

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



Vliv systému hnojení na produkci ozimé pšenice

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Josef Němec

Obor studia: Výživa a ochrana rostlin

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

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci „Vliv systému hnojení na produkci ozimé pšenice“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce Ing. Jindřichu Černému, Ph.D. a dalším zaměstnancům Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin za pomoc a rady při zpracování této diplomové práce.

Vliv systému hnojení na produkci ozimé pšenice

Souhrn

Cílem této práce bylo vyhodnotit vliv dlouhodobého systému hnojení na produkci ozimé pšenice (výnos a další vybrané ukazatele) a bilanci dusíku v polních pokusech.

V rámci této práce byly hodnoceny 4 roky (2016 – 2019) dlouhodobých stacionárních pokusů Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin ČZU v Praze. Tyto pokusy byly založeny v roce 1996. V diplomové práci byly hodnoceny výsledky ze třech pokusných lokalit, předplodinou pro hodnocenou pšenici ozimou jsou na stanovišti Suchdol a Lukavec brambory (na stanovišti Červený Újezd silážní kukuřice) a následnou plodinou je na všech stanovištích jarní ječmen. Hnojení pokusu je postaveno na aplikaci shodné dávky dusíku (330 kg/ha za celou rotaci tří plodin) na všech variantách, mimo kontrolu. Porovnávány byly různé varianty hnojení, kde bylo použito organické hnojení, varianty hnojené minerálními dusíkatými hnojivy nebo kombinací organických a minerálních hnojiv.

Ze zjištěných závěrů je možno konstatovat, že vyššího výnosu většinou dosahovaly varianty, kde bylo aplikováno minerální dusíkaté hnojivo, ať už varianty hnojené pouze minerálními hnojivy nebo kombinací minerálních a organických hnojiv. Celkově nejvyšší výnos za sledované období byl stanoven v roce 2016 na stanovišti Červený Újezd na variantě N (8,93 t/ha) a nejnižší v roce 2018 na stanovišti Lukavec na variantě Kal 1 (3,9 t/ha). Také byl pozorován vyšší vliv dusíkatého hnojení na výnos zrna na méně úrodných stanovištích, kdy na stanovišti Lukavec došlo k navýšení výnosu oproti nehnojené kontrolní variantě až o 173 %, na úrodném stanovišti Suchdol došlo k navýšení maximálně o 35 % a někdy byl výnos hnojených variant dokonce nižší než nehnojené kontrolní varianty. Větší vliv minerálního hnojení byl pozorován na obsah dusíku v zrně. Varianty, kde bylo použito minerální dusíkaté hnojivo, dosahovaly vyšších obsahů dusíku v zrně, než varianty hnojené pouze organickými hnojivy. Výnos a kvalita pšeničného zrna je dále ovlivněna především půdně - klimatickými podmínkami. Docházelo k významným rozdílům mezi jednotlivými stanovišti, například v obsahu dusíku v zrně mezi úrodným stanovištěm Suchdol a méně úrodným stanovištěm Lukavec, také byly zaznamenány výkyvy výnosů mezi jednotlivými ročníky. Nejvíce záporná bilance dusíku byla stanovena na všech stanovištích na organicky hnojených variantách.

Klíčová slova: dlouhodobý polní pokus, hnojení, pšenice ozimá, výnos

Effect of fertilization system on winter wheat production

Summary

The aim of this thesis was to evaluate the impacts of the long lasting fertilisation's system on the production of winter wheat (yield and other selected indicators) and the nitrogen's balance in field experiments.

This thesis has been focused on long-term stationary experiments of Faculty of Agrobiological Sciences at Czech University of Life Science Prague which lasted 4 years (2016-2019). These experiments were established in 1996. This thesis has evaluated the results from three different locations. Potato was the previous crop for the evaluated wheat in Suchdol and Lukavec station (whereas silage maize at the site of Červený Újezd) and the following crop is spring barley used at all the locations. The fertilisation of the experiment is based on the application of the same dose of nitrogen (330 kg/ha for the entire rotation of the three crops) in all variants, except of control. Different variations of fertilisation were compared, there were used an organic fertilisation, variants including mineral nitrogen fertilisation and the last one - the combinations of mineral and organic fertilisers.

The detected conclusions revealed that the variety, where the mineral nitrogen's fertiliser - both the variations fertilised with mineral fertilisers and the combination of mineral and organic fertiliser, mostly acquired higher yield. Generally the higher yield from the followed period was stated in 2016 at the location Červený Újezd for the variation N (8,93 t/ha) and the lowest in 2018 at the location Lukavec for the variety Kal 1 (3,9 t/ha). Also the higher influence of nitrogen's fertiliser on the grain's yield at the less fertile locations was noticed, at the Lukavec there was enrolled an increase in yield in comparison with non-fertilised control variation by 173 %, at fertile location Suchdol there was the increase maximum by 35 % and sometimes the yield was lower than no-fertilised control variation. The higher influence of mineral fertilisation was observed via the content of nitrogen in grain. Variations, where the mineral nitrogen's fertiliser was used, contained much more nitrogen in grain than the variations fertilised just with organic fertilisers. The yield and quality wheat's grain is than affected mainly by soil - climate conditions. The main differences among single locations could be followed, for example the content of nitrogen in grain between fertile location Suchdol and less fertile location Lukavec, also the yield's fluctuations among the years. The most negative balance of nitrogen was stated at all locations with organic fertilised variations.

Keywords: long - term experiment, fertilization, winter wheat, yield

Obsah

1 Úvod	9
2 Cíle práce a vědecká hypotéza	10
3 Literární rešerše	11
3.1 Současná problematika pěstování pšenice	11
3.2 Budoucnost pěstování pšenice	12
3.2.1 Snížení vstupů dusíkatých hnojiv	12
3.2.2 Udržení stabilní kvality pšenice	13
3.3 Hnojení pšenice ozimé	13
3.3.1 Hnojení minerálními hnojivy	15
3.3.2 Hnojení organickými hnojivy	15
3.3.3 Hnojení dusíkem	15
3.3.3.1 Dělení aplikací při hnojení dusíkem	16
3.3.3.2 Načasování aplikací dusíku.....	17
3.3.3.3 Snížení počtu aplikací dusíkatého hnojiva	18
3.3.3.4 Základní hnojení	19
3.3.3.5 Přihnojení během vegetace	20
3.3.3.5.1 Regenerační hnojení	20
3.3.3.5.2 Produkční hnojení	21
3.3.3.5.3 Kvalitativní hnojení	22
3.3.3.6 Nedostatek dusíku.....	23
3.3.4 Hnojení fosforem	24
3.3.4.1 Nedostatek fosforu	25
3.3.5 Hnojení draslíkem	25
3.3.5.1 Nedostatek draslíku	26
3.4 Výnosotvorné prvky	26
3.5 Efektivita využití dusíku	27
3.5.1 Zvýšení efektivity využití dusíku	27
3.5.1.1 Načasování aplikací dusíkatého hnojiva.....	28
3.5.1.2 Šlechtění.....	28
3.5.2 Zjišťování efektivity využití dusíku	29
3.6 Distribuce dusíku v rostlinách pšenice ozimé	29
3.6.1 Faktory ovlivňující využívání a distribuci dusíku rostlinami.....	30
3.6.2 Proces translokace dusíku	31
3.6.2.1 Úloha kořenového systému v distribuci dusíku	32

3.6.2.2	Úloha listů v distribuci dusíku	32
3.6.2.3	Translokace dusíku do zrna	33
3.6.3	Zlepšení příjmu a translokace dusíku	33
3.7	Příjem dusíku rostlinou.....	34
3.7.1	Redukce dusičnanů	35
3.7.2	Asimilace a zabudování dusičnanů	35
3.7.3	Asimilace amoniaku	36
3.7.4	Rozdíly v příjmu amonné a dusičnanové formy dusíku	37
3.8	Faktory ovlivňující výnos a kvalitu pšenice	38
3.8.1	Kritická období utváření výnosu	39
3.8.2	Nedostatek srážek a dostupné vody.....	39
3.8.3	Vysoké teploty	40
3.8.3.1	Vliv vysokých teplot v období kvetení.....	40
3.8.3.2	Vliv vysokých teplot na zrychlené stárnutí listů	41
3.8.3.3	Vliv vysokých teplot v období plnění zrna.....	41
3.8.4	Snižování dopadů klimatických změn	42
4	Metodika	43
4.1	Dlouhodobý polní pokus.....	43
4.1.1	Hnojení.....	43
4.1.1.1	Kontrola.....	44
4.1.1.2	Kal 1.....	44
4.1.1.3	Hnůj.....	44
4.1.1.4	Hnůj ½ + N	44
4.1.1.5	N	44
4.1.1.6	NPK.....	44
4.1.1.7	N + sláma	45
4.1.2	Pěstovaná odrůda	45
4.1.3	Charakteristika vybraných stanovišť.....	45
4.1.3.1	Praha – Suchdol.....	45
4.1.3.2	Červený Újezd	46
4.1.3.3	Lukavec.....	46
4.1.4	Zpracování a vyhodnocení vzorků	46
4.1.4.1	Stanovení obsahu dusíku	47
4.1.5	Efektivita využití dusíku	47
4.1.6	Agromická efektivita aplikovaného dusíku.....	47
5	Výsledky	48

5.1	Výnos zrna	48
5.1.1	Suchdol.....	48
5.1.2	Červený Újezd	49
5.1.3	Lukavec	50
5.2	Výnos slámy	52
5.2.1	Suchdol.....	52
5.2.2	Červený Újezd	53
5.2.3	Lukavec	54
5.3	Obsah dusíku v zru	55
5.3.1	Suchdol.....	55
5.3.2	Červený Újezd	56
5.3.3	Lukavec	58
5.4	Obsah dusíku ve slámě	59
5.4.1	Suchdol.....	59
5.4.2	Červený Újezd	60
5.4.3	Lukavec	61
5.5	Bilance dusíku	63
5.5.1	Suchdol.....	63
5.5.2	Červený Újezd	64
5.5.3	Lukavec	65
5.6	Efektivita využití dusíku	66
5.6.1	Suchdol.....	66
5.6.2	Červený Újezd	66
5.6.3	Lukavec	67
6	Diskuze	68
6.1	Výnos zrna	68
6.1.1	Vliv počasí na výnos zrna	69
6.1.1.1	Množství srážek.....	70
6.1.1.2	Teplota	70
6.1.2	Vliv stanoviště na výnos zrna	72
6.1.3	Vliv varianty hnojení na výnos	73
6.2	Vliv variant hnojení na obsah dusíku v zru	76
6.3	Efektivita využití dusíku	79
7	Závěr	81
8	Literatura.....	83
9	Přílohy.....	102
10	Seznam tabulek a grafů	106

1 Úvod

Pšenice (*Triticum aestivum* L.) patří k nejčastěji pěstovaným polním plodinám a základním potravinám na světě. Vyznačuje se širokým spektrem možností využití, ale především je využívána k výživě člověka, zvířat nebo pro výrobu bioenergie. Oblíbenost jejího pěstování spočívá v plastičnosti a řadě výhod při jejím pěstování. Dává velmi vysoký výnos, nabízí nespočet odrůd a je přizpůsobivá různým pěstitelským podmínkám. Tímto je při jejím pěstování zaručena velmi vysoká produkční jistota.

Obiloviny jsou na celém světě základní potravinou a z poloviny přímo přispívají na celkovém příjmu kalorií. Dle předpokladů dosáhne světová lidská populace do roku 2050 9,4 miliardy lidí. Svět proto musí v následujících čtyřiceti až padesáti letech vyvinout dostatečnou kapacitu pro zásobování 10 miliard lidí. Zvýšení produkce bude muset vycházet z větších výnosů současně pěstovaných plodin na jejich stávajících nebo dokonce nižších plochách. Tohoto zvýšení bude nutné dosáhnout bez přiměřeného nárůstu využívání vody nebo hnojiv a také v souvislosti se změnou klimatu. V posledních letech dochází především k extrémním výkyvům počasí, které mají za následek celosvětovou proměnlivost výnosů. Určení procesů, které způsobují proměnlivost výnosů, zvyšování výnosů za současného omezení aplikace hnojiv a přípravků na ochranu rostlin a snižování ztrát dusíku do životního prostředí jsou hlavními výzvami dnešního zemědělství a šlechtitelského výzkumu.

Pro udržení zemědělských systémů, dosažení požadované ziskovosti, výše produkce a také zvyšujících se nároků na ochranu životního prostředí je nutné hledání nových metod pro zvýšení efektivity využití dusíku. Pokud se podaří tuto efektivitu zvýšit, může dojít ke snížení dávek dusíku, omezení ztrát dusíku do životního prostředí za současného zvýšení nebo udržení stávajících výnosů. Zvýšení efektivity může být dosaženo především šlechtěním nebo načasováním a velikostí dávek aplikovaného dusíkatého hnojiva.

Je zde také otázka udržení přirozené půdní úrodnosti a doplňování organických látek do půdy. Ze systému hnojení by proto neměla být vynechána organická hnojiva a měl by být kladen důraz na jejich aplikaci a navrácení organických látek do půdy. Jelikož půda, která obsahuje vyšší množství organických látek, má lepší strukturu, jsou zde lépe přístupné živiny z minerálních hnojiv a také dokáže lépe hospodařit s půdní vláhou, což je především při výkyvech počasí, které pozorujeme v posledních letech velmi důležité.

2 Cíle práce a vědecká hypotéza

Cílem práce bylo vyhodnotit vliv dlouhodobého systému hnojení na produkci ozimé pšenice (výnos a další vybrané ukazatele) a bilanci dusíku v polních pokusech.

Hypotézy

- 1) Dlouhodobé hnojení organickými hnojivy pozitivně zvyšuje výnos a kvalitu zrna pšenice ozimé.
- 2) Při dlouhodobém hnojení pouze minerálními hnojivy dochází ke snižování celkového obsahu dusíku v půdě.
- 3) Při výnosech zrna pšenice ozimé nad 6 t/ha je dávka 140 kg N/ha nedostatečná pro udržení pozitivní bilance dusíku v půdě.

3 Literární rešerše

3.1 Současná problematika pěstování pšenice

Pšenice (*Triticum aestivum* L.) patří k nejhojnějším polním plodinám a základním potravinám na světě. Poskytuje široké spektrum možností využití, od výživy člověka a zvířat až po výrobu bioenergie (Sieling a kol., 2005). Obiloviny jsou na celém světě hlavní základní potravinou a přímo přispívají více než 50 % celkového příjmu kalorií. Pěstování plodin musí nadále růst s rostoucí poptávkou a zvýšené výnosy a udržitelnost jsou hlavními výzvami současného zemědělství (Hawkesford, 2014). Pokud má být do roku 2050 splněna předpokládaná poptávka po potravinách, je nutné zvýšit výnos plodiny o 70 % (Tilman a kol., 2011). V budoucnosti vzroste i množství aplikovaného dusíku s rostoucí poptávkou po produkci potravin (Li a kol., 2017). Zvýšené ekonomické náklady a obavy o životní prostředí zvýšily snahu snížit vstupy dusíku při zachování nebo dokonce zvýšení výnosu zrna (Zhang a kol., 2015).

Celosvětové produkční systémy se velmi liší v závislosti na klimatických a půdních faktorech. Ve všech zemědělských systémech existuje potřeba odpovídajících živin, obvykle dodávaných jako hnojivo v oblastech vyšší produkce. Dusík je hlavní makroprvek, který často omezuje růst rostlin. Aplikace dusíkatých hnojiv v zemědělství se od poloviny 20. století výrazně zvýšila díky dopadu „zelené revoluce“ (Hawkesford, 2014).

Důležitost dusíku jako rostlinné živiny pro získání přiměřených výnosů zrn byla prokázána již dříve (Sieling a kol., 2005). Dusík je nezbytný pro život a hraje klíčovou roli v produkci potravin. Dusík je nejvýznamnějším faktorem omezujícím výnos plodin na světě, spolu s vodou (Mueller a kol., 2012). To je důvod, proč zemědělci používají dusíkatá hnojiva, která byla cenově dostupná v rozvinutých zemích od padesátých let a v poslední době už téměř ve všech zemích (Smil, 2000). Aplikace velkého množství dusíku však vede ke znečištění, které je škodlivé pro správné fungování našich ekosystémů a našeho zdraví. Dohled nad množstvím a způsobem aplikovaného dusíku je proto důležitý zejména v zemědělství, které je největším uživatelem dusíku na světě. Dohled nad aplikací dusíku v zemědělství se zaměřuje na dosažení agronomických cílů (ekonomika, vysoká produktivita plodin a zvířat) a environmentálních cílů (minimální ztráty dusíku) současně. Omezování ztrát dusíku není však snadné, protože cyklus dusíku je složitý a dusík snadno přechází do životního prostředí (EU Nitrogen Expert Panel, 2015). Proto přesné předpovídání množství dusíku potřebného pro růst rostlin může pomoci optimalizovat výnosy zrna, zisky

zemědělských podniků, efektivitu využití dusíku a snížit riziko znečištění životního prostředí (Zhao a kol., 2014).

3.2 Budoucnost pěstování pšenice

OSN předpovídá, že světová lidská populace dosáhne do roku 2050 9,4 miliardy lidí. Svět proto musí v následujících 40 – 50 letech vyvinout kapacitu pro zásobování 10 miliard lidí. Většina z této kapacity bude muset vycházet z větších výnosů na stávajících plodinách a plochách. Tohoto zvýšení bude nutné dosáhnout bez přiměřeného nárůstu využívání vody nebo hnojiv a v souvislosti se změnou klimatu (Hirel a kol., 2007).

I navzdory pokračujícímu šlechtitelskému pokroku (Laidig a kol., 2014) se v posledních letech růsty výnosů pšenice ozimé zpomalily (Fischer a kol., 2014). Tento efekt byl spojen s posunem v procentech výměry (Laidig a kol., 2014), extenzifikací vstupů v některých západních zemích (Lassaletta a kol., 2014), ale stále více také s klimatickými změnami (Lobell a kol., 2011). Tento vývoj je spojen s vyššími výkyvy výnosů (Peltonen-Sainio a kol., 2010). Současně čelí zemědělci stále přísnějším omezením povolené míry hnojení, zejména pro dusík a fosfor kvůli přísnějším právním předpisům v oblasti životního prostředí (van Grinsven a kol., 2012). Trend vyšší poptávky po obilovinách nicméně zůstává nepozměněný (Fischer a kol., 2014), proto není pochyb o tom, že si pšenice udrží svou dominantní pozici v evropském zemědělství díky své přizpůsobivosti a přijetí ze strany spotřebitelů. Bude se však také muset přizpůsobit měnícím se požadavkům zemědělců, zpracovatelů a spotřebitelů potravin (Shewry, 2009).

3.2.1 Snížení vstupů dusíkatých hnojiv

Současně pěstované odrůdy pšenice jsou charakteristické tím, že vyžadují vysoké vstupy dusíkatých hnojiv a agrochemikálií, aby bylo dosaženo vysokých výnosů v kombinaci s obsahem bílkovin potřebných pro výrobu chleba. Například zemědělci ve Velké Británii v současné době aplikují 250 – 300 kg N/ha, aby dosáhli 13% obsahu bílkovin potřebného pro pekárenský proces. Protože plodina o výnosu 10 t/ha obsahující 13 % bílkovin odpovídá potřebě asi 230 kg N/ha, znamená to, že může dojít ke ztrátě 50 – 70 kg N/ha. Vzhledem k vysokým cenám dusíkatého hnojiva, to představuje významnou finanční ztrátu i ztrátu energie potřebné k výrobě hnojiva a může to způsobovat také neblahé důsledky pro životní prostředí (Shewry, 2009). Z tohoto důvodu jsou v České republice nařízením vlády stanoveny maximální limity přívodu dusíku k jednotlivým plodinám. Limity k jednotlivým plodinám, závisí na začlenění zemědělského pozemku do jedné ze tří výnosových hladin, za využití

systemu bonitovaných půdně ekologických jednotek. Limit pro pšenici ozimou potravinářskou se dle výnosové hladiny pohybuje v rozmezí 170 – 230 kg N/ha. V limitu hnojení je započítán celkový dusík z minerálních hnojiv, podíl dusíku využitelného pěstovanou plodinou ze statkových hnojiv živočišného původu a z organických a organominerálních hnojiv, popřípadě upravených kalů (Klír a kol., 2016).

Řada projektů na celém světě se zaměřuje na pochopení procesů, které určují účinnost absorpce, asimilace a využití dusíku, aby se zlepšila účinnost regenerace dusíku v zrna (Foulkes a kol., 2009). Snížení potřeby dusíku u pšenice se nevztahuje pouze na obsah bílkovin zrna, protože přiměřená dávka dusíku je také nezbytná pro vysoké výnosy pšenice (Dalling, 1985).

3.2.2 Udržení stabilní kvality pšenice

Očekává se, že zvýšení teploty a koncentrace oxidu uhličitého spojené se změnou klimatu budou mít vliv na vývoj pšenice a její výnos, ačkoli velikost těchto výkyvů je obtížné předvídat kvůli interakcím s jinými faktory, které mohou být také ovlivněny, zejména dostupností vody a množstvím škůdců a patogenů (Semenov, 2008).

I když je obecně známo, že vyšší teploty v době růstu mají za následek vyšší pevnost těsta, přesné účinky nejsou jasně popsány (Dupont a Altenbach, 2003), protože tepelný stres (tj. teploty nad 30 – 33 ° C) ve skutečnosti vede k oslabení růstu a snížení kvality (Blumenthal a kol., 1993). Nedávný přezkum účinků koncentrace CO₂ na jakost zrna rovněž nedospěl k jasným závěrům (Högy a Fangmeier, 2008).

Pro pěstitele pšenice a průmysl využívající zrna pšenice existuje proto zájem o snížení meziročních výkyvů ve výnosech. Do budoucna se ovšem předpokládá, že se zvýší četnost a velikost těchto výkyvů (Porter a Semenov, 2005).

3.3 Hnojení pšenice ozimé

Plodiny, jako zdroj základních látek a živin, vždy neobsahují dostatečné množství těchto potřebných prvků, aby splňovaly požadavky na výživu člověka. Výzkum ukazuje, že aplikace hnojiv N, P, K obecně zvyšuje úrodu plodin i kvalitu výživy (Zhao a kol., 2008).

Pro dosažení dostatečného výnosu pšeničného zrna v požadované kvalitě je jedním z rozhodujících faktorů vyvážená výživa porostů pšenice. Zvýšenou pozornost hnojení pšenice musíme věnovat především v období intenzivního růstu na jaře, kdy se vytváří jednotlivé výnosotvorné prvky. Jedná se zejména o počet produktivních odnoží, to je počet

klasů na jednotku plochy, dále o délku klasu, respektive počet zrn v klase a v neposlední řadě o velikost zrn, respektive hmotnost tisíce zrn. Každý tento parametr můžeme významně podpořit hnojením. Počet odnoží můžeme zvýšit regeneračním hnojením po zimě, počet zrn v klase produkčním hnojením na počátku sloupkování a hmotnost zrn můžeme ovlivnit pozdním přihnojením (Ryant a kol., 2017).

Živiny dodané hnojivem působí na příjem svým množstvím a mobilitou (rozpustností). Příjmový potenciál je dán jednak dodaným a jednak v půdě uvolnitelným a zachovaným objemem živin, kdežto vlastní příjem je podmíněn obsahem živin, který přejde do půdního roztoku. To vše podléhá ve složitých interakcích všem známým vlivům působícím na příjem živin. Na dodané živiny je vliv výraznější než na živiny z půdní zásoby. Zejména extrémní povětrnost vyvolává rozsáhlé a výrazné výkyvy, především na půdách s nízkou úrodností. Příjem živin z hnojiv v roce aplikace bývá nižší než z půdní zásoby. Stupňované dávky živin v hnojivech příjem obecně zvyšují, pokud tomu nebrání některý vnější nebo vnitřní faktor. Příjem živin však není přímo úměrný dodanému množství, ale zaostává za ním. Hnojiva dodaná do půdy ovlivňují příjem živin většinou nejen bezprostředně, to znamená v roce hnojení, ale i následně. Nejvýraznější je tento následný vliv u organických a fosforečných hnojiv. Rozdíly v příjmu živin vyvolané jejich odlišnou formou (především rozpustností) se zmenšují se zvyšující se půdní úrodností. Vliv odlišného způsobu a doby aplikace hnojiva na příjem živin bývá nejvýraznější u dusíku. Často je však silně podmíněn povětrnostními vlivy (Baier a Baierová, 1985).

Příjem živin má většinou od začátku až do sklizně vzestupnou tendenci. U obilnin, ale i jiných dozrávajících plodin, může ke konci vegetace docházet k poklesu přijatých živin. Je to důsledek opadu některých orgánů, vyplavení a desorpce živin z rostlin. Podíl živin v kořenech v porovnání s nadzemní biomasou je obecně malý. U obilnin se z celkového množství živin odebraných celou rostlinou nachází v kořenech kolem 15 – 20 % N, 15 – 20 % P a 20 – 25 % K. Z procentuálního vyjádření vyplývá, že např. ozimá pšenice přijme od začátku sloupkování: 34 % N, 25 % P, 37 % K, 35 % Ca, 16 % Mg (Baier a Baierová, 1985).

Například hnojení zvyšuje koncentraci bílkovin v obilovinách. Nadměrné používání hnojiv, zejména dusíkatých hnojiv, však může vést k nežádoucím změnám, jako je zvýšení obsahu dusičnanů, nebo snížení koncentrace Mg a Ca (Zhao a kol., 2008). Úkolem výživy a hnojení, je proto vytvořit pěstovaným plodinám co nejprůzračnější podmínky pro růst a vývoj rostlin tak, aby byl zajištěn optimální výnos při požadované kvalitě produktu. (Hřivna, 2012).

3.3.1 Hnojení minerálními hnojivy

Minerální výživa, zejména výživu dusíkem, v interakci s jinými prvky, jako je fosfor a draslík, významně ovlivňuje výnos a kvalitu pšenice (Zecevic a kol., 2010). Globálně se pro zvýšení výnosu plodin používají vysoké vstupy dusíku ve formě minerálních hnojiv. Výnosy plodin však rostly mnohem pomaleji než nárůst použitého hnojiva (Vitousek a kol., 2009). Výsledkem je zejména nízká účinnost používání dusíku. Od 90. let tyto vysoké vstupy dusíku vedly k vážnému zhoršování životního prostředí, včetně eutrofizace povrchových vod, znečištění podzemních vod dusičnany, kyselá dešť, okyselení půdy, emise skleníkových plynů a další formy znečištění ovzduší (Ju a kol., 2009). Naléhavě je třeba zlepšit postupy výživy rostlin, které maximalizují výnos plodiny a udržují produktivitu půdy a zároveň minimalizují dopad na životní prostředí.

3.3.2 Hnojení organickými hnojivy

Organická hnojiva příznivě ovlivňují obsah organického uhlíku v půdě (Sradnick a kol., 2014) a ovlivňují množství mikrobiální biomasy v půdním horizontu (Geisseler a Scow 2014). Organická hnojiva mají přímé a nepřímé účinky. Přímý účinek spočívá v pomalém uvolňování živin do životního prostředí v důsledku procesu mineralizace (Hlisenkovský a Kunzová 2014), zatímco nepřímý účinek spočívá v příznivém vlivu na strukturu půdy (Biau a kol., 2012). Komposty, zvířecí hnůj a zelené hnojení zlepšují strukturu půdy. Rostliny rostou lépe v půdě s dobrou strukturou a minerální hnojiva jsou také lépe využívána. Organické hnojení by se proto mělo provádět na začátku rotace - tedy před pěstováním první plodiny na poli (Herbolt, 2003).

3.3.3 Hnojení dusíkem

Pšenice ozimá je velmi náročnou plodinou na dusík zvláště v období intenzivního růstu od konce odnožování do mléčné zralosti (Faměra, 1993). Výživa dusíkem je nejvýznamnější opatření, ovlivňující utváření výnosotvorných prvků i vlastní výnos a kvalitu zrna (Vaněk a kol., 2007). Dusíkaté hnojení je pro výnos a kvalitu velmi významné. Jeho účinnost je však snižována nedostatečnou výživou ostatními živinami (Petr, 2001).

Dusík je hlavní složkou chlorofylu, rostlinných hormonů a vitaminů v plodinách. Rovněž přímo ovlivňuje výnos plodin a je důležitý z hlediska hnojení (Jeong a Bhattarai, 2018). Hnojení dusíkem zvyšuje obsah bílkovin v znu a společně se zvyšováním bílkovin se zvyšuje i obsah dusíkatých látek. To je obvykle spojeno se zvýšenou kvalitou pšenice. (Tipples a kol., 1977). Obsah bílkovin v znu pšenice je ovlivněna genotypem, podmínkami

prostředí a dostupností živin v půdě, zejména dusíku. Tyto faktory interagují, aby ovlivnily schopnost rostliny produkovat bílkoviny a začlenit je do vyvíjejícího se pšeničného zrna (Zhao a kol., 2008).

Aplikace dusíkatých hnojiv může vést ke značnému zvýšení výnosů zrna pšenice, ale efektivita využití dusíku je často nízká. (Riar a Coventry, 2013). Balík a kol. (2012) uvádějí, že oproti nehnojené variantě, kde je průměrný výnos 2,5 t/ha byl při používání organických hnojiv jako hnůj a čistírenský kal výnos vyšší o 50 % a na variantách s aplikovaným minerálním dusíkatým hnojením až o 140 %. Na úrodných stanovištích byl na variantách s organickým hnojením o 9 – 50 % vyšší výnos ve srovnání s nehnojenou variantou a na variantách s minerálním hnojením byl vyšší výnos pouze o 30 – 57 %. Mezi další výhody aplikací dusíkatých hnojiv patří zlepšení a intenzivnější růst rostlin v rané fázi plodin, zvýšená konkurenceschopnost vůči plevelům a nakonec i již zmíněné zlepšení výnosů a kvality obilí. Nicméně když je nedostatek srážek, zvýšená intenzita růstu spojená s aplikací dusíkatých hnojiv může vést k vyčerpání půdní vlhkosti, a pak k velkému vodnímu stresu, což omezuje odezvu plodin na aplikace dusíku (Angus, 2001).

Na základě teorie co-limitingu jsou účinky aplikace dusíku na růst plodin značně omezeny dostupností vody, zejména v oblastech s nízkým množstvím srážek (Sadras, 2004). Voda, která je k dispozici, hraje ve využívání dusíku rostlinami velmi důležitou roli. Přebytková voda, která je k dispozici, může vést k různým ztrátám dusíku a naopak její nepřítomnost inhibuje příjem dusíku (Riar a Coventry, 2013). S probíhajícími změnami klimatu se stále častěji setkáváme s jarními přísuškami, které mají vliv na využití dusíku z aplikovaných minerálních hnojiv rostlinami. Na rozdíl od přímořských států s větší jistotou srážek zůstává dusík z minerálních hnojiv při nedostatku srážek delší dobu v povrchové vrstvičce půdy a vzhledem ke klesající aktivitě kořenů v proschlé vrstvě půdy je omezen jeho příjem rostlinami. V zemědělské praxi, zejména v teplejších a sušších oblastech, je častou chybou opožděné provedení kvalitativního přihnojení ozimé pšenice, kdy aplikovaný dusík při absenci srážek v následujícím období není využit rostlinami (Bouma, 2019).

3.3.3.1 Dělení aplikací při hnojení dusíkem

V produkčních systémech pšenice ozimé se ukázaly dělené aplikace dusíkatého hnojiva mezi podzimem a jarem výhodnější, než jednorázové aplikace, protože větší potřeba dusíku nastává na jaře během rychlého prodlužovacího růstu (Sowers a kol., 1994). Kromě toho, že hnojení cílíme do rozhodujících vegetačních fází, a tím zvyšujeme jeho efektivitu, má toto dělení dávek i aspekt environmentální a snižují se tak případné ztráty (Ryant a kol., 2017).

Jedním z nejdůležitějších zjištění v posledních letech je to, že když se dusíkaté hnojivo aplikuje v dávkách, které odpovídají poptávce plodiny, prakticky nezůstalo v půdě při sklizni žádné zbytkové minerální dusíkaté hnojivo (Jenkinson, 2001). Studie používající hnojiva označená izotopem ^{15}N v Evropě ukázala, že pouze 1 – 2 % hnojiva aplikovaného na jaře zůstává v půdě jako minerální dusík při sklizni (Macdonald a kol., 1989). Dusíkatá hnojiva používaná v dávkách, které odpovídají poptávce rostlin, a v době, kdy je riziko vyluhování nízké, proto mohou minimalizovat přímé ztráty vyluhování dusíku z hnojiv (Cameron a kol., 2013).

3.3.3.2 Načasování aplikací dusíku

Úprava načasování aplikací dusíku lépe odpovídá poptávce plodin a může přinést prospěch prostřednictvím lepší efektivity využití dusíku. Doba největší potřeby dusíku nastává obvykle během fáze prodlužování. Studie zjistily, že využití dusíku z hnojiva pšenicí bylo 13 – 27 %, když se dusík aplikoval při setí, ale zvýšilo se na 41 – 55 % pokud byl dusík aplikován na list na začátku prodlužování stébla. Toto dokazuje, že rozdělení aplikací dusíkatých hnojiv je důležitým nástrojem pro zlepšení efektivity využívání dusíku (Lopez-Bellido a kol., 2012).

Podíl odebraného dusíku na podzim není vyšší než 10 % z celkového odběru, a proto aplikovat vysoké dávky dusíku před setím je zbytečné a neekologické. Odběr dusíku se zvyšuje na jaře, kdy rostliny po zimě musí obnovit biomasu a regenerovat. Do začátku sloupkování rostliny přijmou v průměru asi 40 % dusíku a intenzita jeho příjmu roste až do konce kvetení, kdy odebere dalších 30 % této živiny. Po odkvětu se požadavky rostlin na dusík relativně snižují, jelikož se dusík přemísťuje z ostatních částí rostliny do tvořícího se zrna. Na konci vegetace je v zrně nahromaděno až 75 % dusíku. Využití dusíku na tvorbu zrna je často v našich podmínkách negativně ovlivňováno nízkým obsahem fosforu, draslíku, hořčíku a síry. Při zakládání porostů ozimé pšenice je proto nezbytné provést základní hnojení fosforečnými a draselnými hnojivy (Hřivna, 2012).

Rozdělení dávek dusíku v průběhu vegetace je závislé také na genetických dispozicích jednotlivých odrůd. U odrůd, které tvoří výnos produktivitou klasu, posílíme hnojení dusíkem při produkčním hnojení. Naopak u těch, které tvoří výnos počtem odnoží, je třeba posílit regenerační hnojení, popřípadě již hnojení základní. Pozdní nebo chcete-li kvalitativní přihnojení, pekárenských pšenic by mělo být bez ohledu na odrůdu samozřejmostí (Ryant a kol., 2017).

Němečtí zemědělci, kteří pěstují ozimou pšenici, obvykle používají dusíkatá hnojiva, většinou jako dusičnan vápenato - amonný (LAV: 27 % N), ve fázi BBCH 25/27 (fáze odnožování), BBCH 29/31 (začátek prodlužovacího růstu) a BBCH 49/51. Pro produkci pšenice pro potravinářské využití s vysokým obsahem bílkovin někteří zemědělci odložili třetí dávku nebo zahrnuli další aplikaci dusíku na BBCH 59/60 (začátek kvetení). U rozdělených aplikací jsou synchronizovány dávky dusíku a příjem dusíku rostlinami, což zvyšuje účinnost využití dusíku (Sieling a kol., 1998).

Výhodou tradičních strategií hnojení dusíkem (tři nebo čtyři aplikace) je to, že podporují jednotlivé složky výnosu v příslušných fázích vývoje rostlin (Kurzyńska a kol., 2013). Rozdělení aplikací při hnojení dusíkem se doporučuje také z jiných důvodů, včetně toho, že vysoký obsah dusičnanů v půdě vede k vysokému potenciálu plyných emisí oxidu dusíku (N_2O , N_2), zejména denitrifikací (Plaza a kol., 2014).

3.3.3.3 Snížení počtu aplikací dusíkatého hnojiva

V praxi však zkušenost ukázala, že ozimá pšenice může být úspěšně pěstována také pomocí jedné nebo dvou aplikací dusíkatého hnojiva. Translokační vlastnosti moderních odrůd pšenice, zejména během období plnění zrna, podporují použití zjednodušených strategií hnojení dusíkem. Například výsledky čtyřleté studie v provozních podmínkách prokázaly schopnost moderních odrůd pšenice vyvinout vysoké výnosy zrn a obsah bílkovin navzdory zjednodušeným strategiím hnojení dusíkem, to je snížením počtu aplikací dusíku (Schulz a kol., 2014). V porovnání se staršími odrůdami pšenice mají moderní odrůdy vyšší sklizňový index a kratší vegetační období, takže je sníženo riziko poléhání, pokud jsou aplikovány vysoké dávky dusíku na začátku sezóny (Sinclair, 1998).

Další potenciální výhoda těchto strategií hnojení dusíkem nastává za suchých podmínek (např. květen – červen), během nichž je efektivita využití dusíku nízká, pokud je dusíkaté hnojivo aplikováno později než BBCH 49/51 (Hartman a Nyborg, 1989). Vysoké teploty mnoha oblastí během období plnění zrn mají za následek abiotický stres, čímž omezují produktivitu pšenice ozimé (Barnabás a kol., 2008).

V tomto kontextu tedy může být prospěšné použití koncentrovaného dusíkatého hnojiva v dřívějších fázích vývoje rostlin. Kromě toho mohou být omezení dusíkatého hnojení během raného vývoje (např. kultivace), která omezují počet stébel nesoucích klas, kompenzována pozdějším zlepšeným vývojem dalších složek výnosu (např. počtem zrn v klasu). Vyplavení dusíku během časnějších aplikací je rizikem pouze na písčítých nebo velmi mělkých půdách (Brümmer a Horn, 2010).

Výsledky studií naznačují, že vlastnosti moderních odrůd pšenice, zejména vysoký sklizňový index (krátká stébla), umožňují zjednodušené strategie hnojení dusíkem založené na vysokých dávkách dusíku ve stadiích BBCH 25/27 nebo 29/31. Snížené riziko poléhání moderních kultivarů pšenice může být rozhodující pro produkci vysokých výnosů získaných v pokusech, protože k poléhání nedošlo, přestože nebyl použit žádný regulátor růstu. Hnojení dusíkem před anthesí zvyšuje obsah dusíku v rostlinách, a tím i translokaci dusíku do zrn po anthesi (Papakosta a Gagianas, 1991).

V pšenici 50 – 95 % dusíku v zrně při sklizni pochází z remobilizace dusíku uloženého v rostlině před anthesí. Během období plnění zrn je tento zdroj důležitější než adsorbované množství dusíku přijatého z vnějšího zdroje (Gaju a kol., 2011). Kromě toho se velká část dusíku do zrna přenáší z vegetativních orgánů, zejména z listů a stébel (Makary a kol., 2019).

