

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Role dusíku a síry ve výživě zahradních rostlin

Bakalářská práce

Autor práce: Kateřina Šulcová

Obor studia: Zahradnictví

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

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Role dusíku a síry ve výživě zahradních 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 literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22.4.2022

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Martinu Kulhánkovi, Ph.D. za odborné vedení při zpracovávání této bakalářské práce, za cenné rady, trpělivost, ochotu a čas, který mi věnoval při konzultacích.

Role dusíku a síry ve výživě zahradních rostlin

Souhrn

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo shrnout aktuální poznatky o výživě zahradních rostlin dusíkem a sírou.

První část literární rešerše se zaměřuje na význam dusíku ve výživě zahradních rostlin. Poukazuje na formy dusíku v půdě, procesy jeho transformací a na procesy, které způsobují jeho ztráty. Dále se část zaměřená na dusík zabývá jeho funkcemi v rostlinném organismu. Jsou zmíněny možné zdroje této živiny a důsledky jejího nedostatku či naopak nadbytku ve výživě rostlin. Následuje úsek zabývající se hnojením dusíkem. Tento úsek obsahuje přehledný výčet organických i minerálních hnojiv, která se používají k dodání dusíku do půdy. Nechybí ani jejich stručný popis, živinné složení, popřípadě doporučení k jejich aplikaci. Část rešerše věnovaná dusíku je zakončena přehledem požadavků na výživu dusíkem jednotlivých skupin zahradních rostlin.

Druhá část rešerše se zabývá významem síry ve výživě zahradních rostlin. Jsou zde popsány její podoby v půdě, možné zdroje síry a procesy její transformace. Stejně jako u dusíku, i u síry se práce zaměřuje na její funkce v rostlině a na důsledky jejího nedostatku či nadbytku ve výživě rostlin. Druhou část rešerše zakončuje stručný souhrn organických hnojiv a výčet jednotlivých minerálních hnojiv obsahujících síru, spolu se souhrnným soupisem poznatků o požadavcích na výživu sírou jednotlivých skupin zahradních rostlin.

Na základě studované literatury, se dá usoudit, že hnojení zahradních plodin sírou je oproti hnojení dusíkem velmi zanedbáváno a množství zdrojů ke shrnutí požadavků na výživu jednotlivých skupin zahradních rostlin sírou je velmi malé.

Klíčová slova: Dusík; Síra; Výživa rostlin; Zahradní rostliny

The task of nitrogen and sulfur in the nutrition of horticultural plants

Summary

The main aim of this bachelor thesis was to summarize the current knowledge about the nitrogen and sulfur nutrition of horticultural plants.

The first part of the research focuses on the importance of nitrogen in the nutrition of horticultural plants. It points out the forms of nitrogen in the soil, the processes of its transformations and the processes that cause nitrogen losses. Furthermore, the part focused on nitrogen deals with its functions in the plant organism, the possible sources of this nutrient and the consequences of its deficiency or surplus in plant nutrition. The section dealing with nitrogen fertilization follows. This section contains a list of organic and mineral fertilizers that are used to supply nitrogen to the soil. There is also a brief description of the fertilizers, nutrient composition, or recommendations for their application. The part of the research devoted to nitrogen ends with an overview of the requirements for nitrogen nutrition of individual groups of horticultural plants.

The second part of the search deals with the importance of sulfur in the nutrition of horticultural plants. It describes its forms in the soil, possible sources of sulfur and the processes of its transformation. As with nitrogen, sulfur part focuses on its functions in the plant and the consequences of its deficiency or surplus in plant nutrition. The second part of the research ends with a brief summary of organic fertilizers and a list of individual mineral fertilizers containing sulfur, together with a summary list of knowledge about the requirements for sulfur nutrition of individual groups of horticultural plants.

Based on the studied literature, it can be concluded that fertilization of horticultural crops with sulfur is, compared to nitrogen fertilization, a very neglected part in the growing of garden crops and the amount of literature resources about the nutritional requirements of individual groups of garden plants with sulfur is very low.

Keywords: Nitrogen; Sulfur; Plant nutrition; Horticultural plants

Obsah

1 Úvod	8
2 Cíl práce	9
3 Literární rešerše	10
3.1 Význam dusíku ve výživě zahradních rostlin	10
3.2 Dusík v půdě	11
3.2.1 Mineralizace (amónizace)	11
3.2.2 Mineralizace (nitrifikace)	11
3.2.3 Mineralizace (denitrifikace)	12
3.2.4 Fixace dusíku	13
3.2.5 Ztráty dusíku	13
3.3 Dusík v rostlině	14
3.4 Projevy nedostatku nebo nadbytku dusíku u zahradních rostlin	15
3.4.1 Projevy nedostatku dusíku	15
3.4.2 Odstranění nedostatku dusíku	16
3.4.3 Projevy nadbytku dusíku	16
3.5 Organická hnojiva	17
3.5.1 Chlévský hnůj	17
3.5.2 Močůvka	17
3.5.3 Zaorávka slámy	18
3.5.4 Kejda	18
3.5.5 Zelené hnojení	18
3.5.6 Kompost	19
3.6 Průmyslová hnojiva	19
3.6.1 Dusíkatá hnojiva	19
Síran amonný (SA) 21 % N, 24 % S	20
Dusičnan amonný (DA) 34 % N	20
Ledek amonný s vápencem (LAV) 26-27 % N	20
Močovina (MO) 46 % N	20
DAM 390 (DAM) 39 % objemových N	20
3.6.2 Pevná vícesložková hnojiva	21
3.6.3 Dvousložková kapalná hnojiva	21
3.7 Hnojení jednotlivých skupin zahradních rostlin dusíkem	22
3.7.1 Zelenina	22
Košťálová zelenina	22
Plodová zelenina	23
Kořenová zelenina	23

Listová zelenina.....	24
Cibulová zelenina	24
Lusková zelenina	25
3.7.2 Ovoce.....	25
Ovocné stromy	25
Drobné ovoce	26
3.7.3 Okrasné rostliny	26
3.8 Síra ve výživě zahradních rostlin.....	26
3.9 Síra v půdě.....	27
3.9.1 Anorganická síra	27
3.9.2 Organická síra	28
3.9.3 Sulfurikace.....	28
3.9.4 Desulfurikace	29
3.9.5 Imobilizace	29
3.10 Síra v rostlině.....	29
3.11 Projevy nadbytku a nedostatku síry u zahradních rostlin.....	30
3.11.1 Projevy nedostatku síry	30
3.11.2 Projevy nadbytku síry.....	30
3.12 Hnojiva obsahující síru	31
3.12.1 Statková hnojiva.....	31
3.12.2 Průmyslová hnojiva.....	31
3.13 Hnojení zahradních rostlin sírou	32
3.13.1 Zelenina	33
4 Závěr	35
5 Literatura.....	36

1 Úvod

Tato práce se věnuje významu dusíku a síry ve výživě zahradních rostlin. Dusík je pro rostliny jedním z nejvýznamnějších prvků. Hraje nejdůležitější roli v různých fyziologických procesech. Je nezbytný pro růst rostlin, tvorbu biomasy a správné plnění funkcí, které v rostlině zastává. Je součástí aminokyselin, proteinů, aminů, chlorofylu, pigmentů, vitamínů a mnoha dalších sloučenin. Síra ovlivňuje výnosy a kvalitativní parametry plodin. Je také nutná pro zdraví rostlin a odolnost vůči patogenům.

V práci bude postupně rozebrán význam dusíku a síry v půdě, jejich zdroje a procesy jejich přeměn. Dále se bude práce zabývat funkcemi těchto dvou prvků v rostlině, důsledky jejich nedostatku a nadbytku. Budou představena hnojiva, statková i průmyslová, která je možné využít k dodání dusíku a síry do půdy. Nakonec budou sepsány poznatky o nárocích jednotlivých skupin zahradních plodin na výživu těmito prvky.

2 Cíl práce

Cílem této práce bylo prostřednictvím literární rešerše shrnout aktuální poznatky o výživě zahradních rostlin dusíkem a sírou. Práce se zabývá i funkcí těchto prvků v půdě, v rostlinách a vlivem jejich nedostatku či nadbytku na rostliny.

3 Literární rešerše

3.1 Význam dusíku ve výživě zahradních rostlin

Dusík (N) je jeden z nejdůležitějších prvků jak pro rostliny, tak pro ostatní živé organismy, včetně mikroorganismů v půdě. V rámci rostliny dusík funguje stejným způsobem jako v jiných organismech – jako složka aminokyselin a nukleových kyselin. Dusík také hraje klíčovou roli ve struktuře chlorofylu, světlo absorbující sloučenině fotosyntézy. To spolu s jeho strukturální úlohou v aminokyselinách vysvětluje, proč rostliny vyžadují velké množství dusíku, a proto je často limitující živinou pro růst rostlin (Wiedenhoeft, 2006).

Dusík hraje nejdůležitější roli v různých fyziologických procesech. Nejvíce ovlivňuje rostlinnou produkci, a proto se všeobecně aplikuje do půdy ve velkém množství. Je nezbytný pro tvorbu biomasy a správné plnění funkcí, které v rostlině zastává, např. stavební, transportní, metabolickou nebo zásobní funkci. Dává rostlinám tmavě zelenou barvu, podporuje růst listů, stonků a vývoj dalších vegetativních částí. Kromě toho také stimuluje růst kořenů. Dusík umožňuje raný růst, zlepšuje kvalitu ovoce, podporuje růst listové zeleniny, zvyšuje obsah bílkovin v krmných plodinách. Podporuje příjem a využití dalších živin včetně draslíku a fosforu (Leghari et al., 2016).

Množství dusíku na planetě je odhadováno na $2,17 \times 10^{17}$ t (Ayers a Branson, 1973). Nachází se především v litosféře, avšak pro koloběh živin v přírodě je nejdůležitější dusík atmosférický. Ve vzduchu se nachází převážně elementární plynný dusík, jehož podíl činí 78,08 % objemových, tj. 75,51 % hmotnostních (Vaněk et al., 2012).

Hlavním aktivním zásobníkem dusíku je atmosféra. Atmosféra je primárním zdrojem většiny dusíku, který v současnosti cirkuluje v biosféře. V ovzduší se vyskytuje řada dusíkatých látek. Jejich depozice na povrch Země se označuje jako suchý a mokrá spad (Mikanová a Šimon, 2013). Atmosférická depozice může být propojena s atmosférickými srážkami (tzv. mokrá depozice). V období bez srážek dochází k tzv. suché depozici, přímému přesunu plynů a aerosolů z ovzduší na vegetaci, zemský povrch či hydrosféru. Suchá depozice je mnohem pomalejší, avšak probíhá neustále. Naopak depozice mokrá, je dějem nesouvislým (Hůnová, 2016). Suché a mokré depozice jsou poměrně velkým zdrojem dusíku a činí asi 5-60 kg N/ha za rok podle stupně znečištění ovzduší. Další zdroj dusíku z atmosféry je molekulární dusík (N_2). Některé bakterie a sinice mají schopnost asimilovat tento dusík. Takovýto proces redukce molekulárního dusíku na amoniak se nazývá biologická fixace dusíku. Díky těmto procesům se může do půdy dostat až 300 kg N/ha za rok (Mikanová a Šimon, 2013).

Přestože půda i atmosféra jsou zdrojem značného množství dusíku, rostliny a mikroorganismy jej také mnoho spotřebovávají. Nejdůležitější pro zachování půdní úrodnosti je pravidelné dodávání odebraných živin zpět do půdy. Dobrá půdní úrodnost je definována jako schopnost půdy umožňovat rostlinám růst, vývoj a dosažení žádoucího výnosu, kvality a nezávadnosti produkce. Je nezbytným předpokladem intenzivní rostlinné produkce a na jejím poklesu nebo zvýšení závisí ekonomická efektivita zemědělských farem. Dusík se proto musí do zemědělských půd pravidelně dodávat (Mikanová a Šimon, 2013).

3.2 Dusík v půdě

Dusík se v anorganických sloučeninách v půdě nachází jen v malém množství, jako amonné soli, dusičnany a dusitany. Většina půdní zásoby dusíku je přítomna v organických sloučeninách převážně bílkovinného charakteru. Z celkového obsahu dusíku v půdách, který se běžně pohybuje do 0,2 %, v silně humózních půdách do 0,5 % a v rašelinách do 0,3 %, připadá na jeho anorganickou část přibližně 1 setina. Což znamená, že přirozená zásoba dusíku ve formách přístupných pro rostliny je v půdě mizivá (Matouš a Soukup, 1979).

Dle Vaňka et al. (2012), převážnou část dusíku v půdě tvoří rostlinné a živočišné zbytky, biomasa mikrobů, jejich metabolity, humusové látky vznikající při transformaci organických látek aj. Dusík těchto sloučenin je pro rostliny nedostupný – musí přejít v procesech mineralizace na minerální formy. Jak uvádí Artega (2014), dusík je rostlinou přijímán ve formě dusičnanu (NO_3^-) nebo amonného iontu (NH_4^+), které také kromě rostlin využívají i mikroorganismy podílející se na procesech přeměn. Yamaya a Oaks (2004) dodávají, že rostliny mohou přijímat dusík i jako N_2 fixovaný symbiotickými bakteriemi.

3.2.1 Mineralizace (amonizace)

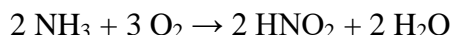
Dusík vázaný v organických látkách se stává dostupným pro rostliny až po jejich mineralizaci neboli přeměně organického dusíku na anorganické formy (Balík et al., 2012). Mineralizaci organických látek představuje první část procesu, která se označuje jako amonizace: do procesu vstupují organické látky, hlavně proteiny a polypeptidy a jejich hydrolyza vede k uvolňování aminokyselin (Cai et al., 2017), které následně v procesu nazývaném deaminace (odštěpení aminoskupin) přecházejí na amoniak (NH_3). Amoniak se poměrně rychle mění na amonný iont (NH_4^+). Amonizace je způsobena činností různých aerobních i anaerobních mikroorganismů, přesněji působením enzymů, které tyto mikroorganismy vylučují. Rychlost a rozsah amonizace je z vnějších činitelů závislá především na příznivé teplotě a dobré vlhkosti. Mineralizace je prakticky dokončena vznikem amonného iontu, jelikož organický dusík přešel na formu, která je pro rostliny dostupná. Amonný dusík je však nestálá forma. Amoniak a amonný iont se mohou shromažďovat jen v kyselých a špatně provzdušněných půdách či substrátech, jako jsou např. rašeliníšní půdy nebo nadměrně zavlažované substráty (Matouš a Soukup, 1979).

