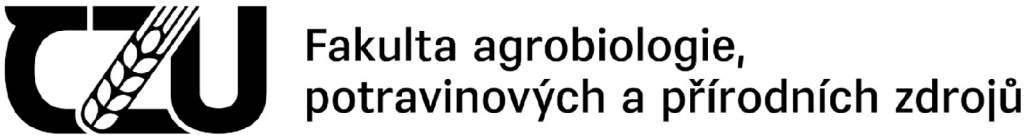
Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenviromentální chemie a výživy rostlin



Vliv stanoviště na výnos ozimé pšenice a využití dusíku z různých hnojiv

Bakalářská práce

Autor: Lukáš Kekule

Obor: Rostlinná produkce

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

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv stanoviště na výnos ozimé pšenice a využití dusíku z různých hnojiv" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze, dne 28. 4. 2024

_____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Jindřichu Černému, Ph. D. za odborné vedení a velmi ceněné rady během psaní této závěrečné práce. Dále také moc děkuji své celé rodině za skálopevnou podporu během studia.

Vliv stanoviště na výnos ozimé pšenice a využití dusíku z různých hnojiv

Souhrn

Záměrem této práce bylo posoudit, jaký vliv mají různé stanovištní podmínky na výnos a efektivitu využití dusíku z různých hnojiv, obsah dusíku v produktech ozimé pšenice. Pšenice, jako nejběžnější obilovina v celosvětovém měřítku i v České republice, zastává dominantní pozici na trhu s obilninami, kde tvoří více než 60 % celkové nabídky. Její význam spočívá v mimořádných pekařských kvalitách díky obsahu a vlastnostem lepku, a také v jejím využití jako krmiva. Mezi její další přednosti patří vysoká produktivita, šlechtitelnost, rozmanitost odrůd a schopnost přizpůsobit se rozličným pěstitelským podmínkám.

V rámci dlouhodobých pokusů realizovaných Katedrou agroenvironmentální chemie a výživy rostlin ČZU v Praze, které byly zahájeny v roce 1996 s rotací plodin, byla ozimá pšenice hodnocena po předplodinách, bramborách v Suchdole a silážní kukuřici v Červeném Újezdě, přičemž následující plodinou byl v obou případech jarní ječmen. Byly posuzovány vlivy stanoviště Suchdol a Červený Újezd. Suchdol reprezentoval černozem modální a Červený Újezd oglejenou luvizem. Hnojení bylo založeno na aplikaci jednotné dávky dusíku (330 kg/ha pro celou trojroční rotaci a 140 kg N pro minerální hnojení) ve všech variantách kromě kontroly. V rámci bakalářské práce byly na pokusných parcelách v Praze-Suchdolu a Červeném Újezdě porovnávány varianty s organickým hnojením, minerálními dusíkatými hnojivy a kombinací organických a minerálních dusíkatých hnojiv.

Nejvyšší výnosy byly zaznamenány na stanovišti Suchdol, kde bylo dosaženo průměrného výnosu 10,5 t/ha na hnojených variantách, nejvyšší výnos byl na variantě NPK, a to 11,47 t/ha. Stanoviště Červený Újezd dosáhlo průměrného výsledku 8,6 t/ha v rámci hnojených variant. Nejvyšší výnos na tomto stanovišti byl u varianty Hnůj ½ + N, a to 9,5 t/ha.

Ve zkoumaném pokusu dosáhly varianty hnojené minerálním dusíkem na obou lokacích vyššího obsahu dusíku v sušině než ty, které byly hnojeny organickými hnojivy. U ozimé pšenice byl odběr dusíku rostlinami ve variantách s minerálními dusíkatými hnojivy vyšší oproti variantám hnojeným organicky.

Na Suchdole bylo dosaženo větších hodnot využití dusíku z minerálních a kombinovaně hnojených variant. Avšak na obou stanovištích je efektivita využití dusíku lepší na minerálně nebo kombinovaně hnojených variantách. Organicky hnojené varianty vykazovaly vyšší hodnoty díky postupnému uvolňování živin z organických hnojiv.

Klíčová slova: polní pokus, ozimá pšenice, výnos, efektivita využití dusíku, stanoviště

Effect of locality on winter wheat yield and nitrogen utilization from different fertilizers

Summary

The primary aim of this study was to assess the impact of different site conditions on the yield and efficiency of nitrogen utilization from various fertilizers, and the nitrogen content in winter wheat products. Wheat, as the most common cereal globally and in the Czech Republic, holds a dominant position in the grain market, constituting more than 60% of the total supply. Its significance lies in its exceptional baking qualities due to the content and properties of gluten, and its use as feed. Additional advantages include high productivity, breedability, variety diversity, and adaptability to various cultivation conditions.

During the long-term experiments conducted by the Department of Agroenvironmental Chemistry and Plant Nutrition at the Czech University of Life Sciences in Prague, which started in 1996 with crop rotation, winter wheat was evaluated following preceding crops of potatoes in Suchdol and silage maize in Červený Újezd, with spring barley as the subsequent crop in both cases. The influences of the Suchdol and Červený Újezd sites were assessed. Suchdol represented chernozem modal and Červený Újezd podzolized luvisol. Fertilization was based on the application of a uniform nitrogen dose (330 kg/ha for the entire three-year rotation and 140 kg N for mineral fertilization) in all variants except the control. Within the bachelor's thesis, variants with organic fertilization, mineral nitrogen fertilizers, and combinations of organic and mineral nitrogen fertilizers were compared at experimental plots in Prague-Suchdol and Červený Újezd.

The highest yields were recorded at the Suchdol site, where an average yield of 10.5 t/ha was achieved in fertilized variants, with the highest yield being in the NPK variant at 11.47 t/ha. The Červený Újezd site achieved an average result of 8.6 t/ha within the fertilized variants. The highest yield at this site was in the Manure ½ + N variant at 9.5 t/ha. In the examined trial, variants fertilized with mineral nitrogen at both locations had higher nitrogen content in the dry matter than those fertilized with organic fertilizers. For winter wheat, nitrogen uptake by plants in variants with mineral nitrogen fertilizers was higher compared to those fertilized organically.

Keywords: field experiment, winter wheat, yield, nitrogen use efficiency, site

Obsah

1 Úvod **9**

2 Cíl práce **10**

3 Literární rešerše **11**

3.1 Pšenice ozimá **11**

3.1.Botanická charakteristika 12

3.1.2 Stanovištní podmínky 13

3.1.3 Klasifikace oblastí pro pěstování ozimé pšenice 14

3.1.4 Zpracování půdy 15

3.1.5 Požadavky na živiny 15

3.2 Dusík **17**

3.2.1 Dusík v rostlině 17

3.2.2 Dusík v půdě 18

3.2.3 Nedostatek dusíku 19

3.2.4 Nadbytek dusíku 19

3.2.5 Amonizace 20

3.2.6 Nitrifikace 20

3.2.7 Denitrifikace 22

3.3 Hnojení ozimé pšenice **22**

3.3.1 Základní hnojení 23

3.3.2 Regenerační hnojení 24

3.3.3 Produkční hnojení 25

3.3.4 Kvalitativní hnojení 25

3.4 Hnojiva statková **26**

3.4.1 Chlévský hnůj 27

3.4.2 Kejda 27

3.4.3 Čistírenské kaly 28

3.4.1 Sláma 29

3.5 Dusíkatá hnojiva minerální **29**

3.5.1 Hnojiva s ledkovým dusíkem 29

3.5.2 Hnojiva s amonným dusíkem 29

3.5.3 Hnojiva obsahující dvě formy dusíku 30

3.5.4 Hnojiva s postupně uvolňujícím se dusíkem 30

4 Metodika **30**

4.1 Použitá hnojiva **31**

4.1.1 Kontrola 32

4.1.2 Kal 32

4.1.3 Hnůj 32
4.1.4 Hnůj ½ + dusík 32
4.1.5 Dusík 32
4.1.6 NPK 32
4.1.7 Dusík + sláma 33
4.2 Pěstovaná odrůda pšenice 33
4.3 Charakteristika stanovišť 34
4.3.1 Červený Újezd 34
4.3.2 Suchdol 34
4.3.2.1 Srážky na stanovišti Suchdol 35
4.3.2.2 Průměrná měsíčná teplota na stanovišti Suchdol 36
4.4 Zpracování a hodnocení vzorků 37
4.4.1 Stanovení obsahu dusíku 37
4.4.2 Stanovení odběru dusíku 37
4.4.1 Efektivita využití dusíku 38
4.4.2 Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku 38
5 Výsledky 39
5.1 Výnos zrna a slámy 39
5.1.1 Výnos zrna 39
5.1.1.1 Suchdol 39
5.1.1.2 Červený Újezd 39
5.1.2 Výnos slámy 40
5.1.2.1 Suchdol 40
5.1.2.2 Červený Újezd 40
5.2 Obsah dusíku v zrnu a slámě 41
5.2.1 Obsah dusíku v zrnu 41
5.2.1.1 Suchdol 41
5.2.1.2 Červený Újezd 42
5.2.2 Obsah dusíku ve slámě 43
5.2.2.1 Suchdol 43
5.2.2.2 Červený Újezd 43
5.3 Celkový odběr dusíku 44
5.3.1 Suchdol 44
5.3.2 Červený Újezd 44
5.4 Efektivita využití dusíku 45
5.4.1 Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku 46
6 Diskuse 47
6.1 Výnos zrna a slámy 47

6.2 Obsah N-látek v zrnu pšenice 50
6.3 Efektivita využití dusíku 52
6.3.1 PFP-N 53
7 Závěr 54
8 Literatura 56
9 Seznam grafů a tabulek 63

1 Úvod

Historie obilovin jako základního pilíře lidské výživy sahá až do úsvitu civilizace, kdy se staly neodmyslitelnou součástí každodenního života. Obiloviny, a zejména pšenice, jsou díky své genetické diverzitě a adaptabilitě schopné prosperovat v různých klimatických podmínkách, což z nich činí klíčovou složku světové potravinové bezpečnosti. V České republice zaujímá pšenice dominantní postavení v zemědělské produkci, kde představuje téměř polovinu všech pěstovaných obilnin.

Pro dosažení vyšších hektarových výnosů u nově vyšlechtěných odrůd pšenice, ve srovnání s předchozími odrůdami, je nezbytné zvýšit příjem dusíku. Tento zvýšený příjem vyžaduje intenzivnější a účinnější aplikaci dusíkatých hnojiv, což přímo souvisí s efektivitou, s jakou plodiny dusík využívají. Účinnost využití dusíku rostlinami je také nepřímo ovlivněna systémem hnojení a specifickými podmínkami stanoviště. Různé podmínky mohou vést k tomu, že plodiny preferují různé formy dusíku, což lze optimalizovat vhodnými agrotechnickými postupy, rozdělením hnojiv na více dávek, vhodným střídáním plodin a podobně.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na zkoumání vlivu stanovištních podmínek a použitých hnojiv na výnos a efektivitu využití dusíku u ozimé pšenice. Dusík, jako klíčový prvek pro růst a vývoj rostlin, hraje zásadní roli v koloběhu živin a je nezbytný pro syntézu základních životních složek, jako jsou aminokyseliny a bílkoviny. Jeho správná aplikace je základem pro dosažení optimálních výnosů a kvality obilovin.

Při pěstování pšenice je nezbytné dbát na správné agrotechnické postupy, které zahrnují nejen přípravu půdy a setí, ale i adekvátní hnojení a ochranu rostlin. Správné načasování a množství dusíkatého hnojení, adaptované na specifické růstové fáze pšenice, jsou nezbytné pro zajištění zdravého růstu rostlin a prevenci negativních efektů nadměrného hnojení, jako je například polehnutí nebo snížení příjmu ostatních živin.

Bakalářská práce přináší zajímavé poznatky o vlivu různých typů hnojiv a stanovištních podmínek na využití dusíku a celkové výnosy ozimé pšenice. Výsledky mají potenciál napomoci zemědělcům lépe porozumět dynamice dusíku v půdě a efektivněji řídit strategie hnojení tak, aby bylo dosaženo maximálního výnosu bez zbytečného zatěžování životního prostředí.

2 Cíl práce

Cílem práce bude hodnocení vlivu stanoviště na výnos ozimé pšenice a využití dusíku z různých hnojiv a zdrojů (půdy, minerálních a organických hnojiv). Hodnocení zahrnovalo analýzu vlivu půdních a klimatických podmínek na různých stanovištích, také výpočet parametrů efektivity využití dusíku. Na základě těchto cílů byly formulovány následující hypotézy.

Hypotézy:

1. Vyšší výnos zrna u ozimé pšenice bude na hnojených variantách než na nehnojené kontrole.

2. Využití dusíku rostlinami ozimé pšenice bude závislé na druhu aplikovaného hnojiva.

3. Předpokládá se, že celkový odběr dusíku bude vyšší na variantách hnojených minerálními hnojivy než na variantách, která byla hnojena organickými hnojivy.

4. Výnos zrna u ozimé pšenice bude spíše vyšší u variant s minerálním hnojením na potencionálně vhodnějším stanovišti Suchdol než na stanovišti Červený Újezd.

3 Literární rešerše

3.1 Pšenice ozimá

Pšenice ozimá je již od počátku zemědělství na světě (cca před 10 000 - 12 000 lety) nejdůležitější kulturní plodinou. Archeologická, genetická a botanická bádání jasně prokazují původ pšenice v oblasti Úrodného půlměsíce, mezi řekami Eufrat a Tigris. Zhruba území dnešní Sýrie. V této krajině došlo k její domestikaci. K snadné domestikaci došlo zejména kvůli její schopnosti se přizpůsobit, velkému výnosu a snadnému skladování. Pšenice napomohla k vývoji moderní civilizace tak, jak jí známe (Lev-Ya Dun et al, 2000). Dnes pšenice zaujímá jedno z nejváženějších místo mezi obilovinami. Je jedna z nejdůležitější potravinářských komodit pro přímou spotřebu lidí. Řadí se zde po boku rýže, kukuřice a sóji. Na celém světě se ročně sklidí přes 620 miliónů tun ročně, jenž se pěstuje ve 40 zemích světa. Toto množství je spotřebováváno více než 1/3 lidské populace (Hay et al, 2012). V zemích třetího světa byla zaznamenána zvýšená poptávka po pšenici od 70. let 20. století, z důvodu urbanizace a také změny chuti obyvatelstva, kteří začali preferovat pšenici před rýží, čirokem nebo kukuřicí.

Hlavní účel pěstování je pro výrobu potravin, přibližná spotřeba jednoho dospělého člověka je 80–88 kg pšeničné mouky za rok. Další důvod pěstování je pro výrobu krmných směsí v živočišné výrobě. Pšenice ozimá vypěstovaná v České republice je ze 60 % spotřebována ke krmení hospodářských zvířat (Zimolka et al, 2005). Přihlédneme-li k její schopnosti adaptability a též k velkému množství odrůd, z nichž každá má lehce jiné agrotechnické požadavky, lze pšenici ozimou pěstovat na celém území v České republice. Nejlépe pšenice prosperuje v řepařské oblasti, ku příkladu v Polabí (Vaněk et al, 2016).

Pšenice zujímá v osevních postupech největší část ze všech kulturních plodin, hovoříme o 800 000 hektarech celé orné půdy v České republice. Přihlédneme-li k faktu, že orné půdy je v ČR asi 2,9 mil. Hektarů. Tvoří pšenice podstatnou část celého na celém půdním fondu (Vacek, 2020).

3.1.1 Botanická charakteristika

Pšenice představují rostliny z čeledi *Poaceae*, řadící se mezi trávy, tudíž se jedná o jednoděložné rostliny. V oblasti pěstování lze identifikovat pět druhů pšenice. Mezi ně se řadí diploidní jednozrnka (genom AA), tetraploidní dvouzrnka, tvrdá pšenice (AABB), dále hexaploidní pšenice obecná a špalda (AABBDD). Zvláštním křížením vznikl žitovec (AABBRR), kombinující tvrdou pšenici s žitem (Wieser, 2000).

Drtivá většina pěstovaných pšenic jsou hexaploidní pšenice obecné, druhý nejčastěji pěstovaný druh je pšenice tvrdá. Používaná pro výrobu těstovin (Shewry, 2009).

Pšenice ozimá má nelámavý klas, může být osinatý nebo bezosinný, a jeho hustota se liší. Obaly klásku i plušky mají tvar vejčitý nebo podlouhle vejčitý, s výraznou hřbetní linií. Zrna jsou holá, vyboulená, na řezu mají kulatý tvar a mírně vystouplý klíček; na opačné straně jsou chlupatá. Původ ozimé pšenice pravděpodobně spočívá ve vývoji z pšenice špaldy (Zimolka et al, 2005).

Tato pšenice se vyskytuje v čtyřech různých variantách:

- *Lutescens*: S bezosinným nebo osinatým kláskem, má bílou barvu.
- *Milturum*: S bezosinným nebo osinatým kláskem, má červenou barvu.
- *Erythospermum*: Má osinatý klas a bílá zrna.
- *Ferrugineum*: Má osinatý klas a červená zrna.

V České republice jsou nejrozšířenější odrůdy z varianty lutescens.

Stéblo je duté struktury, má tenké stěny a skládá se z obvykle pěti segmentů oddělených kolénky. Listy jsou tvaru čárky, ploché a nemají řapík. Krátce vroubkovaný jazýček je umístěn na spoji mezi listovou pochvou a čepelí listu. Malá ouška, která částečně objímají stéblo, jsou řídce pokrytá chlupy nebo jsou holá. Květenstvím je čtyřhranný klásek s více květy, obvykle 2–5 květů (Kubát, 2002).

Plody pšenice neboli obilky jsou známé jako zrna, jedná se o suché plody. Struktura zrna se skládá z pěti hlavních částí: vnějších obalů plodu (oplodí), tvořících 4–5 % hmotnosti zrna,

a obalu semene (testa), představujících 1 %. Tyto obaly obklopují celé zrno. Uvnitř zrna lze identifikovat vnitřní kompartmenty, konkrétně aleuronovou vrstvu (6–9 %) a škrobový endosperm (80–85 %). Zárodek (3 %) se nachází na zadní straně zrna (Wieser, 2000).

3.1.2 Stanovištní podmínky

Ideální půdní podmínky pro pěstování pšenice jsou černozemě na spraších, hlinité, velmi dobře odvodněné půdy s neutrálním pH nebo mírně kyselým, maximálně do 5,5 pH. Pšenice má málo rozvinutý kořenový systém a pomalý jarní růst, což znamená, že s obtížemi konkuruje plevelům, vyžaduje více živin a péče (Konvalina et al, 2010).

Pšenice nejvíce prosperuje na hlubokých půdách s hlinitou až jílovitou texturou, které mají drobno-hrudkovitou strukturu. Tato typologie půd poskytuje optimální podmínky pro růst pšenice, a pokud jsou dodržována všechna nezbytná agrotechnická opatření, umožňuje pšenici dosáhnout svého maximálního potenciálu výnosu. Půdy s kyselým charakterem a lehkou písčitou strukturou nepředstavují pro pšenici vhodné stanoviště. K dispozici jsou údaje, které ukazují, že pokles pH půdy na hodnoty nižší než 5,5 může způsobit pokles výnosu z pšeničných zrn o rozmezí 30 až 40 % ve srovnání s půdou s neutrálním pH (Torma, 2007).