Výsledky studií popisující vliv strategií hnojení dusíkem na vývoj výnosových složek a na konečné výnosy dosáhly protichůdných závěrů. Například, na rozdíl od výsledků zmiňovaných výše, alespoň ve třech studiích hnojení dělenými aplikacemi podporovalo počet odnoží na metr čtverečný a zvýšil se i výnos zrna (Alcoz a kol., 1993).

3.3.3.4 Základní hnojení

Základní hnojení má za cíl zajistit dávku nezbytně nutného množství dusíku, aby došlo k vytvoření silného, ale nepřehoustlého porostu, který má nejlepší předpoklady k úspěšnému přezimování (Prugar a kol., 2008). Toto hnojení by mělo být realizováno nejpozději do období setí, nejčastěji probíhá aplikace hnojiv při předseťové přípravě, aby došlo k jejich zapravení do půdy. Jelikož je potřeba rostlin v podzimním a zimním období malá (Vaněk a kol., 2007), za normálního průběhu počasí 10 – 12 % z celkově přijatého množství (Prugar a kol., 2008), a s ohledem na možnosti ztrát dusíku, zpravidla proplavením, není v tomto období vhodné na většině stanovišť dusíkem hnojit (Vaněk a kol., 2007). Vhodným kritériem pro zjištění potřeby podzimního hnojení dusíkem je obsah minerálního dusíku v půdě. Pokud je množství vyšší než 10 mg/kg v půdním profilu 0 - 30 cm, hnojení vynecháváme (Škarpa a kol., 2016). Faměra (1993) také doporučuje u ozimů tuto dávku vynechat, pouze výjimečně ve velmi suchých oblastech a při zaorávce většího množství posklizňových zbytků z předplodiny, je možno aplikovat do 1/3 celkové dávky, to je do 40 kg N/ha. Základní hnojení dusíkatými hnojivy může také pomoci při zakládání porostu pšenice při nevhodném střídání plodin v osevním postupu (Roberts a Slaton, 2014)

3.3.3.5 Přihnojení během vegetace

Pro větší jistotu dosažení dobré jakosti zrna pšenice, je účelnější posunout hnojení na konec vegetačního období a na začátek generativního. Zkušenosti z pokusů ukazují, že je lepší vypustit základní hnojení na podzim a těžiště hledat především v regeneračním a produkčním hnojení (Petr, 2001).

Převážnou část dusíkatých hnojiv při přihnojení během vegetace aplikujeme na list. Volíme takové dávky a období, kdy můžeme ovlivnit utváření výnosotvorných prvků. Těmito obdobími jsou především fáze odnožování a diferenciací vegetačního vrcholu. Volíme optimální dávky hnojiva, k jejichž optimalizaci využíváme údaje o aktuálním stavu porostu, průběhu povětrnostních podmínek, případně rozboru půd nebo rostlin (Vaněk a kol., 2007).

3.3.3.5.1 Regenerační hnojení

Regenerační dávka dusíku má za cíl obnovit tvorbu biomasy u zimou zesláblých porostů, zahuštění porostu odnožováním a tím vytvořit podmínky pro dosažení vyššího počtu klasů na jednotku plochy (Prugar a kol., 2008). Dávku regeneračního hnojení posílíme především u odrůd, které tvoří výnos počtem odnoží (Ryant a kol., 2017).

Tato dávka se aplikuje zpravidla v březnu, v době, kdy nastávají vhodné podmínky pro regeneraci rostlin (Faměra, 1993). Hnojení se provádí brzy na jaře, jakmile to půdní a povětrnostní podmínky dovolí, aby byl dusík dostupný pro rostliny před obnovou růstu po zimě (Roberts a Slaton, 2014). Vhodné je při vyšší vlhkosti půdy a na pozemcích, které déle vysychají, hnojit na mírně promrzlou půdu při nočních mrazících nebo časně po ránu, což umožní snadnější pohyb aplikační techniky po pozemcích. Aplikační technika pak netvoří koleje, které by znesnadňovaly sklizeň a pohyb sklízecí techniky po pozemku (Vaněk a kol., 2007).

Pro rychlý příjem dusíku rostlinami, zvláště u řídkých a slabých porostů, se používá dusičnanová forma dusíku (Faměra, 1993). U středně odnožených porostů ozimé pšenice postupujeme podle zásady, že čím dříve začínáme s hnojením, tím více používáme hnojiva s amonnou a amidickou formou dusíku (DASA, močovina, močovina s inhibitorem ureázy) v dávce 40 – 60 kg N/ha (Růžek, 2009). Při použití močoviny je důležité, zda denní teploty již nepřekračují 10 °C, protože při takových teplotách močovina hydrolyzuje a vzniklý amoniak může těkat a dochází tak ke ztrátám na aplikovaném dusíku. Ideální situace je, když po aplikaci močoviny můžeme očekávat srážky, díky kterým se močovina rozpustí a dostává se tak lépe ke kořenům (Ryant a kol., 2017). Naopak při pozdějším a rychlém nástupu jara má nezastupitelnou úlohu nitrátový dusík, který nejčastěji dodáváme v hnojivech s nitrátovým

dusíkem na bázi ledku amonného. Ledky jsou také nejvhodnějším hnojivem pro slabší porosty, u kterých potřebujeme podpořit odnožování (Růžek, 2009).

Důležitým ukazatelem při rozhodování o dávce dusíku pro jarní regenerační přihnojení je kromě počtu rostlin na 1 m², počtu odnoží, zdravotního stavu, také obsah minerálního dusíku v půdě, to je součet jeho dvou hlavních forem, amonné a nitrátové, popřípadě i jejich vzájemný poměr. Množství zjištěného dusíku v půdě se tak může odečíst z celkové vypočtené dávky dusíku pro produkci očekávatelného množství zrna. Postup je obecně znám, jen je třeba připomenout, že i když se průměrný výnos v posledním roce pohyboval v ČR v průměru kolem 6 t/ha, v úrodnějších oblastech nebyly neobvyklé výnosy přes 9 tun zrna z hektaru. Celková potřeba dusíku pro pšenici se v takovém případě dostává až ke 230 kg N/ha (Ryant a kol., 2017).

Z výsledků polních pokusů s aplikací různých forem dusíku značených izotopem ¹⁵N v dávce 50 kg N/ha na začátku jarní vegetace ozimé pšenice vyplývá, že do začátku sloupkování (fáze BBCH 31) rostliny využily v průměru různých ročníků 50 – 60 % dusíku aplikovaného v nitrátové formě v dusičnanu amonném, 5 – 15 % dusíku v amonné formě a 20 – 40 % dusíku z aplikované močoviny. Přitom vyšší hodnoty (nad 30 %) využití dusíku z močoviny rostlinami byly dosaženy při použití močoviny s inhibitorem ureázy, který zpomaluje rozklad močoviny, omezuje ztráty únikem amoniaku a vytváří lepší předpoklady pro transport nehydrolyzované močoviny ke kořenům rostlin (Růžek, 2009).

Zkušenosti posledních let ukazují, že regenerační hnojení zajišťuje dobrou výnosovou jistotu vzhledem k příznivým vláhovým podmínkám tohoto období a častějším obdobím sucha v pozdějších měsících (Vaněk a kol., 2007).

3.3.3.5.2 Produkční hnojení

Důležitost tohoto hnojařského opatření spočívá v udržení vysoké produktivity porostu. V tomto období se zaměřujeme především na počet plodných odnoží a počet kvítků na vzrostném vrcholu, tedy na počet zrn v klase (Prugar a kol., 2008). Dávku dusíku při této aplikaci posílíme především u odrůd, které tvoří výnos produktivitou klasu (Ryant a kol., 2017).

Hnojiva aplikujeme po odnožení na počátku sloupkování (Vaněk a kol., 2007). Pokud by došlo ke zpoždění aplikace dusíkatého hnojiva, mohlo by toto zpoždění znamenat snížení výnosů ve srovnání s výnosem získaným při aplikaci hnojiva na počátku sloupkování (Efretuei a kol., 2016). Na počátku sloupkování dochází k diferenciaci vegetačního vrcholu (zakládá se počet zrn v klasu). Pozdějším nárůstem fytomasy, začíná zvýšený příjem dusíku

a je zapotřebí zajistit tvorbu založených stébel. Spolu s dostatečným počtem zrn v klasu to je předpoklad vysoké produkce zrna (Vaněk a kol., 2007).

Dávka se upřesňuje podle rozborů rostlin, dále podle aktuálního stavu porostu, předpokládané celkové dávky dusíku a průběhu počasí. Množství dodaného dusíku se pohybuje v rozmezí 30 až 60 kg N/ha. Vhodnými hnojivy jsou LAV a DAM 390. S výhodou se využívá kapalných hnojiv, která je možno aplikovat společně s dalšími kapalnými látkami, jako jsou pesticidy a regulátory růstu (Faměra, 2003).

Regenerační spolu s produkčním hnojením jsou nejvýznamnější hnojařská opatření, která uplatňujeme u porostů ozimé pšenice (Vaněk a kol., 2007).

3.3.3.5.3 Kvalitativní hnojení

Dělené hnojení a zvláště hnojení kvalitativní podle průběhu povětrnostních podmínek vytváří předpoklady pro zvýšenou technologickou jakost pšenice (obsah bílkovin, mokrého lepku a pekařské kvality zrna) (Tvarůžek a kol., 2011). Běžnou praxí je použití pozdního hnojení dusíkem ke zvýšení koncentrace bílkovin zrn pečárenské pšenice a tím ke zlepšení reologických vlastností těsta. Použití dusíkatého hnojiva, zejména krátce před sklizní, představuje environmentální rizika, jako je vyplavení dusičnanů a emise oxidu dusného (Senbayram a kol., 2009).

Kvalitativní přihnojení dusíkem se provádí zpravidla ve dvou obdobích. U slabších porostů, kde je potřeba posílit asimilační aparát a udržet co nejvyšší počet produktivních odnoží přihnojujeme již velmi brzo, a to v období objevování posledního listu (v růstové fázi BBCH 37). Toto přihnojení bývá řazeno i jako druhé produkční hnojení. Ostatní porosty přihnojujeme až na počátku metání (ve fázi BBCH 51). Pro hnojení v tomto období volíme zpravidla pevná hnojiva, při volbě kapalných hnojiv použijeme aplikační nástavce, jinak hrozí nebezpečí popálení porostu, zvláště pak praporcového listu a klasu, které v daném i následujícím období tvoří převážnou část asimilátů (Tvarůžek a kol., 2011). Přihnojení ozimé pšenice na konci sloupkování a během metání prodlužuje a zintenzivňuje aktivitu asimilačního aparátu. Tím vytváří především u odrůd s vysokou produktivitou klasu předpoklady pro vysokou hmotnost tisíce zrn a vyšší syntézu bílkovin v tvořících se obilkách. Čím hnojíme později, tím méně ovlivňujeme hmotnost zrn a naopak vytváříme podmínky pro zvýšení obsahu dusíkatých látek v znu. Využití dusíku z aplikovaných hnojiv rostlinami je většinou nižší než přihnojení v ranějších fázích růstu, pohybuje se v našich podmínkách zpravidla jen od 30 do 50 %. Dávka dusíku při kvalitativním hnojení ozimé pšenice se nejčastěji pohybuje od 30 do 60 kg N/ha, ale pro nové odrůdy s vysokou produktivitou klasu

a dosahovanými výnosy 8 t/ha při hospodaření na půdě bez živočišné výroby a po horších předplodinách by byly potřeba ještě vyšší dávky, a to zejména při požadavku na vyšší obsah dusíkatých látek v znu (například 14 %) (Růžek a kol., 2011).

Účinnost kvalitativního přihnojení je ovšem silně závislá na dostatku srážek po přihnojení, což bývá v našich podmínkách v tomto období nejisté (Petr, 2001). Další podmínkou účinnosti je dobrý zdravotní stav porostu, nebo ošetření porostu proti chorobám, jelikož kvalitativní přihnojení podporuje rozvoj těchto chorob (Faměra, 1993).

Při použití listových hnojiv (například roztoky močoviny) může být účinnost aplikovaného dusíku vyšší, protože se dusík z hnojiva může rychleji dostat do pletiv rostlin, ale vzhledem k riziku popálení listů můžeme tímto způsobem dodat rostlinám jen malé množství dusíku. Z pevných dusíkatých hnojiv jsou doporučována pro kvalitativní přihnojení ledek vápenatý, močovina s inhibítorem ureázy, močovina, ledek amonný s vápencem a další. Přitom ledek vápenatý vzhledem k ceně hnojiva a problémům s aplikací při vyšší teplotě a vlhkosti vzduchu není téměř používán. Močovinu je možné aplikovat rozmetadly s pneumatickým dávkováním (u běžných rozmetadel maximálně na vzdálenost kolejových řádků 20 m) a největší efekt hnojení nastává, jestliže je při aplikaci hnojiva teplota vzduchu nižší než 20 °C, nízká sluneční aktivita a nejpozději do dvou dnů přijde alespoň 10 mm srážek. (Růžek a kol., 2011).

3.3.3.6 Nedostatek dusíku

Pšenice ozimá při intenzivním pěstování obvykle nedostatkem dusíku netrpí. Přesto se v některých letech a při některých způsobech zpracování půdy mírné nedostatky dusíku objevují. Obecně je známo, že v posledních letech bývají na podzim a časně na jaře nízké zásoby přístupného minerálního dusíku v půdě. Proto v případě dlouhého vegetačně příznivého podzimu a mírné zimy, kdy pšenice stále roste, může dojít k prožloutnutí porostů v ohniscích a pásech. Tyto pásy signalizují buď větší utuženost půdy, ale hlavně jde o místa s větším množstvím organické hmoty (slámy), která se rozkládá a odebírá dusík z půdy (Bittner, 2009). Dusík se také snadno vyplavuje a je v poměrně velkém množství vyžadován rostlinami pšenice. Nedostatek dusíku se častěji projevuje především na lehkých, písčítých půdách a symptomy se liší podle doby výskytu (Cooper, 2010).

Rostliny trpící nedostatkem dusíku jsou světle zelené, tvoří méně biomasy a méně odnoží. Symptomy se nejprve vyskytují na nejstarším listu, který je světlejší než ostatní listy, znatelné žloutnutí začíná od špičky listu a postupuje až k řapíku. Když ostatní listy začínají žloutnout, nejstarší list mění svoji barvu ze žluté až na téměř bílou. Stonky mohou být světle

růžové. Rostliny s nedostatkem dusíku se vyvíjejí pomaleji než zdravé rostliny, ale zralost není příliš opožděna. Rostliny mají nižší obsah bílkovin v zrna (Scanlan, 2017).

3.3.4 Hnojení fosforem

Fosfor je po dusíku druhý nejdůležitější prvek ve výživě plodin a pšenice je na jeho nedostatek velmi citlivá. Je rozhodující pro růst rostlin, obzvláště v počátečních stádiích růstu a pro zvýšení výnosových složek (Römer a Schilling, 1986). Csatho (2003) uvádí, že aplikace fosforu vedla ke zvýšení výnosu pšenice ozimé o 0,2 – 1,9 t/ha. Tyto data byla získána analýzou dat ze 140 experimentů s hnojením fosforem, prováděných v Maďarsku v letech 1960 až 2000. Fosfor je důležitý pro tvorbu energie a pro metabolismus rostlin od raných fází až po konec životnosti rostliny (Marschner, 1995). Zvýšený obsah fosforu v půdě ovlivňuje hmotnost tisíce zrn a sklovitost. V průběhu vegetace se fosfor významně podílí na intenzitě a rozsahu asimilace dusíku. Je významný v prvním období růstu, neboť zvyšuje odolnost proti vymrzání a podporuje tvorbu kořenového systému. Kladně ovlivňuje všechny pochody při metání, kvetení a formování zrna (Hřivna, 2012).

Hnojení fosforem obvykle nemá přímý vliv na koncentraci bílkovin v pšeničném zrna. V některých případech však bylo zjištěno, že fosfor ovlivňuje absorpci dusíku a metabolismus, například rostliny hnojené fosforečným i dusíkatým hnojivem pšenice absorbovaly více dusíku než rostliny hnojené pouze dusíkem kvůli lepšímu vývoji kořenů. V jiných studiích aplikace fosforu v kombinaci s dusíkatým hnojivem bylo pozorováno snížení koncentrace bílkovin ve srovnání s aplikací samotného dusíku, pravděpodobně v důsledku zředění bílkovin zvýšeným výnosem zrna (Zhao a kol., 2008). Holford a kol. (1992) uvádějí, že fosfor má sklon snižovat koncentraci bílkovin v zrna pšenice, zejména v nepřítomnosti dusíkatého hnojiva.

Kritickým obdobím pro příjem fosforu rostlinami je počátek vegetace, zvláště za chladného, případně suchého počasí je výrazně ztížen jeho příjem. Postupným růstem kořenů a po zlepšení povětrnostních podmínek se může příjem fosforu zlepšit, ale výrazný deficit se již nedá plně nahradit (Vaněk a kol., 2007).

Hnojení fosforečnými hnojivy se provádí většinou společně s hnojivy draselnými prostřednictvím směsí jednosložkových hnojiv nebo kombinovanými hnojivy (Ryant a kol., 2004). Upřednostňujeme především hnojiva, která obsahují fosfor ve vodorozpustné formě. Nabízí se tedy superfosfáty, dále hnojiva obsahující fosfor v kombinaci s dusíkem (Amofos, NP) a draslíkem (PK hnojiva). V kyselých nebo alkalických půdách, kde dochází k významné chemisorpci fosforu v půdě, je vhodnější použití hnojiv obsahujících fosfor v méně rozpustné

formě, jako mleté fosfáty nebo hyperfosfáty (Škarpa a kol., 2016). Odstranění nedostatku fosforu během vegetace je obtížné. Běžné hnojení na povrch půdy je neúčinné a ani mimokořenová aplikace nezaručuje dobrý úspěch s ohledem na to, že fosfor pomalu proniká povrchem listů. K mimokořenové výživě lze použít hnojiva jako Amofos, Fostim nebo Pensol (Vaněk a kol., 2007).

3.3.4.1 Nedostatek fosforu

Symptomy nedostatku fosforu u pšenice jsou obvykle nespecifické a těžko se diagnostikují v terénu. Nejvýraznějším rysem nedostatku fosforu u pšenice je snížený růst a slabší habitus (Scanlan, 2017). Reuter a kol. (1997) poznamenali, že nedostatek fosforu má za následek, že rostliny pšenice méně odnožují, snižuje se plocha listů na rostlinu a zpomaluje se vývoj. Snižuje se výnos zrna hlavně tím, že se snižuje počet plodných odnoží.

Nedostatek fosforu nebývá u pšenic často viditelný, ale na kyselějších půdách a na půdách, kde dojde k zablokování příjmu fosforu, se listy pšenice mohou zbarvovat modrozeleně až s nádechem do červenofialové barvy. Toto červenofialové zbarvení se může přechodně objevovat i na listových pochvách a obvykle v průběhu vegetace zmizí (Bittner, 2009). Na starších listech začíná chloróza na vrchní straně na špičce a posouvá se pomalu dolů, zatímco báze listu a zbytek rostliny zůstávají tmavě zelené. Na rozdíl od nedostatku dusíku je nekróza (smrt) těchto chlorotických (bledých) oblastí poměrně rychlá, zatímco se špička listu kroutí a zbarvuje do oranžovohnědé barvy, zbytek žloutne (Scanlan, 2017).

3.3.5 Hnojení draslíkem

Draslík je důležitou živinou, na kterou je brán stále větší zřetel, protože dochází k vyčerpávání půdních rezerv. Nedostatek draslíku má za následek špatné hospodaření s vodou a dalšími živinami, což způsobuje, že plodiny jsou náchylnější k suchu, zamokření, mrazu a listovým chorobám (Scanlan, 2015). Draslík také úzce souvisí s asimilací dusíku v rostlinách. Ve studiích bylo pozorováno, že výživa draslíkem zvyšuje rychlost translokace aminokyselin do zrn a také přeměnu aminokyselin na proteiny uložené v zrně (Mengel a kol., 1981). Optimální zásoba draslíku vede k lepšímu využití dusíku v rostlinách a způsobuje zvýšení obsahu bílkovin, zlepšení sedimentace, hmotnost tisíce zrn a obsahu lepku. Ovlivňuje pevnost buněčných stěn, zvyšuje odolnost proti poléhání (Hřivna, 2012).

Při stanovení dávky draselného hnojiva postupujeme podobně jako u hnojení fosforečnými hnojivy. Řídíme se obsahem přístupného draslíku v půdě, který byl zjištěn při rozboru půdy, ale zároveň musíme zohlednit půdní druh. Při výpočtu skutečné dávky draslíku

musí být zohledněn jeho obsah nejen v půdě, ale i v posklizňových zbytcích, které zapravíme do půdy. Z draselných hnojiv se nejčastěji používají draselné soli, Korn-Kali, Kainit, nebo síranový typ hnojiv (Ryant a kol., 2004).

3.3.5.1 Nedostatek draslíku

Specifické symptomy nedostatku draslíku se vždy objevují na nejstarších listech pšenice, i když růst celé rostliny může být ovlivněn ještě před tím. To se projeví tím, že všechny listy mají nezdravý vzhled a jsou tenčí. Při závažném nedostatku draslíku začíná nekróza na nejstarších listech. Nekróza začíná na krajích listu a rychle se rozšiřuje na špičku. Výsledkem šíření nekrotické tkáně je zbytek zeleného pletiva ve tvaru šipky směřující ke špičce listu. Pletiva postižena chlorózou rychle odumírají při nedostatku draslíku oproti nedostatku dusíku. Kompletní odumření starých listů je běžné a rostliny na poli mohou vypadat, jako by uschly v důsledku stresu způsobeného suchem. Výsledek nedostatku draslíku je to, že rostliny neprospívají, jsou náchylnější k suchu a dosahují nižší hmotnosti tisíce zrn. Typickým příznakem jsou suché rostliny, s velkým množstvím opadaných listů a slabým růstem (Snowball a Robson, 1991).

3.4 Výnosotvorné prvky

Strukturu výnosu obilnin tvoří tři základní složky: počet klasů na jednotku plochy, počet zrn v klasu a hmotnost tisíce zrn. Tyto tři uvedené výnosotvorné prvky jsou na sobě vzájemně závislé, ovlivňují se a částečně i kompenzují (Vaněk a kol., 2007).

V seznamu registrovaných odrůd jsou pšeničné kultivary charakterizovány vyjádřením výnosových prvků. Po této klasifikaci dosahují typy „hustoty rostlin“ svůj výnosový potenciál s vysokou hustotou klasů na metr čtverečný, zatímco „typy klasové“ dosahují svého výnosového potenciálu s velkým počtem zrn na klas (Makary a kol., 2019).

V pěstitelské praxi rozlišujeme následující základní typy odrůd tvořící výnos: **produktivitou klasu** (s jejich menším počtem na m^2 , cca 450 – 550), odrůdy vytvářející méně odnoží, ale mají produktivnější klasy v důsledku: a) většího počtu zrn v klasu, b) větší hmotnosti tisíce zrn.

Počtem klasů na m^2 (cca 650 – 700 m^2) s menším nebo středním počtem zrn v klasu, odrůdy tohoto typu se obvykle vyznačují větší odnožovací schopností.

Počtem zrn na m^2 s dostatečným počtem klasů na m^2 (550 – 650) se středním nebo vyšším počtem zrn v klasu, v obou případech při nižší hmotnosti tisíce zrn.

Kompenzační typ, u kterého se na tvorbě výnosu mohou rovnoměrně podílet všechny tři výnosové prvky, počet klasů by se měl pohybovat mezi 550 – 650 na m², nižší úroveň jednoho výnosového prvku může být kompenzována zvýšenou hodnotou ostatních prvků vytvářených v časové posloupnosti (Horáková a Dvořáčková, 2017).

V pšenici bylo zlepšení výnosu zrna často spojeno s počtem zrn na jednotku plochy (Shearman a kol., 2005). Mnoho fyziologických studií prokázalo, že zvyšování počtu zrn v pšenici způsobuje téměř paralelní zvýšení výnosu a že počet zrn silně souvisí se suchou hmotností klasů při anthezi (Slafer, 2003). Vzhledem k tomu, že růst klasu probíhá v poměrně krátkém období v rámci vývoje preantézy, většinou současně s prodlužováním stonku, bylo navrženo, že změna délky fáze stárnutí by mohla přinést zlepšení sušiny klasu a počtu zrn (Slafer a kol., 2001).

3.5 Efektivita využití dusíku

Zemědělství, kterému dříve dominovala produktivita, má nyní několik cílů. Mezi tyto cíle patří dopad plodin a systémů pro pěstování na životní prostředí, kvalita rostlinných produktů, nízké výrobní náklady a tím i vyšší účinnost využívání dusíku (Gastal a Lemaire, 2002). Velké vstupy dusíkatých hnojiv v zemědělství výrazně převyšovaly nároky plodin na výnos, což snížilo efektivitu využívání dusíku (Tilman a kol., 2002), a způsobilo závažné environmentální problémy, jako je acidifikace půdy (Guo a kol., 2010), emise skleníkových plynů (Nayak a kol., 2015), eutrofizace povrchových vod (Le a kol., 2010), a kontaminace podzemních vod (Gu a kol., 2013).

Polní pokusy ve střední Evropě zaznamenaly v průměru 50 – 60 % využití dusíkatého hnojiva aplikovaného na ozimou pšenici (zrno a sláma) (Kumar a Goh, 2000). Současné strategie hnojení dusíkem ve světových produkčních systémech obilovin však vedly k nízkým hodnotám efektivity využití dusíku a dosahovaly pouze kolem 33 % dusíku získaného z hnojiv (Raun a Johnson, 1999). Nezapočítaných 67 % představuje ekonomické ztráty a znečištění životního prostředí. Mezi hlavní příčiny nízké hodnoty využití dusíku patří špatná synchronizace mezi termínem hnojení a poptávkou plodiny po dusíku, aplikace stejné dávky na prostorově proměnlivé pozemky, které se běžně liší podle potřeby plodiny, a nezohlednění dočasně proměnlivých vlivů na potřebu dusíku plodinou (Shanahan a kol., 2008).

3.5.1 Zvýšení efektivity využití dusíku

Studie zaměřené na zvýšení ziskovosti plodin a účinnosti využívání dusíku jsou proto nezbytné pro rozvoj udržitelnějších zemědělských systémů (López-Bellido a kol., 2005).

Mahler a kol. (1994) naznačují, že maximalizace účinnosti využívání dusíku je stále důležitějším cílem ve většině systémů řízení plodin v důsledku ekonomických a environmentálních tlaků.

3.5.1.1 Načasování aplikací dusíkatého hnojiva

Při hodnocení víceletých údajů o ozimé pšenici Johnson a Raun (2003) dospěli k závěru, že rozsah výnosové odezvy na hnojení dusíkem není možné z roku na rok předvídat. Přiměřená sezónní predikce indexu odezvy na další vstupy hnojiv by měla vést k výraznému zlepšení efektivity využívání dusíku. Kromě toho se optimální hodnoty dusíku v sezoně na různých pozemcích liší kvůli prostorové variabilitě vlastností půdy, které ovlivňují dostupnost minerálního dusíku (Scharf a kol., 2005). Proto jsou pro řešení těchto faktorů zapotřebí inovativní strategie hnojení dusíkem, aby se zlepšila efektivita využívání dusíku a minimalizoval dopad na životní prostředí pro udržení systémů produkce obilovin na celém světě (Shanahan a kol., 2008).

Účinnost dusíku, který je aplikován, aby byla uspokojena poptávka plodiny, závisí na typu hnojiva, načasování aplikace a sezónních trendech (Blankenau a kol., 2002). Odezva plodiny na dusíkaté hnojivo je také ovlivněna typem půdy, sledem plodin a množstvím zbytkového a mineralizovaného dusíku. Rozhodnutí o dávce hnojiva a datu aplikace představují pro zemědělce hlavní výzvu, vzhledem ke složitosti a náhodnému charakteru problému je povaha výzvy každý rok jiná. Možná ještě důležitější než optimální rychlost použití je načasování a rozdělení jeho aplikace. Při rozhodování o načasování a rozdělení aplikace dusíku musí být zohledněn potenciální vliv zimního odtoku a vyplavení NO_3^- a kritická potřeba dusíku mezi obdobími odnožování a prodlužování stébla. (Alcoz a kol., 1993).

Vyšší výnosy byly získány kombinací minerálních hnojiv a organických doplňků v souladu s předchozími studiemi. Větší nárůst výnosu pšenice na anorganicky a organicky hnojených pozemcích lze připisovat nárůstu organických látek v půdě a zvýšení dostupnosti půdních živin (Yadvinder a kol., 2009).

3.5.1.2 Šlechtění

Nalezení a zaměření rysů spojených s vyšší účinností využívání dusíku by mohlo usnadnit šlechtění účinnějších odrůd. Vzhledem k tomu, že rostliny jsou složité a vzájemně reagují s prostředím, je obtížné předpovědět, které kombinace vlastností jsou možné a nejvýhodnější. Studium několika znaků současně u stávajících odrůd by mohlo poskytnout

dodatečné znalosti o vlastnostech prospěšných pro hnojení dusíkem a také nepřímo zvážit možné kompromisy mezi jednotlivými vlastnostmi (Asplund a kol., 2016).

Intenzivní růst na začátku sezóny je vlastnost, která by mohla být potenciálně přínosná pro absorpci dusíku, a proto může mít pozitivní dopad na účinnost absorpce dusíku rostlinami pšenice (Asplund a kol., 2016). Liao a kol. (2006) zjistili, že intenzivní počáteční růst kořenů u zkoumaných odrůd pšenice vykazoval vyšší míru využívání dusíku. Odrůdy s vysokou hmotností kořenů sazenic (v hydroponii) vykazují vyšší příjem dusíku při nízkých úrovních hnojení dusíkem, v polních podmínkách, než odrůdy s nízkou hmotností kořenů (Bertholdsson a Kolodinska Brantestam, 2009). Další fází, která je pro efektivitu využívání dusíku považována za důležitou, je konec životního cyklu pšenice, zahrnující například stárnutí listů. Předpokládá se totiž, že opožděné stárnutí listů má pozitivní vliv na produkci zrna pšenice (Gaju a kol., 2011). Na druhé straně byla pozorována souvislost mezi zrychleným stárnutím a účinnou retranslokací dusíku do zrna pšenice (Uauy a kol., 2016). Pozdní zrání listů může být riskantní v případech, kdy je vegetační období krátké (Asplund a kol., 2016).

3.5.2 Zjišťování efektivity využití dusíku

Většina měření efektivity využití dusíku souvisí s produkcí jako funkcí vstupů a při konstantních vstupech se jakékoli zvýšení výnosu projeví ve větší efektivitě využití dusíku. Srovnání systému s vysokými a nízkými vstupy dusíkatých hnojiv je však s takovými definicemi obtížnější, tyto definice dávají zavádějící náznaky vysoké účinnosti při nízkých nebo nulových vstupech hnojiv. (Hawkesford, 2014). Existuje mnoho definic efektivity využití dusíku (Fageria a kol., 2008). Například efektivitu využití dusíku lze definovat jako výtěžek na jednotku dusíku dostupného pro plodinu. Dostupný dusík zahrnuje vstupy hnojiv, atmosférické spady a mineralizaci v půdě. Dusík, který je k dispozici při mineralizaci půdy, závisí na půdní organické hmotě a historii využívání tohoto dusíku. Kromě toho rotace plodin včetně luštěnin přispějí dusíku v půdě biologickou fixací dusíku (Moll a kol., 1982)

3.6 Distribuce dusíku v rostlinách pšenice ozimé

Produkce rostlin a jejich výnos závisí především na absorpci záření porostem, na účinnosti využití zachyceného záření na tvorbu sušiny a na schopnost rostlin transportovat, distribuovat a ukládat vytvořené asimiláty do jednotlivých orgánů. Pro tvorbu výnosu zrna u obilnin jsou důležité asimiláty, které se vytvoří především v období plnění obilek. Tyto asimiláty jsou do zrna transportovány především z horní části rostliny, jako je klas

a praporcový list. Klas i praporcový list se podílejí na plnění zrna shodně, každý orgán přibližně 45 % asimilátů. Proto se ve výživě a hnojení zaměřujeme především na velikost a vitalitu těchto rostlinných orgánů. Velikost těchto orgánů ovlivňuje především výživa a proces šlechtění, vitalitu a obsah chlorofylu ovlivňujeme výživou dusíkem a ochranou proti listovým a klasovým chorobám (Diviš a kol., 2010).

Dusík hraje klíčovou roli v produktivitě plodin. Ve skutečnosti se dusík podílí na fungování meristemických tkání, na fotosyntéze a na stanovení obsahu bílkovin ve sklizených orgánech. Až 75 % redukovaného dusíku v listech obilnin se nachází v mezofylových buňkách, hlavně jako Rubisco, a podílí se na fotosyntetických procesech (Evans, 1989). Během růstu pšenice se dusík hromadí ve vegetativních pletivech a poté se redistribuuje na vyvíjející se zrna během současných procesů stárnutí vegetativní tkáně a vývoje zrna (Dalling, 1985). Tento proces u monokarpických druhů snižuje fotosyntézu, urychluje stárnutí listů (Bertheloot a kol., 2008), a nepřímo omezuje schopnost kořenů dále přijímat dusík. Nakonec to má za následek smrt vegetativních orgánů (Triboi a Triboi-Blondel, 2002).

Zapojení dusíku do akumulace biomasy a stanovení koncentrace bílkovin v zrna vede ke složitým interakcím mezi metabolismy uhlíku a dusíku, které určují produktivitu a kvalitu plodin (Triboi a Triboi-Blondel, 2002).

Je známým faktem, že přijatý dusík před anthézi u ozimích obilov představuje 75 – 90 % celkového dusíku v rostlině při sklizni (Heitholt a kol., 1990) a že v podmínkách, kde je vysoká půdní úrodnost je důležitý i příjem dusíku po anthézi, protože pozitivně koreluje s obsahem bílkovin v zrna (Perez a kol., 1983).

3.6.1 Faktory ovlivňující využívání a distribuci dusíku rostlinami

Dostupnost vody v půdě, koncentrace dusíku na povrchu kořenů, schopnost rostlin přijímat dusík, množství dusíku v rostlinných pletivech a potenciál produkce sušiny odrůdy nebo části rostliny jsou nejdůležitějšími faktory, které ovlivňují využívání a distribuci dusíku (Karrou a Maranville 1994). Příjem dusíku dále závisí na charakteristikách odrůd, půdních podmínkách, povětrnostních podmínkách a agrotechnice (Papakosta a Gagianas 1991). Na příjem dusíku má negativní dopad sucho, intenzivní a přivalové srážky a nízká koncentrace dusíku v kapalné složce půdy (Bashir a kol., 1997).

Zatímco zvýšení obsahu dusíku, hnojení fosforem a draslíkem pozitivně ovlivňuje obsah dusíku a množství dusíku v rostlinách (Benbi a Biswas 1997). Existují také další faktory ovlivňující množství a obsah dusíku v rostlině pšenice: zpracování půdy (Rasmussen

a Rohde 1991), termín zpracování půdy, zapravení slámy a posklizňových zbytků (Carefoot a Janzen 1997), zhutnění půdy (Oussible a kol., 1993), doba aplikace dusíkatého hnojiva (Olson a Swallow 1984), způsob aplikace dusíku (Sowers a kol., 1994).

3.6.2 Proces translokace dusíku

Simpson a kol. (1983) zkonstruovali model translokace dusíku, který popisuje translokaci během jednoho dne lineárního období růstu zrna. Translokace dusíku byla měřena v rostlinách pšenice pěstovaných bez exogenní dodávky dusíku od doby, kdy se začal objevovat praporcový list. Dusík pro vývoj zrna byl získán výhradně redistribucí dusíku z vegetativních orgánů. Listy přispívaly 40 %, pluchy 23 %, stébla 23 % a kořeny 16 % dusíku odebraného zrny patnáctý den po anthezi. Méně než 50 % dusíku odebraného z listů bylo přemístěno přímo do zrna přes floém, zbytek dusíku byl přemístěn do kořenů a z kořenů byl exportován transpiračním proudem do stébla. Dusík z listů a pluch nebyl akumulován v těchto orgánech, ale byl přenesen do floému pro reexport z těchto orgánů. Velký podíl (60 %) dusíku z transpiračního proudu koloval do pluch. Pluchy byly také hlavním zdrojem dusíku pro vývoj zrna. Je pravděpodobné, že tento orgán hraje důležitou roli v metabolismu dusíku v pšenici.

Během stárnutí jsou aminokyseliny pro remobilizaci poskytovány proteolýzou listových proteinů, jako je Rubisco (který přispívá až 50 % z celkového obsahu bílkovin obsažených v listech a 30 % z celkového dusíku obsaženého v listech), které jsou degradovány vývojově regulovanými cysteinendopeptidázami a peptidovými hydrolázami (Felleret a kol., 2008). Volné aminokyseliny jsou hlavními složkami floemové i xylemové mízy v pšenici: během vegetativního růstu byly naměřeny koncentrace floemových aminokyselin osminásobně vyšší než je koncentrace dusičnanových iontů. Kyselina asparagová (Asp) a kyselina glutamová (Glu) byly převládajícími složkami, které představovaly 50 % z celkových aminokyselin (Hayashiand a Chino, 1986). Během stárnutí listů se však zásoby Asp a Glu snižují, glutamin (Gln) se stává převládající volnou aminokyselinou v extraktech listů a ve floemu (Simpson a Dalling, 1981). Tento posun v rovnováze aminokyselin během plnění zrn je naprogramovanou strategií pro remobilizaci dusíku během reprodukčního vývoje a má potenciál pro využití ke zlepšení účinnosti využití dusíku.

Během stárnutí rostliny pšenice se bílkoviny ve vegetativních orgánech degradují, aby poskytovaly dusík pro plnění zrn. Tento degradační proces vyžaduje společné působení širokého spektra enzymů peptidhydrolazy (Ryan, 1973). Dvě hlavní třídy enzymů, které se

podílejí na obecném rozkladu bílkovin, jsou endopeptidázy a exopeptidázy (Waters a kol., 1980).