Tento proces je ovlivněn teplotou, půdní reakcí, poměrem uhlíku s dusíkem, obsahem živin v půdě a dalšími půdními podmínkami. Optimální hodnota pH je mezi 6,5 a 8,5. Ideální teplota pro amonizaci se pohybuje mezi 40 a 60 °C, přičemž se uvádí, že rychlost tohoto procesu se zdvojnásobuje se zvýšením teploty o 10 °C (Stefanakis et al., 2014).

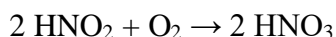
3.2.2 Mineralizace (nitrifikace)

V dobře provzdušněných, slabě kyselých až neutrálních substrátech funguje druhá část procesu mineralizace, která je známa pod pojmem nitrifikace (Matouš a Soukup, 1979). Proces nitrifikace je ve většině půd zásadním procesem, jelikož přeměňuje amonnou formu dusíku na nitrátovou formu (Jenkinson, 2001). Při nitrifikaci se amoniak, popř. amonné soli, vytvořené při amonizaci, okysličují postupně až do formy dusičnanů. Tento proces je důležitý pro zlepšení

úrodnosti půdy, jelikož dusičnany jsou snadno přijímány rostlinami (Leinweber et al., 2013). V první fázi nitrifikace je amoniak oxidován na kyselinu dusitou:



Zároveň probíhá druhá fáze, při které je kyselina dusitá oxidována na kyselinu dusičnou:



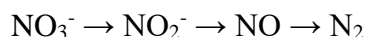
Nitrifikační procesy patří mezi tzv. exotermické reakce, při nichž se na 2 molekuly amoniaku uvolňuje energie v množství asi 800 000 J, kterou zúčastněné mikroorganismy mohou zčásti využít k redukci CO_2 a k syntéze organické hmoty (Matouš a Soukup, 1979). Tento proces probíhá za účasti nitrifikačních bakterií, které lze rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou aerobní nitrifikační bakterie, které oxidují amoniak na nitrity a následně na nitráty (Kox a Jetten, 2015). Jsou to hlavně bakterie z rodu *Nitrosomonas* (Matouš a Soukup, 1979). Do druhé skupiny patří nitratační bakterie z rodu *Nitrobacter*, které mimo dusíku využívají také energii, která se během oxidace uvolňuje, k převodu dusitanů na dusičnany (Vaněk et al., 2016). Nitrifikační bakterie spotřebují značné množství kyslíku, což vysvětluje, proč nakypření a provzdušnění půdy má výrazný vliv na intenzitu nitrifikace. Jestliže je půda spolu s dobrým provzdušněním i dostatečně vlhká, probíhá nitrifikace takovou rychlostí, že většina minerálního dusíku se zde vyskytuje ve formě dusičnanů (Matouš a Soukup, 1979).

Vaněk et al. (2012) uvádí tyto faktory jako rozhodující pro nitrifikaci:

1. Teplota – optimální je 25-30 °C, nitrifikace je značně omezena při nižších teplotách a pod 5 °C téměř ustává.
2. pH prostředí – podmínky slabě kyselé až zásadité půdní reakce jsou vyhovující, nitrifikace je značně omezena při pH <5,5.
3. Dostatek vzduchu a vody v půdě – k uskutečnění oxidačních procesů je potřeba dostatek vzduchu, a tím i kyslíku. Optimální vlhkost se pohybuje okolo 70 % maximální vodní kapacity, při jiných poměrech vzduchu a vody je nitrifikace omezena. V suché půdě téměř neprobíhá.
4. Hnojivo – vliv doprovodných iontů a pH hnojiva.
5. Chapin a Eviner (2013) uvádějí i dostupnost některých prvků, jako faktor ovlivňující nitrifikaci, například fosfor tento proces omezuje.

3.2.3 Mineralizace (denitrifikace)

Jak popisují Matouš a Soukup (1979), denitrifikace je proces, který na rozdíl od amonizace a nitrifikace půdu o dusík ochuzuje. Lze ji tak popsat jako proces opačný procesům předchozím. Je to mikrobiologický proces, při němž jsou dusičnany postupně redukovány až na molekulární (plynný) dusík, který je pro rostliny nedostupný a uniká bez využití do vzduchu:



Redukce dusičnanů, která je pro půdy nežádoucí, probíhá za působení slupiny tzv. denitrifikačních bakterií, které využívají dusičnany jako zdroj kyslíku, pokud je ho v půdním vzduchu nedostatek (Matouš a Soukup, 1979). Podmínky, které jsou k průběhu denitrifikace potřeba, se současně vyskytují jen výjimečně. Jedná se o nedostatek vzduchu, neutrální až alkalickou reakci, vysoký obsah bezdusíkatých organických látek a špatně odvodněné půdy (Hagemann et al., 2016). K procesu může dojít i např. při silném vápnění rašelinných půd. V běžných půdách nejsou ztráty dusíku denitrifikací příliš významné (Matouš a Soukup, 1979). Pro průběh denitrifikace je také potřeba dostatek snadno dostupných organických látek, které se zoxidují na oxid uhličitý, a přítomnost nitrátů (Blumenthal et al., 2008).

3.2.4 Fixace dusíku

Vedle rozkladu organických látek může být půda obohacována také dusíkem ze vzduchu. Rostliny sice nedovedou využívat vzdušný dusík, ale dovedou to některé mikroorganismy. Existuje několik volně žijících bakterií fixujících dusík, které rostou v těsném spojení s rostlinami. Bylo například prokázáno, že druhy *Azotobacter*, *Acetobacter* a *Azospirillum* fixují dusík při růstu jako bakterie kolonizující povrch kořenů některých rostlin (Steenhoudt a Vanderleyden, 2000; Amancio a Stulen, 2004).

Dále *Rhizobium leguminosarum* (*Bacterium radicicola*), žijící v symbióze s bobovitými rostlinami. *Azotobacter* je aerobní bakterie velice náročná na životní podmínky, ke svému vývoji požaduje zásobu humusu, Ca, P a Mo, stejně tak dostatečné množství vzduchu a vody. Nejlépe se rozvíjí při neutrální reakci, pH by nemělo klesnout pod 6,0. V takových podmínkách může obohacovat půdu o 20-40 kg N/ha. Bakterie *Rhizobium* (také nitrogenní či hlízkové bakterie) žijí v drobných hlízkách na kořenech bobovitých rostlin (proto název hlízkové bakterie), kde redukuje N_2 na NH_4 . Tyto nitrogenní bakterie získávají elementární dusík N_2 za pomoci chemické energie, kterou získávají rozkladem organických látek, a to zejména uhlohydrátů (Balík et al., 2012). Rostliny pro ně zajišťují energetický potenciál a živiny, dále jim předávají většinu fixovaného dusíku ve formě amoniaku (NH_3) (Baier & Baierová, 1985). Většího rozvoje hlízkových bakterií se může dosáhnout očkovaním osiva kulturou příslušného kmene (bakteriální hnojivo Nitrazon). Hlízkové bakterie se dobře vyvíjejí při pH 6,0-7,0. Ve správných podmínkách jsou schopny nahromadit i 150-200 kg N/ha (Matouš a Soukup, 1979), a tak rostlinám mohou nitrogenní bakterie poskytnout 80-85 % celkové potřeby dusíku. U rostlin s těmito bakteriemi je potom záměrné hnojení dusíkem většinou neúčelné až zbytečné (Blumenthal et al., 2008).

3.2.5 Ztráty dusíku

Volatilizace

Volatilizace (vypařování) je proces, kdy dusík začíná v půdě chybět kvůli vysoké těkavosti amoniaku z vrchní vrstvy půdy (Kox & Jetten, 2015). Je to způsobeno deficitem vláh na povrchu půdy, zejména v oblastech, kde není k dispozici dostatečné množství závlahové vody a teplota je vyšší než obvykle. Vysoká teplota zvyšuje rychlost transpirace, spolu s potřebou vody v kořenové zóně a vede k suchu v oblasti růstu rostliny. Dusík se uvolňuje do

atmosféry ve formě plynného amoniaku. Rychlé odpařování snižuje účinnost využití dusíku v rostlinách (Leghari et al., 2016).

Ztráty volatilizací mohou dosahovat i 25 % z dávky dusíku, ale většinou se pohybují kolem hodnoty 5 %. Tyto ztráty závisí na půdních a klimatických podmínkách a na hnojivu, jeho dávce, formě a způsobu i době jeho aplikace (Černý et al., 2011).

Vyplavování

Dusík je pro rostliny nejvíce přístupný ve formě dusičnanů, které také jsou vysoce náchylné k vyplavování (Kirchmann a Ryan, 2004). K vyplavování dusíku dochází, při pohybu vody z deště, závlah nebo tání sněhu půdou do podzemních vod (Škarpa et al., 2016). Minerální sloučeniny dusíku, především dusičnany, jsou v půdě poměrně slabě poutány. Jelikož má aniont NO_3^- záporný náboj, negativně nabitě půdní koloidy ani půdní sorpční komplex ho nejsou schopny sorbovat. Pohyb dusičnanů v půdě závisí na množství vody a na směru a rychlosti jejího pohybu. Na lehkých propustných půdách, kde se při vyšších srážkách prosakující (gravitační) voda rychle spojí se spodní vodou, se dusičnany pohybují do hlubších vrstev, z dosahu kořenů rostlin. Tento dusík nenávratně mizí ve spodních vodách a účastní se na zasolování vodních toků a nádrží. Na těžších půdách proniká gravitační voda pomaleji a dusičnan nemusí být vyplaven, jen se přesouvá půdním profilem do spodnějších vrstev. V sušším období se proud vody obrací a část dusičnanů může být vynesena kapilární vodou zpět do vrchních vrstev ke kořenům (Matouš a Soukup, 1979).

3.3 Dusík v rostlině

Obsah dusíku v rostlině má široké rozpětí od 0,5 % do 7,1 %, liší se dle druhu rostliny. Nejvyšší obsah dusíku v rostlinách je na začátku vegetace a postupně se v jejím průběhu snižuje. Při dozrávání probíhá přesun dusíku z vegetativních orgánů do generativních (semena, plody). Dusík je rostlinami vyžadován ve velkém množství, jelikož může být omezujícím faktorem v rostlinné produkci a správném vývoji plodin. Je zásadním prvkem pro růst a reprodukci rostlin, a také základní stavební složkou nukleových kyselin a bílkovin (Bernard a Habash, 2009). Je součástí aminokyselin, proteinů, aminů, chlorofylu, pigmentů, vitamínů a mnoha dalších sloučenin. Nejčastěji je rostlinami přijímán ve formě dusičnanů (NO_3^-) a amonných iontů (NH_4^+) (Plett et al., 2020). Výrazný vliv na příjem dusíku rostlinou má pH prostředí. V kyselejší oblasti převažuje příjem NO_3^- a v neutrální až alkalické oblasti se příjem iontů vyrovnává, nebo je vyšší příjem NH_4^+ (Pavlíková et al., 2008). Také teplota zasahuje do příjmu těchto iontů, při nižší teplotě se snižuje příjem i využití NO_3^- (Vaněk et al., 2012).

Určitá část přijatého dusíku (především NH_4^+), ale i část redukovaného NO_3^- se v kořenech rostlin váže do organických sloučenin. Transport dusíku do nadzemních orgánů rostlin probíhá v původní minerální formě (hlavně NO_3^-) i v nových organických sloučeninách, především v amidech a aminokyselinách. Je zřejmé, že u některých skupin rostlin se transportuje větší část přijatého dusíku již v organické formě. U bobovitých rostlin se to děje díky symbióze s hlízkovými bakteriemi, které získávají amonný dusík, a ten okamžitě vážou do glutamátu až glutaminu. U rostlin, které přijímají hlavně NO_3^- je část této formy dusíku již

v kořenech redukována na amoniak NH_3 , a ten je zabudován do aminokyselin a amidů (Vaněk et al., 2012).

Rostliny přijatý minerální dusík využívají k tvorbě organických dusíkatých sloučenin. Zatímco NH_4^+ mohou využít k syntéze aminokyselin, nitratový dusík musí být nejprve redukována na dusík amonný. Z aminokyselin a amidů se mohou syntetizovat další aminokyseliny. Aminokyseliny jsou základní stavební jednotkou peptidů a polypeptidů (bílkovin), které tvoří podstatnou součást všech živých buněk a pletiv rostlin. Rostlinné bílkoviny obsahují 15-18,9 % N. Nachází se hlavně v mladých orgánech, dělivých pletivech, enzimech, nukleoproteidech a dalších látkách, které se významně podílejí na růstu rostliny a tvorbě nejdůležitějších orgánů, a na celkové tvorbě biomasy. Ke konci vegetace se tvoří větší množství zásobních bílkovin v semenech (Černý et al., 2011).

Dusík je také významnou součástí chlorofylu, čtyři pyrolová jádra s hořčíkem tvoří centrální část této důležité organické sloučeniny. Proto se při nedostatku dusíku rostliny zbarvují do žluta, jelikož je omezena tvorba chlorofylu (Havlin et al., 2016).

Nároky většiny rostlin na dusík jsou vysoké, zvláště u těch druhů, které vytvářejí velké množství biomasy. S ohledem na produkci biomasy a jiné faktory jsou vcelku výrazné rozdíly v potřebě dusíku mezi jednotlivými druhy rostlin a mnohdy i mezi odrůdami. Například spotřeba dusíku u listové zeleniny se pohybuje okolo 30 kg N/ha, u košťálové zeleniny může být spotřeba N až desetkrát vyšší. Hnojení dusíkatými hnojivy proto je nutné určovat podle potřeby pěstovaných rostlin a stanovištních podmínek (Vaněk et al., 2016).