Z dlouhodobých sérií výnosů obilnin z polyfaktoriálních polních experimentů lze usoudit, že tvorbu výnosu zhruba z 1/4 ovlivňují faktory jako je stanoviště a konkrétní ročník (Zimolka, 2005). Fluktuace výnosů v různých letech je více závislá na povětrnostních podmínkách v daných ročnících než na typu půdy či jejím druhu, s výjimkou situací s extrémně nevhodnými půdními podmínkami. V oblastech kukuřičných a řepařských, mají srážky během vegetace větší vliv na výnosy, zatímco v jiných oblastech se klíčovým faktorem stává teplotní průběh v důležitých fázích růstu a také podmínky během sklizně, které mohou způsobit ztráty. Analýza dlouhodobých polyfaktoriálních pokusů též naznačuje, že oscilace ve výnosech jsou více ovlivněny povětrnostními podmínkami než samotným stanovištěm, způsobem výsevku a aplikací hnojiv (Křen et al, 1998). Šarapatka a Urban (2006) uvádí, že pšenice setá reaguje nejvíce na předplodinu ze všech obilnin. Předplodina také silně ovlivňuje výnos a kvalitu sklizně, včetně obsahu proteinu v zrnech. Nejvhodnější předplodiny jsou ty, co potlačují plevele a zanechávají v půdě dostatek živin, zejména dusíku – například luskoviny a jeteloviny.

Při zařazování pšenice do osevních postupů se musí dbát, aby před ani po pšenici nenásledovala žádná obilovina. Dle Petersona (1996) stačí mezi obiloviny roční pauza. Tato pauza snižuje riziko přenosu chorob, škůdců na minimum.

3.1.3 Klasifikace oblastí pro pěstování ozimé pšenice

Zimolka (2005) například uskutečnil hodnocení regionů podle jejich vhodnosti k zemědělství, zejména kultivaci pšenice, s ohledem na specifika půdy a podnebí, které ovlivňují její kvalitu. Optimální podmínky pro růst pšenice lze nalézt v oblastech s vyššími teplotami během jara a léta (mezi 14 a 17 stupni Celsia), nižším množstvím srážek (mezi 250 a 350 mm) a značným množstvím slunečního záření v tomto období (v jižní Moravě mezi 1400 a 1500 hodinami, v Čechách mezi 1300 a 1400 hodinami). Tato místa často spadají do kategorie oblastí vhodných pro pěstování kukuřice a do teplých a suchých oblastí vhodných pro pěstování cukrové řepy. Zde se nejčastěji vyskytují aluviální půdy, černozemě, hnědozemě a rendziny.

Regiony, které jsou méně ideální, ale pořád dostatečně vhodné, se vyznačují relativně teplým a suchým až převážně suchým klimatem. Teploty v jarním a letním období se pohybují mezi 13 a 15 stupni Celsia, srážky na Moravě dosahují 350 až 400 mm, v Čechách do 350 mm a slunečního záření je na Moravě mezi 1400 a 1500 hodinami a v Čechách mezi 1300 a 1400 hodinami. Tyto oblasti zahrnují regiony řepařské výrobní oblasti s převažujícími hnědozeměmi, aluviálními půdami, rendzinami a černozeměmi.

Oblasti, které se považují za obecně nevhodné, mají mírně teplé až poměrně teplé klima s mírnou vlhkostí až mírnou suchostí. Průměrné teploty v jarním a letním období jsou nižší, v rozmezí 12 až 14 stupňů Celsia, a srážky jsou vyšší (na Moravě mezi 400 a 500 mm, v Čechách obvykle méně). Sluneční svit v těchto obdobích klesá na 1200 až 1300 hodin. V těchto oblastech jsou nejčastěji podzolové půdy, na nižších úrovních pak hnědozemě.

Nejméně vhodné oblasti jsou charakterizovány chladnějším a vlhčím počasím, s průměrnými teplotami mezi 11 a 13 stupni Celsia a celkovými srážkami přesahujícími 500 mm. Sluneční svit v těchto obdobích nepřesahuje 1200 hodin, a půdy jsou zde převážně podzolového typu.

3.1.4 Zpracování půdy

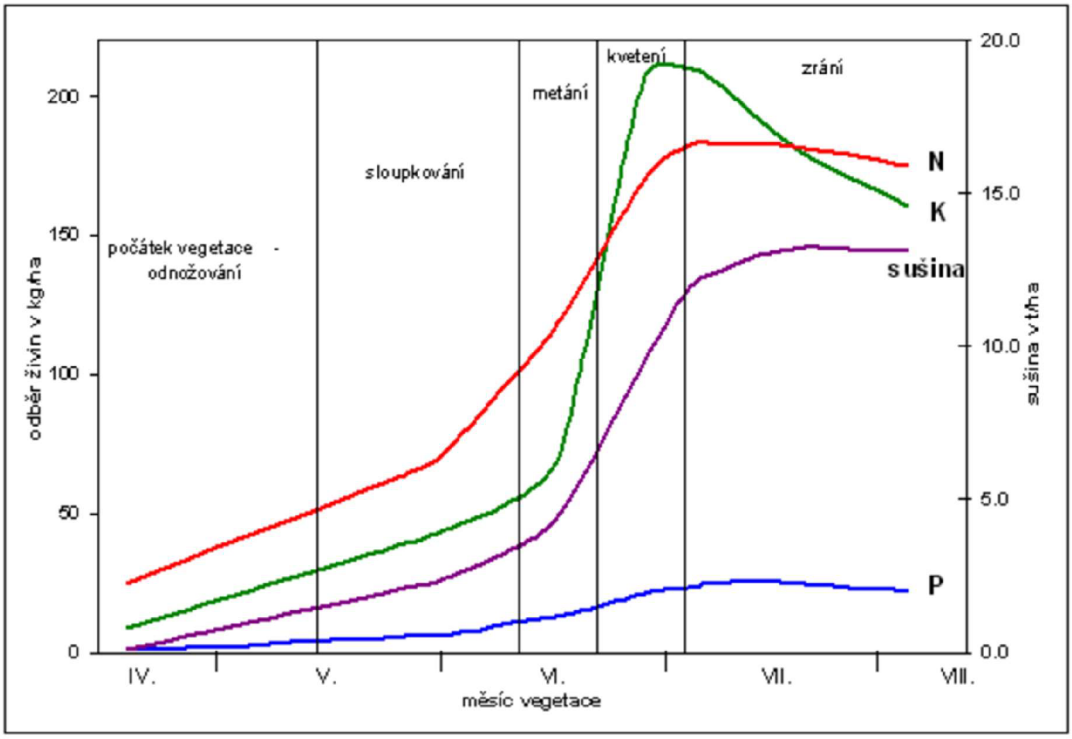
Základním zpracování půdy se myslí podmítka, orba, předseťová příprava a případné úpravy, prohlubování ornic, podpovrchové provzdušňování a hloubkové uvolňování (kypření) půdy. Tyto kroky slouží ke vytvoření ideálního prostředí pro růst a vývoj rostlin. Zpracováním půdy se mění fyzikální vlastnosti půdy, udržuje se správný poměr mezi vodou a vzduchem v půdě, ovlivňuje se aktivita mikroorganismů a nižších živočichů; tímto způsobem se také urychluje rozklad organických látek a ovlivňují se procesy spojené s tvorbou humusu v půdě. Úroveň úprav půdy má výrazný vliv na růst rostlin během celého vegetačního období (Faměra, 1993).

3.1.5 Požadavky na živiny

Hnojení rostlin je ovlivněno dostupností živin v půdě, charakteristikami půdy, počasím, předchozí plodinou, intenzitou pěstování, odrůdou a cílem pěstování. Při výživě rostlin platí princip zvaný "zákon minima", což znamená, že růst rostliny je omezen nejmenší dostupnou živinou (ta je v limitujícím minimu). Potřeba doplňování základních živin hnojivy je určena na základě analýz agrochemického složení půdy nebo chemického složení rostlin, v závislosti na situaci (Faměra, 1993). Nicméně dle Černého et al (2014), se nesmíme soustředit pouze na aspekt hnojení vzhledem k nutnosti živin. Dávkování hnojiv a způsob jejich aplikace má významný vliv na vývoj kořenového systému. U ozimé pšenice má tato skutečnost zvláštní důležitost, protože zakládání kořenů během podzimu a průběhu zimy ovlivňuje následný růst rostlin na jaře. Ačkoli kořeny ozimé pšenice mohou proniknout až do hloubky přes 100 cm, většina kořenů je soustředěna v povrchové vrstvě půdy nebo v hloubce do 40 cm. Tento způsob kořenového růstu převažuje, pokud v horní vrstvě půdy není dostatek živin a rostliny tak musí hledat živiny ve větší hloubce. To má dopad na schopnost rostliny přijímat živiny. U ozimé pšenice se uvádí střední schopnost přijímání živin. Tato schopnost je vyšší než u jarních obilovin, jako je pšenice a ječmen, ale nižší ve srovnání se žitem. Hnojení ozimé pšenice tedy zahrnuje nejen stanovení potřebného množství živin a volbu vhodných hnojiv pro aplikaci, ale také je úzce propojeno s úpravou půdy. To je zásadní pro správné zapravení hnojiv do půdy a jejich rovnoměrné rozložení v půdním profilu.

Dynamika odběru živin je vizuálně zobrazena v grafu č. 1.

Pšenice je více využívá živiny z půdy na těžších jílovitých půdách, na těchto půdách má také menší vliv hnojení na výnos. Z lehkých půd, jenž nemají dostatečnou zásobu živin je hnojení mnohem efektivnější, jelikož se aplikovaný dusík dostane do půdního roztoku a nenaváže se tak na půdní sorpční komplex jako v případě těžkých půd (Balík et al, 2012).



Graf č. 1: Dynamika odběru živin ozimou pšenicí a nárůst sušiny, Vaněk et al. (2002)

3.2 Dusík

Dusík představuje významnou minerální živinu, která se přirozeně vyskytuje v několika různých podobách. Většinou je rostlinami absorbován jako ionty dusičnanů (NO_3^-) nebo jako amonné (NH_4^+) ionty (Plett et al, 2020). pH má významný vliv na příjem dusíku rostlinou k životnímu prostředí. V kyselejší oblasti dominuje spotřeba (NO_3^-) a příjem v neutrálním až alkalickém rozsahu množství iontů je v rovnováze nebo je absorpce (NH_4^+) vyšší (Pavlíková et al, 2009). Teplota také brání příjmu těchto iontů, při nižších teplotách klesá příjem i využití NO_3^- (Vaněk et al, 2012).

Může být začleněn do aminokyselin, proteinů, aminů, chlorofylu, pigmentů, vitamínů a mnoha dalších sloučenin. Forma plynného dusíku N_2, je pro rostliny za normálních podmínek nedostupná. V této situaci jim pomáhají půdní bakterie obsahující enzym nitrogenázu, kterým jsou schopny výměnou za energii rozkládat pevnou vazbu v molekule plynného dusíku. Množství dusíku v půdě se výrazně liší a převažující podíl, konkrétně 99 %, je vázán v organické formě, zatímco zbylých 1 % je minerálního charakteru, a tedy dostupné pro rostliny. Dusík je navíc vysoce pohyblivý a snadno se vymývá z půdy. Rostliny proto vyvinuly různé adaptivní mechanismy ke zvýšení efektivity přijímání živin. Toho mohou dosáhnout úpravami kořenové struktury, modifikacemi příjmu a transportu, a případně optimalizací metabolických procesů. Rostliny vykazují největší potřebu tohoto prvku během svých počátečních fází růstu (Ruffel et al, 2011).

3.2.1 Dusík v rostlině

Obsah dusíku v rostlině se pohybuje v širokém rozmezí od 0,5 % do 7,1 %, liší se podle druhu rostliny. Nejvyšší koncentrace dusíku v rostlinách je na začátku růstu a postupně se během něj zvyšuje snížit. Během zrání se dusík přesouvá z vegetativních orgánů do reprodukčních orgánů (semena, ovoce). Rostliny potřebují dusík ve velkém množství, protože může být omezující pro rostlinnou výrobu a správný vývoj plodin. Je nedílnou součástí růstu a pro reprodukci rostlin a základní stavební kámen nukleových kyselin a bílkovin (Bernard a Habash, 2009).

Rostliny využívají výsledný minerální dusík k tvorbě organických sloučenin dusíku. Ačkoli (NH_4^+) může být použit k syntéze aminokyselin, dusičnanový dusík musí být nejprve redukován na dusík amonný. Jiné aminokyseliny mohou být syntetizovány z aminokyselin a amidů. Aminokyseliny jsou základními stavebními kameny peptidů a polypeptidů (proteinů),

které jsou důležitou součástí všech živých buněk a rostlinných tkání. Rostlinné bílkoviny obsahují 15-18,9 % dusíku. Nachází se především v mladých orgánech, dělících pletivech, enzymech, nukleoproteinech a dalších látkách, které hrají důležitou roli v růstu rostlin a tvorbě hlavních orgánů a celkové tvorbě biomasy. Ke konci vegetačního období se v semenech produkuje větší množství zásobních bílkovin (Černý et al, 2011).

Dusík je také nezbytnou součástí chlorofylu, tvoří čtyři pyrrolová jádra s hořčíkem. Je hlavní složkou této důležité organické sloučeniny. Tedy rostliny bez dusíku žloutnou, protože produkce chlorofylu je omezená (Havlin et al, 2016).

Většina rostlin, zejména vysoce výnosných druhů, má vysoké nároky na dusík množství biomasy. V produkci biomasy a dalších faktorech jsou poměrně značné rozdíly v potřebě dusíku mezi jednotlivými druhy rostlin a často i mezi kultivary. Například u listové zeleniny se spotřeba dusíku pohybuje kolem 30 kg N/ha, u brukvovité i více. Spotřeba N může být až desetkrát vyšší. Proto je nutné stanovit hnojení dusíkatými hnojivy dle potřeby pěstovaných rostlin a podmínek místa pěstování (Vaněk et al, 2012).

3.2.2 Dusík v půdě

Primárním zdrojem dusíku v půdě je zejména atmosféra (Richter, 2004). Jedná se o elementární plynný dusík, jehož podíl činí 78,08 %. Dusík vstupuje do půdy prostřednictvím mikroorganismů. Dalšími zdroji dusíku mohou být pozůstatky po sklizni, minerální či organická hnojiva a také srážky (Vaněk et al, 2012). Dusík se v půdě vyskytuje ve formě minerální a organické, kde forma minerální tvoří 1–2 % a převažuje forma organická s podílem 98–99 % (Richter, 2004). Obsah dusíku v půdě podléhá výrazné sezónní variabilitě. V důsledku oteplování půdy v jarním období dochází k zvýšení aktivity mikroorganismů, což vede ke zvýšení obsahu minerálního dusíku. Během vegetačního období dochází naopak k jeho snížení kvůli spotřebě dusíku rostlinami. V podzimním období při příznivých teplotách a vlhkosti dochází opět k nárůstu dusíku díky mineralizaci pozůstatků po sklizni (Balík et al, 2018). Rostliny nepřijímají organický dusík, ale mohou využít dusík ve formě minerální (Richter, 2004).

3.2.3 Nedostatek dusíku

Nedostatek dusíku na začátku vegetačního období má za následek omezení produkce funkčních bílkovin, což má za následek zpomalený růst rostlin a omezenou tvorbu všech klíčových orgánů, jako jsou listy, stonky a kořeny (Vaněk et al, 2007). Když je v rostlině nedostatek dusíku, dochází k rozkladu bílkovin v starších částech rostliny a dusík je následně přenášen do mladších listů a na tvorbu semen. Tento rozklad bílkovin vede k zmenšení chloroplastů a snižování obsahu chlorofylu. Výsledkem je, že prvním viditelným znakem je zežloutnutí starších listů. Při větším nedostatku dusíku může list uschnout nebo dokonce opadnout (Wang et al., 2000).

Za situace, kdy rostlinám chybí dostatek dusíku, vykazují rostliny menší sílu a nižší vzrůst. Často se vyskytuje nerovnoměrnost v růstu porostů, které jsou také světlejšího zbarvení (Sawyer, 2004). Omezený příjem dusíku může významně ovlivnit vývoj plodů a produktivitu rostlin. Například u obilovin během období tvorby postranních výhonů (odnožování) dochází ke snížení jejich počtu. Během fáze vytváření zrn v květenství (diferenciace vrcholu) se zase snižuje počet zrn v každém květenství. Důsledkem nedostatku dusíku je také krátký, řídký a málo výnosný tvar květenství. Zrna mají nižší hmotnost. Kořeny jsou v porovnání s nadzemní částí rostliny delší, ale málo se rozvětvují do stran a mají bílou barvu. Rostliny trpící nedostatkem dusíku mají kratší vegetační dobu, což vede k dřívější zralosti, a tím k nižší a méně kvalitní sklizni (Fecenko et Ložek, 2000).

3.2.4 Nadbytek dusíku

Projev nadbytku dusíku dokazuje bujný růst rostlin. Přetrvávající nadbytek vede k zasychání okrajů listů, v krajních mezích k hnědým nekrózám. Kováčik (2007) uvádí, že v porostech rostlin se více parenchymatických buněk vyskytuje za cenu snížení množství sklerenchymatických buněk. V případě obilnin jsou rostlinné porosty husté a mají sytě zelenou barvu s bohatým olistěním. Stébla jsou však tenká a delší, což zvyšuje jejich náchylnost k poléhání. Tento stav dále zvýšeně podporuje výskyt chorob, zejména těch způsobených houbami (Richter, 2004). Zrna i počet samotných klasů je znatelně méně. Zrno má drobný vzhled. Jeho obsah bílkovin je na vysoké úrovni díky omezené mobilitě sacharidů při zrání (Fecenko et Ložek, 2000).

3.2.5 Amonizace

Dusík vázaný na organickou hmotu se stává rostlinám dostupným až po jeho mineralizaci nebo přeměně organického dusíku na anorganické formy (Balík et al, 2012).

Mineralizaci organických látek představuje první část procesu zvaná amonizace: organické látky vstupující do procesu, především bílkoviny a polypeptidy a jejich hydrolýzou se uvolňují aminokyseliny, které se následně přeměňují na amoniak (NH_3^-) v procesu zvaném deaminace (odstranění aminoskupin) (Cai et al, 2017). Amoniak se poměrně rychle přeměňuje na amonný iont (NH_4^+). Amonizace je způsobena působením různých aerobních a anaerobních mikroorganismů, konkrétně působením enzymů vylučovaných těmito mikroorganismy. Rychlost a rozsah amonizace závisí především na příznivé teplotě a dobré vlhkosti. Mineralizace je téměř dokončena s tvorbou amonia, organický dusík se přeměňuje na formu dostupnou pro rostliny. Amonný dusík je však nestabilní formou. Amoniak a amonný iont se mohou hromadit pouze v kyselých a špatně provzdušněných půdách nebo substrátech, jako jsou rašelinové půdy nebo přemokřené substráty (Matouš a Soukup, 1979).

Tento proces je ovlivňován několika faktory, jako je teplota, pH půdy, poměr uhlíku a dusíku, obsah živin v půdě a další půdní podmínky. Ideální pH se pohybuje v rozmezí 6,5 až 8,5. Optimální teplota pro amonizaci se nachází mezi 40 a 60 stupni Celsius, a je pozorováno, že zvýšení teploty o 10 stupňů Celsius způsobí zdvojnásobení rychlosti tohoto procesu (Stefanakis et al, 2014).