3.6.2.1 Úloha kořenového systému v distribuci dusíku

Obsah minerálního dusíku je obecně vyšší v horní, ve srovnání s nižšími vrstvami půdy, pravděpodobně kvůli příznivějším podmínkám pro mineralizaci dusíku v horní části půdy. Toto tvrzení je v rozporu se závislostí příjmu dusíku plodinou na hloubce zakořenění. Růst kořenů je základním předpokladem pro účinný příjem dusíku rostlinami, protože rozvinutější a hlubší kořeny mohou zlepšit příjem dusíku z hlubších vrstev půdy a snížit ztráty vyplavování dusičnanů do životního prostředí (King a kol., 2003). V tomto ohledu bude důležitá nejen hloubka zakořenění, ale také rychlost, jakou se kořeny mladých rostlin vyvíjejí do hloubky, zejména u plodin, které mají v zimním období ranou fázi vývoje, což je období, kdy dochází nejčastěji k odtoku vody (Gastal a Lemaire, 2002).

Růst kořenů je limitován hnojením dusíkem. To ovlivní celkový růst rostlin a množství dusíku v rostlinách (Forde, 2002). Studie vztahu mezi růstem kořenů a dostupností dusíku ukázaly obecnou tendenci rostlinných kořenů rozvinout se v zónách bohatých na živiny, zatímco růst kořenů je potlačován v oblastech s nízkým obsahem živin. Tato reakce pravděpodobně umožňuje rostlinám částečně kompenzovat nerovnoměrné dodání živin (Robinson, 1994). Hluboké zakořenění dovoluje pšenici získat dusík z celé kořenové zóny, včetně nejhlubších vrstev (Kristensen a Thorup-Kristensen, 2004).

Pokud jde o příjmovou schopnost dusíku, pravděpodobně bude důležitější hloubka růstu kořenů než zvýšení hustoty kořenů, jelikož hlubší kořeny dávají plodině přístup k většímu objemu půdy a zdrojům v ní (Rasmussen a kol., 2015). Na druhé straně, jiné studie různých rostlinných druhů naznačují, že vyšší dostupnost dusíku v půdě významně nezvyšuje hloubku a hustotu kořenů (Svoboda a Haberle, 2006).

3.6.2.2 Úloha listů v distribuci dusíku

Závislost růstu plodin závisí na několika procesech: vztahy mezi dusíkem a fotosyntézou listů, rozdělení dusíku mezi listy, expozice a umístění listů a následné dopady na zachycení světla (Sinclair a Shiraiwa, 1993).

Velké množství údajů ukazuje, že distribuce dusíku mezi listy rostliny není uniformní. Jednotlivé listy jsou vystaveny různým světelným podmínkám a to hlavně kvůli zastínění horními listy. Obsah dusíku se liší také věkem. Kromě toho se za heterogenních podmínek

dodávky dusíku mohou vyvinout různé listy. Všechny tyto aspekty potenciálně povedou k pozorované nejednotné distribuci dusíku (Grindlay, 1997).

3.6.2.3 Translokace dusíku do zrna

Aminokyseliny jsou hlavní formou, ve které je dusík remobilizován z listu na zrno během období plnění zrna. Listy rostlin pšenice pěstovaných při vysokém zásobení dusíkem akumulují volné aminokyseliny z nedávno redukováného dusičnanu, které se postupně přenášejí do floemu (Lalondeet a kol., 2004).

U obilovin je požadovaný vysoký obsah bílkovin zejména pro zpracování (při pečení chleba) a z nutričního hlediska. Zvyšující se dodávka dusíku ke kořenům však ovlivňuje obsah dusíku v zrnech převážně nepřímo retranslokací. Tyto komplikace mohou být překonány pozdní aplikací dusíku, a to buď ve formě listové výživy, nebo do půdy. Také po aplikaci do půdy většina tohoto dusíku obchází listy a je přímo translokována jako amidy a aminokyseliny z kořenů do vyvíjejících se zrn (Michael a kol., 1960). U pšenice však odpovídající zvýšení obsahu bílkovin v zrnech koreluje se snížením nutriční kvality bílkovin. Pokles obsahu lysinu v bílkovině způsobený pozdní aplikací dusíku vyplývá z posunu v podílech různých frakcí bílkovin zrn, zejména ve prospěch bílkovin pro endosperm prolaminu, který má velmi nízké hodnoty (Marschner, 1995).

3.6.3 Zlepšení příjmu a translokace dusíku

Pochopení procesů, kterými se řídí toky dusíku, zejména absorpce a distribuce dusíku v plodinách, má zásadní význam s ohledem na environmentální zájmy i kvalitu rostlinných produktů. Příjem a akumulace dusíku v plodinách představují dvě hlavní složky cyklu dusíku v agroekosystému. Dusičnanové ionty, které nejsou zachyceny plodinou, mohou být případně vyplaveny do podzemní vody. Modelování absorpce dusíku společně s pohyby půdní vody jsou proto klíčové při kvantifikaci a zabránění vyluhování dusičnanů. Účinnost využití dusíku u plodin může být také potenciálně zlepšena manipulací s efektivitou využívání dusíku jednotlivých rostlin. Klíčovou otázkou, která potom vyvstává, je, který proces by se měl a mohl zlepšit. Vzhledem k tomu, že jednotlivé rostliny jsou vystaveny složitým podmínkám prostředí, kvůli konkurenci o světlo nad zemí a o dusík a vodu pod zemí, je nutné vyhodnotit důsledky manipulace s konkrétním procesem na úrovni rostliny na celkovou účinnost využití dusíku plodinou (Gastal a Lemaire, 2002). Proto v posledních letech byly navrženy dvě možnosti zvýšení produktivity plodin související se zlepšením distribuce dusíku mezi rostlinnými orgány (Dreccer a kol., 1998).

Prvním z nich je výběr kultivarů s větší kapacitou pro ukládání dusíku v nefotosyntetických orgánech, jako jsou internody: to umožňuje translokaci většího množství dusíku do zrn, aniž by se snížila fotosyntetická kapacita rostlin (Martre a kol., 2007). Toto je jedna vlastnost spojená s tak zvaným „stále zeleným“ chováním, které vede ke zpožděnému stárnutí listů a zvýšenému výnosu zrna (Borrell a kol., 2001).

Druhou možností je zlepšit vertikální distribuci dusíku mezi listy. Teoretické studie naznačují, že fotosyntéza by byla maximalizována, pokud by bylo přednostně přiděleno více dusíku osvětleným listům (Field, 1983). Vertikální distribuce dusíku, která sleduje světelný gradient, by umožnila vyšší fotosyntézu ve srovnání s distribucí očekávanou od rovnoměrného rozdělení dusíku (Mooney a Gulmon, 1979). Role dynamiky dusíku na fotosyntéze a produktivitě plodin se v budoucnu pravděpodobně ještě zvýší kvůli zvýšení koncentrace CO₂ v ovzduší (Anten a kol., 2004).

Historicky největší dopad na zlepšení výnosu pšenice mělo rozdělení asimilátů na vyvíjející se zrno (Calderini a kol., 1999), nejen za podmínek vysoké úrodnosti (Brancourt-Hulmel a kol., 2003), ale také za stresujících podmínek (Acreche a kol., 2008).

3.7 Příjem dusíku rostlinou

Existuje neoddělitelný vztah příjmu a transportu minerálních látek k příjmu a transportu vody. Významný je i vztah mezi fotosyntézou a minerální výživou, jelikož produkty fotosyntézy jsou nezbytné pro příjem živin jako zdroj energie a současně živiny tvoří nezbytnou složku fotosyntetických struktur. Takto obdobně provázaný vztah platí i pro výživu a dýchání, které poskytuje jak energii (ve formě ATP), tak i redukční ekvivalenty a uhlíkové skelety (Procházka a kol., 1998).

Dusičnany a dusík v amonné formě jsou hlavními zdroji anorganického dusíku přijímaného kořeny vyšších rostlin (Smirnoff a Stewart, 1985). O příjmu obou iontů rozhodují hlavně vnější podmínky, ale i sama rostlina. Významný vliv vykazuje pH prostředí. V kyselém prostředí převažuje příjem NO₃⁻ a v neutrálním až zásaditém prostředí se příjem obou iontů vyrovnává, nebo je vyšší příjem NH₄⁺ (Pavlíková a kol., 2008). I když je obvykle dominantním příjmem NO₃⁻ a NH₄⁺, při získání dusíku kulturními rostlinami, může být i půdní organický dusík rostlinami absorbován a může představovat významnou část celkového příjmu dusíku v konkrétních situacích (kyselé půdy, nízká teplota) (Gastal a Lemaire, 2002).

3.7.1 Redukce dusičnanů

Redukce dusičnanů ve vyšších rostlinách probíhá dle následující reakce:
$$\text{NO}_3^- + 8\text{H}^+ + 8\text{e}^- \rightarrow \text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{OH}^-$$

Některé bakterie využívají dusičnany jako elektron akceptor v anaerobních podmínkách a produkují dusíkaté plyny (N_2 , N_2O a NO_x), což je proces, který způsobuje značnou ztrátu forem kombinovaného dusíku z půdy procesem zvaným denitrifikace (Marschner, 1995). Redukce dusičnanů na amoniak je zprostředkovávána dvěma enzymy: nitrátreduktázou, která zahrnuje redukci dusičnanů na dusitany a nitritreduktázou, která transformuje dusitan na amoniak. (Warner a Kleinhofs, 1992). Na rozdíl od nitrátreduktázy, která je lokalizována v cytoplasmě, je nitritreduktáza lokalizována v chloroplastech v listech a v proplastidech kořenů a jiných nezelených pletivech (Oaks a Hirel, 1985).

V zelených listech je donorem elektronu redukován ferredoxin, generovaný za světla fotosystémem I. Ve tmě a zejména v kořenech a jiných nezelených pletivech může tuto funkci zastávat bílkovina podobná ferredoxinu (Solomonson a Barber, 1990) a energie pro produkci redukčních ekvivalentů je poskytnuta glykolýzou (Bowsher a kol., 1989).

3.7.2 Asimilace a zabudování dusičnanů

Ve většině rostlin jsou kořeny i stonky schopny redukovat dusičnany. Kořeny mohou redukovat mezi 5 až 95 % přijatých dusičnanů. Podíl redukcí probíhajících v kořenech a stoncích závisí na různých faktorech, včetně dostupnosti dusičnanů, rostlinném druhu, stáří rostlin a je důležitý pro minerální výživu a asimilaci uhlíku rostlinami. Obecně platí, že pokud je nízký obsah dusičnanů v půdě, snižuje se také v kořenech množství dusičnanů. Se zvyšující se nabídkou dusičnanů se omezuje kapacita pro redukci dusičnanů v kořenech a rostoucí podíl celkového dusíku se přesouvá do stonků ve formě dusičnanů.

Podíl dusičnanů redukováných v kořenech se zvyšuje s teplotou (Theodorides a Pearson, 1982) a stářím rostlin (Hunter a kol., 1982). Tento podíl ovlivňuje také rychlost příjmu doprovodného kationtu. S draslíkem jako doprovodným kationtem je translokace draslíku a dusičnanu do stonku rychlá, což znamená, že redukce dusičnanů v kořenech je relativně nízká. Na rozdíl od toho, když je doprovodným kationtem vápník nebo sodík, je redukce dusičnanů v kořenech podstatně vyšší (Forster a Jeschke, 1993).

Preferované místo redukce dusičnanů v kořenech nebo stoncích může mít významný dopad na hospodaření rostlin s uhlíkem a pravděpodobně také má ekologické důsledky pro přizpůsobení rostlin nízkým světelným podmínkám nebo naopak vysokým světelným podmínkám (Smirnoff a Stewart, 1985). Redukce a asimilace dusičnanů má vysokou

energetickou náročnost. Pokud je tento požadavek vyjádřen v ekvivalentech ATP, představuje tento požadavek 15 mol ATP pro redukci jednoho molu NO_3^- a další 5 mol ATP pro asimilaci amoniaku (Salsac a kol., 1987).

Při ontogenezi jednotlivých listů je pozorován typický vzorec aktivity nitrátreduktázy. Maximální aktivita nastává, když je rychlost expanze listů nejvyšší. Poté aktivita rychle klesá. V plně expandovaných listech je tedy aktivita nitrátreduktázy obvykle velmi nízká a hladiny dusičnanů jsou často vysoké (Santoro a Magalheas, 1983). Tato věkově závislá struktura aktivity nitrátreduktázy je také typická pro buněčné struktury (Maki a kol., 1986). Vzhledem k nízké pohyblivosti nitrátu floemem, v plně vyvinutých listech s nízkou aktivitou nitrátreduktázy, mají vysoké obsahy dusičnanů omezené využití pro metabolismus dusíku u rostlin. Dále, v jednotlivých buňkách je dusičnan uložen téměř výhradně ve vakuolách (Martinoia a kol., 1981). Ačkoli rychlost uvolňování dusičnanů z vakuol v buňkách listů je zvýšena snížením translokace dusičnanů do listu (Gojon a kol., 1991), uvolnění z vakuoly do cytoplazmy se může stát krokem omezujícím rychlost redukce dusičnanů (Rufty a kol., 1982), a tedy i využití uloženého dusičnanového dusíku v růstových procesech (Clement a kol., 1979). Přerušení dodávky dusičnanů do kořenů může proto vést k poklesu aktivity nitrátreduktázy v listech a rychlosti růstu stonků, a to navzdory stále vysokému obsahu dusičnanů ve stonku (Blom-Zandstra a Lampe, 1983). Tyto výsledky jsou velmi důležité pro načasování aplikace dusičnanových hnojiv.

3.7.3 Asimilace amoniaku

Zatímco dusičnany mohou být ukládány ve vakuolách bez škodlivého účinku, amoniak je toxický již při poměrně nízkých koncentracích. Tvorba aminokyselin, amidů a příbuzných sloučenin je hlavní cestou detoxikace amonných iontů, které jsou přijímány kořeny. Zatímco koncentrace amoniaku v cytoplazmě jsou obvykle nižší, existuje řada důkazů, že ve vakuolách, kde je nízké pH, může být skladováno větší množství amoniaku (Roberts a Pang, 1992).

Hlavní kroky při asimilaci amonných iontů dodávaných do kořenů jsou příjem do kořenových buněk a začlenění do aminokyselin a amidů se současným uvolňováním protonů pro kompenzaci náboje. Je třeba převést amoniakální dusík na dusík aminový, a to redukční aminací, kdy ketaglutarát přijímá dusík a vznikne glutamát, který je nejdůležitějším donorem aminových skupin a glutarátdehydrogenáza je klíčovým enzymem metabolismu aminových sloučenin. Dusík je tak zabudován ve formě NH_2 do organických sloučenin (Kincl a Krpeš,

2000). Téměř všechny přijaté amonné ionty musí být asimilovány v kořenech a asimilovaný dusík musí být transportován xylemem jako aminokyseliny a amidy do stébel (Raven, 1986).

3.7.4 Rozdíly v příjmu amonné a dusičnanové formy dusíku

To, zda je amoniakální nebo nitrátový zdroj dusíku lepší pro růst rostlin a tvorbu výnosu, závisí na mnoha faktorech (Kirkby, 1981). Důležitým faktorem je druhy rostlin, kdy rostliny přizpůsobené kyselým půdám preferují amoniakální dusík (Ismunadji a Dijkshoorn, 1971), na rozdíl od rostlin s preferencí vápenitých půd s vysokým pH využívají přednostně dusičnany (Kirkby, 1981). Teplota také rozhoduje o příjmu těchto iontů. Při nižší teplotě klesá příjem i využití NO_3^- . V biologicky činných půdách, vlivem poměrně rychlé oxidace amoného dusíku na nitrátový, převažuje většinou příjem nitrátového aniontu, který je v půdě pohyblivější a snadněji se hmotovým tokem půdní vody dostává do rhizosféry a je k dispozici rostlinám. Příjem jednotlivých iontů a jejich využití v rostlině ovlivňuje i příjem ostatních iontů. Při jednostranné výživě NO_3^- je v rostlině zvýšená tvorba organických aniontů (následek redukce nitrátu na NH_3), a tím je zvýšený příjem kationtů, hlavně K^+ , Ca_2^+ a Mg_2^+ . Při převažujícím příjmu NH_4^+ je celkově nižší příjem iontů, hlavně kationtů (Vaněk a kol., 2007).

Vhodnost amoniaku pro dosažení vyšších rychlostí růstu a výnosů závisí na teplotě rhizosféry (Clarkson a Warner, 1979) a dalších faktorech, které určují dodávku uhlovodíků ke kořenům, jako je například intenzita světla (Lavoie a kol., 1992). V systémech, kde je používáno hnojivo obsahující amoniak může být kritické nejen nízké, ale také vysoké pH substrátu vyšší než 7, protože dochází ke zvýšení koncentrací volného amoniaku v substrátu, což vede k toxicitě amoniaku. Ve srovnání s amoniakem má nitrát výhodu v tom, že je také skladovací formou v rostlinách bez nutnosti asimilace v kořenech. Kromě toho nitrátová výživa vyvolává spíše zvýšení než snížení pH rhizosféry a není zde žádné riziko toxicity při alkalickém pH. Zvýšení pH rhizosféry vyplývající z výživy pomocí dusičnanů může mít ovšem negativní vedlejší účinky na získávání minerálních živin v alkalických půdách a také na dostupnost např. železa (Alloush a kol., 1990). Nicméně, zpravidla je nejvyššího růstu a výnosů rostlin dosahováno kombinovaným dodáváním jak amoniakálního, tak nitrátového dusíku. Vzhledem k tomu, že amoniak nebo nitrát tvoří asi 80 % celkových kationtů a aniontů, které jsou přijímány rostlinami, má forma příjmu dusíku významný, ale nepřímý vliv na příjem jiných kationtů a aniontů, na regulaci pH buněk a na pH rhizosféry (Gerendás a kol., 1990). Když jsou dodávány obě formy dusíku, dokáže rostlina snáze regulovat intracelulární pH a ukládat část dusíku i při nízkých výdajích energie. Ve vyšších rostlinách je

hlavní faktor, který přispívá k vyššímu růstu vegetativního a zejména reprodukčního růstu, spojen s účinky amoniaku na rovnováhu fytohormonů v rostlinách. V plodinách pěstovaných na poli lze tento zvláštní účinek amoniaku na reprodukční růst dosáhnout alespoň do určité míry opakovanými aplikacemi amonného hnojiva (Sommer a Six, 1982) nebo snadněji aplikací amonných hnojiv spolu s inhibitory nitrifikace (Smiciklas a Below, 1992).

3.8 Faktory ovlivňující výnos a kvalitu pšenice

Celosvětově bylo zjištěno, že výkyvy počasí vysvětlují vzestup jedné třetiny současné proměnlivosti výnosů plodin (Ray a kol., 2015), a to mnohem více v intenzivních systémech produkce s vysokými vstupy (Müller a kol., 2017). Pochopení toho, jak změna klimatu ovlivní variabilitu výnosu, stejně jako průměrné výnosy plodin, je zásadní (Wheeler a von Braun, 2013). I když jsou informace o dopadech změn klimatu důležité pro pochopení makroekonomických důsledků, a pro zabezpečení potravin, je především důležité nalézt vhodné strategie na přizpůsobení se změnám klimatu, a zjistit, jaké procesy vedou ke změnám výnosů za průměrných i extrémních podmínek. Detekce procesů, které způsobují proměnlivost výnosů, může přispět k rozvoji cílených adaptačních opatření (Di Falco a kol., 2011), jako jsou řešení pojištění proti specifickým rizikům počasí (Dalhaus a Finger, 2016), podporovat plánování dlouhodobých investic do zavlažování, nebo zlepšit účinnost šlechtění, protože vhodnost adaptivních změn se mění pod vlivem klimatu a zvýšené hodnoty CO₂ (Christy a kol., 2018).

V posledních letech celosvětový růst výnosů pšenice neustále klesal (Ray a kol. 2012). Grassini a kol. (2013) identifikovali výskyt stagnace výnosů v produkci pšenice v severozápadní Evropě. V souladu s tím byla v posledních desetiletích v Německu pozorována stagnace výnosů (Wiesmeier a kol., 2015). Tato stagnace je částečně způsobena socioekonomickými a politickými faktory, které vedly k mírné extenzifikaci pěstování (Finger, 2010). Kromě toho jsou za pozorovanou stagnaci výnosů pšenice zodpovědné zejména účinky globální změny klimatu (Lüttger a Feike, 2018).

Navzdory potenciálním pozitivním dopadům globálních klimatických změn na produkci pšenice (Wilcox a Makowski 2014) bylo zjištěno, že rostoucí průměrné a maximální teploty, snižující se roční úhrn srážek, a zejména rostoucí výskyt extrémních povětrnostních podmínek, ohrožují a snižují výnosy pšenice (Reichstein a kol., 2013). Extrémní povětrnostní podmínky související s teplem a suchem se v posledních desetiletích zvýšily (McDonald a Girvetz, 2013) a očekává se, že v budoucnu se budou dále zvyšovat (Trnka a kol., 2015).

3.8.1 Kritická období utváření výnosu

Přes skutečnost, že výnos může být kdykoli ovlivněn od setí do zralosti zrna, se obecně udává, že pro stanovení konečného výnosu obilovin jsou kritická pouze určitá období celé vegetační sezóny (Cakir, 2004). Tato kritická období jsou kolem kvetení, kdy je stanoven počet zrn na plochu, a během fáze plnění zrn, kdy je stanovena průměrná hmotnost zrna (Otegui a Slafer, 2004). Kvetení je považováno za nejkritičtější fázi, protože výnos obilovin je mnohem těsněji spojen s počtem zrn na plochu půdy než s průměrnou hmotností semen. Protože výnos je primárně určen dostupností zdrojů a počet zrn je v rostlině upraven tak, aby odpovídal úrovni výnosu definovaného zdrojem (Sinclair a Jamieson, 2006), strategie pro zlepšení výnosu by měly být založeny na lepší akumulaci zdrojů nebo translokaci z vegetativních do reprodukčních orgánů před nebo během tvorby květů, zejména za nepříznivých podmínek prostředí (Barnabás a kol., 2008).

3.8.2 Nedostatek srážek a dostupné vody

Sucho lze v celosvětovém měřítku považovat za nejvíce omezující faktor produktivity pšenice (Cattivelli a kol., 2008). Protože sucho je proces, který se vyvíjí a zhoršuje v delším časovém období, je obecně obtížnější se zabývat jak empirickým, tak experimentálním výzkumem ve srovnání s tepelným stresem (Siebert a kol., 2014). Dopad sucha na výnosy pšenice přirozeně závisí na jeho trvání a intenzitě, jakož i na příslušné fázi růstu pšenice (Rampino a kol., 2006). Stres ze sucha způsobuje reakce na molekulární, buněčné a fyziologické úrovni, které brání růstu kořenů plodin, fotosyntetické aktivitě a rozdělení látek (Barnabás a kol., 2008).

Vlivem sucha se snižuje dostupnost dusíku pro rostliny a snižuje se také rychlost nitrifikace. Rychlost přeměny amoniaku na dusičnany, je citlivá na půdní podmínky, jako je vlhkost půdy, pH a množství živin. Maximální rychlosti nitrifikace nastává při vlhkosti půdy dosahující hodnot kolem "polní kapacity" (Cameron a kol., 2013). V půdách, které jsou vlhčí, je rychlost nitrifikace pomalejší. Rychlost nitrifikace je také výrazně snížena, pokud je půda suchá (Malhi a McGill, 1982).

Vysoká teplota a sucho jsou hlavními stresovými faktory během dozrávání a zrání obilovin v mnoha produkčních oblastech. Období omezování vody a vysoké teploty během vývoje zrna způsobují velké ztráty úrody obilovin. Toto snížení je způsobeno hlavně snížením akumulace škrobu, protože obecně více než 65 % suché hmotnosti obilovin představuje škrob. Snížení hmotnosti zrna v reakci na sucho nebo tepelný stres během časných období plnění zrn lze přičíst hlavně nižšímu počtu endospermových buněk (Nicolas a kol., 1985), zatímco

během pozdějších fází stres vede k poškození syntézy škrobu buď kvůli omezené dodávce asimilátů pro zrna (Blum, 1998) nebo přímým účinkům na syntetické procesy v zrně (Yang a kol., 2004). Vodní stres během období plnění zrn snižuje fotosyntézu, indukuje časné stárnutí a zkracuje dobu plnění zrn, ale zvyšuje remobilizaci asimilátů ze slámy na zrna (Plaut a kol., 2004).

3.8.3 Vysoké teploty

Teplota hraje roli téměř ve všech aspektech růstu a vývoje plodin (Ferrise a kol., 2011), jako je fotosyntéza (Sage a kol., 2011), dýchání (Atkin a Tjoelker, 2003), transpirace (Crawford a kol., 2012), rozdělení sušiny (Zhao a kol., 2013), vývoj rostlin (Wolkovich a kol., 2012) a růst kořenů (Kaspar a Bland, 1992). Optimální podmínky pro růstové procesy rostlin se obvykle vyskytují v rozmezí teplot (Criddle a kol., 1997), přičemž vyšší nebo nižší teploty snižují rychlost růstu a vývoje (Sánchez a kol., 2013).

3.8.3.1 Vliv vysokých teplot v období kvetení

Vysoké teploty jsou spojeny se snížením výnosu snížením počtu zrn pšenice (Semenov, 2008) a také zhoršením kvality (Spiertz a kol., 2006), přičemž nejcitlivějším obdobím ve vývoji pšenice je období antheze (Luo, 2011). Pozorovaná citlivost výnosů pšenice na vysoké teploty byla přičítána zrychlenému vývoji (Blum a kol., 2001), snížené fotosyntéze (Salvucci a Crafts-Brandner, 2004) a přímým dopadům na reprodukční procesy (Farooq a kol., 2011).

Řada studií ukázala, že vysoké teploty během reprodukční fáze, zejména během kvetení, mají silné negativní účinky na výnosy pšenice prostřednictvím sníženého počtu zrn, hmotnosti zrn, rychlosti fotosyntézy a zvýšeného stárnutí listů (Asseng a kol. 2011). Porter a Semenov (2005) a Wheeler a kol. (2000) také zdůrazňují, že negativní dopady na výnos jsou největší, když se vyskytují vysoké teploty během reprodukčních fází soustředěných na kvetení. Ztráty výnosů jsou často vysvětleny snížením počtu produkovaných životaschopných semen (Moriondo a kol., 2011) nebo zrychleným stárnutím listů, které snižuje výnosy zkrácením doby plnění zrna (Lobell a kol., 2012).

Mnoho studií podporuje vztah mezi vysokými teplotami kolem kvetení a sníženým počtem zrn s významnými negativními dopady na výnos (Barnabás a kol., 2008). Prahová hodnota 31 °C pro pšenici je obecně vnímána jako horní mez teplot v průběhu kvetení bez snížení počtu zrn (Porter a Gawith, 1999), přičemž citlivost závisí na stadiu vývoje (Wang a kol., 2011), genotypu (Dias a kol., 2011) a zásobenosti plodiny vodou (Atkinson a Urwin, 2012). Načasování vysokých teplot (> 30 °C), které vedou ke snížení počtu zrn, uvádí Ortiz-

Monasterio a kol. (1994) přibližně 20 dní před a 10 dnů po anthezi, přičemž období bezprostředně kolem anthézy (5 dní před až 2 dny po) je zvláště citlivé (Wheeler a kol., 1996). Příčinou snížení počtu zrn při vysokých teplotách v období antheze je vliv na plodnost pylu (Calderini a kol., 1999).

3.8.3.2 Vliv vysokých teplot na zrychlené stárnutí listů

Na úrovni celé rostliny je plnění zrna úzce spojeno se stárnutím (Barnabás a kol., 2008). Al-Khatib a Paulsen (1984) dospěli k závěru, že hlavní dopad tepelného stresu během období vývoje zrna pšenice byl spojen se zrychleným stárnutím v důsledku snížení fotosyntézy. Rychlost stárnutí listů pšenice se za podmínek vysokých teplot (35 °C) výrazně zvyšuje (Harding a kol., 1990). Počet stárnoucích listů na stéblo pšenice vzrostl ze dvou na deset, když teplota vzduchu vzrostla z 21 °C na 28 °C (Tewolde a kol., 2006). Větší denní teplotní rozdíly urychlily stárnutí listů v pšenici za podmínek tepelného stresu, ve srovnání se zpožděným stárnutím při optimální teplotě (Zhao a kol., 2007).

Zrychlené stárnutí praporcového listu, o kterém se předpokládá, že je iniciováno degradací thylakoidních složek (Harding a kol., 1990) a rychlostí výměny uhlíku na jednotku plochy, úzce souvisí s konečnou hmotností zrn při tepelném stresu (Blum, 1986). Zásoby dusíku v pšenici hrají zásadní roli během období plnění zrn, když je fotosyntéza potlačena kvůli vysokým teplotám. Míra ztráty chlorofylu z praporcového listu je pozitivně korelována s účinností remobilizace dusíku při tepelném stresu, což naznačuje vztah mezi stárnutím listu a účinností remobilizace (Tahir a Nakata, 2005).

3.8.3.3 Vliv vysokých teplot v období plnění zrna

Konečná hmotnost zrna v pšenici je dána součinem trvání a rychlosti plnění zrna (Barnabás a kol., 2008). Plnění zrn v pšenici se řídí úrovní současné produkce asimilátů pomocí fotosyntézy v listech a stoncích (Blum a kol., 1994), opětovné mobilizaci uložených uhlovodíků a sloučenin obsahujících dusík v těchto orgánech a jejich následném transportu do zrna (Plaut a kol., 2004). Hmotnost zrn pšenice je proto extrémně citlivá na tepelný stres způsobený snížením fotosyntézy při vysokých teplotách během plnění zrna. Například reakce kultivarů pšenice na krátké období vysokých teplot nad 35 °C (během plnění zrn) se pohybovala od 23 % do 37 % poklesu hmotnosti zrn (Stone a Nicolas, 1994). Teploty nad 34 °C vedou ke snížení konečné hmotnosti zrn zkrácením doby plnění zrn, snížením rychlosti fotosyntézy (Blum, 1986) a přímou prevencí biosyntézy škrobu v endospermových buňkách

(Jenner, 1994). Zvýšení teploty o 5 °C nad 20 °C zkracuje dobu plnění zrn pšenice o 12 dní (Yin a kol., 2009).

3.8.4 Snižování dopadů klimatických změn

Vzhledem k tomu, že se v budoucnosti v Evropě očekává další nárůst teplot a sucha (Forzieri a kol., 2016), což ohrožuje stabilní příspěvek Evropy k celosvětovým dodávkám pšenice, je důležité poskytnout empirické důkazy o dlouhodobých trendech teplotních extrémů souvisejících s teplem a suchem a jejich příslušných dopadech na produkci pšenice. Bylo provedeno několik studií zaměřených na vyhodnocení vztahů mezi pšenicí a klimatem v různých evropských produkčních regionech. Na základě analýzy údajů o dlouhodobém výnosu a klimatu Kolar a kol. (2014) identifikovali stres způsobený teplem a suchem jako hlavní faktory způsobující nízké výnosy pšenice ozimé v České republice v letech 1961 – 2007.

4 Metodika

4.1 Dlouhodobý polní pokus

V experimentální části diplomové práce byly hodnoceny výsledky z dlouhodobých stacionárních pokusů s rotací plodin. Pokusy byly založeny Katedrou agroenvironmentální chemie a výživy rostlin ČZU v Praze na pěti stanovištích ČR s rozdílnými půdně - klimatickými podmínkami (Červený Újezd, Hněvčeves, Humpolec, Lukavec u Pacova, Praha - Suchdol). Pokusy byly založeny na podzim v roce 1996.

V rámci pokusu jsou střídány tři plodiny ve sledu: brambory, ozimá pšenice, jarní ječmen. Na stanovišti Červený Újezd je vzhledem k agrotechnickým možnostem pracoviště místo brambor využívána jako pokusná plodina silážní kukuřice. Výhodou krátké rotace plodin je možnost hodnocení krátkodobých i dlouhodobých změn sledovaných parametrů. Pokus je organizován tak, aby všechny plodiny byly pěstovány v každém roce (3 bloky). Z důvodu aplikace organických hnojiv, zpracování půdy a sklizní však pokusy nemají randomizaci. Opakování jsou zajišťována v rámci varianty/bloku.

V rámci diplomové práce byla hodnocena stanoviště Lukavec, Praha – Suchdol a Červený Újezd. Velikost pokusné parcely je na stanovišti Lukavec 60m², na stanovišti Suchdol 60,5 m² a na stanovišti Červený Újezd 80 m².

4.1.1 Hnojení

Hnojení pokusu je postaveno na aplikaci shodné dávky dusíku 330 kg/ha za celou rotaci tří plodin na všech variantách, mimo Kontrolu.

Organické hnojení (chlévkový hnůj, čistírenské kaly, sláma) je aplikováno na podzim vždy pouze pod brambory (kukuřici). Pro potřeby pokusu jsou na všechna stanoviště používány kaly ze stejné ČOV, hnůj a sláma 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, na bloku pšenice je dávka dusíku rozdělena na dvě poloviny. První je aplikována jako regenerační přihnojení, druhá jako produkční přihnojení. Dávky živin v aplikovaných hnojivech jsou uvedeny v tabulce 1. Jako dusíkaté minerální hnojivo je používán ledek amonný s vápence, jako fosforečné trojitý superfosfát a draslík je dodáván draselnou solí.

4.1.1.1 Kontrola

Kontrola je varianta, která není nijak hnojena. Tato varianta slouží jako porovnání s ostatními variantami hnojení.

4.1.1.2 Kal 1

Tato varianta je hnojena dávkou čistírenských kalů, která odpovídá 330 kg N/ha za rotaci všech třech plodin. Kal jako organické hnojivo je aplikován na podzim pod brambory nebo kukuřici. Kaly na všechny pokusné pozemky jsou získávány ze stejné ČOV.

4.1.1.3 Hnůj

Varianta hnojená na podzim pod brambory nebo kukuřici dávkou chlévského hnoje, která odpovídá 330 kg N/ha za rotaci všech třech plodin. Aplikovaný hnůj je získán vždy z příslušného pokusného stanoviště.

4.1.1.4 Hnůj ½ + N

Tato varianta je hnojena poloviční dávkou chlévského hnoje na podzim pod brambory nebo kukuřici. Následné plodiny ječmen a pšenice jsou hnojeny nižší dávkou minerálními dusíkatými hnojivy (ledkem amonným s vápencem).

4.1.1.5 N

Varianta N je hnojena pouze minerálními dusíkatými hnojivy (ledkem amonným s vápencem). K bramborám a ječmeni je celková dávka aplikována jednorázově na jaře před setím. Pouze u pšenice je celková dávka N rozdělena na dvě dílčí dávky, a to jako regenerační a produkční hnojení.

4.1.1.6 NPK

Na této variantě je aplikováno dusíkaté minerální hnojivo (ledek amonný s vápencem). Draslíkem (draselná sůl 60) a fosforem (trojitý superfosfát) je hnojena každá plodina na podzim. Dusíkatá minerální hnojiva jsou také aplikována ke každé plodině, ale na jaře. U pšenice je opět dávka rozdělena na dvě dílčí.

4.1.1.7 N + sláma

Tato varianta je na jaře hnojena stejným množstvím minerálních dusíkatých hnojiv (ledek amonný s vápencem). K plodině brambory nebo kukuřice je na podzim zaoráno 5 t/ha ječné slámy.

Dávky živin aplikovaných v hnojivech jsou znázorněny v následující tabulce.

Tabulka 1: Dávky živin aplikovaných hnojiv v tříletém cyklu

Varianta	brambory				pšenice				ječmen		
	N	P	K		N	P	K		N	P	K
Kontrola	-	-	-		-	-	-		-	-	-
Kal 1	330	201	55		0	0	0		0	0	0
Hněj	330	118	374		0	0	0		0	0	0
Hněj ½ + 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

4.1.2 Pěstovaná odrůda

Pěstovanou odrůdou je odrůda ozimé pšenice RGT Reform. Tato polopozdní odrůda nižšího až středního vzrůstu má dobrou odolnost proti poléhání a dobrou odnožovací schopnost. Vyniká dobrou mrazuvzdorností a výnosovou stabilitou i v nepříznivých podmínkách. Disponuje výtečným zdravotním stavem listové plochy i klasu (VP Agro, 2017). Velmi dobrou odolnost vykazuje vůči braničnatkám, padlí, rzi travní, plevové i pšeničné a fuzáriím, což umožňuje výsev i po kukuřici (Venclová, 2016). Kombinuje velmi vysoký výnos s extrémně stabilní A kvalitou. Dokáže dosáhnout výnosu až 15 t/ha (VP Agro, 2017).

4.1.3 Charakteristika vybraných stanovišť

4.1.3.1 Praha – Suchdol

Suchdol je městská čtvrť rozkládající se na severu Prahy. Pokusné stanoviště se nachází na okraji areálu ČZU. Přesná lokalizace pozemku je 50°7'40"N, 14°22'33"E. Díky relativně nízké nadmořské výšce 286 m. n. m. je zde i vyšší průměrná roční teplota 9,1 °C. Úhrn průměrných ročních srážek činí 495 mm. Oblast se rozkládá na úrodných modálních černozemích. Půdní druh je hlinito - písčité. Hodnota půdní reakce je 7,5. Pokusné stanoviště náleží do řepařské výrobní oblasti.

4.1.3.2 Červený Újezd

Červený Újezd je obec v okrese Praha - západ. Leží 7 km západně od hranic Prahy. Přesná lokalizace pokusného pozemku je 50°4'22"N, 14°10'19"E. Pokusné pozemky leží v nadmořské výšce 400 m. n. m. Průměrná roční teplota je zde 7,7 °C. Průměrné roční srážky činí 493 mm. Půdním typem je modální hnědozem. Půdní druh je hlinitý. Hodnota půdní reakce je 6,5. Lokalita se nachází v řepařské výrobní oblasti.

4.1.3.3 Lukavec

Městys Lukavec se nachází v okrese Pelhřimov v kraji Vysočina. Přesná lokace pokusného pozemku je 49°33'23"N, 14°58'39"E. Pokusné pozemky leží v nadmořské výšce 610 m. n. m. Průměrná roční teplota je zde 7,7 °C. Průměrné roční srážky činí 666 mm. Půdním typem je oglejená kambizem. Půdní druh je hlinito – písčité. Hodnota půdní reakce na stanovišti je 4,3. Lokalita se nachází v bramborářské výrobní oblasti.

Kationtová výměnná kapacita a obsahy živin v půdě na jednotlivých stanovištích znázorňuje tabulka 2.

Tabulka 2: Kationtová výměnná kapacita a obsah živin v půdě na jednotlivých stanovištích

	Praha - Suchdol	Červený Újezd	Lukavec
KVK (mmol⁽⁺⁾/kg)	230	145	128
P (mg/kg)	91	100	124
K (mg/kg)	230	80	213
Mg (mg/kg)	240	110	80
Ca (mg/kg)	9000	3600	1100

*Obsah živin v půdě byl hodnocen metodou Mehlich 3.