3.4 Projevy nedostatku nebo nadbytku dusíku u zahradních rostlin

3.4.1 Projevy nedostatku dusíku

Vizuálně se nedostatek dusíku projevuje žloutnutím listů nebo jejich žilnatiny. Ztráta dusíku z chloroplastů ve starších listech vede ke žloutnutí neboli chloróze, která se objevuje nejprve na spodních listech, přičemž mladší listy zůstávají zelené. Při silném nedostatku N spodní listy hnědnou a odumírají. Tato nekróza začíná na špičce listu a postupuje podél středního žebra, dokud není celý list odumřelý. Při déle trvajícím nedostatku N rostlina ve snaze o zachování vegetačního vrcholu odbourává N-látky, včetně chlorofylu ve starších listech, a takto uvolněný N transportuje do vegetačního vrcholu, který zůstává déle zelený, poukazuje to na mobilitu dusíku v rostlině. Když kořeny nejsou schopny absorbovat dostatečné množství N, protein ve starších částech rostlin se přemění na rozpustný dusík, přemístí se do aktivních meristematických tkání a znovu se použije při syntéze nového proteinu (Havlin et al., 2016).

Vaněk et al. (2012) uvádí, že nedostatek dusíku má od počátku vegetace za následek omezení tvorby stavebních a funkčních bílkovin, což se projevuje omezením růstu rostlin a tvorby nových orgánů (listů, stébel, lodyh, u ovocných stromů letorostů apod.). Při nedostatku N jsou rostliny slabší a nižší, často jsou porosty nevyrovnané a světlejší. Omezená tvorba listů a také chlorofylu vede k omezení funkce fotosyntézy, a tím k nižší tvorbě produkce biomasy. Pochopitelně redukce tvorby nadzemních orgánů má důsledky i v omezené tvorbě kořenů a jejich energetickém zásobování. Druhotně tím dochází k poklesu příjmové kapacity kořenů a obecně se snižuje příjem i dalších živin. Merbach et al. (2013) uvádí, že porosty s omezenou výživou N mají proto většinou kratší vegetační dobu, rychleji dozrávají, ale zkrácením vegetace

dochází ke snížení výnosu a kvality produkce, a to především semen. Dlouhodobý deficit dusíku způsobuje dlouhodobější pokles výnosů.

Důležitá je také skutečnost, že rostliny v důsledku omezeného příjmu N nehromadí větší množství nitrátů a mohou přijatý dusík dobře využít pro tvorbu výnosu, a není tím pádem ohrožena nutriční a zdravotní hodnota produktů (Vaněk et al., 2007).

3.4.2 Odstranění nedostatku dusíku

Odstranění nedostatku dusíku během vegetace nečiní většinou potíže. K tomuto účelu lze použít jak dusíkatá hnojiva tuhá, tak kapalná, případně mimokořenovou aplikaci. Je zapotřebí použít především hnojiva s formou ledkovou (ledek vápenatý) nebo na bázi dusičnanu amonného – LAV (ledek amonný s vápencem). Mimokořenová aplikace však většinou nemůže zajistit při jednorázové aplikaci dostatek dusíku, a proto je nutné ji opakovat, případně kombinovat s hnojením tuhými hnojivy. Pro optimalizaci dávek k přihnojení porostů je za potřebí využít všech informací, hlavně o stanovišti, porostu, rozborech půd a rostlin (Vaněk et al., 2012).

3.4.3 Projevy nadbytku dusíku

Nadbytek dusíku je méně častý. Velmi citlivé na nadbytek N v raných fázích vegetace, jsou některé drobnosemenné zeleniny (květák, brukev, zelí, salát, řepa a další rostliny). Omezení vzháživosti a růstu mladých rostlinek způsobuje spíše amonná forma N než nitrátová. Je proto nutné se vyvarovat vyšších jednorázových dávek N (většinou nad 60 kg N/ha) a dodržet deseti až čtrnáctidenní odstup mezi hnojením a setím. Nadbytek N v povrchových vrstvách půdy, způsobuje zvýšené větvení kořenů v zónách vyšší koncentrace dusíku a omezení růstu kořenů. Zhoršuje se tak prokořenění celého půdního profilu, čímž se sníží příjmová kapacita kořenů pro živiny a vodu (Vaněk et al., 2012).

Za podmínek omezujících růst může vyšší obsah nitrátového dusíku ovlivnit nutriční hodnotu produktů, zvláště zelenin, případně krmiv, a zpracování produktů. Hromadění nitrátů v rostlinách je vyšší za zhoršených světelných podmínek. Některé rostliny reagují na dostatek až nadbytek N velmi výrazně - např. řepka, hořčice a brukvovité zeleniny, jsou vyšší, bohatě se větví a mají velké a zvláště listy. Hustší porosty mají horší světelné podmínky, a jelikož zvyšují vlhkost, vytvářejí vhodné mikroklima pro napadení rostlin chorobami, zvláště houbovými. Celkově se snižuje odolnost rostlin proti nepříznivým podmínkám a škodlivým činitelům (Vaněk et al., 2012).

Při výrazném nadbytku N jsou viditelné příznaky poškození okrajů listů, dochází k nekrotickým a zasychání okrajů listů, které může vést až k jejich úplnému odumření. Je to důsledek toho, že přijatý N je transportován až do okrajů listů, kde se hromadí, a když přesáhne jeho obsah toxickou hladinu, jsou poškozována pletiva (Havlin et al., 2016).

Nadbytek minerálního dusíku (formy NH_4^+ a NO_3^-) je nežádoucí z důvodu nebezpečí ztrát denitrifikací, popřípadě vyplavením, což má nepříznivé dopady na životní prostředí (Möller a Stinner, 2009).

3.5 Organická hnojiva

Organická, nebo také statková hnojiva, jsou většinou vyráběna přímo v zemědělském podniku. Faktory, ovlivňujícími jejich složení a obsah živin, jsou živinný režim půd dané oblasti a způsob ošetřování hnojiv. Jsou jedním z přírodních zdrojů dusíku pro rostliny. Mají vysokou živinnou hodnotu, jsou jejich prostřednictvím do půdy dodávány rostlinné živiny (hlavně N, P, K), organické látky, mikroorganismy, látky stimulační, růstové a hormonální (Khan et al., 2018). Považují se za univerzální hnojiva, jejichž vliv je většinou pozvolnější a dlouhodobý. Půdy hnojené organickými hnojivy mají lepší fyzikální vlastnosti, lépe přijímají vodu, zadržují živiny, jsou odolnější k výkyvům pH, umožňují vhodnější dávkování průmyslových hnojiv a lepší využití živin rostlinami (Šnobl a Pulkrábek, 2002). Celkově jsou půdy po aplikaci statkových hnojiv úrodnější (Blumenthal et al., 2008).

3.5.1 Chlévský hnůj

Směs výkalů, podestýlky, případně zbytků krmiva, kterou jako vedlejší produkt produkují zvířecí chovy se nazývá chlévská mrva. Uzráním na hnojišti vzniká chlévský hnůj. Výše produkce chlévské mrvy, obsah sušiny, organických látek a živin závisí na druhu zvířat, jejich stáří, krmení, způsobu ustájení a zejména druhu steliva. Např. řezaná sláma oproti neřezané pojme více výkalů (až 100 kg na 100 kg slámy), snižuje ztráty dusíku (o 30-50 %), zlepšuje zrání na hnojišti a klima ve stáji. Proces zrání mrvy obsahuje kvašení a hnití, chemicko-biologický proces, při kterém se původní hmoty rozkládají a přeměňují na látky jiného kvalitativního složení. Největší intenzitu rozkladu organických látek získáme za přístupu vzduchu, proto kvůli zamezení ztrát organické hmoty je důležité vytěsnit vzduch, čehož v praxi dosáhneme vrstvením hnoje do výšky nejméně 3 m. Při dobré péči o hnůj by ztráty neměly překročit 30 % (Vaněk et al., 1998). Hnojení hnojem, může mít za následek i nižší výnosy, vzhledem k pomalejšímu uvolňování organického dusíku. Aplikace hnoje zvyšuje také pH půdy, to ale závisí na dávce a načasování aplikace hnoje (Kulhánek et al., 2019). V tabulce 1 jsou uvedeny hodnoty průměrného obsahu organických látek a živin v hnoji.

Tabulka 1 - Průměrný obsah organických látek (OL) a živin v hnoji

Zdroj: (Vaněk et al., 1998)

Druh	Obsah v čerstvém stavu (v %)					
	Sušina	OL	N	P	K	Ca
Hovězí	24	17	0,48	0,11	0,52	0,37
Hovězí (hluboká podestýlka)	25	20	0,70	0,15	0,66	0,50
Koňský	25	20	0,65	0,13	0,52	0,21
Ovčí	25	20	0,85	0,14	0,66	0,25

3.5.2 Močůvka

Močůvku lze řadit k dusíkato-draselným hnojivům. Její dávky se proto určují dle náročnosti hnojené rostliny na dusík, popřípadě draslík. Jelikož je močůvka kapalné hnojivo, její největší ztráty dusíku vznikají při hnojení na suché půdě za slunných dnů a při větru. Je především vhodná pro hnojení travních porostů. Při hnojení močůvkou však hrozí nebezpečí

popálení rostlin, proto je vhodné ji použít společně se zaorávkou slámy v dávce 30-40 t/ha (Vaněk et al., 1998). V tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty průměrného obsahu organických látek a živin v močůvce.

Tabulka 2 - Průměrný obsah organických látek (OL) a živin v močůvce

Zdroj: (Vaněk et al., 1998)

Obsah v čerstvém stavu (v %)					
Sušina	OL	N	P	K	Ca
2,4	2,0	0,25	-	0,44	0,007

3.5.3 Zaorávka slámy

Zaorávku slámy lze, z výživářského hlediska, doporučit zejména v případě, kdy máme nedostatek statkových hnojiv. O efektivnosti tohoto opatření rozhodují především úroveň rozdrčení a rozprostření slámy po pozemku, kvalita zapravení orbou, přihnojení dusíkem k podpoře rozkladu slámy v půdě. Doporučuje se aplikovat asi 4-6 kg N/t slámy v dusíkatých hnojivech (v síranu amonném, močovíně, nebo DAM 390). Velmi dobré je také dodání dusíku ve formě močůvky (20-40 t/ha) nebo kejdy (20 t/ha). K zaorávce se nejčastěji používá sláma ozimé řepky nebo ozimých obilnin. Výhodné je zaorávat před jařinou, která vyžaduje organické hnojení (např. ozimou obilninu před kukuřicí) (Šnobl a Pulkrábek, 2002).

3.5.4 Kejda

Jedná se o směs pevných a tekutých výkalů hospodářských zvířat, více nebo méně zředěných vodou. Kvalitní kejda je srovnatelná s ostatními statkovými hnojivy, obohacuje půdu o organické látky a snadno přijatelné živiny. Kejda se využívá ke hnojení travních porostů, dále okopanin, kukuřice a krmných plodin. Vyšší dávky kejdy určuje její kvalita, nároky rostlin na dusík, případně draslík, doba aplikace a druh půdy. Běžné dávky kejdy se pohybují v rozmezí 20-80 t/ha. Výhodné je její použití v kombinaci s jinými organickými hnojivy, se zeleným hnojením a při zaorávce slámy (Šnobl a Pulkrábek, 2002). V tabulce 3 jsou uvedeny hodnoty průměrného obsahu organických látek a živin v kejdě.

Tabulka 3 - Průměrný obsah organických látek (OL) a živin v kejdě

Zdroj: (Šnobl a Pulkrábek, 2002)

Druh	Obsah v čerstvém stavu (v %)					
	Sušina	OL	N	P	K	Ca
Skot	7,8	6,0	0,32	0,07	0,40	0,14
Prasata	6,8	5,3	0,50	0,13	0,19	0,24
Drůbež	11,8	8,1	0,96	0,28	0,32	0,94

3.5.5 Zelené hnojení

Zeleným hnojením rozumíme způsob organického hnojení, při němž se do půdy zaorává vyprodukovaná hmota rostlin, které byly pěstovány k tomuto účelu. Plodiny na zelené hnojení se pěstují ve formě podsevů, letních a ozimých mezplodin, Výjimečně ve formě hlavních plodin. Mezi nejčastěji pěstované mezplodiny patří hořčice, řepice a řepka, z podsevů jetel plazivý. Zelené hnojení se používá samostatně, nebo v kombinaci s hnojem, kejdou, močůvkou

i slámou. Zelené hnojení používáme především při nedostatku organických hnojiv a na pozemcích vzdálených od hnojiště, nebo kam je ztížena jejich doprava. Dalším důvodem jeho použití je případ, kdy máme nevhodný sled plodin v osevním postupu a zelené hnojení nám slouží jako přerušovač zejména obilních sledů. V neposlední řadě je možno zelené hnojení doporučit jako významné protierozní opatření a ochranu proti vymývání živin do spodních vod (Vaněk et al., 1998).

3.5.6 Kompost

Kompostování je rychlý aerobní rozklad organické hmoty za pomoci mikroorganismů při zvýšených teplotách. Liší se od přirozených procesů rozpadu jak z hlediska rychlosti rozkladu, tak z hlediska tepla, které se vytváří. Zatímco u listí spadaneho pod stromy může trvat měsíce, než se rozloží, v aktivní kompostové hromadě dojde k rozkladu během několika týdnů. Aby kompostová hromada fungovala efektivně, musí se před jejím založením nashromáždit velké množství nerozložené hmoty. Ideální je směs měkkých materiálů bohatých na dusík, jako je posekaná tráva a kuchyňské zbytky (ideálně 25-50 %), se suššími materiály bohatými na uhlík, jako jsou dřevěné odřezky, štěpky a sláma (50-75 %). Když je kompost založen, velký objem organického materiálu působí jako izolační vrstva, která umožňuje hromadění tepla generovaného mikroorganismy (Ingram et al., 2002). Většina dusíku v kompostu je přítomna v organické formě, která není pro rostliny snadno dostupná. Organický dusík je přeměněn na anorganický půdními organismy, v procesu mineralizace. Mineralizace dusíku z kompostu činí 8-12 % ročně (Seyedbagheri, 2010).

