

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Vliv systému hnojení na produkci jarního ječmene
Diplomová práce**

Tomáš Nejedlý

Výživa a ochrana rostlin

Ing. Jindřich Černý, Ph.D.

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv systému hnojení na produkci jarního ječmene" 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 25. 4. 2021

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 jarního ječmene

Souhrn

Cílem této práce bylo vyhodnotit vliv dlouhodobého systému hnojení na produkci jarního ječmene, z pohledu výnosu zrna a slámy, obsahu dusíku v zrně a slámě, odběru dusíku a efektivity využití dusíku dodaného v hnojivech.

V rámci této práce byla použita data z dlouhodobého pokusu katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin ČZU v Praze. Tyto pokusy byly založeny v roce 1996. Zpracovaná a použitá data byla získána v agronomických letech 2016/2017 a 2017/2018.

V diplomové práci byly hodnoceny výsledky ze dvou pokusných stanovišť, a to Praha-Suchdol a Lukavec. Předplodinou pro hodnocené porosty ječmene je na obou stanovištích ozimá pšenice a následnou plodinou jsou brambory. Hnojení pokusu je postaveno na aplikaci shodné dávky dusíku ve výši 330 kg/ha za rotaci tří plodin, a to na všech variantách, mimo kontroly, která je nehnojená od roku 1996. Porovnávány byly různé varianty hnojení, kde bylo použito organické hnojení, hnojení kombinací minerálních a organických hnojiv nebo hnojení čistě minerálními hnojivy.

Z výsledků je možné vyvodit, že vyššího výnosu zrna a obsahu dusíku v zrně dosahovaly varianty hnojené minerálními hnojivy. Celkově nejvyšší výnos zrna za sledované období byl zaznamenán v roce 2017 na stanovišti Suchdol na variantě NPK (4,41 t/ha) a nejnižší v roce 2018 na stanovišti Suchdol na variantě Hnůj (1,64 t/ha). Větší vliv hnojení na výnos byl pozorován na stanovišti Lukavec na variantě NPK, kde došlo k relativnímu zvýšení výnosu zrna o 180 %. Na stanovišti Suchdol došlo k maximálnímu zvýšení na variantě N + sláma a to o 94 %.

Nejvyššího absolutního výnosu slámy bylo dosaženo v roce 2018 na stanovišti Suchdol na variantě N + sláma (3,69 t/ha) a nejnižšího absolutního výnosu slámy bylo dosaženo v roce 2018 na stanovišti Lukavec na variantě Kal (1,35 t/ha). Na méně úrodném stanovišti Lukavec je možné pozorovat pozitivní efekt aplikace organických hnojiv případně jejich kombinace s hnojivy minerálními na zvýšení obsahu dusíku ve slámě i celkový výnos slámy oproti variantám hnojeným pouze minerálními hnojivy. Tento efekt není tak patrný na stanovišti Suchdol.

Větší vliv hnojení na výnos byl pozorován na méně úrodném stanovišti Lukavec. Vliv hnojení na obsah dusíkatých látek byl na obou stanovištích vyrovnanější.

Velký vliv na výnos měl také průběh počasí v daném ročníku. V suchém roce 2018 bylo na méně úrodném stanovišti Lukavec dosaženo na všech hnojených variantách vyššího absolutního výnosu než na úrodnějším stanovišti Suchdol.

Vyšší efektivity využití dusíku na obou pokusných stanovištích vykazovalo hnojení čistě organickými hnojivy. Ovšem takto vysoká efektivity využití dusíku je zaznamenána díky použité metodě výpočtu, kdy ve třetím roce pěstování počítáme s využitím pouze 5 % aplikovaného dusíku. Zatímco efektivity využití dusíku z minerálních hnojiv a z kombinace minerálních a organických hnojiv se příliš nelišila. Vyššího využití dusíku bylo dosaženo na stanovišti Suchdol.

Klíčová slova: dlouhodobý polní pokus; hnojení; ječmen jarní; výnos

Effect of fertilization system on spring barley production

Summary

The aim of this work was to evaluate the effect of a long-term fertilization system on the production of spring barley, in terms of grain and straw yield, nitrogen content in grain and straw, nitrogen uptake and the efficiency of nitrogen supplied in fertilizers.

Within this work, data from a long-term experiment of the department of Agri-environmental Chemistry and Plant Nutrition of the ČZU in Prague were used. These experiments were established in 1996. The data used were obtained in the agronomic years 2016/2017 and 2017/2018.

The diploma thesis evaluated the results from two experimental sites, namely Suchdol and Lukavec. The pre-crop for the evaluated barley is winter wheat and the follow up crop is potatoe. The fertilization of the experiment is based on the application of the same nitrogen dose of 330 kg/ha per rotation of three crops on all variants, except for kontrola, which is left without any fertilizers since 1996. Different variants of fertilization were compared, where organic fertilizers, fertilization with a combination of mineral and organic fertilizers or fertilization with purely mineral fertilizers were used.

In conclusion, it is clear that higher grain yield and nitrogen content in grain were achieved by variants fertilized with mineral nitrogen fertilizer. Overall, the highest grain yield for the observed period was recorded in 2017 at the Suchdol site on the NPK variant (4.41 t/ha) and the lowest in 2018 at the Suchdol site on the Hnůj variant (1.64 t/ha). A greater effect of fertilization on the yield was observed at the Lukavec site on the NPK variant, where there was a relative increase in grain yield by 180 %. At the Suchdol site, the maximum increase was 94 % in the N + sláma variant.

The highest absolute straw yield was achieved in 2018 at the Suchdol site on the N + sláma variant (3.69 t/ha) and the lowest absolute straw yield was achieved in 2018 at the Lukavec site on the Kal variant (1.35 t/ha). In the less fertile Lukavec soil, it is possible to observe a positive effect of the application of organic fertilizers or their combination with mineral fertilizers on the increase of nitrogen content in straw and the total straw yield, compared to variants fertilized only with mineral fertilizers. This effect is not so noticeable at the Suchdol site.

A greater effect of fertilization on yield was observed in the less fertile Lukavec soil. The effect of fertilization on the nitrogen content was more balanced on both experimental sites.

The course of the weather in the given year also had a great influence on the yield. In the dry year of 2018, the less fertile Lukavec site, achieved a higher absolute yield on all fertilized variants than the more fertile Suchdol site.

Fertilization with purely organic fertilizers showed higher efficiency of nitrogen utilization at both experimental sites. However, such a high efficiency of nitrogen utilization is recorded due to the calculation method used, when in the third year of cultivation we expect to use only 5% of the applied nitrogen. While the efficiency of nitrogen utilization from mineral fertilizers and from the combination of mineral and organic fertilizers did not differ much. Higher nitrogen utilization was achieved at the Suchdol site.

Keywords: long-term field experiment; fertilization; spring barley; yield

Obsah

1 Úvod.....	- 1 -
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	- 2 -
3 Literární rešerše	- 3 -
3.1 Jarní ječmen	- 3 -
3.1.1 Pěstování jarního ječmene ve světě.....	- 3 -
3.1.2 Pěstování jarního ječmene v ČR	- 4 -
3.2 Dynamika odběru živin u jarního ječmene.....	- 5 -
3.2.1 Vápnění a pH půdy	- 5 -
3.2.2 Hnojení dusíkem.....	- 6 -
3.2.2.1 Korekce dávek dusíku	- 6 -
3.2.3 Nedostatek dusíku.....	- 7 -
3.2.3.1 Symptomy nedostatku dusíku	- 8 -
3.2.3.2 Nedostatek dusíku u jarního ječmene	- 8 -
3.2.4 Nadbytek dusíku	- 8 -
3.2.5 Hnojení fosforem.....	- 9 -
3.2.5.1 Nedostatek fosforu	- 9 -
3.2.6 Hnojení draslíkem.....	- 9 -
3.2.6.1 Nedostatek draslíku	- 10 -
3.3 Parametry tvorby výnosu	- 10 -
3.3.1 Biologický výnos	- 10 -
3.3.2 Hospodářský výnos.....	- 10 -
3.4. Faktory ovlivňující výnos a kvalitu jarního ječmene	- 11 -
3.4.1. Možnosti regulace výnosu výživou.....	- 12 -
3.4.2 Kritická období pro vytváření výnosu.....	- 12 -
3.4.3 Snižování dopadů klimatických změn.....	- 12 -
3.5 Dusík v rostlinách	- 13 -
3.5.1 Příjem dusíku rostlinou	- 13 -
3.5.2 Asimilace nitrátového dusíku	- 13 -
3.5.3 Asimilace amonného dusíku.....	- 16 -
3.5.4 Asimilace močoviny	- 16 -
3.5.5 Fixace vzdušného dusíku rostlinami.....	- 17 -
3.6 Efektivita využití dusíku	- 18 -
3.6.1 Zjišťování efektivity využití dusíku.....	- 19 -
3.6.2 Zvýšení efektivity využití dusíku	- 19 -
3.6.2.1 Načasování aplikací dusíkatého hnojiva	- 19 -

3.6.2.2 Šlechtění.....	- 20 -
3.7 Distribuce dusíku v rostlinách.....	- 20 -
3.7.1 Faktory ovlivňující využívání a distribuci dusíku rostlinami	- 20 -
3.7.2 Proces translokace dusíku	- 21 -
3.7.2.1 Úloha kořenového systému v distribuci dusíku	- 21 -
3.7.2.2 Úloha listů v distribuci dusíku	- 21 -
3.7.3 Zlepšení příjmu a translokace dusíku	- 21 -
4 Metodika	- 23 -
4.1 Dlouhodobý polní pokus	- 23 -
4.1.1 Hnojení.....	- 23 -
4.1.1.1 Kontrola.....	- 23 -
4.1.1.2 Kal.....	- 23 -
4.1.1.3 Hnůj	- 24 -
4.1.1.4 Hnůj ½ + N	- 24 -
4.1.1.5 N	- 24 -
4.1.1.6 NPK.....	- 24 -
4.1.1.7 N + sláma.....	- 24 -
4.1.2 Pěstované odrůdy	- 25 -
4.1.2.1 Odrůda Xanadu	- 25 -
4.1.2.2 Odrůda Francin.....	- 25 -
4.1.3 Pokusná stanoviště	- 26 -
4.1.3.1 Suchdol.....	- 26 -
4.1.3.2 Lukavec.....	- 27 -
4.2 Zpracování a vyhodnocení vzorků	- 28 -
4.2.1 Stanovení výnosu	- 29 -
4.2.2 Stanovení obsahu dusíku	- 29 -
4.2.3 Stanovení odběru dusíku	- 29 -
4.3 Efektivita využití dusíku	- 29 -
5 Výsledky	- 30 -
5.1 Výnos zrna	- 30 -
5.1.1 Suchdol.....	- 30 -
5.1.2 Lukavec	- 31 -
5.2 Výnos slámy	- 33 -
5.2.1 Suchdol.....	- 33 -
5.2.2 Lukavec	- 34 -
5.3 Obsah dusíku v zrnu	- 35 -

5.3.1	Suchdol	- 35 -
5.3.2	Lukavec	- 37 -
5.4	Obsah dusíku ve slámě.....	- 38 -
5.4.1	Suchdol	- 38 -
5.4.2	Lukavec	- 40 -
5.5	Odběr dusíku	- 41 -
5.5.1	Suchdol	- 41 -
5.5.2	Lukavec	- 42 -
5.6	Efektivita využití dusíku	- 42 -
5.6.1	Suchdol	- 42 -
5.6.2	Lukavec	- 43 -
6	Diskuze.....	- 45 -
6.1	Výnos zrna a slámy	- 45 -
6.1.1	Vliv odrůdy.....	- 46 -
6.1.2	Vliv stanoviště.....	- 47 -
6.1.3	Vliv varianty hnojení	- 48 -
6.2	Obsah dusíku v zrně a slámě	- 49 -
6.2.1	Vliv odrůdy.....	- 51 -
6.2.2	Vliv varianty hnojení	- 52 -
6.3	Efektivita využití dusíku	- 53 -
7	Závěr	- 55 -
8	Literatura.....	- 57 -
9	Přílohy.....	- 68 -
10	Seznam obrázků, tabulek a grafů	- 72 -
10.1	Obrázky	- 72 -
10.2	Tabulky	- 72 -
10.3	Grafy	- 72 -
10.4	Tabulky v samostatné příloze.....	- 73 -
10.5	Grafy v samostatné příloze	- 74 -

1 Úvod

Ječmen setý (*Hordeum vulgare* L.) je světově čtvrtou nejpěstovanější obilninou. V Evropě se vypěstuje více než 60 % celkové světové produkce. Tato plodina má široké uplatnění v potravinářském průmyslu, jako krmivo hospodářských zvířat a jako základ pro výrobu sladu, který je nejdůležitější surovinou pro výrobu piva. Zemědělcům nabízí stabilní výnos díky vyšší odolnosti vůči nepříznivým klimatickým podmínkám. Vzhledem k nižší pracnosti pěstování a vyšší výkupní ceně se v České republice řadí k nejrentabilnějším plodinám.

Pěstování ječmene čelí v posledních letech mnoha výzvám. Jedná se zejména o extrémnější průběh počasí, který v typických oblastech pěstování jarního ječmene vede k častějším obdobím sucha. Pro pěstitele to představuje výzvu s ohledem na zachování sladovnické kvality a dostatečného výnosu.

Dalším problémem se do budoucna stává i legislativní omezování a zakazování prostředků pro ochranu rostlin, bez jejich adekvátní náhrady.

S dalším příklonem Evropské unie k ekologičtějšímu pěstování plodin se výzvou stává i udržení celkového objemu produkce, s ohledem na tlak na postupné omezování aplikace dusíku, vzhledem k jeho možnému úniku do životního prostředí. V minulosti byli zdokumentovány případy eutrofizace povrchových vod i kontaminace vod podpovrchových dusíkatými hnojivy. Je tedy nezbytné hledat nové přístupy pro zlepšení využití dusíku. Například šlechtěním nových odrůd s robustnějším kořenovým systémem a lepší odolností vůči stresovým faktorům. Hnojení jarního ječmene dusíkem je obtížnější než u jiných obilnin, pro zachování sladovnické kvality nesmí obsah dusíkatých látek v semenu překročit 11,5 %. Pro zvyšování výnosu zrna tedy nemůžeme používat tak vysoké dávky dusíku jako například u pšenice. Musíme tedy pečlivě zvážit vhodná hnojiva s cílem maximalizace efektivity jejich využití.

Důležité je prozkoumat různé varianty dodání dusíku do půdy s pomocí minerálních i organických hnojiv a jejich kombinacemi. Otázkou je také udržení půdní úrodnosti s ohledem na zachování organických látek v půdě. Ty totiž hrají klíčovou roli ve zlepšení struktury půdy a zachování dostatečné vodní kapacity. Správná péče o půdu a její ochrana se stává jedním z hlavních prostředků, kterými můžeme pomoci zabránit nepříznivým dopadům klimatických změn.

S ohledem na probíhající změny, v rozložení srážek a chodu teplot na našem území, je také vhodné hledat nové oblasti vhodné pro pěstování ječmene, a to i v místech kde se až do dnes jarní ječmen nepěstoval. Zejména ve vyšších polohách s větší vláhovou jistotou.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem této práce bylo vyhodnotit vliv dlouhodobého systému hnojení na produkci jarního ječmene, z pohledu výnosu zrna a slámy, obsahu dusíku v zrně a slámě, odběru dusíku a efektivity využití dusíku dodaného v hnojivech.

Hypotézy:

1. Hnojení dusíkem se projevuje na zvýšení výnosu zrna a slámy.
2. Hnojení dusíkem se projevuje na zvýšení obsahu dusíku v zrně a slámě ječmene.
3. Nejvyšší obsah dusíku v zrně mají varianty hnojené pouze minerálními hnojivy.
4. Využití dusíku je u minerálních hnojiv vyšší než u hnojiv organických.

3 Literární rešerše

3.1 Jarní ječmen

Ječmen setý (*Hordeum vulgare* L.) je kulturní jednoletá obilnina. Z čeledi lipnicovitých (*Poaceae*) z rodu (*Hordeum*). Ten obsahuje 25 druhů planého ječmene a jeden druh kulturní. Ječmen setý má jarní i ozimou formu a řadí se mezi nejstarší zemědělské plodiny. Jeho domestikace začala před 10000 lety. Archeologicky je pěstování ječmene doloženo již v prehistorických dobách, a to v Evropě, Asii a Africe. Za původní oblasti domestikace ječmene je dnes považována Mezopotámie a Egypt. Na naše území přinesly ječmen národy z jihozápadní Asie kolem roku 3000 př.n.l. V současnosti je ječmen využíván pro pečení chleba, výrobu cereálií k vaření piva a také jako krmivo pro hospodářská zvířata (Grigg 1974, Černý 2007, Badr a kol. 2000, Shahbandeh 2020).

3.1.1 Pěstování jarního ječmene ve světě

Ječmen je významnou světovou komoditou a celkově čtvrtou nejpěstovanější obilninou. Roční celosvětová produkce se pohybuje kolem 140 milionů tun zrna ječmene ročně. V roce 2020 se produkce ječmene celosvětově zvýšila na 156,41 milionů tun. Ke skladování se používá jarní i ozimý ječmen. Světové statistiky nerozdělují ječmen na jarní a ozimý, vše je zpracováno pouze jako ječmen. V ČR je statistika rozdělena na jarní a ozimý od roku 1960 (Černý, 2007, Shahbandeh 2020, Yawson a kol. 2017).

Ječmen je považován za jednu z nejodolnějších plodin ve vztahu k vodnímu stresu, zásaditosti půdy a má vysokou schopnost využití vody v porovnání s ostatními obilninami. Naopak nižší toleranci vykazují ke kyselým půdám (Dawson a kol. 2015, Mark a kol. 2018).

Produkce jarního sladovnického ječmene je nerovnoměrně rozdělena po světě. Nejvíce ječmene se pěstuje v Evropě a to až 62 % ze světové produkce. Zejména díky příhodným klimatickým podmínkám, pěstitelské tradici a vaření a pití piva. V Evropě se ročně vypije kolem 500 000 000 hl. ročně (Basařová 2010).

K pěstování jarního sladovnického ječmene se hodí jen omezená část půdy v Evropě (Usubaliev a kol., 2020). Dalším problémem je malovýměrové zemědělství EU27, které nedokáže vyprodukovat vysoko objemové partie homogenního sladovnického zrna (Černý 2007).

Příznivé podmínky pro pěstování jarního ječmene jsou pouze v části Francie, Německa, Rakouska, České republiky a Slovenské republiky. Výhodu velkovýrobních podmínek v zemědělství mají v rámci Evropy jen Česká republika, Slovenská republika a některé spolkové země Německa (Benada 2001).

Do budoucna je očekáván pokles výnosu u většiny obilovin v důsledku klimatických změn (Araus a kol. 2008).

Ječmen vykazuje dobrou stabilitu výnosu, a to i v letech kdy dochází k významným výkyvům průběhu počasí v době vegetace (Akar a kol. 2016)

V posledním století intenzivního šlechtění došlo k poklesu genetické diverzity mezi odrůdami jarního ječmene. Tento jev může vést ke snížení odolnosti vůči chorobám a škůdcům (Ellis

a kol. 2000). Zachování genetické rozmanitosti pěstovaných odrůd jarního ječmene se stává klíčovým prvkem pro zajištění adaptace jarního ječmene na budoucí klimatické změny v oblastech jeho pěstování (Mercer a Perales 2010).

3.1.2 Pěstování jarního ječmene v ČR

Jarní ječmen je v České republice, dle dat Českého statistického úřadu, v posledních letech pěstován na výměře kolem 220 tis. ha a je po ozimé pšenici druhou nejpěstovanější plodinou. Tomu odpovídá i jeho ekonomický význam. (Český statistický úřad 2020).

Na výrobu sladu se zpracovává kolem 30 % celkové sklizně jarního ječmene, asi 70 % zrna se používá jako krmný ječmen a jen velmi malé množství je použito v potravinářském průmyslu (Černý 2007).

Vzhledem ke krátké vegetační době, slabšímu kořenovému systému a své biologické povaze, ječmen citlivě reaguje na nedostatek živin (Vaněk a kol. 2016).

Značnou předností jarního ječmene je jeho vysoká tolerance k předplodině. Rozhodující faktory pro zajištění kvalitních sklizní, jsou časné setí, dobrá agrotechnika, výběr vhodné odrůdy a také vysoká půdní úrodnost a dobrá výživa rostlin (Rozhkov a Gutynsky 2017).

V roce 2018 se průměrný výnos jarního ječmene pohyboval na úrovni 4,93 t/ha v roce 2019 na úrovni 5,07 t/ha (Český statistický úřad 2020).

Jarní ječmen je plodina, která za krátkou vegetační dobu vytváří značné množství organické hmoty, potřebuje proto dostatek živin v přístupné formě a ve vyváženém poměru. Ze všech u nás obvyklých obilnin právě jarní ječmen nejcitlivěji reaguje na nedostatek živin v půdě a velmi pozitivně na něj působí hnojení minerálními hnojivy (Vaněk a kol. 2016).

Využití minerálních hnojiv v pěstování jarního ječmene má mimořádně pozitivní vliv na celkový výnos a hmotnost tisíce zrn, a to zejména na lehkých půdách. Statistická analýza prokázala, že na lehkých půdách s nízkou zásobeností živinami, došlo po aplikaci minerálních hnojiv ke zvýšení výnosu až o 91,7 % oproti kontrole a zvýšení hmotnosti tisíce zrn o 14,8 % (Škarpa 2006).

V tabulce číslo 1. jsou popsány odběrové normativy jarního ječmene pro hlavní živiny (Hřivna a Ryant 2006).

Tabulka 1.: Odběrový normativ jarního ječmene v kg/t zrna

	N	P	K	Ca	Mg	S
Jarní ječmen	20-24	3,5-6,5	16,8-18	5,7-8,5	1,2-2,4	4-4,2

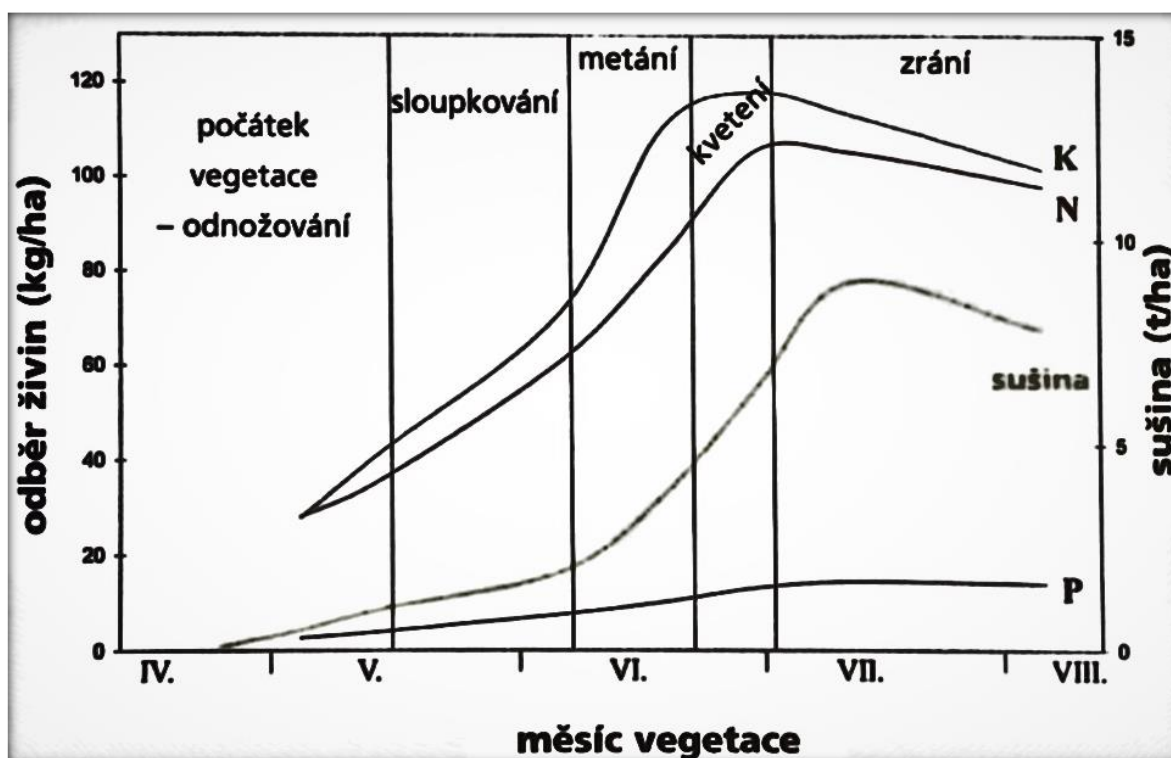
Organické hnojení se k jarnímu ječmeni používá v osevních postupech s vysokým zastoupením obilnin. V těchto případech, kdy jarní ječmen následuje po obilnině, je možné použít organické hnojení především hnůj. Možné je i využití zeleného hnojení v kombinaci se zaorávkou slámy, které působí jako přerušovač osevního sledu mezi obilninami (Wang a kol. 2015).

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 % (Černý a kol. 2013).

3.2 Dynamika odběru živin u jarního ječmene

Dynamika odběru živin během vegetace znázorněná na obrázku číslo 1., ukazuje časný příjem živin, který vrcholí počátkem června. Většinu živin přijme jarní ječmen v krátkém období. Příjem dusíku vrcholí po metání, kdy rostlina vyžívá přijatý dusík na tvorbu zrna. Pozdější příjem dusíku je u jarního ječmene pěstovaného pro sladovnické účely nežádoucí. Vede totiž ke zvýšení obsahu dusíkatých látek v zrně nad hranici 11 % procent, vyžadovanou výrobcí sladu (Vaněk a kol. 2016).