3.2.6 Nitrifikace

V případě dobře provzdušněných půdách mírně kyselým až neutrálním pH probíhá druhá fáze procesu mineralizace, která se nazývá nitrifikace (Matouš a Soukup, 1979). Pro většinu půd hraje proces nitrifikace klíčovou roli, protože převádí amonnou formu dusíku na formu nitrátovou (Jenkinson, 2001). Během nitrifikace se amoniak, případně amonné soli vytvořené během amonizace, postupně oxidují a přeměňují se na dusičnany. Tento důležitý proces přispívá k zvýšení úrodnosti půdy, protože dusičnany jsou snadno absorbovány rostlinami (Leinweber et al., 2013).

V počáteční fázi nitrifikace dochází k oxidaci amoniaku na kyselinu dusitou:

$$2\ NH_3 + 3\ O_2 \rightarrow 2\ HNO_2 + 2\ H_2O$$

Současně se v průběhu druhé fáze oxiduje kyselina dusitá na kyselinu dusičnou:

$$2\ HNO_2 + O_2 \rightarrow 2\ HNO_3$$

Nitrifikační procesy jsou známé jako exotermické reakce, což znamená, že při těchto reakcích dochází k uvolňování energie. Konkrétně při oxidaci 2 molekul amoniaku se uvolní přibližně 800 000 J energie, kterou mikroorganismy zapojené do procesu mohou částečně využít k redukci oxidu uhličitého (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). Hlavně bakterie z rodu *Nitrosomonas* hrají v tomto procesu významnou roli (Matouš a Soukup, 1979). Druhou skupinu tvoří nitratační bakterie z rodu Nitrobacter. Tyto bakterie využívají energii uvolněnou během oxidace, nejen k přeměně dusíku, ale také k převodu dusitanů na dusičnany (Vaněk et al, 2016). Nitrifikační bakterie spotřebovávají značné množství kyslíku, což vysvětluje, proč má nakypření a provzdušnění půdy významný vliv na intenzitu nitrifikace. Pokud je půda dobře provzdušněná a zároveň dostatečně vlhká, může nitrifikace probíhat tak rychle, že většina minerálního dusíku je přítomna ve formě dusičnanů (Matouš a Soukup, 1979).
Dle Vaňka et al (2012) jsou pro nitrifikaci rozhodující tyto faktory:

1. Teplota: Optimální teplota pro nitrifikaci je obvykle mezi 25-30 °C. Při nižších teplotách nitrifikace zpomaluje, a při teplotách pod 5 °C prakticky ustává.
2. pH půdy: Pro nitrifikaci jsou vhodné podmínky slabě kyselé až zásadité půdní reakce. Nitrifikace je značně omezena při pH hodnotě nižší než 5,5.
3. Dostatek vzduchu a vody v půdě: Pro oxidační procesy nitrifikace je nezbytný dostatek vzduchu (a tím i kyslíku). Optimální vlhkost půdy se pohybuje kolem 70 % maximální vodní kapacity. V případě jiných poměrů vzduchu a vody je nitrifikace omezena. V suché půdě téměř neprobíhá.
4. Hnojivo: Složení hnojiva a jeho pH může mít vliv na nitrifikaci. Doprovodné ionty a pH hnojiva mohou ovlivňovat podmínky pro růst nitrifikačních bakterií.
5. Podle Chapina a Evinera (2013) také dostupnost prvků: dostupnost určitých prvků, jako je fosfor, může také ovlivňovat nitrifikaci. Například, přebytek fosforu může omezit nitrifikační proces.

3.2.7 Denitrifikace

Matouš a Soukup (1979) uvádí, že denitrifikace je opačným procesem než amonizace a nitrifikace. Jedná se o mikrobiologický proces, během kterého dochází k postupné redukci dusičnanů až na molekulární (plynný) dusík. Tento plynný dusík je pro rostliny nedostupný a uniká do vzduchu bez využití. Denitrifikace tedy půdu o dusík ochuzuje, což je zásadní rozdíl oproti předchozím procesům, které dusík do půdy přinášejí (amonizace) nebo ho přeměňují do formy, kterou rostliny mohou využít (nitrifikace).

$$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2$$

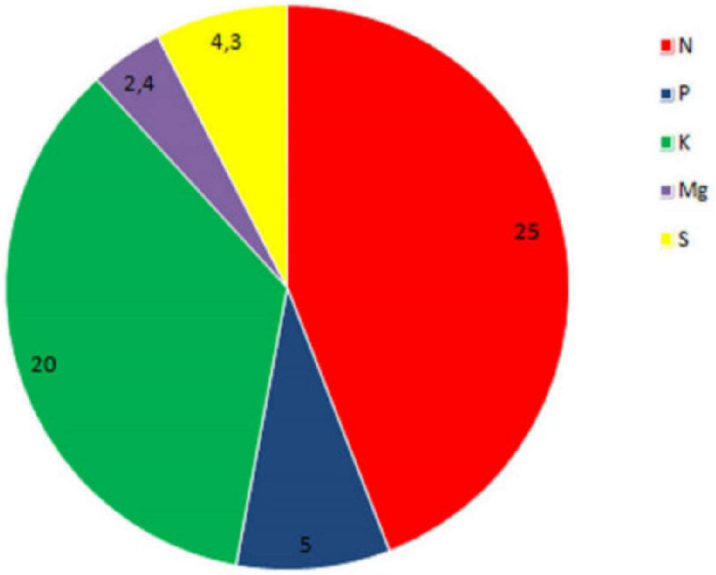
Oxidace dusičnanů, což je pro půdu nežádoucí, nastává díky aktivitě tzv. denitrifikačních bakterií. Tyto bakterie využívají dusičnany jako alternativní zdroj kyslíku, zejména v případě, kdy je kyslíku v půdním vzduchu nedostatek (Matouš a Soukup, 1979). Proces denitrifikace je podmíněn několika specifickými faktory, které se zároveň zřídka vyskytují současně. Patří sem nedostatek kyslíku, neutrální až alkalická půdní reakce, vysoký obsah organických látek bez dusíku a špatné odvodnění půdy (Hagemann et al, 2016). Proces denitrifikace může nastat i například při silném vápnění rašelinných půd. Ve většině běžných půd nejsou ztráty dusíku významné v důsledku denitrifikace (Matouš a Soukup, 1979). Pro denitrifikaci je také potřeba dostatek snadno dostupných organických látek, které se oxidují na oxid uhličitý, a také přítomnost nitrátů (Blumenthal et al., 2008).

3.3 Hnojení ozimé pšenice

Cílem správy živin a jejich aplikace je vytvořit optimální prostředí pro růst a vývoj plodin, aby byly dosaženy maximální výnosy při zachování požadované kvality produktů. Podíl dusíku odebraného v podzimním období by neměl přesáhnout 10 % celkového množství odebraných živin, což znamená, že nadměrné použití dusíkatých hnojiv před setím není vhodné a nepřínosné z hlediska ekologie. Na jaře, po zimním období, rostliny začínají intenzivněji přijímat dusík, aby mohly obnovit svou biomasu. Během období od počátku růstu až po kvetení přijímají rostliny asi 40 % dusíku, přičemž tato intenzita se postupně zvyšuje až do konce kvetení, kdy absorbuje dalších 30 % této živiny. Po kvetení se potřeby rostlin na dusík mírně snižují, neboť se dusík začíná přesouvat z ostatních částí rostliny do zrna. Na konci vegetačního období je až 75 % dusíku obsaženo právě v zrně (Jacobsen & Westermann, 1988).

V podmínkách České republiky je využití dusíku pro tvorbu zrna často negativně ovlivněno nedostatkem fosforu, draslíku, hořčíku a síry (Škarpa et al, 2016).

Při zakládání porostů ozimé pšenice je klíčové provést základní hnojení fosforem a draslíkem. Doporučuje se také doplnit hnojení hořčíkem a v některých případech je užitečné přidat i síru, zejména pokud se do půdního profilu dostává větší množství slámy ze sklizně. Poměr uhlíku k síře (C:S) může být často omezujícím faktorem, který zpomaluje rozklad slámy v půdě, což může negativně ovlivnit přijímání síry rostlinami a také omezit využití dusíku. Pro podporu rozkladu slámy je nezbytné také dodat dusík. Obecně platí, že na každou tunu slámy z obilnin by mělo být aplikováno 8-10 kg dusíku (Mühlbachová et al, 2023; Obour et al, 2023).



Graf č. 2: Odběr živin výnosem zrna (kg) (Škarpa et al, 2016)

3.3.1 Základní hnojení

Během provádění základního hnojení je důležité nezapomínat na výživnou hodnotu stanoviště a zohlednit agrochemické vlastnosti půdy. Je nezbytné respektovat odrůdovou lokalizaci a přizpůsobit hnojení specifickým požadavkům jednotlivých odrůd na výživu. Ozimou pšenici řadíme mezi plodiny s průměrnou potřebou živin. Rostliny ozimé pšenice mají kořenový systém, který na dobrých strukturálních půdách může dosahovat hloubky až 0,7 - 1,0 m do zimy. Nicméně významná část kořenového systému se nachází v hloubce do 0,4 m. To znamená, že obsah dostupných živin v půdě hraje nezbytnou roli pro optimální růst a vývoj pšenice v podzimním období. Pokud je zásoba živin v půdě nedostatečná, dochází k omezení

metabolických procesů a výsledkem jsou oslabené a málo odnožené rostliny, které jsou vystaveny riziku zamrznutí během chladných zimních měsíců. Během podzimního období rostliny ozimé pšenice přijímají relativně málo živin a během zimy se tento příjem zastavuje. Podíl dusíku odebraného v tomto období není vyšší než 10 % z celkového odebraného množství, a proto není nutné aplikovat vysoké dávky dusíku před setím. Na jaře dochází k nárůstu odběru dusíku, kdy rostliny po zimě potřebují obnovit svou biomasu (Škarpa et al, 2016).

Dusíkem se obvykle na podzim nehnojí, pokud je obsah minerálního dusíku (N_{min}) v půdě stanovený před setím vyšší než 10 mg.kg-1. Pokud byla půda hnojena předchozí plodinou, zejména pokud byl použit hnůj nebo pokud následuje pšenice po jetelovinách, není obvykle nutné přidávat dusík. Výjimkou může být suchý podzim a opožděný vývoj porostů, kdy může být přihnojení dusíkem vhodné (v dávce 20-30 kg N. ha-1). Nicméně většinou není důvod pro zvýšené hnojení dusíkem na podzim, protože ozimá pšenice do zimy neodčerpá více než 10 % celkové potřeby dusíku na předpokládaný výnos, například při výnosu 6 tun zrna potřebuje 150 kg N, na podzim odčerpá asi 15–20 kg N (Litke et al, 2020).

3.3.2 Regenerační hnojení

Pro nastartování rychlého růstu u ozimých plodin je klíčové vytvoření optimálních výživných podmínek. Pokud máme na pozemcích dostatečnou zásobu fosforu, draslíku, hořčíku a vhodné pH, je nezbytné zajistit rychlý rozvoj kořenového systému s následnou obnovou nadzemní biomasy. Hnojení by mělo začít brzy na jaře a je důležité aplikovat hnojivo v době, kdy není půda pokryta sněhem (pokrývka sněhu vyšší než 50 mm) nebo není přesycena vodou (hloubka promrznutí nad 80 mm). Využití ranních mrazíků může pomoci zpevnit půdu a umožnit snadnější aplikaci hnojiva bez poškození porostu. Hlavním kritériem pro volbu dávky hnojiva jsou výsledky agrobiologické kontroly porostu po zimě a obsah minerálního dusíku (N_{min}) v půdě. Pro určení potřebné dávky dusíku k přihnojení je nezbytné zjistit celkové množství N_{min} v půdě v hloubce 0-30 cm a na základě toho stanovit vhodnou dávku pro ozimou pšenici (Nyiraneza et al, 2012).

Doporučená dávka dusíku se obvykle pohybuje mezi 60 až 70 kg N/ha ve fázi odnožování (BBCH 21–29). Tuto dávku je možné rozdělit na dvě části, přičemž první část se aplikuje co nejdříve na jaře a druhá část v období plného odnožování (BBCH 25). K aplikaci hnojiv lze využít dusičnan amonný (34 % N), močovinu (46 % N), ledek amonný s vápencem (27 % N)

nebo ledek amonný s dolomitem (26 % N). Na půdách s nízkým obsahem síry je vhodné použít hnojiva obsahující dusík a síru. Kapalná hnojiva se obvykle používají při jarních přísušcích, kdy je rychlá regenerace rostlin nezbytná. Správně zvolené a časné regenerační přihnojení vede k rychlému a plnému růstu porostu na jaře, což se projevuje intenzivní tvorbou a růstem odnoží (López-Bellido et al, 2001).

3.3.3 Produkční hnojení

Produkční hnojení dusíkem se obvykle provádí na začátku sloupkování (BBCH 30–31). Dávka dusíku je stanovena na základě aktuálního stavu výživy porostu ozimé pšenice, který je zhodnocen chemickým rozborem rostlin nebo pomocí moderních zařízení, jako je N-Tester, který umožňuje měření obsahu dusíku přímo z listů rostliny odebraných ve fázi BBCH 25. Cílem produkčního hnojení je vytvořit příznivé podmínky pro další vývoj porostu a optimální tvorbu výnosotvorných orgánů. Tímto hnojením ovlivňujeme velikost klasu, počet zrn v klasu, podporujeme růst a vývoj odnoží a pozitivně ovlivňujeme velikost listové plochy (Zimolka et al, 2005)

Na základě poznatků od Regasitse et al (2005), koncentrace živin v této fázi rozhoduje o intenzivním růstu rostlin, který závisí na povětrnostních podmínkách. Rostliny začínají produkovat významné množství sušiny a začíná se projevovat tzv. zřeďovací efekt. Hnojení se provádí dusíkatými hnojivy, jako je DAM-390, SAM, ledek amonný s dolomitem (LAD), ledek amonný s vápencem (LAV) a podobně. Dávka dusíku se obvykle pohybuje mezi 40 až 60 kg N/ha. Pokud je potřeba aplikovat vyšší dávku dusíku, doporučuje se rozdělit ji na dvě aplikace. Druhá dávka by měla být aplikována ve fázi BBCH 37–39, opět na základě místních zkušeností a podmínek.

3.3.4 Kvalitativní hnojení

Další a poslední část hnojení dusíkem během vegetace, je hnojení s ohledem na kvalitu, principem tohoto úkonu je zvýšení technologické jakosti pšenice, což se projevuje vyšším obsahem bílkovin, mokrého lepku a lepší pekařskou kvalitou zrna. Jankowski et al (2016) uvádí, že se pozdní přihnojení dusíkem nejvíce projevuje na lehkých a středně těžkých půdách, protože ty obvykle obsahují méně dusíku. Nicméně to není vždy pravidlem, protože i na těžkých půdách mohou být nedostatky dusíku zaznamenány, zejména při nadměrných srážkách, vysokém odběru dusíku předchozími plodinami nebo nevyvážené bilanci živin v osevním sledu, a také v důsledku sucha.

Pozdní (kvalitativní) přihnojení dusíkem se obvykle provádí ve dvou obdobích. U slabších porostů, kde je potřeba posílit asimilační aparát a udržet co nejvyšší počet produktivních odnoží, se přihnojení provádí již velmi brzo, ve fázi BBCH 37, kdy se objevuje poslední list. Dávka dusíku se může upřesnit pomocí N-Testeru. Ostatní porosty jsou přihnojovány na počátku metání, ve fázi BBCH 51, dávkou kolem 20–30 kg N/ha. Při hnojení v tomto období se obvykle používají pevná hnojiva, a pokud se volí kapalná hnojiva, je nutné použít vhodné aplikační nástavce, aby nedošlo k poškození porostu, zejména praporcového listu a klasu, které tvoří významnou část asimilátů. Proto je důležitá ochrana před chorobami a výživa praporcového listu a klasu. Účinnost pozdního přihnojení závisí na dobrém zdravotním stavu porostu a na vhodných vláhových podmínkách. Dávka dusíku by měla být přiměřená, obvykle se pohybuje kolem 20–30 kg/ha. Z hnojiv se doporučuje použití LV, LAV, roztoku močoviny s mikroelementy nebo ředěného DAM-390 (Wang et al, 2005).

3.4 Hnojiva statková

Jde o skupinu hnojiv organického původu, jsou vedlejším produktem živočišné výroby. Produkce je zcela odkázána na množství zvířat vztažené na určitou plochu, kvůli omezování živočišné výroby a snížení stavu zvířat v České republice je výroba statkových hnojiv nedostačující (Vaněk, 2016). Většinou je to směs výkalů, moči a rostlinných zbytků v různém stádiu rozkladu (fermentace), která je naředěná vodou. Obsahují bohatou zásobu makro i mikro elementů. Použití těchto hnojiv je v dnešní době menší, než tomu bylo dříve. V současnosti jsou využívána ke hnojení okopanin a počítá se s jejich schopností uvolňování živin po několik sezón za sebou. Mezi statková hnojiva se řadí hnůj, kejda, močůvka či hnojůvka (Ren et al, 2014).

Vaněk et al (2016), uvádí že úrodnost půd je lepší při kontinuálním používání statkových hnojiv z těchto důvodů:

- Lepší příjem vody
- Fyzikální vlastnosti na vyšší úrovni
- Snadněji zadržují nutrienty
- Stabilnější pH
- Rostliny lépe využívají živiny a je zde snazší dávkování minerálních hnojiv

3.4.1 Chlévský hnůj

Hnůj je nejpoužívanější statkové hnojivo. Je to organická látka, jenž vznikla při procesu rozkladu organického materiálu (exkrementy zvířat a rostlinné zbytky), který se nazývá mrva. Z mrvy se stává hnůj až po fermentaci, jejíž doba trvání je 2–3 měsíce. Pro půdu jde o cenný zdroj živin a zároveň zlepšuje její strukturu a fyzikální vlastnosti. V hojné míře obsahuje dusík, fosfor, draslík a další stopové prvky nezbytné pro správný růst a vývoj rostlin. Dnes se používá výhradně k hnojení okopanin. Kromě svého využití jako hnojivo jej lze využít i jinak, a to k výrobě bioplynu nebo při kompostování (Kohyama et al, 2006).

Dostačující dávka hnoje na hektar se pohybuje mezi 35–40 tuny na hektar, pokud používáme osevní postup s většinovým zastoupením obilovin. Hnůj v půdě působí po dobu několika let, s jeho účinky se počítá na 3–5 let dopředu. Obecně platí, že v rámci lehčích půd jde kratší dobu než na půdách těžkých. Jeho hnojící účinek je největší po prvním roce aplikace, následující roky se jeho účinnost o 50 % snižuje každým rokem (Vaněk et al, 2016).

Při aplikaci hnoje rozmetadlem je třeba dbát na jeho co nejdřívější zapravení do půdy, a to ze dvou důvodů. První je platná legislativa, kdy se musí provést zaorávka hnoje do 48 hodin od aplikace. Druhý důvod je snížení jeho schopnosti hnojení, která se v čase mění, od 6 do 96 hodin od aplikace dochází k snížení hnojivé účinnosti mezi 3–30 % (Zimolka, 2005).

	Sušina	Organické látky	N	P	K	Ca	Mg
Obsah v %	24	17	0,48	0,11	0,52	0,37	0,08

Tabulka č. 1: Průměrný obsah organických látek a živin v kravském hnoji Vaněk et al (2016).