3.6 Průmyslová hnojiva

Průmyslová neboli minerální hnojiva jsou většinou výrobky chemického průmyslu. Zčásti se na jejich výrobě podílejí i ostatní úseky hospodářství (stavebnictví, hutnictví aj.). Vyznačují se vyšším obsahem živin, obsahují jednu nebo více živin. Jsou vyráběna z přírodních surovin (fosfáty, draselné minerály, vápence) a zdrojem dusíku je přímá syntéza amoniaku z dusíku a vodíku. V procesu výroby se většinou omezuje množství vedlejších složek, čímž se koncentruje obsah živin, a ty se transformují do využitelných forem.

3.6.1 Dusíkatá hnojiva

Ledek vápenatý (LV) 15 % N, 20 % Ca

Ledek vápenatý je fyziologicky zásadité hnojivo, a proto příznivě působí na kyslejších půdách, neboť vápník z hnojiva zmírňuje škodlivý účinek půdní kyselosti. Ledek vápenatý je typickým hnojivem na list, s rychlým účinkem. Doporučuje se především k pozdnímu přihnojení obilnin, k přihnojení cukrovky, krmné řepy, máku, kukuřice atd. (Šnobl a Pulkrábek, 2002). Vzhledem k jeho rozpustnosti a následnému vyplavování dusíku je vhodné jeho aplikaci rozdělit na víc částí, aby nedocházelo ke ztrátám dusíku. Na rozdíl od dusičnanu sodného nevede dlouhodobé používání tohoto hnojiva ke zhoršení strukturních vlastností půd (Tei et al., 2017).

Síran amonný (SA) 21 % N, 24 % S

Síran amonný $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ snižuje pH půdy více než jiné zdroje dusíku. Hlavní nevýhodou tohoto hnojiva je jeho relativně nízký obsah dusíku (21 % N), ve srovnání s jinými zdroji. Může však být významným zdrojem dusíku v půdách, kam je také požadováno dodání síry, které obsahuje 24 % (Havlin et al., 2016).

Dusičnan amonný (DA) 34 % N

Dusičnan amonný NH_4NO_3 obsahuje 33–34 % dusíku. Toto hnojivo obsahuje dvě formy dusíku, a to dusičnan i amonný iont. Díky přítomnosti těchto dvou forem dusíku se hnojivo považuje za univerzální, jelikož kombinuje rychlou reakci (dusičnanová frakce) s poměrně prodlouženým účinkem (frakce amoniaku), takže je lze použít na všechny druhy plodin. Ve vápenitých půdách, aby se zabránilo ztrátám čpavku, musí být hnojivo vždy zapraveno (Tei et al., 2017). Výhodné je zejména jeho využití pro přihnojování během vegetace. Většinou slouží jako základní surovina pro výrobu LAV a hnojiva DAM (Šnobl a Pulkrábek, 2002).

Ledek amonný s vápencem (LAV) 26-27 % N

Ledek amonný s vápencem je široce dostupné hnojivo složené z dusičnanu amonného smíchaného s nějakou formou uhličitanu vápenatého, jako je vápenec (LAV) nebo dolomit (LAD) (Fraga et al., 2017). Celkem obsahuje 27 % dusíku. Stejně jako jednoduchý dusičnan amonný je i toto hnojivo považováno za univerzální, díky obsahu dusíku v nitrátové i amonné formě. Dá se proto použít jak při předseťovém hnojení, tak i v průběhu vegetace při hnojení na list (Tei et al., 2017).

Močovina (MO) 46 % N

Močovina $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ obsahuje kolem 46 % dusíku. Má nejvyšší obsah dusíku a nejnižší náklady na jednotku hnojiva ze všech pevných amoniakálních hnojiv. Vysoká rozpustnost močoviny podporuje její rozptýlení v půdě. Po aplikaci se rychle přeměňuje na amoniak v časovém rozmezí od několika hodin do 3–4 dnů, v závislosti na teplotě a obsahu organické hmoty v půdě. Lze ji tedy považovat za nejlepší dusíkaté hnojivo s výjimkou velmi specifických potřeb. Ve skutečnosti není použití močoviny doporučováno, když se mají distribuovat nízké dávky dusíku, méně než 70–80 kg/ha, zejména u odstředivých rozmetadel hnojiv, která nezaručují rovnoměrnost distribuce při malých množstvích. Za vysokých teplot a nízkého obsahu vlhkosti, na půdách alkalických a s malou sorpční kapacitou, může docházet ke ztrátám plynného čpavku, zejména po aplikaci bez zapravení. Obsah dusíku v močovíně nesmí být nižší než 44 %, přičemž nesmí být více než 1,2 % biuretu (vedlejšího produktu syntézy močoviny), který může být ve vysokých dávkách pro rostliny toxický (Tei et al., 2017).

DAM 390 (DAM) 39 % objemových N

DAM 390 je vodný roztok dusičnanu amonného a močoviny. Obsahuje 42,2 % NH_4NO_3 a 32,7 % $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Celkový obsah dusíku je 30 % hmotnostních nebo 39 % objemových. To

znamená, že 100 l hnojiva obsahuje 39 kg dusíku a 100 kg hnojiva obsahuje 30 kg dusíku. Z uvedeného chemického složení vyplývá, že 1/2 dusíku je ve formě amidické (NH₂), 1/4 dusíku ve formě nitrátové (NO₃⁻) a 1/4 dusíku ve formě amonné (NH₄⁺). Obsah volného čpavku má být max. 0,1 %, pH roztoku je slabě alkalické (7,5-8,5).

Toto hnojivo je silně korozivní na barevné kovy. Slabě agresivní je na běžnou uhlíkatou ocel. K aplikaci hnojiva je možno použít všechny aplikátory-postřikovače určené k plošnému postřiku, které jsou upravené k aplikaci DAM 390, tj. především mají nahrazeny všechny součásti z barevných kovů jinými vhodnými materiály.

K základnímu hnojení je vhodným hnojivem především k jařinám. Účinnost hnojení můžeme zvýšit, jestliže hnojivo brzy po aplikaci zapravíme do půdy vláčením. Aplikace na list je nejvhodnější za podmračeného počasí, při vyšší relativní vlhkosti vzduchu, čímž omezíme popálení špiček listů. K přihnojení obilovin a řepky ozimé během vegetace se používá koncentrovaný roztok bez ředění (Šnobl a Pulkrábek, 2002).

3.6.2 Pevná vícesložková hnojiva

Tato hnojiva obsahují dvě a více živin. Používají se především jako hnojiva k základnímu hnojení, proto je nutné zvážit jak náročnost hnojené rostliny na dusík, tak zásobenost půdy živinami. Při výběru vícesložkových hnojiv se zohledňuje obsah dusíku v hnojivu a požadovaná úroveň dusíkaté výživy, obsah fosforu a draslíku, finanční náročnost a v neposlední řadě forma vazby draslíku na chloridy nebo na sírany či dusičnany. V polní výrobě a na lučních porostech se využívají kombinovaná hnojiva s chlórem. U zahradních plodin se používají především hnojiva bezchloridová (Vaněk et al., 2007). V tabulce 4 je vyobrazen stručný přehled vícesložkových hnojiv s vysokým obsahem dusíku.

Tabulka 4 - Přehled vícesložkových hnojiv s vysokým obsahem dusíku

Zdroj: (Vaněk et al., 1998)

Označení	Obsah čistých živin (% hmotnostní)			
	N	P	K	Mg
AMOFOS	12	22,9	0	0
NPK 20 20 0	20	8,8	0	0
NPK 25 10 0	25	4,4	0	0
NPK 16 16 16	16	7	13,3	0
VOLLKORN GELB	15	6,6	12,5	0
SYNFERA P	11	5,3	10	0
CERERIT	10	4	10,8	0,8

3.6.3 Dvousložková kapalná hnojiva

Tato hnojiva se vyrábějí a dodávají v různých kombinacích, nejčastěji jako N-P hnojiva a N-Mg hnojiva (Vaněk et al., 2007). N-P hnojiva se používají zejména na půdách s vysokou zásobou draslíku k základnímu hnojení i k aplikaci na list. N-Mg hnojiva se doporučují zejména na stanoviště s nedostatkem hořčíku. Tato hnojiva umožňují výživu ve volitelném poměru podle okamžitých potřeb rostlin v průběhu vegetace. Hodí se jak pro polní plodiny, tak i zahradnické kultury (Hlušek, 2004). Tabulka 5 vyobrazuje stručný přehled dodávaných dvousložkových kapalných hnojiv s vysokým obsahem dusíku.

Označení	Obsah živin (% hmotnostní)				
	N	P	K	Mg	Ca
FOSTIM	8	10,6	-	-	-
KOMBISOL	34	-	24,9	-	-
FOLIMAG	15	-	-	3,6	-
PREMAG N20	20	-	-	3	-
DAMMAG 3	29,3	-	-	0,6	-
CaNsolS	8	-	-	-	12,1

3.7 Hnojení jednotlivých skupin zahradních rostlin dusíkem

Hnojení dusíkem je na rozdíl od ostatních živin vždy cíleno k rostlině. Přímé dusíkaté hnojení je významným faktorem výše i stability výnosu a kvality produkce. Je nutné přesné stanovení dávky dusíku ke každé plodině a vlastní aplikaci uskutečnit na počátku nebo v průběhu vegetace (Vaněk et al., 2007).

3.7.1 Zelenina

Dusík je při pěstování zelenin považován za rozhodující, protože na něm závisí jak výnos, tak kvalita. Je nejučinnějším prvkem pro tvorbu biomasy a podporuje růst zelenin. U řady zelenin se při neúměrně vysokých dávkách dusíku hromadí nitráty v rostlinách, které mohou překročit povolený limit pro konzumaci člověkem. Mezi zeleninami můžeme rozlišit rostliny vyžadující přímé organické hnojení, jsou to obecně košťálové a plodové zeleniny, z kořenové zeleniny celer, a naopak rostliny nesnášející přímé organické hnojení jako jsou cibuloviny (mimo póru), mrkev a petržel. Podle jejich snášenlivosti rostliny řadíme do osevních postupů. Z organických hnojiv je možné využívat všechna klasická stájová hnojiva, tedy hlavně hnůj, močůvku, dále zelené hnojení, podobně jako u běžných plodin. V zelinářství je výhodné využití kompostovaného hnoje a kompostů (Hlušek et al., 2002).

Košťálová zelenina

Košťáloviny patří k nejnáročnějším plodinám na živiny. Dusíkatými hnojivy se hnojí hlavně před výsadbou nebo před setím (60–100 % dávky). K tomuto základnímu hnojení jsou vhodné síran amonný, močovina i hnojivo DAM. Výborným, ale dražším hnojivem je dusíkaté vápno, které kromě dobrého hnojařského efektu významně omezuje výskyt nádorovitosti. Přihnojování je žádoucí tehdy, když je potřeba hnojit vyššími dávkami dusíku (přes 80 kg N), hlavně u pozdních odrůd, nebo jestliže byla aplikována nízká základní dávka. Při vlhčím počasí je na místě přihnojování, zvláště u kvěťáku. Nedostatek dusíku významně omezí výnos a nadměrný příjem dusíku ke konci vegetace může značně snížit kvalitu produkce (skladovatelnost, horší podmínky pro zpracování, zvýšený obsah nitrátů apod.) (Vaněk et al., 2007).

Košťálová zelenina je nitrofilní, to znamená, že upřednostňuje nitrátovou formu dusíku, což znamená, že dusík výrazně ovlivňuje jejich výnos, ale na druhé straně vzniká nebezpečí zvýšeného obsahu nitrátů v konzumních orgánech. Dusíkem se hnojí zejména na počátku vegetace pro podporu tvorby listové plochy. Přehnojení dusíkem podporuje výskyt houbových chorob, horší skladovatelnost i chuť, přičemž u zelí určeného pro konzervaci kvašením se mění poměr dusíkatých látek a cukrů, a tím se zhoršuje proces kvašení. Nedostatek dusíku u kedluben podporuje jejich dřevnatění, zatímco při jeho nadbytku se kumulují v kedlubnách nitráty. Velmi opatrně je třeba volit dávku dusíku k brokolici, která ze všech košťálovin nejvíc kumuluje nitráty (Poláková, 2019).

Plodová zelenina

Plodová zelenina dobře reaguje na organické hnojení, pěstuje se proto v I. trati. K organickému hnojení plodové zeleniny je ideální chlévský hnůj, popřípadě komposty. Její požadavky na živiny jsou vysoké po celou vegetační dobu a v období plné plodnosti se zvyšují. Při nedostatku živin rostliny slabě rostou, málo nasazují květ a plody jsou špatně vyvinuté, nevybarvené a jejich chuť je nekvalitní (Hlušek et al., 2002). Přehnojení dusíkem podpoří růst vegetativních částí (listů) na úkor násady plodů (Poláková, 2019). Dusíkatá výživa ovlivňuje tvorbu chlorofylu, obsah karotenu a vitamínů, což má u plodové zeleniny velký význam. Okurky a rajčata vyžadují amonnou formu dusíku. Hnojení dusičnanovou formou pak u okurek může vyvolat tvorbu dutých a hořkých plodů. Nadbytek dusíku u rajčat zase způsobuje přebujení natě a vodnatelnost plodů. Citlivost papriky na dusík ovlivňuje její druh a zaměření. Kořeninová paprika nesnáší vyšší dávky dusíku, a naopak paprika zeleninová vyšší dávky dusíku snáší dobře (Hlušek et al., 2002).

Dle Vaňka et al. (1998), většinu dusíku aplikujeme k základnímu hnojení před výsadbou či setím. Přihnojování se uskutečňuje jen pokud základní hnojení nestačilo. K přihnojení se přednostně používá hnojivo LV, popřípadě LAV.

