cit. 2018-10-4]. <<http://biom.cz/index.shtml?x=73158>>.
- Matula, J. 2002. Diagnostika výživného stavu fosforu v rostlinách. RACIONÁLNÍ POUŽITÍ HNOJIV Sborník z konference konané na ČZU v Praze dne 28.11.2002. PowerPrint. Praha. 149 s. ISBN: 80-213-0957-1.
- McGechan, M. B. 2003. Modelling phosphorus leaching to watercourses from extended autumn grazing by cattle. Grass & Forage Science., Vol. 58 Issue 2, p151. 9p.
- McGechan, M. B., Lewis, D. R. 2002. Sorption of phosphorus by soil, part 1: principles, equations and models. Biosystems Engineering, 82 (1). 1-24.
- Muhammad, I., Muhammad, F., Muhammad, S., Quamruz, Z. 2017. Determinants of various factors for wheat production, Journal of Agricultural Research, 55(2):379-385.
- Nátr, L., 1998. Rostliny, lidé a trvale udržitelný život člověka na Zemi., Praha : Karolinum., 135 s., ISBN: 80-246-1674-2.
- Neuberg, J., Jedlička, J., Červená, H. 1995. Výživa a hnojení plodin. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. ISSN: 0231-9470.

- Neuberg, J., 1990. Komplexní metodika výživy rostlin. FMZVŽ ČSFR. ÚVTIZ. Praha. s. 327.
- Nkebiwe, P.M., Weinmann, M., Bar-Tal, A., Muller, T. 2016. Fertilizer placement to improve crop nutrient acquisition and yield: A review and meta-analysis. FIELD CROPS RESEARCH. 196. 389 – 401.
- Nyle, C. B., Weil, R. R. 2008. The nature and properties of soils. Pearson education Ltd. New Jersey. S. 591. ISBN: 978-0-13-227938-3.
- Penn, C. J., Bell, P. R., Carver, B., Arnall, D. B., Klatt, A. 2015. Comparison of Phosphorus Use Efficiency Among Various Winter Wheat Accessions Grown in Acid and Calcareous Soils. Journal of Plant Nutrition, 38(14), 2279-2293.
- Petr, J., 2001. Pěstování pšenice podle užitkových směrů. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha. 40 s. ISBN 80-7271-090-7.
- Procházka, S. Šebánek, J. Gloser, J. Sladký, Z., 1998. Botanika Morfologie a fyziologie rostlin., Mendelova zemědělská a lesnická univerzita V Brně. 242 s., ISBN 80-7157-313-2.
- Prugar. J. 2008. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Výzkumný útvar pivovarský a sladařský, a. s. Praha. 327 s.
- Rabbi, S. M., Guppy, C. N., Tighe, M. K., Flavel, R. J., Young, I. M. 2017. Root architectural responses of wheat cultivars to localised phosphorus application are phenotypically similar. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 180(2), 169-177.
- Raclovská, H. 2007. Technologie zpracování a využití kalů z ČOV. 171 s. ISBN: 978-80-248-1600-5.
- Richter, R. 1999. Výživa a hnojení rostlin: praktická cvičení. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita V Brně. 187 s., ISBN 8071573469.
- Richter, R., Hlušek, J., Ryant, P., Lošák, T. 2002. Organická hnojiva a jejich postavení v zemědělské praxi. Úroda 50 (9): 9-12.
- Saviozzi, A., Biasci, A., Riffaldi, R., Levi-Minzi, R. 1999. Long-term effects of farmyard manure and sewage sludge on some soil biochemical characteristics. Biology & Fertility of Soils; Nov1999, Vol. 30 Issue 1/2, p100-106, 7p.

- Sharpley A. N. (ed). 2003. Agricultural phosphorus and eutrophication, 2nd edn, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. 38 s.
- Schachtman D. P., Reid, R. J., Ayling, S.M. 1998. Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell Plant Physiol. American society of plant physiologists symposium publications. 116. 447–453.
- Scherer, H. W. 2001. Sulphur in crop production – invited paper. European Journal of Agronomy. 14 (2). 81-111.
- Schulze, J., Tesfaye, M., Litjens, R. H. M. G., Bucciarelli, B., Trepp, G., Miller, S., Samac, D., Allan, D., Vance, C. P. 2002. Malate plays a central role in plant nutrition Plant and Soil. 247(1):133-139.
- Šimek, M. 2003. Základy nauky o půdě – biologické procesy a cykly prvků. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. 131 s. ISBN 80-7040-630-5.
- Škarpa, P., Ryant, P., Antošovský, J. Základní hnojení pšenice ozimé [online]. 8.9.2016 [cit. 2018-10-4]. <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/zakladni-hnojeni-psenice-ozime>>.
- Tlustoš, P. Pavlíková, D. Balík, J. 2002. Úloha fosforu v rostlinách, jeho příjem a potřeba rostlinami. RACIONÁLNÍ POUŽITÍ HNOJIV Sborník z konference konané na ČZU v Praze dne 28.11.2002. PowerPrint. Praha. 185 s. ISBN: 97-80-213-1856-4.
- Tlustoš, P., Száková, J., Budňáková, M., Hendrych, K., Mihalík, J., Trakal, L. 2008. Zdroje fosforu a výroba fosforečných hnojiv. RACIONÁLNÍ POUŽITÍ HNOJIV Sborník z konference konané na ČZU v Praze dne 27.11.2008. PowerPrint. Praha. 185 s. ISBN: 97-80-213-1856-4.
- Van Kauwenberg, S. J. 1997. Overwief of phosphate deposits in East and Southern Africa. Fertilizer research 30, 127 – 150.
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2007. Výživa polních a zahradních rostlin. Profi Press s.r.o.. Praha. 176 s. ISBN: 976-80-86726-25-0.
- Vaněk, V., Štípek, K., Šilha, J., Balík, J. 2002. Systém hnojení fosforem. RACIONÁLNÍ POUŽITÍ HNOJIV Sborník z konference konané na ČZU v Praze dne 28.11.2002. PowerPrint. Praha. 149 s. ISBN: 80-213-0957-1.
- Vostal, J. 1994. Základy výživy a hnojení hlavních plodin. Praha. Agrofert. 94 s.

Wang, X., Tang, C., Guppy, C. N., Sale, P. W. G. 2008. Phosphorus acquisition characteristics of cotton (*Gossypium hirsutum* L.), wheat (*Triticum aestivum* L.) and white lupin (*Lupinus albus* L.) under P deficient conditions. *Plant and Soil*. 312(1/2):117-128.

Zapata, F., Roy, R. N. 2004. Use of Phosphate Rocks for Sustainable Agriculture. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Řím. ISBN 92-5-105030-9.

Zengwei, Y., Songyan, J., Hu, S., Xin, L., Hui, H., Xuewei, L., You Z. 2018. Human Perturbation of the Global Phosphorus Cycle: Changes and Consequences. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse. *Environ. Sci. Technol.* 52 (5), pp 2438–2450.

Zimolka, J., Edler, S., Hřivna, L., Jánský, J., Kraus, P., Mareček, J., Novotný, F., Richter, R., Říha, K., Tichý, F. 2005. Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna. Profi Press, s. r. o. Praha. 179 s. ISBN: 80-86726-09-6.