4.1.4 Zpracování a vyhodnocení vzorků

Vzorky byly po sklizni sušeny na konstantní sušinu, aby nedocházelo ke znehodnocení vzorků nebo zkreslení výsledků při vyhodnocování. Takto usušené vzorky byly následně mlety na střížném mlýně osazeném sítím o velikosti otvorů 1 mm. U zpracovaných vzorků byl následně stanoven obsah dusíku.

4.1.4.1 Stanovení obsahu dusíku

Ke stanovení obsahu dusíku v znu a slámě byla využita analytická Kjeldahlova metoda. Touto metodou byl stanoven celkový obsah dusíku jak v znu, tak i ve slámě pšenice.

Celý proces stanovení obsahu dusíku se skládá ze tří základních fází: mineralizace, destilace a titrace. Mineralizace začíná navážením vzorku o hmotnosti 0,5 g. K naváženému roztoku byl přidán katalyzátor a koncentrovaná kyselina sírová. Vzorek byl zahříván a organicky vázaný dusík v rostlinné hmotě byl při oxidaci v prostředí koncentrované H_2SO_4 převeden na čpavek, který reaguje s kyselinou sírovou za vzniku síranu amonného. Další fází je destilace zmineralizovaného vzorku vodní párou. V této fázi dochází k uvolnění dusíku v podobě amoniaku, který je jímán v přebytku titračního roztoku kyseliny borité. Skutečný obsah dusíku je stanoven zpětnou acidobazickou titrací kyselinou chlorovodíkovou.

Procesy titrace a destilace byly prováděny automaticky pomocí přístroje Vapodest 50s, který stanoví obsah dusíku a výsledky z jednotlivých měření zpracuje a uloží.

4.1.5 Efektivita využití dusíku

Efektivita využití dusíku je počítána jako rozdíl z odběru dusíku na hnojené variantě v porovnání s odběrem dusíku na nehnojené variantě a ve vztahu k aplikované dávce dusíku.

$$\frac{\text{odběr } N \text{ na hnojené variantě} - \text{odběr } N \text{ na nehnojené variantě}}{\text{dávka } N \text{ na hnojené variantě}}$$

4.1.6 Agronomická efektivita aplikovaného dusíku

Agronomická efektivita aplikovaného dusíku je počítána jako rozdíl z přírůstku výnosu na hnojené variantě v porovnání s výnosem na nehnojené variantě a ve vztahu k aplikované dávce dusíku.

$$\frac{\text{výnos na hnojené variantě} - \text{výnos na nehnojené variantě}}{\text{dávka } N \text{ na hnojené variantě}}$$

5 Výsledky

K vyhodnocení byla použita data z dlouhodobého pokusu Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin ČZU v Praze. Zpracovaná a použitá data byla získána v agronomických letech 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018, 2018/2019. Ve všech hodnocených letech byla pěstována odrůda ozimé pšenice RGT Reform.

5.1 Výnos zrna

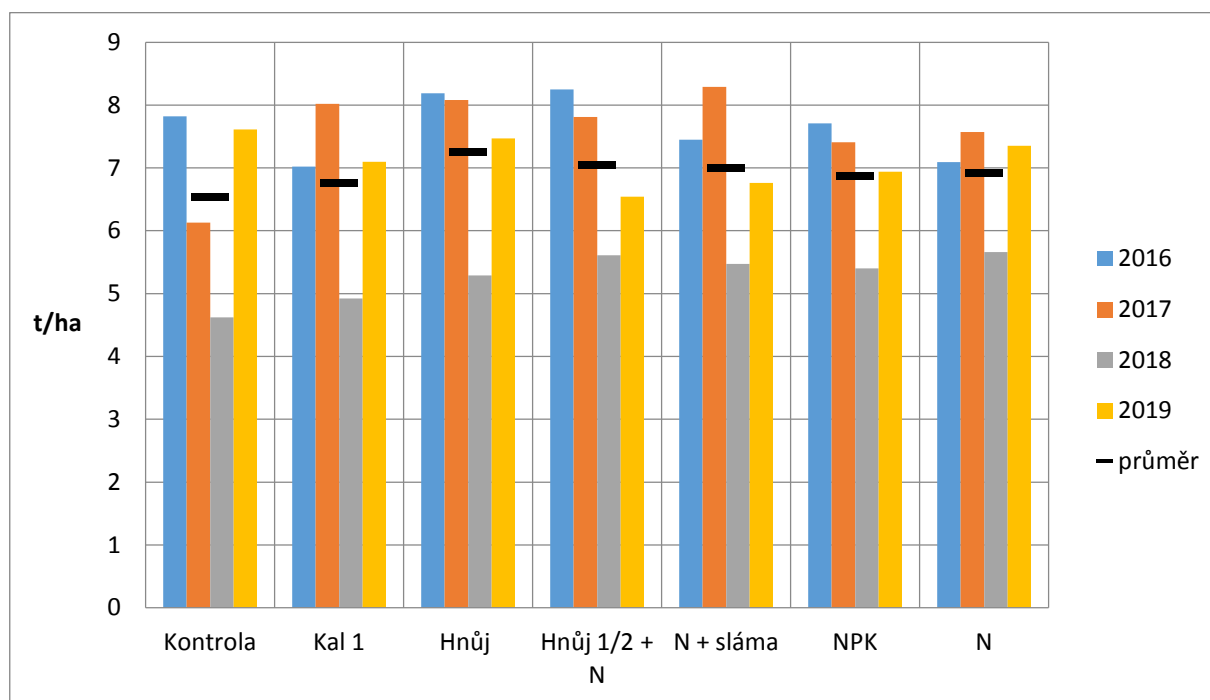
5.1.1 Suchdol

Výnos zrna na stanovišti Suchdol dokumentuje graf 1. Na tomto stanovišti se výnosy hnojených variant pohybovali v rozmezí 4,92 – 8,29 t/ha. Výnos u variant hnojených organicky se pohyboval mezi 4,92 – 8,19 t/ha. U variant hnojených minerálními hnojivy v intervalu 5,4 – 7,71 t/ha a u variant hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv v rozmezí 5,47 – 8,29 t/ha. Nejvyšší výnos byl v každém roce zjištěn u rozdílné varianty. V roce 2016 u varianty Hnůj $\frac{1}{2}$ + N a to 8,25 t/ha, v roce 2017 u varianty N + sláma s hodnotou 8,29 t/ha, v roce 2018 u varianty N 5,66 t/ha a v roce 2019 by nejvyšší výnos zjištěn u varianty Kontrola, z hnojených variant dosahovala nejvyššího výnosu varianta Hnůj a to 7,47 t/ha. Oproti kontrolní variantě daného roku došlo k navýšení výnosů o 5,5 %, 35,2 %, 22,5 % a -1,8 %.

Nejnižší výnos zrna z hnojených variant byl v letech 2016 a 2018 zjištěn u varianty Kal 1. V roce 2016 7,02 t/ha a v roce 2018 4,92 t/ha. V roce 2017 dosáhla nejnižšího výnosu varianta NPK s výnosem 7,41 t/ha, v roce 2019 varianta Hnůj $\frac{1}{2}$ + N s výnosem 6,54 t/ha. Tyto výnosy byly o -10,2 %, 6,5 %, 20,9 % a -14,1 % vyšší než výnos kontrolní varianty daného roku.

Nejvyšší výnos byl na stanovišti Suchdol dosažen v roce 2017 u varianty N + sláma a to 8,29 t/ha naopak nejnižší výnos byl dosažen v roce 2018 u varianty Kal 1 s hodnotou 4,92 t/ha. Nejvyšší průměrný výnos ze všech sledovaných let byl zjištěn u varianty Hnůj s hodnotou 7,26 t/ha. Nejnižší průměrný výnos dosahovala druhá organicky hnojená varianta Kal 1 s hodnotou 6,77 t/ha. Výrazně nižší výnosy u všech hodnocených variant byly zaznamenány v roce 2018, kdy došlo k významnému propadu pod průměrné hodnoty. Na stanovišti Suchdol nehnojená varianta Kontrola v některých letech svým výnosem překonala některé hnojené varianty a v roce 2019 Kontrola dosáhla nejvyššího výnosu a překonala všechny hnojené varianty.

Graf 1: Výnos zrna při 100% sušíně na stanovišti Suchdol (t/ha)



5.1.2 Červený Újezd

Na stanovišti Červený Újezd byly zjištěny hodnoty výnosů hnojených variant, které se pohybovaly v rozmezí 4,32 – 8,93 t/ha. Výnos u organicky hnojených variant se pohyboval v rozmezí 4,6 – 6,96 t/ha, u variant hnojených pouze minerálními hnojivy v intervalu 4,32 – 8,93 t/ha a u variant hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv v rozmezí 4,69 – 8,34 t/ha. Nejvyšší výnos byl v roce 2016 a 2019 zjištěn u variant hnojených pouze minerálními hnojivy, v roce 2016 byl nejvyšší výnos u varianty N 8,93 t/ha a v roce 2019 u varianty NPK s hodnotou 5,11 t/ha. V roce 2017 dosáhla nejvyššího výnosu organicky hnojená varianta Kal 1 s hodnotou 6,37 t/ha. Oproti kontrolní variantě daného roku došlo k navýšení výnosu v roce 2016 o 187,1 %, v roce 2019 o 73,2 % a v roce 2017 o 70,3 %.

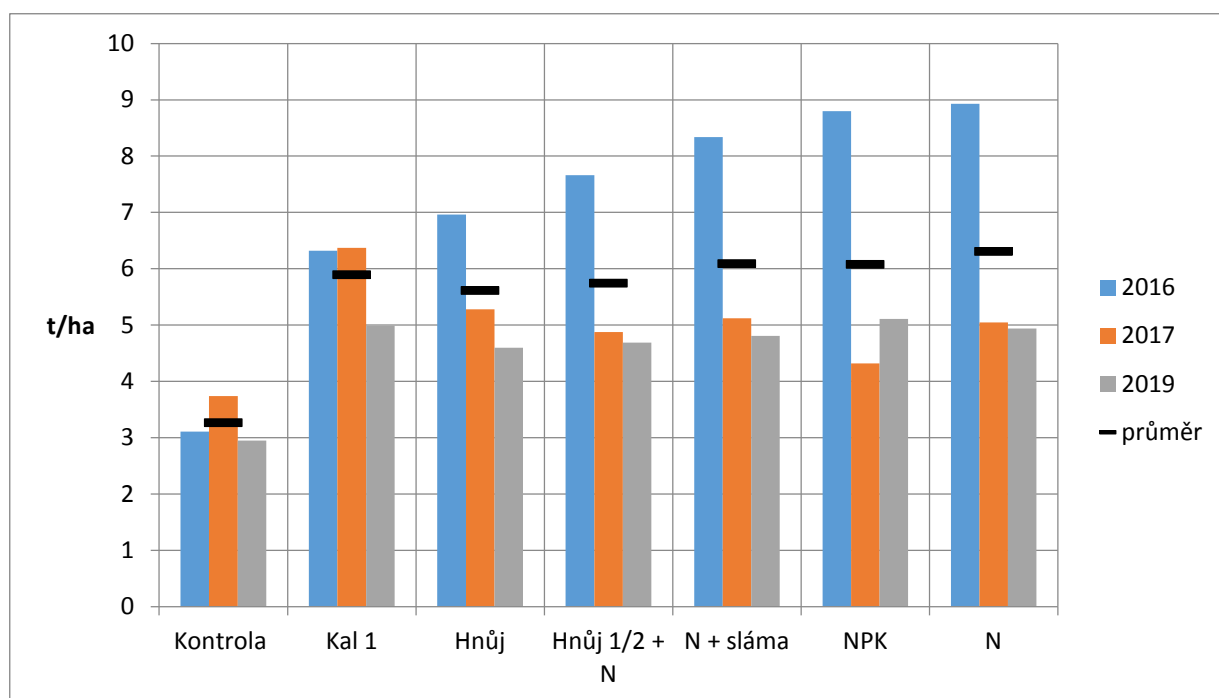
Nejnižší výnos zrna z hnojených variant byl zjištěn v letech 2016 a 2019 u variant hnojených pouze organickými hnojivy. V roce 2016 u varianty Kal 1 s výnosem 6,32 t/ha a v roce 2019 u varianty Hnůj s výnosem 4,6 t/ha. V roce 2017 byl nejnižší výnos zjištěn u varianty hnojené minerálními hnojivy, konkrétně u varianty NPK, hodnota tohoto výnosu činila 4,32 t/ha. Tyto výnosy byly o 103,2 %, 55,9 % a 15,5 % vyšší, než kontrolní varianta daného roku.

Nejvyšší výnos byl na stanovišti Červený Újezd zjištěn v roce 2016 u varianty N a to 8,93 t/ha, naopak nejnižšího výnosu 4,32 t/ha dosáhla varianta NPK v roce 2017. Nejvyššího

průměrného výnosu ze všech sledovaných let dosáhla varianta N s hodnotou 6,31 t/ha. Velmi dobrých výnosů dosahovaly také varianty NPK a N + sláma. Nejnižšího průměrného výnosu ze sledovaných let dosáhla varianta Hnůj 5,61 t/ha. Na stanovišti Červený Újezd všechny hnojené varianty vždy překonaly výnos kontrolní nehnojené varianty. V roce 2016 došlo k výraznému zvýšení výnosu oproti průměru u všech hnojených variant kromě varianty Kal 1.

Vzhledem k poškození pokusu velmi suchým počasím nebyly výsledky agronomického roku 2017/2018 použity v celkovém vyhodnocení. Všechny hodnocené varianty jsou znázorněny v grafu 2.

Graf 2: Výnos zrna při 100% sušíně na stanovišti Červený Újezd (t/ha)



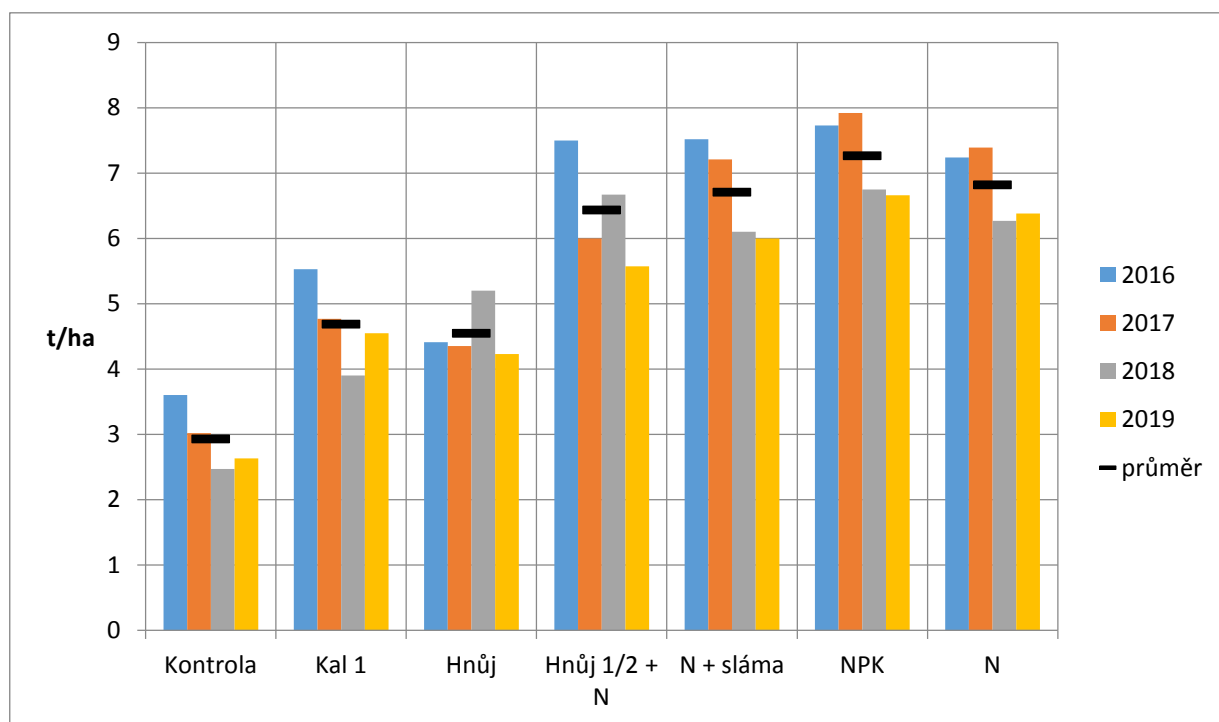
5.1.3 Lukavec

Výnos zrna na stanovišti Lukavec znázorňuje graf 4. Na tomto stanovišti se výnosy hnojených variant za sledované období pohybovaly v intervalu 3,9 – 7,92 t/ha. U variant hnojených organickými hnojivy se výnosy pohybovaly v rozmezí 3,9 – 5,53 t/ha, u variant, kde bylo aplikováno pouze minerální hnojení, byl výnos v intervalu 6,27 – 7,92 t/ha a u variant hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv se výnos pohyboval mezi 5,57 – 7,52 t/ha. Nejvyšší výnos byl ve všech sledovaných letech dosažen u varianty NPK, v roce 2016 (7,73 t/ha), 2017 (7,92 t/ha), 2018 (6,75 t/ha) a 2019 (6,66 t/ha). Tyto výnosy byly o 114,7 %, 162,3 %, 173,3 %, 153,2 % vyšší než kontrolní varianta daného roku.

Z hnojených variant byl nejnižší výnos zjištěn vždy u varianty hnojené organickými hnojivy. V letech 2016, 2017, 2019 u varianty Hnůj a v roce 2018 u varianty Kal 1. U varianty Hnůj byl v roce 2016 dosažen výnos 4,41 t/ha, v roce 2017 4,35 t/ha a v roce 2019 4,23 t/ha. Varianta Kal 1, dosáhla v roce 2018 výnosu 3,9 t/ha. Tyto výnosy byly o 22,5 %, 44 %, 60,8 % a 57,9 % vyšší než hodnoty kontrolních variant.

Nejvyšší výnos byl na stanovišti Lukavec dosažen v roce 2017 u varianty NPK a to 7,92 t/ha, naopak nejnižší výnos byl dosažen v roce 2018 u varianty Kal 1 a to 3,9 t/ha. Nejvyšší průměrný výnos ze všech sledovaných let byl zjištěn u varianty NPK a dosahoval hodnoty 7,27 t/ha. Na této lokalitě dosahovaly nejvyšších výnosů varianty hnojené minerálními hnojivy nebo kombinací organických a minerálních hnojiv. Nejnižších výnosů naopak dosahovaly varianty hnojené pouze organickými hnojivy. Na stanovišti Lukavec byly také výnosy zrna nejvíce vyrovnané v rámci jednotlivých let a nedocházelo zde k enormním výkyvům výnosů oproti průměru.

Graf 3: Výnos zrna při 100% sušině na stanovišti Lukavec (t/ha)



5.2 Výnos slámy

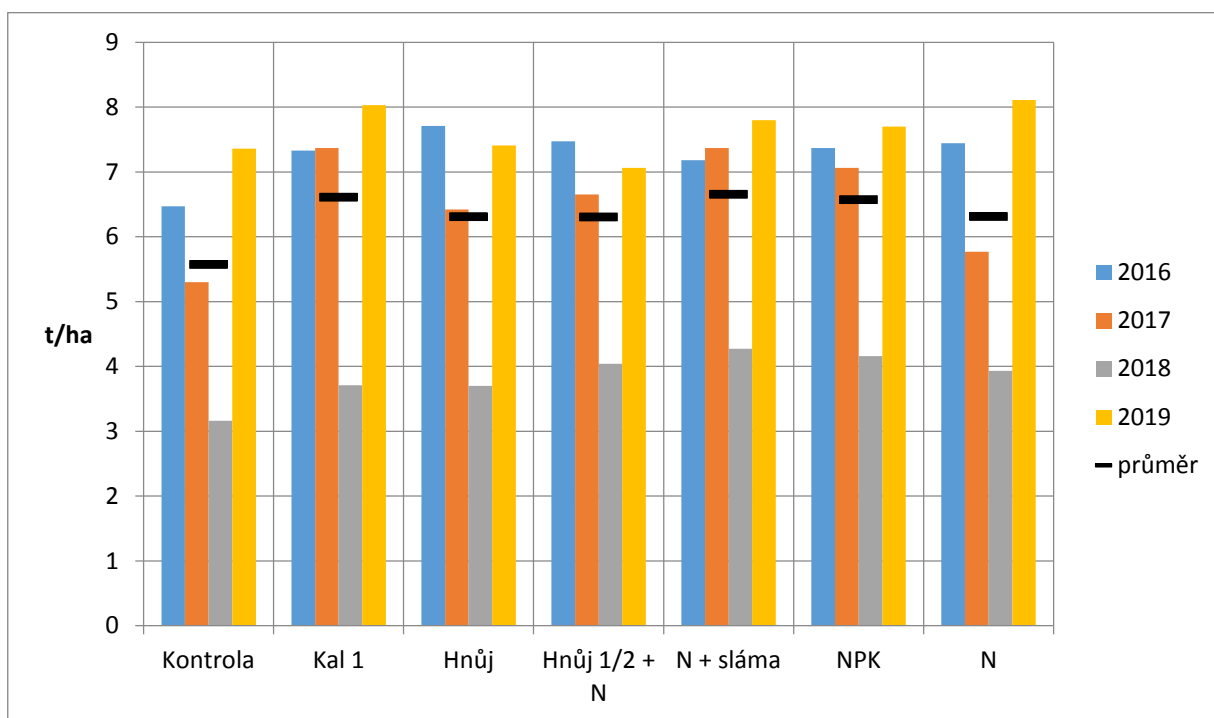
5.2.1 Suchdol

Výnos slámy na stanovišti Suchdol za sledované období je znázorněn v grafu 4. Na tomto stanovišti se výnosy hnojených variant pohybovaly v intervalu 3,7 – 8,11 t/ha. U variant hnojených organickými hnojivy se výnosy pohybovaly v rozmezí 3,7 – 8,03 t/ha, u variant hnojených pouze minerálními hnojivy se hodnoty dosažených výnosů pohybovaly v intervalu 3,93 – 8,11 t/ha. Varianty hnojené kombinací minerálních a organických hnojiv dosahovaly výnosů mezi 4,04 - 7,8 t/ha. Nejvyššího výnosu dosáhla v každém roce rozdílná varianta. V roce 2016 byl nejvyšší výnos slámy dosažen u varianty Hnůj a to 7,71 t/ha, v roce 2017 dosáhla varianta Kal 1 výnosu 7,37 t/ha, v roce 2018 dosáhla nejvyššího výnosu 4,27 t/ha varianta hnojená kombinací minerálních a organických hnojiv N + sláma a v roce 2019 dosáhla varianta N výnosu 8,11 t/ha. Tyto výnosy byly o 19,2 %, 39,1 %, 35,1 % a 10,2 % vyšší než kontrolní varianty příslušných hodnocených let.

Nejnižší výnos hnojených variant byl každý rok zjištěn u rozdílné varianty. V roce 2016 to byla varianta N + sláma s výnosem 7,18 t/ha, v roce 2017 dosáhla nejnižšího výnosu varianta N s výnosem 5,77 t/ha, v roce 2018 byla hodnota nejnižšího výnosu slámy 3,7 t/ha zjištěna u varianty Hnůj a v roce 2019 u varianty Hnůj ½ + N s hodnotou 7,06 t/ha. Tyto výnosy byly vyšší oproti výnosům nehnojených variant Kontrola daných let o 11 %, 8,9 %, 17,1 % a -4,1 %.

Nejvyšší výnos byl na stanovišti Suchdol dosažen v roce 2019 s hodnotou 8,11 t/ha u varianty N. Naopak nejnižšího výnosu dosáhla v roce 2018 varianta Hnůj s hodnotou 3,7 t/ha. Nejvyšších průměrných výnosů bylo dosaženo u variant N + sláma a Kal 1 s hodnotami 6,66 t/ha a 6,61 t/ha. Celkově na této lokalitě nedocházelo k výrazným výkyvům průměrných výnosů za sledované období, ty se pohybovaly od 6,31 t/ha do 6,66 t/ha. K výraznému propadu výnosů slámy došlo u všech hnojených variant v roce 2018.

Graf 4: Výnos slámy při 100% sušíně na stanovišti Suchdol (t/ha)



5.2.2 Červený Újezd

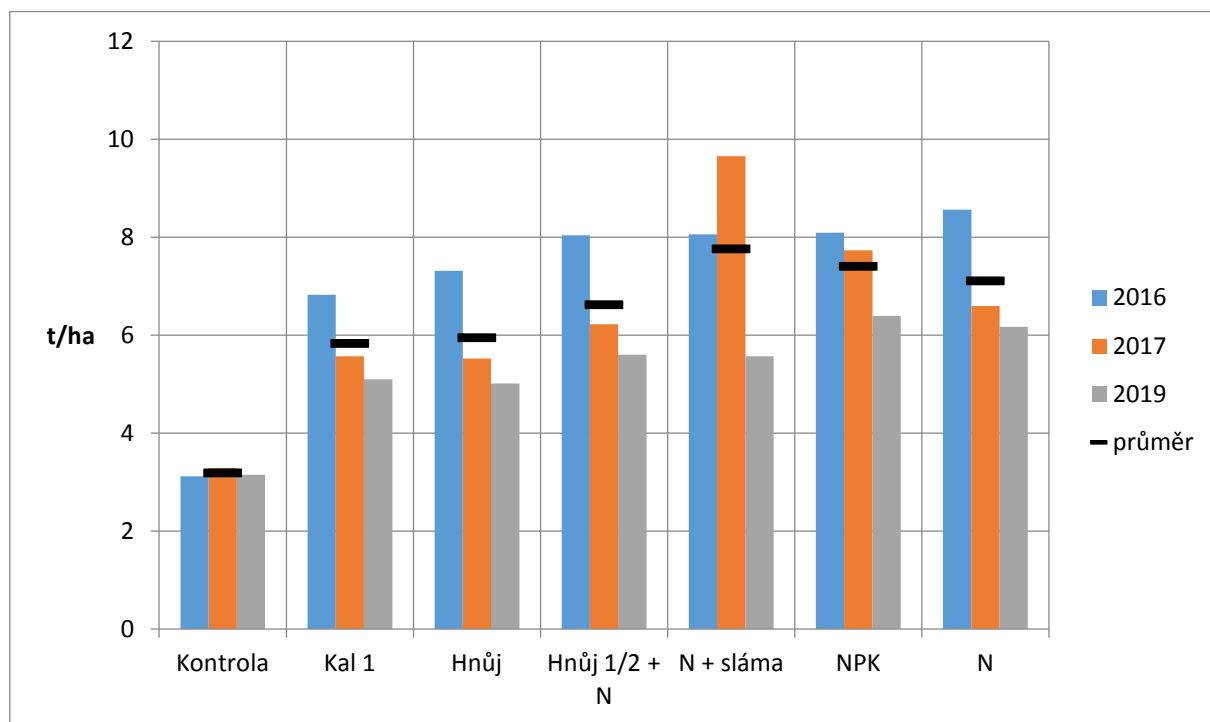
Výnos slámy na stanovišti Červený zobrazuje graf 5. Na tomto stanovišti se výnos hnojených variant pohyboval v rozmezí 5,01 – 9,65 t/ha. Varianty hnojené pouze organickými hnojivy dosahovaly výnosu 5,01 – 7,31 t/ha, varianty hnojené minerálními hnojivy dosahovaly výnosu v intervalu 6,17 – 8,56 t/ha a u variant hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv se výnos pohyboval v rozmezí 5,6 – 9,65 t/ha. Nejvyššího výnosu dosáhla v každém roce jiná varianta. V roce 2016 dosáhla nejvyššího výnosu 8,56 t/ha varianta N, v roce 2017 dosáhla nejvyššího výnosu varianta N + sláma s výnosem 9,65 t/ha a v roce 2019 varianta NPK s výnosem 6,39 t/ha. Zmíněné výnosy byly vyšší o 174,4 %, 193,3 % a 102,9 % než kontrolní varianta v daném roce.

Z hnojených variant dosáhla nejnižšího výnosu vždy varianta hnojená pouze organickými hnojivy. V roce 2016 to byly varianta Kal 1 s výnosem 6,82 t/ha, v roce 2017 dosáhla nejnižšího výnosu varianta Hnůj a to 5,52 t/ha a v roce 2019 také varianta Hnůj s výnosem 5,01 t/ha. Tyto výnosy byly oproti kontrolním variantám navýšeny o 118,6 %, 67,8 % a 59 %.

Nejvyšší výnos byl na stanovišti Červený Újezd dosažen v roce 2017 u varianty N + sláma s hodnotou 9,65 t/ha, naproti tomu nejnižší výnos byl stanoven v roce 2019 u varianty Hnůj s hodnotou 5,01 t/ha. Nejvyššího průměrného výnosu 7,76 t/ha dosáhla varianta N +

sláma. Velmi dobrých průměrných výnosů dosáhly i varianty hnojené pouze minerálními hnojivy, varianty NPK a N. Naopak nejnižších průměrných výnosů dosahovaly varianty hnojené pouze organickými hnojivy. Vzhledem k poškození pokusu velmi suchým počasím nebyly výsledky agronomického roku 2017/2018 použity v celkovém vyhodnocení.

Graf 5: Výnos slámy při 100% sušíně na stanovišti Červený Újezd (t/ha)



5.2.3 Lukavec

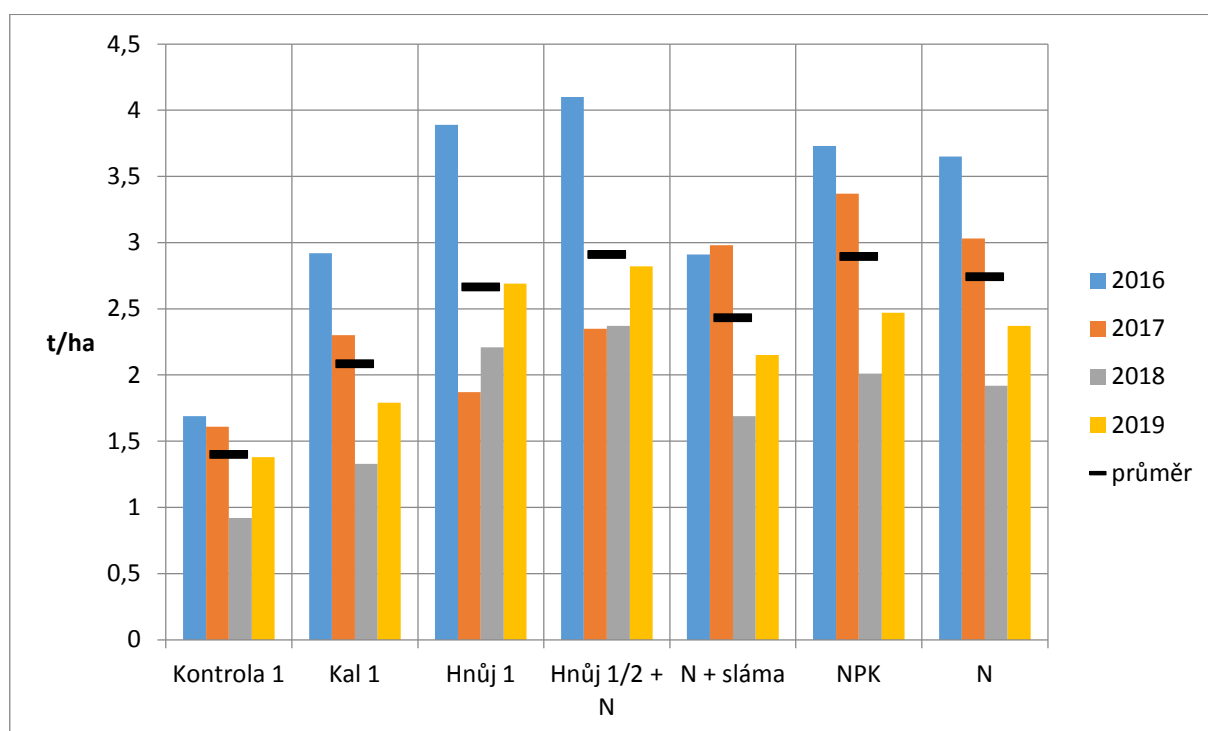
Výnos slámy na stanovišti Lukavec je zobrazen v grafu 6. Na stanovišti Lukavec se výnos hnojených variant pohyboval v rozmezí 1,33 – 4,1 t/ha. Varianty hnojené organickými hnojivy dosahovaly výnosu 1,33 – 3,89 t/ha, varianty hnojené pouze minerálními hnojivy dosahovaly výnosu v rozmezí 1,92 – 3,73 t/ha a varianty hnojené kombinací organických a minerálních hnojiv dosáhly výnosu v rozmezí 1,69 – 4,1 t/ha. Nejvyššího výnosu dosáhla v každém roce, kromě roku 2017, varianta Hnůj ½ + N. V roce 2016 dosáhla tato varianta výnosu 4,1 t/ha, v roce 2018 byl naměřen výnos 2,37 t/ha a v roce 2019 dosáhl výnos na této variantě 2,82 t/ha. V roce 2017 dosáhla nejvyšší výnos varianta NPK s výnosem 3,37 t/ha. Tyto výnosy byly o 142,6 %, 157,6 %, 104,3 % a 109,3 % vyšší než výnosy kontrolních variant daných let.

Nejnižší výnos z hnojených variant byl v roce 2016 zjištěn u varianty N + sláma s hodnotou 2,91 t/ha, v roce 2017 byl nejnižší výnos naměřen u varianty Hnůj, kde dosáhl

hodnoty 1,87 t/ha. V roce 2018 a 2019 dosáhla nejnižšího výnosu shodně varianta Kal 1, v roce 2018 výnos činil 1,33 t/ha a v roce 2019 1,79 t/ha. Tyto výnosy byly oproti kontrolním variantám daných let vyšší o 72,2 %, 16,1 %, 44,6 % a 29,7 %.

Nejvyšší výnos slámy byl na stanovišti Lukavec dosažen v roce 2016 na variantě Hnůj ½ + N s hodnotou 4,1 t/ha, naopak nejnižší výnos byl naměřen u varianty Kal 1, která v roce 2018 dosáhla výnosu pouze 1,33 t/ha. Nejvyšší průměrný výnos za sledované období, 2,9 t/ha dosáhly shodně varianty Hnůj ½ + N a NPK. Nejnižší průměrný výnos za sledované období byl stanoven u varianty Kal 1.

Graf 6: Výnos slámy při 100% sušíně na stanovišti Lukavec (t/ha)



5.3 Obsah dusíku v zrně

5.3.1 Suchdol

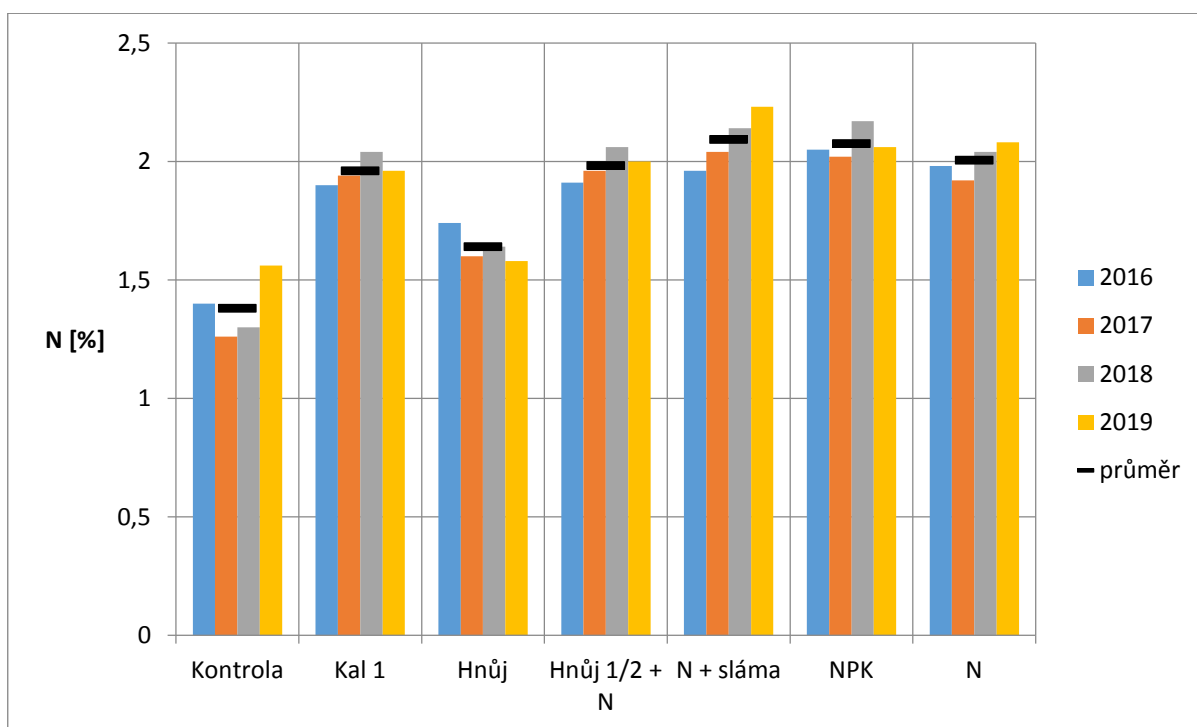
Obsah dusíku v zrně na stanovišti Suchdol je zobrazen v grafu 7. Na tomto stanovišti se obsahy dusíku pohybovaly v intervalu 1,58 – 2,23 %. Varianty hnojené organickými hnojivy dosahovaly obsahů dusíku v rozmezí 1,58 – 2,04 %, varianty hnojené pouze minerálními hnojivy dosahovaly hodnot 1,92 – 2,17 % a u variant hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv se obsah dusíku pohyboval v intervalu 1,91 – 2,23 %. Nejvyššího obsahu dosáhla v roce 2016 a 2018 varianta NPK, v roce 2017 a 2019 varianta N + sláma.

V roce 2016 to byla hodnota 2,05 %, v roce 2017 byl nejvyšší obsah dusíku v zrně 2,04 %, v roce 2018 2,17 % a v roce 2019 2,23 % dusíku v zrně. Tyto obsahy dusíku byly o 46,4 %, 61,9 %, 66,9 % a 42,9 % vyšší, než jednotlivé kontrolní varianty daného roku.

Z hnojených variant byl nejnižší obsah dusíku v zrně v každém roce zjištěn u varianty Hnůj. V roce 2016 dosáhla hodnota pouze 1,74 %, v roce 2017 1,6 %, v roce 2018 1,64 % a v roce 2019 1,58 % dusíku v zrně. Oproti kontrolní variantě daného roku došlo ke zvýšení obsahů o 24,3 %, 27 %, 26,2 % a 1,3 %.