Kořenová zelenina

Druhy kořenové zeleniny mají značně odlišné nároky na výživu, kvůli širokému spektru čeledí v této skupině (miříkovité, merlíkovité, hvězdicovité). Kořenové zeleniny, až na výjimky, nesnáší přímé hnojení hnojem, černý kořen nesnese ani aplikaci močůvky. Z tohoto důvodu se pěstují ve II. trati po hnojem hnojené předplodině. Dobrými předplodinami jsou proto okopaniny, košťáloviny a plodová zelenina. Výše zmíněné výjimky jsou celer a křen, které se doporučují kvůli požadovanému podzimnímu hnojení řadit do I. tratě (Hlušek et al., 2002).

Kořenová zelenina se vyznačuje větší kumulací dusičnanů, je tedy třeba hnojení dusíkem věnovat zvláštní pozornost (Poláková, 2019). Při vyšších dávkách dusíku se u mrkve zhoršuje zbarvení kořene a u celeru se projevuje černáním či modráním dužiny a kráterovitostí bulv. Na nedostatek N celer reaguje dřevnatěním, naopak při přehnojení roste do natě. Řepa salátová zase vyžaduje nižší dávky N, jelikož kumuluje nitráty v bulvách více než jiné u nás pěstované zeleniny. Pro snížení nitrátů v kořeni se doporučuje správně zvolit termín sklizně. Jak uvádí Hlušek et al. (2002), celer vyžaduje hnojiva s amonnou formou dusíku. K základnímu hnojení

se doporučuje močovina, síran amonný, dusičnan amonný, ledek amonný s vápencem a z kapalných hnojiv DAM 390, SAM-240-Z aj.

Listová zelenina

Listová zelenina patří ke středně náročným zeleninám na živiny. Špenát i salát v nadzemních orgánech poměrně významně kumulují nitráty, obzvláště při omezeném růstu. Dusíkem hnojíme před setím a sázením a během vegetace většinou již nepřihnojujeme. Pouze v případech špatného vývinu porostů či nevhodného průběhu počasí a u odrůd s delší vegetační dobou můžeme urychlit růst rostlin přihnojením LAV nebo LV (Vaněk et al., 2012).

Jelikož není náročná na zařazení v osevním postupu, řadíme ji do druhé nebo třetí trati. Vzhledem k zařazení v osevním postupu jsou základním zdrojem živin minerální hnojiva. Při přehnojení dusíkem dochází k bujnému růstu rostlin, tvoří se řídká a vodnatá pletiva. Naopak při nedostatku dusíku se snižuje tvorba chlorofylu a salát špatně tvoří hlávky. Listové zeleniny mají tendenci hromadit v listech nitráty (zejména za nepříznivých klimatických podmínek), proto je třeba přistupovat ke hnojení dusíkem opatrně. Při vyšším obsahu nitrátů v rostlinách se osvědčila foliární výživa rostlin 1% cukerným roztokem 7-10 dní před sklizní (Hlušek et al., 2002).

Cibulová zelenina

Cibuloviny jsou na výživu dusíkem středně náročné. Cibule a česnek nesnášejí přímé hnojení statkovými hnojivy, kvůli intenzivnímu růstu nadzemní části na úkor tvorby cibule. Proto se v osevním postupu zařazují do druhé tratě. Půdní zásoby však nevystačí na pokrytí vysokých nároků cibulové zeleniny na ostatní živiny. Musíme si však při aplikaci minerálních hnojiv s ostatními živinami dávat pozor na obsah dusíku, jelikož jeho zvýšená dávka snižuje kvalitu, skladovatelnost a odolnost proti chorobám (Hlušek et al., 2002). U cibule v první polovině vegetace převládá příjem dusíku nad jinými prvky. Proto jsou vyšší dávky dusíku nežádoucí v druhé polovině vegetace, kdy se tvoří cibule. Tomuto typu zeleniny nejvíce vyhovuje amonná forma dusíku (Vaněk et al., 2012).

Výjimku z nesnášenlivosti přímého hnojení hnojem tvoří pór, který statková hnojiva velmi dobře snáší a vyznačuje se vyššími nároky na dusík (Hlušek et al., 2002). Pór se běžně hnojí kvalitními organickými hnojivy, nejlépe kompostovaným hnojem nebo samotným kompostem. Většina dusíku se aplikuje před setím nebo sázením, protože přihnojení je obtížnější a může poškozovat rostliny. Nejnižší část dusíku se aplikuje přihnojením, které musí být uskutečněno nejpozději 4 týdny před sklizní (Vaněk et al., 2012). Dle Hluška et al. (2002), by se měla dávka hnojiva pohybovat v rozmezí 35-40 t/ha.

Dalším zástupcem cibulové zeleniny je pažitka, která vytváří velké množství biomasy, a proto potřebuje i kvalitní výživu. Hnojení se uskutečňuje před výsevem či výsadbou. Pokud je rostlina na stanovišti více let, hnojení probíhá v jarním období většinou NPK hnojivy, nejčastěji Cereritem. Po každé sklizni se pažitka přihnojí dusíkatým hnojivem, aby se podpořila obnova biomasy (Vaněk et al., 2012).

Lusková zelenina

Luskové zeleniny jsou do značné míry nezávislé na výživě dusíkem, jelikož jsi dovedou v běžných půdních podmínkách opatřit převážnou část jejich spotřeby asimilací vzdušného dusíku prostřednictvím symbiózy s nitrogenními bakteriemi. Díky jejich mohutnému kořenovému systému mohou využívat živiny z větších hloubek a z méně přístupných forem. Využíváním živin ze spodních vrstev je zapojují do koloběhu živin v lépe dostupných vrstvách půdy pro jiné rostliny, a to posklizňovými zbytky, kořeny, slámou a podobně. Luskoviny během vegetace vrací značnou část dusíku, který se zúčastnil metabolických přeměn v rostlině, zpět do půdy. Tento proces nastává po odkvětu, kdy rostliny přeruší symbiózu s hlízkovými bakteriemi. Hlízky se vyprazdňují a dusík se přesouvá do půdy. Díky těmto skutečnostem mají vysokou předplodinovou hodnotu, a do osevních postupů se řadí jako rostliny zlepšující. Luskové zeleniny v běžných podmínkách spotřebují pouze 5-10 % veškerého dusíku z půdy, a to během období na začátku vegetace, než se na kořenech vytvoří hlízky. Proto je v některých podmínkách vhodné použít dávku 20-40 kg N/ha ve formě ledku vápenatého nebo ledku amonného s vápencem. Vyšší dávky dusíku nepříznivě působí na kvalitu hrachu a jeho trvanlivost při konzervování (Hlušek et al., 2002).

3.7.2 Ovoce

Ovocné stromy

Dusík má na celkový růst a plodnost ovocných stromů největší vliv ze všech živin. Závisí na něm růst letorostů, později diferenciaci pupenů a samozřejmě i výnos a kvalita plodů. Je potřeba zajistit dostatečnou výživu dusíkem, aby probíhal přiměřený růst letorostů, ale ne moc vysokou na to, aby se přestaly tvořit květní pupeny. Podle délky letorostů můžeme poznat stav dusíkaté výživy. Vyšší přírůstky letorostů značí o přehnojení dusíkem, a naopak kratší letorosty svědčí o nedostatku dusíku (Hlušek et al., 2002).

Dostatek dusíku příznivě ovlivňuje velikost plodů a jejich kvalitu. Nadměrná hladina dusíku ve stromu a ovoci však kvalitu plodů snižuje. Při sklizni bývají plody s vysokým obsahem dusíku větší, zelenější, měkčí, více podléhají korkové skvrnitosti a hořkosti pecky (Atkinson et al., 1980). Během skladování se projeví další dopady nadbytku dusíku, jako třeba vnitřní hnědnutí a vnitřní rozpad plodů (Boynton a Oberly, 1966).

Dle Vaňka et al. (2007), vyšší potřebu dusíkatého hnojení mají peckoviny a bobuloviny. Zvláště vysokou spotřebu dusíku mají broskvoně, u kterých je kvůli každoročnímu řezu vysoký přírůstek dřeva a tvoří se velké množství listů.

Na počátku rašení pupenů ovocných stromů se aplikuje větší část dusíku (asi 60 %). V závislosti na růstu stromů v předchozím roce se dávka dusíku může omezit nebo naopak zvýšit, v případě, že stromy vykazovaly příznaky nadbytku či nedostatku dusíku. Celoplošná aplikace dusíku v tomto období může omezit primární infekci strupovitosti v plodících sadech jaderovin. Po červnovém opadu plodů probíhá přihnojování, které slouží pro zajištění dobrého vývinu plodů i k podpoře diferenciaci květních pupenů. Po sklizni, probíhá hnojení dusíkem u druhů a odrůd, které se sklízí v první dekádě července. Cílem tohoto hnojení je zlepšení růstu stromů a podpora nasazování květů pro další rok (Vaněk et al., 1998).

Drobné ovoce

K hnojení maliníků a ostružiníků používáme jako základ organická hnojiva, především dobře vyžralý chlěvský hnůj nebo kompost. Lze použít i zelené hnojení, případně kombinaci zeleného hnojení a statkových hnojiv. Na rostlinách sledujeme tvorbu výhonů, a podle ní můžeme dávku dusíku snížit nebo zvýšit. Pokud rostliny vyžadují hnojení více živinami, je vhodnější použít vícesložková hnojiva, jako je Cererit. Podobné nároky na hnojení má i borůvka chocholičnatá, u které se dávka organického hnojení odvozuje od pH půdy (čím vyšší pH, tím je potřeba vyšší dávka hnojiva). Jahodníky potřebují dostatek dusíku obzvláště na počátku vegetace, pro tvorbu dostatečné asimilační plochy i pro následnou tvorbu plodů. Dále je dusík u jahod důležitý pro diferenciaci květních pupenů a pro přezimování. Nejvýznamnější opatření je hnojení statkovými hnojivy před výsadbou, které vytvoří dobré podmínky pro budoucí porost (Vaněk et al., 2012).

3.7.3 Okrasné rostliny

Okrasné rostliny potřebují dostatek dusíku pro tvorbu asimilačních orgánů. Největší potřeba dusíku je v počátcích růstu rostlin, později i při tvorbě květu, kdy však rostlina využívá z větší části dusík přijatý během předchozího růstu. Nejvhodnějším hnojivem pro obohacení půdy organickou hmotou je kvalitní kompostovaný hnůj, komposty, případně substráty a rašelina. U květin dusík ovlivňuje celkový vzhled rostliny, je významný u květin ozdobných listem, květem, ale i u travních porostů. Náročnější na živiny jsou například pivoňky, chryzantémy floxy, kosatce a jiné. Růže jsou na živiny náročné, především kvůli opětovnému kvetení (až třikrát za vegetaci) a současnému nárůstu nových výhonů. U růží je hnojení dusíkem důležité hlavně na začátku vegetace, ale je třeba rostliny pozorovat a případně dusíkem přihnojovat po celou vegetační dobu. Potřebu přihnojování lze odhadnout podle úrodnosti půdy a nárůstu výhonů (Vaněk et al., 2012).

3.8 Síra ve výživě zahradních rostlin

Výživa sírou hraje důležitou roli v růstu a vývoji vyšších rostlin. Její omezení vede ke snížení výnosů a kvalitativních parametrů plodin (Hawkesford, 2000). Adekvátní výživa sírou je také nutná pro zdraví rostlin a odolnost vůči patogenům (Rausch a Wachter 2005).

Nedostatečný přísun S neovlivňuje pouze produktivitu plodin a kvalitu potravin, ale vede také k nežádoucím ekologickým zátěžím a dopadům na regulační mechanismy rostlin při zvládnání abiotického a biotického stresu (Haneklaus et al, 2000).

V současné době však dochází k poklesu jejího obsahu v půdě, což je důvodem, proč se hnojení sírou stává více aktuálním problémem jak v České republice, tak i v ostatních evropských zemích (Kulhánek a kol., 2013). Nedostatek síry se stal běžným v zemědělských půdách a vedl ke ztrátě výnosu plodin (Bimbraw, 2008). Hlavní příčinou potřeby hnojení sírou je pokles atmosférických depozic. Vstupy síry do půdy prostřednictvím atmosférických emisí jsou v současnosti osmkrát nižší než před 20 lety (Kulhánek a kol., 2013). Dalšími důvody úbytku síry v půdě je méně časté použití hnojiv obsahujících síru a změny jejich složení, stejně tak častější zařazování plodin náročných na síru do osevních postupů (např. řepka) (Scherer, 2001).

3.9 Síra v půdě

Obsah síry v zemědělských půdách kolísá ve velké míře. Morche (2008) uvádí, že se obsah síry v půdě pohybuje v rozmezí kolem 0,1-0,01 %, stejná čísla uvádí ve své publikaci i Stevenson et al. (2000). Dle Zeleného a Zelené (1996), celkový obsah síry kolísá nejčastěji od 0,01 do 0,05 %. Havlin et al. (2016) uvádí průměrný obsah síry v půdě průměr 0,05 %. Dle Matuly (2007), se obsah síry v půdách nejčastěji pohybuje mezi 85-250 mg S/kg. Rovněž Vaněk et al. (2012) uvádí, že tato hodnota obvykle kolísá běžně od 50 do 500 mg S/kg zeminy.

Elementární síra je v půdě oxidována na síran především autotrofními a heterotrofními mikroorganismy (Schoenau a Germida, 1992). Mikrobiální aktivita a následně i rychlost oxidace elementární síry jsou ovlivněny podmínkami prostředí, charakteristikami půdy a postupy hospodaření s půdou a hnojivy, které zvyšují rozptyl částic elementární síry ze sirných granulovaných hnojiv (Khan et al., 2008).

Primárním zdrojem organické síry jsou hlavně kořeny rostlin, posklizňové zbytky a také statková hnojiva. Výrazné množství síry do půdy mohou však dodávat i hnojiva minerální (Vaněk et al., 2012). Významné jsou i sloučeniny síry, které se ve formě oxidu siřičitého dostávají do půdy z atmosféry mokrou či suchou depozicí, obzvláště ve vnitrozemských státech s intenzivní průmyslovou činností. Tato síra je přijímána kořeny rostlin či adsorpcí listy. Mezi tyto abiotické zdroje oxidů síry patří například elektrárny, teplárny a jiné zdroje zabývající se spalováním paliv, hlavně hnědého uhlí, kdy dochází k oxidaci síry vázané jako FeS_2 (pyrit) na oxid siřičitý SO_2 (Eriksen et al., 1998).