Obrázek 1.: Dynamika odběru živin jarním ječmenem a nárůst sušiny (Vaněk a kol. 2016).



3.2.1 Vápnění a pH půdy

Základním předpokladem pro dosažení vysokého výnosu a kvality jarního ječmene je vhodné pH půdy (mezi 6,2 až 7,0) ve vztahu k půdnímu druhu. Čím těžší půdy, tím vyšší by mělo být pH. Hodnota pH mimo jiné souvisí s obsahem vápníku v sorpčním komplexu a půdním roztoku. Ječmen je na vápník poměrně náročná plodina. U rostlin ječmene ovlivňuje vápník utváření kořenů, zejména kořenového vlášení. Vápník také působí na stabilitu membrán, zvyšuje pevnost buněčných stěn a příznivě působí na elasticitu pletiv, a tak snižuje riziko poléhání, a také poškození pletiv chorobami. Dostatek vápníku v půdě také příznivě působí na půdní strukturu. K tomuto efektu však nepostačuje pouze malá dávka (například s využitím granulovaných vápenců), ale skutečné plošné vápnění. Z uvedených důvodů patří ječmen mezi plodiny, které velmi dobře reagují na vápnění. Toto hnojení je však spíše otázkou podzimního termínu aplikace, případně řešení v rámci celého osevního postupu. Je dokázáno, že nevhodné

(zejména nízké pH) negativně ovlivňuje koncentraci většiny makroprvků v půdním roztoku. Tím je zpomalován jejich přísun ke kořenům tzv. hmotovým tokem. Pomaleji se také vytváří kořeny (Černý a kol. 2018).

3.2.2 Hnojení dusíkem

Hnojení dusíkem je jedním ze základních opatření pro dosažení vysokého výnosu jarního ječmene. Nelze jím však nahradit ostatní intenzifikační prvky, protože jen ucelený pěstitelský systém dává předpoklad vysokého výnosu a dobré sladovnické jakosti (Canráková 2011).

Jarní ječmen je často pěstován po jiné obilnině, to je nutné zohlednit při výpočtu dávky hnojení a celkovou dávku dusíku navýšit. Vyšší dávky můžeme obecně použít pro krmné ječmene, kde vyšší obsah dusíkatých látek nezhoršuje kvalitu naopak je žádoucí (Užík a kol. 2008).

Výzkum prokázal, že ve většině případů je efektivita využití dusíkatých hnojiv nízká. Pohybuje se od 30 do 50 % z celkového dusíku dodaného hnojivem (Dawson a kol. 2008).

3.2.2.1 Korekce dávek dusíku

Pro správnou volbu dávky dusíku musí být zohledněno uvolňování dusíku v půdě. Jedná se o dusík uvolněný mineralizací organických látek v půdě. Množství dusíku, které je zpřístupněno mineralizací pak odečítáme z potřeby rostlin. (Canráková 2011).

Na druhou stranu je u dusíku nutné pamatovat na potenciální konkurenty rostlin-mikroorganismy, a také to, že při mineralizaci organických dusíkatých látek se v půdě jako první vytváří amonná forma dusíku (Xu a kol. 2019).

Amonný iont (kationt NH_4^+) je poután na půdní sorpční komplex a je tedy málo pohyblivý v půdním roztoku. Přeměna na pohyblivější nitrátový aniont (NO_3^-) nastává až při prohřátí půd nad 10 °C. Avšak, máme-li být přesní, také první fáze mineralizace dusíkatých látek lépe probíhá při vyšších teplotách. Z toho vyplývá, že dusík z půdních organických látek bude působit až později, v období, kdy se vytváří zrno, ale ne v průběhu jeho založení. Proto, pokud u ječmene nepodpoříme správnou výživou tvorbu výnosotvorných prvků (počet odnoží, založení klasů a klásků), může působení dusíku z organických hnojiv ve druhé polovině vegetace oprávněně přispět k vyššímu obsahu dusíkatých látek v zrnu. Pokud však bude vytvořeno dostatečné množství zrna, přispívá tento dusík častěji k podpoře velikosti zrna (podílu na sítech) (Černý a kol. 2018).

Tabulka 2.: Odpočet využitelného dusíku z organických hnojiv předplodiny (hnůj, kejda, chrást) (Černý a kol. 2018).

Organické hnojivo (*vybrané příklady)	Korekce dusíku (kg/t hnojiva)	Příklad	
		dávka organického hnojiva (t/ha)	korekce N (kg/ha)
Hnůj (aplikovaný k předplodině)	-0,85	20	-17
Kejda (aplikovaná k předplodině)	-0,40 (-0,50)	40	-16
Chrást (předplodina řepa)	-2,0	30	-60
Sláma (vyrovnání N již na slámu předplodiny)	-4,0	5	-20
Sláma (bez aplikace N při zapravení slámy předplodiny)	+5,0	5	+25
Pozn.: - = odpočet od dávky stanovené podle odběrového normativu + = přidání dávky N k potřebě podle odběrového normativu			

3.2.3 Nedostatek dusíku

Nedostatek dusíku obecně vede ke snížení tvorby bílkovin. To má za následek omezení růstu rostlin, včetně jejich kořenového systému. To následně vede ke zhoršenému příjmu ostatních živin nezbytných pro růst rostliny. V důsledku se zkracuje vegetační doba, zrychluje se dozrávání a dochází k propadu výnosu. Jak kvantitativně, tak i kvalitativně, a to zejména u semen (Vaněk a kol. 2016).

Problematické je zkoumání nedostatku dusíku v polních pokusech, a to z důvodu nejistoty zásoby dusíku v půdě (Marshall a Ellis 1998). Lepším přístupem je zkoumání nedostatku dusíku v hydroponických systémech pěstování. Zde je možné přesněji monitorovat formy a množství dodaného dusíku (Karley a kol. 2011).

3.2.3.1 Symptomy nedostatku dusíku

Hlavním znakem nedostatku dusíku u rostlin je jejich výrazně světlejší zbarvení. Při trvalejším nedostatku dusíku rostliny začnou odbourávat dusíkaté látky ve starších listech a získaný dusík pak transportují pro zachování vegetačního vrcholu. Jednou z odbourávaných dusíkatých látek je i chlorofyl. Starší listy tedy postupně žloutnou a usychají, neboť už neplní asimilační funkci (Hoffmann a kol. 2012)

3.2.3.2 Nedostatek dusíku u jarního ječmene

Nedostatek dusíku se projevuje různě podle vývojové fáze, ve které se zrovna rostlina nachází. Kritické jsou zejména fáze vytváření jednotlivých výnosových prvků (Marley a kol. 2013).

Nedostatek dusíku ve fázi odnožování vede k redukci počtu plodných odnoží. Jeho nedostatek ve fázi diferenciacce vegetačního vrcholu vede ke snížení množství zrn v klasu a ve fázi sloupkování a metání dochází k redukci založených stébel (Černý 2007).

Nedostatek dusíku v pozdějších fázích vegetace vede k redukci množství bílkovin v zrnu a ke zmenšení jeho velikosti (Baier a Baierová 1985)

U jarního ječmene, ale může být určitý nedostatek dusíku v pozdějších fázích vegetace žádoucí. Vede totiž k rychlejšímu dozrávání a může také zvyšovat kvalitu zrna. Podporuje tvorbu škrobu a omezuje akumulaci dusíkatých látek v zrnu což je žádoucí pro zachování sladovnické jakosti jarního ječmene (Vaněk a kol. 2016)

Výzkum prokázal, že krátkodobý nedostatek dusíku může u jarního ječmene vést k vyšší koncentraci cukrů, aminokyselin a prekurzorů trikarboxylových kyselin. Tento stav se podobá odpovědi rostliny na napadení mšic. Pokusem bylo prokázáno, že nymfy mšic (*Myzus persicae*) nedokázali dosáhnout dospělosti a rozmnožit se, na rostlinách trpících nedostatkem dusíku. Otevírají se tím nové možnosti ke zvýšení odolnosti ječmene proti mšicím a tím i virovým chorobám (Comadira a kol. 2015).

3.2.4 Nadbytek dusíku

Nadbytek dusíku je mnohem vzácnějším jevem než jeho nedostatek. Vysoké množství amonné formy dusíku v půdě má vliv na omezení vzházivosti rostlin. Proto je doporučován jistý odstup mezi hnojením a setím. Obvykle se uvádí 10 až 14 dní (Vaněk a kol., 2016)

Porosty obilnin s nadbytkem dusíku jsou sytě zelené a husté. Nadbytek dusíku oslabuje mechanickou odolnost pletiv, tyto porosty jsou proto náchylnější k poléhání. Hustší porosty mají také zhoršené světelné podmínky a vyšší vlhkost. To vytváří vhodné klima pro snadné a rychlé šíření houbových chorob (Cai a kol. 2012).

Velký nadbytek dusíku vede k zasychání a nekróze okrajů listů, kde hromaděný dusík nejdříve přesáhne hladinu fytotoxicity. Amonný dusík projevuje vyšší toxicitu než dusík nitrátový. U obou forem jsou příznaky fytotoxicity stejné (Černý 2007).

3.2.5 Hnojení fosforem

Fosfor je po dusíku druhý nejdůležitější prvek ve výživě plodin. Je rozhodující v počátečních stadiích růstu a pro zvýšení výnosových složek (Römer a Schilling 1986).

Příjem fosforu je důležitý během celé vegetace. Zajišťuje energetický metabolismus rostliny (ATP, NADP apod.), a také významně ovlivňuje reprodukční schopnosti, což se především odráží na počtu odnoží a zrn v klase. Při tvorbě zrna fosfor příznivě ovlivňuje hmotnost tisíce semen, ale zejména se ukládá do zásobní látky fytinu. Jeho obsah pak ovlivňuje klíčivost zrn a působí tak na produkci sladu. Významně také ovlivňují příjem dusíku z půdy a jeho využití v rostlině (Černý a kol. 2018).

Studii bylo prokázáno, že aplikace fosforu s dusíkem vede ke snížení koncentrace bílkovin v zrně. V porovnání s aplikací pouze dusíkatého hnojiva. Projevuje se zde zřejmě zředovací efekt v důsledku nárůstu výnosu zrna (Zhao a kol. 2008).

Hnojení fosforem se provádí převážně zároveň s hnojivy draselnými v rámci základního hnojení nebo na podzim předešlého roku. Hnojí se prostřednictvím směsí jednosložkových hnojiv nebo kombinovanými hnojivy (Karamous a Kruger 2009).

Nejvýhodnější jsou hnojiva obsahující fosfor ve vodorozpustné formě. Mezi ně patří superfosfáty. Dále jsou vhodná hnojiva obsahující fosfor v kombinaci s dusíkem např. amofos a draslíkem. V kyselých nebo alkalických půdách, kde dochází k významné chemické sorpci fosforu v půdě, je vhodnější použití hnojiv obsahujících fosfor v méně rozpustných formách tedy např. mleté fosfáty (Vaněk a kol. 2016).

3.2.5.1 Nedostatek fosforu

Nedostatek fosforu vykazuje dobře viditelné příznaky až při závažnějším nedostatku. Symptomy jsou: listy jsou malé postavené v ostrém úhlu ke stéblu, listy a stébla mají modrozelenou barvu ta později přechází ve fialovou, na listech se barva mění od okrajů a od špiček postupně přechází do tmavě žluté až k hnědé, osiny se zbarvují do fialova (Richter a kol. 2006).

3.2.6 Hnojení draslíkem

Draslík je důležitou živinou, do budoucna bude správné hnojení draslíkem stále důležitější, protože kvůli nedostatečnému přísunu draslíku v hnojivech 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 (Černý 2007).

Draslík také úzce souvisí s příjmem a zabudováním dusíku do organických struktur v rostlinách. Ve studiích bylo pozorováno, že výživa draslíkem urychluje transport aminokyselin do zrn a také přeměnu aminokyselin na proteiny uvnitř zrna. Zároveň bylo prokázáno, že hloubka uložení draslíku neměla výrazný vliv na rychlost jeho příjmu (Pavlov a Voronina 2016).

U jarního ječmene je s ohledem na rychlý vývoj zdůrazňován zejména význam draslíku, který působí na syntézu sacharidů a snižuje obsah N-látek. Dostatečná výživa draslíkem přispívá

k vyšší tvorbě sušiny a následnému ukládání asimilátů do zrna, což se projeví ve vyšší extraktivnosti sladu. Obdobně působí na fotosyntézu a transport asimilátů i hořčík, který také ovlivňuje tvorbu kořenů (Černý a kol. 2018).

Při stanovení dávky draselného hnojiva postupujeme obdobně jako u hnojení fosforečnými hnojivy. Řídíme se obsahem přístupného draslíku v půdě a pěstovanými plodinami. Z draselných hnojiv se nejčastěji používají draselné soli nebo síran draselný pro rostliny, které špatně reagují na chlór. (Vaněk a kol. 2016).

3.2.6.1 Nedostatek draslíku

Nedostatek draslíku se nejprve projevuje na starších listech. Symptomy jsou: žloutnutí přecházející až v nekrózu postupuje vždy od špiček a okrajů listů formuje se ve tvaru šipky, při silném nedostatku se tvoří slonovinově zbarvené nekrotické skvrny a pruhy. (Bould a kol. 1983).

3.3 Parametry tvorby výnosu

3.3.1 Biologický výnos

Biologický výnos je veškerá produkce biomasy porostu. Z hlediska fotosyntetické produkce závisí biologický výnos na absorpci záření porostem, účinnosti využití pohlceného záření na tvorbu sušiny a na schopnosti rostlin transportovat, distribuovat a akumulovat vytvořené asimiláty do jednotlivých orgánů. Významným předpokladem pro tvorbu sušiny je velikost asimilační plochy. Označuje se symbolem LAI (leaf area index) a udává se v m² asimilační plochy rostlin z porostu na 1 m² plochy půdy. Velikost asimilační plochy závisí na genetických faktorech (habitus rostlin, odnožovací schopnost, rychlost růstu) a na vlivech vnějšího prostředí (např. průběh počasí, hustota porostu, doba setí). Maximální LAI nemusí znamenat maximální výnos zrna. Pro výnos zrna jsou důležité především asimiláty vytvořené v době plnění obilí (Bilman a Smith 1993).

3.3.2 Hospodářský výnos

Formování produktivního porostu obilnin je složitý proces. Během růstu a vývoje probíhají složité pochody zakládání, diferenciací a redukce vegetativních i generativních orgánů vlivem působení vegetačních faktorů na rostliny. Zároveň probíhají procesy, na nichž závisí celkové množství vyprodukované biomasy, zejména fotosyntetická asimilace a rozdělení asimilátů mezi jednotlivé orgány (Makovec 1979, Zarey a kol. 2020)

Výnos zrna obilnin je tvořen třemi základními komponenty.

1. Počet klasů na jednotku plochy
2. Počtem zrn v klasu
3. Hmotností obilí (HTZ)

Ty jsou dále podmíněny dalšími prvky, které je nutné sledovat k objektivnímu hodnocení hlavních komponentů. Příkladem může být počet klasů na jednotku plochy. Ten je dán počtem rostlin na dané ploše a produktivním odnožováním (Petr 1989).

V procesu tvorby výnosu se uplatňuje zákon kompenzace výnosových prvků, kdy při nižší úrovni prvního se zvýší tvorba následujícího prvku. Každý prvek vyjma HTZ má období maximální úrovně a období kvantitativní redukce. Pro dosažení vysokého výnosu je tedy důležité, jak podpořit tvorbu maxima daného prvku, tak také zamezit jeho pozdější redukci (Arzu 2020).

Hlavním prvkem autoregulace porostů obilnin je odnožování. Obilniny mají velký potenciál k vytváření vedlejších stébel a tím dokážou částečně eliminovat nepříznivé důsledky počasí, patogenů i agrotechnických chyb. Dynamika odnožování má období přírůstku, maxima a kvantitativní redukce (Hájek a kol. 2010).

Snížení počtu odnoží u příliš hustých porostů, např. vlivem příliš hustého výsevu, je možná mechanickými zásahy. Naopak zvýšení počtu odnoží je možné dosáhnout řadou morforegulatorů (Černý a kol. 2010).

Hmotnost obilek je geneticky značně podmíněný znak, je však ovlivněna i prostředím. Po opylení dochází k rychlé diferenciaci buněk na jednotlivé části obilky a postupnému zvětšování buněk. Vytváří se úložné prostory pro zásobní látky. Během fáze rychlého růstu obilky (15-35 dní po kvetení) se nejvíce zvětšuje její objem a hmotnost. Čím delší je období plnění obilek, tím větší hmotnosti mohou dosáhnout. Vysoké teploty, nedostatek vláhy a živin, především dusíku, klasové a listové choroby a další vlivy poškozují asimilační aparát, přispívají ke zkrácení doby plnění obilek, hmotnost obilek se zvětšuje málo. Hmotnost obilek se udává nejčastěji jako parametr HTZ (hmotnost tisíce zrn) v gramech a pohybuje se běžně u obilovin mezi 30-50 g (Černý 2007, Liu a kol. 2020).

3.4. Faktory ovlivňující výnos a kvalitu jarního ječmene

Výkyvy počasí jsou celosvětově zodpovědné za třetinu kolísání výnosů plodin. Toto kolísání je významnější v intenzivním zemědělství (Ray a kol. 2015).

V souvislosti se vzrůstající teplotou a délkou suchých období v posledních letech. Je třeba počítat s větší četností extrémních povětrnostních podmínek (McDonald a Girvetz 2013, Trnka a kol. 2012).

Za současné situace rychle se měnícího klimatu je klíčové studovat, jak se tyto změny projeví na průměrném výnosu hlavních světových plodin (Wheeler a von Braun 2013).

Informace o změnách klimatu a jejich působení na výnos plodin jsou nezbytné pro formulaci vhodných strategií na adaptaci k měnícím se podmínkám a zajištění potravinové bezpečnosti do následujících desetiletí. Zjištění mechanismů, které se podílejí na kolísání výnosů za extrémních podmínek nám mohou pomoci s řešením dopadů extrémního počasí a pomoci nám s plánováním dalších opáření. Mezi nimi je třeba se zaměřit na šlechtění a zavlažování (Christy a kol. 2018, Dalhaus a Finger 2016, Di Falco a kol. 2011).

V poslední době došlo v Evropě ke stagnaci výnosů jarního ječmene. Příčina je částečně v politice Evropské Unie, která více podporuje extenzifikaci zemědělství. Ekologické zemědělství produkuje nižší výnosy oproti intenzivnímu pěstování (Finger 2010).

3.4.1. Možnosti regulace výnosu výživou

Hnojení je jeden z faktorů, kterým lze účinně regulovat hustotu porostu a podpořit tvorbu produktivních odnoží. Včasná aplikace dusíku na list nebo vysoká hladina půdního dusíku stimuluje tvorbu odnoží a růst listů. Tím vzrůstá celková hmotnost sušiny odnoží a index listové plochy (Bezdičková 2010).

Pozdní aplikace dusíku na list podporuje přežití plodných odnoží a založení zrn. Mimo aplikace dusíku na list se pro podpoření tvorby odnoží doporučuje aplikace 45-60 kg dusíku na hektar. Výživa dusíkem i fosforem ovlivňuje pozitivně tvorbu klasů, jejich přežití a počet vytvořených zrn (Venclová 2019).

Schopnost obilnin odnožovat je závislá na podmínkách růstu a vývoje. Odnožování nejvíce podporují ty faktory, které zpomalují vývoj, tedy diferenciaci vzrostečného vrcholu. Patří sem zejména vliv krátkého dne a hnojení. Obzvláště hnojení dusíkem, ale také kombinace hnojení dusíkem a fosforem (Hackett a Bartlett 1971, Guszka a kol. 2020)

Vysoký počet odnoží v důsledku zvýšení dávek dusíku může vést ke zmenšení obilek a tím ke snížení objemové hmotnosti. Pozdní foliární aplikací dusíku je možné zvýšit obsah dusíkatých látek v znu (Leibovitch a kol. 1992).

3.4.2 Kritická období pro vytváření výnosu

Výnos zrna může být ovlivněn kdykoli v období mezi setím a sklizní (Černý 2007). Některá období vegetace jsou však pro tvorbu výnosu významnější (Cakir 2004). Nejvýznamnější fáze růstu, s ohledem na výnos, jsou spojeny s dobou utváření výnosových prvků. Jedná se o fázi odnožování dále pak o kvetení a plnění zrna. Tyto fáze odpovídají těmto komponentům výnosu obilnin: počet klasů, počet zrn v klasu a hmotnosti obilek (Otegui a Slafer 2004).

3.4.3 Snižování dopadů klimatických změn

Evropa očekává budoucí nárůst teplot a sucha. To ohrožuje výnosovou stabilitu evropského zemědělství. Nikoli však zásobením Evropy potravinami, za současné situace má Evropa stále zemědělskou nadprodukcí. Proběhla již řada studií zaměřených na zhodnocení vztahů mezi výnosem plodin a klimatickými změnami (Forzieri a kol. 2016).

Dlouhodobé pozorování výnosu plodin a klimatu identifikovalo vodní a tepelný stres jako hlavní faktor způsobující snížené výnosy v poslední dekádě (Shabala 2017).

Možným řešením dopadů klimatických změn na zemědělskou produkci je genové inženýrství. Geneticky modifikované plodiny se zvýšenou odolností k vodnímu a tepelnému stresu se do budoucna mohou stát odpovědí na celosvětový růst teplot. Ovšem nejprve bude třeba zdokonalit metody a celkovou přesnost genových manipulací. Geneticky modifikované organismy, ale nejsou řešením pro Evropu kde jejich rozšíření brání legislativa (Jain 2015).

3.5 Dusík v rostlinách

Dusík je součástí aminokyselin, amidů, bílkovin (např. enzymů), pyrimidinových a purinových bází (tedy součást nukleových kyselin), chlorofylu a dalších biologicky aktivních látek. V rostlinách se jeho obsah pohybuje ve značném rozmezí v závislosti na druhu orgánu a stáří rostliny (Bothe a kol. 2007).

Dusík se podílí na fungování meristematických pletivo rostlin, ovlivňuje fotosyntézu a množství bílkovin v zrnu. Většina dusíku v listech je zapojena do fotosyntetických procesů (Evans 1989). Rostlinné bílkoviny průměrně obsahují mezi 15 a 19 % dusíku. Největší množství dusíku je pak ukládáno do semen. Obiloviny mají zpravidla obsah dusíku v zrnu nad 10 % a hrách i kolem 22 %. Pro produkci sladu je žádoucí obsah dusíkatých látek v zrnu ječmene do 11 %. (Vaněk a kol. 2016, Söderström a kol. 2010).

3.5.1 Příjem dusíku rostlinou

Rostliny jsou schopné přijímat dusík ve dvou iontových formách, a to jako kationty amonné NH_4^+ nebo jako anionty dusičnanové tedy NO_3^- (Smirnov a Stewart 1985).

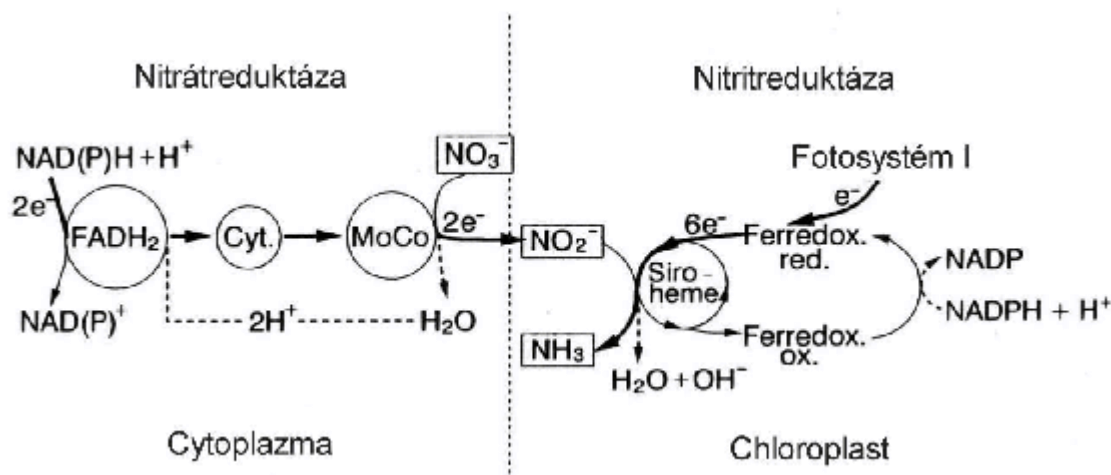
V u nás běžných podmínkách, má nitrátový dusík pro výživu rostlin největší význam. Kořeny ho přijímají aktivně ve směru elektrochemického gradientu. V protikladu s příjmem je výdej NO_3^- procesem pasivním. Nitrátový dusík je přijímán při kyselejším pH než dusík amonný. Při pH kolem 6,8 se příjmem NO_3^- a NH_4^+ v rostlinách vyrovnává. Amonný kationt působí inhibičně na příjem nitrátového aniontu (Pavlíková a kol. 2008).

Příjem iontů dusíku ovlivňuje i příjem ostatních iontů nezbytných pro výživu rostlin. Při zvýšeném příjmu dusičnanových aniontů rostlina zároveň zvyšuje příjem ostatních kationtů, zejména K^+ , Mg^{2+} a Ca^{2+} . (Follett a Hatfield 2001)

3.5.2 Asimilace nitrátového dusíku

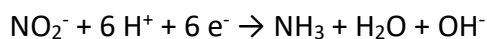
Dříve než může být nitrátový dusík metabolizován, a tím začleněn do organických struktur rostlin, je třeba jej redukovat na NH_3 . Tento proces nazývaný redukce nitrátů sestává ze dvou etap, a to z redukce NO_3^- na NO_2^- a následně z další redukce NO_2^- až na NH_3 . Obecně uznávaný mechanismus asimilace NO_3^- zelenými rostlinami na světle uvádí obrázek 2. (Marschner 1995).
Obrázek X. Mechanismus asimilace NO_3^- zelenými rostlinami (Marschner 1995).