3.4.2 Kejda

Kejda vzniká při roštovém ustájení zvířat, a to bez podestýlky. Ve složení tak chybí rostlinné zbytky právě z podestýlky. Jde o směs tekutých a pevných exkrementů hospodářských zvířat. Směs exkrementů je v různém poměru smíchána s vodou. Kejda je uspokojivým zdrojem přijatelných živin pro rostliny, z veškerého obsahu dusíku v kejdě je nadpoloviční většina v amonné formě. Z tohoto důvodu dochází ke ztrátě NH_3 při aplikaci na povrchu půdy, dále je to díky vysokým teplotám nebo suchému větrnému počasí. Legislativa je striktní při zapravení, které musí proběhnout do 24 hodin od aplikace. Při aplikaci jsou v dnešní době používány

speciální aplikátory kejdy přímo do půdy. Tento styl zapravení snižuje ztráty NH_3 na minimum, avšak náklady na aplikaci jsou značně vyšší. Dávka kejdy na 1 hektar se pohybuje okolo 25–30 t. Nýbrž záleží na původu kejdy, zda pochází od skotu, prasat nebo drůbeže. Protože například kejda od drůbeže má až 3x vyšší obsah dusíku a fosforu než kejda od skotu (Iftikhar et al, 2019; Vaněk et al, 2016).

Původ kejdy	Sušina (%)	Organické látky (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Skot	7,8	6	0,32	0,07	0,4	0,14	0,04
Prasata	6,8	5,3	0,5	0,13	0,19	0,24	0,04
Drůbež	11,8	8,1	0,96	0,28	0,32	0,94	0,06

Tabulka č. 2: Obsah organických látek & živin v kejdě (Vaněk et al, 2016)

3.4.3 Čistírenské kaly

Podle Dohányose et al (1998), je čistírenský kal elementárně definován jako vodní disperze pevných částic. Kal, jako suspenze nerozpuštěných látek ve vodě, je v podstatě součástí procesu čištění odpadních vod, vznikající převážně na městských čistírnách odpadních vod (ČOV) při mechanickém a biologickém čištění. Jeho složení a vlastnosti se liší podle skladby čištěné odpadní vody a způsobu zpracování kalu před odvozem z ČOV. Rozmanitost složení kalu je obzvláště výrazná u průmyslových čistíren odpadních vod. Zpracování kalu je založeno na principu biologické stabilizace. Biologicky stabilizovaný kal, s obsahem sušiny do 10 %, pro své další využití musí být odvodněn a sušina zvýšena na úroveň přibližně 25–30 %. Pro odvodnění kalu se využívají různé metody, včetně kalolisů, síto pásových lisů nebo odstředivek. Po dosažení požadovaného obsahu sušiny se kal stává pevnou hmotou, která je odvážena mimo čistírenský objekt. Tento materiál lze pak v praxi využít v zemědělství.

Dusík v čistírenských kalech je přítomen v organické i minerální formě. Koncentrace obou forem je ovlivněna zpracováním kalů. Organický dusík je vázán na pevné částice kalů, jeho obsah je ovlivněn procesy odvodnění a sušení. Minerální dusík se zase snižuje s odvodněním, zahříváním a aerací. Většina minerálního dusíku je ve formě amonného, zvláště po anaerobním zpracování. Organický dusík tvoří převážně aminokyseliny, které se rychle mineralizují po aplikaci kalů do půdy. Z důvodů nižšího obsahu uhlíku a huminových kyselin, než je jejich obsah v hnoji, dochází u kalů k rychlejšímu rozkladu organických látek po aplikaci, než je tomu v případě rozkladu u hnoje (Černý, 2010).

3.4.1 Sláma

Sláma nachází v dnešní době své uplatnění jako organické hnojivo z důsledků omezování živočišné výroby v České republice, kde je používána výhradně jako stelivo. Vzniká tak přebytek slámy, která může být užitečně využita. Je to znamenitý zdroj organických látek a živin. Obecně se uvádí dávka slámy na jeden hektar mezi 5–6 tunami. Technologie hnojení slámou využívají hlavně podniky bez živočišné výroby. Faktory ovlivňující rozklad a efektivnost slámy při aplikaci na pole jsou kvalita zapravení, zapravovat slámu co nejvlhčí, rozdrcení a rozprostření po pozemku a nejvíce důležitý faktor je přihnojení dusíkem, jenž podpoří rozklad, protože sláma má nevýhodný poměr C : N. Množství dodaného dusíku na jednu tunu slámy je diskutabilní. Mühlbachová et al (2023) uvádí dávku čistého dusíku na tunu slámy 8–10 kg, nýbrž dle Vaňka et al (2016) se dávka pohybuje mezi 4-6 kg. Dusík lze dodat v podobně organických hnojiv či minerálních. Ve formě minerálních hnojiv se doporučuje podat močovinu (50–80 kg/ha). Vaněk et al (2016) v tématu přihnojení slámy dusíkem uvádí, že nelze použít ledkový dusík.

3.5 Dusíkatá hnojiva minerální

Podle Vaňka et al (2016) se dusíkatá minerální hnojiva rozdělují dle formy dusíku jenž obsahují. Dále uvádí, že podíl dusíkatých hnojiv je na celosvětovém trhu největší. Základ výroby dusíkatých hnojiv spočívá v syntéze amoniaku z vodíku a dusíku, na jejíž princip přišel Haber et Bosch na začátku 20. století. K vytvoření dusíkatého hnojiva je zapotřebí velké množství energie, postupným zdokonalováním se množství spotřebované energie snížilo na 1/5 z původního množství a přiblížilo se k hranici teoretického minima, jak ukazuje graf níže.

3.5.1 Hnojiva s ledkovým dusíkem

Jsou běžně označována jako ledky, patří sem ledek draselný, vápenatý, hořečnatý, nebo také sodný. Tato hnojiva se vcelku dobře rozpouštějí ve vodě. Ledková hnojiva jsou uplatňována hlavně při přihnojování během vegetace, jelikož aniont NO_3 – není v půdě sorbován nýbrž se nachází v půdním roztoku. Hnojení je účinné jen v malých dávkách. V dnešní době je jejich zastoupení na trhu minoritní (Vaněk et al, 2016).

3.5.2 Hnojiva s amonným dusíkem

Jedná se o formy síranu amonného a bezvodého amoniaku. Základem těchto hnojiv je v půdě málo pohyblivý, zejména kvůli sorpci, kationt NH_4+. Nejběžnější využití hnojiv s touto formou dusíku je základní hnojení, rozumně před setím či výsadbou. Rychlost působení je provázána

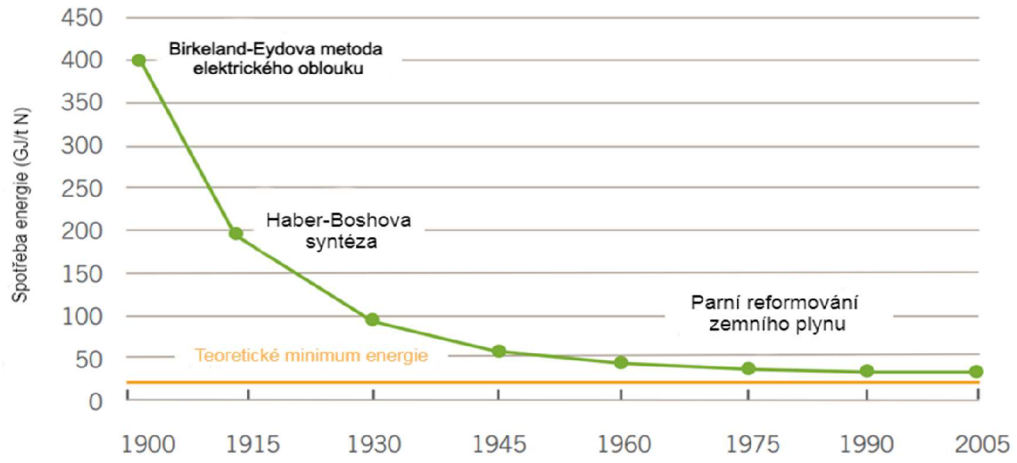
se sílou procesu nitrifikace amonného dusíku obsaženého v hnojivu (Vaněk et al 2016; Lee et al, 2024).

3.5.3 Hnojiva obsahující dvě formy dusíku

Hnojiva s dvěma formami dusíku zcela dominují trhu a zaujímají na něm většinovou pozici. Nejvýznamnějšími zástupci jsou ledek amonný a dále hnojiva jemu příbuzná, protože se vyrábí na jeho základě. Jsou jimi ledek amonný s vápencem, sádrou nebo dolomitem. V neposlední řadě do této skupiny spadá DASA a DAM, tato dvě hnojiva obsahují dokonce tři formy dusíku. Principem výše uvedených hnojiv je obsah dusíku ve více formách a v různém poměru (Fecenko & Ložek, 2000; Vaněk et al, 2016).

3.5.4 Hnojiva s postupně uvolňujícím se dusíkem

Jde o poměrně speciální skupinu hnojiv, skupinu lze dále rozdělit na hnojiva obalovaná a postupně rozpustná. Tyto hnojiva obvykle obsahují kolem 35 % dusíku ve formě organických nebo minerálních sloučenin, které jsou buď těžkorozpustné ve vodě, nebo jsou součástí minerálních či organických hnojiv, jejichž granule jsou pokryté nebo obaleny částečně rozpustnými nebo úplně rozpustnými látkami. V půdě postupně podléhají mikrobiálním a biochemickým procesům, které je transformují na minerální formy dusíku, které jsou pro rostliny přístupné. Jejich použití v konvenčním zemědělství není příliš časté. Skupina těchto hnojiv se výhradně používá v jiných odvětvích jako je zahradnictví či lesnictví nebo trávníkářství (Sun et al, 2015).



Graf č. 3.: Evoluce efektivity využití energie při výrobě amoniaku (Anundkas, 2000)

4 Metodika

V praktické části bakalářské práce byly analyzovány výsledky dlouhodobých experimentů s rotací plodin. Tyto experimenty byly prováděny na pěti různých místech v České republice, které se lišily půdními a klimatickými podmínkami (Červený Újezd, Hněvčeves, Humpolec, Lukavec u Pacova, Praha – Suchdol). Byly zahájeny na podzim roku 1996 a byly prováděny pod záštitou Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin ČZU v Praze.

V rámci experimentu se střídaly tři různé plodiny – brambory, ozimá pšenice a jarní ječmen. Na stanovišti Červený Újezd byla brambory nahrazena silážní kukuřicí kvůli agrotechnickým možnostem. Tato krátká rotace plodin umožňuje sledovat jak krátkodobé, tak i dlouhodobé změny sledovaných parametrů. Experiment byl organizován tak, aby každá z plodin byla pěstována každý rok, v třech blocích.

Vzhledem k aplikaci organických hnojiv, úpravám půdy a sklizní nemá experiment randomizaci, ale opakování jsou zajištěna v rámci varianty nebo bloku.

V rámci této bakalářské práce byla provedena analýza dat z pokusných lokalit Praha – Suchdol a Červený Újezd. Velikost pokusných parcel byla 60,5 m² na stanovišti Suchdol a 80 m² na stanovišti Červený Újezd.

4.1 Použitá hnojiva

Hnojení v rámci experimentu spočívá v aplikaci stejné dávky dusíku ve výši 330 kg/ha po celou dobu rotace tří plodin na všech variantách, s výjimkou kontrolní skupiny. Organická hnojiva (chlévský hnůj, čistírenské kaly, sláma) jsou aplikována na podzim pouze pod brambory (kukuřicí). Pro potřeby experimentu jsou všechny stanoviště zásobovány kaly z totožné čistírny odpadních vod, hnojem a slámou z jednotlivých pokusných stanic.

Fosforečná a draselná minerální hnojiva jsou aplikována ke všem plodinám na podzim. Minerální dusíkatá hnojiva jsou aplikována u brambor a ječmene před založením porostu, přičemž dávka dusíku na pšenici je rozdělena na dvě části. První část je použita jako regenerační přihnojení a druhá část jako produkční přihnojení. Specifické dávky živin v aplikovaných hnojivech jsou uvedeny v tabulce č. 3. Jako dusíkaté minerální hnojivo je používán amonný ledek s vápnem, fosforečné hnojivo je trojitý superfosfát a draslík je poskytován draselnou solí.

4.1.1 Kontrola

Kontrolní varianta je specifická v tom, že není podrobena žádné formě hnojení. Je navržena jako referenční bod pro porovnání s ostatními variantami, které jsou podrobeny různým typům hnojení. Tato kontrola umožňuje hodnotit vliv hnojení na výsledky experimentu a poskytuje „benchmark“ pro zhodnocení účinnosti různých hnojiv a postupů aplikace.

4.1.2 Kal

Tato varianta je zařazena do hnojení s čistírenskými kaly, přičemž dávka odpovídá 330 kg dusíku na hektar za celou rotaci tří plodin. Čistírenské kaly jsou používány jako organické hnojivo a jsou aplikovány na podzim pod brambory nebo kukuřici, v souladu s pokyny experimentu. Všechny použité kaly pocházejí ze stejné čistírny odpadních vod.

4.1.3 Hnůj

Následující varianta je hnojena na podzim pod brambory nebo kukuřici pomocí dávky chlévského hnoje, která odpovídá 330 kg dusíku na hektar za celou rotaci tří plodin. Hnůj použitý k aplikaci je vždy získán z příslušného pokusného stanoviště.

4.1.4 Hnůj ½ + dusík

V této variantě je plodina hnojena s poloviční dávkou chlévského hnoje na podzim pod brambory nebo kukuřici. Pro následné plodiny ječmene a pšenice je použita nižší dávka minerálních dusíkatých hnojiv, konkrétně ledkem amonným s vápencem.

4.1.5 Dusík

Ve variantě N je parcelka hnojena pouze minerálními dusíkatými hnojivy, konkrétně ledkem amonným s vápencem. U brambor a ječmene je celková dávka aplikována jednorázově na jaře před setím. Avšak, u pšenice je celková dávka dusíku rozdělena na dvě dílčí dávky: první dávka je aplikována jako regenerační hnojení a druhá jako produkční hnojení.

4.1.6 NPK

V této variantě je používáno dusičnaté minerální hnojivo (amonný dusík s vápnem). Každá rostlina je na podzim hnojena draslíkem (draslíková sůl 60) a fosforem (trojnásobný superfosfát). Dusičnatá minerální hnojiva jsou rovněž aplikována na jaře u každé rostliny. U pšenice je dávka znovu rozdělena na dvě menší části.

4.1.7 Dusík + sláma

Na jaře je tato verze hnojena ekvivalentním množstvím dusičnatých minerálních hnojiv (amonný dusík s vápnem). Na podzim je k plodině brambor nebo kukuřice zaoráno 5 tun na hektar ječné slámy.

Varianty	Brambory			Pšenice			Ječmen		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Kontrola	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Kal 1	330	201	55	0	0	0	0	0	0
Hnůj 1	330	118	374	0	0	0	0	0	0
Hnůj 1/2 + N	165	59	187	110	0	0	55	0	0
N	120	0	0	140	0	0	70	0	0
NPK	120	30	100	140	30	100	70	30	100
N + sláma	138	6	47	140	0	0	70	0	0

Tabulka číslo. 3: Množství živin aplikovaných hnojivy v průběhu tříletého cyklu (vlastní zpracování dle oficiální metodiky KAVR)

4.2 Pěstovaná odrůda pšenice

Již několik let je na pokusech katedry pěstovanou odrůdou ozimé pšenice RTG Reform. Odrůda pšenice RGT Reform je ozimý typ pšenice, který je známý svým vysokým výnosem potvrzeným jak v praxi, tak i v pokusech. Charakterizuje se střední až nižší výškou rostlin, je polo-pozdní až pozdní, má stabilní A kvalitu a stabilní číslo poklesu. Tato odrůda má dobrou odolnost proti poléhání, vynikající mrazuvzdornost a zdravotní stav. Je nejpěstovanější odrůdou v České republice, Německu, Beneluxu, Polsku a Švédsku.

Zkušenosti s pěstováním RGT Reform v praxi ukázaly, že odrůda má nadprůměrný zdravotní stav a vysoký výnosový potenciál, což bylo demonstrováno na příkladu z Dobrušky ve východních Čechách, kde byl zaznamenán výnos 9,06 t/ha. Odrůda vyžaduje intenzivní vedení porostu, včetně adekvátního hnojení dusíkem, a je vhodná pro lepší pozemky s dostatkem vláhy. Důležitá je její odolnost poléhání a kvalita zrna, které je plné a vizuálně přitažlivé. Odrůda se stala součástí široké škály novinek v oblasti pšenice, které byly prezentovány na trhu, včetně odrůd s vysokým výnosovým potenciálem a vynikajícím zdravotním stavem, jako je RGT Revolver, který je výsledkem křížení RGT Reform a Sheriff. RGT Revolver má nízký obsah dusíkatých látek, vysoký obsah škrobu, mrazuvzdornost a odolnost poléhání na úrovni odrůdy RGT Reform, což z něj činí odrůdu s vysokou adaptabilitou a vhodnou pro různé pěstitelské podmínky (Shejbal, 2022).

4.3 Charakteristika stanovišť

4.3.1 Červený Újezd

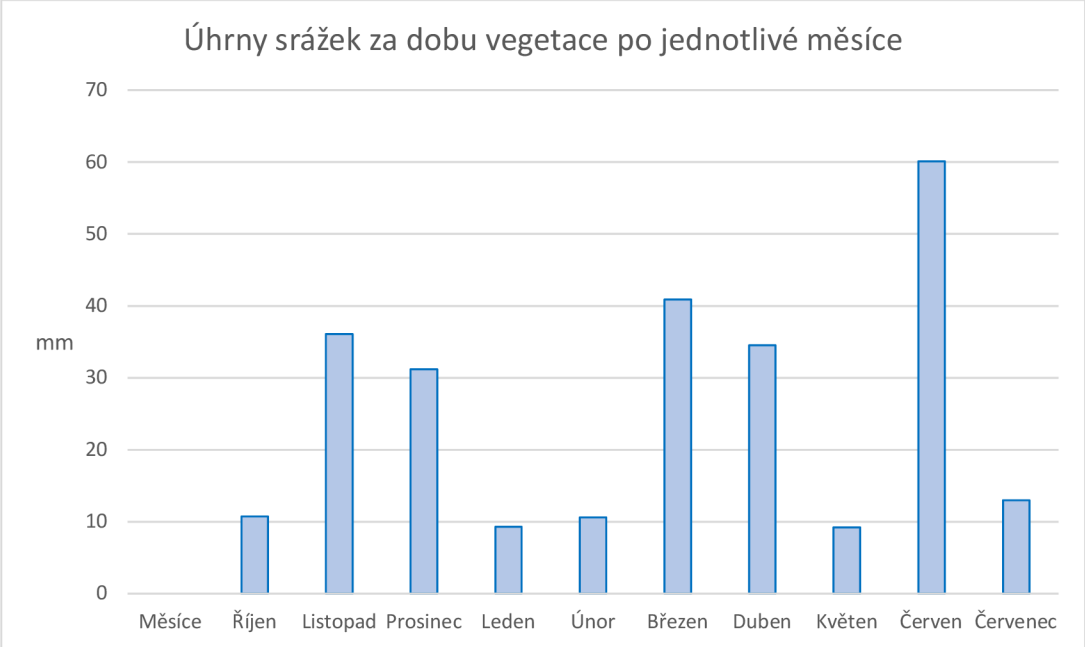
Červený Újezd reprezentuje vesnický prostor v rámci okresu Praha-západ. Je situován 7 km na západ od okrajů hlavního města. Detailní umístění experimentálního pole je určeno koordináty 50°4'22"N, 14°10'19"E. Experimentální pole se rozprostírá ve výšce 400 metrů nad mořem. Místo charakterizuje průměrná teplota v průběhu roku 7,7 °C a celkový roční úhrn srážek dosahuje 493 milimetrů. Zdejší půda představuje modální hnědozem s hlinitou strukturou. Spadá do řepařské výrobní oblasti.