Při nadměrné aplikaci síry, zvláště chlévským hnojem, hrozí únik přebytečné síry do ovzduší v plynných formách. Dále mají důležitou roli i podmínky stanoviště nebo také osevňovací postup, kdy například zařazení meziplodiny do osevňovacího postupu může výrazně omezit ztráty síry vyplavováním (Eriksen, 2009). Ztráty síry z půdy se mohou uskutečnit vymýváním, povrchovým odtokem, vypařováním (volatilizací) a odnosem biomasy plodin (Tůma, 2015a). Síranový aniont SO_4^{2-} je v půdním roztoku velice mobilní, díky jeho odpuzování se od půdních částic se stejným nábojem. Proto zde hrozí snadné vyplavování síranů tokem gravitační vody do spodních vrstev. Ztráty vyplavením síranů se mohou pohybovat v hodnotách 30-80 kg S ha/rok (Matula, 2007).

3.9.1 Anorganická síra

Anorganická síra je ve většině půd zastoupena ve výrazně menším množství než organická síra, která tvoří hlavní zásobu S v půdě. Anorganická S je velmi dynamickou složkou a je primárním přístupným zdrojem síry pro rostliny a tvoří většinou pouze 10-20 % z celkového obsahu síry (Havlin et al., 2016). Mezi anorganické formy patří ionty SO_4^{2-} (Havlin et al., 1999), které se objevují ve formách síranů a v následujících sloučeninách: sulfidy, polysulfidy, siřičitany, thiosíranů a elementární síra. Síranů, které jsou nejběžnější v dobře provzdušněných půdách, se zde vyskytují v podobě vodorozpustných solí, síranů adsorbovaných na půdní koloidy nebo v nerozpustných formách síranů (Barber, 1995). Obsah redukovaných sloučenin síry většinou nestoupá nad 1 % (Zelený a Zelená, 1996). Příjem síranů a jejich koncentrace v půdním roztoku může být ovlivněna hodnotou pH půdy, chováním půdních koloidů a množstvím oxidů železa a hliníku (Kulhánek et al., 2013)

Holobradá (1985) uvádí, že se v zavlažovacích podmínkách nachází síran v rozpustné formě v půdním roztoku a v pevné fázi, kdy je vázaný na půdní koloidy. Tyto dvě formy síranu jsou v půdě v rovnováze. V přemokřených půdách se anorganická síra objevuje ve formě pyritu a sirovodíku.

Sulfidy vznikají během zvětrávání mateřské horniny, mineralizaci organických látek, a při redukci síranů. Při procesu zvětrávání dochází k oxidaci sulfidů na sírany. Sulfidy a sulfany, které vzniknou při mineralizaci organických látek, se oxidují na elementární síru a následně na síranovou síru (Fecenko a Ložek, 2000).

3.9.2 Organická síra

Převážnou část síry v půdě tvoří její organická forma (Yang et al., 2007). Její podíl je většinou 95-98 % a vyskytuje se v mikroorganismech, rostlinách a makroedafonu, v jakékoliv živé či neživé formě (Kertesz a Mirleau, 2004). Holobradá (1985) uvádí, že za vlhčích podmínek je vyšší šance uvolňování sulfátů do půdního roztoku, a naopak při sušších podmínkách může docházet k akumulaci sulfátů ve vrchní vrstvě půdy, čímž se zvyšuje pravděpodobnost eventuálního zasolení půdy.

Dle Matuly (2007), můžeme organickou síru v půdě rozdělit na dvě skupiny v závislosti její vazby na složky organických sloučenin. V první skupině se jedná o síru nepřímou vázanou na uhlík, která je vázána přes kyslík, dusík či síru (Edwards, 1998) (např. sulfátové estery C-O-S, sulfamáty C-N-S, sulfátové thioglyceridy N-O-S) (Freney, 1986), která tvoří 30-70 % organické síry a je snadněji zapojována do biologických procesů v půdě (Neptune et al., 1975). Druhá skupina představuje síru přímo vázanou na uhlík (C-S), mezi kterou patří například sirné aminokyseliny cystein a methionin či disulfidy (Freney, 1986).

Rovněž Vaněk et al. (2012) uvádí možnost dělení organické síry na dvě skupiny z hlediska formy její vazby na organické sloučeniny, a to na síru vázanou na organické sloučeniny v oxidované formě a síru vázanou na organické sloučeniny v redukované formě.

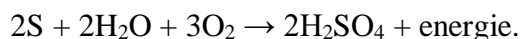
- **Síra vázaná na organické sloučeniny v oxidované formě** – vyskytuje se jako estery s lipidy, polysacharidy i glukosinoláty. Tato forma tvoří větší část organické síry v půdě. Síra je z těchto sloučenin celkem jednoduše uvolňována při jejich mineralizaci, díky čemuž je považována za hlavní zdroj síry pro rostliny.
- **Síra vázaná na organické sloučeniny v redukované formě** – hlavními zástupci těchto sloučenin jsou aminokyseliny, jako je methionin a cystein, které jsou součástí jak bílkovin, tak i dalších sloučenin. Síra je v nich vázána přes uhlík a jejich mineralizace je již složitější. Při mineralizaci těchto sloučenin nejprve probíhá rozložení složitých látek na jednodušší, až na aminokyseliny, následuje odštěpení síry ve formě sulfanu a jeho postupná oxidace na síran. Tento proces je obdobný jako u dusíku, kdy se uvolňuje NH₃ při rozkladu organických látek a dále jeho oxidace na nitráty.

3.9.3 Sulfurikace

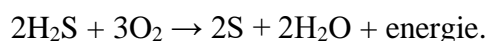
Sulfurikace neboli oxidace je mikrobiální proces, při kterém za působení sirných bakterií dochází k oxidaci redukované formy síry na sírany za vzniku energie. Tento děj je přirovnatelný

k oxidaci amoniaku nitrifikací, dochází při něm k uvolňování vodíkových kationtů, což vede k okyselení okolního prostředí (Tůma, 2015b).

Mengel a Kirkby (1978) i Tůma (2015b) ve svých publikacích uvádějí k sulfurikaci následující informace: Oxidaci elementární síry v půdě provádějí bezbarvé sirné, tzv. chemolitoautotrofní bakterie rodu *Thiobacillus* (tionové bakterie). Tyto bakterie oxidují elementární síru na kyselinu sírovou za vzniku energie, dle následující rovnice:



Mezi sulfurikační bakterie, které oxidují sirovodík (H_2S) patří fotoautotrofní purpurové (*Thiospirillum*, *Chromatium*) nebo zelené (*Chlorobium limicola*) sirné bakterie. Tyto bakterie obsahují fotosyntetické pigmenty a jako zdroj uhlíku využívají CO_2 a zdrojem vodíku je H_2S , který se zároveň oxiduje i redukuje. Sirovodík může oxidovat i jiná skupina sirných bakterií, jejichž zástupcem je *Beggiatoa mirabilis*. Sirovodík oxiduje podle následující rovnice:



3.9.4 Desulfurikace

Desulfurikace je proces opačný sulfurikaci, kdy dochází k postupné redukci síranů a siřičitanů na sirovodík působením desulfurikačních bakterií. Hlavními zástupci bakterií účastnících se redukčních procesů s produkcí sirovodíku, jsou bakterie rodu *Desulfovibrio* a *Desulfotomaculum* (Mengel a Kirkby, 1978). Sirovodík, který vzniká při těchto procesech, může být ve větším množství toxický pro různé organismy, vede také ke ztrátám přijatelných forem síry pro rostliny (Tůma, 2015a).

3.9.5 Imobilizace

Při imobilizaci S dochází k využívání organické i anorganické síry mikroorganismy ke stavbě vlastního těla. V nich se síra dočasně znehybní (imobilizuje) a po jejich zaniknutí se síra vrátí zpět do koloběhu (Bohn et al., 2002).

3.10 Síra v rostlině

Koncentrace síry v rostlinách se obvykle pohybuje mezi 0,2 až 0,5 %. Nejvíce je obsažena v semenech. Podle čeledí se tento obsah liší a navyšuje se od trav, přes luskoviny až po brukvovité rostliny, které obsahují síry nejvíce (Havlin et al., 1999).

Síra je rostlinami přijímána ve formě aniontového síranu SO_4^{2-} , který je transportován do kořenů a následně distribuován, po celé rostlině. Síraný přijatý kořenovým systémem rostlin prochází přes plazmatické membrány buněk kořene do xylému a jsou přepravovány pomocí transpiračního proudu. V chloroplastech buněk jsou pak redukovány na sulfidy a následně asimilovány do organických sloučenin. Plynný oxid siřičitý (SO_2) je snadno absorbován a asimilován listy, ale jako zdroj živin je významný pouze v průmyslových oblastech se znečištěným ovzduším (Leustek a Saito, 1999). Síra je v rostlinách vcelku dobře pohyblivá a je

transportována primárně do mladých listů a meristémů. V rostlinách se hromadí jako zásobní látka ve formě síranu, který si rostliny redukuje podle potřeby na sirovodík (Vaněk et al., 2007).

Jak uvádí Holobradá (1985), nejvýznamnější funkce, kterou síra v rostlinách plní je její strukturální funkce v proteinech. Sulfát se přes řadu jednotlivých procesů redukuje na cystein, který, jak tvrdí Zelený a Zelená (1996), se přímo účastní metabolických reakcí za pomoci skupiny –SH. Cystein je významnou součástí glutathionu, je předchůdcem taurinu a je nutný k syntéze koenzymu A, který se podílí na oxidaci a syntéze mastných kyselin, syntéze aminokyselin a oxidaci meziproductů citrátového cyklu. Ačkoli není jeho složkou, je síra nutná k syntéze chlorofylu (Havlin et al., 1999). Davies et al. (1995) uvádí: po přenosu sulfanylové (–SH) skupiny z cysteinu na homoserin vzniká homocystein. Následuje proces nazývaný transmethylace, při kterém se syntetizuje methionin, který je nepostradatelnou stavební jednotkou bílkovin, zdrojem methylových skupin, zúčastňuje se tvorby cysteinu, cholinu, kreatinu a adrenalinu. Na methioninu závisí také syntéza ethylenu, který urychluje zrání květů a plodů rostlin.

Síra se také podílí na chuti rostlin a je také součástí vitamínů a aminokyselin. Například v hořčici a cibuli jsou za jejich charakteristickou chuť a vůni zodpovědné vybrané těkavé sloučeniny síry (Havlin et al., 2016).

3.11 Projevy nadbytku a nedostatku síry u zahradních rostlin

3.11.1 Projevy nedostatku síry

Nedostatek síry se projevuje sníženou rychlostí růstu rostlin, kdy jsou rostliny zakrnělé, s tenkými stonky a s chlorózou. Na rozdíl od dusíku je však síra v rostlinách obecně méně mobilní, proto se symptomy nedostatku často objevují nejprve v mladších listech. V závislosti na stavu dusíku v mnoha rostlinách je síra šířena rovnoměrně po celé rostlině a symptomy se mohou vyvinout buď ve starších (nízký N) nebo mladších (adekvátní N) listech (Havlin et al., 2016). Při nedostatečné výživě rostlin sírou dochází k omezení syntézy bílkovin a výraznému snížení aktivity nitrátoreduktázy. Z toho důvodu dochází k omezenému přetváření nitrátů na amoniak a dochází k omezení tvorby organických látek obsahujících dusík a hromadění nitrátů v pletivech rostlin. Nedostatek síry snižuje fotosyntetickou asimilaci, což vede ke snížení produkce cukrů, bílkovin, škrobu a olejů. Dále dochází ke snížení odolnosti rostlin proti chorobám a škůdcům. Tím se zvyšují náklady na fungicidy a přípravky na ochranu rostlin (Vaněk et al., 2007).

Počáteční nedostatek síry se projevuje jako světle zelené listy, které nakonec žloutnou. U mnoha rostlin může být obtížné rozlišit příznaky nedostatku S a N. U brukvovitých s nedostatkem síry se zpočátku projeví jen načervenalá barva na spodní straně listů, kde jsou listy rovněž zahnuté dovnitř. Jak se nedostatek síry šíří, dochází k zarudnutí horní i spodní plochy listů (Havlin et al., 2016).

3.11.2 Projevy nadbytku síry

I poměrně vysoké koncentrace síry v půdním roztoku většinou nemají na rostliny negativní dopad. Rostliny mohou bez poškození nadbytečné množství síranů ukládat ve svých pletivech. Vyšší obsah síranů však společně s kationty chloru, sodíku a draslíku může způsobit

zasolení půd a zvýšení koncentrace solí v půdním roztoku. To může zhoršovat vzcházivost i růst některých citlivějších rostlin (Vaněk et al., 2007). Depresivně na rostliny působí nadbytek síry až při vysoké koncentraci nad 4000 mg S na litr půdního roztoku. Dalším faktorem je negativní působení SO₂ z ovzduší. K poškození pletiv rostlin může docházet již při koncentraci nad 0,3 mg SO₂/m³ vzduchu, a to u zejména u citlivých jehličnanů (Vaněk et al., 2012).

3.12 Hnojiva obsahující síru

Síra se aplikuje zpravidla do půdy. Může však být aplikována i foliárně (na list). Foliárně aplikovaná síra ve formě síranu se do listů dostává velmi rychle. Síraný však mohou být následně z velké části zachycovány ve vakuolách, což zapříčiní jejich nižší využívání rostlinami k tvorbě výnosu. K listové aplikaci je možné využít například hořkou sůl, avšak lepších výsledků je dosahováno foliární aplikací elementární síry. Tento fakt lze odůvodnit tím, že před samotnou adsorpcí listy, musí být tato forma síry nejdříve oxidována na síraný, což je pomalejší proces, a proto tak dochází k plynulejšímu zásobení listů síraný (Kulhánek et al., 2013).