Nejvyšší obsah dusíku byl naměřen v roce 2019 u varianty N + sláma s hodnotou 2,23 %, naopak nejnižší obsah byl stanoven v témže roce u varianty Hnůj a to 1,58 %. Nejvyšší průměrný obsah dusíku za sledované období byl zjištěn u varianty N + sláma s hodnotou 2,09 %, téměř shodné hodnoty (2,08 %) dosáhla také varianta NPK. Nejnižší průměrný obsah byl zjištěn u varianty Hnůj s hodnotou 1,64 %.

Graf 7: Obsah dusíku v zrně na stanovišti Suchdol (%)



5.3.2 Červený Újezd

Obsah dusíku v zrně na stanovišti Červený Újezd znázorňuje graf 8. V grafu je znázorněn také rok 2018, kdy se vlivem suchého počasí při vzcházení na stanovišti Červený Újezd neurodilo. Výnosy hnojených variant se pohybovaly pouze v rozmezí 0,17 – 1,04 t/ha.

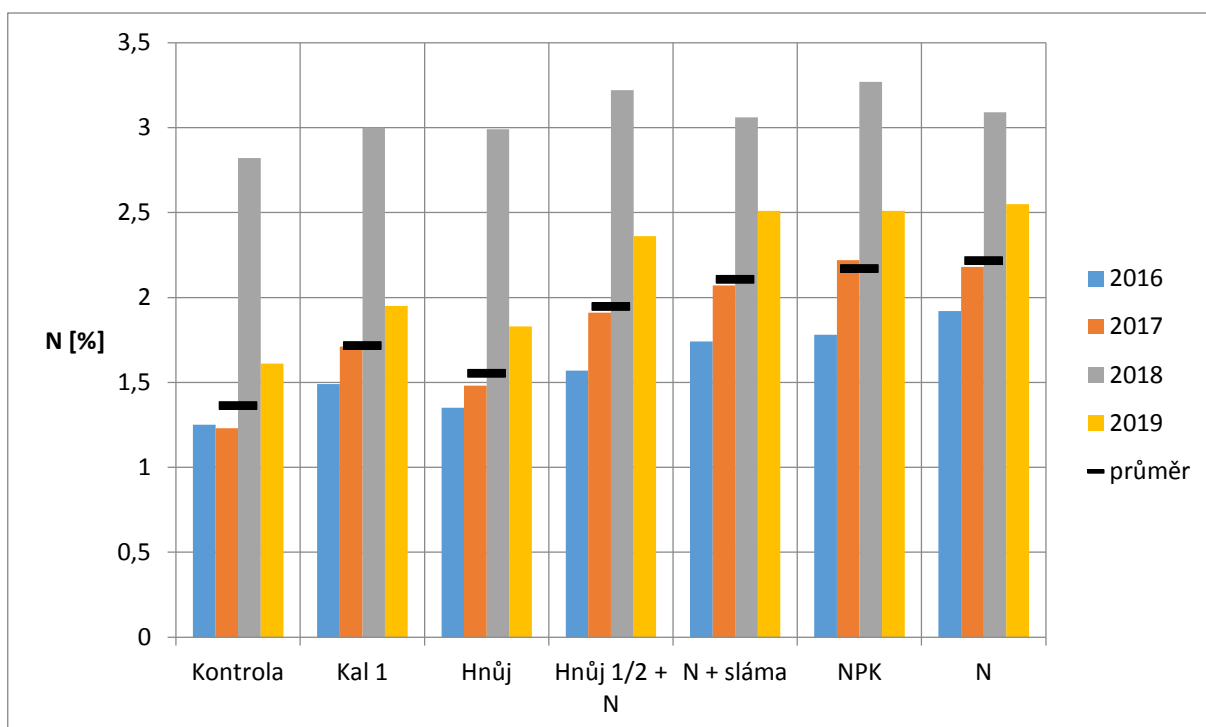
Proto hodnoty obsahu dusíku z roku 2018 jsou uvedeny pouze informativně, nejsou zahrnovány do hodnocení, ani do průměrných obsahů.

Na tomto stanovišti se obsahy dusíku hnojených variant pohybovaly v intervalu 1,35 – 2,55 %. Obsahy dusíku u variant hnojených organickými hnojivy dosáhly hodnot 1,35 – 1,95 %, u variant hnojených minerálními hnojivy byl naměřen obsah dusíku v rozmezí 1,78 – 2,55 % a varianty hnojené kombinací minerálních a organických hnojiv dosáhly obsahu 1,57 – 2,51 %. Nejvyšší obsah dusíku byl v každém roce dosažen u variant hnojených pouze minerálními hnojivy. V roce 2016 u varianty N s hodnotou 1,92 %, v roce 2017 u varianty NPK s hodnotou 2,22 % a v roce 2019 u varianty N s hodnotou 2,55 %. Oproti kontrolní variantě daného roku došlo k navýšení obsahů dusíku o 53,6 %, 80,5 % a 58,4 %.

Z hnojených variant byl nejnižší obsah dusíku v každém roce zjištěn u organicky hnojené varianty Hnůj. V roce 2016 dosáhla obsahu pouze 1,35 %, v roce 2017 1,48 % a v roce 2019 1,83 % N v zrnu. Došlo k navýšení obsahu dusíku o 8 %, 20,3 % a 13,7 % oproti kontrolní variantě daného roku.

Nejvyšší obsah dusíku byl stanoven u varianty N v roce 2019 s hodnotou 2,55 %, naopak nejnižší obsah dosáhla v roce 2016 varianta hnůj, pouze 1,35 %. Nejvyšší průměrný obsah za sledované období byl stanoven u varianty N s hodnotou 2,22 %. Velmi dobrých výsledků dosáhla také varianta NPK a varianta N + sláma. Naopak nejnižší průměrný obsah 1,55 % byl stanoven u varianty Hnůj.

Graf 8: Obsah dusíku v zrnu na stanovišti Červený Újezd (%)



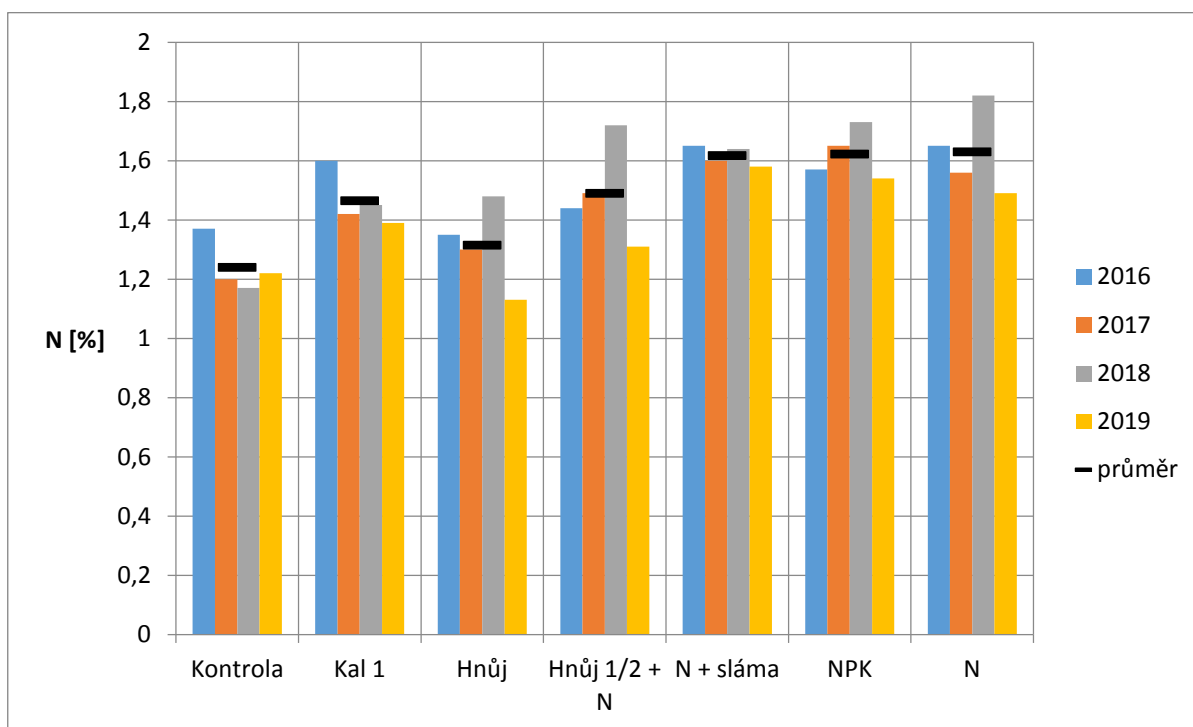
5.3.3 Lukavec

Obsah dusíku v zrně na stanovišti Lukavec znázorňuje graf 9. Obsahy dusíku v zrně se na tomto stanovišti pohybovaly v rozmezí 1,13 – 1,82 %. Varianty hnojené pouze organickými hnojivy dosahovaly hodnot v intervalu 1,13 – 1,6 %, varianty hnojené minerálními hnojivy dosáhly obsahu v rozmezí 1,49 – 1,82 % a varianty hnojené kombinací minerálních a organických hnojiv 1,31 – 1,72 %. V roce 2016 byl nejvyšší obsah dusíku dosažen u varianty N + sláma s hodnotou 1,65 %, v roce 2017 u minerálně hnojené varianty NPK a to 1,65 %, v roce 2018 dosáhla nejvyššího obsahu varianta N s hodnotou 1,82 % a v roce 2019 dosáhla nejvyššího obsahu dusíku stejně jako v roce 2016 varianta N + sláma s hodnotou 1,58 %. Oproti kontrolním variantám daných let došlo k navýšení obsahu o 20,4 %, 37,5 %, 55,6 % a 29,5 %.

Z hnojených variant byl nejnižší obsah dusíku zjištěn v každém roce u organicky hnojené varianty. V roce 2016 u varianty Hnůj s hodnotou 1,35 %, v roce 2017 také u varianty Hnůj s hodnotou 1,3 %, v roce 2018 u varianty Kal 1 s hodnotou 1,45 % a v roce 2019 u varianty Hnůj s hodnotou 1,13 %. Došlo k navýšení obsahu dusíku o -1,5 %, 8,3 %, 23,9 % a -7,4 % oproti kontrolní variantě daného roku.

Nejvyšší obsah dusíku 1,82 % byl naměřen u varianty N v roce 2018, naopak nejnižší obsah byl naměřen v roce 2019 u varianty Hnůj s hodnotou 1,13 %. Nejvyššího průměrného obsahu za sledované období dosáhla varianta N s hodnotou 1,63 %. Téměř shodných výsledků dosáhly také varianty NPK a N + sláma, u kterých byla shodně zjištěna průměrná hodnota obsahu dusíku v zrně 1,62 %. Naopak nejnižších průměrných obsahů dosahovaly varianty hnojené pouze organickými hnojivy. Nejnižší průměrný obsah byl zjištěn u varianty Hnůj s hodnotou 1,32 % dusíku v zrně pšenice.

Graf 9: Obsah dusíku v zrně na stanovišti Lukavec (%)



5.4 Obsah dusíku ve slámě

5.4.1 Suchdol

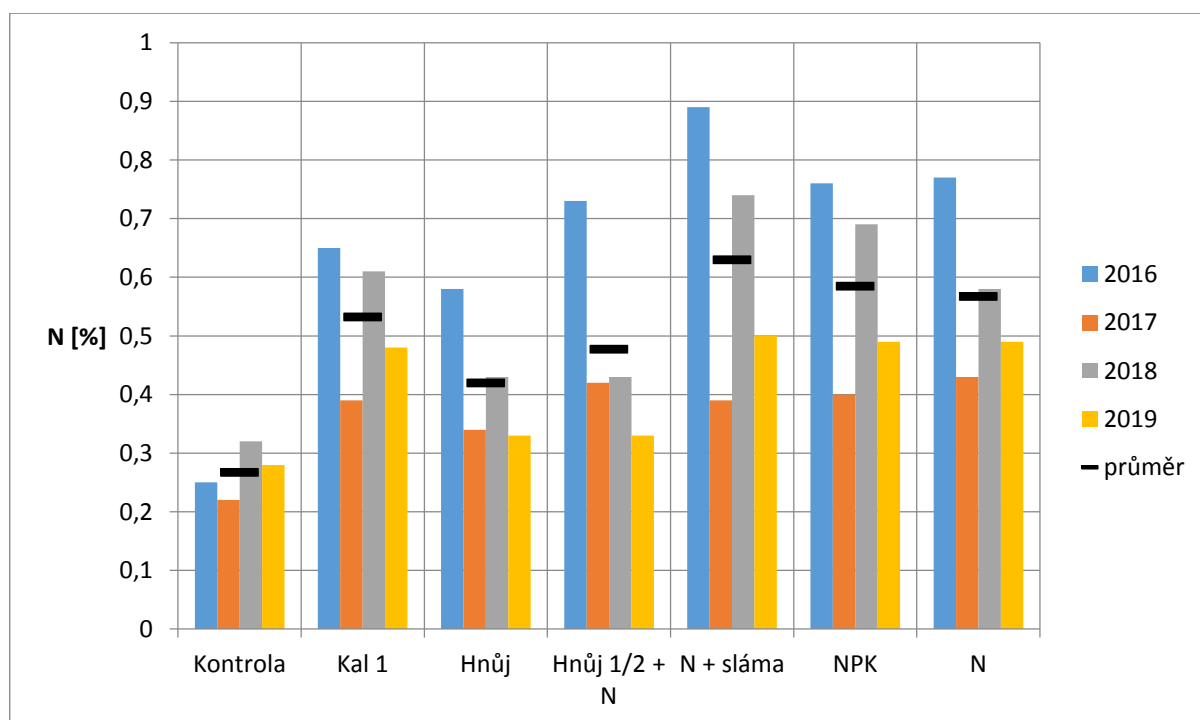
Obsah dusíku ve slámě znázorňuje graf 10. Obsah dusíku ve slámě na stanovišti Suchdol se pohyboval v rozmezí 0,34 – 0,89 %. U variant hnojených pouze organickými hnojivy se obsah dusíku ve sledovaném období pohyboval v intervalu 0,33 – 0,65 %, varianty hnojené minerálními hnojivy dosahovaly obsahu dusíku 0,4 – 0,77 % a varianty hnojené kombinací minerálních a organických hnojiv dosahovaly hodnot 0,33 – 0,89 %. Nejvyššího obsahu dusíku ve slámě dosáhla v roce 2016 varianta N + sláma, v roce 2017 varianta N, v roce 2018 a 2019 stejně jako v roce 2016 varianta N + sláma. V roce 2016 dosáhl u varianty N + sláma obsah dusíku 0,89 %, v roce 2017 bylo dosaženo hodnoty 0,43 %, v roce 2018 0,74 % a v roce 2019 byl nejvyšší obsah dusíku ve slámě 0,5 %. U těchto variant došlo k navýšení obsahu dusíku oproti kontrolní variantě daného roku o 256 %, 95,5 %, 131,3 % a 78,6 %.

Z hnojených variant byl nejnižší obsah dusíku ve slámě v roce 2016 a 2017 naměřen u varianty Hnůj, v roce 2018 a 2019 byl nejnižší obsah dusíku naměřen shodně u dvou variant a to u varianty Hnůj stejně jako v předchozích letech a na variantě Hnůj ½ + N. V roce 2016 měl nejnižší naměřený obsah hodnotu 0,58 %, v roce 2017 0,34 %, v roce 2018 byla nejnižší

hodnota 0,43 % a v roce 2019 0,33 %. Oproti kontrolní variantě daného roku došlo u těchto hnojených variant k navýšení obsahu dusíku o 132 %, 54,5 %, 34,4 % a 17,9 %.

Nejvyšší obsah dusíku 0,89 % byl stanoven v roce 2016 u varianty N + sláma. Naopak nejnižší obsah 0,33 % byl naměřen v roce 2019 shodně u varianty Hnůj a Hnůj ½ + N. Nejvyšší průměrný obsah dusíku ve slámě ze všech sledovaných let byl zjištěn u varianty N + sláma s hodnotou 0,63 %, naopak nejnižší průměrný obsah byl zjištěn u varianty Hnůj s hodnotou 0,42 %.

Graf 10: Obsah dusíku ve slámě na stanovišti Suchdol (%)



5.4.2 Červený Újezd

Obsah dusíku ve slámě na stanovišti Červený Újezd je znázorněn v grafu 11. V grafu je stejně jako v případě obsahu dusíku v zrně zařazen i rok 2018, kdy se vlivem suchého počasí neurodilo a výsledky jsou tak zkreslené, proto s těmito výsledky není nijak počítáno v případě vyhodnocování a výpočtu průměrných obsahů.

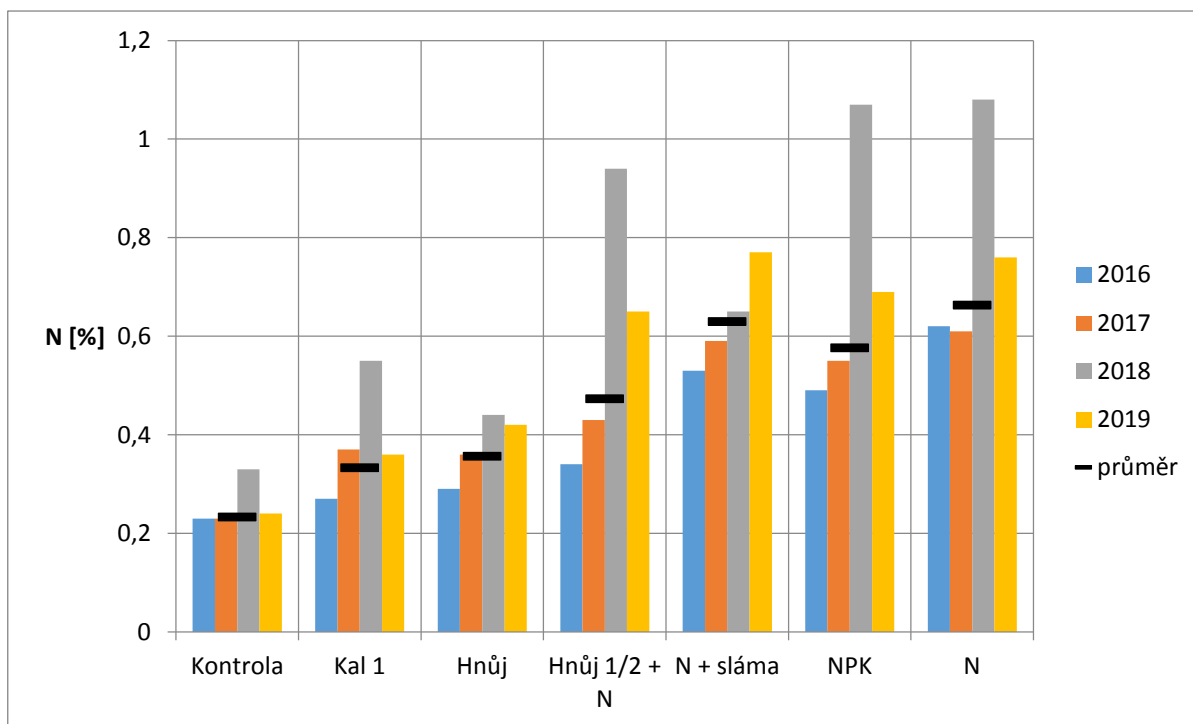
Obsah dusíku ve slámě na tomto stanovišti se pohyboval v intervalu 0,27 – 0,77 %. Na organicky hnojených variantách se obsah dusíku pohyboval v rozmezí 0,27 – 0,42 %, u variant hnojených minerálně v intervalu 0,49 – 0,76 % a u variant hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv v intervalu 0,34 – 0,77 %. Nejvyšší obsah dusíku byl zaznamenán v roce 2016 a 2017 u varianty N a v roce 2019 u varianty N + sláma. V roce

2016 dosáhla tato hodnota 0,62 %, v roce 2017 0,61 % a v roce 2019 0,77 %. Oproti kontrolním variantám došlo k navýšení obsahu dusíku o 169,6 %, 165,2 % a 220,8 %.

Nejnižší obsah dusíku z hnojených variant byl zaznamenán vždy u organicky hnojené varianty. V roce 2016 u varianty Kal 1 s hodnotou 0,27 %, v roce 2017 u varianty Hnůj s hodnotou 0,36 % a v roce 2019 u varianty Kal 1 s hodnotou 0,36 %. Došlo k navýšení o 17,4 %, 56,5 % a 50 % oproti hodnotám daných kontrolních variant.

Nejvyšší obsah dusíku ve slámě 0,77 % byl zaznamenán v roce 2019 u varianty N + sláma, naopak nejnižší obsah byl zaznamenán v roce 2016 u varianty Kal 1 s hodnotou 0,27 %. Nejvyšší průměrný obsah dusíku za sledované období 0,66 % dosáhla varianta N, velmi podobného průměrného obsahu 0,63 % dosáhla také varianta N + sláma. Nejnižší průměrný obsah dusíku ve slámě 0,32 % dosáhla varianta Kal 1.

Graf 11: Obsah dusíku ve slámě na stanovišti Červený Újezd (%)



5.4.3 Lukavec

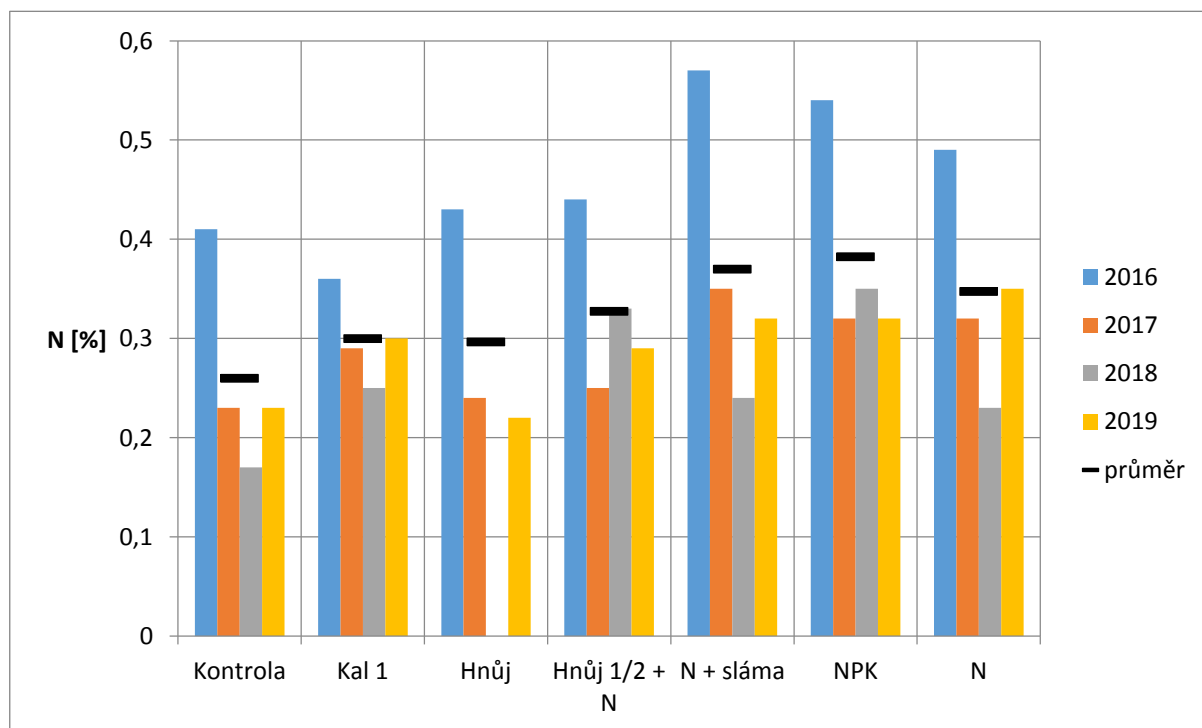
Obsah dusíku ve slámě na stanovišti Lukavec znázorňuje graf 12. Obsah dusíku ve slámě na tomto stanovišti se pohyboval v rozmezí 0,22 – 0,57 %. Na variantách hnojených organickými hnojivy se obsah pohyboval mezi 0,22 – 0,43 %, na variantách hnojených minerálními hnojivy dosahoval obsah dusíku rozmezí 0,23 – 0,54 % a na variantách hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv 0,24 – 0,57 %. Nejvyšší obsah byl zjištěn v roce 2016 a 2017 na variantě N + sláma, v roce 2018 na variantě NPK a v roce 2019

na variantě N. V roce 2016 byla tato nejvyšší hodnota 0,57 %, v roce 2017 0,35 %, v roce 2018 měl nejvyšší obsah dusíku na variantě NPK hodnotu 0,35 % a v roce 2019 byla nejvyšší hodnota obsahu dusíku ve slámě 0,35 %. Oproti kontrolní variantě daného roku došlo k navýšení těchto obsahů o 39 %, 52,2 %, 105,9 % a 52,2 %.

Nejnižší obsah dusíku ve slámě z hnojených variant na stanovišti Lukavec byl v roce 2016 stanoven na variantě Kal 1, v roce 2017 a 2019 na variantě Hnůj a v roce 2018 na variantě N. V roce 2016 dosáhla tato hodnota 0,36 %, v roce 2017 0,24 %, v roce 2018 0,23 % a v roce 2019 0,22 %. Oproti kontrolní variantě daného roku došlo k navýšení těchto obsahů o -12,2 %, 4,3 %, 35,3 % a -4,3 %.

Nejvyšší obsah 0,57 % byl na tomto stanovišti stanoven v roce 2016 na variantě N + sláma, naopak nejnižší výnos byl stanoven v roce 2019 u varianty Hnůj s hodnotou 0,22 %. Nejvyšší průměrný obsah dusíku ve slámě za sledované období byl stanoven u varianty NPK (0,38 %), velmi podobné hodnoty dosáhla i varianta N + sláma (0,37 %). Naopak nejnižší průměrný obsah byl zjištěn shodně u varianty Kal 1 a Hnůj s hodnotou 0,3 %. V roce 2018 nebyla vlivem znehodnocení vzorku zjištěna hodnota obsahu dusíku ve slámě u varianty Hnůj.

Graf 12: Obsah dusíku ve slámě na stanovišti Lukavec (%)



5.5 Bilance dusíku

5.5.1 Suchdol

Bilance dusíku na stanovišti Suchdol je znázorněna v tabulce 3. Nejvíce záporná bilance byla na tomto stanovišti u všech variant, kromě varianty Kal 1 v roce 2016 (u varianty Kal 1 byla tato bilance nejvíce negativní v roce 2017). V roce 2016 byla nejvíce záporná bilance stanovena u varianty Hnůj s hodnotou (-147,6 kg), v roce 2017 nejvíce záporné bilance dosáhla varianta Kal 1 s hodnotou (-144,7 kg), v roce 2018 dosáhla tato bilance u varianty Kal 1 hodnoty (-83,4 kg) a v roce 2019 byla nejvíce záporná bilance také u varianty Kal 1 s hodnotou (-138,1 kg). Oproti kontrole byla více záporná bilance v roce 2016 u variant Kal 1 a Hnůj, v roce 2017 také u varianty Kal 1 a Hnůj, v roce 2018 pouze u varianty Kal 1 a v roce 2019 nebyla více záporná bilance oproti kontrolní variantě zjištěna u žádné z hnojených variant.

Nejméně negativní bilance za sledované období byla u všech hnojených variant zaznamenána v roce 2018. V tomto roce dokonce varianta N dosáhla kladné bilance (1,7 kg). Oproti kontrolní variantě byla hodnota v roce 2016 a 2017 méně záporná u variant hnojených minerálními hnojivy nebo kombinací minerálních a organických hnojiv. V roce 2018 také u variant hnojených minerálními nebo kombinací minerálních a organických hnojiv a u varianty Hnůj. V roce 2019 byla méně záporná bilance oproti kontrole u všech hnojených variant. Nejméně negativní hodnota bilance dusíku byla v roce 2016 u varianty N (-57,7 kg), v roce 2017 také u varianty N (30,2 kg), v roce 2018 také u varianty N (1,7 kg) a v roce 2019 u varianty Hnůj ½ + N (-24,3 kg). Ve sledovaném období byla nejméně záporná bilance většinou na variantách hnojených minerálními hnojivy nebo kombinací minerálních a organických hnojiv.

Tabulka 3: Bilance dusíku na stanovišti Suchdol (kg)

	2016	2017	2018	2019
Kontrola	-125,7	-88,9	-70,2	-139,3
Kal 1	-141,4	-144,7	-83,4	-138,1
Hnůj	-147,6	-111,5	-63,1	-102,9
Hnůj 1/2 + N	-82,3	-51,2	-3,1	-24,3
N + sláma	-69,9	-57,9	-8,7	-49,7
NPK	-74,1	-37,9	-5,9	-40,7
N	-57,7	-30,2	1,7	-52,6

5.5.2 Červený Újezd

Bilanci dusíku na stanovišti Červený Újezd znázorňuje tabulka 4. Nejvíce negativní bilance byla na tomto stanovišti u všech hnojených variant kromě varianty Kal 1 zjištěna v roce 2016 (u varianty Kal 1 byla nejvíce záporná bilance v roce 2017). V roce 2016 byla nejvíce záporná bilance dusíku u varianty Hnůj (-75,5 kg), v roce 2017 u varianty Kal 1 (-89,9 kg), v roce 2018 také u varianty Kal 1 s hodnotou (-10,5 kg) a v roce 2019 opět u varianty Kal 1 s hodnotou (-76,1 kg). Oproti kontrolní variantě byla více záporná hodnota v roce 2016 u všech variant kromě varianty Hnůj ½ + N, v roce 2017 a 2019 měla více zápornou hodnotu než Kontrola varianta Kal 1 a Hnůj. V roce 2018 měla nejvíce negativní bilanci varianta Kontrola.

Nejméně negativní bilance byla u všech hnojených variant zaznamenána v roce 2018. To bylo dáno především velmi nízkým výnosem, jelikož se na tomto stanovišti vlivem suchého počasí při vzcházení neurodilo. Oproti Kontrolě byla v roce 2016 méně negativní bilance pouze u varianty Hnůj ½ + N, v roce 2017 a 2019 u variant hnojených minerálními nebo kombinací minerálních a organických hnojiv a v roce 2018 byla méně negativní bilance oproti kontrole u všech hnojených variant. Nejméně negativní bilance dusíku byla v roce 2016 u varianty Hnůj ½ + N (-17,8 kg), v roce 2017 dosáhly dvě varianty kladné bilance a to varianta NPK (1,6 kg) a varianta Hnůj ½ + N (9,8 kg). V roce 2018 dosáhly kladné bilance všechny varianty kromě varianty Kal 1, nejvyšší hodnota kladné bilance dusíku byla zjištěna u varianty N + sláma (55,4 kg) a v roce 2019 dosáhla nejméně negativní bilance varianta Hnůj ½ + N (-17,3 kg). Nejméně negativní bilance dusíku za celé sledované období byla většinou stanovena u varianty Hnůj ½ + N.

Tabulka 4: Bilance dusíku na stanovišti Červený Újezd (kg)

	2016	2017	2018	2019
Kontrola	-46,1	-53,6	-20,0	-55,1
Kal 1	-73,0	-89,9	-10,5	-76,1
Hnůj	-75,6	-58,4	5,1	-65,6
Hnůj 1/2 + N	-17,8	9,8	54,0	-17,3
N + sláma	-47,8	-22,9	55,4	-23,6
NPK	-56,3	1,6	45,7	-32,4
N	-84,5	-10,3	38,5	-32,9

5.5.3 Lukavec

Bilanci dusíku na stanovišti Lukavec znázorňuje tabulka 5. Nejvíce záporná bilance byla na tomto stanovišti u všech hnojených variant dosažena v roce 2016. V tomto roce byla nejvíce negativní hodnota stanovena u varianty Kal 1 (-59,4 kg). U varianty Kal 1 byla nejvíce záporná hodnota stanovena i v následujících letech, v roce 2017 (-34,8 kg), v roce 2018 (-20,3 kg) a v roce 2019 (-29 kg). Oproti kontrolní variantě byla více negativní bilance stanovena v roce 2016 u varianty Kal 1, v ostatních letech žádná z hnojených variant neměla více negativní bilanci než varianta Kontrola. Nejvíce záporná bilance byla na tomto stanovišti každý rok u varianty Kal 1.

Nejméně negativní bilance byla u všech hnojených variant kromě varianty Kal 1 zaznamenána v roce 2019. U varianty Kal 1 byla nejméně negativní bilance zaznamenána v roce 2018. Oproti Kontrole byla ve všech letech zaznamenána méně záporná bilance, kromě roku 2016 u varianty Kal 1. V každém roce bylo dosaženo u některých variant hnojení kladné bilance. V roce 2016 u variant Hnůj ½ + N (3,8 kg) a u varianty N. V roce 2017 kladné bilance dosáhly tři varianty Hnůj ½ + N (34,5 kg), N + sláma a N. V roce 2018 dosáhly kladné bilance všechny varianty kromě varianty Kal 1, z těchto variant byla nejvyšší kladná hodnota zjištěna u varianty N + sláma (35,9 kg). V roce 2019 dosáhly kladné bilance všechny varianty hnojení, kromě variant hnojených pouze organickými hnojivy. Nejvyšší kladná bilance byla v tomto roce dosažena u varianty Hnůj ½ + N (48,7 kg).

V roce 2018 z důvodu chybějícího údaje o obsahu dusíku ve slámě nemohla být dopočítána hodnota výsledné bilance dusíku.

Tabulka 5: Bilance dusíku na stanovišti Lukavec (kg)

	2016	2017	2018	2019
Kontrola	-56,2	-39,9	-30,5	-35,3
Kal 1	-59,4	-34,8	-20,3	-29
Hnůj	-36,7	-21,4	-	-14,1
Hnůj 1/2 + N	3,8	34,5	7,3	48,7
N + sláma	-0,7	14,2	35,9	38,3
NPK	-1,5	-1,5	16,2	29,5
N	2,7	15,0	21,5	36,6

5.6 Efektivita využití dusíku

5.6.1 Suchdol

Efektivitu využití dusíku na stanovišti Suchdol znázorňuje tabulka 6. Nejvyšší efektivita využití dusíku byla u všech variant zjištěna v roce 2017, naopak nejnižší efektivita dosáhly všechny varianty v roce 2019. V roce 2016 dosáhla nejvyšší efektivita varianta Hnůj (155 %), v roce 2017 varianta Kal 1 (241 %), v roce 2018 varianta Kal 1 (133 %) a v roce 2019 dosáhla nejvyšší efektivita využití dusíku také varianta Kal 1 (97 %). Nejnižší efektivita dosáhla v roce 2016 (51 %) a v roce 2017 (58 %) varianta N. V roce 2018 dosáhla nejnižší efektivita využití dusíku varianta Hnůj ½ + N (48 %) a v roce 2019 varianta Hnůj (8 %). Nejvyšší efektivita využití dusíku dosahovaly varianty hnojené pouze organickými hnojivy, naopak nejnižší efektivita dosáhly většinou varianty hnojené minerálními hnojivy nebo kombinací minerálních a organických hnojiv.

Tabulka 6: Efektivita využití dusíku z dávky dusíku v aplikovaných hnojivech na stanovišti Suchdol (%)

	2016	2017	2018	2019
Kal 1	140	241	133	97
Hnůj	155	157	82	8
Hnůj 1/2 + N	67	71	48	11
N + sláma	60	78	56	36
NPK	63	64	54	30
N	51	58	49	38

5.6.2 Červený Újezd

Efektivitu využití dusíku na stanovišti Červený Újezd znázorňuje tabulka 7. Nejvyšší efektivitu dosáhly všechny varianty v roce 2016, kromě varianty Kal 1, která dosáhla nejvyšší efektivita v roce 2017. Nejnižší efektivita byla u všech variant vypočítána v roce 2018. Nejvyšší efektivitu dosáhla v roce 2016 varianta Hnůj (175 %). V roce 2017, 2018 a 2019 dosáhla nejvyšší efektivita varianta Kal 1, v roce 2017 (192 %), v roce 2018 (76 %) a v roce 2019 (153 %). Nejnižší efektivita využití dusíku dosáhla v roce 2016 (78 %), 2017 (51 %) a 2019 (71 %) varianta Hnůj ½ + N, v roce 2018 dosáhla nejnižší efektivita varianta Hnůj

(37 %). Na tomto stanovišti dosahovaly nejnižší efektivity využití dusíku většinou varianty hnojené kombinací minerálních a organických hnojiv.

Tabulka 7: Efektivita využití dusíku z dávky dusíku v aplikovaných hnojivech na stanovišti Červený Újezd (%)

	2016	2017	2018	2019
Kal 1	168	192	76	153
Hnůj	175	112	37	127
Hnůj 1/2 + N	78	51	43	71
N + sláma	101	78	46	78
NPK	107	61	53	84
N	127	69	58	84

5.6.3 Lukavec

Efektivita využití dusíku na stanovišti Lukavec je znázorněna v tabulce 8. Nejvyšší efektivita byla zjištěna v roce 2016, 2017, 2018 a 2019 u varianty Kal 1, v roce 2016 (108 %), v roce 2017 (87 %), v roce 2018 (74 %) a v roce 2019 (84 %). Nejnižší efektivita využití dusíku byla v roce 2016 zjištěna u varianty Hnůj (51 %), v roce 2017 u varianty Hnůj ½ + N (43 %), v roce 2018 u varianty N + sláma (53 %) a v roce 2019 byla nejnižší efektivita využití dusíku (35 %) zjištěna stejně jako v roce 2017 u varianty Hnůj ½ + N. Na tomto stanovišti bylo dosahováno výrazně nižší efektivity využití dusíku u variant hnojených organickými hnojivy v porovnání se stanovištěm Suchdol a Červený Újezd.

Tabulka 8: Efektivita využití dusíku z dávky dusíku v aplikovaných hnojivech na stanovišti Lukavec (%)

	2016	2017	2018	2019
Kal 1	108	87	74	84
Hnůj	51	53	-	47
Hnůj 1/2 + N	54	43	71	35
N + sláma	60	61	53	47
NPK	61	73	67	54
N	58	61	63	49

6 Diskuze

6.1 Výnos zrna

Průměrný výnos zrna ozimé pšenice v České republice byl v roce 2016 rekordní s hodnotou 6,60 t/ha. Tento rekordní výnos byl způsoben především příznivým počasím v jarních měsících (duben, květen), tedy v době, kdy se formují jednotlivé výnosové prvky (Kůst a Stehlíková, 2016). Ve srovnání s tímto celorepublikovým průměrným výnosem byl v tomto roce na stanovišti Suchdol zjištěn vyšší výnos u všech hnojených variant. Na stanovišti Červený Újezd nedosáhla tohoto výnosu pouze varianta Kal 1, která zaostala za celostátním průměrem s hodnotou 6,32 t/ha. Na stanovišti Lukavec byl zjištěn nižší výnos u obou organicky hnojených variant, varianta Kal 1 dosáhla výnosu 5,53 t/ha a varianta Hnůj 4,41 t/ha.