Obrázek 2.: Mechanismus asimilace NO₃⁻ zelenými rostlinami na světle (Marschner 1995).



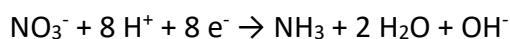
Enzymy, které se účastní tohoto procesu redukce nitrátového dusíku jsou dva. Konkrétně nitrátreduktáza a nitritreduktáza. Nitrátreduktáza se skládá z flavinproteinu a molybdenu. Obě tyto složky fungují jako nosiče elektronů. Předpokládá se, že jedna složka přenáší elektrony z NAD na flavin a obsahuje bílkovinu, druhá složka přenáší elektrony přes molybden na nitrát. Je-li však molybden deficitní nebo inaktivní např. kvůli přítomnosti wolframu enzym může přenášet elektrony z NADH, ale nemůže redukovat nitrát. Důležitým znakem nitrátreduktázy je to, že se jedná o indukovaný enzym tedy že k jeho syntéze dochází jen tehdy, je-li v cytoplasmě přítomen nitrát (Warner a Kleinhofs 1992).

Druhým stupněm asimilace nitrátů je redukce NO₂⁻ na NH₃ (Vaněk a kol. 2016).



Pro tuto fázi je nutná přítomnost silného redukčního činidla v buňkách. Tuto funkci plní ferredoxin. Ferredoxin získává elektrony přímo z fotosyntetického řetězu transportu elektronů (Solomonson a Barber 1990).

Účinek nitrátreduktázy a nitritreduktázy může být vyjádřen touto rovnicí.



Při této reakci je spotřebováno na úplnou redukci 1 molu NO₃⁻ 8 ekvivalentů elektronů H⁺. Reakce má alkalický účinek, neboť je produkováno jeden ekvivalent OH⁻ (Salsac a kol. 1987).

Anionty OH⁻ vzniklé při redukcí nitrátů v rostlinných buňkách se mohou částečně hromadit v rostlině nebo být převedeny do půdy, a tím zvyšovat jeho pH. Při jednostranné výživě NO₃⁻ je zvýšena syntéza organických iontů, a tím je stimulován příjem kationtů, a to především K⁺, Mg²⁺ a Ca²⁺ (Richter 2004).

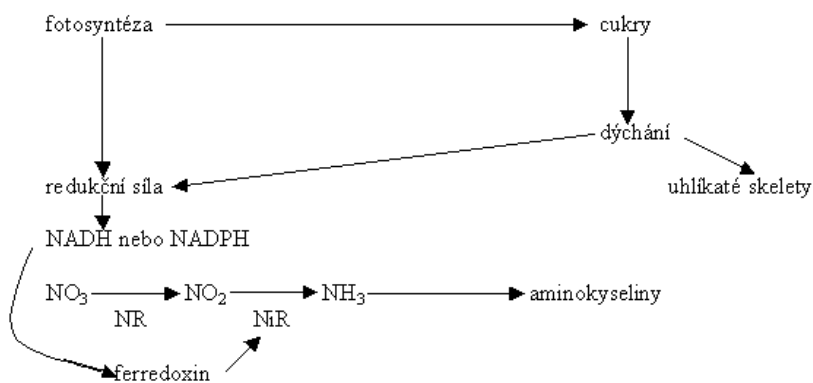
Aktivitu nitrátreduktázového systému ovlivňuje řada faktorů. Velmi důležitou úlohu hraje světlo. Přenesením rostlin ze světla do tmy je aktivita nitrátreduktázy potlačena. Tento mechanismus spolu s poklesem redukční síly je hlavní příčinou akumulace nitrátu při nižší intenzitě světla. Akumulace nitrátu v pletivech rostlin tedy může často probíhat jako důsledek nízké intenzity osvětlení a vysokého hnojení nitráty (Smirnof a Stewart 1985).

Aktivita nitrátreduktázy se snižuje také vlivem nedostatku hořčíku. Rovněž je nitrátová redukce závislá na doprovodném kationtu. Kupříkladu draslík snižuje redukci nitrátů, zatímco vápník a sodík redukci navyšují (Förster a Jeschke 1993).

Asimilaci nitrátu ovlivňuje i teplota. Bylo prokázáno, že při teplotách kořenů kolem 30 °C dochází ke značnému zvýšení příjmu NO_3^- , ale snižuje se aktivita nitrátreduktázy. Vedle těchto faktorů je asimilace nitrátů ovlivněna i minerální výživou, a to zejména molybdenem. Je-li molybden deficitní, dochází ke kumulaci nitrátů a snížení aktivity nitrátreduktázy. Mangan rovněž ovlivňuje asimilaci nitrátu nepřímo, protože je nezbytnou složkou fotosystému II, a tedy i toku elektronů z vody přes ferredoxin na nitrátreduktázu (Theodorides a Pearson 1982).

Redukční síla pro enzymy nitrátreduktázového systému se v rostlinách vytváří v energetickém metabolismu. Při dýchání vznikají dva typy pyridinových nukleotidů-NADH a NADPH, při fotosyntéze se tvoří NADPH a redukovaný ferredoxin viz. obrázek 3. (Richter 2004)

Obrázek 3.: Obecné schéma metabolismu spojené s redukcí nitrátů (Richter 2004)



Přijatý nitrát je ukládán do metabolického cyklu, kde NO_3^- podléhá redukcí. Další možností je jeho uložení ve vakuole. Ve vakuolách uložený nitrát není redukován a často zvyšuje celkový obsah nitrátů na nežádoucí hladinu. Vedle těchto zásob existuje v buňkách i omezený krátkodobý cyklus indukční. Ten se přednostně doplňuje transportem nitrátů zvenčí a stimuluje aktivitu nitrátreduktázového systému (Martinoia a kol. 1981).

Podle toho, kde v rostlině se nitráty redukují, můžeme rozlišovat tři skupiny rostlin.

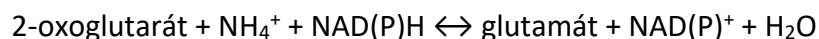
1. Rostliny s redukcí nitrátů v nadzemních částech, např. brutnák a kukuřice. V kořenovém systému těchto rostlin je neměřitelná nitrátreduktáza. Xylémový roztok obsahuje 95-99 % dusíku ve formě aniontů NO_3^- .
2. Rostliny s redukcí nitrátů v nadzemních částech i v kořenech. V obou rostlinných částech jsou hladiny nitrátreduktázy vysoké. V xylému dochází k transportu aniontu NO_3^- , ale také molekul organického dusíku. Tento typ asimilace je obvyklý u většiny rostlin.
3. Rostliny s asimilací NO_3^- pouze v kořenech. Převaha nitrátreduktázy je v kořenech, proto se v xylému pohybuje převážně organický dusík. Asimilací toho typu se vyznačují některé dřeviny (Richter 2004).

Pro redukcí nitrátu všeobecně platí následující. Pokud je NO_3^- přijímán v nízkém množství, tak je jeho většina redukována v kořenech. Se zvyšujícím se příjmem nitrátu, např. vlivem hnojení látkami s obsahem nitrátového dusíku, je omezována kapacita redukce nitrátu v kořenech a nitrátový dusík je ve větší míře transportován do nadzemních částí rostlin (Vaněk a kol. 2016).

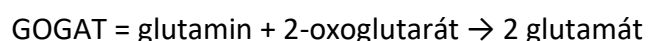
3.5.3 Asimilace amonného dusíku

Zabudování amoniaku do aminokyselin probíhá dvěma způsoby. Při vyšších koncentracích NH_3 je funkční enzym glutamátdehydrogenasa (EC 1.4.1.2), která katalyzuje reakci

2-oxoglutarátu:



Účinnější se však je enzymový systém GS/GOGAT (GS = glutaminsyntetasa (EC 6.3.1.2.), GOGAT = glutamát-synthasa (EC 1.4.1.13)), který realizuje následující sled reakcí:



(Zehnálek a kol. 2006)

Amonný kationt působí jako inhibitor příjmu nitrátové formy dusíku NO_3^- . Inhibice není pravděpodobně způsobována zvyšující se koncentrací NH_4^+ v roztoku, ale je důsledkem saturace specifických míst příjmu NO_3^- . Vznikem aminokyselin a kationtů H^+ v buňce jakožto produktu asimilace NH_4^+ , se v cytoplazmě zvyšuje kyselost. Ta může neutralizací transmembránového gradientu pH v kořenových buňkách rostlin omezit přenos iontů NO_3^- přes membránu do buňky (Kincl a Krpeš 2000).

Při výživě rostlin amonným dusíkem je celkově nižší příjem většiny iontů, a to zejména kationtů vápenatých, hořečnatých, draselných a organických aniontů (Vaněk a kol. 2016).

Z energetického hlediska je amonný dusík velmi výhodným zdrojem dusíku pro rostliny. Tuto výhodu můžeme, ale pozorovat jen při nízkých koncentracích NH_4^+ kationtů v živném prostředí. Oproti nitrátovému dusíku může být přímo zapojen do metabolismu bez dalších požadavků na energii, které jsou nezbytné pro redukci dusíku nitrátového. Asimilace kationtu NH_4^+ předpokládá pouze odštěpení kationtu H^+ , jak můžeme vidět v následující rovnici.



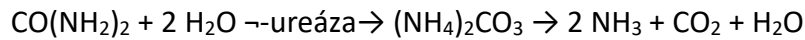
Vzniklé H^+ ionty jsou obvykle vylučovány do vnějšího prostředí, a tak snižují pH půdy. Tím mohou přispívat k lepší přístupnosti některých živin např. fosforu (Marshall a Ellis 1998). Chemické analýzy naznačují, že deprese růstu při nadměrné výživě amonným dusíkem není způsobena zvýšenou kumulací dusíku v rostlině, ale vyčerpáním zásoby sacharidů. Amoniak potom není rostlina schopná využít, a tak se zvyšuje zásaditost vnitřního prostředí buněk. Volný amoniak v buňce blokuje fotosyntetickou fosforylaci, a tím omezuje dýchací procesy. Snižuje oxidoredukci $\text{NADH} \rightarrow \text{NAD}$ atd. (Richter 2004).

Molekula NH_3 může být pro rostlinu vysoce toxický již při nízkých koncentracích. Toxicita je závislá na pH půdního prostředí. Zásadité pH půdního roztoku toxicitu amonného dusíku zvyšuje. Kořeny tak mohou být poškozeny již relativně nízkou koncentrací tohoto iontu (Baethgen a kol. 1995).

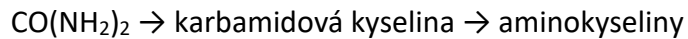
3.5.4 Asimilace močoviny

Močovina může být přijímána rostlinami dvojitým způsobem. Buď po jejím předchozím rozkladu v půdě ureázou nebo ve formě celých molekul. To platí zejména při foliární aplikaci močoviny.

V obvyklých půdních podmínkách je močovina přijímána kořeny rostlin po jejím předcházejícím rozkladu na NH_4^+ či dále po její mikrobiální přeměně na NO_3^- (Richter 2004). Rostliny jsou schopny močovinu přijímat i ve formě celých molekul a v rostlinných pletivech ji pak ureázou přeměňovat na amoniak. Reakce probíhá podle této rovnice.



Tuto schopnost, ale nemají všechny rostliny. Aktivita ureázy se snižuje s postupujícími vývojovými fázemi rostliny (Richter 2004). Vedle enzymatického rozkladu močoviny v rostlině se předpokládá i možnost začlenění dusíku močoviny přímo do metabolismu dusíku. Schématicky tato reakce vypadá takto.



Jedná se však o velmi omezenou cestu využití močoviny (Lincoln a Eduardo 2006)

U obilnin běžně pěstovaných v České republice byla v rostlinách, v době vzházení nalezena močovina. Syntetická močovina, dodaná v hnojivech, může v rostlině plnit funkci amidů. V této formě ji pak kořenový systém předává do nadzemních orgánů. Asimilace močoviny je aktivní metabolický proces, který je pro rostliny zdrojem nejen dusíku, ale také uhlíku. Znovu se však jedná o omezený způsob využití (Richter 2004). Zkoumáním rostlin v nádobových pokusech byla prokázána jistá růstová deprese při aplikaci močoviny, která se neprojevovala u ostatních forem dusíku. Tato deprese je označována jako fytoxicita močoviny. Její příčiny nalézáme buď ve vysokém obsahu biuretu nebo v meziproduktech přeměny močoviny v půdě. Další možností je i účinek samotné močoviny (Criddle a kol. 1988).

Biuret, chemickým vzorcem $\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{NH}-\text{CO}-\text{NH}_2$, je v močovinně vždy přítomen a při hnojení je nezbytné znát jeho obsah v hnojivu. Poškození rostlin biuretem má mnoho příznaku. Typicky jsou to zejména, zasychání listů od špiček, mezižební žloutnutí listů, deformace listů, brzdění prorůstání prvního listu z koleoptile u obilovin. Toto onemocnění se nazývá hyponastií, a bylo prokázáno na základě pokusů s biuretem. Pokusy prováděné ve vodních kulturách potvrdily jeho toxický účinek při koncentraci 50 ppm (Liang a kol. 2016).

Toxicita biuretu je vysvětlována jeho vlivem na Krebsův cyklus. V něm blokuje centra fixující amoniak. Nabourává tak syntézu bílkovin v listech. U vikkovitých může v důsledku vyšší aktivity ureázy docházet k hromadění amoniaku v buňkách. Nahromaděný amoniak poté rostlina není schopna zabudovat do organických sloučenin kvůli nedostatku sacharidů. Na základě těchto poznatků se nedoporučuje aplikovat jednorázově více než 100 kg močoviny na hektar, aby se předešlo poškození rostlin (Michael a kol. 2014).

3.5.5 Fixace vzdušného dusíku rostlinami

Vzdušný dusík je ze své podstaty inertní plyn, který dokážou využívat jen diazotrofní mikroorganismy. Tyto mikroorganismy poutající vzdušný dusík ve formě molekul N_2 a představují tak jeden z ekologicky nejvýznamnějších projevů autotrofie vzhledem ke koloběhu dusíku. Některé z těchto mikroorganismů žijí volně v půdě i ve vodě, další si vytvořily symbiotické vztahy s rostlinami (Richter 2004).

Fixaci dusíku provádí řada volně v půdě žijících bakterií např. *Clostridium pasteurianum* a *Azotobacter chroococcum* dále pak vodní bakterie a sinice (Plunkett a kol. 2020).

Fixace dusíku je energeticky náročná. Symbiotické bakterie využívají energii získanou fotosyntézou rostlin k přeměně N_2 na NH_3 . Nejvýznamnější skupinou bakterií podílející se na této formě fixace dusíku je rod *Rhizobium* (Xuekai a kol. 2020).

Symbiotické bakterie poutající vzdušný dusík si opatřují potřebné sacharidy v buňkách autotrofních rostlin. Na každý jeden gram dusíku obsaženého v aminokyselinách a amidech se v době syntetické aktivity hostitelské, spotřebují čtyři gramy uhlíku obsaženého v sacharidech. Vidíme tedy, že množství vázaného dusíku je silně závislé na výkonu fotosyntézy hostitelské rostliny (Lindström a Mousavi 2020).

Největší význam pro fixaci dusíku má nitrogenáza. Ta se skládá ze dvou bílkovinných komplexů. Celý systém je obalen membránou a uložen v buňkách kořenové pokožky. Při fixaci vzdušného dusíku je zapotřebí elektronů a ATP. Elektrony jsou dodávány přes ferredoxin na nitrogenázu, tam dochází k redukci molekul N_2 . Cyklus trikarboxylové kyseliny tohoto systému zajišťuje oxokyseliny oxoglutarát a oxalacetát, ty následně reagují s NH_3 za vzniku aminokyselin. Vzniklé aminokyseliny jsou využity na syntézu bílkovin v hlízkách a velká část je rovněž transportována do hostitelské rostliny. Ta je poté začleněna do svého metabolismu dusíku (Hoffman a kol. 2014). Redukce dusíku je velmi rychlý proces. Předpokladem je, že má tři stupně, konkrétně diamid, hydrazin, NH_3 (Richter 2004).

Místem redukce vzdušného dusíku je Fe-Mo bílkovinný komplex. Na redukci jedné molekuly N_2 je zapotřebí 4-5 molekul ATP (Luxem a kol. 2020).

3.6 Efektivita využití dusíku

Celosvětové nastavení systémů hnojení obilovin vede k malé efektivitě využití dusíku z hnojiv pro růst rostlin. Hodnota využití dusíku se pohybuje kolem 33 % z dusíku aplikovaného v hnojivech (Raun a Johnson 1999).

Zemědělství v rámci Evropské unie prošlo v minulosti změnou zaměření z produktivity na vedlejší funkce např. krajinářskou a podporu biodiverzity. Jedním z důležitých cílů do budoucna je snížení výrobních nákladů pro větší konkurenceschopnost a zlepšení využití dusíku pro snížení negativních dopadů např. eutrofizací vod (Gastal a Lemaire 2002).

Vstupy dusíkatých hnojiv v minulosti převyšovaly nároky plodin, vzhledem k jejich výnosu. To snižovalo využití dusíku rostlinami a přispívalo k poškozování životního prostředí skrze eutrofizaci povrchových vod a kontaminaci zdrojů vod podzemních (Tilman a kol. 2002, Gu a kol. 2013).

Hlavním důvodem nízkého využití dusíku patří nevhodné načasování aplikace dusíkatých hnojiv. Různý odběr živin plodinou v čase a aplikací uniformní dávky hnojiva na heterogenní pozemek (Shanahan a kol., 2008). Tento problém je v posledních letech řešen variabilním hnojením s pomocí map zásobenosti pozemku živinami či s pomocí senzorů (Martins a kol. 2020).

Výzkum Valkama a kol. (2013) dospěl k závěru, že současná metodika hnojení dusíkem na základě očekávaného výnosu není ideální a v potaz by se měla brát i hodnota výnosu bez využití dusíkatých hnojiv. Experimentálně bylo prokázáno, že snížení dávky dusíku

o 20-75 kg/ha, oproti dávce vypočtené dle očekávaného výnosu, nevedlo k významným ekonomickým ztrátám u jarních obilnin.

U jarního ječmene bylo prokázáno, že se stoupající dávkou dusíků roste výnos a celkový odběr dusíku, ale naopak klesá schopnost příjmu a využití dusíku ječmenem, což vede k většímu množství dusíku, který zůstává nevyužit v půdě (Kassie a Fanataye 2019).

3.6.1 Zjišťování efektivity využití dusíku

Existuje mnoho způsobů, jak definovat efektivitu využití dusíku (Fageria a kol. 2008).

Jednou z možností je definovat ji jako výnos na jednotku dusíku, která je dostupná pro rostlinu. Dostupný dusík je pak definován jako součet vstupů hnojiv, atmosférického spadu a mineralizace organické hmoty v půdě, případně dusík vázaný v předchozích letech některými plodinami např. luštěninami (Moll a kol. 1982)

Výzkum využití dusíku používá pro měření efektivity skutečnosti, že při konstantních vstupech se zvýšení výnosu projevuje jako růst efektivity. S tímto přístupem je však téměř nemožné porovnávat mezi sebou systémy intenzivní a extenzivní. Při nízkých vstupech dochází totiž k zavádějícímu zkreslení výsledků, které ukazují na vysokou efektivitu využití dusíku (Hawkesford 2014).

3.6.2 Zvýšení efektivity využití dusíku

Pro vytvoření udržitelných a produkčních zemědělských systémů je nezbytné se zaměřit na lepší využití dusíku, a to z důvodu environmentálních a ekonomických tlaků (López-Bellido a kol. 2005).

3.6.2.1 Načasování aplikací dusíkatého hnojiva

Schopnost rostliny využít aplikovaný dusík se odvíjí od typu hnojiva, načasování jeho aplikace a na počasí během sezóny (Blankenau a kol. 2002).

Optimální hodnoty přístupného dusíku v půdě se mění v čase a také kvůli proměnlivosti půdních vlastností na pozemku (Scharf a kol. 2005).

Je třeba nových strategií pro řešení hnojení plodin dusíkem, aby byla zajištěna lepší efektivita jeho využití a předešlo se jeho pronikání do životního prostředí, a to zejména zlepšením příjmu dusíku pomocí přesné aplikace hnojiv (Shanahan a kol. 2008).

Nejdůležitějším rozhodnutím pro zlepšení využití dusíku rostlinami je jeho optimální dávka dodaná ve správnou dobu. Dávka dusíku musí zohlednit typ půdy, osevní postup na daném pozemku a množství dusíku v půdě. Načasování aplikace musí zohlednit aktuální povětrnostní podmínky. Bohužel tyto faktory je téměř nemožné přesně predikovat, a to představuje velkou výzvu pro zemědělce (Alcoz a kol. 1993).

3.6.2.2 Šlechtění

Šlechtění je jednou z hlavních metod zvýšení výnosnosti jarního ječmene. Významným zvýšením produktivity odrůd díky šlechtění bylo dosaženo v Rakousku (Grausgruber a kol. 2002), Norsku (Lillemo a kol. 2009), České republice (Psota a kol. 2009) a Německu (Laidig a kol. 2017).

V podmínkách klimatické změny, ale není nutné soustředit se jen na vysoký výnos, ale i na odrůdy odolné vůči změnám prostředí (Macholdt a Honermeier 2016)

Hlavním problémem pro zvýšení odolnosti nových odrůd je interakce mezi genotypem a prostředím (Hill 1975).

Interakce mezi genotypem a prostředím je součástí fenotypové variability, která se projevuje jako důsledek nesouladu mezi genetickou výbavou a podněty, kterým je rostlina vystavena. Z toho důvodu genotyp, který je výhodný v jednom prostředí nemusí být výhodný v prostředí jiném (Malosetti a kol. 2013).

Vyhledávání rysů zodpovědných za lepší účinnost využití dusíku je možnou cestou k usnadnění šlechtění. Výzkum více znaků současně může poskytnout další znalosti o výhodných vlastnostech a zvážit kompromisy mezi jednotlivými vlastnostmi (Asplund a kol. 2016).

3.7 Distribuce dusíku v rostlinách

Jednou ze složek produkce rostlin je jejich schopnost přijímat, transportovat a ukládat asimiláty. Nejdůležitější asimiláty pro tvorbu výnosu obilnin se tvoří v období plnění obilek. Tyto asimiláty se tvoří v klasu a transportovány jsou také z praporcového listu. Oba tyto orgány se podílejí na plnění zrn stejnou mírou. Klíčová je proto dobrá kondice těchto orgánů. Na to je zaměřeno šlechtění i ochrana proti chorobám a škůdcům (Diviš a kol. 2010).

Dusík se nejprve hromadí ve vegetativních orgánech rostlin a poté je transportován do zrna, přičemž současně dochází ke stárnutí těchto vegetativních orgánů. To u monokarpických druhů snižuje fotosyntézu a nepřímo snižuje schopnost kořenů nadále přijímat dusík. To má za následek postupné odumření vegetativních orgánů (Triboi a Triboi-Blondel 2002).

3.7.1 Faktory ovlivňující využívání a distribuci dusíku rostlinami

Faktory, které nejvíce ovlivňují využívání a distribuci dusíku jsou: schopnost rostliny přijímat dusík, koncentrace dusíku v blízkosti kořenů, množství vody v půdě a potenciál produkce sušiny (Soares a Lewis 1986).

Dalšími faktory jsou povětrnostní podmínky, půdní podmínky a agrotechnika (Papakosta a Gagianas 1991).

Hnojení fosforem a draslíkem pozitivně ovlivňuje obsah dusíku v rostlinách (Benbi a Biswas 1997).

3.7.2 Proces translokace dusíku

Hlavní složkou floemové a xylemové mízy jsou volné aminokyseliny. Během vegetace byly naměřeny osmkrát vyšší koncentrace floémových aminokyselin oproti koncentraci dusičnanových iontů. Až 50 % z těchto aminokyselin jsou tvořeny kyselinou asparagovou a kyselinou glutamovou (Hayashiand a Chino 1986).

Během stárnutí listů se koncentrace kyseliny asparagové a kyseliny glutamové snižují a hlavní aminokyselinou ve floemu se stává glutamin (Simpson a Dalling 1981).

Tento mechanismus je součástí strategie pro remobilizaci dusíku během růstu generativních orgánů a teoreticky má možnost využití pro zlepšení využitelnosti dusíku. V procesu dozrávání se bílkoviny ve vegetativních orgánech rozkládají, aby byly využitelné pro plnění zrna. Toto rozkládání je katalyzováno širokou řadou enzymů např. peptidhydrolazou (Ryan 1973). Existují dvě hlavní třídy enzymů, které se podílejí na rozkladu bílkovin, a to endopeptidázy a exopeptidázy (Waters a kol. 1980).

3.7.2.1 Úloha kořenového systému v distribuci dusíku

Hnojení dusíkem ovlivňuje růst a celkový rozvoj kořenového systému. To má pak vliv i na celkové množství dusíku v rostlinách (Forde 2002).

Rozložení minerálního dusíku v půdním profilu není rovnoměrné. Obecně je vyšší obsah v horních vrstvách půdy oproti vrstvám spodním. Může to být způsobeno lepšími podmínkami pro mineralizaci organické hmoty blíže povrchu. Obecně se však předpokládá, že hustší a hlubší kořenový systém je důležitým předpokladem pro vyšší příjem dusíku z prostředí a zároveň představuje možnost omezení vyplavování dusičnanů (King a kol. 2003).

Obecnou tendencí kořenů je více se rozvinout v prostředí bohatém na živiny, a naopak omezit svůj růst v prostředí na živiny chudém. To by mělo rostlinám umožnit částečně reagovat na nerovnoměrné dodání živin (Robinson 1994).