4.3.2 Suchdol

Suchdol představuje urbanistický segment na severním okraji metropole Prahy. Experimentální základna se umístila v periferní části kampusu České zemědělské univerzity. Detailní určení pozice pozemku odpovídá souřadnicím 50°7'40"N, 14°22'33"E. Vzhledem k omezené výšce nad hladinou moře, která dosahuje 286 metrů, panuje v této oblasti zvýšená průměrná teplota ročně, a to 9,1 °C. Celkové roční srážky dosahují množství 495 milimetrů. Tato část je charakterizována umístěním na plodných, modálně tvořených černozemích. Struktura půdy je definována jako hlinito-písčitá. Experimentální areál spadá do řepařské výrobní zóny. Na tomto stanovišti se nachází meteorologická stanice, díky stanici jsme mohli pozorovat průběh počasí po celou dobu vegetace. Průběh počasí naprosto nevyvratitelně ovlivňuje tvorbu výnosu a výrazně ovlivňuje kvalitu produktů pšenice. Hodnotil se úhrn srážek a průměrná měsíční teplota.

4.3.2.1 Srážky na stanovišti Suchdol

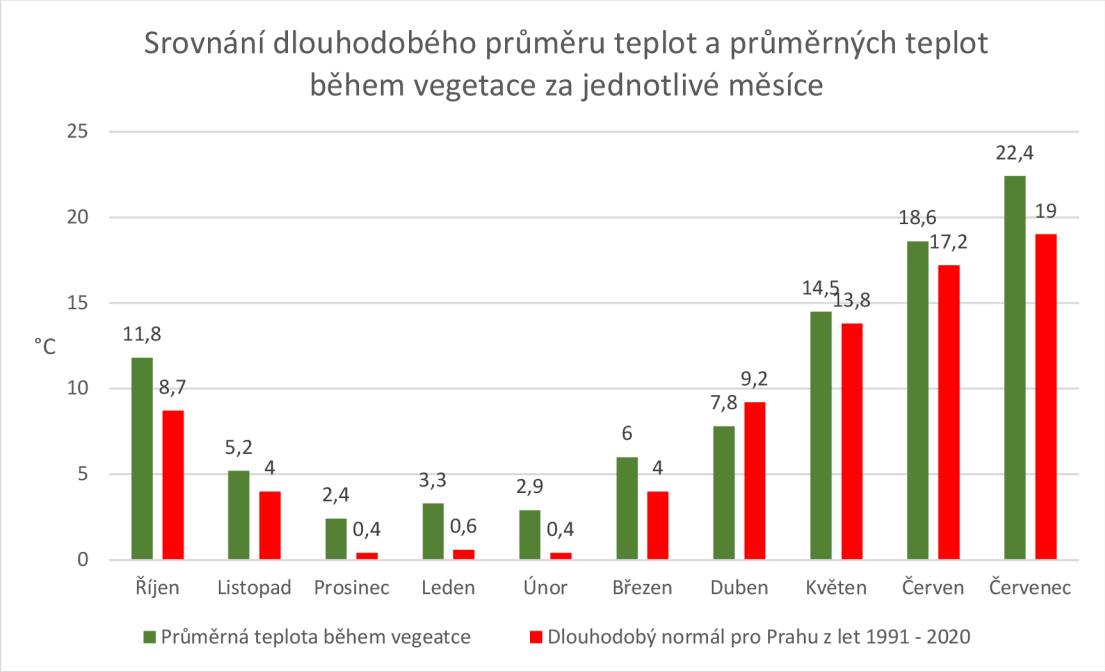
Graf č. 4 ilustruje měsíční srážkové úhrny na experimentálním pozemku v Suchdole od výsevu ozimé pšenice dne 15. října 2022 až po její sklizeň 21. července 2023. Během celého monitorovaného intervalu bylo zaznamenáno celkem 255,6 mm srážek. Je důležité poznamenat, že údaje v grafu jsou založeny na přesném rozmezí od data výsevu po sklizeň. V říjnu, ještě před výsevem, byl zaznamenán srážkový úhrn 10,7 mm. Během následujících měsíců listopadu a prosince byly srážky bohatší než předešlé měsíce. Leden a únor byly výrazně pod průměrem, avšak v rané jarní periodě byly srážky častější a přicházeli ve větších množstvích. Květen byl na srážky nejchudší, spadlo jen 9,2 mm za celý měsíc. Co se června týká, byl za celé sledované období na srážky nejbohatší, ale stále však se jednalo o průměrný úhrn, přihlédneme-li ke klimatickému normálu z let 1991–2020. Červenec se připojil k suchým měsícům, a tudíž byla sklizeň o asi 14 dní dříve, než bylo předpokládáno.



Graf č. 4: Měsíční úhrn srážek během vegetace ozimé pšenice

4.3.2.2 Průměrná měsíčná teplota na stanovišti Suchdol

Z grafu se dozvídáme průměrné měsíční teploty za celou dobu vegetace, data byla srovnána s dlouhodobým normálem pro Prahu z let 1991–2020. Jak je vidět, drtivá většina měsíců je nadprůměrná. Největší extrémy oproti normálu dosahují zimní měsíce, kdy průměrná teplota byla až pětkrát vyšší, než ukazuje normál. Odchylky mezi jarními a letními měsíci dosahují maximálně 2°C. Byla hodnocena data od výsevu (15. 10. 2022) až do sklizně (21. 7. 2023).



Graf č. 5: Porovnání průměrných měsíčních teplot na stanovišti Suchdol s dlouhodobým normálem pro Prahu z let 1991–2020.

4.4 Zpracování a hodnocení vzorků

Po odběru úrody byly vzorky roztříděny dle variant, následně byly podrobeny procesu sušení do stavu stabilní sušiny, což zamezilo jejich poškození nebo ovlivnění přesnosti výsledků při posuzování. Vzorky, již dosáhly požadovaného stupně vysušení, byly dále rozemlety v mlýnku s rotujícími noži. Sláma byla rozemleta nejdříve na větším mlýně se sítem o průměru 10 mm, až byly vzorky předem mlety, tak se mlely na menším mlýně, který byl vybaven sítem s průměrem dírek 1 mm. Zrna se mlela jen na mlýně s menším sítem. Rozemleté vzorky se uskladnily do připravených PET lahviček, byly řádně označeny (číslo varianty, pokusná stanice, produkt sklizně a druh rostliny). Po této přípravě byl u vybraných vzorků proveden rozbor na obsah dusíkatých látek.

4.4.1 Stanovení obsahu dusíku

K určení množství dusíku ve zrnu a slámě byla aplikována Kjeldahlova analytická metoda, umožňující zjištění celkového obsahu dusíku v obou vzorcích – v zrnu i ve slámě pšenice. Proces zjišťování dusíku je rozdělen do tří hlavních etap: mineralizace, destilace a titrace.

Prvním krokem, mineralizace, je vážení vzorku o hmotnosti 0,5 g, k němuž je přidán katalyzátor a koncentrovaná kyselina sírová. Při zahřívání dojde k oxidaci organicky vázaného dusíku přítomného v rostlinném materiálu, který se transformuje na amoniak. Tento amoniak reaguje s kyselinou sírovou, čímž vzniká síran amonný.
Následuje destilace zmineralizovaného vzorku s vodní parou, během které se uvolněný dusík ve formě amoniaku absorbuje do přebytku titračního roztoku kyseliny borité. Závěrečná fáze, titrace, probíhá zpětnou acidobazickou titrací s použitím kyseliny chlorovodíkové, čímž se určí skutečný obsah dusíku ve vzorku. Celý proces, od destilace po titraci, je automatizován pomocí přístroje Vapodest 50s, který nejenže určuje obsah dusíku, ale také zpracovává a ukládá výsledky měření.

4.4.2 Stanovení odběru dusíku

Odběr dusíku produkty sklizně byl zjištěn na základě analytických výsledků, které ukázaly obsah dusíku ve zrnu a slámě ozimé pšenice. Procentuální hodnoty dusíku zjištěné v rostlinných vzorcích byly nejdříve převedeny na absolutní množství dusíku vyjádřené v kilogramech na tunu (kg/t). Tato hodnota byla poté vynásobena celkovým výnosem zrna nebo slámy, což je vyjádřeno v tunách na hektar (t/ha), aby se získal celkový odběr dusíku produkty sklizně z dané plochy.

4.4.1 Efektivita využití dusíku

Efektivita využití dusíku byla vypočítána podle metodiky Balíka et al (2012).

Vzorec:
RE – N = (odběr dusíku na hnojené variantě – odběr dusíku na nehnojené variantě) / dávka N na hnojené variantě

4.4.2 Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku

Partial Factor Productivity of Nitrogen (PFP-N) je ukazatel, který vyjadřuje produktivitu aplikovaného dusíku ve vztahu k výnosu plodiny. V zemědělské praxi se používá k hodnocení účinnosti využití dusíku a jeho přínosu k produkci plodin. PFP-N se vypočítá jako poměr mezi výnosem plodiny (v kilogramech na hektar) a množstvím aplikovaného dusíku (v kilogramech na hektar). Tento ukazatel poskytuje přehled o tom, kolik kilogramů plodiny bylo vyprodukováno na jeden kilogram aplikovaného dusíku.

Vzorec pro výpočet je:

PFP-N = Výnos plodiny (kg/ha) / Aplikovaný dusík (kg N/ha)

Výpočet PFP-N umožňuje zemědělcům a agronomům posoudit, jak efektivně rostliny využívají dodaný dusík, a pomáhá identifikovat příležitosti pro zlepšení managementu hnojení. Vysoká hodnota PFP-N indikuje efektivní využití dusíku, zatímco nízká hodnota může signalizovat nadměrnou aplikaci dusíku nebo jeho neefektivní využití rostlinami. Optimalizací využití dusíku lze dosáhnout nejen vyšších výnosů, ale také snížit negativní dopady na životní prostředí způsobené ztrátami dusíku.

5 Výsledky

Hodnocení výsledků bylo provedeno na základě údajů vyplívající z dlouhodobého pokusu vedené katedrou agroenviromentální chemie a výživy rostlin na fakultě Agrobiologie potravinových a přírodních zdrojů na ČZU. Data, jež byla analyzována, a aplikována pocházela ze sezóny 2022/23.

5.1 Výnos zrna a slámy

5.1.1 Výnos zrna

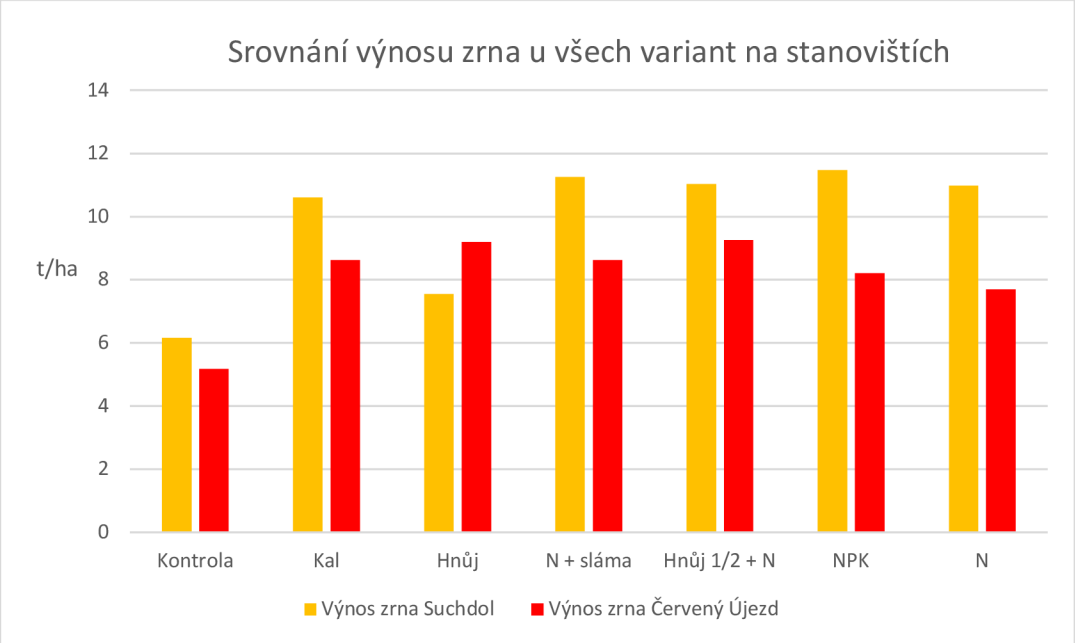
5.1.1.1 Suchdol

U referenčního vzorku na pozemku v Suchdolu byla zaznamenána produkce 6,13 tuny na hektar. Nejmenší produkce mimo kontrolní variantu byla pozorována u varianty s aplikací hnoje, kde produkce dosáhla 7,55 tuny na hektar. Ve srovnání s referenčním vzorkem to představovalo zvýšení o 23 %. Druhá nejmenší produkce byla zaznamenána u varianty s aplikací čistírenského kalu, kde výnos činil 10,61 tuny na hektar. Na druhé straně, největší výnos byl zaznamenán u varianty hnojené NPK, kde bylo dosaženo výnosu 11,47 tuny na hektar. Oproti kontrolní variantě zde výnos vzrostl až o 53 %. Za zmínku také stojí varianty, kde výnos přesáhl 11 tun na hektar, jsou to varianty N + sláma (11,26 t/ha) a Hnůj ½ + N (11,02 t/ha).

5.1.1.2 Červený Újezd

Na tomto stanovišti kontrolní varianta dosáhla výnosu 5,17 tun na hektar. Výnosu s nejmenší hodnotou, mimo kontrolní variantu, bylo dosaženo u vzorku hnojené pouze dusíkem, výnos činil 7,7 tun na hektar. Při porovnání s kontrolou se jedná o nárůst okolo 49 %. Pouze o 0,51 tuny na hektar byl vetší výnos na variantě hnojené NPK oproti variantě hnojené jen dusíkem. Největšího výnosu dosáhl vzorek, kde se aplikovala poloviční dávka hnoje a poté se přihnojilo dusíkem, výnos zde byl 9,25 tun na hektar. V porovnání s kontrolní variantou jde o nárůst 78,9 %. Přijatelných výsledků bylo dosaženo i na variantách Hnůj (9,19 t/ha), Kal (8,62 t/ha) a N + sláma (8,62 t/ha)

Následující graf č. 6 podrobně zobrazuje výnosy zrna na všech variantách u obou stanovišť.



Graf č. 6: Srovnání výnosu zrna všech variant na obou stanovištích Suchdol a Červený Újezd

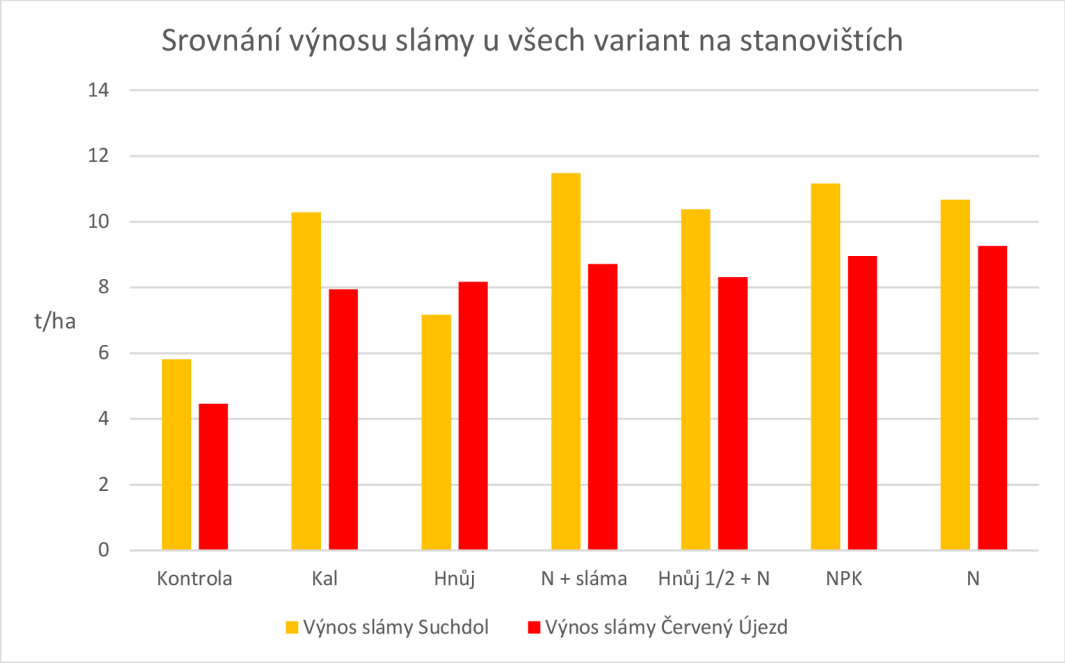
5.1.2 Výnos slámy

5.1.2.1 Suchdol

Na kontrolní variantě výnos dosáhl hodnoty 5,81 tun na hektar. Varianta Hnůj byla na tom nejhůře, co se výnosu slámy týče, pokud nebudeme brát v potaz kontrolu, bylo dosaženo výnosu 7,17 tun na hektar. Mezi kontrolou a variantou Hnůj byl procentuální rozdíl necelých 23, 5 %. Nejvyššího výnosu dosáhla kombinovaná varianta hnojená slámou a dusíkem. Výše výnosu byla 11,48 tun na hektar. V porovnání s kontrolou je procentuální rozdíl výnosů 97,5 %. Varianty, kde výnosy dosahovali přes 10 tun slámy na hektar jsou všechny ostatní nezmíněné (Kal, Hnůj ½ + N, NPK, N). U těchto variant se výnosy slámy pohybovaly v rozmezí intervalu 10,29 – 11,16 tun na hektar.

5.1.2.2 Červený Újezd

Kontrolní varianta vykazovala výnos 4,46 tun slámy na hektar. Hodnotu nejvyššího výnosu na tomto stanovišti dosáhla varianta N + sláma a to 9,26 tun na hektar. Tato varianta vykázala nejvyšší výnos i na stanovišti Suchdol. Procentuální rozdíl mezi nejvyšším (N + sláma) a nejnižším výnosem (Kontrola) činí 107 %. Ostatní nezmíněné varianty se svými výnosy pohybují v rozpětí 7,95 – 8,96 tun na hektar v tomto pořadí; Kal (7,95 t/ha), Hnůj (8,17 t/ha), N (8,31 t/ha), Hnůj ½ + N (8,71 t/ha) a NPK (8,96 t/ha), jak zobrazuje graf č. 7.