3.12.1 Statková hnojiva

Chlévský hnůj obsahuje 0,3-0,9 kg S/t hnoje, zatímco kejda skotu 0,3-0,6 a v čistírenských kalech je obsah síry pohybuje v rozmezí 1,1-1,4 % S v sušině (Richter, 2007). Pedersen et al. (1998) uvádí hodnoty 0,9-1,2 kg S/t pro chlévský hnůj a 0,4-0,5 kg S/t pro kejdu.

Jelikož se dusík a síra v rostlinách vyskytují v poměru přibližně 15:1, je možností počítat množství síry dodávané do půdy hnojem jako 6,7 % z obsahu dusíku aplikovaného touto cestou. Jinak řečeno – na každý kilogram dusíku aplikovaného prostřednictvím organických hnojiv, by mělo připadat 0,07 kg síry (Eriksen et al., 1998). Eriksen (1998) ve svých laboratorních testech však ukazuje, že pouze 5-7 % S ve statkových hnojivech je absorbováno rostlinami.

3.12.2 Průmyslová hnojiva

Průmyslová (minerální) hnojiva obsahují kromě síry i další prvky, tedy až na elementární síru. Následuje zkrácená tabulka 6 z publikace Zeleného a Zelené (1996), ve které jsou uvedena nejvýznamnější minerální hnojiva obsahující síru.

Tabulka 6 - Přehled nejvýznamnějších minerálních hnojiv s obsahem síry

Zdroj: (Zelený a Zelená, 1996)

Označení	Obsah živin (% hmotnostní)				
	S	N	P	K	Mg
Síran amonný	24	21	-	-	-
Superfosfát	11-12	-	16-18	-	-
Elementární síra	80-90	-	-	-	-
Síran draselný	18	-	-	50	-
Kieserit	22	-	-	-	16
Sádra (síran vápenatý)	15-18	-	-	-	-
Síran hořečnatý	13	-	-	-	10
Hořká sůl	16	-	-	-	9

Síran amonný – je nejrozšířenějším hnojivem obsahujícím síru. Pokud ho porovnáme s kieseritem a sádrou, bylo díky jeho aplikaci dosaženo největšího zvýšení výnosu rostlin (Armbruster et al., 1993) a neúčinnější byl také v jiných pokusech, kde byl srovnávaný se superfosfátem, sádrou, elementární sírou a pyrity (Singh a Chhibba, 1991). Matula (2007) uvádí, že při aplikaci 100 kg síranu amonného se dodá 22-23 kg síry v mobilní formě síranu.

Elementární síra – v řadě států se k výživě rostlin používá elementární síra (97 % S), která kromě výživových účinků působí také fungicidně, ale výrazně snižuje hodnotu pH. Její používání se zvyšuje v oblastech, kde hrozí vyšší vyplavení síranů. Po aplikaci však není přímo dostupná rostlinám, a proto je doporučováno aplikovat spolu s elementární sírou i malé množství síranové síry (Eriksen et al., 1998).

Síran draselný – toto hnojivo dodává do půdy kromě síry i draslík, kterého obsahuje 42 % (Kulhánek, 2013). Tei et al. (2017) uvádějí, že na každý kilogram síranu draselného se do půdy dodává 0,4 kg síry. Dále Balík (1993) uvádí, že síran draselný obsahuje minimum chlóru a hodí se tedy k výživě rostlin citlivých na chlór.

Kieserit – má neutrální pH, a proto se dá použít na všechny druhy půd. Díky jeho dobré rozpustnosti jsou Mg i S okamžitě přístupné rostlinám. Dá se použít samostatně, ve směsi hnojiv i jako roztok pro listový postřik. Kieseritové produkty se vyskytují hlavně na evropském trhu, a to převážně v granulované formě (Messick, 2005).

Hořká sůl – hnojivo, které obsahuje 10 % hořčíku (Mg) a kolem 12 % S. Je to hnojivo snadno rozpustné a je tedy ho možno použít k foliární aplikaci (Kulhánek et al., 2013).

Superfosfáty – Tato hnojiva jsou převážně zdrojem fosforu, jsou známá pro svou vysokou rozpustnost a acidifikační schopnost, ale především pro dodávání značného množství síry do půdy. Jsou proto přínosné pro plodiny, které potřebují síru (cibule, česnek, řepka, zelí atd.) (Tei et al., 2017). Dnes jsou však méně využívané, jednoduché superfosfáty obsahují kolem 8 % síry v síranu vápenatém, ten je ale hůře využitelný rostlinami. V zahraničí se vyrábí i superfosfát obalovaný sírou, který obsahuje 27-45 % síry (Matula, 2007).

Síran vápenatý (sádra) – obsah síry se liší dle stupně hydratace, pohybuje se v rozmezí 14-18 % síry, a je omezeně rozpustný ve vodě (Matula, 2007). Kulhánek et al. (2013) uvádí, že sádra obsahuje síru špatně dostupnou rostlinám, považuje se proto spíše za dlouhodobě působící hnojivo.

3.13 Hnojení zahradních rostlin sírou

Rostliny mají rozdílnou spotřebu síry. Ovocné dřeviny jí potřebují jen nepatrné množství. Naopak vysoké nároky mají někteří zástupci zeleniny. Tyto plodiny jsou hnojeny vícesložkovými hnojivy, které kromě hlavní živiny obsahují i síru (Kuric, 2012).

3.13.1 Zelenina

Nejnáročnějšími zeleninami na síru jsou košťáloviny a řeřichy, ředkve, ředkvičky, křen, cibule, česnek, chřest (Kalina, 2005b). Dle Kurice (2012), mají vysoké nároky tyto druhy: celer, cibule, česnek a rajče. Kalina (2005a) uvádí jako náročnou na síru košťálovou zeleninu (hlavně zelí), cibuli, česnek, pórek, fazole a hrách.

V posledním desetiletí se v západní Evropě výskyt nedostatku síry objevil u čeledi brukvovitých. Rostliny z čeledi brukvovité mají zvlášť vysoké nároky na síru (Scherer, 2001).

Nawirska-Olszańska et al. (2021) zkoumali vliv různých forem hnojení sírou na bioaktivní složky bílého zelí. Nejvyšší obsah vitamínu C byl zjištěn v zelí hnojeném sírou ve formě síranu draselného. Po 5 měsících skladování se obsah vitamínu C snížil. Největší ztráta (35 %) byla zaznamenána u zelí pěstovaného na pozemku ošetřeném síranem draselným, zatímco nejmenší ztráta (8 %) byla zaznamenána u zelí pěstovaného na pozemku ošetřeném síranem amonným. Stejně tak nejvyšší obsah polyfenolů byl zjištěn v zelí hnojeném síranem draselným, naopak nejnižší byl pozorován u zelí, kde byl použit síran amonný. Během skladování došlo ke zvýšení celkového obsahu polyfenolů. Jejich nejvyšší nárůst byl zjištěn u vzorků z pozemku, kde byla použita elementární síra. Obsah chlorofylu byl nejvyšší při aplikaci síranu draselného a obsah karotenoidů při aplikaci síranu amonného. Nejvyšší ztráta chlorofylu (17 %) byla u zelí pěstovaného pomocí síranu draselného, zatímco nejnižší byla u síranu amonného. Z této studie vyplývá, že hnojení sírou mělo pozitivní vliv na obsah vitamínu C, chlorofylu a karotenoidů. Forma síry použitá pro hnojení měla významný vliv na zkoumané parametry. U všech testovaných parametrů byly nejnižší výsledky zaznamenány u kontrolního vzorku bez sírného hnojení. Také bylo zjištěno, že aplikovaná forma síry ovlivňovala jednotlivé parametry odlišně. Hnojení sírou zlepšilo nutriční hodnotu zelí.

Ukázalo se, že květák a brokolice odčerpávají v období vrcholící tvorby růžic během jednoho týdne až 30 kg S/ha i více. Největší čerpání síry nastává u hlávkového zelí ve stádiu 11. listu. U brukvovitých druhů zeleniny se příznaky deficiencie síry projevují lžičkovitým tvarem listů a špatnou tvorbou hlávek nebo růžic. Při malém nedostatku síry jsou zpočátku příznaky shodné s projevy nedostatku dusíku. Na základě výsledků nádobových i polních pokusů lze stanovit potřebu síry u hlavních druhů zeleniny: zelí bílé 60-70 kg S/ha, brokolice 50-60 kg S/ha, cibule 20-25 kg S/ha (Poláková, 2019).

Zvýšenou potřebu síry cibulovin, využívanou k tvorbě silic, zajišťujeme hnojením síranem amonným (Vaněk et al., 2012). Česnek je zvláště bohatý na organické sloučeniny síry. Tyto sloučeniny jsou zodpovědné za jeho silnou chuť a také za možné zdravotní přínosy (Kalina, 2005a). Optimální dávka síry je důležitá pro cibuli a další druhy rodu *Allium* pro dosažení vyššího výnosu a zvýšené kvality produktu. Anorganický síran ve formě $(\text{SO}_4)^{2-}$ se dostává do rostlin a tam se redukuje na sulfid S^{2-} . Tato forma je začleněna do aminokyselin obsahujících síru a prekurzorů cibulové chuti. Obsah alliinů (derivát aminokyseliny cysteinu, prekurzor chuti cibulovin) u druhů *Allium* je důležitým kvalitativním parametrem, protože určuje jejich chuť a ostrost (Tóth et al., 2018).

Luskoviny se řadí k plodinám požadujícím síru, jelikož je součástí enzymu nitrogeinázy, a je tak významná při poutání vzdušného dusíku. Luskoviny také obsahují velké množství

bílkovin, a právě nedostatek síry a sirných aminokyselin může mít negativní vliv na kvalitu semen luskovin (Scherer et al., 2006).

Naopak listová a kořenová zelenina nepatří mezi plodiny náročné na síru. Síra ovlivňuje vedle syntézy aminokyselin a posléze bílkovin také obsah sirných látek, pro které je zelenina mnohdy ceněna (Kalina, 2005b).

Dle Kulhánka et al. (2011) vede nedostatek síry k hromadění dusíku v nebílkovinné formě, včetně nitrátů. Náročné druhy zeleniny by měly mít k dispozici 0,5 až 1 kg na 100 m² síry. Dle Kalina (2015b) je proto vhodné kombinovat hnojení sírou současně s hnojením dusíkem.

4 Závěr

Cílem této práce bylo prostřednictvím literární rešerše shrnout aktuální poznatky o výživě zahradních rostlin dusíkem a sírou. Práce se zabývá i funkcí těchto prvků v půdě, rostlinách a vlivem jejich nedostatku či nadbytku na rostliny.

Hnojení dusíkem je velice důležitá operace v jakékoliv zemědělské oblasti. U hnojení zahradních plodin dusíkem, obzvláště statkovými hnojivy, musíme však ještě lépe znát nároky, respektive snášenlivost plodin na přímé hnojení organickými hnojivy, a podle toho je zařazovat do osevního postupu. U plodin, které přímé hnojení organickými hnojivy nesnáší, se většina živin dodává prostřednictvím minerálních hnojiv v rámci základního hnojení nebo přihnojování.

Na výživu dusíkem jsou ze zahradních plodin nejnáročnější košťáloviny a ovoce, a to kvůli tvorbě velkého množství biomasy. U ovocných stromů dusík také značně ovlivňuje tvorbu plodů, jejich výnos a kvalitu. Středně náročná je listová a cibulová zelenina. Méně náročné na hnojení dusíkem jsou kořenové zeleniny a nejméně je to lusková zelenina, která si dusík dokáže díky nitrogenním bakteriím obstarat sama a hnojení dusíkem je zde možno vypustit.

Hlavní příčinou potřeby hnojení sírou je pokles jejího obsahu v půdě, primárně kvůli poklesu obsahu S v atmosférických depozicích. Vstupy síry do půdy tímto prostřednictvím jsou v současnosti osmkrát nižší než před 30 lety. Dalšími důvody úbytku síry v půdě je častější zařazování plodin náročných na síru do osevních postupů a zároveň méně časté použití hnojiv obsahujících síru. Síru můžeme do půdy dodávat v malém množství pomocí statkových hnojiv, účinnější je však aplikace hnojiv průmyslových, které obsahují větší podíl síry.

Na základě studované literatury se dá usoudit, že hnojení zahradních plodin sírou je oproti hnojení dusíkem velmi podceňováno, a rovněž množství literárních zdrojů shrnujících požadavky na výživu jednotlivých skupin zahradních rostlin sírou je velmi malé.

5 Literatura

Amancio, S., Stulen, I. (2004). Nitrogen assimilation and acquisition in higher plants. Springer Netherlands.

Armbruster, W. S., Edwards, M. E., Hines, J. F., Mahunnah, R. L. A., Munyenyembe, P. (1993). Evolution and pollination of Madagascan and African Dalechampia.

Arteca, R. N. (2014). Introduction to Horticultural Science (2nd Edition). Cengage Learning, Stamford, United States.

Atkinson, D., Jackson, J. E., Sharples, R. O. (1980). Mineral Nutrition of Fruit Trees: Studies in the Agricultural and Food Sciences. Elsevier Butterworth Heinemann, London.

Ayers, R. S., Branson, R. (1973). Nitrates in the upper Santa Ana River Basin in relation to groundwater pollution. Division of Agricultural Sciences, Berkeley: University of California.

Baier, J., Baierová, V. (1985). Abeceda výživy rostlin a hnojení. Státní zemědělské nakladatelství.

Balík, J. (1993). Základy výživy rostlin. Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství České republiky, Praha.

Balík, J., Černý, J., Kulhánek, M. (2012). Bilance dusíku v zemědělství: certifikovaná metodika. Česká zemědělská univerzita v Praze.

Barber, S. A. (1995) Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach. 2nd Ed. John Wiley, New York.

Bernard, S. M., Habash, D. Z. (2009). The importance of cytosolic glutamine synthetase in nitrogen assimilation and recycling. In *New Phytologist* (Vol. 182, Issue 3, pp. 608–620).

Bimbraw, A. S. (2008). Chapter 4: Sulfur Nutrition and Assimilation in Crop Plants. In: Khan, N. A., Singh, S., Umar, S. Sulfur Assimilation and Abiotic Stress in Plants. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany.