Naopak jisté studie prokázaly, že vyšší dostupnost dusíku v půdě nemá pozitivní vliv na větvení a hloubku zakořenění (Svoboda a Haberle 2006).

3.7.2.2 Úloha listů v distribuci dusíku

Celkový růst plodin závisí na vztahu mezi fotosyntézou listů a rozdělení dusíku mezi listy. Dále pak na umístění a expozici listů stejně tak na jejich schopnosti zachycovat dopadající světlo (Sinclair a Shiraiwa 1993).

Byla pozorována nejednotná distribuce dusíku v listech rostlin. Jednotlivé listy se nacházejí v různých světelných podmínkách v různých částech dne i s ohledem na jejich zastínění jinými listy. Obsah dusíku se mění rovněž se stárnutím listů (Grindlay 1997).

3.7.3 Zlepšení příjmu a translokace dusíku

Zlepšení příjmu a následné translokace dusíku v rostlinách je zásadní pro zajištění kvality rostlinných produktů a ochrany environmentálních zájmů. Příjem a akumulace dusíku jsou

hlavními složkami cyklu dusíku v agrosystému. Dusík, který není fixován plodinou může být vyplaven do podzemních vod, zejména jedná-li se o dusík ve formě dusičnanových iontů. Klíčovou otázkou zůstává, který proces je možné zlepšit. Rostliny jsou vystaveny komplexním podmínkám prostředí, konkurenci o světlo, prostor, živiny i vodu a je tedy nutné vyhodnotit důsledky jednotlivých procesů jak na jednotlivé rostliny, tak i na celý porost plodiny (Gastal a Lemaire 2002).

Díky vzrůstající koncentraci CO₂ v atmosféře je do budoucna očekávána vyšší role dusíku ve fotosyntéze a tím i dopadu na výnos plodin (Anten a kol. 2004).

Jednou z možností zlepšení translokace dusíku je šlechtění kultivarů, které ukládají dusík do nefotosyntetizujících orgánů např. internodií. To umožňuje celkově větší příjem dusíku a jeho následnou transportaci do zrna, aniž by došlo ke snížení fotosyntetické kapacity listů rostlin (Martre a kol. 2007).

Toto chování je označováno jako tzv. stále zelené chování. To vede ke zpožděnému nástupu stárnutí listů a zvýšenému výnosu zrna díky delší tvorbě asimilátů a tím prodloužené době plnění zrna (Borrell a kol. 2001).

Další možností zlepšení translokace dusíku je zlepšení vertikální distribuce dusíku mezi listy. Prozatím teoretické studie ukazují, že maximálního výkonu by fotosyntetický aparát dosáhl, kdyby dusík byl přednostně přidělen osvětleným listům (Field 1983).

To potvrzuje i studie Mooneyho a Gulmona (1979) ve které došli k závěru, že vyšší úroveň fotosyntézy by bylo dosaženo při vertikální distribuci dusíku, která by sledovala světelný gradient na místo rovnoměrného rozdělení dusíku ve všech listech.

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 v České republice 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. 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 pokusy nemají plnou randomizaci. Opakování jsou zajišťována v rámci varianty/bloku. Údaje vyhodnocované v této práci pocházejí ze stanovišť Suchdol a Lukavec.

4.1.1 Hnojení

Hnojení pokusu je založeno na aplikaci shodné dávky dusíku 330 kg/ha za celou rotaci tří plodin na všech variantách, kromě Kontroly. Ta zůstává nehnojená již od roku 1996. Organická hnojiva (chlévkový hnůj, čistírenské kaly, sláma) jsou aplikovány na podzim vždy pouze pod brambory. Pro potřeby pokusu jsou na všechna stanoviště používány kaly ze stejné ČOV, hnůj a sláma pocházejí z jednotlivých pokusných stanic. Minerální hnojiva fosforečná a draselná jsou aplikována ke všem plodinám na podzim. Minerální hnojiva dusíkatá 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 3. Jako dusíkaté minerální hnojivo je používán ledek amonný s vápencem, jako hnojivo fosforečné trojitý superfosfát a jako hnojivo draselné je použita draselná sůl.

4.1.1.1 Kontrola

Varianta Kontrola je nehnojená varianta, sloužící ke srovnání s ostatními variantami pokusu. Nebyla hnojena od založení pokusů, tedy od roku 1996.

4.1.1.2 Kal

Varianta Kal je hnojena kalem z ČOV, a to v dávce odpovídající 330 kg N/ha za rotaci tří plodin. Kal je aplikován na podzim vždy pod brambory. Kal pro pokusná stanoviště Suchdol a Lukavec pochází z jedné ČOV.

4.1.1.3 Hnůj

Varianta Hnůj je hnojena na podzim pod brambory chlévským hnojem, a to v dávce odpovídající 330 kg N/ha za rotaci tří plodin. Hnůj pro pokus pochází vždy z příslušného pokusného stanoviště.

4.1.1.4 Hnůj ½ + N

Varianta Hnůj ½ + N je hnojena poloviční dávkou chlévského hnoje pod brambory. Ozimá pšenice a jarní ječmen jsou pak hnojeny minerálním dusíkem pro dorovnání na stejnou dávku jako ostatní stanoviště, tedy na 330 kg N /ha za rotaci tří plodin. Použitým hnojivem je ledek amonný s vápencem.

4.1.1.5 N

Varianta N je hnojena na úroveň 330 kg N/ha za rotaci tří plodin. Použité hnojivo je ledek amonný s vápencem. K bramborám a jarnímu ječmeni je celá dávka aplikována jednorázově na jaře před setím. U ozimé pšenice je celková dávka N rozdělena na dvě dílčí dávky, a to na regenerační a produkční hnojení.

4.1.1.6 NPK

Varianta NPK je hnojena minerálními hnojivy, a to ledkem amonným s vápencem, draselnou solí a trojitým superfosfátem. Hnojení fosforem a draslíkem probíhá vždy na podzim. Dusík je aplikován k bramborám a jarnímu ječmeni na jaře před setím. U ozimé pšenice je celková dávka N rozdělena na dvě dílčí dávky, a to na regenerační a produkční hnojení.

4.1.1.7 N + sláma

Varianta N + sláma je hnojena dusíkem stejně jako varianta N. K bramborám je na podzim zaorávána ječná sláma v dávce 5 t/ha.

Tabulka 3.: Dávky živin aplikovaných hnojiv v tříletém cyklu (kg/parcelu)

Varianta	brambory			ozimá pšenice			jarní ječmen		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Kontrola	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kal	330	201	55	0	0	0	0	0	0
Hnůj	330	118	374	0	0	0	0	0	0
Hnůj 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 Pěstované odrůdy

V roce 2017 byla pěstována odrůda Xanadu, ale v důsledku úbytku množitelských ploch této odrůdy bylo stále těžší zajistit dostatek osiva pro další roky. V roce 2018 tedy došlo ke změně a novou pěstovanou odrůdou se stala novější odrůda Francin. Snahou bylo vybrat plastickou odrůdu s podobnými parametry jako odrůda Xanadu.

4.1.2.1 Odrůda Xanadu

Je sladovnická odrůda s výběrovou sladovnickou jakostí, preferovaná některými sladovnicemi. Rostliny středně vysoké. Zrno středně velké. Rizikem je menší odolnost proti napadení rzí ječnou, menší odolnost proti napadení komplexem hnědých skvrnitostí, menší odolnost proti poléhání a nízký výnos předního zrna v obou variantách pěstování v řepařské a obilnářské oblasti a v neošetřené variantě v bramborářské oblasti.

Tabulka 4.: Výnos předního zrna v registračních zkouškách ÚKZÚZ v letech 2011–2013

Oblast	Kukuřičná		Řepařská, Obilnářská		Bramborářská	
	Ošetřená	Neošetřená	Ošetřená	Neošetřená	Ošetřená	Neošetřená
Overture	106	98	104	106	113	107
Bojos	107	101	103	100	102	103
Kangoo	100	99	100	100	99	96
Sebastian	97	98	104	101	101	99
Xanadu	96	101	93	97	96	97
Tocada	100	102	101	102	101	104

Výnos v % je uveden na průměr kontrolních odrůd Kangoo, Bojos, Sebastian, Xanadu, Tocada

4.1.2.2 Odrůda Francin

Je sladovnická odrůda. Je doporučena Výzkumným ústavem pivovarským a sladařským pro výrobu piva s CHZO „České pivo“. Rostliny středně vysoké. Zrno středně velké. Odrůda středně odolná proti napadení padlím travním na listu. Předností je střední odolnost proti poléhání. Rizikem je menší odolnost proti napadení rhynchosporiovou skvrnitostí.

Tabulka 5.: Významné hospodářské vlastnosti odrůdy Francin v kontextu ostatních odrůd doporučených na České pivo (data ÚKZÚZ, 2011-2014)

Oblast	Kukuřičná		Řepařská		Obilnářská		Bramborářská	
	Ošetřená	Neošetřená	Ošetřená	Neošetřená	Ošetřená	Neošetřená	Ošetřená	Neošetřená
Blaník	103	93	103	93	113	96	109	96
Bojos	107	101	107	99	114	102	114	101
Francin	105	97	108	101	117	101	112	98
Laudis 550	108	101	107	100	112	98	112	102
Malz	108	98	103	94	111	97	106	97
Petrus	110	101	109	100	116	104	110	98
Vendela	113	104	113	101	121	98	119	99

Relativní hodnoty jsou vztaženy k průměru standardních odrůd (Bojos, Sebastian, Sunshine, Laudis 550 a Vendela) v neošetřené variantě pěstování v dané oblasti

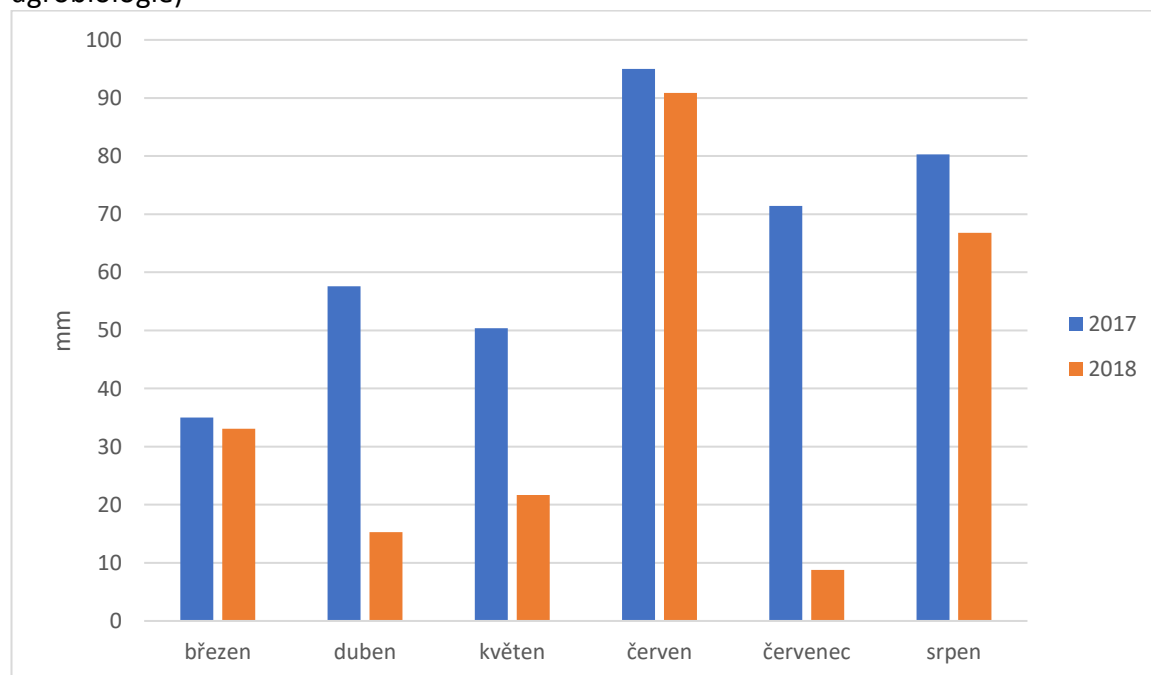
4.1.3 Pokusná stanoviště

4.1.3.1 Suchdol

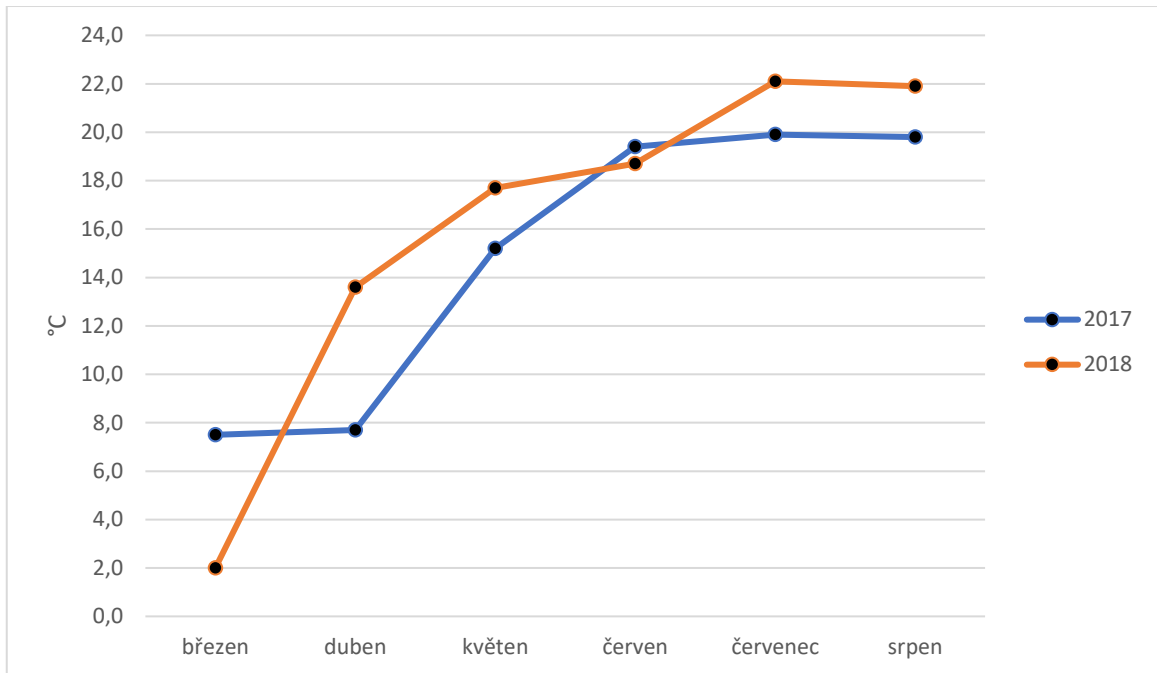
Úhrny srážek za jednotlivé měsíce vegetačních období na stanovišti Suchdol jsou uvedeny v grafu číslo 1.

Průměrná teplota v jednotlivých měsících vegetačních období na stanovišti Suchdol je uvedena v grafu 2.

Graf 1.: Srážky na stanovišti Suchdol v roce 2017 a 2018 (mm) (údaje z meteostanice agrobiologie)



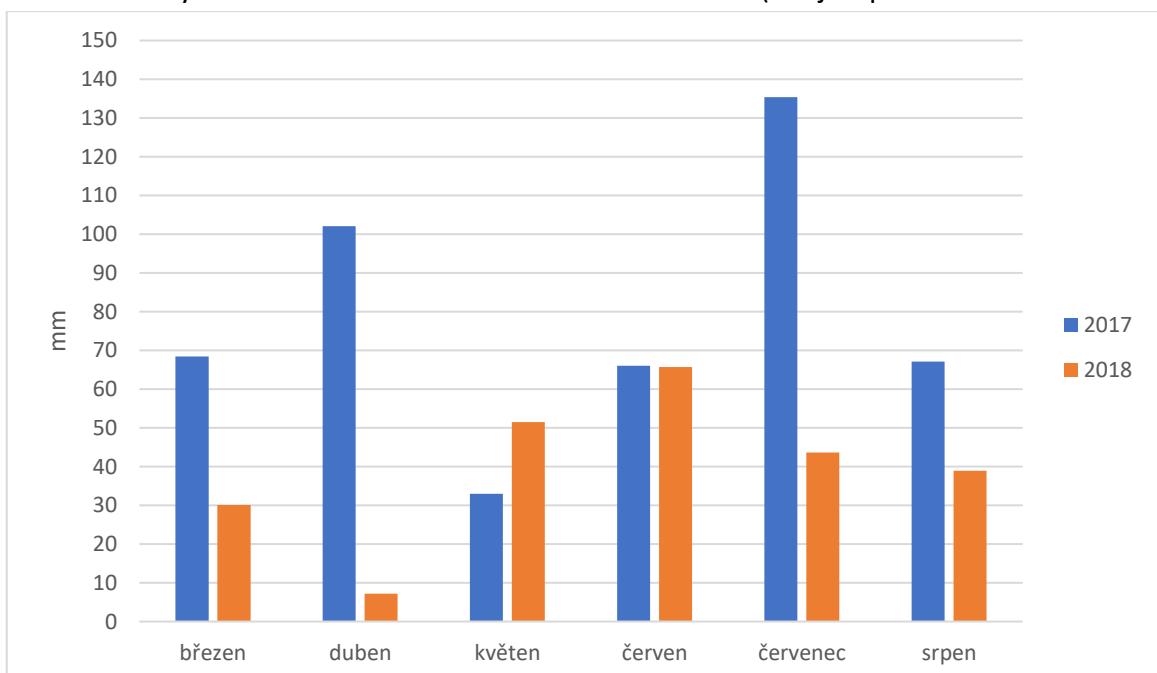
Graf 2.: Průměrná teplota na stanovišti Suchdol v roce 2017 a 2018 (°C) (údaje z meteostanice agrobiologie)



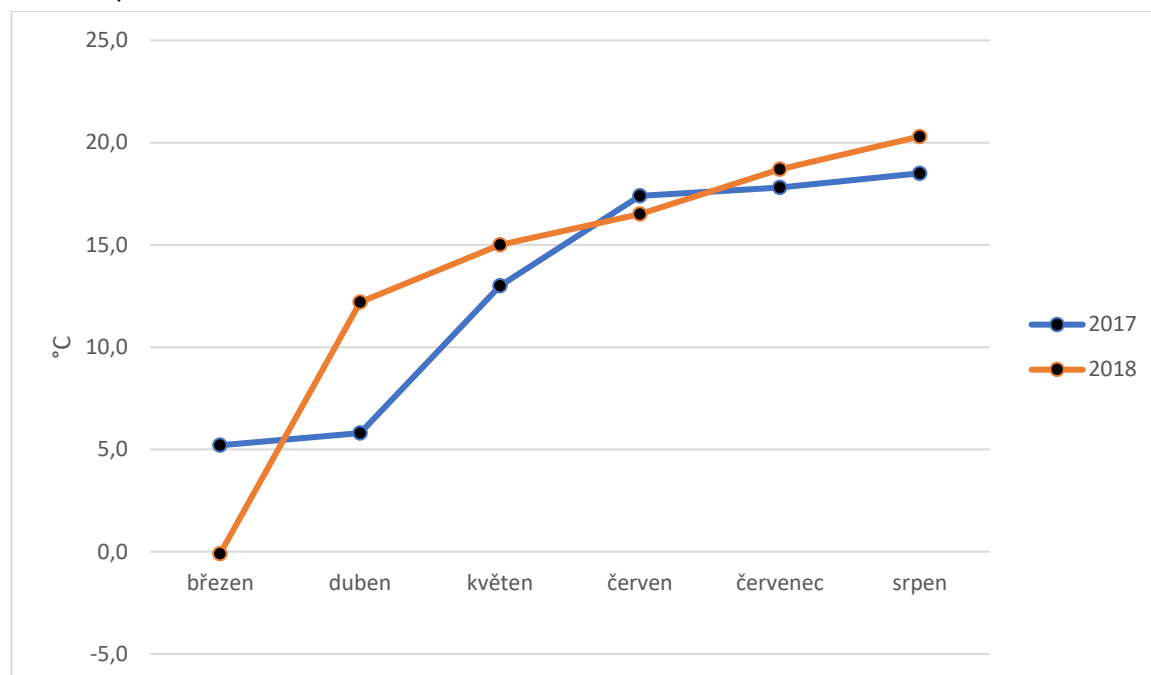
Suchdol je městská čtvrť na severozápadu Prahy. Pokusné stanoviště se nachází na okraji areálu ČZU. Přesné souřadnice pozemku jsou 50°7'40"N, 14°22'33"E. Pokusné stanoviště leží v nadmořské výšce 286 m. n. m. Průměrná roční teplota je 9,1 °C. Úhrn průměrných ročních srážek je 493 mm. Půdním typem je modální černozem. Půdní druh je hlinito-písčitý. Hodnota půdní reakce je 7,5. Pokusné stanoviště se nachází v řepařské výrobní oblasti.

4.1.3.2 Lukavec

Graf 3.: Srážky na stanovišti Lukavec v letech 2017 a 2018 (údaje z pokusné stanice Lukavec)



Graf 4.: Průměrná teplota na stanovišti Lukavec v letech 2017 a 2018 (údaje z pokusné stanice Lukavec)



Úhrny srážek za jednotlivé měsíce vegetačních období na stanovišti Lukavec jsou uvedeny v grafu číslo 3.

Průměrná teplota v jednotlivých měsících vegetačních období na stanovišti Suchdol je uvedena v grafu 4.

Městys Lukavec se nachází v okrese Pelhřimov v kraji Vysočina. Přesné souřadnice pokusného pozemku jsou 49°33'23"N, 14°58'39"E. Pokusné stanoviště leží v nadmořské výšce 610 m. n. m. Průměrná roční teplota je 7,7 °C. Úhrn průměrných ročních srážek je 666 mm. Půdním typem je oglejená kambizem. Půdní druh je hlinito-písčitý. Hodnota půdní reakce na je 4,3. Pokusné stanoviště se nachází v bramborářské výrobní oblasti.

Tabulka 6.: Kationtová výměnná kapacita a obsah živin v půdě (Kulhánek a kol. 2014)

Stanoviště	KVK (mmol ⁽⁺⁾ /kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Ca (mg/kg)
Suchdol	230	91	230	240	9000
Lukavec	128	124	213	80	1100

4.2 Zpracování a vyhodnocení vzorků

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 2016/2017, 2017/2018.

Vzorky byly sklizeny maloparcelovou sklízecí mlátičkou a průběžně byly odebírány vzorky zrna a slámy pro další analýzy.

Vzorky byly po sklizni vysušeny 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.

4.2.1 Stanovení výnosu

Výnos byl stanoven přepočítáním skutečného zjištěného výnosu na 100 % sušinu. Výnos byl dále dopočítán ze zjištěného výnosu na maloparcele na t/ha.

4.2.2 Stanovení obsahu dusíku

Ke stanovení obsahu dusíku v zrně a slámě byla využita analytická Kjeldahlova metoda (Kupetz a kol. 2018). Touto metodou byl stanoven celkový obsah dusíku jak v zrně, tak i ve slámě jarního ječmene. Celý proces stanovení obsahu dusíku se skládá ze tří základních fází: mineralizace, destilace a titrace. Nejprve byl navážen vzorek o hmotnosti 0,5 g. K naváženému vzorku byl přidán katalyzátor a koncentrovaná kyselina sírová. Vzorek byl poté zahříván a organicky vázaný dusík v rostlinné hmotě byl při oxidaci v prostředí koncentrované kyseliny sírové převeden na amoniak, který reagoval s kyselinou sírovou za vzniku síranu amonného. Zmineralizovaný vzorek byl následně destilován vodní párou. V této fázi docházelo k uvolnění dusíku v podobě amoniaku, ten byl jímán v přebytku titračního roztoku kyseliny borité. Skutečný obsah dusíku byl stanoven zpětnou acidobazickou titrací kyselinou chlorovodíkovou. Proces titrace a destilace byl proveden automaticky pomocí přístroje Vapodest 50s, který stanovil obsah dusíku a výsledky z jednotlivých měření zpracoval a uložil.

4.2.3 Stanovení odběru dusíku

Odběr dusíku byl spočítán jako celkový obsah dusíku v nadzemní biomase. Tedy násobením výnosu zrna a slámy v t/ha, s korespondujícím obsahem dusíku v procentech a sečtením těchto dvou hodnot. Výslednou hodnotou je odběr dusíku v kg/ha.