V roce 2017 byl průměrný výnos zrna ozimé pšenice v České republice 5,67 t/ha, tento propad byl způsoben především vlivem sucha v květnu a červnu, tedy v období, kdy dochází k nalévání zrna (Kůst a Záruba, 2017). Na stanovišti Suchdol byl zjištěn vyšší výnos oproti celorepublikovému průměru u všech hnojených variant. V tomto roce na stanovišti Červený Újezd překonala tento průměrný výnos pouze jediná varianta a to varianta Kal 1 s výnosem 6,37 t/ha. Na stanovišti Lukavec byl zjištěn nižší výnos u varianty Kal 1 s hodnotou 4,77 t/ha a u druhé organicky hnojené varianty Hnůj 4,35 t/ha.

Průměrný celostátní výnos zrna dosáhl v roce 2018 v České republice hodnoty 5,41 t/ha, tato nižší hodnota byla stejně jako v roce 2017 způsobena suchem v měsíci květnu a červnu (Kůst a Záruba, 2018). V roce 2018 překonaly na stanovišti Suchdol průměrný republikový výnos pouze tři varianty, varianta Hnůj $\frac{1}{2}$ + N (5,61 t/ha), N + sláma (5,47 t/ha) a varianta N (5,66 t/ha). Na stanovišti Červený Újezd vlivem suchého počasí při vzcházení, nepřekonala republikový průměr ani jedna z variant a výnos se zde pohyboval pouze v rozmezí 0,17 – 1,04 t/ha. Na stanovišti Lukavec skončily pod hodnotou průměru opět organicky hnojené varianty. Varianta Kal 1 dosáhla výnosu 3,9 t/ha a varianta Hnůj 5,2 t/ha.

V roce 2019 byl stanoven průměrný výnos zrna ozimé pšenice v České republice 5,88 t/ha (eAGRI, 2019). Na stanovišti Suchdol, byla vyšší hodnota výnosů oproti průměru zjištěna u všech hnojených variant. Na stanovišti Červený Újezd naopak nepřekonala průměrnou hodnotu žádná varianta. Na stanovišti Lukavec překonaly průměrný republikový výnos tři varianty, varianta N + sláma (6 t/ha), NPK (6,66 t/ha) a varianta N (6,38 t/ha).

6.1.1 Vliv počasí na výnos zrna

Dle mého názoru je výnos zrna ozimé pšenice nejvíce ovlivněn klimatickými faktory a v druhé řadě podmínkami stanoviště. I Prugar (2008) tvrdí, že se na projevení produkční schopnosti pšenice nejvíce promítá vliv stanoviště a ročníku. Trnka a kol. (2012) dokazují, že jednotlivé klimatické proměnné by mohly vysvětlit až 50 % variability výnosu. Většina vysvětlující síly modelu byla odvozena od negativní citlivosti na teplotu a sucho. Vyšší teploty v květnu a červnu mají tendenci zvyšovat rychlost vývoje plodin a stres ze sucha může kriticky snížit výnosy zrna. Toto zjištění se prokázalo i v roce 2018, kdy byl vlivem klimatických podmínek dosažen výrazně nižší výnos, než v ostatních sledovaných letech. Celosvětově bylo zjištěno, že výkyvy počasí vysvětlují vzestup jedné třetiny současné proměnlivosti výnosů plodin (Ray a kol., 2015), a to mnohem více v intenzivních systémech produkce s vysokými vstupy (Müller a kol., 2017). Tyto výkyvy výnosů můžeme pozorovat i mezi jednotlivými ročníky. Nejvyšších výnosů bylo na většině stanovišť dosaženo v roce 2016, což koresponduje i s rekordním celorepublikovým průměrem, jak již bylo zmíněno výše a v roce 2017. Průměrných výnosů dosáhl rok 2019 a největší propad výnosů zrna pšenice byl zaznamenán v roce 2018, kromě stanoviště Lukavec, kde dle mého názoru vlivem stanovištních podmínek s nižší průměrnou roční teplotou a vyšším ročním úhrnem srážek dosáhly výnosy průměrných hodnot.

V roce 2015 vzešly ozimy poměrně brzy a vlivem příznivých srážkových a teplotních poměrů byl jejich stav na podzim dobrý. Zima ročníku 2015/16 byla velmi teplá a srážkově normální. Březen i duben byly teplotně i srážkově normální, pouze na konci dubna se vlivem chladného počasí zpomalil vývoj porostů. Květen byl srážkově mírně pod normálem, ale v červnu srážky dosáhly normálních hodnot a teplota byla nad hodnotami normálu (Kůsta a Stehlíková, 2016). Toto počasí nejvíce svědčilo stanovišti Červený Újezd, kde byly zjištěny největší nárůsty výnosů oproti ostatním sledovaným ročníkům, ale i na ostatních stanovištích bylo dosaženo velmi vysokých výnosů.

Podle Kůsta a Záruby (2017) v roce 2016 ozimy vzešly poměrně brzy a vlivem příznivých srážkových a teplotních poměrů byl jejich stav na podzim dobrý. Zima ročníku 2016/17 byla řazena v porovnání ostatních let k těm chladnějším, ovšem na srážky byly zimní měsíce řazeny silně pod hodnotami normálu. Díky oteplení ke konci února a zejména pak v březnu začaly porosty ozimých obilnin intenzivně vegetovat. Měsíc duben byl srážkově velmi bohatý a chladný, což ozimům svědčilo, také v květnu panovaly optimální růstové podmínky. Že jsou tyto podmínky optimální pro vývoj ozimů, potvrzuje i Faměra (1993).

Avšak koncem měsíce května se již začal projevovat nedostatek srážek a v měsíci červnu již část porostů viditelně trpěla suchem (Kůst a Záruba, 2017). Tento suchý konec vegetace se neprojevil na stanovišti Suchdol, ani na stanovišti Lukavec a to především díky optimálnímu počasí v dubnu a květnu. Na stanovišti Červený Újezd došlo k významnému snížení výnosu oproti roku 2016, což mohlo být způsobeno větším suchem, jelikož srážky byly nerovnoměrně rozložené a vodní deficit se významněji projevil také v části středních Čech.

6.1.1.1 Množství srážek

Nejnižší výnosy byly na většině hodnocených stanovišť zjištěny v roce 2018. Toto potvrzuje i vývoj počasí v tomto roce. Podle Kůsta a Záruby (2018) již na podzim roku 2017 vzcházely porosty nerovnoměrně, to bylo způsobeno nepříznivými srážkovými poměry. Petr (1987) tvrdí, že se z vnějších faktorů na vzcházení nejvíce projevuje vláha, ať už její nedostatek, nebo nadbytek. Teplota v období setí a vzcházení při normální lhůtě setí nebývá limitujícím faktorem. Leden byl teplotně nadnormální a srážkově normální, únor byl chladnější oproti normálu a srážkově podnormální. Březen byl teplotně podnormální a srážky dosáhly pouze 67 % normálu. Duben 2018 se stal na území ČR teplotně mimořádně nadnormální a srážkově podnormální. Díky nadprůměrným teplotám v dubnu a na počátku května došlo k urychlení vývoje rostlin. Urychlení vývoje rostlin v porovnání s rokem 2017 bylo zaznamenáno i v době metání ozimých obilnin. V měsíci červnu již část porostů viditelně trpěla suchem (Kůst a Záruba, 2018). V tomto roce přisuzuji nízký výnos především podmínkám při vzcházení porostů, kdy byl nedostatek srážek a nadprůměrně teplému dubnu a květnu s nižším množstvím srážek, což urychlilo vývoj porostů a nedošlo k optimálnímu založení klasů.

Faměra (1993) tvrdí, že chladnější počasí zpomaluje rychlost vývinu rostlin. To je příznivé v době tvorby odnoží a na počátku sloupkování (duben, květen), kdy se založí více klasů s vyšším počtem zrn. Tento jev je dle mého názoru zodpovědný za velmi vysoké výnosy, které byly na sledovaných stanovištích dosaženy v roce 2016 a 2017. V roce 2016 se na konci dubna vlivem chladného počasí zpomalil vývoj porostů a v roce 2017 byl měsíc duben srážkově velmi bohatý a chladný, což ozimům svědčilo a v květnu také panovaly optimální růstové podmínky.

6.1.1.2 Teplota

Teplota hraje roli téměř ve všech aspektech růstu a vývoje plodin (Ferrise a kol., 2011), jako je fotosyntéza (Sage a kol., 2011), dýchání (Atkin a Tjoelker, 2003), transpirace

(Crawford a kol., 2012), rozdělení sušiny (Zhao a kol., 2013), vývoj rostlin (Wolkovich a kol., 2012). V poslední době v měsících, kdy dochází ke kvetení pšenice, můžeme pozorovat počasí s velmi vysokými teplotami a minimem srážek. Dříve se v našich zeměpisných šířkách řešil především vliv srážek, ale vlivem klimatické změny se začíná ukazovat, že i teplota především v určitých fázích vývoje může mít významný vliv na výnos a kvalitu zrna. Řada studií ukázala, že vysoké teploty během reprodukční fáze, zejména během kvetení, mají silné negativní účinky na výnos pšenice prostřednictvím sníženého počtu zrn, hmotnosti zrn, rychlosti fotosyntézy a zvýšeného stárnutí listů (Asseng a kol. 2011). Porter a Semenov (2005) a Wheeler a kol. (2000) také zdůrazňují, že negativní dopady na výnos jsou největší, když se vyskytují vysoké teploty během reprodukčních fází soustředěných na kvetení.

Počasí v červnu, kdy dochází ke kvetení pšenice, bylo v roce 2016 na území ČR teplotně nadnormální, průměrná měsíční teplota byla o 1,7 °C vyšší než normál 1961-1990. Výrazně teplá byla poslední červnová dekáda. Srážkově byl červen normální (Kůst a Stehlíková, 2016). Snížení výnosů se tento rok neprokázalo, což bylo dle mého názoru způsobeno tím, že teploty nebyly tak vysoké a nepřekonalý významně prahovou hodnotu, kdy dochází ke snížení výnosu. Také mohly vysoké teploty nastat až po období kvetení a výnos nemusel být tolik ovlivněn. Ztráty výnosů jsou často vysvětleny snížením počtu produkovaných životaschopných semen (Moriondo a kol., 2011) nebo zrychlením stárnutí listů, které snižuje výnosy zkrácením doby plnění zrna (Lobell a kol., 2012).

Mnoho studií podporuje vztah mezi vysokými teplotami kolem kvetení a sníženým počtem zrn s významnými negativními dopady na výnos (Barnabás a kol., 2008). Prahová hodnota 31 °C pro pšenici je obecně vnímána jako horní mez teplot v průběhu kvetení bez snížení počtu zrn (Porter a Gawith, 1999). Toto se projevilo v roce 2017, kdy byl červen teplotně silně nadnormální, průměrná měsíční teplota byla o 2,7 °C vyšší než normál 1961–1991. Byl to 2. nejteplejší červen na území ČR. Maximální denní teplota dosahovala v některých částech ČR 30 °C a více v několika dnech v první a druhé dekádě měsíce. Výrazně teplá však byla poslední červnová dekáda, kdy teplota často přesahovala 30 °C (Kůst a Záruba, 2017). To mohlo způsobit pokles výnosů oproti roku 2016, kdy teploty v tomto měsíci nedosahovaly tak vysokých hodnot, zatímco v roce 2017 se teploty výrazně přiblížily nebo i překročily prahovou hodnotu zmiňovanou výše. Oproti roku 2016 došlo k poklesu výnosů především na stanovišti Červený Újezd a to u všech variant kromě varianty Kal 1, na stanovišti Lukavec došlo také k poklesu výnosů kromě variant hnojených pouze minerálními hnojivy, na stanovišti Suchdol ovšem pokles výnosů pozorován nebyl.

V mnoha evropských zemích v posledních letech pozorujeme tendence ke stagnaci výnosů obilnin a zvýšené variabilitě výnosů. Některé z těchto trendů mohou být ovlivněny nedávnými klimatickými změnami, ke kterým v Evropě dochází (Olsen a kol., 2011). Dle mého názoru má na výnos zrna vliv dobré vzejítí a přezimování, které vlivem několika posledních teplých zimních období nebývá problémem, ale především jarní období s dostatečným množstvím srážek a chladnější období v dubnu a květnu, čímž je podpořena produktivita klasu, založí se více klasů s větším počtem zrn. Důležité je také období plnění zrna, ale jak uvádí Sinclair a Jamieson (2006), výnos obilovin je mnohem těsněji spojen s počtem zrn na plochu půdy než s průměrnou hmotností semen.

6.1.2 Vliv stanoviště na výnos zrna

Půdní podmínky jsou velmi důležitým faktorem pro pěstování pšenice, přičemž ozimá pšenice se vyznačuje vyšší náročností. Nejvhodnější jsou černozemě a hnědozemě v kukuřičné, řepařské a obilnářské výrobní oblasti. Jedná se o substráty s dobrým obsahem humusu, s příznivou hodnotou půdní reakce (6,2 – 7), vododržné a s přiměřenou hloubkou podzemní vody (Prugar a kol., 2008). Také Šarapatka a Urban (2006), tvrdí, že nejvhodnějšími půdami pro pěstování pšenice ozimé jsou úrodné půdy, jako jsou černozemě na spraši, hlinité, vododržné a strukturní s neutrální reakcí. Těmto kritériím nejlépe odpovídá stanoviště Suchdol, které se nachází v řepařské výrobní oblasti, nachází se zde hlinitá černozem s dobrým obsahem humusu a pH je 7,5. Tyto v hodné podmínky se pozitivně odráží na výnosech, ale především na kolísání výnosů mezi jednotlivými ročníky a variantami hnojení. Naopak Prugar a kol. (2008) tvrdí, že méně vhodné jsou půdy lehké, písčité a trvale zamokřené kyselé půdy s vysokou hladinou podzemní vody. Těmto kritériím částečně odpovídá stanoviště Lukavec, kde jsou písčito - hlinité kambizemě s nízkou hodnotou pH 4,3, což se odráží ve vyšší odezvě na hnojení a na rozdílech ve výnosech mezi jednotlivými variantami. Se stanovištěm také souvisí průměrná roční teplota a především úhrn srážek. Na stanovišti Suchdol je průměrná roční teplota 9,1 °C a roční úhrn srážek 495 mm. Na stanovišti Lukavec je nižší průměrná roční teplota 7,7 °C, ale naopak vyšší roční úhrn srážek 666 mm. Tyto rozdíly jsou dané především nadmořskou výškou obou lokalit. I když jsou na stanovišti Suchdol výrazně lepší půdní podmínky, můžeme vidět, že v ročnících s nižším úhrnem srážek a vyššími teplotami, (jako byl ročník 2018) dochází k výraznému propadu výnosů (tento jev pozorujeme i na stanovišti Červený Újezd). Mezitím na stanovišti Lukavec k žádným propadům výnosů nedošlo a výnosy zrna v roce 2018 byly srovnatelné s jinými ročníky. Dle mého názoru je tento jev způsoben tím, že na tomto stanovišti nedosahuje teplota tak

vysokých hodnot a je zde i v suchých letech vyšší úhrn srážek než na ostatních pokusných stanovištích.

Balík a kol. (2012) tvrdí, že působení dusíku je rozdílné na různých stanovištích. Největší odezva na hnojení dusíkem je na méně úrodných stanovištích, naopak poměrně malý přímý vliv aplikovaných dusíkatých hnojiv je na úrodných stanovištích. V úrodných půdách rostliny k tvorbě výnosu využívají 84 – 88 % dusíku z půdy a jen zbytek z hnojiv (12 – 16 %). Na méně úrodných půdách se dusík z půdní zásoby podílí na tvorbě výnosu 56 – 60 %. Toto se potvrzuje i na stanovišti Suchdol, kde hnojené varianty dosahovaly podobných výnosů jako kontrolní varianta, často i výnosů nižších. Například v roce 2019, nepřesáhla hodnotu výnosu kontrolní nehnojené varianty žádná z hnojených variant. Nedocházelo zde také k výrazným navýšením výnosů, pokud k navýšení došlo, pohybovalo se od 4,7 % do 35,2 %. Naopak na méně úrodném stanovišti Lukavec byla pozorována výrazná odezva na hnojení dusíkem. Vyšší odezva byla pozorována u variant hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv a u variant hnojených pouze minerálními hnojivy. U variant hnojených pouze organickými hnojivy byla odezva na hnojení nižší, ale v každém roce vždy všechny hnojené varianty překonaly výnos nehnojené kontrolní varianty. Zvýšení výnosů bylo pozorováno od 22,5 % do 173,3 %.

6.1.3 Vliv varianty hnojení na výnos

Pšenice ozimá je velmi náročnou plodinou na dusík zvláště v období intenzivního růstu od konce odnožování do mléčné zralosti (Faměra, 1993). Výživa dusíkem je nejvýznamnější opatření, ovlivňující utváření výnosotvorných prvků i vlastního výnosu (Vaněk a kol., 2007). Dusík rovněž přímo ovlivňuje výnos plodin a je důležitý z hlediska hnojení (Jeong a Bhattarai, 2018).

Aplikace dusíkatých hnojiv může vést ke značnému zvýšení výnosů zrna pšenice (Riar a Coventry, 2013). To, že hnojení dusíkem ovlivňuje výnos a vede k jeho zvyšování je patrné z grafů výnosu zrna na jednotlivých stanovištích. Nejnižších reakcí na hnojení bylo dosaženo na stanovišti Suchdol, kde v některých letech nehnojená varianta překonala výnos variant hnojených, což je způsobeno tím, že Suchdol se nachází na velmi úrodných černozemích s vysokým obsahem živin (jak už bylo popisováno výše), tyto živiny se z půdní zásoby uvolňují a jejich množství dostupné rostlinám je dostatečné pro vytvoření vysokého výnosu. Ovšem když vezmeme průměrný výnos za sledované období, tak všechny hnojené varianty překonaly výnos nehnojené varianty Kontrola. Na stanovištích Červený Újezd a Lukavec již

byla reakce na hnojení dusíkem výraznější a výnosy hnojených variant dosahovaly často o více než 100 % vyšších výnosů oproti nehnojené variantě Kontrola.

Na stanovišti Suchdol byl nejvyšší průměrný výnos zrna za sledované období zaznamenán na organicky hnojené variantě Hnůj s hodnotou 7,26 t/ha. Naopak nejnižší průměrný výnos byl zaznamenán na druhé organicky hnojené variantě Kal 1 s hodnotou 6,77 t/ha. Po variantě Hnůj dosáhly nejvyšších průměrných výnosů obě varianty hnojené kombinací minerálních a organických hnojiv. Nutno říci, že rozdíl, mezi nejnižším a nejvyšším průměrným výnosem za celé sledované období činil pouze zhruba 0,5 t/ha a nebyly tak zaznamenány větší rozdíly mezi jednotlivými variantami na tomto stanovišti. Vyšší výnos variant, kde bylo použito organické hnojení (kromě varianty Kal 1) může být dle Herbolta (2003) způsobeno tím, že komposty, zvířecí hnůj a zelené hnojení zlepšují strukturu půdy. Rostliny rostou lépe v půdě s dobrou strukturou a minerální hnojiva jsou také lépe využívána. To, že varianta hnojená hnojem dosáhla nejvyššího výnosu, potvrzuje i Baier a Baierová (1985), kteří ve své práci popisují, že dlouhodobé hnojení půdy hnojem příznivě ovlivňuje půdní vlastnosti a složky půdy, které se jako faktory půdní úrodnosti pozitivně promítají do vzestupu výnosů.

Na stanovišti Červený Újezd došlo k velmi významnému navýšení výnosů u hnojených variant oproti nehnojené kontrolní variantě. Nejvyšší průměrný výnos za sledované období byl stanoven na variantě N (6,31 t/ha), která je hnojena pouze minerálními hnojivy. Nejnižší výnos byl naopak stanoven u varianty Hnůj s hodnotou 5,61 t/ha. Velmi dobrých výnosů dosáhla také varianta NPK a N + sláma. Tyto výsledky jsou v rozporu s výsledky, které byly zjištěny na stanovišti Suchdol, kde například varianta Hnůj dosáhla nejvyššího průměrného výnosu. To, že varianta Kal 1 na tomto stanovišti dosáhla vyššího výnosu, může být dle mého názoru způsobeno tím, že kal obsahuje i živiny, které ve hnoji nejsou přítomny a mohou do značné míry určovat výnos. Nejvyšší výnosy byly stanoveny v roce 2016, kdy byly na stanovišti Červený Újezd ideální podmínky pro růst a vývoj pšenice, a proto se podle mého názoru mohly naplno projevit rozdíly mezi jednotlivými variantami hnojení. Na základě teorie co-limitingu jsou účinky aplikace dusíku na růst plodin značně omezeny dostupností vody, zejména v oblastech s nízkým množstvím srážek (Sadras, 2004).

Na stanovišti Lukavec došlo oproti Kontrolě k navýšení výnosů všech hnojených variant. Nejvyšších průměrných výnosů dosáhly obě varianty hnojené pouze minerálními hnojivy. Na tomto stanovišti se dle mého názoru nejvíce projevila výhoda minerálních hnojiv, kdy můžeme dělenými dávkami cílit do přesně stanovených růstových fází, a dodat tak dusík rostlině v době, kdy ho nejvíce potřebuje. Kromě toho, že hnojení cílíme do rozhodujících

vegetačních fází, a tím zvyšujeme jeho efektivitu, má toto dělení dávek i aspekt environmentální a snižují se tak případné ztráty (Ryant a kol., 2017). Velkou roli na využívání a dostupnosti dusíku pro rostliny má samozřejmě počasí a především dostatek srážek. Voda, která je k dispozici, hraje ve využívání dusíku rostlinami velmi důležitou roli. Přebytková voda, která je k dispozici, může vést k různým ztrátám dusíku a naopak její nepřítomnost inhibuje příjem dusíku (Riar a Coventry, 2013). Absolutně nejvyššího výnosu na tomto stanovišti dosáhla varianta NPK, což je dle mého názoru způsobeno harmonickou výživou ostatními prvky, především fosforem a draslíkem. Toto popisují i Zhao a kol. (2008), když jejich výzkum ukazuje, že aplikace hnojiv N, P, K obecně zvyšuje úrodu plodin i kvalitu výživy. To že varianta N dosáhla nižšího výnosu, může být způsobeno tím, co tvrdí Petr (2001): dusíkaté hnojení je pro výnos a kvalitu velmi významné, jeho účinnost je však snižována nedostatečnou výživou ostatními živinami. Velmi dobrých výnosů, které tolik nezaostaly za výnosy variant hnojených minerálně, dosáhly obě varianty hnojené kombinací minerálních a organických hnojiv. Kombinace organických a minerálních hnojiv je dle mého názoru nejvhodnější variantou hnojení. Jelikož půda hnojená organickými hnojivy má lepší vlastnosti, je zde vyšší mikrobiální aktivita, půda má lepší strukturu, dokáže lépe hospodařit s vodou a vyrovnat se tak i částečně s výkyvy počasí v sušších ročnících. Organická hnojiva příznivě ovlivňují obsah organického uhlíku v půdě (Sradnick a kol., 2014) a ovlivňují množství mikrobiální biomasy v půdním horizontu (Geisseler a Scow 2014). Minerálními hnojivy dokážeme dodat dusík do půdy přesně v době, kdy ho rostlina nejvíce potřebuje a cílit tak na fáze, které jsou při tvorbě výnosu nejdůležitější. Nejnižší výnos byl zjištěn u obou variant hnojených pouze organickými hnojivy, tento výnos byl znatelně nižší, než výnos předchozích čtyř hnojených variant, kde bylo aplikováno minerální hnojivo. Tento nízký výnos lze vysvětlit tím, že pšenice přichází až v druhé trati po organickém hnojení a množství dusíku, které je dostupné pro rostliny již není tak velké. Například Černý a kol. (2013) uvádí, že v prvním roce aplikace se průměrné využití dusíku z hnoje pohybuje kolem 15 – 25 % z celkového obsahu N a s každým následujícím rokem klesá – druhý rok po aplikaci 10 – 15 %, třetí rok do 5 %. Ketterigs a kol. (2005) uvádí podobné hodnoty, kdy pro hnůj skotu udávají následující využití: 25 % v prvním roce, 12 % ve druhém roce a 5 % ve třetím roce. Ve srovnání s minerálními hnojivy je působení statkových hnojiv pozvolnější a dlouhodobější. Organické látky dodávané statkovými hnojivy mají vliv na dynamiku dusíku v půdě. Využití živin z hnojiv rostlinami pak výrazně závisí na podmínkách pro jejich mineralizaci (Černý a kol., 2013). Vliv na výši výnosů je podmíněn nejen množstvím a jakostí hnoje, ale i intenzitou mineralizace (Baier a Baierová, 1985). Mineralizace začíná amonifikací

a dalším krokem je nitrifikace (Procházka, 1998). Rychlost nitrifikace je citlivá na půdní podmínky, jako je vlhkost půdy, pH a množství živin. Maximální rychlost nitrifikace se uskutečňuje při vlhkosti půdy dosahující hodnot kolem "polní kapacity". Optimální hodnota půdní reakce pro nitrifikaci je v rozmezí 4,5 a 7,5, optimální teplota půdy pro nitrifikační bakterie je mezi 25 °C a 30 °C (Cameron a kol., 2013).

Jak můžeme vidět v grafech 1, 2 a 3, reakce a účinnost varianty hnojení je závislá jak na podmínkách prostředí, tak na vlivu ročníku. Dochází k velkým rozdílům výnosů hnojených variant mezi jednotlivými stanovišti. Na úrodném stanovišti Suchdol byl nejvyšší průměrný výnos určen na variantě Hnůj. Na stanovišti Červený Újezd na variantě N a na méně úrodném stanovišti Lukavec dosáhly nejlepšího výnosu minerálně hnojené varianty a konkrétně varianta NPK. Vliv ročníku a především podmínek pro zpřístupnění a příjem dusíku rostlinami se liší v každém roce, meziročníkové změny výnosů u jednotlivých variant hnojení můžeme sledovat v grafech 1, 2 a 3, znázorněných výše. Dle mého názoru je nejvhodnější variantou hnojení kombinace minerálních a organických hnojiv. U těchto variant sice nebyly naměřeny nejvyšší průměrné výnosy, ale ve sledovaném období dosáhly velmi dobrých výnosů, těchto výnosů dosahovaly i v ročnících s nižším množstvím srážek. Zároveň dochází k obohacování půdy o organickou hmotu a můžeme pomocí minerálního hnojiva cílit na klíčové růstové fáze a velmi dynamicky reagovat na stále častěji se měnící klimatické podmínky. Toto tvrzení podporují i Yadvinder a kol. (2009), kteří popisují, že vyšší výnosy byly získány kombinací minerálních hnojiv a organických doplňků. Větší nárůst výnosu pšenice na anorganicky a organicky hnojených pozemcích lze připisovat nárůstu organických látek v půdě a zvýšení dostupnosti půdních živin.

6.2 Vliv variant hnojení na obsah dusíku v zrně

Obsah dusíku v zrně pšenice je velmi významným ukazatelem při hodnocení její kvality. Hnojení dusíkem zvyšuje obsah bílkovin v zrně a společně se zvyšováním bílkovin, se zvyšuje i obsah dusíkatých látek. To je obvykle spojeno se zvýšenou kvalitou pšenice. (Tipples a kol., 1977). Úkolem výživy a hnojení je proto vytvořit pěstovaným plodinám co nejpříznivější podmínky pro růst a vývoj rostlin tak, aby byl zajištěn optimální výnos při požadované kvalitě produktu (Hřivna, 2012). Nejvyšších průměrných obsahů dusíku bylo dosahováno na stanovišti Suchdol, následně na stanovišti Červený Újezd a nejnižších průměrných obsahů dusíku v zrně dosahovaly varianty hnojení na stanovišti Lukavec. Nejvyšších obsahů dusíku dosahovaly varianty, kde bylo použito minerální hnojivo, ať už samotné nebo v kombinaci s organickým. Nejvyšší obsahy byly pravidelně dosahovány na

variantách N, NPK a N + sláma. O něco nižších obsahů dosahovala varianta Hnůj $\frac{1}{2}$ + N. Pokles na variantě Hnůj $\frac{1}{2}$ + N je dle mého názoru způsoben tím, že na této variantě je aplikováno menší množství minerálního dusíkatého hnojení (110 kg N/ha), zatímco dávka minerálního hnojení na druhé variantě N + sláma hnojené kombinací minerálního a organického hnojení odpovídá dávce, která je aplikována i na minerálně hnojených variantách (140 kg N/ha). Je zde vidět pozitivní vliv minerálního dusíkatého hnojení na obsah dusíku a dusíkatých látek v zru pšenice. Nejnižší obsahy dusíku v zru pšenice byly zjištěny na všech stanovištích na organicky hnojených variantách, přičemž varianta Hnůj dosahovala nižších obsahů dusíku než varianta Kal 1. Což může být dle Černého a kol. (2014) tím, že kaly jsou zdrojem důležitých makroprvků, především N a P. V posledních letech je také příznivě hodnocen obsah síry. Uvedené živiny jsou z čistírenských kalů dobře přístupné pro rostliny, jelikož část živin je již v minerální formě.

Je tedy možno říci, že minerální dusíkaté hnojení působí pozitivně na obsah dusíku v zru pšenice, zatímco varianty hnojené organickými hnojivy nedosahují tak vysokých obsahů dusíku v zru. Je to způsobeno především tím, že dusík z minerálních hnojiv je rostlinám lépe dostupný a je aplikován v důležitých růstových fázích vývoje rostlin. Na druhou stranu dusík obsažený v organických hnojivech nemusí být v ranějších fázích vývoje z důvodu nevhodných podmínek pro mineralizaci uvolňován v takové míře, která je rostlinami vyžadována. Petr (2001) také tvrdí, že pro větší jistotu dosažení dobré jakosti zrna pšenice, je účelnější posunout hnojení na konec vegetačního období a na začátek generativního. Zkušenosti z pokusů ukazují, že je lepší vypustit základní hnojení na podzim a těžiště hledat především v regeneračním a produkčním hnojení. Ke stejným závěrům dospěli i Buráňová a kol. (2016), když vyhodnocovali stejný pokus, který je vyhodnocován v diplomové práci, akorát v předchozím období. V pokusu porovnávali varianty hnojené různým typem hnojiva (organické, minerální nebo kombinace minerálního a organického). Nejvyšší obsah dusíku zaznamenali na minerálně hnojených variantách, naopak nejnižší obsah dusíku v zru zjistili na organicky hnojených variantách.

Příjem dusíku dále závisí na charakteristikách odrůd, půdních podmínkách, povětrnostních podmínkách a agrotechnice (Papakosta a Gagianas 1991). Obsah dusíku je ovlivněn nejen hnojením, ale významný vliv má také vliv ročníku (Balík a kol., 2012). Nejvyšších obsahů dusíku v zru bylo na všech stanovištích na většině variant hnojení dosaženo v roce 2018, naopak nejnižších obsahů bylo dosaženo na stanovištích Suchdol a Červený Újezd v roce 2016 a 2017. Na stanovišti Lukavec nejnižších obsahů dusíku v zru dosahovaly varianty hnojení v roce 2019. Především na stanovištích Suchdol a Červený Újezd

můžeme v letech 2016 a 2017 vidět nižší obsahy dusíku v zrně oproti jiným ročníkům. Toto snížení obsahu dusíku jde proti výši výnosů. Jelikož v letech 2016 a 2017 bylo na těchto stanovištích dosaženo nejvyšších výnosů. To může být způsobeno úhrnem srážek. Úhrn srážek výrazně ovlivňuje obsah bílkovin v zrně a tím i celkovou jakost pšenice. Vlhké počasí v období tvorby obilky podporuje výnos, ale vyvolává snížení obsahu dusíkatých látek. Vysoký výnos a dobrou jakost zrna zajistí bohaté srážky do fáze kvetení a následná vyšší teplota vzduchu s přiměřenou půdní vlhkostí. Při dozrávání je nejpříznivější teplé a suché počasí směřující k vyšší tvorbě bílkovin (Prugar a kol., 2008). Toto potvrzují i Rezaei a kol. (2010), když zjistili, že mírné deficity vody během fáze plnění zrna zvyšují obsah bílkovin v zrnech, i když byl pozorován mírný pokles výnosu zrn pšenice. To potvrzuje i rok 2018, který byl hodnocen jako srážkově podprůměrný, a na stanovišti Suchdol dosáhl obsah dusíku v zrně vysokých hodnot. Na stanovišti Červený Újezd byl vlivem velmi nízkého výnosu, kdy byla úroda zničena velmi suchým počasím, zjištěn abnormálně vysoký obsah dusíku v zrně. V roce 2018 dosahovaly hnojené varianty výnosů pouze 0,17 – 1,04 t/ha ovšem obsahy dusíku v zrně se na těchto variantách pohybovaly v rozmezí 2,99 – 3,27 %. Podle některých výsledků by se dalo konstatovat, že obsah dusíku v zrně se zvyšoval se snižujícím se výnosem. Tento jev je dle mého názoru způsoben především tím, že nedostatek vody v půdě snižuje výnos, ale naopak dochází ke zvyšování obsahu dusíku v zrně, což potvrzují i autoři zmínění výše. Snížení obsahu dusíku se zvyšujícím se výnosem zrna může být způsobeno také zředěním dusíku v zrně při vyšších výnosech. V některých studiích bylo pozorováno snížení koncentrace bílkovin, pravděpodobně v důsledku zředění bílkovin zvýšeným výnosem zrna (Zhao a kol., 2008).

Dle požadavků ČSN 46 1100-2 by měla potravinářská pšenice obsahovat v zrně nejméně 11,5 % dusíkatých látek. K přepočtu obsahu dusíku v zrně na obsah dusíkatých látek se u pšenice používá koeficient (5,7). Výsledky obsahu dusíkatých látek v zrně jsou zobrazeny v přílohách. Na stanovišti Suchdol ze statistického hlediska dosáhly hodnoty 11,5 % obsahu dusíkatých látek v zrně všechny hnojené varianty, kromě varianty Hnůj. U této varianty byly zaznamenány statisticky významné rozdíly oproti všem ostatním hnojeným variantám. Jinak mezi obsahem dusíkatých látek v zrně u variant hnojení Kal 1, Hnůj ½ + N, N + sláma, NPK a N nebyly na stanovišti Suchdol stanoveny statisticky významné rozdíly. Na stanovišti Červený Újezd dosáhly ze statistického hlediska s 95% pravděpodobností stanoveného obsahu dusíkatých látek všechny hnojené varianty. Statisticky významné rozdíly byly na tomto stanovišti zjištěny pouze mezi variantami Hnůj a N. Mezi žádnými dalšími variantami nebyly na tomto stanovišti zjištěny statisticky významné rozdíly. Na stanovišti Lukavec

nedosáhla ze statistického hlediska obsahu dusíkatých látek v zrně 11,5 % žádná z hnojených variant. Statisticky významné rozdíly byly stanoveny mezi variantami Hnůj a N + sláma, Hnůj a NPK, Hnůj a N, Kal 1 a N + sláma. Ze statistického hlediska nedosáhla hodnoty 11,5 % obsahu dusíkatých látek v zrně varianta Kontrola na žádném z hodnocených stanovišť.

6.3 Efektivita využití dusíku

Snížené režijní náklady a vývoj postupů hnojení, které lépe reagují na fyziologické potřeby plodiny, jsou dva z hlavních cílů moderního zemědělství. Rostoucí pozornost v této souvislosti byla věnována účinnosti využívání dusíku rostlinami. Ačkoli je dusík rozhodující faktor ve výnosech obilovin, představuje vysoké náklady na výrobu energie a pokud není správně aplikován, je díky své mobilitě v systému půda - rostlina - atmosféra snadno ztracen v prostředí. (Guillard a kol., 1995). Studie zaměřené na zvýšení ziskovosti plodin a účinnosti využívání dusíku jsou proto nezbytné pro rozvoj udržitelnějších zemědělských systémů (López-Bellido a kol., 2005).

Nejvyšší efektivita využití dusíku z aplikovaných hnojiv dosáhly skoro na všech stanovištích varianty hnojené pouze organickými hnojivy. Tento zkrácený výsledek, kdy tyto varianty dosahují často účinnosti i vysoko přes 100 % souvisí se zvolenou metodou výpočtu. Jak uvádí Hawkesford (2014) většina měření efektivity využití dusíku souvisí s produkcí jako funkcí vstupů a při konstantních vstupech se jakékoli zvýšení výnosu projeví ve větší efektivitě využití dusíku. Srovnání systému s vysokými a nízkými vstupy dusíkatých hnojiv je však s takovými definicemi obtížnější, tyto definice dávají zavádějící náznaky vysoké účinnosti při nízkých nebo nulových vstupech hnojiv. K tomuto jevu, došlo u organicky hnojených variant, kdy ve druhém roce počítáme s pouze 12 % dostupného množství dusíku pro rostliny z celkové dávky aplikované v prvním roce. V prvním roce bylo aplikováno 330 kg N/ha, což ve druhém roce odpovídá pouze 39,6 kg N/ha dostupného pro rostliny. Je tedy možné říci, že při velmi nízkých vstupech dusíku je dosahováno například na stanovišti Suchdol obdobných výnosů jako u variant hnojených minerálně, kde jsou ovšem vyšší vstupy dusíku (140 kg N/ha). Tyto výsledky by tedy naznačovaly, že zbylý dusík, který je potřebný k vytvoření vysokého výnosu, je především na úrodných stanovištích odebírán z půdní zásoby. Tomuto tvrzení by odpovídaly i rozdíly mezi jednotlivými stanovišti, kde na úrodných stanovištích Suchdol a Lukavec dosahuje průměrná efektivita využití dusíku hodnot nad 100 %. Na stanovišti Suchdol dosahuje průměrná efektivita využití dusíku za sledované období u varianty Kal 1 (153 %) a u varianty Hnůj (101 %). Na stanovišti Červený Újezd dosahuje varianta Kal 1 průměrné efektivitě využití dusíku 147 % a u varianty Hnůj 113 %.

Zatímco na méně úrodném stanovišti Lukavec průměrná efektivita využití dusíku za sledované období nepřekračuje u organicky hnojených variant hranici 100 %. Varianta Kal 1 dosahuje hodnoty 88 % a varianta Hnůj 50 %. Tyto výsledky by dokazovaly i tvrzení Balíka a kol. (2012), kteří uvádí, že v úrodných půdách rostliny k tvorbě výnosu využívají 84 – 88 % dusíku z půdy a jen zbytek z hnojiv (12 – 16 %). Na méně úrodných půdách se dusík z půdní zásoby podílí na tvorbě výnosu 56 – 60 %. Tento systém výpočtu efektivitu využití dusíku, který byl použit v této práci je dle Cassman a kol. (2012) definován jako podíl dusíkatého hnojiva přijatého nadzemní biomasou rostlin během vegetačního období. Tato definice je všeobecně přijímána agronomy po celém světě pro vyjádření účinnosti využití dusíkatých hnojiv v systémech pěstování plodin. Tato definice však nevysvětluje osud aplikovaného dusíku, který není přijat nadzemní biomasou.