Graf č. 7: Srovnání výnosu slámy variant na stanovištích Suchdol a Červený Újezd

5.2 Obsah dusíku v zrnu a slámě

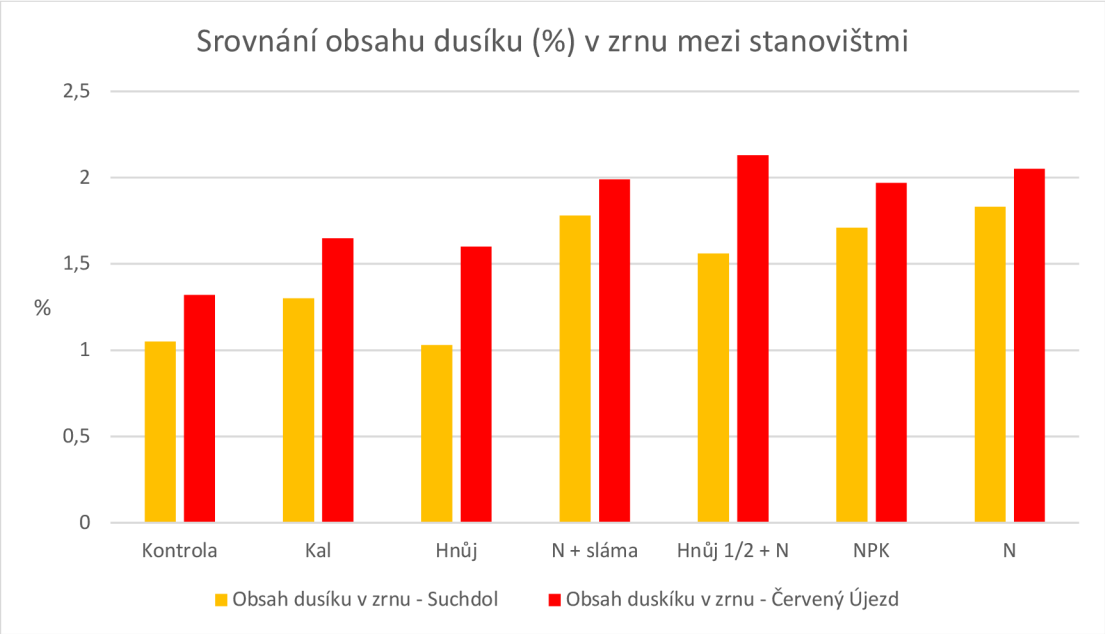
5.2.1 Obsah dusíku v zrnu

5.2.1.1 Suchdol

V rámci kontrolní varianty byl obsah dusíku zjištěn ve výši 1,05 %. Avšak nejnižší obsah dusíku v zrnu byl naměřen u varianty Hnůj, konkrétně 1,03 %. Procentuální rozdíl mezi Kontrolou a variantou Hnůj činí necelé 2 %. Varianta hnojená pouze N byla stanovena jako ta s nejvyšší hodnotou obsahu dusíku v zrnu, přesněji 1,83 %. Převedeno na procenta je rozdíl mezi nevyšší a nejnižší naměřenou hodnotou 77,5 %. Dále sestupně seřazené za sebou dle hodnoty naměřeného dusíku v zrnu jsou varianty: N + sláma (1,78 %), NPK (1,71 %), Hnůj ½ + N (1,56 %) a Kal (1,3 %). Graficky jsou tyto hodnoty znázorněné v grafu č. 8.

5.2.1.2 Červený Újezd

Obsah dusíku v zrnu na kontrolní variantě byl stanoven na hodnotu 1,32 %, jedná se nejnižší obsah dusíku v zrnu na daném stanovišti. Nejvíce dusíku v zrnu bylo zjištěno na variantě hnojené pouze N, obsah dusíku byl stanoven na 2,13 %. Porovnáno procentuálně, rozdíl mezi těmito variantami se pohybuje okolo 61,5 %. Je třeba zmínit variantu hnojenou N + sláma, jelikož také dosáhla hodnoty přesahující 2 %, přesněji 2,05 %. Varianty těsně pod hranicí 2 % jsou Hnůj ½ + N (1,99 %) a NPK (1,97 %). Dále byly hodnoty obsahu dusíku stanoveny u variant Hnůj na 1,6 % a u Kalu bylo naměřeno 1,65 %. Grafické znázornění je uvedeno v grafu č. 8.



Graf č. 8: Srovnání obsahu dusíku v zrnu mezi stanovišti Suchdol a Červený Újezd

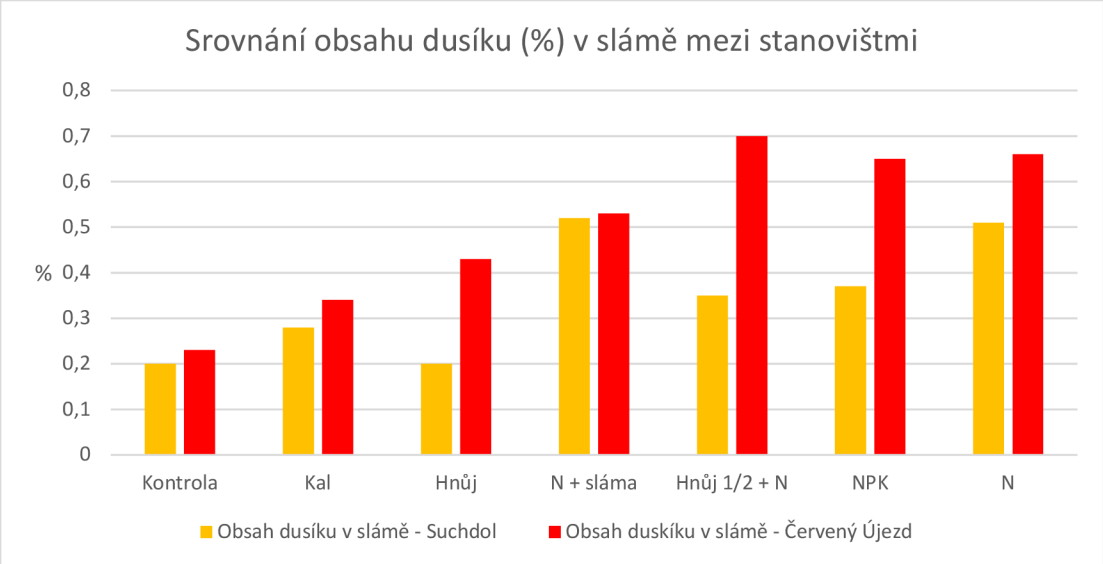
5.2.2 Obsah dusíku ve slámě

5.2.2.1 Suchdol

Hodnota obsahu dusíku ve slámě v rámci kontrolní varianty dosáhla výše 0,2 %. Úplně stejných hodnot bylo dosaženo také na variantě Hnůj. Další v pořadí byl Kal s 0,28 %. Následovně byl zjištěn obsah dusíku 0,35 % u varianty Hnůj ½ + N. Hodnoty 0,37 % vykazovala varianta NPK. Druhý nejvyšší obsah dusíku byl zjištěn na parcele hnojené pouze N, naměřeno bylo 0,51 %. Nejvyššího obsahu dusíku ve slámě bylo dosaženo u varianty N + sláma, zde byl obsah dusíku stanoven na 0,52 %, tedy jen o setinu menší, než je druhá nejvyšší naměřená hodnota. Mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou je procentuální rozdíl 160 %. Obsah dusíku ve slámě na tomto stanovišti vizualizuje graf č. 9.

5.2.2.2 Červený Újezd

Nejvyšší obsah dusíku ve slámě na tomto stanovišti byl naměřen u varianty hnojené pouze minerálním dusíkatým hnojivem, stanoveno bylo 0,7 %. Druhá a třetí nejvyšší hodnota byla zaznamenána na variantách N + sláma, konkrétněji 0,66 %, následovala varianta NPK s hodnotou 0,65 %, v těchto variantách byl rozdíl pouhou setinu. Na parcele Hnůj ½ + N byl obsah dusíku ve slámě stanoven na 0,53 %. Varianta hnojená pouze hnojem vykazovala hodnotu 0,43 %. Mimo kontrolu byl nejnižší obsah dusíku ve slámě zjištěn na variantě Kal, přesněji 0,34 %. Na kontrole bylo naměřeno 0,23 %. Procentuální rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou je 204 %. Obsah dusíku ve slámě na tomto stanovišti vizualizuje graf č. 9.



Graf č. 9: Srovnání obsahu dusíku ve slámě mezi stanovišti Suchdol a Červený Újezd

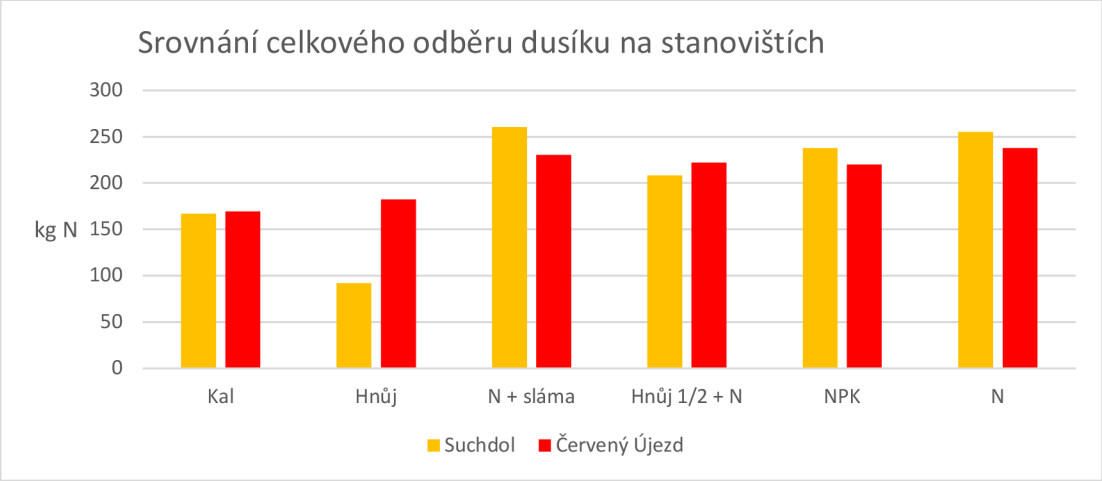
5.3 Celkový odběr dusíku

5.3.1 Suchdol

Na všech hnojených variantách byl vypočítán celkový odběr dusíku, odběry byly spočítány ze zrna i slámy dohromady. Největšího odběru dusíku bylo dosaženo na variantě hnojené dusíkem a slámou, odběr činil 260,124 kg čistého dusíku. Druhá nejvyšší hodnota, konkrétně 255, 351 kg N, byla zjištěna u varianty hnojené pouze dusíkem. Třetího nejvyššího výsledku dosahuje varianta, jež byla vyživována NPK, a to 237,429 kg N. Na variantě Hnůj ½ + N bylo dosaženo výsledku 208,242 kg N. Výrazně nižšího odběru dusíku vykazovala varianta s čistírenskými kaly, odběr byl stanoven na 166,742 kg čistého N. Nejnižší hodnota byla vypočítána na variantě Hnůj a to 92,105 kg čistého N. Viz graf č. 10.

5.3.2 Červený Újezd

Na tomto stanovišti také proběhl výpočet odběru dusíku (kg N) na všech hnojených variantách. Odběr je spočítán ze zrna a slámy dohromady. Čtyři varianty dosáhly velmi podobných odběrů, výsledky se liší jen o pár jednotek kilogramů. Nejvyšší hodnota byla naměřena u varianty N + sláma, hodnota dosahuje 237,826 kg čistého N. Následuje varianta Hnůj ½ + sláma, kde odběr činí 230,238 kg N. Dále varianta hnojená pouze dusíkem vykázala odběr 222,18 kg N. Kde se hnojilo NPK byl odběr stanoven na 219,977 kg N. Varianty Kal a Hnůj dosáhly o poznání nižších odběrů než varianty výše uvedené. Odběr dusíku u hnoje byl vypočítán na 182,171 kg N. Nejnižšího odběru dosáhl Kal, vypočteno bylo 169,26 kg N.



Graf č. 10: Srovnání celkového odběru dusíku na stanovištích Suchdol a Červený Újezd.

5.4 Efektivita využití dusíku

V tabulce č. 4 jsou uvedeny vypočtené hodnoty efektivity využití dusíku pro různé varianty experimentu během všech monitorovaných let. Jak je vidět, zcela nejefektivněji využili dusíku varianty hnojené organicky, a to na stanovišti Červený Újezd. Hnůj dosáhl efektivity využití 314,1 % a varianta Kal 181,5 %. Hodnoty kombinovaných variant byly vypočteny následovně: Hnůj ½ + N 102,6 % a N + sláma 119,9 %. Minerálně hnojené varianty dosáhly téměř totožných hodnot, NPK 101,1 % a N 101,2 %. Stanoviště Suchdol vyšlo odlišně. Nejvyšší využitelnost vykazovala varianta Kal (180,9 %). Následovala N + sláma s 145,3 procenty, pouze minerálně hnojené varianty vyšli také podobně, N 113,7 % a NPK 115,1 %. Varianta Hnůj ½ + N dosáhla využitelnosti dusíku z 94,2 %. Hnůj dosáhl nejmenší využití dusíku, a to pouze 47,9 %.

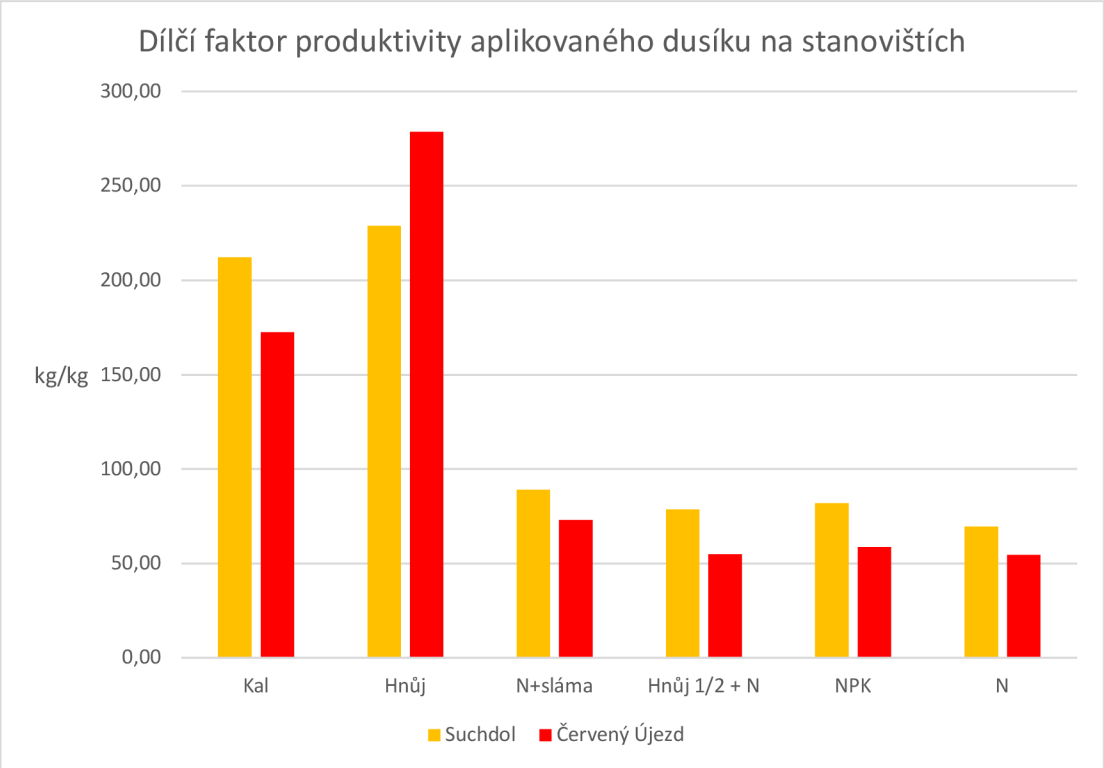
	Efektivita využití dusíku	
	Červený Újezd	Suchdol
Varianta	(%)	
Kal	181,5	180,9
Hnůj	314,1	47,9
N+sláma	119,9	145,3
Hnůj 1/2 + N	102,6	94,2
NPK	101,1	115,1
N	101,2	113,7

Tabulka č. 4: Efektivita využití dusíku na stanovištích Suchdol a Červený Újezd, vypočítáno dle metodiky Balíka et al (2012)

5.4.1 Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku

Na Červeném Újezdě bylo spočítáno 278 kg/kg u varianty Hnůj a Kal 172,4 kg/kg. Hnůj + sláma dosáhla 54,73 kg/kg, NPK 58,64 kg/kg, na variantě N bylo spočítáno 55 kg/kg, Hnůj ½ + N dosáhla hodnoty 73,12 kg/kg. Na Suchdole bylo sledováno podobného trendu, organické varianty dosáhly vysokých hodnot a to Hnůj 228 kg/kg, Kal 212,2 kg/kg. Následovala varianta N + sláma 89,01 kg/kg, v závěsu NPK 81,93 kg/kg. Hnůj ½ + N dosáhla hodnoty 78,71 kg/kg. Nejmenší efektivity vykazovala varianta hnojená pouze N, konkrétněji 69,71 kg/kg.

Dále uvedený graf č. 11 jasně popisuje využití dusíku v rámci různých systémů hnojení. Nejvyššího dílčího faktoru produktivity dusíku bylo stanoveno na variantách hnojených organicky, tedy hnojem a čistírenským kalem. Stalo se tak na obou stanovištích.



Graf č. 11: Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku na stanovištích Suchdol a Červený Újezd

6 Diskuse

6.1 Výnos zrna a slámy

Průměrný výnos zrna ozimé pšenice v České republice byl v roce 2015 dle Českého statistického úřadu 6,62 t/ha. Výsledky z obou zkoumaných stanovišť byly vyšší, než je tento celostátní průměr, nepočítaje nehnojené kontrolní varianty.

Získané informace ukazují, že na pokusných plochách v Praze – Suchdole a Červeném Újezdě byl ověřen značný efekt použití dusíkatých hnojiv na produkci ozimé pšenice. V porovnání s kontrolními plochami, kde nebyla použita hnojiva, bylo zaznamenáno zlepšení výnosů ve všech případech, kde se aplikovala dusíkatá hnojiva, a to jak ve formě organické, tak minerální. Jednoznačné rozdíly mezi stanovišti a různými variantami jsou zřetelné, vizuální zobrazení výsledků interpretují grafy č. 7 a 6. Na variantách hnojenými organickými hnojivy byly zaznamenány výnosy nižší. Nejspíše z důvodu nedostatečného přísunu vody, kdy kvůli suchu nedochází k postupnému uvolňování živin z organické hmoty. Jelikož jsou organická hnojiva aplikovány k předplodině, nejspíše došlo ke stavu, kdy se živiny uvolnily více v prvním roce po aplikaci. Zřejmě tak předplodina odebrala více živin, z tohoto důvodu na pšenici v druhé trati nezbylo velké množství dusíku, který by mohla využít. Díky této skutečnosti nebyly výnosy na organicky hnojených variantách hodně nadprůměrné, jako na minerálně nebo kombinovaně hnojených. Proč byly výnosy na variantách hnojených kombinovaně a minerálně nejvyšší odůvodňuji, že aplikací minerálních dusíkatých hnojiv můžeme zajistit, že půda obdrží dusík právě ve chvíli, kdy je pro rostlinu v jejím vývojovém stadiu nejpotřebnější. Tímto způsobem, kombinací organického a minerálního dusíkatého hnojiva, lze i v letech méně příznivých pro pěstování dosáhnout vysokých výnosů.

Litke et al (2018) v rámci svých pokusů také potvrdili, že hnojení dusíkem pozitivně ovlivňuje tvorbu výnosu a obsah dusíku v produktech pšenice. Přičemž využití dusíku rostlinami bylo větší na pokusech hnojených minerálními hnojivy. Jejich pokusy obsahovaly varianty hnojené minerálním dusíkem při různých dávkách, konkrétně N_{60}, N_{90}, N_{120}, N_{150}, N_{180}, N_{210} a N_{240}. Z pokusů vzešlo zjištění existence korelace mezi výnosem a dávkou dusíku, výnos lineárně rostl s dávkou, avšak jen do dávky N_{180}.