4.3 Efektivita využití dusíku

Efektivita využití dusíku byla počítána jako odběr dusíku na hnojené variantě v porovnání s odběrem dusíku na nehnojené variantě a ve vztahu k aplikované dávce dusíku. U variant Kal a Hnůj bylo počítáno ve třetím roce, tedy při pěstování jarního ječmene, s využitím 5 % z celkového dodaného dusíku, tedy 16,5 kg (Buráňová a kol. 2014).

$$\frac{\text{odběr dusíku na hnojené variantě} - \text{odběr dusíku na nehnojené variantě}}{\text{dávka dusíku na hnojené variantě}} * 100$$

5 Výsledky

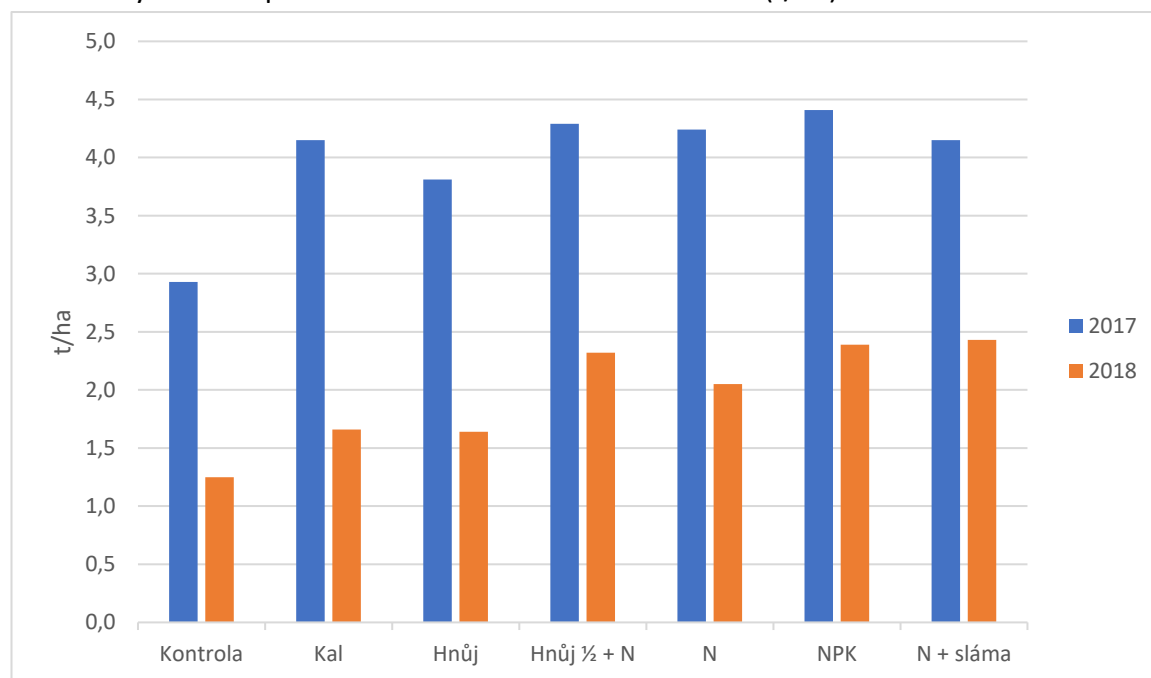
Relativní hodnoty v grafech jsou uváděny z důvodu lepší vizualizace srovnání mezi lety a pro snadnější posouzení vlivu systému hnojení.

5.1 Výnos zrna

5.1.1 Suchdol

Výnos zrna v t/ha dokumentuje graf 9. Na stanovišti Suchdol se výnos zrna u hnojených variant pohybuje v rozsahu od 1,64 do 4,41 t/ha. U variant hnojených organicky se výnos pohybuje v rozsahu od 1,64 do 4,15 t/ha. U variant hnojených minerálně se výnos pohybuje v rozsahu od 2,05 do 4,41 t/ha. U variant hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv se výnos pohybuje v rozsahu od 2,32 do 4,29 t/ha. Nejvyššího výnosu v roce 2017 dosáhla varianta NPK s výnosem 4,41 t/ha a v roce 2018 varianta N + sláma s výnosem 2,43 t/ha. Nejnižšího výnosu v roce 2017 dosáhla varianta hnůj s výnosem 3,81 t/ha a v roce 2018 varianta hnůj s výnosem 1,64 t/ha. Na všech hnojených variantách bylo dosaženo vyššího výnosu než na variantě Kontrola.

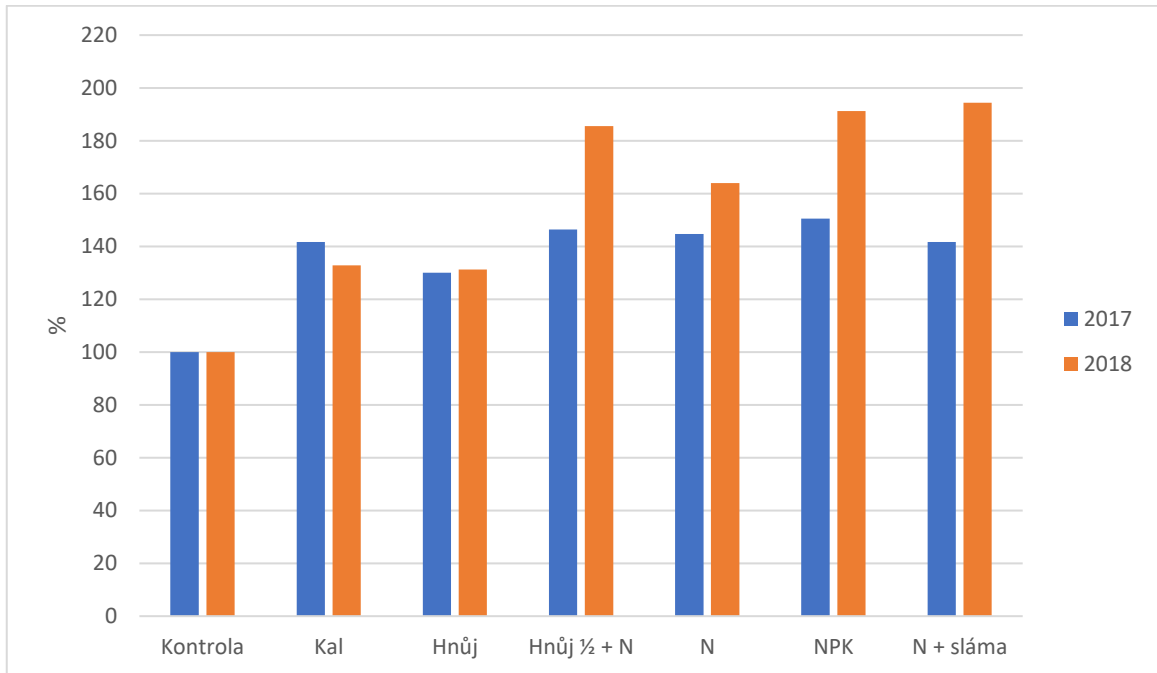
Graf 5.: Výnos zrna při 100 % sušině na stanovišti Suchdol (t/ha)



Výnos zrna v procentech vztažený ke kontrole dokumentuje graf 10. Na stanovišti Suchdol se výnos zrna u hnojených variant pohybuje v rozsahu od 130,03 % do 194,4 % kontroly. U variant hnojených organicky se výnos pohybuje v rozsahu od 130,3 % do 141,64 % kontroly. U variant hnojených minerálně se výnos pohybuje v rozsahu od 144,71 % do 191,2 % kontroly. U variant hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv se výnos pohybuje v rozsahu od 141,64 % do 194,4 % kontroly. Nejvyššího výnosu oproti kontrole dosáhla v roce 2017

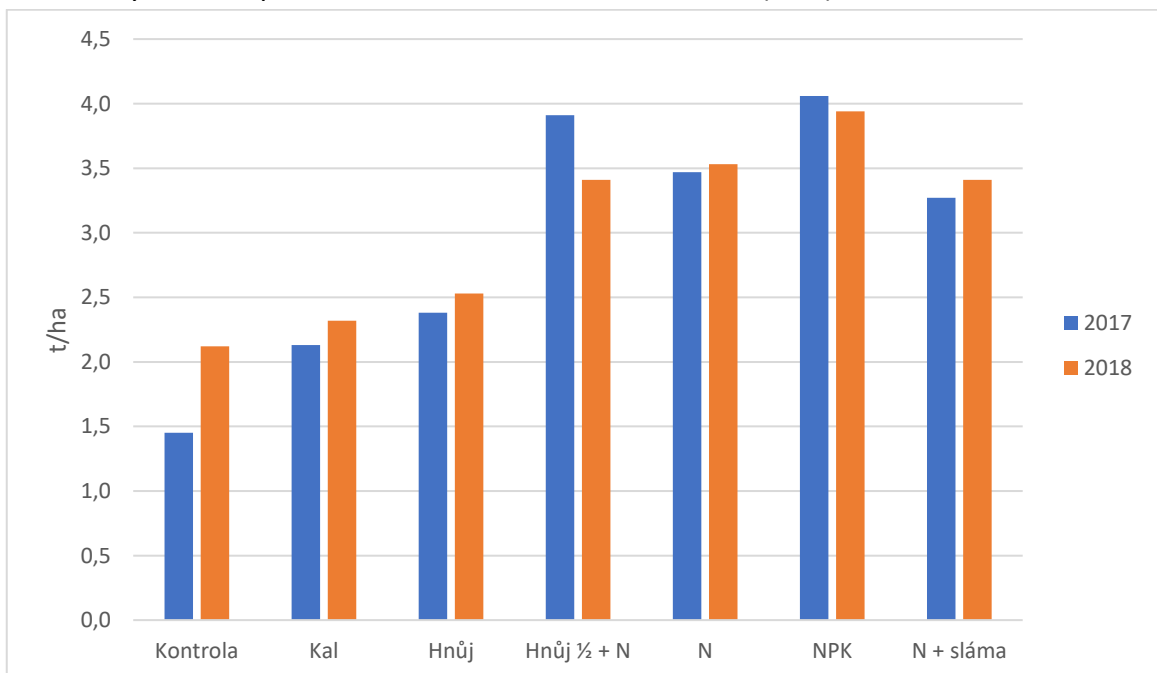
varianta NPK s výnosem 151,51 % a v roce 2018 varianta N + sláma s výnosem 194,4 %. Nejnižšího výnosu oproti kontrole dosáhla v roce 2017 varianta hnůj s výnosem 130,3 % a v roce 2018 varianta hnůj s výnosem 131,2 %.

Graf 6.: Relativní výnos zrna ve 100 % sušíně vztažený ke kontrole (100 %) na stanovišti Suchdol (%)



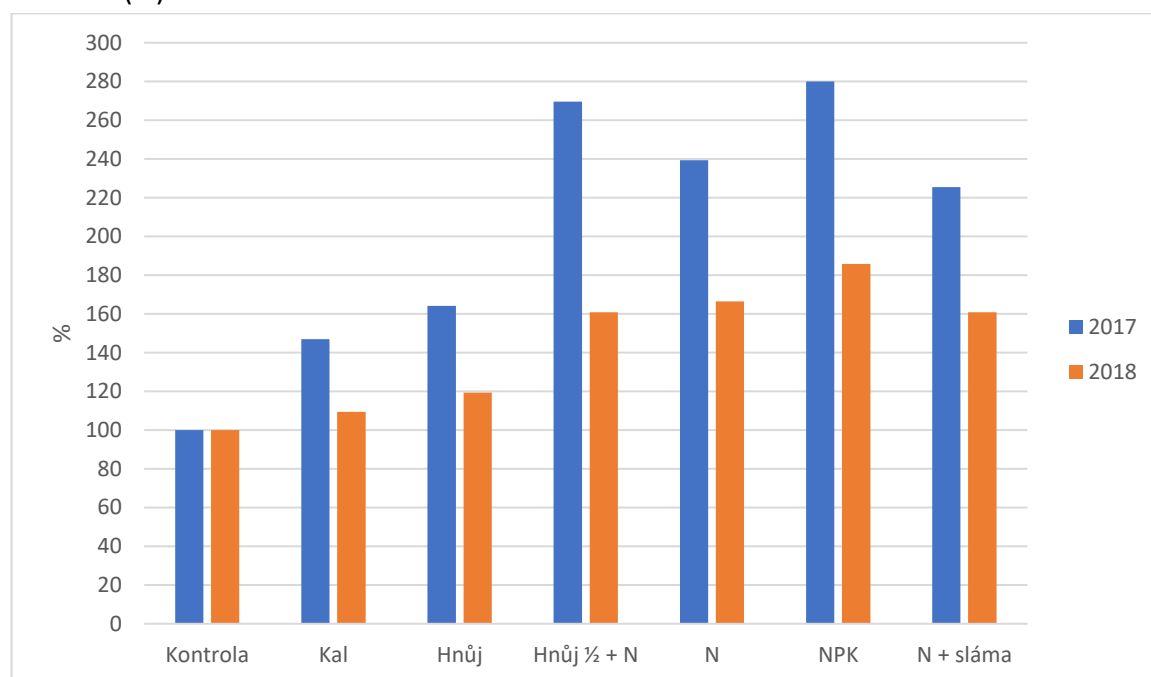
5.1.2 Lukavec

Graf 7.: Výnos zrna při 100 % sušíně na stanovišti Lukavec (t/ha)



Výnos zrna v t/ha dokumentuje graf 11. Na stanovišti Lukavec se výnos zrna u hnojených variant pohybuje v rozsahu od 2,13 do 4,06 t/ha. U variant hnojených organicky se výnos pohybuje v rozsahu od 2,13 do 2,53 t/ha. U variant hnojených minerálně se výnos pohybuje v rozsahu od 3,47 do 4,06 t/ha. U variant hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv se výnos pohybuje v rozsahu od 3,27 do 3,91 t/ha. Nejvyššího výnosu v roce 2017 dosáhla varianta NPK s výnosem 4,06 t/ha a v roce 2018 varianta NPK s výnosem 3,94 t/ha. Nejnižšího výnosu v roce 2017 dosáhla varianta Kal s výnosem 2,13 t/ha a v roce 2018 varianta Kal s výnosem 2,32 t/ha. Na všech hnojených variantách bylo dosaženo vyššího výnosu než na variantě Kontrola.

Graf 8.: Relativní výnos zrna ve 100 % sušině vztažený ke kontrole (100 %) na stanovišti Lukavec (%)



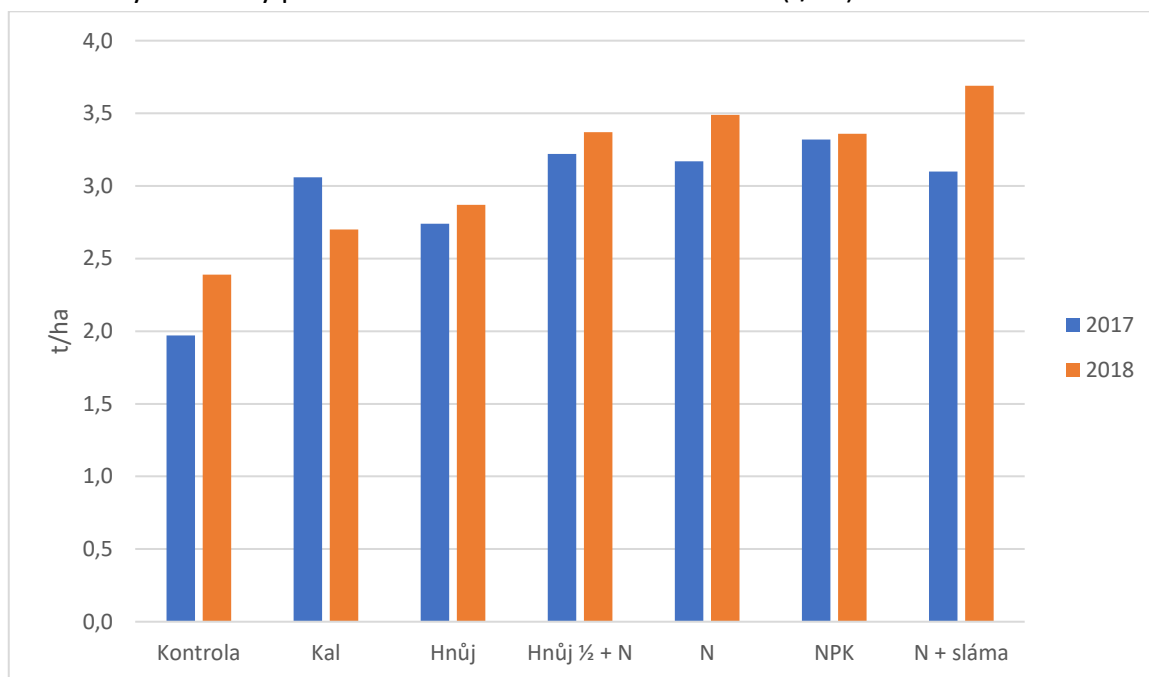
Výnos zrna v procentech vztažený ke kontrole dokumentuje graf 12. Na stanovišti Lukavec se výnos zrna u hnojených variant pohybuje v rozsahu od 109,43 % do 280 % kontroly. U variant hnojených organicky se výnos pohybuje v rozsahu od 109,43 % do 164,14 % kontroly. U variant hnojených minerálně se výnos pohybuje v rozsahu od 166,51 % do 280 % kontroly. U variant hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv se výnos pohybuje v rozsahu od 160,85 % do 269,66 % kontroly. Nejvyššího výnosu oproti kontrole dosáhla v roce 2017 varianta NPK s výnosem 280 % a v roce 2018 varianta NPK s výnosem 185,85 %. Nejnižšího výnosu oproti kontrole dosáhla v roce 2017 varianta Kal s výnosem 146,9 % a v roce 2018 varianta Kal s výnosem 109,43 %.

5.2 Výnos slámy

5.2.1 Suchdol

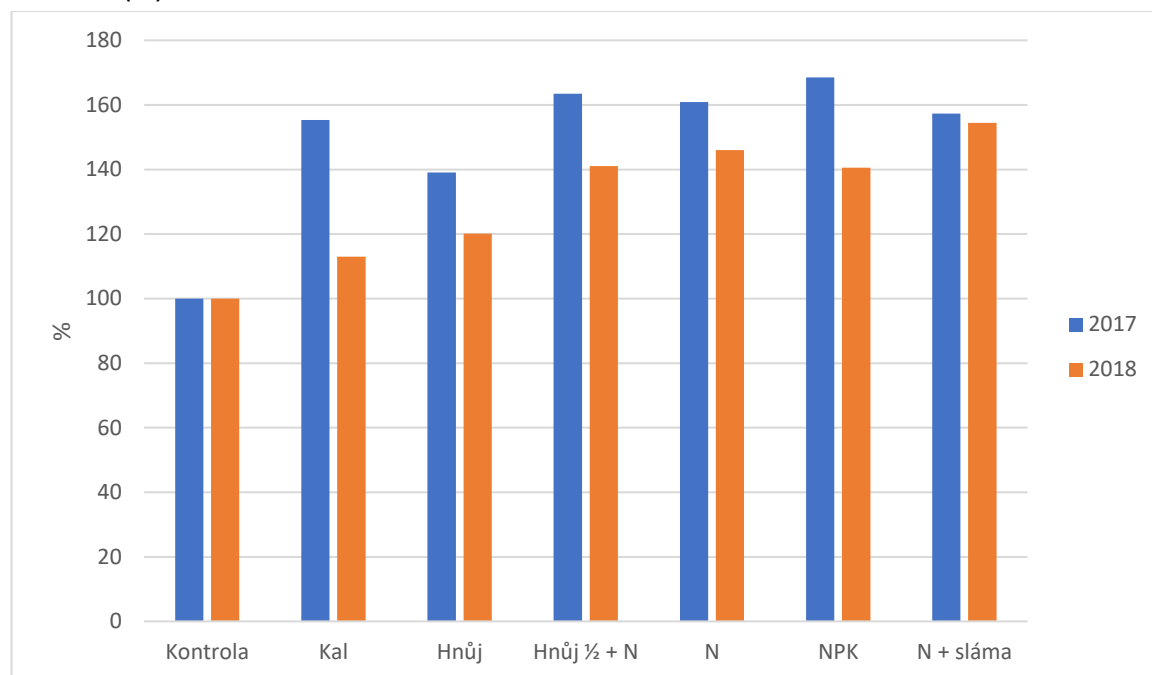
Výnos slámy v t/ha dokumentuje graf 13. Na stanovišti Suchdol se výnos slámy u hnojených variant pohybuje v rozsahu od 2,7 do 3,69 t/ha. U variant hnojených organicky se výnos pohybuje v rozsahu od 2,7 do 3,06 t/ha. U variant hnojených minerálně se výnos pohybuje v rozsahu od 3,17 do 3,49 t/ha. U variant hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv se výnos pohybuje v rozsahu od 3,1 do 3,69 t/ha. Nejvyššího výnosu v roce 2017 dosáhla varianta NPK s výnosem 3,32 t/ha a v roce 2018 varianta N + sláma s výnosem 3,69 t/ha. Nejnižšího výnosu v roce 2017 dosáhla varianta hnůj s výnosem 2,74 t/ha a v roce 2018 varianta Kal s výnosem 2,7 t/ha. Na všech hnojených variantách bylo dosaženo vyššího výnosu než na variantě Kontrola.

Graf 9.: Výnos slámy při 100 % sušíně na stanovišti Suchdol (t/ha)



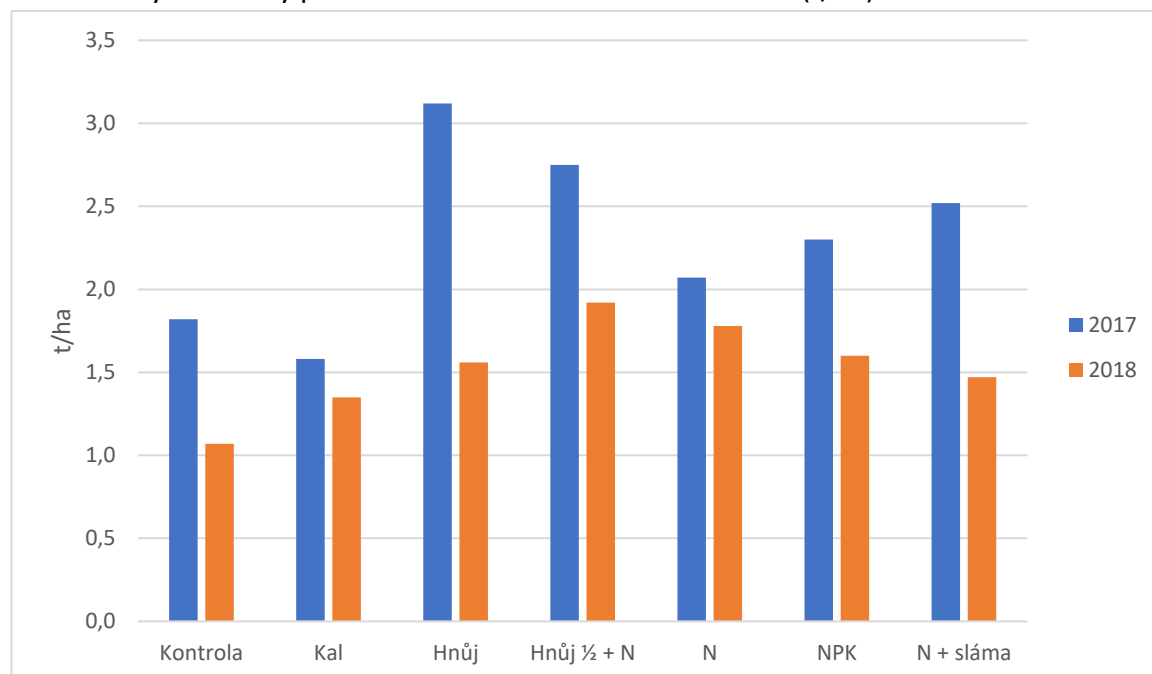
Výnos slámy v procentech vztahený ke kontrole dokumentuje graf 14. Na stanovišti Suchdol se výnos slámy u hnojených variant pohybuje v rozsahu od 112,97 % do 168,53 % kontroly. U variant hnojených organicky se výnos pohybuje v rozsahu od 112,97 % do 155,33 % kontroly. U variant hnojených minerálně se výnos pohybuje v rozsahu od 140,59 % do 168,53 % kontroly. U variant hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv se výnos pohybuje v rozsahu od 141 % do 163,45 % kontroly. Nejvyššího výnosu oproti kontrole dosáhla v roce 2017 varianta NPK s výnosem 168,53 % a v roce 2018 varianta N + sláma s výnosem 154,39 %. Nejnižšího výnosu oproti kontrole dosáhla v roce 2017 varianta hnůj s výnosem 139,09 % a v roce 2018 varianta Kal s výnosem 112,97 %.

Graf 10.: Relativní výnos slámy ve 100 % sušiny vztahovaný ke kontrole (100 %) na stanovišti Suchdol (%)



5.2.2 Lukavec

Graf 11.: Výnos slámy při 100 % sušiny na stanovišti Lukavec (t/ha)

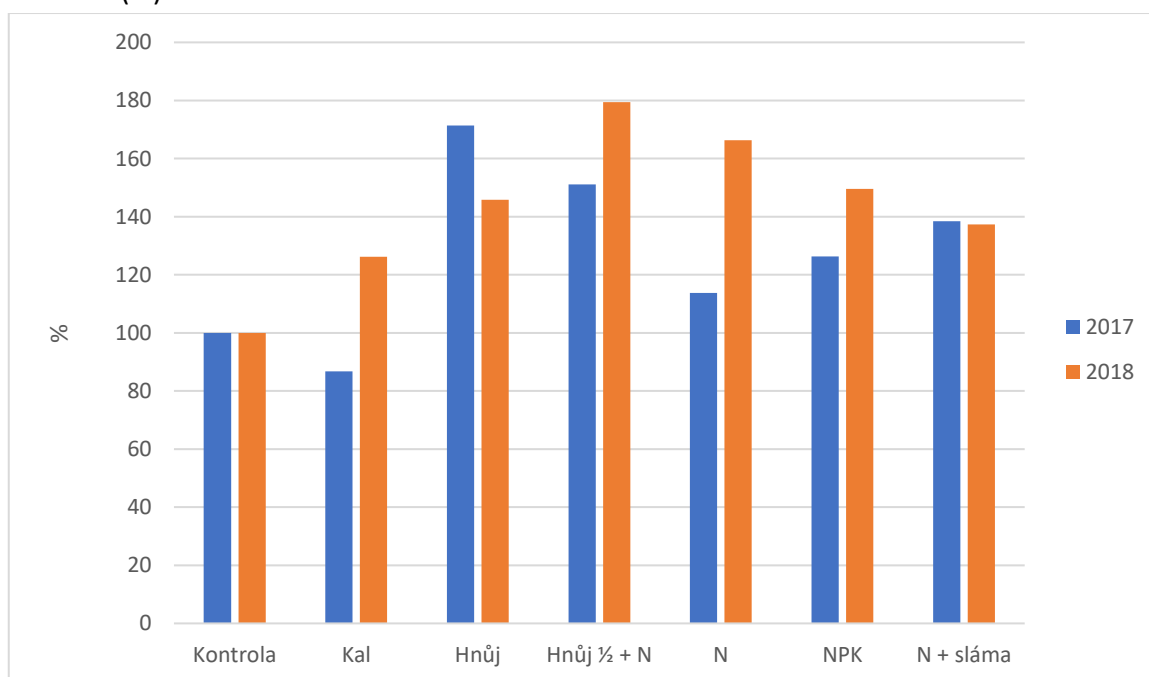


Výnos slámy v t/ha dokumentuje graf 15. Na stanovišti Lukavec se výnos slámy u hnojených variant pohybuje v rozsahu od 1,35 do 3,12 t/ha. U variant hnojených organicky se výnos pohybuje v rozsahu od 1,35 do 3,12 t/ha. U variant hnojených minerálně se výnos pohybuje v rozsahu od 1,6 do 2,3 t/ha. U variant hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv

se výnos pohybuje v rozsahu od 1,47 do 2,75 t/ha. Nejvyššího výnosu v roce 2017 dosáhla varianta hnůj s výnosem 3,12 t/ha a v roce 2018 varianta hnůj ½ + N s výnosem 1,92 t/ha. Nejnižšího výnosu v roce 2017 dosáhla varianta Kal s výnosem 1,58 t/ha a v roce 2018 varianta Kal s výnosem 1,35 t/ha. Na všech hnojených variantách byl vyšší výnos, než na variantě Kontrola, kromě varianty Kal, která v roce 2017 nedosáhla vyššího výnosu.