Nezkreslené výsledky již můžeme pozorovat u variant hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv nebo pouze hnojivy minerálními. Na stanovišti Suchdol se průměrná efektivita využití dusíku u takto hnojených variant za sledované období pohybovala v rozmezí 49 - 58 %. Hodnoty 58 % dosáhla varianta N + sláma a hodnoty 49 % dosáhly shodně dvě varianty, varianta Hnůj ½ + N a varianta N. Na stanovišti Červený Újezd se průměrná efektivita využití dusíku u variant hnojených kombinací minerálních a organických hnojiv nebo pouze hnojivy minerálními pohybovala v rozmezí 61 – 85 %. Hodnoty 85 % dosáhla varianta N a hodnoty 61 % dosáhla varianta Hnůj ½ + N. Na stanovišti Lukavec se průměrná efektivita využití dusíku za sledované období u variant, kde bylo aplikováno minerální hnojivo, pohybovala v intervalu 51 - 63 %. Hodnoty 63 % dosáhla varianta NPK a hodnoty 51 % dosáhla varianta Hnůj ½ + N. Tyto hodnoty odpovídají i výsledkům, které interpretují Kumar a Goh (2000), kdy podle nich polní pokusy ve střední Evropě zaznamenaly v průměru 50 – 60 % využití dusíkatého hnojiva aplikovaného na ozimou pšenici.

Účinnost a využití dusíku závisí na mnoha dalších faktorech. Ve výsledcích můžeme pozorovat rozdíly mezi jednotlivými stanovišti, ročníky i variantami hnojení. Účinnost dusíku, který je aplikován, závisí dále na typu hnojiva, načasování aplikace a sezónních trendech (Blankenau a kol., 2002). Odezva plodiny na dusíkaté hnojivo je také ovlivněna typem půdy, sledem plodin a množstvím zbytkového a mineralizovaného dusíku. (Alcoz a kol., 1993).

7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vyhodnotit vliv dlouhodobého systému hnojení na produkci ozimé pšenice (výnos a další vybrané ukazatele) a bilanci dusíku v polních pokusech.

Ze zjištěných výsledků je možné konstatovat, že výnos a kvalita pšeničného zrna je ovlivněna klimatickými podmínkami a také průběhem počasí, v posledních letech je připisován velký vliv především úhrnům srážek a jejich rozložení v průběhu vegetačního období, dále půdními podmínkami a variantami hnojení. Nejvyšší výnosy zrna byly stanoveny na úrodných stanovištích. Na těchto stanovištích je možné každoročně očekávat vysoké výnosy a nebyly zde zjištěny větší rozdíly mezi jednotlivými variantami. Naopak nejvyšší reakce na hnojení, která se projevila nárůstem výnosů hnojených variant oproti nehnojené kontrolní variantě, byla pozorována na méně úrodných stanovištích. Vliv ročníku se projevil především v roce 2018, kdy i na úrodných stanovištích došlo k propadu výnosů. Naopak se v tomto roce projevila výhoda stanoviště, kdy na stanovišti s vyšší nadmořskou výškou a vyšším úhrnem srážek nedošlo v tomto roce k výraznějším propadům výnosů. Jako nejvhodnější varianty hnojení se z hlediska výnosu jeví varianty hnojené minerálními hnojivy nebo kombinací minerálních a organických hnojiv.

Na kvalitu pšenice, která byla pozorována přes obsah dusíku v zrně, měl vliv ročník, kde docházelo k výkyvům obsahu dusíku mezi jednotlivými lety, dále byl tento ukazatel ovlivněn stanovištěm, kde na méně úrodném stanovišti dosahovaly obsahy dusíku v zrně nižších hodnot, než na úrodných stanovištích. Významný vliv byl pozorován také mezi jednotlivými variantami hnojení, kdy nejvyšších obsahů dusíku v zrně dosahovaly varianty hnojené minerálními hnojivy nebo kombinací minerálních a organických hnojiv (především varianty NPK, N a N + sláma). Výrazně nižší obsahy dusíku v zrně byly pozorovány na organicky hnojených variantách.

Z hlediska bilance dusíku byly nejvíce záporné hodnoty pozorovány u organicky hnojených variant. Varianty hnojené kombinací minerálních a organických hnojiv nebo pouze minerálními hnojivy dosahovaly méně záporné bilance, v některých letech byly na těchto variantách zaznamenány i kladné hodnoty bilance. Tato bilance dosahovala nejméně záporných nebo dokonce kladných hodnot, především v ročnicích, kdy byl dosažen nižší výnos.

Hypotéza 1) Dlouhodobé hnojení organickými hnojivy pozitivně zvyšuje výnos a kvalitu zrna pšenice ozimé byla potvrzena. Oproti nehnojené kontrolní variantě došlo na organicky hnojených variantách na všech stanovištích k navýšení výnosu i obsahu dusíku v zru.

Hypotéza 2) Při dlouhodobém hnojení pouze minerálními hnojivy dochází ke snižování celkového obsahu dusíku v půdě, byla částečně potvrzena. Na úrodných stanovištích byla většinou pozorována záporná bilance dusíku a docházelo tak k ochuzení půdní zásoby, ovšem na méně úrodném stanovišti byla častěji pozorována kladná bilance a docházelo tedy naopak k obohacení půdní zásoby.

Hypotéza 3) Při výnosech zrna pšenice ozimé nad 6 t/ha je dávka 140 kg N/ha nedostatečná pro udržení pozitivní bilance dusíku v půdě, byla potvrzena. Na dvou stanovištích při výnosech zrna nad 6 t/ha byla vždy pozorována záporná bilance dusíku. Nicméně na méně úrodném stanovišti při výnosech zrna, které přesahovaly 6 t/ha byla pozorována kladná bilance dusíku, ovšem obsah dusíkatých látek v zru zde nedosáhl potřebné hodnoty určené pro hodnocení kvality potravinářské pšenice.

8 Literatura

- Acreche, M., Briceño-Félix, G., Martín Sánchez, J. A., Slafer, G. A. 2008. Physiological bases of genetic gains in Mediterranean bread wheat yield in Spain. *European Journal of Agronomy*. 28. 162 – 170.
- Alcoz, M. M., Hons, F. M., Haby, V. A. 1993. Nitrogen fertilization timing effect on wheat production, nitrogen uptake efficiency, and residual soil nitrogen. *Agronomy Journal*. 85 (6). 1198 – 1203.
- Al-Khatib, K., Paulsen, G. M. 1984. Mode of high temperature injury to wheat during grain development. *Physiologia Plantarum*. 61. 363 – 368.
- Alloush, G. A., Le Bot, J., Sanders, F. E., Kirkby, E. A. 1990. Mineral nutrition of chickpea plant supplied with NO₃- or NH₄⁺-N. I. Ionic balance in relation to iron stress. *Journal of Plant Nutrition*. 13. 1575 – 1590.
- Angus, J. F. 2001. Nitrogen supply and demand in Australian agriculture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 41. 277 – 288.
- Anten, N. P. R., Hirose, T., Onoda, Y., Kinugasa, T., Kim, H. Y., Okada, M. K. K. 2004. Elevated CO₂ and nitrogen availability have interactive effects on canopy carbon gain in rice. *New Phytologist*. 161. 459 – 471.
- Asplund, L., Bergkvist, G., Leino, M. W., Westerbergh, A., Weih, M. 2013. Swedish spring wheat varieties with the rare high grain protein allele of NAM-B1 differ in leaf senescence and grain mineral content. *PLoS ONE*. 8.
- Asplund, L., Bergkvist, G., Weih, M. 2016. Functional traits associated with nitrogen use efficiency in wheat. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science*. 66 (2). 153 – 169.
- Asseng, S., Foster, I. A. N., Turner, N. C. 2011. The impact of temperature variability on wheat yields. *Global Change Biology*. 17. 997 – 1012.
- Atkin, O. K., Tjoelker, M. G. 2003. Thermal acclimation and the dynamic response of plant respiration to temperature. *Trends in Plant Science*. 8. 343 – 351.
- Atkinson, N. J., Urwin, P. E. 2012. The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *Journal of Experimental Botany*. 63. 3523 – 3543.
- Baier, J., Baierová, V. 1985. *Abeceda výživy rostlin a hnojení*. Praha. Státní zemědělské nakladatelství. 364 s.
- Balík, J., Černý, J., Kulháněk, M. 2012. *Bilance dusíku v zemědělství: certifikovaná metodika*. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 40 s. ISBN: 978-80-213-2329-2.
- Barnabás, B., Jäger, K., Fehér, A. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell and Environment*. 31. 11 – 38.
- Bashir, R., Norman, R. J., Bacon, R. K., Wells, B. R. 1997. Accumulation and redistribution of fertiliser nitrogen-15 in soft red winter wheat. *Soil Science of America Journal*. 61. 1407 - 1412.

- Benbi, D. K., Biswas, C. R. 1997. Nitrogen balance and N recovery after 22 years of maize-wheat-cowpea cropping in a long-term experiment. *Nutrition Cycle of Agroecosystem*, 47. 107 – 114.
- Bertheloot, J., Martre, P., Andrieu, B. 2008. Dynamics of Light and Nitrogen Distribution during Grain Filling within Wheat Canopy. *Plant Physiology*. 148 (3). 1707 – 1720.
- Bertholdsson, N. O., Brantestam A. K. 2009. A century of Nordic barley breeding – Effects on early vigour root and shoot growth, straw length, harvest index and grain weight. *European Journal of Agronomy*. 30. 266 – 274.
- Biau, A., Santiveri, F., Mijangos, I., Lloveras, J. 2012. The impact of organic and mineral fertilizers on soil quality parameters and the productivity of irrigated maize crops in semiarid regions. *European Journal of Soil Biology*. 53. 56 – 61.
- Bittner, V. Škodlivé organismy pšenice [online]. *Agromanuál*. Leden 2009 [2019-08-04]. Dostupné z <<https://www.agromanual.cz/data/web/download/bittner-skodlive-organismy-psenice-ukazka.pdf>>.
- Blankenau, K., Olf, H. W., Kuhlmann, H. 2002. Strategies to improve the use efficiency of mineral fertilizer nitrogen applied to winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 188. 146 - 154
- Blom-Zandstra, G., Lampe, J. E. M. 1983. The effect of chloride and sulphate salts on the nitrate content in lettuce plants. (*Lactuca sativa* L.) *Journal of Plant Nutrition*. 6. 611 – 628.
- Blum, A. 1986. The effect of heat stress on wheat leaf and ear photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*. 37. 111 – 118.
- Blum, A. 1998. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilisation. *Euphytica*. 100. 77 – 83.
- Blum, A., Klueva, N., Nguyen, H. 2001. Wheat cellular thermotolerance is related to yield under heat stress. *Euphytica*. 117. 117 – 123.
- Blum, A., Sinmena, B., Mayer, J., Golan, G., Shpiler, L. 1994. Stem reserve mobilisation supports wheat-grain filling under heat stress. *Functional Plant Biology*. 21. 771 – 781.
- Blumenthal, C. S., Barlow, E. W. R., Wrigley, C. W. 1993. Growth environment and wheat quality: the effects of heat stress on dough properties and gluten proteins. *Journal of Cereal Science*. 18. 3 - 21.
- Borrell, A., Hammer, G., van Oosterom, E. 2001. Stay-green: a consequence of the balance between supply and demand for nitrogen during grain filling? *Annals of Applied Biology*. 138. 91 – 95.
- Bouma, D. Kvalitativní přihnojení pšenice [online]. *Úroda*. 7. května 2019 [2019-09-10]. Dostupné z <<https://www.uroda.cz/kvalitativni-prihnojeni-psenice/>>.
- Bowsher, C. G., Hucklesby, D. P., Emes, M. J. 1989. Nitrite reduction and carbohydrate metabolism in plastids purified from roots of *Pisum sativum* L. *Planta*. 177. 359 – 366.

- Brancourt-Hulmel, M., Doussinault, G., Lecomte, C., B  rard, P., Le Buanec, B., Trottet, M. 2003. Genetic improvement of agronomic traits of winter wheat cultivars released in France from 1946 to 1992. *Crop Science*. 43. 37 – 45.
- Br  mmer, G. W., Horn, R. 2010. B  den als Pflanzenstandorte. *Lehrbuch der Bodenkunde*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. 409 – 412.
- Bur  nov  ,   .,   ern  y, J., Mitura, K., Lipi  nska, K. J., Kov  r  k, J., Bal  k, J. 2016. Effect of Organic and Mineral Fertilizers on Yield Parameters and Quality of Wheat Grain. *Scientia Agriculturae Bohemica*. 47 (2). 47 – 53.
- Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different developmental stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*. 89. 1 – 16.
- Calderini, D. F., Reynolds, M. P., Slafer, G. A. 1999. Genetic gains in wheat yield and main physiological changes associated with them during the 20th century. New York. Food Product Press. 351 – 377.
- Calderini, D., Abeledo, L., Savin, R., Slafer, G. A. 1999. Effect of temperature and carpel size during pre-anthesis on potential grain weight in wheat. *Journal of Agricultural Science*. 132. 453 – 459.
- Cameron, K., Di, H., Moir, J. 2013. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. *Annals of Applied Biology* 162. 145 - 173.
- Carefoot, J. M., Janzen, H. H. 1997. Effect of straw management, tillage timing and timing of fertiliser nitrogen application on the crop utilization of fertiliser and soil nitrogen in an irrigated cereal rotation. *Soil Tillage Research*. 44. 195 – 210.
- Cassman, K. G., Dobermann, A. R., Walters, D. T. 2002. Agroecosystems, Nitrogen-use Efficiency, and Nitrogen Management [online]. březen 2002 [2020-01-06]. Dostupn   z <<https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1356&context=agronomyfacpub>>.
- Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F-W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A. M., Francia, E., Mar  , C., Tondelli, A., Stanca, A. M. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*. 105. 1 – 14.
- Clarkson, D. T., Warner, A. J. 1979. Relationship between root temperature and the transport of ammonium and nitrate ions by Italian and perennial ryegrass (*Lolium multiflorum* and *Lolium perenne*). *Plant Physiology*. 64. 557 – 561.
- Clement, C. R., Jones, L. H. P., Hooper, M. J. 1979. Uptake of nitrogen from flowing nutrient solution: effect of terminated and intermittent nitrate supplies. In *Nitrogen assimilation in Plants*. Academic Press. London. 123 – 133.
- Cooper W. Nutrient deficiencies a threat to wheat yield [online]. 12.   nora 2010 [2019-09-06]. Dostupn   z <<https://www.southeastfarmpress.com/grains/nutrient-deficiencies-threat-wheat-yield>>.
- Crawford, A. J., McLachlan, D. H., Hetherington, A. M., Franklin, K. A. 2012. High temperature exposure increases plant cooling capacity. *Current Biology*. 22. 396 – 397.

- Criddle, R. S., Smith, B. N., Hansen, L. D. 1997. A respiration based description of plant growth rate responses to temperature. *Planta*. 201. 441 – 445.
- Csatho, P. 2003. Investigation of factors influencing in winter wheat responses to P application obtained in the database of Hungarian field experiments published between 1960 and 2000. *Novenytermeles*. 52 (6). 679 – 701.
- Černý, J., Shejbalová, Š., Kulhánek, M., Vašák, F. Využití živin ze statkových hnojiv [online]. *Zemědělec*. 13. září 2013 [2019-10-10]. Dostupné z <<https://www.zemedelec.cz/vyuziti-zivin-ze-statkovych-hnojiv-2/>>.
- Černý, J., Balík, J., Kulhánek, M., Vašák, F., Vaněk, V. 2014. Využití kalů z čistíren odpadních vod. Sborník z 20. mezinárodní konference: Racionální použití hnojiv.
- Dalhaus, T., Finger, R. 2016. Can gridded precipitation data and phenological observations reduce basis risk of weather index-based insurance?. *Weather, Climate and Society*. 8. 409 – 419.
- Dalling, M. J., Harper, J. E., Schrader, L. E., Howell, R. W. 1985. The physiological basis of nitrogen redistribution during grain-filling in cereals, Exploitation of physiological and genetic variability to enhance crop productivity. Rockville. American Society of Plant Physiologists. 55 – 71.
- Di Falco, S., Veronesi, M., Yesuf, M. Does adaptation to climate change provide food security? A micro-perspective from Ethiopia. *American Journal of Agricultural Economy*. 93. 829 – 846.
- Dias, A., Semedo, J., Ramalho, J., Lidon, F. 2011. Bread and durum wheat under heat stress: a comparative study on the photosynthetic performance. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 197. 50 – 56.
- Diviš, J. 2010. Pěstování rostlin, Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. 260 s. ISBN: 978-80-7394-216-8.
- Dreccer, M. F., Slafer, G. A., Rabbinge, R. 1998. Optimization of vertical distribution of canopy nitrogen: an alternative trait to increase yield potential in winter cereals. *Journal of Crop Production*. 1. 47 – 77.
- Dupont, F. M., Altenbach, S. B. 2003. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *Journal of Cereal Science*. 38. 133 - 146.
- eAGRI. 2019. Žňové zpravodajství k 2. září 2019. [online]. eAGRI 2. září 2019 [2020-01-22]. Dostupné z <<http://eagri.cz/public/web/mze/zemedelstvi/roslinna-vyroba/roslinne-komodity/obiloviny/prubeh-sklizne/sklizen-2019/znove-zpravodajstvi-k-2-zari-2019.html>>.
- Efretuei, A., Gooding, M., White, E., Spink, J., Hackett, R. 2016. Effect of nitrogen fertilizer application timing on nitrogen use efficiency and grain yield of winter wheat in Ireland. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 55 (1). 63 - 73.

- EU Nitrogen Expert Panel. 2015. Nitrogen Use Efficiency (NUE) - an indicator for the utilization of nitrogen in agriculture and food systems. Wageningen University. Alterra. Wageningen. Netherlands.
- Evans, J. R. 1989. Partitioning of nitrogen between and within leaves grown under different irradiances. *Australian Journal of Plant Physiology*. 16. 533 – 548.
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., Li, Y. C. 2008. The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. *Journal of Plant Nutrition*. 31. 1121 – 1157.
- Faměra, O. 1993. *Základy pěstování ozimé pšenice*. Praha. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR. 51 s. ISBN: 80-7105-045-8.
- Farooq, M., Bramley, H., Palta, J. A., Siddique, K. H. 2011. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. *Critical Review of Plant Science*. 30. 491 – 507.
- Feller, U., Anders, I., Mae, T. 2008. Rubiscolytics: fate of Rubisco after its enzymatic function in a cell is terminated. *Journal of Experimental Botany*. 59. 1615 – 1624.
- Ferrise, R., Moriondo, M., Bindi, M. 2011. Probabilistic assessments of climate change impacts on durum wheat in the Mediterranean region. *Natural Hazards and Earth System Science*. 11. 1293 – 1302.
- Field, C. 1983. Allocating leaf nitrogen for the maximization of carbon gain: leaf age as a control on the allocation program. *Oecologia* 56. 341 – 347.
- Finger, R. 2010. Evidence of slowing yield growth - the example of Swiss cereal yields. *Food Policy*. 35. 175 – 182.
- Fischer, T., Byerlee, D., Edmeades, G. 2014. *Crop Yields and Global Food Security*. Australian Centre for International Agricultural Research. 634 s. ISBN 978 1 925133 06 6.
- Forde, B. G. 2002. Local and long-range signaling pathways regulating plant responses to nitrate. *Annual Review of Plant Biology*. 53.
- Förster, J. C., Jaschke, W. D. 1993. Effects of potassium withdrawal on nitrate transport and on the contribution of the root to nitrate reduction in the whole plant. *Journal of Plant Physiology*. 141. 322 – 328.
- Forzieri, G., Feyen, L., Russo, S., Voutsoukas, M., Alfieri, L., Outten, S., Migliavacca, M., Bianchi, A., Rojas, R., Cid, A. 2016. Multi-hazard assessment in Europe under climate change. *Climate Change*. 1 – 15.
- Foulkes, M. J., Hawkesford, M. J., Barraclough, P. B., Holdsworth, M., Kerr, S., Kightly, S., Shewry, P. R. 2009. Identifying traits to improve the nitrogen economy of wheat: recent advances and future prospects. *Field Crops Research*. 114. 329 – 342.
- Gaju, O., Allard, V., Martre, P., Snape, J. W., Heumez, E., Le Gouis, J., Bogard, M., Griffiths, S., Orford, S., Hubbart, S. 2011. Identification of traits to improve the nitrogen-use efficiency of wheat genotypes. *Field Crops Research*. 123. 139 – 152.

- Gastal, F., Lemaire, G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*. 53 (370). 789 – 799.
- Geisseler, D., Scow, K. M. 2014. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms – A review. *Soil Biology and Biochemistry*. 75. 54 – 63.
- Gerendás, J., Ratcliffe, R. G., Sattelmacher, B. 1990. ³¹P nuclear magnetic resonance evidence for differences in intracellular pH in the roots of maize seedlings grown with nitrate or ammonium. *Journal of Plant Physiology*. 137. 125 - 128.
- Gojon, A., Wakrim, R., Passama, L., Robin, P. 1991. Regulation of NO₃⁻ assimilation by anion availability in excised soybean leaves. *Plant Physiology*. 96. 396 – 405.
- Grassini, P., Eskridge, K. M., Cassman, K. G. 2013. Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends. *Nature Communications*. 4.
- Grindlay, D. J. C. 1997. Towards an explanation of crop nitrogen demand based on the optimization of leaf nitrogen per unit leaf area. *Journal of Agricultural Science*. 128. 377 – 396.
- Guillard, K., Griffin, G. F., Allinson, D. W., Moosa Rafey, M., Yamartino, W. R., Pietrzyk, S. W. 1995. Nitrogen utilization of selected cropping systems in the U. S. Northeast: dry matter yield, N uptake, apparent N recovery, and N use efficiency. *Agronomy Journal*. 87. 193 – 199.
- Gu, B. J., Ge, Y., Chang, S. X., Luo, W. D., Chang, J. 2013. Nitrate in groundwater of china: sources and driving forces. *Global Environmental Change*. 23 (5). 1112 – 1121.
- Guo, J. H., Liu, X. J., Zhang, Y., Shen, J. L., Han, W. X., Zhang, W. F., Christie, P., Goulding, K. W., Vitousek, P. M., Zhang, F. S. 2010. Significant acidification in major chinese croplands, *Science*. 327 (5968). 1008 - 1010.
- Harding, S. A., Guikema, J. A., Paulsen, G. M. 1990. Photosynthetic decline from high temperature stress during maturation of wheat I. Interaction with senescence processes. *Plant Physiology*. 92. 648 – 653.
- Hartman, M. D., Nyborg, M. 1989. Effect of early growing season moisture stress on barley utilization of broadcast-incorporated and deep-banded urea. *Canadian Journal of Soil Science*. 69. 381 – 389.
- Hawkesford, M. J. 2014. Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production. *Journal of Cereal Science*. 59 (3). 276 - 283.
- Hayashi, H., Chino, M. 1986. Collection of pure phloem sap from wheat and its chemical-composition. *Plant and Cell Physiology*. 27. 1387 – 1393.
- Heitholt, J. J., Croy, L. I., Maness, N. O., Nguyen, H. T. 1990. Nitrogen partitioning in genotypes of winter wheat differing in grain N concentration. *Field Crops Research*. 23. 133 – 144.
- Herbott, N. H. 2003. Organic manure and chemical fertilizers. *Field Guide to Appropriate Technology*. 277 – 480.

- Hirel, B., Le Gouis, J., Ney, B., Gallais, A. 2007. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of Experimental Botany*. 58. 2369 – 2387.
- Hlisnikovský, L., Kunzová, E. 2014. Effect of mineral and organic fertilizers on yield and technological parameters of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) on Illimerized Luvisol. *Polish Journal of Agronomy*. 17. 18 – 24.
- Högy, P., Fangmeier, A. 2008. Effects of elevated atmospheric CO₂ on grain quality of wheat. *Journal of Cereal Science*. 48. 580 - 591.
- Holford, I. C. R., Doyle, A. D., Leckie, C. C. 1992. Nitrogen response characteristics of wheat protein in relation to yield responses and their interactions with phosphorus. *Australian Journal of Agricultural Research* 43. 969 – 986.
- Horáková, V., Dvořáčková, O. 2017. Přehled doporučených odrůd 2017. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno. ISBN 978-80-7401-142-9
- Hřivna, L. Výživa a hnojení porostů pšenice ozimé a kvalita produkce [online]. 2012 [2019-08-20]. Dostupné z http://farmseed2.druvod.cz/files/aktuality/vyziva_a_hnojeni_porostu_psenice_ozime_a_kvalita_produkce.pdf.
- Hunter, W. J., Fehring, C. J., Olsen, S. R., Porter, L. K. 1982. Location of nitrate reduction in different soybean cultivars. *Crop Science*. 22. 944 – 948.
- Christy, B., Tausz-Posch, S., Tausz, M., Richards, R., Rebetzke, G., Condon, A., McLean, T., Fitzgerald, G., Bourgault, M., O'Leary, G. 2018. Benefits of increasing transpiration efficiency in wheat under elevated CO₂ for rainfed regions. *Global Change Biology*. 24 (5). 1965 – 1977.
- Ismunadji, M., Dijkshoorn, W. 1971. Nitrogen nutrition of rice plants measured by growth and nutrient content in pot experiments. Ionic balance and selective uptake. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 19. 223 – 236.
- Jenkinson, D. S. 2001. The impact of humans on the nitrogen cycle, with focus on temperate arable agriculture. *Plant and Soil*. 228. 3 – 15.
- Jenner, C. 1994. Starch synthesis in the kernel of wheat under high temperature conditions. *Functional Plant Biology*. 21. 791 – 806.
- Jeong, H., Bhattarai, R. 2018. Exploring the effects of nitrogen fertilization management alternatives on nitrate loss and crop yields in tile-drained fields in Illinois. *Journal of Environmental Management*. 213. 341 – 352.
- Johnson, G. V., Raun, W. R. 2003. Nitrogen response index as a guide to fertilizer management. *Journal of Plant Nutrition*. 26. 249 – 262.

- Ju, X. T., Xing, G. X., Chen, X. P., Zhang, S. L., Zhang, L. J., Liu, X. J., Cui, Z. L., Yin, B., Christie, P., Zhu, Z. L., Zhang, F. S. 2009. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. *Proceedings of the National Academy of Science U. S. A.* 106. 3041 – 3046.
- Karrou, M., Maranville, J. W. 1994. Response of wheat cultivars to different soil nitrogen and moisture re-gimes: II. Nitrogen uptake, partitioning and influx. *Journal of Plant Nutrition.* 17. 745 – 761.
- Kaspar, T., Bland, W. L. 1992. Soil temperature and root growth. *Soil Science.* 154. 290 – 299.
- Kincl, M., Krpeš, V. 2000. *Základy fyziologie rostlin. 2. doplněné vydání.* Montanex. 220 s. ISBN 80-7225-041-8.
- King, J., Gay, A., Sylvester-Bradley, R., Bingham, I., Foulkes, J., Gregory, P., Robinson D. 2003. Modelling cereal root systems for water and nitrogen capture: towards an economic optimum, *Annals of Botany.* 91. 383 - 390.
- Kirkby, E. A. 1981. Plant growth in relation to nitrogen supply. In *Terrestrial Nitrogen Cycles, Processes, Ecosystem Strategies and Management Impacts.* Ecological Bulletins. Stockholm. 249 – 267.
- Kirkegaard, J. A., Lilley, J. M. 2007. Root penetration rate – a benchmark to identify soil and plant limitations to rooting depth in beat. *Australian Journal of Experimental Agriculture.* 47. 590 - 602.
- Klír, J., Kozlovská, L., Haberle, J., Mühlbachová, G. 2016. *Metodický návod pro hospodaření ve zranitelných oblastech. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha.* 59 s. ISBN 978-80-7427-217-2.
- Kolar, P., Trnka, M., Brazdil, R., Hlavinka, P. 2014. Influence of climatic factors on the low yields of spring barley and winter wheat in southern Moravia (Czech Republic) during the 1961-2007 period. *Theoretical and Applied Climatology.* 117. 707 – 721.
- Kristensen, H. L., Thorup-Kristensen, K. 2004. Uptake of ¹⁵N labeled nitrate by root systems of sweet corn, carrot and white cabbage from 0.2 - 2.5 meters depth. *Plant Soil.* 265. 93 - 100.
- Kumar, K., Goh, K. M. 2000. Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. *Advances in Agronomy.* 68. 197 – 319.
- Kurzyńska, L., Studnicki, M., Derejko, A. 2013. Adjusting yield components under different levels of N applications in winter wheat. *International Journal of Plant Production.* 7(1). 139 – 150.
- Kůst, F., Stehlíková, J. 2016. *Situační a výhledová zpráva - obiloviny.* Ministerstvo zemědělství. Praha. 112 s. ISBN: 978-80-7434-343-8.
- Kůst, F., Záruba, J. 2017. *Situační a výhledová zpráva - obiloviny.* Ministerstvo zemědělství. Praha. 111 s. ISBN 978-80-7434-422-0.

- Kůst, F., Záruba, J. 2018. Situační a výhledová zpráva - obiloviny. Ministerstvo zemědělství. Praha. 111 s. ISBN 978-80-7434-487-9.
- Laidig, F., Piepho, H. P., Drobek, T., Meyer, U. 2014. Genetic and non-genetic long-term trends of 12 different crops in German official variety performance trials and on-farm yield trends. *Theoretical and Applied Genetics*. 127. 2599 – 2617.
- Lalonde, S., Wipf, D., Frommer, W. B. 2004. Transport mechanisms for organic forms of carbon and nitrogen between source and sink. *Annual Review of Plant Biology*. 55. 341 – 372.
- Lassaletta, L., Billen, G., Grizzetti, B., Anglade, J., Garnier, J. 2014. 50 year trends in nitrogen use efficiency of world cropping systems: the relationship between yield and nitrogen input to cropland. *Environmental Research Letters*. 9 (10).
- Lavoie, N., Vézina, L. P., Margolis, H. A. 1992. Absorption and assimilation of nitrate and ammonium ions by jack pine seedlings. *Tree Physiology*. 11. 171 – 183.
- Le, C., Zha, Y., Li, Y., Sun, D., Lu, H., Yin, B. 2010. Eutrophication of lake waters in china: cost, causes, and control. *Environmental Management*. 45 (4). 662 – 668.
- Li, H., Hu, B., Chu, C. C. 2017. Nitrogen use efficiency in crops: lessons from Arabidopsis and rice. *Journal of Experimental Botany*. 68. 2477 – 2488.
- Liao, M., Palta, J. A., Fillery, I. R. P. 2006. Root characteristics of vigorous wheat improve early nitrogen uptake. *Australian Journal of Agricultural Research*. 57. 1097 – 1107.
- Lobell, D. B., Schlenker, W., Costa-Roberts, J. 2011. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*. 333. 616 – 620.
- Lobell, D. B., Sibley, A., Ortiz-Monasterio, J. I. 2012. Extreme heat effects on wheat senescence in India. *Nature Climate Change*. 2. 186 – 189.
- López-Bellido, L., López-Bellido, R. J., Redondo, R. 2005. Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application. *Field Crops Research*. 94 (1). 86 - 97.
- Lopez-Bellido, L., Munoz-Romero, V., Benitez-Vega, J., Fernandez-Garcia, P., Redondo, R., Lopez-Bellido, R. J. 2012. Wheat response to nitrogen splitting applied to a Vertisols in different tillage systems and cropping rotations under typical Mediterranean climatic conditions. *European Journal of Agronomy*. 43. 24 – 32.
- Luo, Q. 2011. Temperature thresholds and crop production: a review. *Climate Change*. 109. 583 – 598.
- Lüttger, A. B., Feike, T. 2018. Development of heat and drought related extreme weather events and their effect on winter wheat yields in Germany. *Theoretical and Applied Climatology*. 132 (1 – 2). 15 – 29.
- Macdonald, A. J., Powlson, D. S., Poulton, P. R., Jenkinson, D. S. 1989. Unused fertiliser nitrogen in arable soils – its contribution to nitrate leaching. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 46. 407 – 419.

- Mahler, R. L., Koehler, F. E., Lutcher, L. K. 1994. Nitrogen source, timing of application, and placement: effects on winter wheat production. *Agronomy Journal*. 86. 637 – 642.
- Makary, T., Schulz, R., Müller, T., Pekrun, C. 2019. Simplified N fertilization strategies for winter wheat. Part 1: plants: compensation capacity of modern wheat varieties, *Archives of Agronomy and Soil Science*.
- Maki, H., Yamagishi, K., Sato, T., Ogura, N., Nakagawa, H. 1986. Regulation of nitrate reductase activity in cultured spinach cells as studied by an enzyme-linked immunosorbent assay. *Plant Physiology*. 82. 739 – 741.
- Malhi, S. S., McGill, W. B. 1982 Nitrification in three Alberta soils: effect of temperature, moisture and substrate concentration. *Soil Biology and Biochemistry*. 14. 393 - 399.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants 2nd ed. Academic Press. 889 s. ISBN 0-12-473543-6.
- Martinoia, E., Heck, U., Wienecken, A. 1981. Vacuoles as storage compartments for nitrate in barley leaves. *Nature*. 289. 292 – 294.
- Martre, P., Porter, J. R., Jamieson, P. D., Triboï, E. 2003. Modeling grain nitrogen accumulation and protein composition to understand the sink/source regulations of nitrogen remobilization for wheat. *Plant Physiology*. 133. 1959 – 1967.
- McDonald, R. I., Girvetz, E. H. 2013. Two challenges for U. S. irrigation due to climate change: increasing irrigated area in wet states and increasing irrigation rates in dry states. *PLoS One*. 8.
- Mengel, K., Secer, M., Koch, K. 1981. Potassium effect on protein formation and amino acid turnover in developing wheat grain. *Agronomy Journal*. 73. 74 – 78.
- Michael, G., Faust, H., Blume, B. 1960. Die Verteilung von spät gedüngtem ¹⁵N in der reifenden Gerstenpflanze unter besonderer Berücksichtigung der Korneiweisse. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*. 91. 158 – 169.
- Moll, R. H., Kamprath, E. J., Jackson, W. A. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization: 1. *Agronomy Journal*. 74. 562 – 564.
- Mooney, H. A., Gulmon, S. L. 1979. Environmental and evolutionary constraints on the photosynthetic characteristics of higher plants. Columbia University Press. New York. 316 – 337.
- Moriondo, M., Giannakopoulos, C., Bindi, M. 2011. Climate change impact assessment: the role of climate extremes in crop yield simulation. *Climate Change*. 104. 679 – 701.
- Mueller, N. D., Gerber, J., Johnston, M., Ray, D. K., Ramankutty, N., Foley, J. A. 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*. 490 (7419). 254 – 257.

- Müller, C., Elliott, J., Chryssanthacopoulos, J., Arneth, A., Balkovic, J., Ciais, P., Deryng, D., Folberth, Ch., Glotter, M., Hoek, S., Iizumi, T., Izaurralde, R. C., Jones, C., Khabarov, N., Lawrence, P., Liu, W., Olin, S., Pugh, T. A. M., Ray, D. K., Reddy, A., Rosenzweig, C., Ruane, A. C., Sakurai, G., Schmid, E., Skalsky, R., Song, C. X., Wang, X., de Wit, A., Yanget, H. 2017. Global gridded crop model evaluation: benchmarking, skills, deficiencies and implications. *Geoscientific Model Development*. 10.
- Nayak, D., Saetnan, E., Cheng, K., Wang, W., Koslowski, F., Cheng, Y. F., Zhu, W. Y., Wang, J. K., Liu, J. X., Moran, D., Yan, X. Y., Cardenas, L., Newbold, J., Pan, G. X., Lu, Y. L., Smith, P. 2015. Management opportunities to mitigate greenhouse gas emissions from Chinese agriculture. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 209. 108 – 124.
- Nicolas, M. E., Gleadow, R. M., Dalling, M. J. 1985. Effect of post anthesis drought on cell division and starch accumulation in developing wheat grains. *Annals of Botany*. 55. 433 – 444.
- Oaks, A., Hirel, B. 1985. Nitrogen metabolism in rous. *Annual Review of Plant Physiology*. 36. 345 – 365.
- Olesen, J. E., Trnka, M., Kersebaum, K. C., Skjelvåg, A. O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rossi, F., Kozyra, J., Micala, F. 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy*. 34 (2). 96 – 112.
- Olson, R. V., Swallow, C. W. 1984. Fate of labelled nitrogen fertiliser applied to winter wheat for five years. *Soil Science Society of America Journal*. 48. 583 – 586.
- Ortiz-Monasterio, R., Dhillon, S., Fischer, R. 1994. Date of sowing effects on grain yield and yield components of irrigated spring wheat cultivars and relationships with radiation and temperature in Ludhiana, India. *Field Crops Research*. 37. 169 – 184.
- Otegui, M. E., Slafer, A. 2004. Increasing cereal yield potential by modifying developmental traits. In *New Directions for a Diverse Planet. Proceedings for the 4th International Crop Science Congress*. Brisbane. Australia.
- Oussible, M., Allmaras, R. R., Wych, R. D., Crookston, R. K. 1993. Subsurface compaction effects on tillering and nitrogen accumulation in wheat. *Agronomy Journal*. 85. 619 – 625.
- Papakosta, D., Gagianas, A. A. 1991. Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses for Mediterranean wheat during grain filling. *Agronomy Journal*. 83. 864 – 870.
- Pavlíková, D., Pavlík, M., Balík, J. 2008. Vliv amonného dusíku na metabolismus rostlin. *Agrochémia*. 12 (4). 3 - 8.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Trnka, M., Olesen, J. E., Calanca, P., Eckersten, H. 2010. Coincidence of variation in yield and climate in Europe. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 139. 483 – 489.