Balík et al (2012) upřesňuje poznatek, že nejen hnojení dusíkem má veliký vliv na výnos, ale že působení dodaného dusíku hnojením na výnos a kvalitu je větší na horších stanovištích, naproti tomu na stanovištích s velkým výnosovým potencionálem nepřikládají hnojení dusíkem tak velkou roli. Uvádí, že na úrodných půdách je rostlinami využíván půdní dusík k tvorbě

výnosu asi z 80 %, na horších stanovištích je závislost na hnojení mnohem větší, nýbrž rostliny zde dusík z půdy využívají jen z asi 60 %. Jejich tvrzení vychází z patnáctiletého pozorování v rámci pokusů KAVR, tedy ze stejných pokusů jako sleduje tato závěrečná práce. Za názorem, že hnojení více ovlivňuje výši výnosu na půdách, jež jsou chudší na živiny, si stojí i Hecjman et al (2012). Jejich pokusy probíhali na živiny chudších i bohatších stanovištích. Kontrolní varianty jim dosáhly za několik let výše výnosu mezi 5,5 – 6,5 t/ha, Tyto výsledky korespondují s výnosem na kontrolní variantě na stanovišti Suchdol i Červený Újezd, výše výnosu kontrolní varianty dosáhla hodnoty 5,17 t/ha na Červeném Újezdě a na Suchdole 6,16 t/ha v roce 2023. K tvrzení nezpochybnitelného vlivu stanoviště na výnos se přidává i Zimolka (2005), dle něj je výnos ovlivňován z 25 % stanovištěm, největší roli v rámci stanoviště připisuje počasí.

Výnosy zrna na stanovišti Suchdol byly velmi nadprůměrné, tři varianty (N + sláma, NPK a Hnůj ½ + N) dosáhly výnosu přes 11 t/ha, což je až neuvěřitelné. Daleko od výnosu 11 tun nebyla ani varianta hnojená pouze dusíkem. Tyto nadprůměrné hodnoty jsou dle mého vysvětlovány kromě správného načasování minerálního hnojení, průběhem počasí, jelikož jaro bylo mírné, s pravidelnými srážkami hlavně v době odnožování a sloupkování (viz graf č. 4) i danými podmínkami stanoviště, kde na Suchdole se nachází slabě zásaditá černozem, její pH se pohybuje okolo 7,5. Černozemě a těžší půdy mají bohatou zásobu živin, a proto i nehnojená kontrolní varianta dosáhla alespoň průměrných výsledků. Dle několika různých nezávislých názorů je tento půdní typ nejvhodnější pro pěstování ozimé pšenice (Škarpa et al, 2016). Černozemě mají silné vrstvení humusu vynikající kvality, projevujícím se vodo-stálou kulturou. Vaněk et al (2012) také poznamenávají, že v obdobích sucha může docházet k deficitu vlhkosti v těchto půdách. Vynikající výnosy na stanovišti Suchdol proto připisuji nejen hnojení, půdě, ale také počasí a vlivu ročníku. Jelikož celkově jaro bylo mírné, vegetační období nastoupilo později a teploty byli nižší než v posledních letech, tudíž byly blíže klimatickému normálu (viz graf č. 5). Srážky byly dostačující a pravidelné v březnu a dubnu, jak ukazuje graf č. 4. Tyto podmínky tak napomohly k tvorbě výnosových prvků na vysoké úrovni. Na druhou stranu výsledky výnosů z pokusů jsou z malých parcel, kde každý m^2 je podrobně analyzován a hnojen, protože se jedná o přesný vědecký pokus a výnos je přepočten na hektar, který se vypočítává z každé pokusné parcely. V konvenčním zemědělství by tyto výsledky neměly být snadno dosažitelné, protože ve větším měřítku se jedná o téměř nemožný úkol.

Podle mého názoru by značně vhodnějších podmínek pro tvorbu výnosotvorných prvků by teoreticky mohlo být dosaženo při použití pravidelné závlahy. Eck (1988) ve svých pokusech dokázal nevyvratitelný pozitivní vliv závlahy na výnos. Dle něj závlaha pozitivně podporuje růst a výši potencionálního výnosu, hlavně v období kvetení a nalévání zrna, v tomto období

vodní stres je v roli největšího faktoru, jenž ovlivňuje tvorbu výnosu pšenice, vedle toho také dokázal skutečnost lepšího využití dusíku z hnojiv při pravidelné závlaze.

Na pokusném stanovišti Červeném Újezd bylo dosaženo nižších výnosů než na stanovišti Suchdol. Nehnojená kontrola zde byla v měřítku celé ČR podprůměrná, výnos zrna byl 5,17 t/ha a slámy 4,46 t/ha. Největších výnosů zrna na tomto stanovišti dosáhly varianty Hnůj (9,19 t/ha) a také Hnůj ½ + N (9,25 t/ha). Rozdíly mezi stanovišti Červený Újezd a Suchdol vysvětluji stanovišti, počasí a půdní strukturou. S největší pravděpodobností se na parcelách vytvořil půdní škraloup a došlo tak ke stavu, kdy dodaný dusík nebyl volně přístupný pro rostliny. Jelikož aplikovaný dusík zůstal na povrchu půdy. Stanoviště na Červeném Újezdě je horší, avšak ne nejhorší pro pěstování ozimé pšenice. Půdní typ je zde luvizem. Jde o zemědělsky kvalitní půdu, avšak černozemě jsou kvalitnější. Její sorpční vlastnosti nejsou na tak vysoké úrovni, povrchový horizont postrádá jíl a kvalita humusu je průměrná. V luvizemích dochází k jevu tzv. oglejení. Oglejení představuje situaci, kdy se srážková voda hromadí v důsledku zpevněné vrstvy jílu ve vrstvách zeminy, což způsobuje její slabou propustnost. Je to tento proces, který považuji za klíčový pro dosažení nadprůměrných výnosů v oblasti Červený Újezd ve srovnání s celostátním průměrem z roku 2015, protože oglejení umožnilo akumulaci vody v zemním profilu, která byla poté dostupná pro pšenici. Hejcman et al (2012) si stojí za názorem, že ozimá pšenice vykazuje průměrné výnosy na oglejených luvizemích i bez jakéhokoliv použití hnojiv, nýbrž musím poukázat na jasný fakt, to že tento překvapivý výnos na nehnojené variantě je ovlivněn několika více faktory, jako jsou podmínky stanoviště, průběh počasí, vliv ročníku a rotací plodin, což se potvrdilo i v rámci této práce.

Hooper et al (2015) v závěru svého experimentu doporučují aplikaci dusíkatých hnojiv děleně. Rozdělení dávek hnojiva se ukázalo jako přínosné na lokalitě Suchdol, kde přístup využívající minerální hnojiva v dělených aplikacích vedl k zvýšeným výnosům ve srovnání s variantami používající pouze hnůj nebo kal. Toto pozorování je však v kontrastu s výsledky z Červeného Újezdu podle studie Hoopera et al. (2015), kde varianty s děleným použitím hnojiv vykazovaly nižší výnosy.

Kunzová et al (2020) prováděli podobný experiment s různými variantami hnojení. Pokus obsahoval varianty: Kontrola nehnojená, Hnůj (k předplodině 40 t/ha), Hnůj + N_{80} a Hnůj + N_{120} P_{60} K_{60}. Dávky dusíku rozdělili do dvou a tří dávek po 40 kg N/ha; před zasetím, regenerační hnojení a kvalitativní hnojení. Stanoviště byla dvě. V řepařské výrobní oblasti hlinitá černozem modální a v bramborářské výrobní oblasti písčitohlinitá kambizem modální. Pozorované roky byly 2015–2018. Závěry tohoto pokusů korespondují s výsledky této závěrečné práce; pro získání vysokých úrod s vynikajícími kvalitativními vlastnostmi je klíčová

kombinace hnojiv (ideálně statkových a minerálních) a optimálních půdně-klimatických podmínek. Tyto podmínky tvoří přirozený limit, který může být hnojením do určité míry překonán, zejména co se týče úrody pšenice. Nicméně, možnosti zlepšení kvality zrna jsou tímto limitem výrazně omezeny.

6.2 Obsah N-látek v zrnu pšenice

Požadavky na obsah dusíkatých látek v pšenici pekárenské kvality jsou dle ČSN 46 1100-2; obsah dusíkatých látek nad 11,5 %. Výpočet proběhl z obsahu čistého dusíku vynásobením „koeficientem" 5,7 (Černý et al, 2020). Ze všech variant dosáhly pekárenské kvality pouze dvě varianty, a to na stanovišti Červený Újezd. Těmito kvalitními variantami jsou Hnůj poloviční dávky + N a také parcela hnojená pouze N. Na Suchdole žádná varianta nedosáhla požadovaného obsahu dusíkatých látek. Průměrný obsah dusíkatých látek na stanovišti Červený Újezd byl stanoven na 10,35 %. Stanoviště Suchdol dosáhlo horší průměrné hodnoty, a to 8,35 %. Hodnoty vizuálně porovnává graf č. 14.

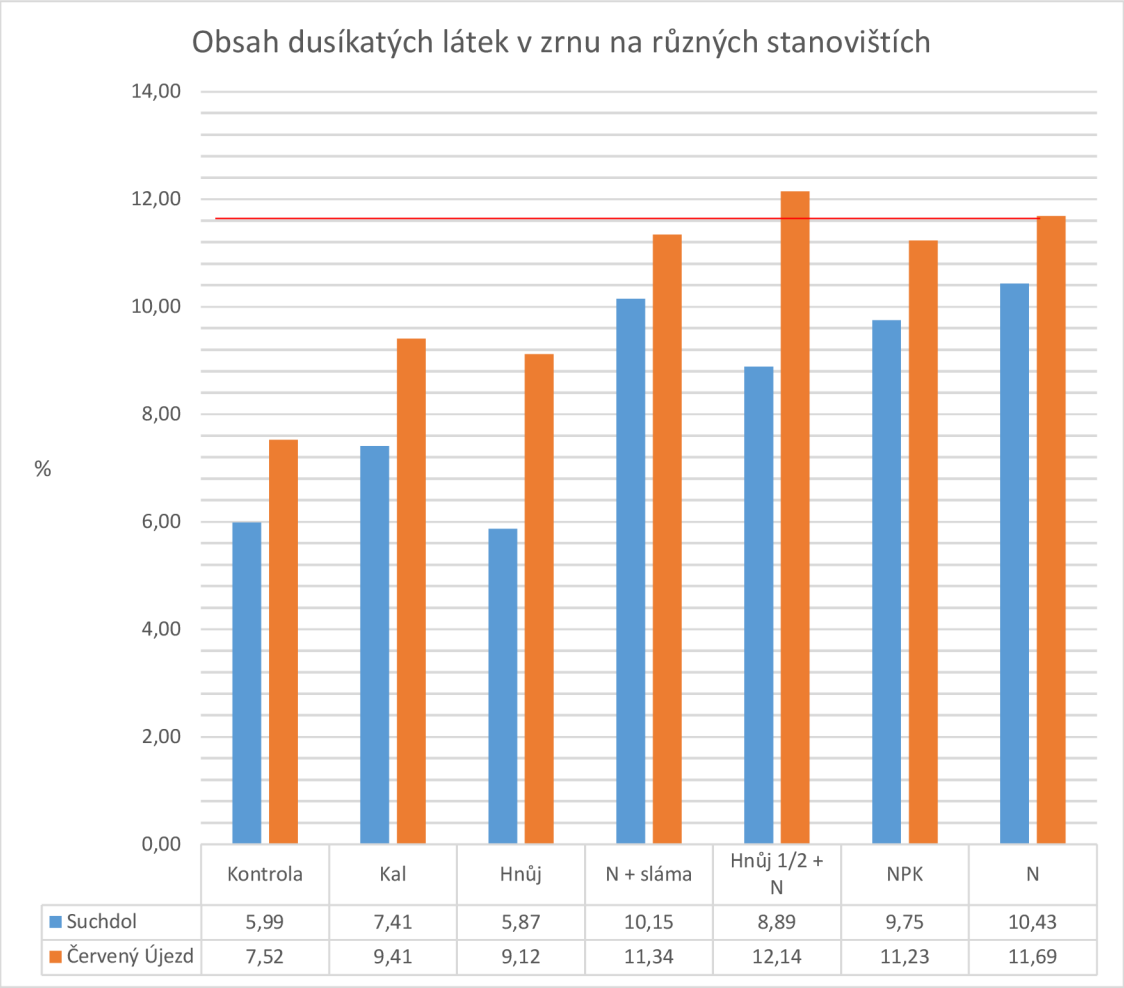
Černý et al (2020) uvádějí, jak aplikace dusíku v pozdějších fázích růstu může zlepšit obsah bílkovin v zrnu, zejména u potravinářských odrůd pšenice. Dále uvádí, že při dostatku srážek a dobrém vývoji porostů může být kvalitativní dávka dusíku posunuta až do/po období kvetení. Strategie hnojení se mohou měnit v závislosti na průběhu počasí, rozložení srážek a teplotě během jarních měsíců. Aplikace dusíkatých hnojiv má výrazný vliv na zvýšení obsahu dusíku v zrně a slámě ozimé pšenice, přičemž nejnižší hodnoty dusíku v produktech jsou obvykle zaznamenány u variant, kde nebylo aplikováno žádné dusíkaté hnojivo, tedy u kontrolních variant. Vliv, který způsobuje tento obsah dusíku, popsal Růžek et al (2009), poukázali na důležitost načasování při aplikaci dusíkatých hnojiv. Zvláště pozdní dělené aplikace mohou mít pozitivní efekt na zvýšení obsahu dusíkatých látek v zrně, což je však podmíněno absencí poškození porostu, zejména praporcových listů. Poškození těchto listů, které jsou klíčové pro transport dusíku do zrna a mohou obsahovat až 30 kg N/ha, by mohlo významně narušit schopnost rostliny transportovat dusík do zrna, čímž by došlo k omezení obsahu dusíkatých látek ve finálním produktu.

Se tvrzením Černého et al (2020) souvisí fakty, co uvádí Polišenská et al (2014); i když pozdní aplikace dusíku může zvýšit obsah dusíkatých látek v zrnu a potenciálně zlepšit kvalitu pečiva, může mít také nežádoucí důsledky. Mezi tyto důsledky patří například:

- Riziko vyplavení dusíku: Pozdní aplikace dusíku může zvýšit riziko, že dusík bude vyplaven ze zóny kořenů, zejména na lehkých nebo propustných půdách nebo

v obdobích s vysokými srážkami. To může vést ke snížení efektivity hnojení a zvýšení environmentálního zatížení.

- Nepříznivý vliv na kvalitu zrna: I když vyšší obsah dusíkatých látek může být žádoucí z hlediska pekařské kvality, může také negativně ovlivnit jiné aspekty kvality zrna, jako je třeba zvýšení obsahu některých nežádoucích látek v zrnu nebo nepříznivý vliv na vlastnosti těsta.
- Ekonomická efektivnost: Přínosy pozdní aplikace dusíku musí být vyváženy proti nákladům na hnojivo a aplikaci. V některých případech může být nákladově efektivnější aplikovat dusík dříve v sezóně.
- Ovlivnění dozrávání: V některých případech může pozdní aplikace dusíku zpomalit dozrávání zrna, což může být problematické, zejména v chladnějších klimatických podmínkách nebo v sezónách s krátkým vegetačním obdobím.



Graf č. 12: Obsahy dusíkatých látek v zrnu pšenice na stanovištích Suchdol a Červený Újezd

Dle mého přesvědčení by ke zvýšení obsahu dusíkatých látek pomohlo kvalitativní hnojení, které by se správně mělo aplikovat v období na počátku metání. Jelikož toto období bylo na srážky chudé (viz graf č. 4) a půdy na stanovištích nejsou lehké a propustné, nedošlo by k riziku vyplavení dusíku a kvalita výsledných produktů by byla, vetší. Důležité je ale zmínit poznatek, který uvádí Černý et al (2020) a také Polišenská et al (2014), že za určitých podmínek by pozdní aplikace dusíku měla za následek, hlavně v chladnějších klimatických podmínkách, pozdější dozrávání zrna.

6.3 Efektivita využití dusíku

Efektivita využití dusíku je významně ovlivněna nejen samotným aplikovaným množstvím hnojiva, ale také řadou dalších aspektů, které mohou variabilitu výsledků mezi jednotlivými stanovišti a přes čas významně ovlivnit. Lokální podmínky, jako jsou půdní vlastnosti a klimatické podmínky, společně s volbou pěstovaných plodin, mají zásadní význam pro určení, jak efektivně jsou rostliny schopny dusík využít. Kromě toho, efektivita využití dusíku není omezena pouze na jeho vzájemnou interakci s rostlinami, ale zahrnuje i složité vztahy s dalšími živinami v půdě, jako jsou fosfor a draslík, které mohou absorpci a využití dusíku rostlinami značně ovlivnit. Neméně důležitá je role mikroorganismů v půdě, které se podílejí na transformaci organických forem dusíku na formy anorganické, dostupné pro rostliny. Zdravý půdní mikro-biom přispívá k lepšímu využití dusíku a jeho efektivitě, což je klíčové pro udržitelnost agroekosystémů. Techniky obdělávání půdy, jako je minimální obdělávání, mulčování a střídání plodin, také hrají významnou roli v udržení zdravé půdní struktury, zachování vlhkosti a podpoře mikrobiální aktivity, což všechno přispívá k lepšímu využití dusíku (Vaněk et al, 2016; Salim & Raza, 2020)

K výpočtu tohoto ukazatele byla použita metodika podle Balíka et al (2012), která je popsaná v jejich studii. Podle této metodiky se má z množství dusíku absorbovaného hnojenou variantou odečíst množství dusíku absorbovaného kontrolní variantou, a výsledek se dělí množstvím dusíku aplikovaným na hnojenou variantu. Pro varianty hnojené minerálním hnojivem se použila celková dávka 140 kg dusíku na hektar, zatímco u organických hnojiv byla dávka korigována koeficientem, který zohledňuje postupné uvolňování živin. Specifické koeficienty pro organická hnojiva uvedená Tarrasónem et al (2008) jsou: 0,15 pro čistírenský kal, 0,10 pro chlévský hnůj. Viz tabulka č. 4.

Maximální efektivita využití dusíku je vždy tam, kde je dodávka a zásoba živin v půdě nejnižší (Salim & Raza, 2020), toto tvrzení nekoresponduje s hodnocenými výsledky. V případě organicky hnojených variant experimentů byly zaznamenány lepší hodnoty efektivity využití

dusíku ve srovnání s minerálně hnojenými variantami na stanovišti Červený Újezd, byly to varianty Hnůj a Kal, na stanovišti Suchdol pouze Kal. Podle Vaňka et al (2016) je toto zlepšení výsledkem pozvolného uvolňování živin z organických hnojiv (mělo by se s postupným uvolňováním počítat na tři roky dopředu), což je vypočteno s koeficientem. Avšak, měření za jeden rok mohou být ovlivněna hnojením z předchozího roku. Z tohoto důvodu by bylo vhodné sledovat efektivitu využití dusíku v rámci několika let, ne pouze jen jedno vegetační období.