Výnos slámy v procentech vztažený ke kontrole dokumentuje graf 16. Na stanovišti Lukavec se výnos slámy u hnojených variant pohybuje v rozsahu od 86,81 % do 179,44 % kontroly. U variant hnojených organicky se výnos pohybuje v rozsahu od 86,81 % do 171,43 % kontroly. U variant hnojených minerálně se výnos pohybuje v rozsahu od 113,74 % do 166,36 % kontroly. U variant hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv se výnos pohybuje v rozsahu od 137,38 % do 179,44 % kontroly. Nejvyššího výnosu oproti kontrole dosáhla v roce 2017 varianta hnůj s výnosem 171,43 % a v roce 2018 varianta hnůj ½ + N s výnosem 179,44 %. Nejnižšího výnosu oproti kontrole dosáhla v roce 2017 varianta Kal s výnosem 86,81 % a v roce 2018 varianta Kal s výnosem 126,17 %.

Graf 12.: Relativní výnos slámy ve 100 % sušiny vztažený ke kontrole (100 %) na stanovišti Lukavec (%)



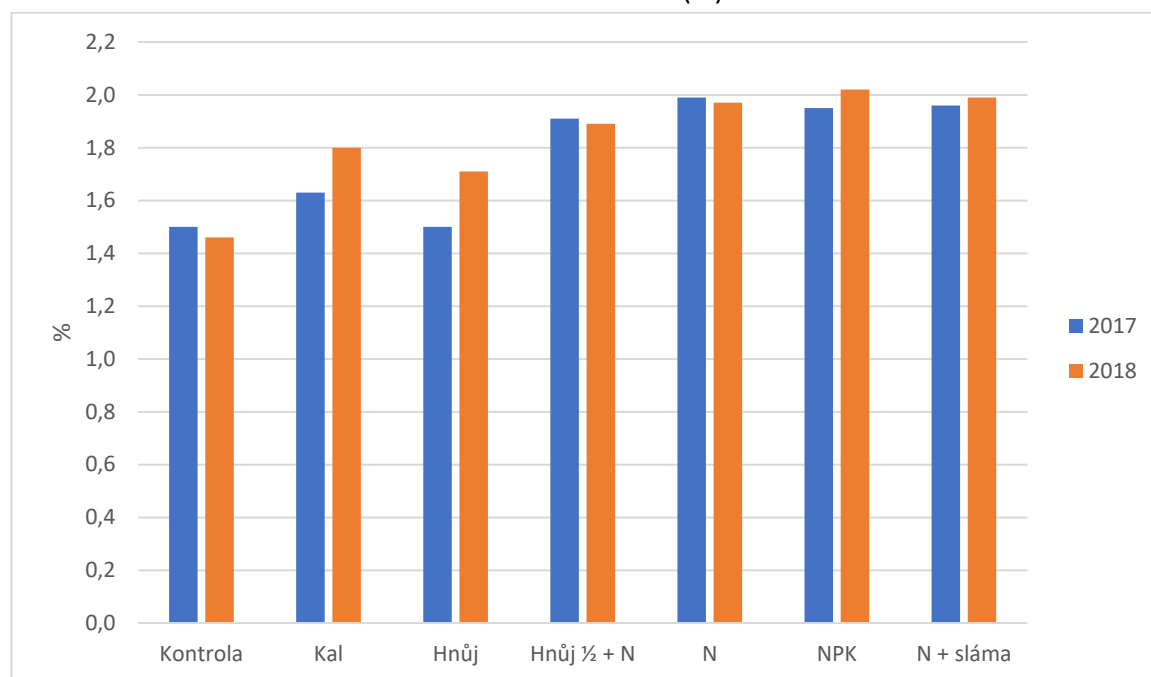
5.3 Obsah dusíku v zru

5.3.1 Suchdol

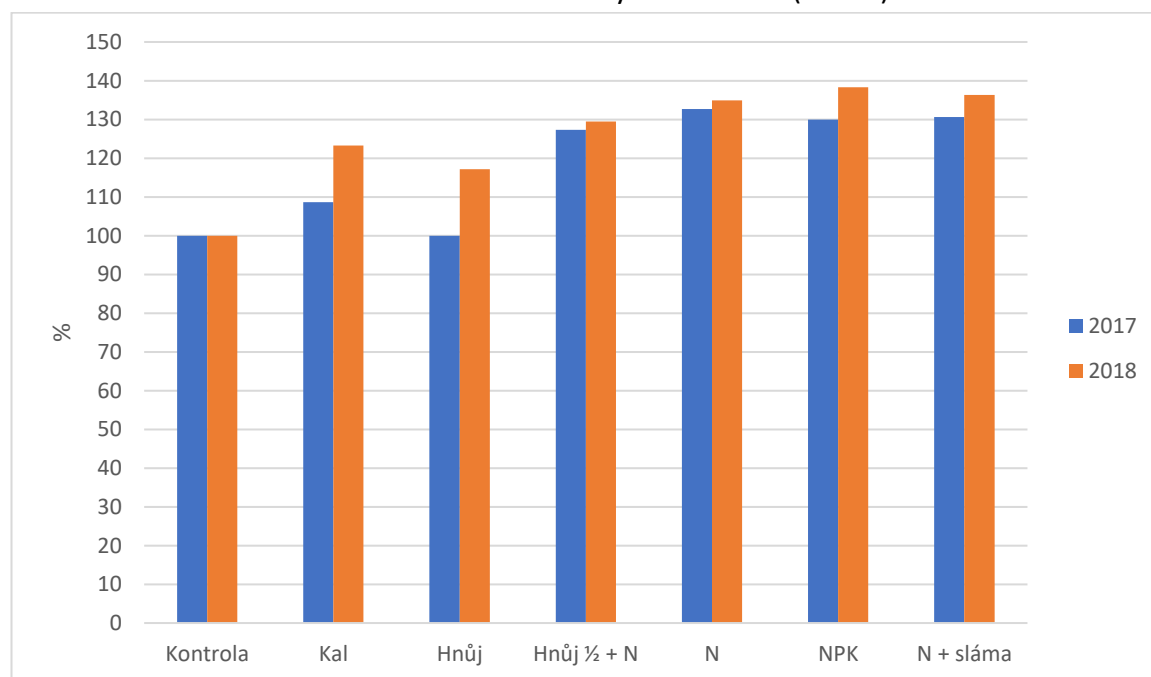
Obsah dusíku v zru v procentech dokumentuje graf 17. Na stanovišti Suchdol se obsah dusíku u hnojených variant pohybuje v rozsahu od 1,5 % do 2,02 %. U variant hnojených organicky se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 1,5 % do 1,8 %. U variant hnojených minerálně se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 1,95 % do 2,02 %. U variant hnojených kombinací

organických a minerálních hnojiv se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 1,89 % do 1,99 %. Nejvyšší obsah dusíku byl v roce 2017 u varianty N a to 1,99 % a v roce 2018 u varianty NPK a to 2,02 %. Nejnižší obsah dusíku byl v roce 2017 u varianty Hnůj a to 1,5 % a v roce 2018 u varianty Hnůj a to 1,71 %. Všechny hnojené varianty ve sledovaných letech měli vyšší obsah dusíku než varianta Kontrola, kromě varianty Hnůj, která v roce 2017 měla stejný obsahu dusíku jako varianta Kontrola.

Graf 13.: Obsah dusíku v zrna na stanovišti Suchdol (%)



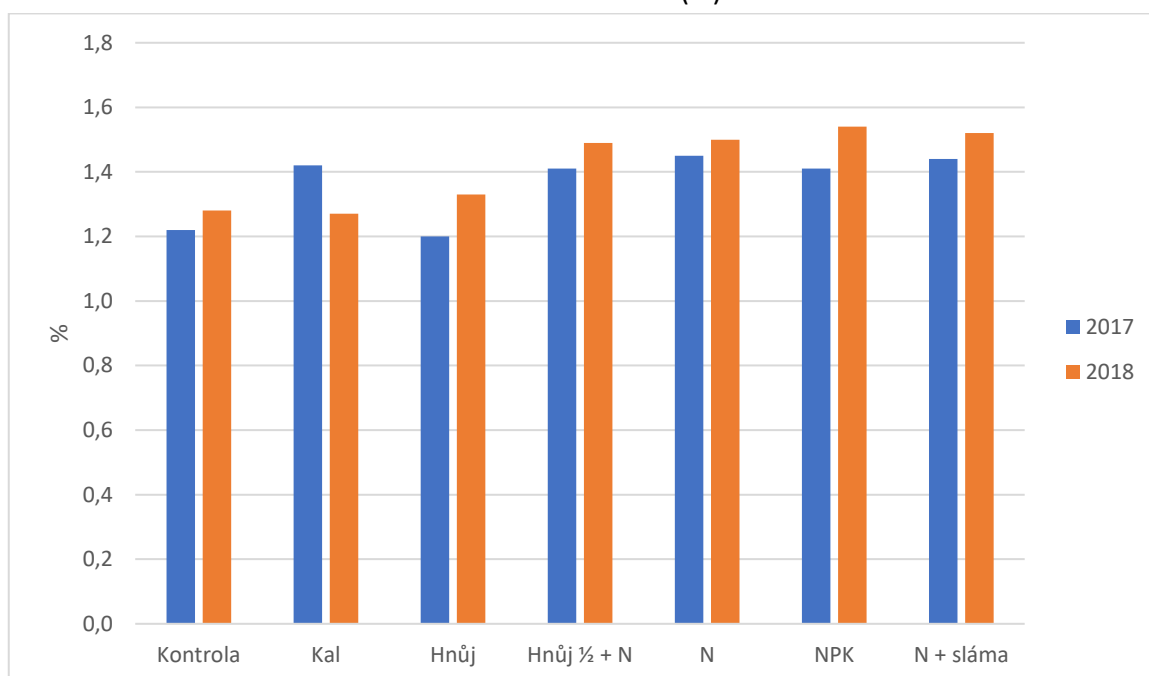
Graf 14.: Relativní obsah dusíku v zrna vztážený ke kontrole (100 %) na stanovišti Suchdol (%)



Obsah dusíku v zrně v procentech vztažený ke kontrole dokumentuje graf 18. Na stanovišti Suchdol se obsah dusíku u hnojených variant pohybuje v rozsahu od 100 % do 138,36 % kontroly. U variant hnojených organicky se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 100 % do 123,29 % kontroly. U variant hnojených minerálně se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 130 % do 138,36 % kontroly. U variant hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 127,33 % do 136,30 % kontroly. Nejvyššího obsahu dusíku oproti kontrole dosáhla v roce 2017 varianta N s obsahem dusíku 132,67 % a v roce 2018 varianta NPK s obsahem dusíku 138,36 %. Nejnižšího obsahu dusíku oproti kontrole dosáhla v roce 2017 varianta Hnůj s obsahem 100 % a v roce 2018 varianta Hnůj s obsahem 117,12 %.

5.3.2 Lukavec

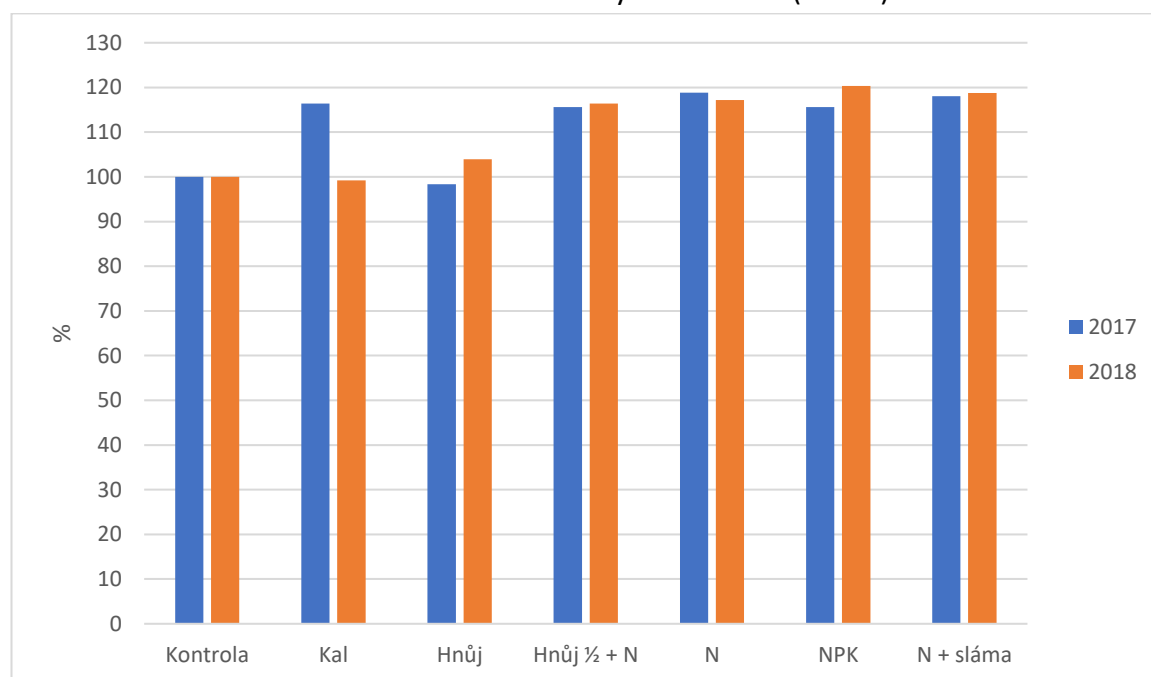
Graf 15.: Obsah dusíku v zrně na stanovišti Lukavec (%)



Obsah dusíku v zrně v procentech dokumentuje graf 19. Na stanovišti Lukavec se obsah dusíku pohybuje u hnojených variant v rozsahu od 1,2 % do 1,54 %. U variant hnojených organicky se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 1,2 % do 1,42 %. U variant hnojených minerálně se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 1,41 % do 1,54 %. U variant hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 1,41 % do 1,52 %. Nejvyšší obsah dusíku byl v roce 2017 u varianty N a to 1,45 % a v roce 2018 u varianty NPK a to 1,54 %. Nejnižší obsah dusíku byl v roce 2017 u varianty Hnůj a to 1,2 % a v roce 2018 u varianty Kal a to 1,27 %. Všechny hnojené varianty ve sledovaných letech měly vyšší obsah dusíku než varianta Kontrola, kromě varianty Hnůj, která v roce 2017 dosáhla menšího obsahu dusíku než Kontrola a varianty Kal, která v roce 2018 dosáhla menšího obsahu dusíku než varianta Kontrola.

Obsah dusíku v zrně v procentech vztahovaný ke kontrole dokumentuje graf 20. Na stanovišti Lukavec se obsah dusíku u hnojených variant pohybuje v rozsahu od 98,36 % do 120,31 % kontroly. U variant hnojených organicky se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 98,36 % do 116,39 % kontroly. U variant hnojených minerálně se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 115,57 % do 120,31 % kontroly. U variant hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 115,57 % do 118,75 % kontroly. Nejvyššího obsahu dusíku oproti kontrole dosáhla v roce 2017 varianta N s obsahem dusíku 118,85 % a v roce 2018 varianta NPK s obsahem dusíku 120,31 %. Nejnižšího obsahu dusíku oproti kontrole dosáhla v roce 2017 varianta Hnůj s obsahem 98,36 % a v roce 2018 varianta Kal s obsahem 116,39 %.

Graf 16.: Relativní obsah dusíku v zrně vztahovaný ke kontrole (100 %) na stanovišti Lukavec (%)

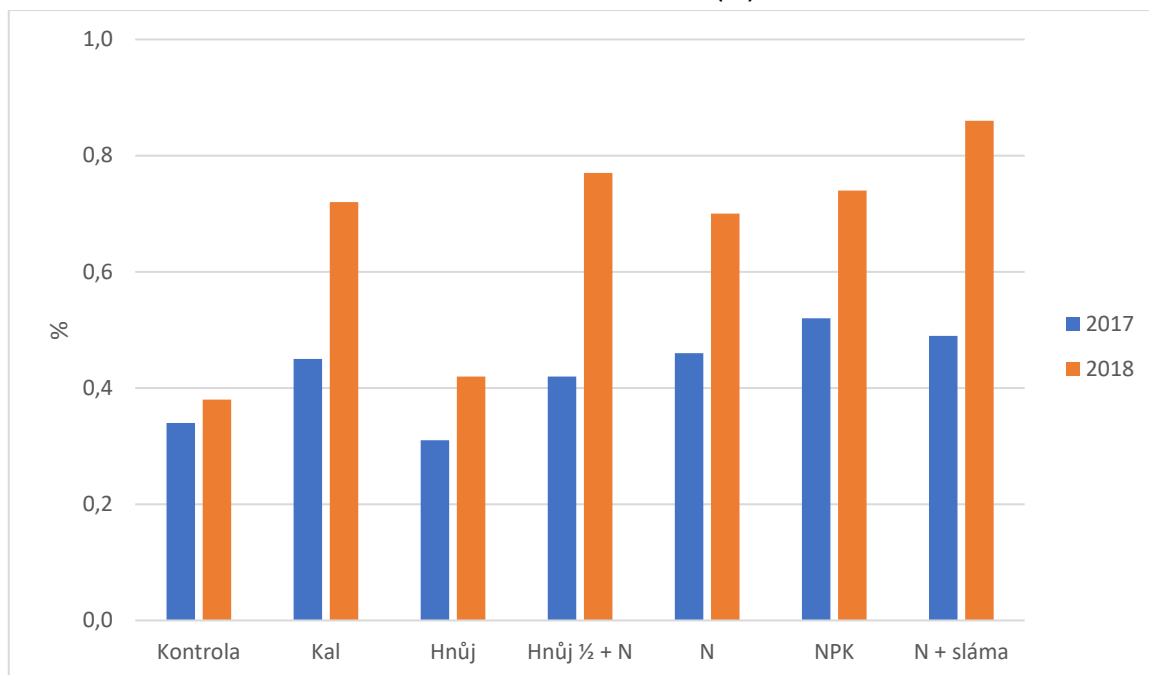


5.4 Obsah dusíku ve slámě

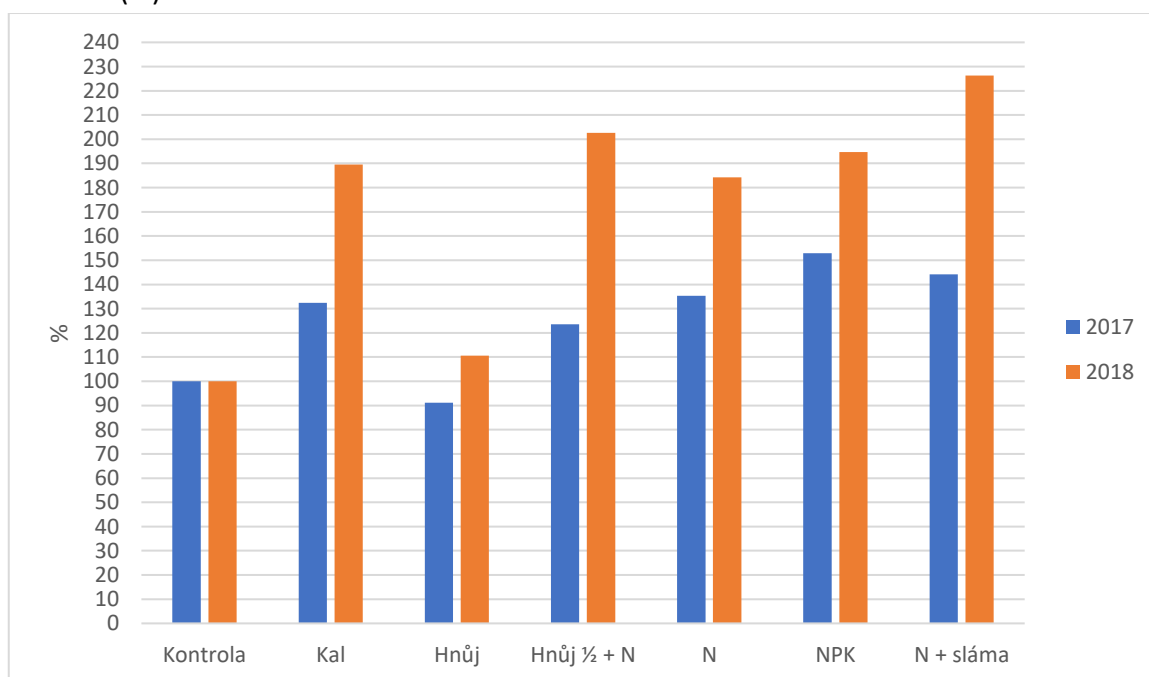
5.4.1 Suchdol

Obsah dusíku ve slámě v procentech dokumentuje graf 21. Na stanovišti Suchdol se obsah dusíku pohybuje u hnojených variant v rozsahu od 0,31 % do 0,86 %. U variant hnojených organicky se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 0,31 % do 0,72 %. U variant hnojených minerálně se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 0,46 % do 0,74 %. U variant hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 0,42 % do 0,86 %. Nejvyšší obsah dusíku byl v roce 2017 u varianty NPK a to 0,52 % a v roce 2018 u varianty N + sláma a to 0,86 %. Nejnižší obsah dusíku byl v roce 2017 u varianty Hnůj a to 0,31 % a v roce 2018 u varianty Hnůj a to 0,42 %. Všechny hnojené varianty ve sledovaných letech měli vyšší obsah dusíku než varianta Kontrola, kromě varianty Hnůj, která v roce 2017 dosáhla menšího obsahu dusíku než varianta Kontrola.

Graf 17.: Obsah dusíku ve slámě na stanovišti Suchdol (%)



Graf 18.: Relativní obsah dusíku ve slámě vztažený ke kontrole (100 %) na stanovišti Suchdol (%)

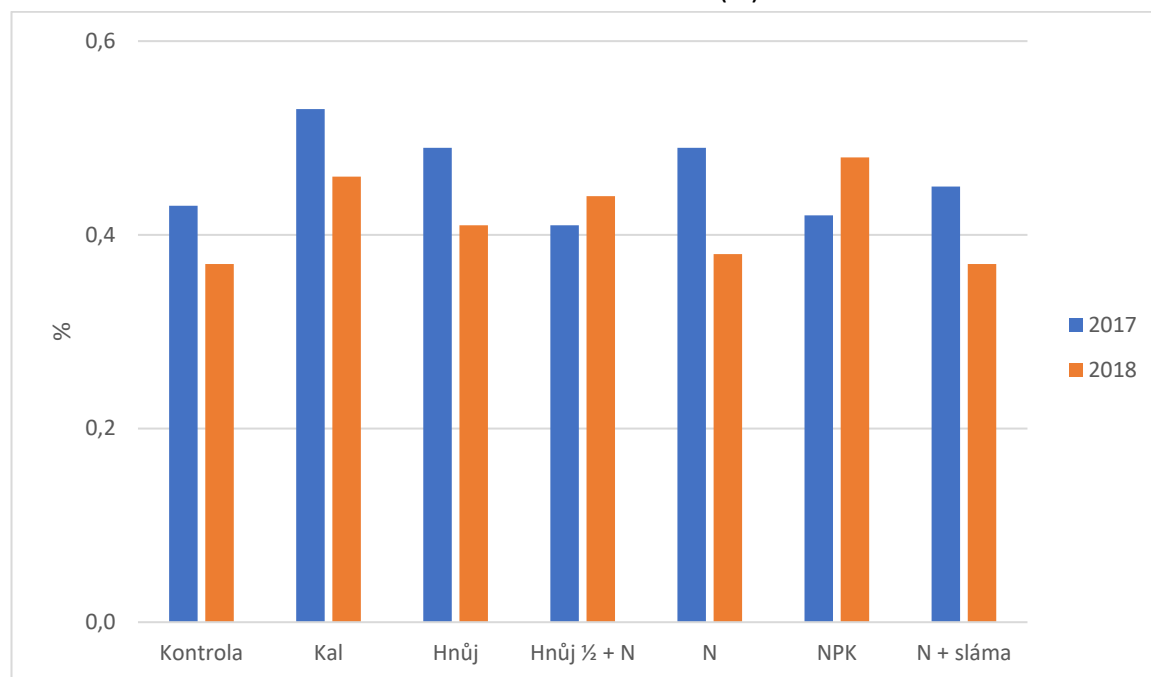


Obsah dusíku ve slámě v procentech vztažený ke kontrole dokumentuje graf 22. Na stanovišti Suchdol se obsah dusíku u hnojených variant pohybuje v rozsahu od 91,18 % do 226,32 % kontroly. U variant hnojených organicky se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 91,18 % do 189,47 % kontroly. U variant hnojených minerálně se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 135,29 % do 194,74 % kontroly. U variant hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 123,53 % do 226,32 % kontroly. Nejvyššího

obsahu dusíku oproti kontrole dosáhla v roce 2017 varianta NPK s obsahem dusíku 152,94 % a v roce 2018 varianta N + sláma s obsahem dusíku 226,32 %. Nejnižšího obsahu dusíku oproti kontrole dosáhla v roce 2017 varianta Hnůj s obsahem 91,18 % a v roce 2018 varianta Hnůj s obsahem 110,53 %.