- Perez, P., Martinez-Carrasco, R., Sanchez de La Puente, L. 1983. Uptake and distribution of nitrogen in wheat plants supplied with different amounts of nitrogen after stem elongation. *Annals of Applied Biology*. 102. 399 - 406.
- Petr, J. 1987. *Počasi a výnosy*. Státní zemědělské nakladatelství Praha. 365 s.
- Plaut, Z., Butow, B. J., Blumenthal, C. S., Wrigley, C. W. 2004. Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post anthesis water deficit and elevated temperature. *Field Crops Research*. 86. 185 – 198.
- Plaza Bonilla, D., Álvaro-Fuentes, J., Arrúe, J. L., Cantero-Martínez, C. 2014. Tillage and nitrogen fertilization effects on nitrous oxide yield-scaled emissions in a rainfed Mediterranean area. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 189. 43 – 52.
- Porter, J. R., Semenov, M. A. 2005. Crop responses to climatic variation. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. 360. 2021 - 2035.
- Porter, J., Gawith, M. 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy*. 10. 23 – 36.
- Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J., Šebánek, J. 1998. *Fyziologie rostlin*. Academia Praha, 488 s. ISBN 80-200-0586-2.
- Prugar, J. 2008. *Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský ve spolupráci s komisí jakosti rostlinných produktů ČZV*. 327 s. ISBN: 978-80-86576-28-2.
- Rampino, P., Pataleo, S., Gerardi, C., Mita, G., Perrotta, C. 2006. Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. *Plant, Cell and Environment*. 29. 2143 – 2152.
- Rasmussen, I. S., Dresbøll, D. B., Thorup-Kristensen, K. 2015. Winter wheat cultivars and nitrogen (N) fertilization - Effects on root growth, N uptake efficiency and N use efficiency. *European Journal of Agronomy*. 68. 38 - 49.
- Rasmussen, P. E., Rohde, C. R. 1991. Tillage, soil depth, and precipitation effects on wheat response to ni-trogen. *Soil Science Society of America Journal*. 55. 121 – 124.
- Raun, W. R., Johnson, G. V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*. 91 (3). 57 – 351.
- Raven, J. A. 1986. Biochemical disposal of excess H⁺ in growing plants? *New Phytologist*. 104. 175 – 206.
- Ray, D. K., Gerber, J. S., MacDonald, G. K., West, P. C. 2015. Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications*. 6.
- Ray, D. K., Ramankutty, N., Mueller, N. D., West, P. C., Foley, J. A. 2012. Recent patterns of crop yield growth and stagnation. *Nature Communications*. 3.

- Reichstein, M., Bahn, M., Ciais, P., Frank, D., Mahecha, M. D., Seneviratne, S. I., Zscheischler, J., Beer, C., Buchmann, N., Frank, D. C., Papale, D., Rammig, A., Smith, P., Thonicke, K., van der Velde, M., Vicca, S., Walz, A., Wattenbach, M. 2013. Climate extremes and the carbon cycle. *Nature*. 500. 287 – 295.
- Reuter, D. J., Elliott, D. E., Reddy, G. D., Abbott, R. J. 1997. Phosphorus nutrition of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). 1. Effects of phosphorus supply on plant symptoms, yield, components of yield, and plant phosphorus uptake. *Australian Journal of Agricultural Research*. 48. 855-868.
- Riar, A., Coventry, D. 2013. Nitrogen use as a component of sustainable crop systems. *Agricultural sustainability*. 63–76.
- Roberts, T. L., Slaton, N. A. 2014. Wheat Fertilization and Liming Practices. *Division of Agriculture*. 3. 1 – 20.
- Robinson, D. 1994. The responses of plants to non-uniform supplies of nutrients. *New Phytologist*. 127. 635 - 674.
- Römer, W., Schilling, G. 1986. Phosphorus requirements of the wheat plant in various stages of its life cycle. *Plant and Soil*. 91. 221 – 229.
- Rufty, T. W. jr., Volk, R. J., McClure, R. R., Israel, D. W., Raper, C. D. jr. 1982. Relative content on NO₃⁻ and reduced N in xylem exudate as an indicator of root reduction of concurrently absorbed 15NO₃. *Plant Physiology*. 69. 166 – 170.
- Růžek, P. Jarní hnojení dusíkatými hnojivy [online]. *Úroda*. 9. března 2009 [2019-07-13]. Dostupné z <<https://www.uroda.cz/jarni-hnojeni-dusikatymi-hnojivy/>>.
- Růžek, P., Kusá, H., Vevera, R. 2011. Kvalitativní hnojení pšenice dusíkem. *Zemědělec*. 21.
- Ryan, C. A. 1973. Proteolytic enzymes and their inhibitors in plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 24. 173 – 196.
- Ryant, P., Antošovský, J., Škarpa, P. Hnojení pšenice ozimé na jaře [online]. *Agromanual*. 24. dubna 2017 [2019-09-17]. Dostupné z <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/hnojeni-psenice-ozime-na-jare>>.
- Ryant, P., Richter, R., Hřivna, L. Pšenice ozimá [online]. 25. ledna 2005 [2019-10-24]. Dostupné z <http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/hnojeni_plodin/html/obilniny/a_index_obilniny.htm>.
- Sadras, V. O. 2004. Yield and water-use efficiency of water- and nitrogen-stressed wheat crops increase with degree of co-limitation. *European Journal of Agronomy*. 21. 455 – 464.
- Sage, R. F., Kocacinar, F., Kubien, D. S. 2011. C₄ Photosynthesis and Temperature. *C₄ Photosynthesis and Related CO₂ Concentrating Mechanisms*. Springer. Dordrecht. The Netherlands. 161 – 195.

- Salsac, L., Chaillou, S., Morot-Gaudry, J. F., Lesaint, C., Jolivet, E. 1987. Nitrate and ammonium nutrition in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 25. 805 – 812.
- Salvucci, M. E., Crafts-Brandner, S. J. 2004. Inhibition of photosynthesis by heat stress: the activation state of Rubisco as a limiting factor in photosynthesis. *Physiologia Plantarum*. 120. 179 – 186.
- Sánchez, B., Rasmussen, A., Porter, J. R. 2013. Temperatures and the growth and development of maize and rice: a review. *Global Change Biology*. 20. 408 – 417.
- Santoro, L. G., Magalheas, A. C. N. 1983. Changes in nitrate reductase activity during development of soybean *Lea*. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie*. 112. 113 – 121.
- Scanlan, C. Diagnosing nitrogen deficiency in wheat [online]. 27. února 2017 [2019-10-26]. Dostupné z <<https://www.agric.wa.gov.au/mycrop/diagnosing-nitrogen-deficiency-wheat>>.
- Scanlan, C. Diagnosing phosphorus deficiency in wheat [online]. 27. února 2017 [2019-08-02]. Dostupné z <<https://www.agric.wa.gov.au/mycrop/diagnosing-phosphorus-deficiency-wheat>>.
- Scanlan, C. Diagnosing potassium deficiency in wheat [online]. 17. dubna 2015 [2019-10-01]. Dostupné z <<https://www.agric.wa.gov.au/mycrop/diagnosing-potassium-deficiency-wheat>>.
- Semenov, M. A. 2008. Impacts of climate change on wheat in England and Wales. *Journal of the Royal Society Interface*. 6 (33). 343 – 350.
- Senbayram, M., Ruirui, C., Mühlhng, K. H., Dittert, K. 2009. Contribution of nitrification and denitrification to nitrous oxide emissions from soils after application of biogas waste and other fertilizers. *Rapid Communication in Mass Spectrometry*. 23. 2489 – 2498.
- Shanahan, J. F., Kitchen, N. R., Raun, W. R., Schepers, J. S. 2008. Responsive in-season nitrogen management for cereals. *Computers and Electronics in Agriculture*. 61. 51 – 62.
- Shearman, V. J., Sylvester-Bradley, R., Foulkes, M. J. 2005. Physiological processes associated with wheat yield progress in the UK. *Crop Science*. 45. 175 – 185.
- Shewry, P. R. 2009. Wheat. *Journal of Experimental Botany*. 60 (6). 1537 - 1553.
- Scharf, P. C., Kitchen, N. R., Sudduth, K. A., Davis, J. G., Hubbard, V. C., Lory, J. A. 2005. Field-scale variability in optimal N fertilizer rate for corn. *Agronomy Journal*. 97. 452 – 461.
- Schulz, R., Makary, T., Hubert, S., Hartung, K., Gruber, S., Donath, S., Döhler, J., Weiß, K., Ehrhart, E., Claupein, W. 2014. Is it necessary to split nitrogen fertilization for winter wheat? On-farm research on Luvisols in South-West Germany. *Journal of Agricultural Science*. 153. 575 – 587.
- Siebert, S., Ewert, F., Eyshi Rezaei, E., Kage, H., Graß, R. 2014. Impact of heat stress on crop yield - on the importance of considering canopy temperature. *Environmental Research Letters*. 9.

- Sieling, K., Schröder, H., Finck, M., Hanus, H. 1998. Yield, N uptake, and apparent N-use efficiency of winter wheat and winter barley grown in different cropping systems. *Journal of Agricultural Science*. 131. 375 – 387.
- Sieling, K., Stahl, C., Winkelmann, C., Christen, O. 2005. Growth and yield of winter wheat in the first 3 years of a monoculture under varying N fertilization in NW Germany. *European Journal of Agronomy*. 22. 71 – 84.
- Simpson, R. J., Dalling, M. J. 1981. Nitrogen redistribution during grain-growth in wheat (*Triticum aestivum* L.). III. Enzymology and transport of amino acids from senescing flag leaves. *Planta*. 151. 447 – 456.
- Simpson, R. J., Lambers, H., Dalling, M. J. 1983. Nitrogen Redistribution during Grain Growth in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology*. 71 (1). 7 – 14.
- Sinclair, T. R. 1998. Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation. *Crop Science*. 38 (3). 638 – 643.
- Sinclair, T. R., Jamieson, P. D. 2006. Grain number, wheat yield, and bottling beer: an analysis. *Field Crops Research*. 98. 60 – 67.
- Sinclair, T. R., Shiraiwa, T. 1993. Soybean radiation-use efficiency as influenced by non-uniform specific leaf nitrogen distribution and diffuse radiation. *Crop Science*. 33. 808 – 812.
- Slafer, G. A. 2003. Genetic basis of yield as viewed from a crop physiologist's perspective. *Annals of Applied Biology*. 142. 117 – 128.
- Slafer, G. A., Abeledo, L. G., Miralles, D. J., Gonzalez, F. G., Whitechurch, E. M. 2001. Photoperiod sensitivity during stem elongation as an avenue to raise potential yield in wheat. *Euphytica*. 119. 191 – 197.
- Smiciklas, K. D., Below, F. E. 1992. Role of cytokinin in enhanced productivity of maize supplied with NH_4^+ and NO_3^- . *Plant and Soil* 142. 307 – 313.
- Smil, V. 2000. Phosphorus in the environment. *Natural Flows and Human Interferences. Annual Review of Energy and the Environment*. 25 (1). 53 – 88.
- Smirnoff, N., Stewart, G. R. 1985. Nitrate assimilation and translocation by higher plants: comparative physiology and ecological consequences. *Physiologia Plantarum*. 64. 133 – 140.
- Snowball, K., Robson, A. D. 1991. *Nutrient Deficiencies and Toxicities in Wheat: A Guide for Field Identification*. Mexico, D. F.: CIMMYT. 82 s. ISBN 968-61 27-48-8.
- Solomonson, L. P., Barber, M. J. 1990. Assimilatory nitrate reductase: Functional properties and regulation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 41. 225 – 253.
- Sommer, K., Six, R. 1982. Ammonium als Stickstoffquelle beim Anbau von Futtergerste. *Landwirtschaft Forschung*. 38. 151 – 161.

- Sowers, K. E., Pan, W. L., Miller, B. C., Smith, J. L. 1994. Nitrogen Use Efficiency of Split Nitrogen Applications in Soft White Winter Wheat. *Agronomy Journal*. 86. 942 - 948.
- Spiertz, J., Hamer, R., Xu, H., Primo-Martin, C., Don, C., Van Der Putten, P. 2006. Heat stress in wheat (*Triticum aestivum* L.): Effects on grain growth and quality trans. *European Journal of Agronomy*. 25. 89 – 95.
- Sradnick, A., Oltmanns, M., Raupp, J., Joergensen, R. G. 2014. Microbial residue indices down the soil profile after long-term addition of farmyard manure and mineral fertilizer to a sandy soil. *Geoderma*. 226 – 227. 79 – 84.
- Stone, P., Nicolas, M. 1994. Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress. *Functional Plant Biology*. 21. 887 – 900.
- Svoboda, P., Haberle, J. 2006. The effect of nitrogen fertilization on root distribution of winter wheat. *Plant Soil Environment*. 52. 308 - 313.
- Šarapatka, B., Urban, J. 2006. *Ekologické zemědělství v praxi. PRO-BIO Šumperk*. 502 s. ISBN 80-87080-00-9.
- Škarpa P., Ryant P., Antošovský J. 2016. *Základní hnojení pšenice ozimé. Agromanuál 8/2016*.
- Tahir, I., Nakata, N. 2005. Remobilization of nitrogen and carbohydrate from stems of bread wheat in response to heat stress during grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 191. 106 – 115.
- Tewolde, H., Fernandez, C., Erickson, C. 2006. Wheat cultivars adapted to post-heading high temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 192. 111 – 120.
- Theodoris, T. N., Pearson, C. J. 1982. Effect of temperature on nitrate uptake, translocation and metabolism in *Pennisetum americanum*. *Australian Journal of Plant Physiology*. 9. 309 – 320.
- Thorup-Kristensen, K., Cortasa, M. S., Loges, R. 2009. Winter wheat roots grow twice as deep as spring wheat roots, is this important for N uptake and N leaching losses?. *Plant Soil*. 322. 101 - 114.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., Befort, B. L. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture, *Proceedings of the National Academy of Science U. S. A.* 108. 20260 – 20264.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*. 418 (6898). 671-677.
- Tipples, K. H., Duhetz, S., Irvine, G. N. 1977. Effects of high rates of nitrogen on Neepawa wheat grown under irrigation. II. Milling and baking quality. *Canadian Journal of Plant Science*. 57. 337 – 350.

- Triboi, E., Triboi-Blondel, A. M. 2002. Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem. Invited Paper. *European Journal of Agronomy*. 16. 163 – 186.
- Trnka, M., Hlavinka, P., Semenov, M. A. 2015. Adaptation options for wheat in Europe will be limited by increased adverse weather events under climate change. *Journal of the Royal Society Interface*. 12.
- Trnka, M., Brázdil, R., Olesen, J. E., Eitzinger, J., Zahradníček, P., Kocmánková, E., Dobrovolný, P., Štěpánek, P., Možný, M., Bartošová, L., Hlavinka, P., Semerádová, D., Valášek, H., Havlíček, M., Horáková, V., Fischer, M., Žalud, Z. 2012. Could the changes in regional crop yields be a pointer of climatic change? *Agricultural and Forest Meteorology*. 166 - 167. 62 - 71.
- Tvarůžek, L., Bílovský, J., Bernardová, M. Pozdní přihnojení ozimé pšenice v počátku metání - Aktuální informace o kvalitativním hnojení dusíkem [online]. *Agromanuál*. 27. května 2011 [2019-10-12]. Dostupné z <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/pozdni-prihnojeni-ozime-psenice-v-pocatku-metani-aktualni-informace-o-kvalitativnim-hnojeni-dusikem>>.
- Uauy, C., Distelfeld, A., Fahima, T., Blechl, A., Dubcovsky, J. 2006. A NAC gene regulating senescence improves grain protein, zinc, and iron content in wheat. *Science*. 314. 1298 – 1301.
- van Grinsven, H. J. M., ten Berge, H. F. M., Dalgaard, T., Fraters, B., Durand, P., Hart, A. 2012. Management, regulation and environmental impacts of nitrogen fertilization in northwestern Europe under the Nitrates Directive; a benchmark study. *Biogeosciences*. 9. 5143 – 5160.
- Vaněk, V. 2007. *Výživa polních a zahradních plodin*. Profí Press. 167 s. ISBN: 978-80-86726-25-0.
- Venclová, B. Poradí si s každým počasím [online]. *Úroda*. 12. února 2016 [2019-12-10]. Dostupné z <<https://www.uroda.cz/poradi-si-s-kazdym-pocasim/>>.
- Vitousek, P. M., Naylor, R., Crews, T., David, M. B., Drinkwater, L. E., Holland, E., Johnes, P. J., Katzenberger, J., Martinelli, L. A., Nziguheba, F., Ojima, D., Palm, C. A., Robertson, G. P., Sanchez, P. A., Townsend, A. R., Zhang, F. S. 2009. Nutrient imbalances in agricultural development. *Science*. 324. 1519 – 1560.
- VP Agro. Pšenice ozimá RGT Reform [online]. VP Agro. 2017 [2019-03-16]. Dostupné z <<http://www.vpagro.cz/images/plants/6/1-Listovka-Reform-20171493988792.pdf>>.
- Wang, X., Cai, J., Jiang, D., Liu, F., Dai, T., Cao, W. 2011. Pre-anthesis high-temperature acclimation alleviates damage to the flag leaf caused by post-anthesis heat stress in wheat. *Journal of Plant Physiology*. 168. 585 – 593.
- Warner, R. L., Kleinholds, A. 1992. Genetics and molecular biology of nitrate metabolism in higher plants. *Physiologia Plantarum*. 85. 245 – 252.

- Waters, S. P., Peoples, M. B., Simpson, R. J., Dalling, M. J. 1980. Nitrogen redistribution during grain growth in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Planta*. 148 (5). 422 – 428.
- Wheeler, T. R., Craufurd, P. Q., Ellis, R. H., Porter, J. R., Vara Prasad, P. 2000. Temperature variability and the yield of annual crops. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 82. 159 – 167.
- Wheeler, T., Hong, T., Ellis, R., Batts, G., Morison, J., Hadley, P. 1996. The duration and rate of grain growth, and harvest index, of wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to temperature and CO₂. *Journal of Experimental Botany*. 47 (5). 623 – 630.
- Wheeler, T., Von Braun, J. 2013. Climate change impacts on global food security. *Science*. 341. 508 – 513.
- Wiesmeier, M., Hübner, R., Kögel-Knabner, I. 2015. Stagnating crop yields: an overlooked risk for the carbon balance of agricultural soils?. *Science of the Total Environment*. 536. 1045 – 1051.
- Wilcox, J., Makowski, D. 2014. A meta-analysis of the predicted effects of climate change on wheat yields using simulation studies. *Field Crops Research*. 156. 180 – 190.
- Wolkovich, E. M., Cook, B., Allen, J., Crimmins, T., Betancourt, J., Travers, S., Pau, S., Regetz, J., Davies, T., Kraft N. 2012. Warming experiments underpredict plant phenological responses to climate change. *Nature*. 485. 494 – 497.
- Yadvinder, S., Gupta, R. K., Thind, H. S., Bijay, S., Varinderpal, S., Gurpreet, S., Jagmohan, S., Ladha, J. K. 2009. Poultry litter as a nitrogen and phosphorous source for the rice-wheat cropping system. *Biology and Fertility of Soils*. 45. 701 – 710.
- Yang, J. C., Zhang, J. H., Wang, Z. Q., Xu, G. W., Zhu, Q. S. 2004. Activities of key enzymes in sucrose to starch conversion in wheat grains subjected to water deficit during grain filling. *Plant Physiology*. 135. 1621 – 1629.
- Yin, X., Guo, W., Spiertz, J. H. 2009. A quantitative approach to characterize sink–source relationships during grain filling in contrasting wheat genotypes. *Field Crops Research*. 114. 119 – 126.
- Zecevic, V., Knezevic, D., Boskovic, J., Micanovic, D., Dozet, G. 2010. Effect of nitrogen fertilization on winter wheat quality. *Cereal Research Communications*. 38. 243 – 249.
- Zhang, X., Davidson, E. A., Mauzerall, D. L., Searchinger, T. D., Dumas, P., Shen, Y. 2015. Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*. 528. 51 – 59.
- Zhao, B., Yao, X., Tian, Y., Liu, X., Ata-Ul-Karim, S. T., Ni, J., Cao, W., Zhu, Y. 2014. New Critical Nitrogen Curve Based on Leaf Area Index for Winter Wheat. *Agronomy Journal*. 106. 379 - 389.
- Zhao, H. W., Sheng, X. L., Sukhdev, M. 2008. Effects of fertilization and other agronomic measures on nutritional quality of crops. *Science of Food and Agriculture*. 88 (1). 7 – 23.

- Zhao, H., Dai, T., Jing, Q., Jiang, D., Cao, W. 2007. Leaf senescence and grain filling affected by post-anthesis high temperatures in two different wheat cultivars. *Plant Growth Regulation*. 51. 149 – 158.
- Zhao, J., Hartmann, H., Trumbore, S., Ziegler, W., Zhang, Y. 2013. High temperature causes negative whole-plant carbon balance under mild drought. *New Phytologist*. 200. 300 – 309.

9 Přílohy

Tabulka 9: Agronomická efektivita aplikovaného dusíku na stanovišti Suchdol (kg/kg)

	2016	2017	2018	2019
Kal 1	-20,20	47,73	7,58	-12,88
Hnůj	9,34	49,24	16,92	-3,54
Hnůj 1/2 + N	3,31	12,94	7,63	-8,24
N + sláma	-2,64	15,43	6,07	-6,07
NPK	-0,79	9,14	5,57	-4,79
N	-5,21	10,29	7,43	-1,86

Tabulka 10: Agronomická efektivita aplikovaného dusíku na stanovišti Červený Újezd (kg/kg)

Kal 1	81,06	66,41	5,05	51,52
Hnůj	97,22	38,89	-1,52	41,67
Hnůj 1/2 + N	35,05	8,78	1,46	13,41
N + sláma	37,36	9,86	5,79	13,29
NPK	40,64	4,14	2,50	15,43
N	41,57	9,36	5,21	14,21

Tabulka 11: Agronomická efektivita aplikovaného dusíku na stanovišti Lukavec (kg/kg)

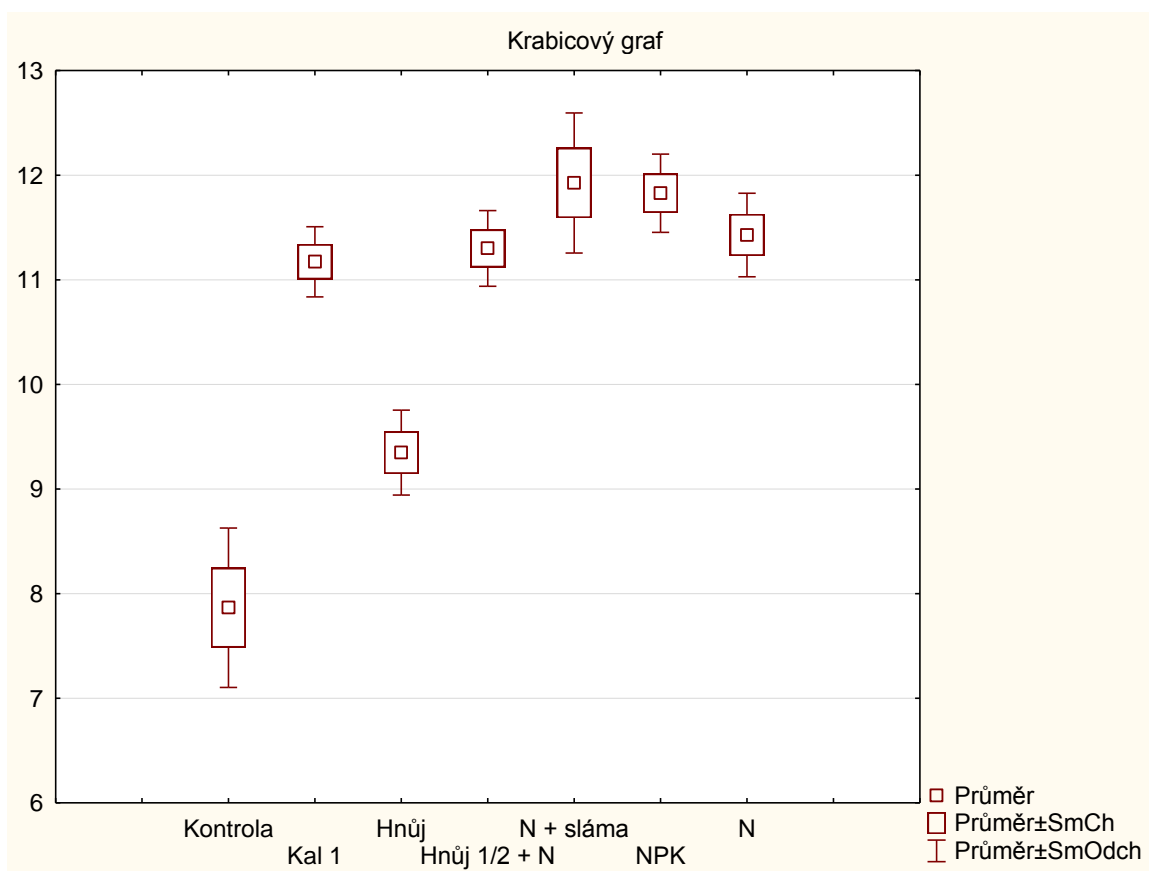
	2016	2017	2018	2019
Kal 1	48,74	44,19	36,11	48,48
Hnůj	20,45	33,59	68,94	40,40
Hnůj 1/2 + N	30,05	22,96	32,36	22,65
N + sláma	28,00	29,93	25,93	24,07
NPK	29,50	35,00	30,57	28,79
N	26,00	31,21	27,14	26,79

Tabulka 12: Porovnání obsahu dusíkatých látek v zru na stanovišti Suchdol se stanovenou hodnotou 11,5 %

Proměnná	Test průměrů vůči referenční konstantě (hodnotě) (Statistica DP)					
	Průměr	Sm.odch.	N	Sm.chyba	Int. spolehl. -95,000%	Int. spolehl. +95,000%
Kontrola	7,86600	0,761898	4	0,380949	6,65365	9,07835
Kal 1	11,17200	0,335607	4	0,167803	10,63797	11,70603
Hnůj	9,34800	0,405729	4	0,202864	8,70239	9,99361
Hnůj 1/2 + N	11,30025	0,361624	4	0,180812	10,72482	11,87568
N + sláma	11,92575	0,669403	4	0,334701	10,86058	12,99092
NPK	11,82750	0,373774	4	0,186887	11,23274	12,42226
N	11,42850	0,399000	4	0,199500	10,79360	12,06340

Proměnná	Test průměrů vůči referenční konstantě (hodnotě) (Statistica DP)			
	Referenční konstanta	t	SV	p
Kontrola	11,50000	-9,5393	3	0,002443
Kal 1	11,50000	-1,9547	3	0,145608
Hnůj	11,50000	-10,6081	3	0,001790
Hnůj 1/2 + N	11,50000	-1,1047	3	0,349919
N + sláma	11,50000	1,2720	3	0,293012
NPK	11,50000	1,7524	3	0,177995
N	11,50000	-0,3584	3	0,743783

Graf 13: Porovnání obsahu dusíkatých látek v zru na stanovišti Suchdol

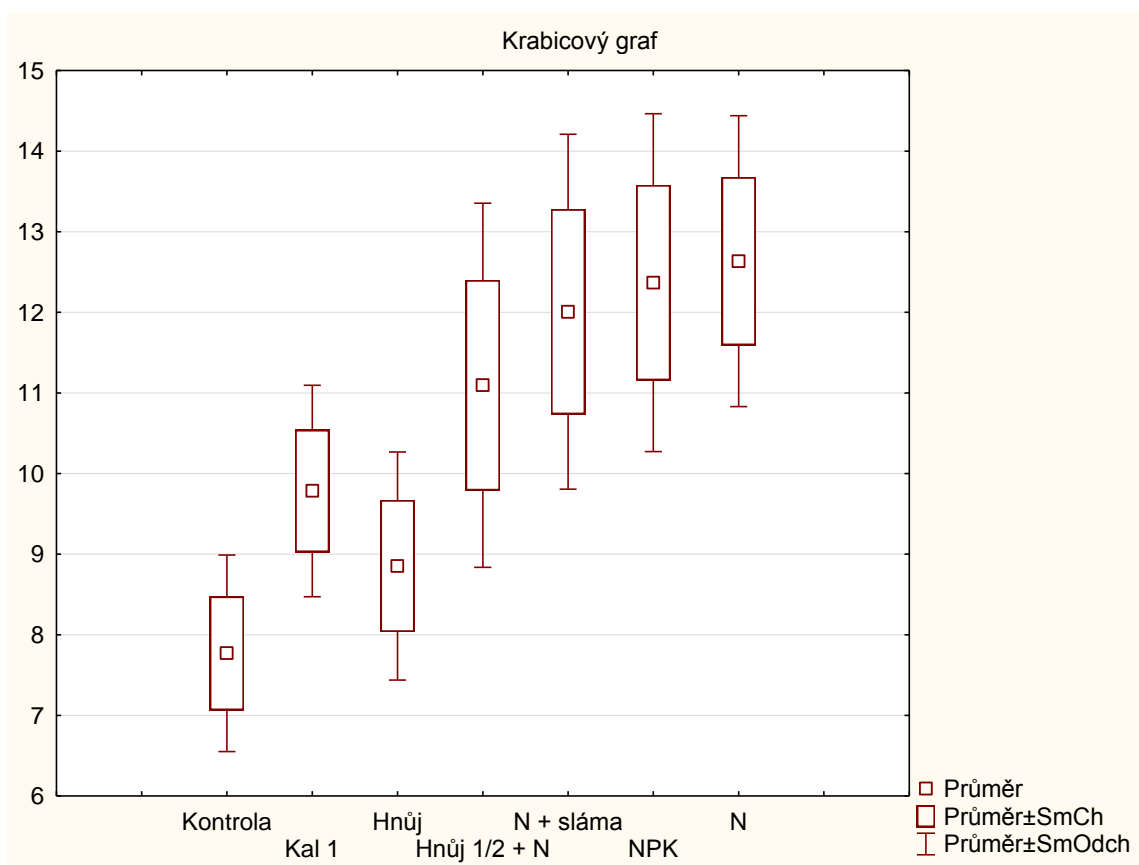


Tabulka 13: Porovnání obsahu dusíkatých látek v zru na stanovišti Červený Újezd se stanovenou hodnotou 11,5 %

Proměnná	Test průměrů vůči referenční konstantě (hodnotě) (Statistica DP)					
	Průměr	Sm.odch.	N	Sm.chyba	Int. spolehl. -95,000%	Int. spolehl. +95,000%
Kontrola	7,77100	1,218965	3	0,703770	4,742923	10,79908
Kal 1	9,78500	1,311413	3	0,757145	6,527270	13,04273
Hnůj	8,85400	1,415086	3	0,817000	5,338733	12,36927
Hnůj 1/2 + N	11,09600	2,258764	3	1,304098	5,484920	16,70708
N + sláma	12,00800	2,201952	3	1,271297	6,538049	17,47795
NPK	12,36900	2,095089	3	1,209600	7,164510	17,57349
N	12,63500	1,804600	3	1,041886	8,152125	17,11787

Proměnná	Test průměrů vůči referenční konstantě (hodnotě) (Statistica DP)			
	Referenční konstanta	t	SV	p
Kontrola	11,50000	-5,29861	2	0,033822
Kal 1	11,50000	-2,26509	2	0,151755
Hnůj	11,50000	-3,23868	2	0,083561
Hnůj 1/2 + N	11,50000	-0,30979	2	0,786017
N + sláma	11,50000	0,39959	2	0,728092
NPK	11,50000	0,71842	2	0,547090
N	11,50000	1,08937	2	0,389757

Graf 14: Porovnání obsahu dusíkatých látek v zru na stanovišti Červený Újezd

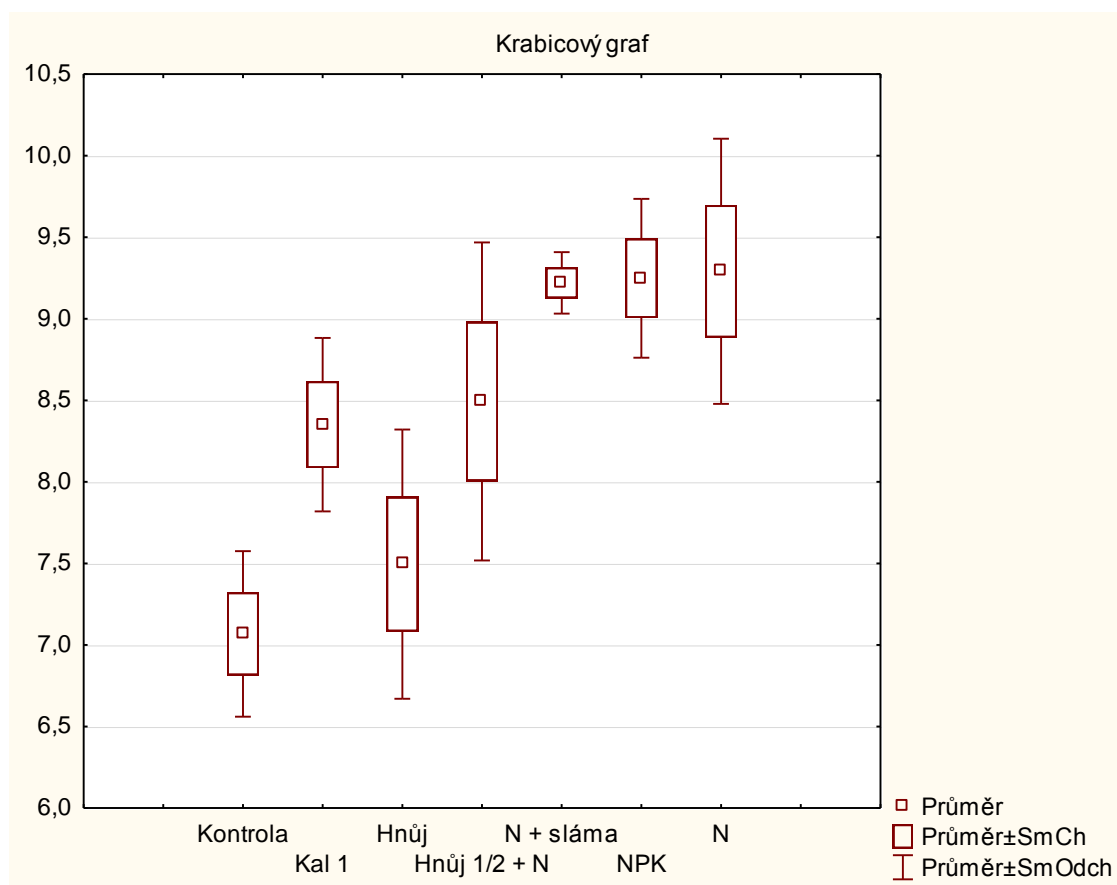


Tabulka 14: Porovnání obsahu dusíkatých látek v zru na stanovišti Lukavec se stanovenou hodnotou 11,5 %

Proměnná	Test průměrů vůči referenční konstantě (hodnotě) (Statistica DP)					
	Průměr	Sm.odch.	N	Sm.chyba	Int. spolehl. -95,000%	Int. spolehl. +95,000%
Kontrola	7,068000	0,507695	4	0,253847	6,260144	7,87586
Kal 1	8,350500	0,531661	4	0,265830	7,504509	9,19649
Hnůj	7,495500	0,825353	4	0,412676	6,182180	8,80882
Hnůj 1/2 + N	8,493000	0,975128	4	0,487564	6,941354	10,04465
N + sláma	9,219750	0,188330	4	0,094165	8,920075	9,51943
NPK	9,248250	0,486730	4	0,243365	8,473754	10,02275
N	9,291000	0,812791	4	0,406396	7,997667	10,58433

Proměnná	Test průměrů vůči referenční konstantě (hodnotě) (Statistica DP)			
	Referenční konstanta	t	SV	p
Kontrola	11,50000	-17,4593	3	0,000410
Kal 1	11,50000	-11,8478	3	0,001293
Hnůj	11,50000	-9,7037	3	0,002324
Hnůj 1/2 + N	11,50000	-6,1674	3	0,008581
N + sláma	11,50000	-24,2155	3	0,000154
NPK	11,50000	-9,2526	3	0,002671
N	11,50000	-5,4356	3	0,012223

Graf 15: Porovnání obsahu dusíkatých látek v zru na stanovišti Lukavec



10 Seznam tabulek a grafů

Tabulka 1: Dávky živin aplikovaných hnojiv v tříletém cyklu

Tabulka 2: Kationtová výměnná kapacita a obsah živin v půdě na jednotlivých stanovištích

Tabulka 3: Bilance dusíku na stanovišti Suchdol (kg)

Tabulka 4: Bilance dusíku na stanovišti Červený Újezd (kg)

Tabulka 5: Bilance dusíku na stanovišti Lukavec (kg)

Tabulka 6: Efektivita využití dusíku z dávky dusíku v aplikovaných hnojivech na stanovišti Suchdol (%)

Tabulka 7: Efektivita využití dusíku z dávky dusíku v aplikovaných hnojivech na stanovišti Červený Újezd (%)

Tabulka 8: Efektivita využití dusíku z dávky dusíku v aplikovaných hnojivech na stanovišti Lukavec (%)

Tabulka 9: Agronomická efektivita aplikovaného dusíku na stanovišti Suchdol (kg/kg)

Tabulka 10: Agronomická efektivita aplikovaného dusíku na stanovišti Červený Újezd (kg/kg)

Tabulka 11: Agronomická efektivita aplikovaného dusíku na stanovišti Lukavec (kg/kg)

Tabulka 12: Porovnání obsahu dusíkatých látek v zrně na stanovišti Suchdol se stanovenou hodnotou 11,5 %

Tabulka 13: Porovnání obsahu dusíkatých látek v zrně na stanovišti Červený Újezd se stanovenou hodnotou 11,5 %

Tabulka 14: Porovnání obsahu dusíkatých látek v zrně na stanovišti Lukavec se stanovenou hodnotou 11,5 %

Graf 1: Výnos zrna při 100% sušiny na stanovišti Suchdol (t/ha)

Graf 2: Výnos zrna při 100% sušiny na stanovišti Červený Újezd (t/ha)

Graf 3: Výnos zrna při 100% sušiny na stanovišti Lukavec (t/ha)

Graf 4: Výnos slámy při 100% sušiny na stanovišti Suchdol (t/ha)

Graf 5: Výnos slámy při 100% sušiny na stanovišti Červený Újezd (t/ha)

Graf 6: Výnos slámy při 100% sušiny na stanovišti Lukavec (t/ha)

Graf 7: Obsah dusíku v zrně na stanovišti Suchdol (%)

Graf 8: Obsah dusíku v zrně na stanovišti Červený Újezd (%)

Graf 9: Obsah dusíku v zrně na stanovišti Lukavec (%)

Graf 10: Obsah dusíku ve slámě na stanovišti Suchdol (%)

Graf 11: Obsah dusíku ve slámě na stanovišti Červený Újezd (%)

Graf 12: Obsah dusíku ve slámě na stanovišti Lukavec (%)

Graf 13: Porovnání obsahu dusíkatých látek v zrně na stanovišti Suchdol

Graf 14: Porovnání obsahu dusíkatých látek v zrně na stanovišti Červený Újezd

Graf 15: Porovnání obsahu dusíkatých látek v zrně na stanovišti Lukavec