Důležité je zmínit bilanci dusíku ve vztahu s efektivitou využití dusíku. Bilance dusíku je rozdíl mezi množstvím dusíku, které je do zemědělského systému dodáno (např. pole, zahrada), a množstvím, které je z něj odebráno nebo ztraceno. Tato bilance může být pozitivní (více dusíku je dodáno než odebráno), negativní (více dusíku je odebráno než dodáno), nebo vyrovnaná. Zlepšení efektivity využití dusíku přímo snižuje potřebu dodávání dusíku, což může vést k vyváženější, nebo dokonce negativní bilanci dusíku bez snížení výnosů. To znamená, že méně dusíku je potřeba dodat pro dosažení stejných nebo lepších výnosů. Vysoká efektivita využití dusíku také snižuje ztráty dusíku do životního prostředí, což způsobuje méně znečištění a lepší ochranu přírodních zdrojů. Tím se podporuje udržitelnější zemědělská praxe. Je nezbytné najít správnou rovnováhu mezi živinami, které jsou dodávány do půdy, a těmi, které jsou odebírány, například úrodou. To zajistí efektivní využití zdrojů a pomůže předejít znečištění životního prostředí, které může být často spojeno s používáním dusíkatých hnojiv (Balík et al, 2012). Zvýšení efektivity využití dusíku a správná bilance dusíku mají tedy zásadní význam pro snížení environmentálního dopadu zemědělství, zlepšení ekonomické efektivity pěstování plodin a podporu udržitelnosti zemědělských praxí.

6.3.1 PFP-N

Tento postup zohledňuje i vliv stanoviště. Při aplikaci minerálních dusíkatých hnojiv se hodnoty PFP-N (Physical Fertilizer Productivity – Nitrogen) pohybují mezi 40 a 80 kg/kg. Na plodnějších stanovištích, kde je vyšší obsah dusíku z mineralizace organické hmoty, nebo v systémech s efektivním způsobem hospodaření, mohou hodnoty přesahovat 60 kg/kg. U organických hnojiv, kde se počítá pouze s dusíkem, který je rostlinami využitelný v daném roce, mohou hodnoty překročit 100 kg/kg. Vyšší hodnota PFP-N naznačuje lepší využití dusíku z hnojiv i půdy (Balík et al, 2012), Na grafu č. 11 jsou ukázány hodnoty PFP-N pro ozimou pšenici na stanovištích Suchdol a Červený Újezd. Z tohoto výpočtu vyplývá vliv nejen hnojiv, ale i stanoviště. Porovnání obou stanovišť Červený Újezd a Suchdol ukazuje, že Suchdol má ve 5 ze 6 případů vyšší produktivitu než stanoviště Červený Újezd. Na stanovišti Červený Újezd dosáhla varianta s použitím hnoje nejvyšší produktivity.

7 Závěr

V této bakalářské práci byly prozkoumány dopady stanoviště a použití různých druhů hnojiv na výnos a efektivitu využití dusíku u ozimé pšenice. Analýza zahrnovala experimenty s organickými a minerálními hnojivy na dvou odlišných stanovištích. Získané výsledky odhalily, že výnos ozimé pšenice a její schopnost přijímat a využívat dusík jsou silně ovlivněny jak typem použitého hnojiva, tak charakteristikami daného stanoviště.

Bylo stanoveno, že aplikace hnojiv výrazně přispívá ke zvýšení výnosů ve srovnání s variantami bez hnojení, což podtrhuje význam pečlivého výběru a správného používání hnojiv pro zajištění optimálního růstu a produktivity pšenice. Konkrétně, výsledky ukázaly, že minerální hnojiva vedou k výraznějšímu nárůstu celkového odběru dusíku rostlinou, zatímco organická hnojiva přispívají k udržitelnějšímu uvolňování dusíku a jeho využití rostlinou během vegetačního období.

Tato práce tak přináší důležité poznatky o interakcích mezi typem hnojiva, vlastnostmi stanoviště a dynamikou využití dusíku, které jsou zásadní pro formulaci efektivních a udržitelných hnojivých strategií.

Závěry:

- Obsahy dusíku v zrnu byly nejvyšší na variantách hnojených minerálně
- Stanoviště ovlivnilo výši odběru dusíku z důvodu rozdílných půdně-klimatických podmínek
- Odběr dusíku byl vyšší na variantách hnojených minerálně, než na organicky hnojených variantách
- Výnos zrna i slámy byl ovlivněn stanovištěm, ročníkem a výrazně počasím
- Na horších stanovištích je efektivita využití dusíku z organických hnojiv vyšší
- Hnojení pouze organickými hnojivy přináší menší vliv na výnos a obsah dusíku ve sklízených produktech oproti kombinaci organických a minerálních hnojiv.
- Při dávce 140 kg N/ha není vždy dosahováno požadované potravinářské kvality zrna, byla by zapotřebí dávka vyšší nebo příznivější průběh počasí
- Na méně úrodných lokalitách se dosahuje vyššího zlepšení výnosu a kvality díky použití dusíkatých hnojiv.

Hypotézy:

1. Vyšší výnos zrna u ozimé pšenice bude na hnojených variantách než na nehnojené kontrole.

Tato hypotéza byla potvrzena, na Suchdole byl v průměru výnos zrna na všech hnojených variantách vyšší o 3,87 t/ha. Stanoviště Červený Újezd také potvrdilo tuto hypotézu, průměrný rozdíl mezi kontrolou a hnojenými variantami činil 3,43 t/ha.

2. Využití dusíku rostlinami ozimé pšenice bude závislé na druhu aplikovaného hnojiva.

Hypotéza potvrzena byla, jelikož bylo zjištěno stanovisko, že efektivita využití dusíku je závislá na konkrétním hnojivu a stanovišti. Na horších stanovištích je využití dusíku vyšší z organických hnojiv.

3. Předpokládá se, že celkový odběr dusíku bude vyšší na variantách hnojených minerálními hnojivy než na variantách, která byla hnojena organickými hnojivy.

Třetí hypotéza taktéž byla potvrzena, protože celkový odběr dusíku byl vyšší na variantách hnojených minerálními hnojivy oproti těm hnojeným organickými hnojivy. V průměru na stanovišti Suchdol varianta Hnůj měla o 148 kg N menší odběr dusíku. Varianta Kal o 73 kg N v průměru menší odběr dusíku než minerálně hnojené varianty. Na stanovišti Červený Újezd měla varianta Hnůj v průměru o 45 kg N menší odběr, Kal měl průměrně menší odběr o 58,3 kg N, než tomu bylo na variantách hnojených minerálně.

4. Výnos zrna u ozimé pšenice bude spíše vyšší u variant s minerálním hnojením na potencionálně vhodnějším stanovišti Suchdol než na stanovišti Červený Újezd.

Čtvrtá hypotéza byla rovněž potvrzena. Z důvodu lepších půdně-klimatických podmínek bylo dosaženo lepšího příjmu dusíku rostlinami na stanovišti Suchdol. Kvůli tomu bylo na minerálně hnojených variantách na Suchdole dosaženo v průměru o 2,81 t/ha většího výnosu než na stanovišti Červený Újezd.

8 Literatura

Anundskas, A. (2000): Technical improvements in mineral nitrogen fertilizer production. In: Harvesting energy with fertilizers. European Fertilizer Manufacturers Association

Balík J., Černý J., Kulhánek M., 2018: Možnosti stabilizace hnojiv. In: Konference hnojiva 2.0. 23-24/10/2018: Česká zemědělská univerzita v Praze [online]. Praha: Agrofert [cit. 18. 10. 2023]. Dostupné z: https://www.mojehnojiva.cz/sites/default/files/sbornik_2018_0.pdf

Balík, J., Černý, J., Kulhánek, Martin., & Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. (2012). *Bilance dusíku v zemědělství : certifikovaná metodika*. Česká zemědělská univerzita v Praze.

Bernard, S. M., Habash, D. Z. (2009). The importance of cytosolic glutamine synthetase in nitrogen assimilation and recycling. In New Phytologist.

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.

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. (2010). Využití odpadů z ČOV jako zdroje organických látek a živin. Biom.Cz, 12(6). https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-odpadu-z-cov-jako-zdroje-organickych-latek-a-zivin

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

Černý, J., Shejbalová, Š., Kovářík, J., Kulhánek, M. Předseťové a podzimní hnojení pšenice ozimé [online]. Česká zemědělská univerzita v Praze. Aktualizováno 27. 08. 2014 [cit. 21. 8. 2023]. Dostupné z http://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-astimulace/hnojeni/predsetove-a-podzimni-hnojeni-psenice-ozime

Černý, J., Sedlář, O., Kulhánek, M., Balík, J., Šiler, D., Hnojení ozimé pšenice dusíkem podle vývoje porostu a vědeckých poznatků [online]. Česká zemědělská univerzita v Praze. Aktualizováno 30. 04. 2020 [cit. 09. 0.4 2024]. Dostupné z https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/hnojeni-ozime-psenice-dusikem-podle-vyvoje-porostu-a-vedeckych-poznatku

Dohányos, M. (1998). Anaerobní čistírenské technologie. NOEL 2000.

Eck, H. v. (1988). Winter Wheat Response to Nitrogen and Irrigation. *Agronomy Journal*, *80*(6), 902–908. https://doi.org/10.2134/AGRONJ1988.00021962008000060013X

Faměra, O., (1993). Základy pěstování ozimé pšenice. 1.vyd. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR. Praha: ISBN 80-7105-045-8.

Fecenko J., Ložek O. (2000): Výživa a hnojenie polných plodín, SPU v Nitre.

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.

Hay, F. R., Hamilton, N. R. S., Furman, B. J., Upadhyaya, H. D., Reddy, K. N., & Singh, S. K. (2012). Cereals. *Conservation of Tropical Plant Species*, 293–315. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3776-5_13/COVER

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.

Hejcman, M., Kunzová, E., & Srek, P. (2012). Sustainability of winter wheat production over 50 years of crop rotation and N, P and K fertilizer application on illimerized luvisol in the Czech Republic. *Field Crops Research*, *139*, 30–38. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.10.005

Hooper, P., Zhou, Y., Coventry, D. R., McDonald, G. K. (2015). Use of Nitrogen Fertilizer in a Targeted Way to Improve Grain Yield, Quality, and Nitrogen Use Efficiency. Agronomy Journal, 107(3), 903-915.

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

Iftikhar, M., Asghar, A., Ramzan, N., Sajjadi, B., & Chen, W. yin. (2019). Biomass densification: Effect of cow dung on the physicochemical properties of wheat straw and rice husk based biomass pellets. Biomass and Bioenergy, 122, 1–16. https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2019.01.005

Jacobsen, J. S., & Westermann, R. L. (1988). Nitrogen Fertilization in Winter Wheat Tillage Systems. Journal of Production Agriculture, 1(3), 235–239. https://doi.org/10.2134/JPA1988.0235

Jankowski, K., Jankowski, K., Hulanicki, P. S., Sokólski, M., Dubis, B., & Hulanicki, P. (2016). Yield and quality of winter wheat (Triticum aestivum L.) in response to different systems of foliar fertilization. Journal of Elementology, 21(3). https://doi.org/10.5601/ jelem.2015.20.4.1036

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.

Kohyama, K., Hojito, M., Sasaki, H., & Matsuura, S. (2006). Estimation of the amount of nutrients in livestock manure. Soil Science and Plant Nutrition, 52(4), 576–577. https://doi.org/10.1111/J.1747-0765.2006.079_5.X

Konvalina, P., Capouchová, I., Stehno, Z., Moudrý, J., Moudrý, J. jr. (2010): Volba druhu a odrůdy pšenice v ekologickém zemědělství. Metodika pro praxi. JU v Českých Budějovicích.

Kováčik P. (2007): Výživa a úroveň hnojenia rastlín: (stručne). Nitra: Ústav vedeckotechnických informácií pre pôdohospodárstvo.

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

Kubát, K., (2002). Klíč ke květeně České republiky. Praha: Academia. ISBN 80-200-0836-5

Kunzová, E., Hlisnikovský, L., Menšík, L., Vliv hnojení statkovými a minerálními hnojivy na výnos a kvalitu pšenice ozimé na stanovištích Ivanovice na Hané a Lukavec v letech 2015–2018 [online]. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. Praha-Ruzyně. Aktualizováno 23. 10. 2020 [cit. 09. 0.4 2024]. Dostupné z https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/vliv-hnojeni-statkovymi-a-mineralnimi-hnojivy-na-vynos-a-kvalitu-psenice-ozime-na-stanovistich-ivano

Lee, Y. J., Im, E. C., Lee, G., Hong, S. C., Lee, C. G., & Park, S. J. (2024). Comparison of ammonia volatilization in paddy and field soils fertilized with urea and ammonium sulfate during rice, potato, and Chinese cabbage cultivation. Atmospheric Pollution Research, 15(4). https://doi.org/10.1016/j.apr.2024.102049

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

Lev-Yadun, S., Gopher, A., a Abbo, S,. (2000). The cradle of agriculture. Science 288:1602–1603.

Litke, L., Gaile, Z., & Ruža, A. (2018). Effect of nitrogen fertilization on winter wheat yield and yield quality. Agronomy Research, 16(2), 500–509. https://doi.org/10.15159/AR.18.064

López-Bellido, L., López-Bellido, R. J., Castillo, J. E., & López-Bellido, F. J. (2001). Effects of long-term tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on bread-making quality of hard red spring wheat. Field Crops Research, 72(3), 197–210. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00177-0

Mühlbachová, G. Aplikace dusíkatých hnojiv pro rozklad slámy. *Agromanuál* [online]. [cit. 2024-02-28]. Dostupné z: https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/aplikace-dusikatych-hnojiv-pro-rozklad-slamy

Nyiraneza, J., Cambouris, A. N., Ziadi, N., Tremblay, N., & Nolin, M. C. (2012). Spring Wheat Yield and Quality Related to Soil Texture and Nitrogen Fertilization. Agronomy Journal, 104(3), 589–599. https://doi.org/10.2134/AGRONJ2011.0342

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

Polišenská, I., Jirsa, O., Sedláčková, I., (2014): Kvalita potravinářské pšenice sklizené v Čr 2011-2013, agrotest fyto, Kroměříž, pšenice – odborná příloha časopisu úroda, roč. 62, č. 8-2014, vyd. Profi press, s. 18-22, issn 0139-6013.

Plett, D. C., Ranathunge, K., Melino, V., Kuya, N., Uga, Y., a Kronzucker, H., (2020). „The Intersection of Nitrogen Nutrition and Water Use in Plants: New Paths toward Improved Crop Productivity.“ Journal of Experimental Botany, 49. https://doi.org/10.1093/jxb/eraa049.

Ragasits, I., Debreczeni, K., & Berecz, K. (2005). Effect of long-term fertilisation on grain yield, yield components and quality parameters of winter wheat. Acta Agronomica Hungarica, 48(2), 155–163. https://doi.org/10.1556/AAGR.48.2000.2.5

Ren, T., Wang, J., Chen, Q., Zhang, F., & Lu, S. (2014). The Effects of Manure and Nitrogen Fertilizer Applications on Soil Organic Carbon and Nitrogen in a High-Input Cropping System. PLOS ONE, 9(5), e97732. https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0097732

Richter R. (2004) : Asimilace dusíku. In: Ryant P. (ed.) a kol. Multimediální texty výživy rostlin, [on-line], [poslední aktualizace 23. 1. 2004], [citováno dne 11. 8. 2023]. Dostupné z:http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/biogenni_prvky/a_index_biogen.htm

Ruffel, S., G. Krouk, D. Ristova, D. Shasha, K. D. Birnbaum, a G. M. Coruzzi. (2011). „Nitrogen Economics of Root Foraging: Transitive Closure of the Nitrate-Cytokinin Relay and Distinct Systemic

Růžek, P., Kusá, H., Vavera, R. (2009): Jarní hnojení dusíkatými hnojivy. Zemědělec, 11., s. 24–25

Sawyer, J. (2004): Nutrient deficiencies and application injuries in field crops. Iowa State University. [on-line], [citováno dne 10. 8. 2023]. Dostupné z http://extension.agron.iastate.edu/.

Shejbal, P., Pšenice vzbuzující vášně. *Agromanuál* [online]. [cit. 2024-02-28]. Dostupné z:https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/osivo-a-sadba-1/psenice-vzbuzujici-vasne

Shewry, P. R., (2009). Wheat, Journal of Experimental Botany, Volume 60, Issue 6, April 2009, Pages 1537–1553

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

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

Sun, R., Guo, X., Wang, D., & Chu, H. (2015). Effects of long-term application of chemical and organic fertilizers on the abundance of microbial communities involved in the nitrogen cycle. Applied Soil Ecology, 95, 171–178. https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2015.06.010

Šarapatka, B., Urban, J. (2006): Ekologické zemědělství v praxi. PRO-BIO, Svaz ekologických zemědělců Šumperk.

Škarpa, P., Ryant, P., Antošovský, J., Základní hnojení pšenice ozimé. Agromanuál.cz [online]. [cit. 2024-02-27]. Dostupné z: https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/zakladni-hnojeni-psenice-ozime

Tarrasón, D., Ojeda, G., Ortiz, O., Alcañiz, J.M. (2008). Differences on nitrogen availability in a soil amanded with fresh, composted and thermally-dried sewage sludge. Bioresource Technology, 99(2), 252-259.

Torma, S. (2007). Ozimná pšenica: Požiadavky na pôdu a živiny. Agromanuál. 2 (3). 56-58. ISSN: 1801-7673

Vacek, O., Půda jako výrobní faktor a předmět prodeje, Praha, 2020. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, Katedra ekonomických teorií, 2020- 11- 15

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

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

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

Wang C., Van den Ende W., Tillberg J.-E. (2000): Fructan accumulation induced by nitrogen deficiency in barley leaves correlates with the level of sucrose:fructan 6- fructosyltransferase mRNA. Planta 211.

Wang, Z., Wang, J., Zhao, C., Zhao, M., Huang, W., & Wang, C. (2005). Vertical Distribution of Nitrogen in Different Layers of Leaf and Stem and Their Relationship with Grain Quality of Winter Wheat. Journal of Plant Nutrition, 28(1), 73–91. https://doi.org/10.1081/PLN-200042175

Wieser, H., Peter, K., a Katharina, A. Scherf. Botanical features of wheat. In: Wheat - An Exceptional Crop [online]. Elsevier, 2020, s. 1-12 [cit. 2023-08-27]. ISBN 9780128217153. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-821715-3.00001-0

Zimolka, J., (2005). Pšenice, pěstování, hodnocení a užití zrna, Profi Press, s.r.o.

9 Seznam grafů a tabulek

Grafy:

1. Dynamika odběru živin ozimou pšenicí a nárůst sušiny 16
2. Odběr živin výnosem zrna 23
3. Evoluce efektivity využití energie při výrobě amoniaku 30
4. Měsíční úhrn srážek během vegetace ozimé pšenice 35
5. Porovnání průměrných měsíčních teplot na stanovišti Suchdol s dlouhodobým normálem pro Prahu z let 1991–2020. 36
6. Srovnání výnosu zrna všech variant na obou stanovištích Suchdol a Červený Újezd 40
7. Srovnání výnosu slámy variant na stanovištích Suchdol a Červený Újezd 41
8. Srovnání obsahu dusíku v zrnu mezi stanovišti Suchdol a Červený Újezd 42
9. Srovnání obsahu dusíku ve slámě mezi stanovišti Suchdol a Červený Újezd 43
10. Srovnání celkového odběru dusíku na stanovištích Suchdol a Červený Újezd 44
11. Dílčí faktor produktivity aplikovaného dusíku na stanovištích Suchdol a Červený Újezd 46
12. Obsahy dusíkatých látek v zrnu pšenice na stanovištích Suchdol a Červený Újezd 51

Tabulky

1. Průměrný obsah organických látek a živin v hnoji 27
2. Obsah organických látek & živin v kejdě 28
3. Množství živin aplikovaných hnojivy v průběhu tříletého cyklu 34
4. Efektivita využití dusíku na stanovištích Suchdol a Červený Újezd 45