5.4.2 Lukavec

Graf 19.: Obsah dusíku ve slámě na stanovišti Lukavec (%)

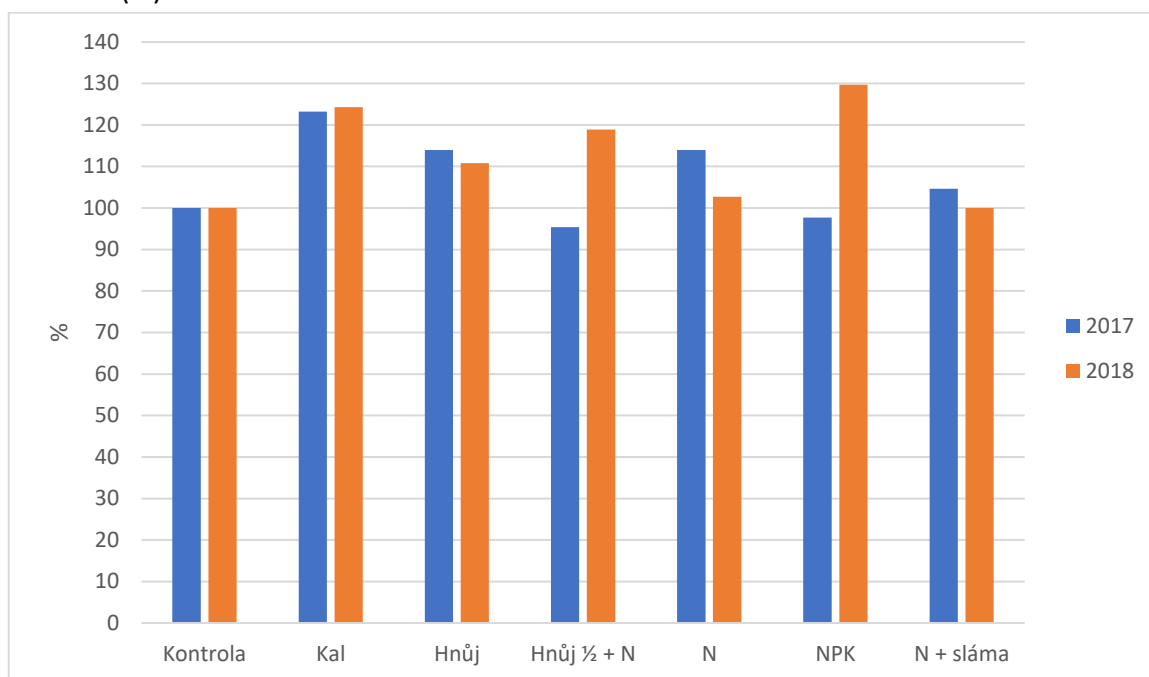


Obsah dusíku ve slámě v procentech dokumentuje graf 23. Na stanovišti Lukavec se obsah dusíku u hnojených variant pohybuje v rozsahu od 0,37 % do 0,53 %. U variant hnojených organicky se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 0,41 % do 0,53 %. U variant hnojených minerálně se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 0,38 % do 0,49 %. U variant hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 0,37 % do 0,45 %. Nejvyšší obsah dusíku byl v roce 2017 u varianty Kal a to 0,53 % a v roce 2018 u varianty NPK a to 0,48 %. Nejnižší obsah dusíku byl v roce 2017 u varianty Hnůj 1/2 + N a to 0,41 % a v roce 2018 u varianty N a to 0,38 %. Všechny hnojené varianty ve sledovaných letech měli vyšší obsah dusíku než varianta Kontrola, kromě varianty Hnůj, která v roce 2017 dosáhla menšího obsahu dusíku než Kontrola, varianty NPK, která v roce 2017 dosáhla menšího obsahu dusíku než Kontrola a varianty N + sláma, která v roce 2018 dosáhla stejného obsahu dusíku jako Kontrola.

Obsah dusíku ve slámě v procentech vztažený ke kontrole dokumentuje graf 24. Na stanovišti Lukavec se obsah dusíku u hnojených variant pohybuje v rozsahu od 95,335 % do 129,73 % kontroly. U variant hnojených organicky se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 110,81 % do 124,32 % kontroly. U variant hnojených minerálně se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 97,67 % do 129,73 % kontroly. U variant hnojených kombinací organických a minerálních

hnojiv se obsah dusíku pohybuje v rozsahu od 95,35 % do 118,92 % kontroly. Nejvyššího obsahu dusíku oproti kontrole dosáhla v roce 2017 varianta Kal s obsahem dusíku 123,26 % a v roce 2018 varianta NPK s obsahem dusíku 129,73 %. Nejnižšího obsahu dusíku oproti kontrole dosáhla v roce 2017 varianta Hnůj ½ + N s obsahem 95,35 % a v roce 2018 varianta N + sláma s obsahem 100 %.

Graf 20.: Relativní obsah dusíku ve slámě vztažený ke kontrole (100 %) na stanovišti Lukavec (%)



5.5 Odběr dusíku

5.5.1 Suchdol

Odběr dusíku v kg/ha v nadzemní biomase dokumentuje tabulka 8. Odběr dusíku na stanovišti Suchdol se u hnojených variant pohybuje v rozsahu od 40,1 do 103,26 kg/ha. U variant hnojených organicky se odběr pohybuje v rozsahu od 40,1 do 81,42 kg/ha. U variant hnojených minerálně se odběr pohybuje od 64,82 do 103,26 kg/ha. U variant hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv se odběr pohyboval v rozsahu od 69,8 do 96,53 kg/ha. Nejvyšší odběr byl v roce 2017 na variantě NPK a to 103,26 kg/ha a v roce 2018 na variantě N + sláma a to 80,09 kg/ha. Nejnižší odběr byl v roce 2017 na variantě Hnůj a to 65,64 kg/ha a v roce 2018 na variantě Hnůj a to 40,1 kg/ha. Všechny hnojené varianty dosáhli v obou letech většího odběru dusíku než Kontrola.

Tabulka 7.: Odběr dusíku v nadzemní biomase na stanovišti Suchdol (kg/ha)

Varianta	2017	2018
Kontrola	50,65	27,33
Kal	81,42	49,32
Hnůj	65,64	40,10
Hnůj ½ + N	95,46	69,80
N	98,96	64,82
NPK	103,26	73,14
N + sláma	96,53	80,09

5.5.2 Lukavec

Odběr dusíku v kg/ha v nadzemní biomase dokumentuje tabulka 9. Odběr dusíku na stanovišti Lukavec se u hnojených variant pohybuje v rozsahu od 35,67 do 68,36 kg/ha. U variant hnojených organicky se odběr pohybuje v rozsahu od 35,67 do 43,85 kg/ha. U variant hnojených minerálně se odběr pohybuje od 59,71 do 68,36 kg/ha. U variant hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv se odběr pohyboval v rozsahu od 57,27 do 66,41 kg/ha. Nejvyšší odběr byl v roce 2017 na variantě NPK a to 66,91 kg/ha a v roce 2018 na variantě NPK a to 68,36 kg/ha. Nejnižší odběr byl v roce 2017 na variantě Kal a to 38,62 kg/ha a v roce 2018 na variantě Kal a to 35,67 kg/ha. Všechny hnojené varianty dosáhli v obou letech většího odběru dusíku než Kontrola.

Tabulka 8.: Odběr dusíku v nadzemní biomase na stanovišti Lukavec (kg/ha)

Varianta	2017	2018
Kontrola	25,52	31,10
Kal	38,62	35,67
Hnůj	43,85	40,05
Hnůj ½ + N	66,41	59,26
N	60,46	59,71
NPK	66,91	68,36
N + sláma	58,43	57,27

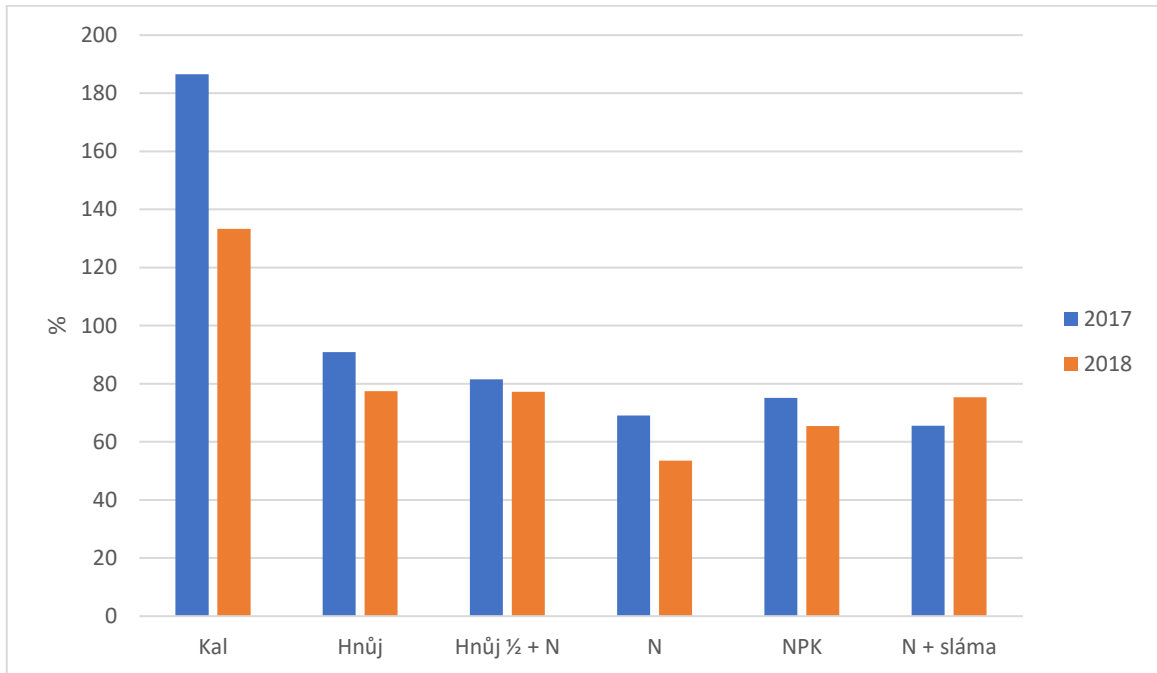
5.6 Efektivita využití dusíku

5.6.1 Suchdol

Efektivitu využití dusíku v procentech na stanovišti Suchdol dokumentuje graf 25. Efektivita využití dusíku se na hnojených variantách pohybuje od 53,56 do 186,48 %. Na variantách hnojených organicky od 77,39 do 186,48 %. Na variantách hnojených minerálně od 53,56 do 75,16 %. Na variantách hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv od 65,54

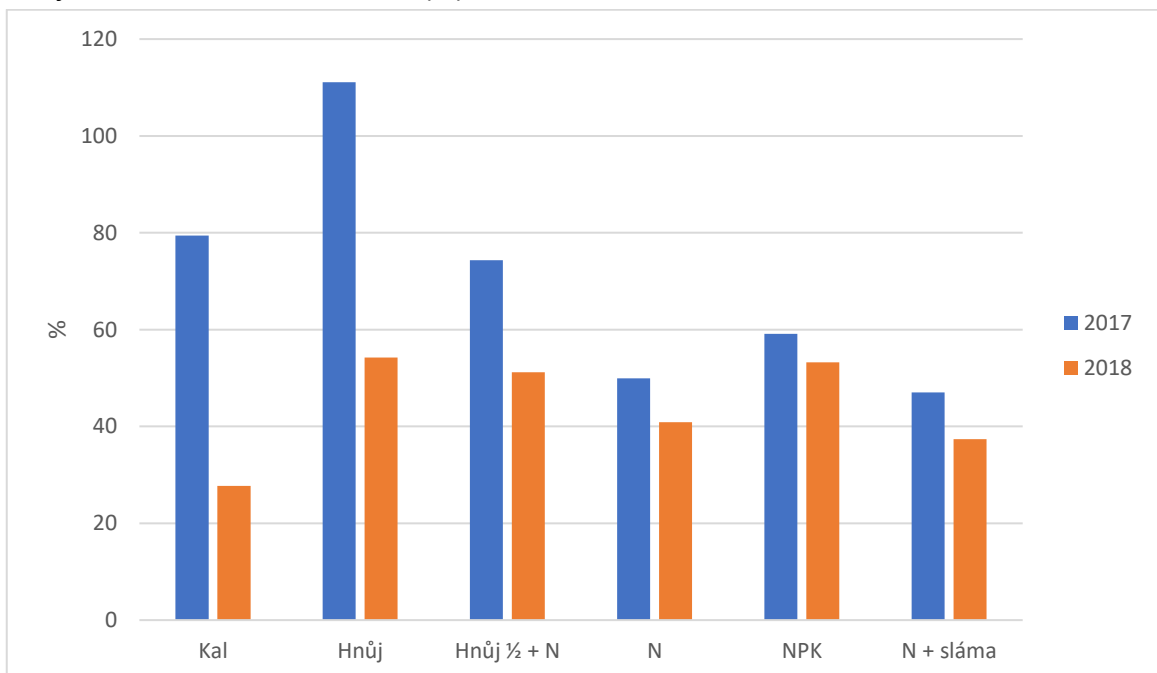
do 81,46 %. Nejvyšší efektivity využití dusíku dosáhla v roce 2017 varianta Kal se 186,48 % a v roce 2018 varianta Kal se 133,27 %. Nejnižší efektivity využití dusíku dosáhla v roce 2017 varianta N + sláma se 65,54 % a v roce 2018 varianta N se 53,56 %.

Graf 21.: Procentuální vyjádření efektivity využití dusíku z dávky dusíku v aplikovaných hnojivech na stanovišti Suchdol (%)



5.6.2 Lukavec

Graf 22.: Procentuální vyjádření efektivity využití dusíku z dávky dusíku v aplikovaných hnojivech na stanovišti Lukavec (%)



Efektivitu využití dusíku v procentech na stanovišti Lukavec dokumentuje graf 26. Efektivita využití dusíku se na hnojených variantách pohybuje od 27,7 do 111,09 %. Na variantách hnojených organicky od 27,7 do 111,09 %. Na variantách hnojených minerálně od 40,87 do 59,13 %. Na variantách hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv od 37,39 do 74,35 %. Nejvyšší efektivita využití dusíku dosáhla v roce 2017 varianta Hnůj se 111,09 % a v roce 2018 varianta Hnůj se 54,24 %. Nejnižší efektivita využití dusíku dosáhla v roce 2017 varianta N +sláma se 47,01 % a v roce 2018 varianta Kal s 27,7 %.

6 Diskuze

6.1 Výnos zrna a slámy

Průměrný výnos zrna jarního ječmene v České republice byl v roce 2017 4,96 t/ha a v roce 2018 4,93 t/ha (Český statistický úřad 2020). Ve srovnání s těmito průměrnými hodnotami, bylo v letech 2017 i 2018 na stanovišti Suchdol i na stanovišti Lukavec dosaženo podprůměrných výnosů na všech zkoumaných variantách hnojení. Nejblíže se celorepublikovému průměru na stanovišti Suchdol přiblížila v roce 2017 varianta NPK s výnosem 4041 t/ha a v roce 2018 varianta N + sláma s výnosem 2,43 t/ha. Na stanovišti Lukavec se pak v roce 2017 jednalo o variantu NPK s výnosem 4,06 t/ha a v roce 2018 rovněž o variantu NPK s výnosem 3,94 t/ha.

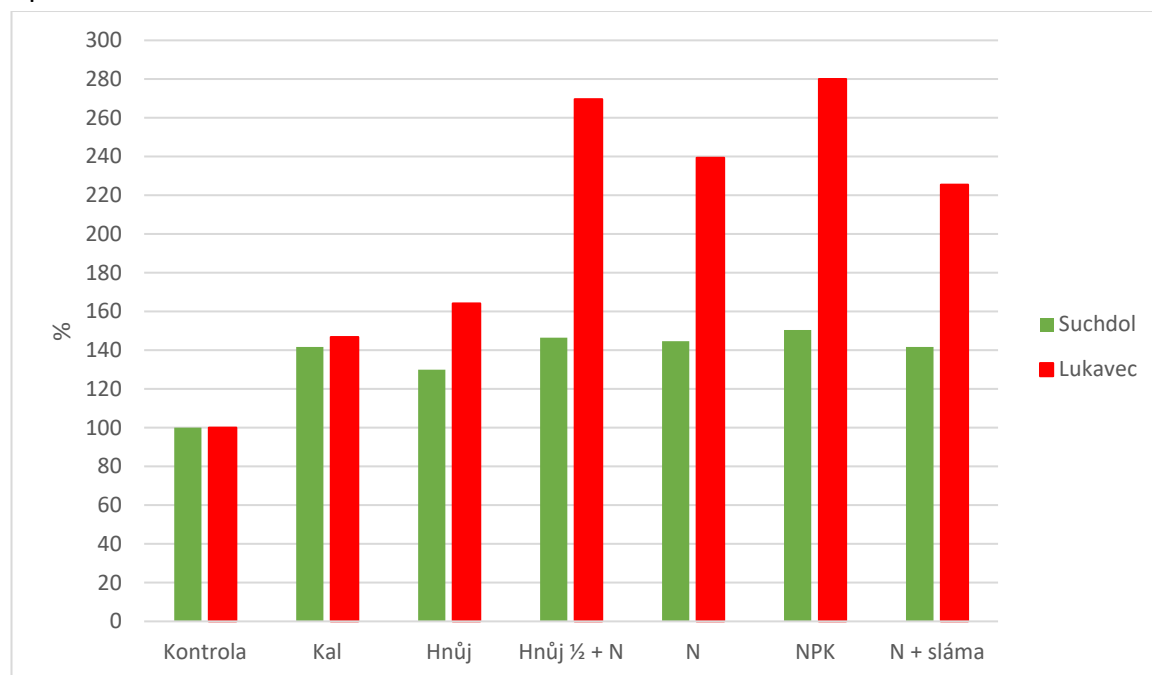
Výrazný propad ve výnosu jarního ječmene v roce 2018, oproti roku 2017, který byl patrný na stanovišti Suchdol, byl způsoben především nedostatkem srážek v měsících květen a červen (Kůst a Záruba, 2017), tedy v období sloupkování a metání, které je klíčové pro tvorbu výnosu (Zarey a kol. 2020).

Pro výnos ječné slámy se nevedou žádné statistiky, avšak podle nitrátové směrnice bylo možné použít koeficient 0,6 pro dopočet výnosu slámy u jarního ječmene. Tedy na 1 t zrna připadá 0,6 t slámy (Směrnice Rady 91/676/EHS o ochraně vod před znečištěním způsobeném dusičnany ze zemědělských zdrojů). Za tohoto předpokladu by průměrný výnos slámy v České republice v roce 2017 byl 2,98 t/ha a v roce 2018 2,96 t/ha. Ve srovnání s těmito průměrnými hodnotami byl v roce 2017 na stanovišti Suchdol všemi hnojenými variantami překonán celorepublikový průměr, s výjimkou varianty Hnůj, která celorepublikový průměr nepřekonala. V roce 2018 pak průměr překonali všechny hnojené varianty kromě varianty Kal, která dosáhla výnosu slámy 2,7 t/ha a varianty Hnůj. Na stanovišti Lukavec bylo v roce 2017 dosaženo lepších výsledků, než je celorepublikový průměr jen na variantě Hnůj s výnosem 3,12 t/ha. V roce 2018 zůstali všechny varianty pod celorepublikovým průměrem. Výrazný propad ve výnosu slámy můžeme pozorovat na stanovišti Lukavec v roce 2018, oproti roku 2017.

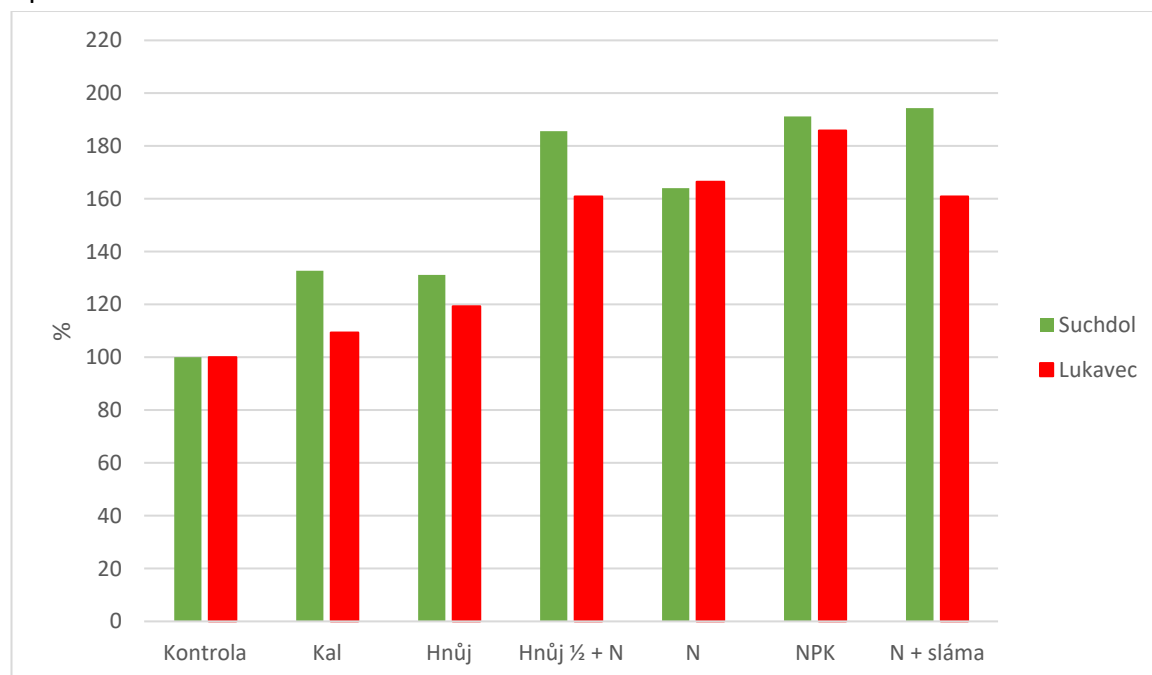
Přestože na stanovišti Suchdol došlo mezi lety 2017 a 2018 k výraznému propadu ve výnosu zrna výnos slámy se v průměru všech hnojených variant zvýšil. Naopak na stanovišti Lukavec došlo mezi lety 2017 a 2018 pouze k mírnému snížení průměrného výnosu zrna hnojených variant, ale zároveň došlo k výraznému poklesu průměrného výnosu slámy.

V grafech 19 a 20 je znázorněno srovnání pokusných stanovišť v letech 2017 a 2018. V roce 2017 je jasně patrný větší nárůstu výnosu na stanovišti Lukavec, zejména na variantách hnojených minerálními hnojivy nebo jejich kombinací s hnojivy organickými. Tento jev se ztrácí v roce 2018 kdy bylo zvýšení výnosu oproti kontrole na obou stanovištích vyrovnanější, ale na stanovišti Lukavec došlo ke značnému snížení relativního výnosu oproti roku 2017. Na příklad u varianty NPK se relativní zvýšení výnosu snížilo z 280 % na 186 %. I v roce 2018 bylo dosaženo lepších výsledků s minerálními hnojivy a jejich kombinací s organickými hnojivy než s aplikací čistě organických hnojiv.

Graf 23.: Srovnání relativního výnosu zrna mezi stanovišti Suchdol a Lukavec v roce 2017 oproti kontrole.



Graf 24.: Srovnání relativního výnosu zrna mezi stanovišti Suchdol a Lukavec v roce 2018 oproti kontrole.



6.1.1 Vliv odrůdy

O úspěšnosti pěstování jarního ječmene rozhoduje správná odrůda a jí přizpůsobená agrotechnika (Šilha a kol. 2011).

Mezi lety 2017 a 2018 došlo v dlouhodobém pokusu ke změně pěstované odrůdy ječmene. V roce 2017 byla pěstována odrůda Xanadu a v roce 2018 odrůda Francin. Na stanovišti Suchdol poklesl mezi lety 2017 a 2018 průměrný výnos zrna ze všech hodnocených variant

ze 4 t/ha na 1,96 t/ha. Tento propad, ale nemůžeme interpretovat změnou odrůdy, protože naopak na stanovišti Lukavec došlo ve stejném období ke zvýšení průměrného výnosu zrna ze všech variant z 2,95 t/ha na 3,04 t/ha. Naopak u výnosu slámy došlo k poklesu na stanovišti Lukavec a to z 2,31 t/ha na 1,54 t/ha a ke zvýšení výnosu na stanovišti Suchdol a to z 2,94 na 3,12 t/ha. Kvůli nedostatečnému množství dat, jen jeden rok pěstování pro každou odrůdu, bylo tedy nemožné kvantifikovat vliv odrůdy na výnos zrna či slámy.

6.1.2 Vliv stanoviště

Pro pěstování jarního ječmene se nejlépe hodí hlubší černozemě a hnědozemě s dostatkem jílu, který dokáže zadržovat vodu a podporuje její vzlínání v sušších obdobích. Naopak na lehčích půdách nelze počítat s vysokými výnosy. Navíc se zvyšuje riziko vysokého obsahu dusíkatých látek v zrně, a to kvůli možnému podeschnutí a neuplatnění zředovacího efektu před sklizní. Vhodné pH půdy pro pěstování ječmene je mezi 6,2 a 7,0. Čím těžší půdy, tím vyšší by mělo být pH. (Černý 2007, Černý a kol. 2018).