Blumenthal, J. M., Baltensperger, D. D., Cassman, K. G., Mason, S. C., Pavlista, A. D. (2008). Importance and Effect of Nitrogen on Crop Quality and Health. In: Hatfield, J. L., Follett, R. F. Nitrogen in the Environment: Sources, Problems, and Management.

Bohn, H. L., McNeal, B. L., O'Connor, G. A. (2002). Soil chemistry (3rd edition). John Wiley, New York.

Boynton, D., Oberly, G. H. (1966). Temperate to tropical fruit nutrition. Somerset Press, Somerville, New Jersey, United States.

Cai, Y., Chang, S. X., Cheng, Y. (2017). Greenhouse gas emissions from excreta patches of grazing animals and their mitigation strategies. *Earth-Science Reviews*.

Černý, J., Vaněk, V., Kozlovský, O. (2011). Hnojení dusíkem: specifika a aplikace. Profi Press, časopis Zemědělec.

Davies, P. J. (1995). Plant hormones. Kluwer Academic Publishers, London.

Edwards, P. J. (1998). Sulfur cycling, retention, and mobility in soils: A review. USDA, Northeastern Research Station USDA Forest Service, Pennsylvania, United States.

Eriksen, J. (2009). Chapter 3: Soil Sulfur Cycling in Temperate Agricultural Systems. In: Jez, J. Sulfur: A Missing Link between Soils, Crops, and Nutrition, Volume 50. American Society of Agronomy, Inc. Crop Science Society of America, Inc. Soil Science Society of America, Inc., United States.

Eriksen, J., Murphy, M. D., Schnug, E. (1998). The soil sulfur cycle. In: Schnug, E. (ed.): Sulfur in Agroecosystems. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht

Fecenko, J., Ložek, O. (2000). Výživa a hnojení poľných plodín. Nitra, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre.

Fraga, C. G., Mitroshkov, A. V., Mirjankar, N. S., Dockendorff, B. P., Melville, A. M. (2017). Elemental source attribution signatures for calcium ammonium nitrate (CAN) fertilizers used in homemade explosives. Talanta, Volume 174, Page 131-138.

Freney, J. R., (1986). Forms and reactions of organic sulfur compounds in soils. In: Tabatabai, M. A., (Ed.). Sulfur in Agriculture. Agronomy Monograph No. 27. ASA-CSSA-SSSA, Madison.

Hagemann, N., Harter, J., Behrens, S. (2016). Elucidating the Impacts of Biochar Applications on Nitrogen Cycling Microbial Communities. In Biochar Application (pp. 163–198). Elsevier.

Haneklaus, S., Bloem, E., Schnug, E. (2000). Sulphur in Agroecosystems. Institute of Plant Nutrition and Soil Science, Braunschweig Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig, Germany.

Havlin J. L., Beaton J. D., Tisdale S. L., Nelson W. R. (1999). Soil Fertility and Fertilizers. Prentice Hall, New Jersey.

Havlin J. L., Beaton J. D., Tisdale S. L., Nelson W. R. (2016). Soil Fertility and Fertilizers, an introduction to nutrient management (eighth edition). Pearson India Education Services Pvt. Ltd, India.

Hawkesford, M. J. (2000). Plant responses to sulphur deficiency and the genetic manipulation of sulphate transporters to improve S-utilization efficiency. Journal of Experimental Botany, Vol. 51 No. 342, MP Special Issue, pp. 131-138, January 2000. Oxford University Press, United Kingdom.

Hlušek, J. (2004). Minerální hnojiva – vícesložková. Mendelova univerzita v Brně. Dostupné na https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/index.htm

Hlušek, J., Richter, R., Ryant, P. (2002). *Výživa a hnojení zahradních plodin*. Profi Press, Praha.

Holobradá, M. (1985). *Príjem a asimilácia síry v rastlinách*. Biologické práce. Veda, Bratislava.

Hůnová, I. (2016). Atmosférická depozice dusíku. *Chemické listy*. 110, 11 (lis. 2016), 779-784. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta a Český hydrometeorologický ústav, Praha.

Chapin, F.S., Eviner, V.T. (2013) Biogeochemical Interactions Governing Terrestrial Net Primary Production. In: Holland H.D. and Turekian K.K. (eds.) *Treatise on Geochemistry*, Second Edition, vol. 10, pp. 189-216. Oxford: Elsevier.

Ingram, D. S., Vince-Prue, D., Gregory, P. J. (2002). *Science and the Garden: The Scientific Basis of Horticultural Practice*. Royal Horticultural Society, Blackwell Science Ltd, a Blackwell Publishing Company, Oxford, UK.

Jenkinson, D. S. (2001). The impact of humans on the nitrogen cycle, with focus on temperate arable agriculture. *Plant and Soil* 228, 3–15. United Kingdom.

Kalina, M. (2005a). *Hnojení v zahradě*. Česká zahrada, Grada publishing,

Kalina, M. (2005b). Síra zvyšuje hodnotu četných zelenin. *Zahrádkář*. 37(4). s.15.

Kertesz, M. A., Mirleau, P. (2004). The role of soil microbes in plant sulphur nutrition in *Journal of Experimental Botany*, Vol. 55, No. 404, Sulphur Metabolism in Plants Special Issue, pp. 1939–1945, August 2004. School of Biological Sciences, University of Manchester.

Khan, N. A., Singh, S., Umar, S. (2008). *Sulfur Assimilation and Abiotic Stress in Plants*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany.

Kirchmann, H., Ryan, M. H. (2004). Nutrients in Organic Farming – Are there advantages from the exclusive use of organic manures and untreated minerals. *New Directions for a Diverse Planet*.

Kox, M. A. R., Jetten, M. S. M. (2015). The nitrogen cycle. In *Principles of Plant-Microbe Interactions: Microbes for Sustainable Agriculture*.

Kulhánek, M., Balík, J., Vaněk, V., Pavlíková, D., Černý, J. (2013). Využití analýz frakcí minerální síry v půdě k optimalizaci hnojení (certifikovaná metodika). *Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha*. 26 s.

Kulhánek, M., Černý, J., Balík, J., Sedlář, O., Vašák, F. (2019). Changes of soil bioavailable phosphorus content in the long-term field fertilizing experiment. *Soil and Water Research*, 14(No. 4), 240–245.

Kulhánek, M., Černý, J., Balík, J., Vaněk, V., Sedlář, O. (2001). Influence of the nitrogen-sulfur fertilizing on the content of different sulfur fractions in soil. *Česká zemědělská univerzita v Praze*.

Kuric, I. (2012). Výživa a hnojenie, pomôcka pre ZO SZZ. Okresný výbor SZZ Čadca, Kysucké Nové Mesto, Belanského 1, Slovensko.

Leghari, S., Ahmed, N., Mustafabhabhan, G., Hussain, K., Lashari, A., Wahocho, N., Laghari, G., Hussaintalpur, A., Bhutto, T., Wahocho, S. (2016). Role of Nitrogen for Plant Growth and Development: A Review. *Advances in Environmental Biology*.

Leinweber, P., Kruse, J., Baum, C., Arcand, M., Knight, J. D., Farrell, R., Eckhardt, K. U., Kiersch, K., Jandl, G. (2013). Advances in Understanding Organic Nitrogen Chemistry in Soils Using State-of-the-art Analytical Techniques. In: *Advances in Agronomy* (Vol. 119).

Leustek, T., Saito, K. (1999). Sulfate Transport and Assimilation in Plants. In: *Plant Physiology*, July 1999, Vol. 120, pp. 637–643. American Society of Plant Physiologists.

Matula, J. (2007). Výživa a hnojení sírou. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.

Mengel, K., Kirkby, E. A. (1987). Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Worblaufen-Bern, Switzerland.

Merbach, W., Herbst, F., Eißner, H., Schmidt, L., Deubel, A. (2013). Influence of different long-term mineral-organic fertilization on yield, nutrient balance and soil C and N contents of a sandy loess (Haplic Phaeozem) in middle Germany. *Archives of Agronomy and Soil Science*.

Messick, D. (2005). Global sulphur requirement and sulphur fertilizers. *Landbauforschung Völkenrode*, Special Issue 283, 97-104.

Mikanová, O., Šimon, T. (2013). Alternativní výživa dusíkem. In *Metodika pro praxi*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

Möller, K., Stinner, W. (2009). Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides). *European Journal of Agronomy*.

Morche, L. (2008). S-Flüsse und räumliche Veränderungen anorganischer und organischer Schwefelfraktionen im Boden sowie deren An und Abreicherung in der Rhizosphäre landwirtschaftlicher Kulturpflanzen unter partiellem Einsatz des Radioisotops ³⁵S. Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Nawirska-Olszańska, A., Biesiada, A., Kita, A. (2021). Effect of Different Forms of Sulfur Fertilization on Bioactive Components and Antioxidant Activity of White Cabbage (*Brassica Oleracea* L.). *Applied Sciences*, Basel, Switzerland.

Neptune, A. M. L., Tabatabai, M. A., Hanway, J. J. (1975). Sulfur fractions and carbon-nitrogen-phosphorus-sulfur relationships in some Brazilian and Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*.

Pavlíková, D., Pavlík, M., Balík, J. (2008). Vliv amonného dusíku na metabolismus rostlin. *Agrochémia*.

Pedersen, C. A., Knudsen, L., Schnug, E. (1998). Sulphur fertilisation. In: Schnug, E. (ed.), Sulphur in Agroecosystems. Kluwer Academic Publishers.

Plett, D. C., Ranathunge, K., Melino, V. J., Kuya, N., Uga, Y., Kronzucker, H. J. (2020). The Intersection of Nitrogen Nutrition and Water Use in Plants: New Paths toward Improved Crop Productivity. *Journal of Experimental Botany*.

Poláková, L. (2019). Zásadní poznatky k výživě a hnojení zeleniny. *Časopis Zahradnictví* č. 5/2019, Profi Press.

Pulkrábek, J., Šnobl, J. (2002). *Základy rostlinné produkce* (Vyd. 2). Česká zemědělská univerzita, Praha.

Rausch, T., Wachter, A. (2005). Sulfur metabolism: a versatile platform for launching defence operations. *Trends in plant science*, Vol. 10 No. 10, 503–509.

Richter, R. (2007). Síra v půdě (rozšiřující doplňkový text). Ústav agrochemie a výživy rostlin, Mendelova univerzita v Brně. Dostupný na:

https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/pdf/agrochemie_pudy/s_puda.pdf

Singh, D., Chhibba, I. M. (1991). Efficiency of Sulphur carriers of maize and wheat in Typic Ustipsamments. *Proc Nat Sympon Macronutrients in Soil and Crops*, Ludhiana.

Seyedbagheri, M. (2010). *Compost: Production, Quality, and Use in Commercial Agriculture*. University of Idaho, College of Agricultural and Life Sciences, Moscow, Idaho, United States.

Scherer, H. W. (2001). Sulphur in crop production – invited paper. *European Journal of Agronomy*.

Scherer, H. W. (2006). Sulphur supply to peas (*Pisum sativum* L.) influences symbiotic N₂ fixation. *Plant, Soil and Environment*.

Schoenau, J. J., Germida, J. J. (1992). Sulphur cykly in upland agricultural Systems. In: Hobart, R. W., Stewart, J. W. B. & Ivanov, M. V. *Sulphur Cykly on the Continents SCOPE* (Scientific Committee on Problems of the Environment), 48. John Wiley and Sons, Chichester, UK.

Soukup, J., Matouš, J. (1979). *Výživa rostlin, substráty, voda v okrasném zahradnictví*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

Steenhoudt O., Vanderleyden J. (2000). *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. - *FEMS Microbiol. Rev.*

Stefanakis, A., Akratos, C. S., Tsihrintzis, V. A. (2014). *Treatment Processes in VFCWs*. In: *Vertical Flow Constructed Wetlands*. Elsevier Science Inc.

Stevenson, F. J., Cole, M. (2000). *Cycles of Soil – Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulphur Micronutrients*. J. Wiley & Sons, New York.

Škarpa, P., Ryant, P., Antošovský, J. (2016). Základní hnojení pšenice ozimé. Mendelova univerzita v Brně, publikace v časopisu Agromanual.

Tei, F., Nicola, S., Benincasa, P. (2017). Advances in Research on Fertilization Management of Vegetable Crops. Springer International Publishing.

Tóth, T., Bystrická, J., Tomáš, J., Siekel, P., Kovarovič, J., Lenková, M. (2017). Effect of sulphur fertilization on contents of phenolic and sulphuric compounds in onion (*Allium cepa* L.). Journal of Food & Nutrition Research, Slovakia.

Tůma, I. (2015a). Mikrobiologie pro zahradnické obory: Díl 2: Ekologie mikroorganismů. Mendelova univerzita v Brně, agronomická fakulta, Brno.

Tůma, I. (2015b). Mikrobiologie pro zahradnické obory: Díl 1: Obecná část. Mendelova univerzita v Brně, agronomická fakulta, Brno.

Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera, J. (2012). Výživa zahradních rostlin. Academia, Praha.

Vaněk, V., Balík, J., Němeček, R., Pavlíková, D., Tlustoš, P. (1998). Výživa a hnojení polních plodin, ovoce a zeleniny. Farmář – Zemědělské listy, Praha.

Vaněk, V., Balík, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P. (2016). Výživa a hnojení polních plodin. Profi Press, s.r.o.

Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. (2007). Výživa polních a zahradních plodin. Profi Press, Praha.

Wiedenhoeft, A. C. (2006). The Green World. Plant Nutrition. Chelsea House Publishers an imprint of Infobase Publishing, New York, United States of America.

Yamaya, T., Oaks, A. (2004). Chapter 2: Metabolic regulation of ammonium uptake and assimilation. In: Amâncio, S., Stulen, I. (2004). Nitrogen Acquisition and Assimilation in Higher Plants. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Yang, Z., Singh, B. R., Hansen, S., Hu, Z., Riley, H. (2007). Aggregate Associated Sulfur Fractions in Long-Term (>80 Years) Fertilized Soils. Soil Science Society of America Journal.

Zelený, F., Zelená, E. (1996). Síra a její potřeba pro výživu rostlin. 5. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.