Klimaticky jarnímu ječmeni nejvíce vyhovují oblasti obilnářské a řepařské, možné je však i jeho pěstování v teplejších oblastech pěstování zrnové kukuřice. Stále více se limitujícím faktorem pěstování jarního ječmene stává množství srážek. Proto se dnes daří ječmenům i v ve vyšších polohách kolem 400 m.n.m. kde se tak ničivě neprojevuje sucho (Černý 2007).

Z výše uvedeného vyplývá, že stanoviště Suchdol je z pohledu půdních vlastností vhodnější pro pěstování jarního ječmene. Ve srážkově příznivých letech má toto stanoviště potenciál dosahovat vyšších výnosů než stanoviště Lukavec. Má vhodnější půdní typ i nadmořskou výšku pouze hodnota pH není zcela optimální, ale rizikem je zde možnost častějších přísušků jako se tomu stalo v roce 2018, který byl srážkově podprůměrný. Například duben roku 2018 byl na území České republiky teplotně nadnormální a srážkově podnormální. V měsíci červnu již část porostů viditelně trpěla suchem (Kůst a Záruba, 2018). To se pak může projevit sníženou efektivitou využití dusíku. Stanoviště Lukavec má z pohledu pěstování ječmene podmínky méně vhodné. Má kyselou půdní reakci, půdní typ také není optimální a problémem je i vyšší nadmořská výška a z toho plynoucí nižší průměrná teplota. Má, ale rovněž vyšší úhrn srážek, což se projevilo na vyšší výnosové stabilitě ve sledovaných letech.

Působení dusíku z hnojiv je rozdílné na různých stanovištích. Největší odezva na hnojení dusíkem je na méně úrodných stanovištích, naopak poměrně malý vliv aplikovaných hnojiv je na úrodných stanovištích. V úrodných půdách rostliny k tvorbě výnosu využívají 84-88 % dusíku z půdy. Na méně úrodných půdách se dusík z půdní zásoby podílí na tvorbě výnosu 56-60 % (Balík a kol. 2012). Na obou stanovištích došlo po aplikaci dusíkatých hnojiv k navýšení výnosu. Vezmeme-li průměry zvýšení výnosu hnojených variant za roky 2017 a 2018 na stanovišti Suchdol získáme hodnoty navýšení výnosu zrna o 42 respektive 67 % u slámy jde o navýšení výnosu o 57 respektive 36 %. Na stanovišti Lukavec jde pro roky 2017, 2018 o zvýšení výnosu zrna o 121 respektive 50 % a o zvýšení výnosu slámy o 31 respektive 51 %. Větší nárůst výnosu zrna oproti kontrole, tedy můžeme sledovat v roce 2017 na stanovišti Lukavec, ale v roce 2018 na stanovišti Suchdol. U výnosu slámy je situace opačná.

6.1.3 Vliv varianty hnojení

Hnojení dusíkem je jedním ze základních opatření pro dosažení vysokého výnosu jarního ječmene. Nelze jím však nahradit ostatní intenzifikační prvky, protože jen ucelený pěstitelský systém dává předpoklad vysokého výnosu a dobré sladovnické jakosti (Canráková 2011).

Vyšší dávky dusíku můžeme obecně použít pro krmné ječmene, kde vyšší obsah dusíkatých látek nezhoršuje kvalitu, a naopak je žádoucí (Užík a kol. 2008).

Reakce ječmene na hnojení dusíkem byla jasně patrná na obou stanovištích. Všechny hnojené varianty překonali svým výnosem kontrolu.

Na stanovišti Suchdol dosáhla největšího zvýšení výnosu zrna varianta NPK s navýšením průměrně o 71 % oproti kontrole. Naopak nejhůře dopadla varianta Hnůj, která zvýšila výnos průměrně jen o 31 % oproti kontrole. Obecně si na stanovišti Suchdol nejhůře vedla organická hnojiva, a naopak průměrně nejlepších výsledků dosáhla kombinace organických a minerálních hnojiv. Z čistě minerálních hnojiv si nejhůře vedla varianta N, která zvýšila výnos oproti kontrole průměrně o 54 %.

Na stanovišti Lukavec dosáhla největšího zvýšení výnosu zrna varianta NPK s navýšením průměrně o 133 % oproti kontrole. Může se jednat o důsledek vyváženějšího přísunu živin zejména fosforu a draslíku. Jak píše Balík a kol. (2012) Jarní ječmen je plodina, která potřebuje dostatek živin v přístupné formě a ve vyváženém poměru. Ze všech u nás obvyklých obilnin právě jarní ječmen nejcitlivěji reaguje na nedostatek živin v půdě a velmi pozitivně na něj působí hnojení minerálními hnojivy (Vaněk a kol. 2016).

Naopak nejhůře dopadla varianta Kal, která zvýšila výnos průměrně jen o 28 % oproti kontrole. Obecně si na stanovišti Lukavec nejhůře vedla organická hnojiva, a naopak průměrně nejlepších výsledků dosáhly varianty hnojené pouze minerálními hnojivy. Varianty hnojené kombinací organických a minerálních hnojiv zvedli výnos zrna průměrně o 93 až 115 %. Lepšího výsledku dosáhla varianta Hnůj $\frac{1}{2}$ + N.

Na stanovišti Suchdol dosáhla největšího zvýšení výnosu slámy varianta N + sláma s navýšením o průměrně 56 % oproti kontrole. Naopak nejhůře dopadla varianta Hnůj, která zvýšila výnos průměrně jen o 30 % oproti kontrole. Obecně si na stanovišti Suchdol nejhůře vedla organická hnojiva. Ostatní varianty zvedli výnos slámy průměrně o 52 až 56 %. Z čistě minerálních hnojiv byla nejlepší varianta NPK, která zvýšila výnos oproti kontrole průměrně o 55 % a v kombinovaných variantách byla nejlepší variantou N + sláma, která zvýšila výnos průměrně o 56 %.

Na stanovišti Lukavec dosáhla největšího zvýšení výnosu slámy varianta Hnůj $\frac{1}{2}$ + N s navýšením o průměrně 65 % oproti kontrole. Naopak nejhůře dopadla varianta Kal, která zvýšila výnos průměrně jen o 6 % oproti kontrole. Obecně si na stanovišti Lukavec nejhůře vedla organická hnojiva, a naopak průměrně nejlepších výsledků dosáhla kombinace organických a minerálních hnojiv. Z čistě minerálních hnojiv si nejhůře vedla varianta NPK, která zvýšila výnos oproti kontrole průměrně o 38 %. Ve variantách s kombinací organického a minerálního hnojení si nejhůře vedla varianta N + sláma, která zvýšila výnos slámy průměrně o 38 %.

Dle mého názoru je nejvhodnější variantou hnojení, pro zvýšení výnosu zrna, na úrodnějších půdách, kombinace organického a minerálního hnojení. Pro půdy méně úrodné se, na základě dat, jeví jako vhodnější hnojení čistě minerálními hnojivy. Avšak i varianty hnojené kombinací organických a minerálních hnojiv dosáhli velmi významného zvýšení výnosu a dodání organické hmoty může do budoucna zlepšit půdní úrodnost i schopnost půdy zadržovat vodu. Pro zvýšení výnosu slámy bych rovněž zvolil kombinace organického a minerálního hnojení, která dosáhla dobrých výsledků na obou stanovištích a jeví se tak jako univerzálnější řešení. Minerální hnojení dosáhlo dobrých výsledků na stanovišti Suchdol, ale na stanovišti Lukavec zaostalo za kombinací organického a minerálního hnojení. Pouze organické hnojení, kdy je jarní ječmen setý ve třetí trati, se ukazuje jako nedostatečné v porovnání s ostatními systémy hnojení, které dosahují lepších výsledků ve zvyšování výnosů zrna i slámy. Černý a kol. (2013) uvádí, že v prvním roce aplikace se průměrné využití dusíku z hnoje pohybuje kolem 15-25 % z celkového obsahu dusíku a s každý následující rok postupně klesá. Nejprve druhý rok po aplikaci na 10-15 % a třetí rok se již využití dusíku pohybuje do 5 %. Navíc do hnojení organickými hnojivy vstupují i další faktory. Jak uvádí Baier a Baierová (1985) výše výnosů je podmíněna nejen množstvím a jakostí hnoje, ale i rychlostí mineralizace. Což je proces ovlivňovaný mnoha vnějšími faktory např. průběhem počasí v dané roce.

6.2 Obsah dusíku v zrně a slámě

Jak uvádí Černý (2007) jedním z nejdůležitějších ukazatelů jakosti jarního sladovnického ječmene je obsah dusíkatých látek v zrně. Dle ČSN 46 1100-5 je závazná jakost pro sladovnický ječmen splněna při obsahu dusíkatých látek v sušině minimálně 9,2 % maximálně 11,5 %. Černý (2020) píše, že pro přepočítání obsahu dusíkatých látek na obsah dusíku v zrně je možno použít koeficient 6,25. Tedy při obsahu dusíkatých látek 11 % se dopočítáme, že odpovídá hodnotě 1,76 % obsahu dusíku. Hřivna a Ryant (2006) se shodují, že úkolem výživy rostlin je zajistit optimální výnos zrna při zachování nezbytných kvalitativních ukazatelů.

Při použití koeficientu 6,25 nám jako mezní hodnoty závazné jakosti vyjde rozpětí obsahu dusíku v zrně od 1,47 % do 1,84 %.

Na stanovišti Suchdol tedy v letech 2017 a 2018 dosáhli sladovnické kvality pouze varianty Kal a Hnůj. Průměrný obsah dusíku v zrně u varianty Kal byl v roce 2017 1,63 % a v roce 2018 1,8 %. U varianty Hnůj byl průměrný obsah dusíku v zrně v roce 2017 1,5 % což odpovídá hodnotě kontroly, a v roce 2018 1,71 %. Ostatní dusíkem hnojené varianty měli vyšší než povolený obsah dusíku v zrně a to od 1,89 až po 2,02 %.

Vyšší obsah dusíku v zrně na stanovišti Suchdol může být částečně vysvětlen průběhem počasí. Jak uvádí Černý (2020) s výskytem sucha v průběhu utváření zrna a zrání vznikají podmínky přispívající ke snížení výnosu. Současně je také pozorován vyšší obsah dusíkatých látek v zrně. Hlavním důvodem zvýšeného obsahu zárodečných bílkovin v zrně při nedostatku vody je změněný metabolismus škrobu. Proces ukládání škrobu je citlivější na sucho než transport a ukládání bílkovin.

Nižší obsah dusíkatých látek v zrně i slámě ječmene je možné spojit s dlouhodobou zápornou bilancí dusíku na stanovišti Lukavec, která vede k jeho postupnému vyčerpávání z půdní zásoby (Nedvěd a kol. 2008)

Na stanovišti Lukavec v letech 2017 a 2018 dosáhli sladovnické kvality varianty Hnůj ½ +sláma, N + sláma, N a NPK, a to v rozmezí obsahu dusíku v zrně od 1,49 do 1,54 %. Ostatní varianty nedosáhli ve sledovaných letech minimální hodnoty pro obsah dusíku v zrně, aby splnili normu pro sladovnický ječmen. Varianta Kal v roce 2018 měla o 0,01 % nižší obsah dusíku než Kontrola.

Obsah dusíku ve slámě není pro běžné hodnocení klíčový, ale vyšší obsah dusíku ve slámě může ukazovat na horší schopnost odrůdy transportovat dusík do zrna nebo na prodělaný stres. Vyšší obsah dusíku ve slámě rovněž posouvá poměr C:N a tím může napomoci k její rychlejší mineralizaci (Beare a kol. 2002).

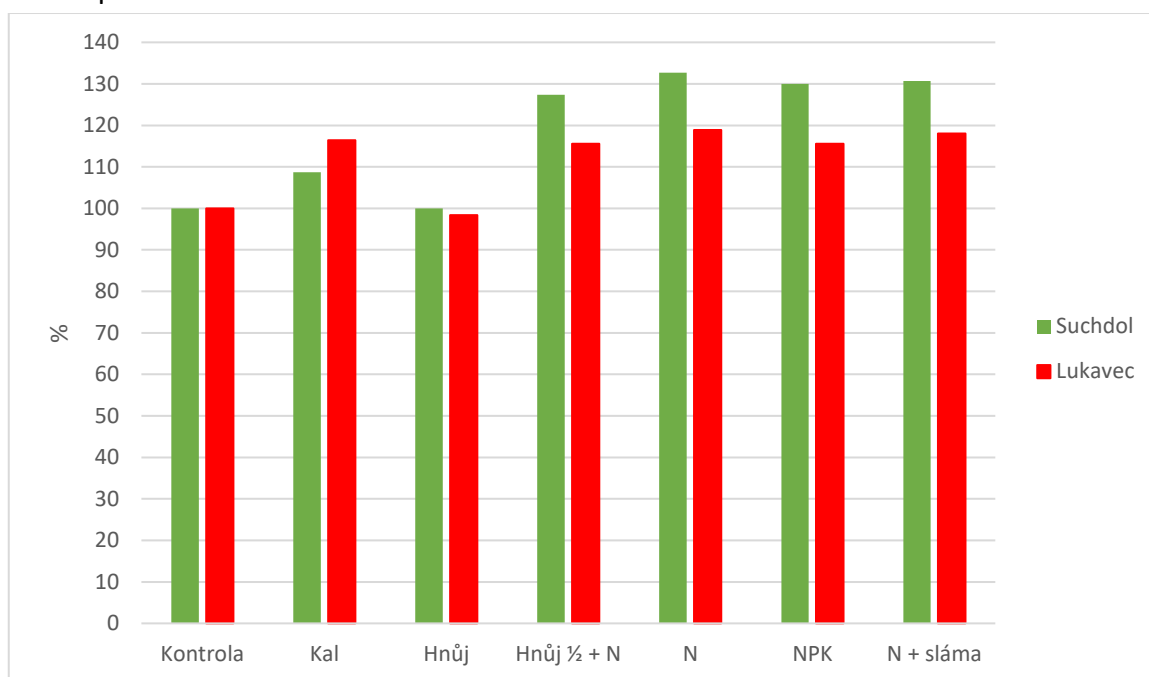
Na stanovišti Suchdol byl v roce 2017 nejvyšší obsah dusíku naměřen na variantě NPK a to 0,52 %, naopak nejmenší obsah dusíku byl naměřen na variantě Hnůj a to 0,31 %. Jedná se o hodnotu o 0,03 % nižší než Kontrola. V roce 2018 došlo k výraznému nárůstu obsahu dusíku ve slámě oproti roku 2017. Průměrný obsah dusíku za všechny varianty se zvedl z 0,43 na 0,66 %. Nejvyšší obsah dusíku byl naměřen na variantě N + sláma a to 0,86 %.

Na stanovišti Lukavec byl v roce 2017 nejvyšší obsah dusíku naměřen u varianty Kal a to 0,53 %, naopak nejmenší obsah dusíku byl naměřen na variantě Hnůj ½ + N a NPK kde byl obsah dusíku nižší než na kontrole. V roce 2018 dosáhla nejvyššího obsahu dusíku varianta NPK s obsahem 0,48 % a varianta N +sláma pouze obsahem vyrovnala kontrolu.

Na grafech 21 a 22 můžeme vidět srovnání obsahů dusíku v zrně mezi pokusnými stanovišti Suchdol a Lukavec. V roce 2017 varianta Hnůj ani na jednom ze stanovišť neměla vyšší obsah dusíku v zrně než varianta Kontrola. Na stanovišti Suchdol můžeme v obou letech pozorovat vyšší procentuální nárůst obsahu dusíku ve srovnání se stanovištěm Lukavec.

Tento jev může být vysvětlen kombinací lepší dlouhodobé bilance dusíku na stanovišti Suchdol a zejména jeho vyšší půdní úrodnosti, která umožňuje, kromě dusíku z hnojiv, využívat rovněž dusík z půdní zásoby (Nedvěd a kol. 2008)

Graf 25.: Srovnání relativního obsahu dusíku v zrně mezi stanovišti Suchdol a Lukavec v roce 2017 oproti kontrole.



Graf 26.: Srovnání relativního obsahu dusíku v zrně mezi stanovišti Suchdol a Lukavec v roce 2018 oproti kontrole.



6.2.1 Vliv odrůdy

Při zkoumání průměrného obsahu dusíku v zrně, na všech variantách, si můžeme všimnout nárůstu obsahu dusíku v zrně na obou stanovištích. Na stanovišti Suchdol z 1,78 na 1,83 % a na stanovišti Lukavec z 1,36 na 1,42 %. Tato změna ovšem může být vysvětlena průběhem počasí daného ročníku a k vysledování jasného trendu nám chybí dostatek dat.

Při pohledu na stanoviště Suchdol by se mohlo zdát, že nárůst obsahu dusíku ve slámě je možné vysvětlit změnou pěstované odrůdy. Ovšem na stanovišti Lukavec ve stejném období došlo naopak k poklesu průměrného obsahu dusíku ve slámě, a to z hodnoty 0,46 na 0,42 %. Navíc nadprůměrně suché období na stanovišti Suchdol v roce 2018 nám data dále zkresluje. Kvůli nedostatečnému množství dat, jen jeden rok pěstování pro každou odrůdu, je tedy nemožné kvantifikovat vliv odrůdy na obsah dusíku v zrna či slámě a změny ve výnosu tedy nelze přiřít vlivu odrůdy.

6.2.2 Vliv varianty hnojení

Při pěstování sladovnického ječmene je hlavním cílem dosažení požadované kvality. Pokud není dosaženo minimální kvality, je zpravidla sladařský ječmen neprodejný. Zvláště důležitou roli hraje v této souvislosti hnojení dusíkem (Bezdíčková 2010).

Odpověď rostlin na hnojení pro zvýšení obsahu dusíku v zrna, nebyla tak jednoznačná jako jejich reakce na zvýšení výnosu.

Některé varianty hnojení nebyly schopny překonat kontrolu v obsahu dusíku. Konkrétně se jednalo v roce 2017 o variantu Hnůj, a to jak na stanovišti Suchdol, tak na stanovišti Lukavec a v roce 2018 o variantu Kal na stanovišti Lukavec. Ostatní varianty vždy překonali obsahem dusíku kontrolu.

Na stanovišti Suchdol dosáhla největšího průměrného zvýšení obsahu dusíku v zrna varianta NPK se zvýšením o 34,18 % oproti kontrole. Naopak nejmenšího průměrného zvýšení obsahu dusíku v zrna dosáhla varianta Hnůj se zvýšením o 8,56 %. Obecně si na stanovišti Suchdol nejhůře vedla organická hnojiva a nejlepších výsledků pro zvýšení obsahu dusíku v zrna dosáhla aplikace pouze minerálních hnojiv.

Na stanovišti Lukavec dosáhla největšího průměrného zvýšení obsahu dusíku v zrna varianta N + sláma se zvýšením o 18 % oproti kontrole. Naopak nejmenšího průměrného zvýšení obsahu dusíku v zrna dosáhla varianta Hnůj se zvýšením o 1 %. Obecně si na stanovišti Lukavec nejhůře vedla organická hnojiva a nejlepších výsledků pro zvýšení obsahu dusíku v zrna dosáhla aplikace pouze minerálních hnojiv.

Na stanovišti Suchdol dosáhla největšího průměrného zvýšení obsahu dusíku ve slámě varianta N + sláma se zvýšením o 85 % oproti kontrole. Naopak nejmenšího průměrného zvýšení obsahu dusíku v zrna dosáhla varianta Hnůj se zvýšením o 1 %. Obecně si na stanovišti Suchdol nejhůře vedla organická hnojiva a nejlepších výsledků pro zvýšení obsahu dusíku ve slámě dosáhla aplikace kombinace organických a minerálních hnojiv.

Na stanovišti Lukavec dosáhla největšího průměrného zvýšení obsahu dusíku ve slámě varianta Kal se zvýšením o 24 % oproti kontrole. Naopak nejmenšího průměrného zvýšení obsahu dusíku v zrna dosáhla varianta N + sláma se zvýšením o 2 %. Obecně si na stanovišti Lukavec nejhůře vedla kombinace organických a minerálních hnojiva a nejlepších výsledků pro zvýšení obsahu dusíku ve slámě dosáhla aplikace pouze organických hnojiv.

Z výše popsaného vyplývá, že pro zvýšení obsahu dusíku v zrna na obou zkoumaných stanovištích, je výhodnější použít čistě minerální hnojiva. Pokud bychom z nějakého důvodu chtěli zvyšovat obsah dusíku ve slámě tak na úrodnějších půdách je výhodnější použití

kombinace organického a minerálního hnojení a na méně úrodných stanovištích je výhodnější použít hnojiva organická.

6.3 Efektivita využití dusíku

Guillard a kol. (1995) uvádí jako hlavní cíle moderního zemědělství snižování nákladů a vývoj nových postupů hnojení, které budou lépe reflektovat potřeby plodin. Pozornost se upírá především na účinnost hnojení dusíkem. Právě dusík má rozhodující vliv na výnos a kvalitu produkce obilovin, ale zároveň může při špatné aplikaci snadno kontaminovat okolní prostředí. Jeho výroba je navíc energeticky náročná. Je proto potřeba více výzkumů na využívání dusík.

Na obou stanovištích dosáhli největší efektivitu využití dusíku varianty hnojené pouze organickými hnojivy. Jedná se však o zkrácení výstupů, použitou metodou výpočtu.

Měření efektivitu využití dusíku souvisí s produkcí. Tedy při zachování konstantních vstupů se zvýšení výnosu projeví jako zvýšení efektivitu využití dusíku i v případě, že se jedná pouze o výkyv v chodu počasí. Navíc je touto metodou obtížné srovnávat systémy hnojení s nízkými a vysokými vstupy hnojiv. Při nízkých vstupech dává tato metoda výpočtu vysoké hodnoty účinnosti využití dusíku na rozdíl od variant s vyššími vstupy Hawkesford (2014).

Toto můžeme pozorovat u variant pokusu hnojených s použitím organických hnojiv. Aplikovaná dávka dusíku sice dosahuje hodnoty 330 kg/ha, ale jak uvádí Černý a kol. (2013), ve třetím roce pěstování po její aplikaci už můžeme uvažovat maximálně 5 % z tohoto množství, tedy 16,5 kg/ha. Efektivita využití dusíku tak na Stanovišti Suchdol dokonce přesáhla 100 %. Zdá se tedy, že dusík, který je potřebný pro vytvoření vysokého výnosu na těchto variantách je odebírán z půdní zásoby. Tomu by odpovídala i nižší průměrná efektivita organického hnojení na méně úrodném stanovišti Lukavec.

Na stanovišti Suchdol můžeme pozorovat, za roky 2017 a 2018, u varianty Kal průměrnou efektivitu využití dusíku 160 % a u varianty Hnůj 84 %.

Na stanovišti Lukavec můžeme pozorovat, za roky 2017 a 2018, u varianty Kal průměrnou efektivitu využití dusíku 54 % a u varianty Hnůj 83 %.

Tyto výsledky dokazují jev popsáný Balíkem a kol. (2012), že na úrodných půdách je většina dusíku odebírána z půdní zásoby a jen menšina z aplikovaných hnojiv, zatím co na méně úrodných půdách se tento poměr vyrovnává.

Průkaznější výsledky můžeme pozorovat na variantách hnojených minerálními hnojivy a kombinací organických a minerálních hnojiv.

Na stanovišti Suchdol se využití dusíku z minerálních hnojiv pohybovalo, ve dvouletých průměrech, mezi 70,3 a 70,5 %. Na variantách hnojených kombinací organických a minerálních hnojiv se efektivita využití dusíku, ve dvouletých průměrech, pohybovala mezi 61 a 79 %. Celkově lepších výsledků tedy dosáhly varianty hnojené pouze minerálními hnojivy, ale rozdíl mezi těmito dvěma přístupy byl minimální.

Na stanovišti Lukavec se využití dusíku z minerálních hnojiv pohybovalo, ve dvouletých průměrech, mezi 42 a 56 %. Na variantách hnojených kombinací organických a minerálních

hnojiv se efektivita využití dusíku, ve dvouletých průměrech, pohybovala mezi 45 a 63 %. Celkově lepších výsledků zde tedy dosáhli varianty hnojené kombinací organických a minerálních hnojiv.

Pomineme-li zkreslené výsledky na organicky hnojených variantách, zjistíme že nejvyšší využití dusíku poskytuje na obou stanovištích varianta Hnůj ½ +N. Tedy pro optimalizaci efektivity příjmu dusíku se jeví jako optimální varianta kombinace organického a minerálního hnojení jarního ječmene. Ovšem ne každá kombinace je výhodná. Varianta Sláma +N naopak vykazala na stanovišti Suchdol nejhorší efektivitu příjmu dusíku a na stanovišti Lukavec druhou nejhorší efektivitu využití dusíku. Důležitost typu hnojiva připomíná i Alcoz a kol. (2013) účinnost dusíku, který je aplikován, závisí na typu hnojiva. Odezva plodiny na dusíkaté hnojivo je rovněž ovlivněna sledem plodin, typem půdy a množstvím zbytkového a mineralizovaného dusíku.

Touto metodou výpočtu efektivity využití dusíku se, ale bohužel nemůžeme dobrat toho, kam se ztrácí dusík nevyužitý v nadzemní biomase. Tuto slabinu výpočtu efektivity využití dusíku uvádí ve své práci Cassman a kol. (2012).

7 Závěr

Cílem této práce bylo vyhodnotit vliv dlouhodobého systému hnojení na produkci jarního ječmene, z pohledu výnosu zrna a slámy, obsahu dusíku v zrně a slámě, odběru dusíku a efektivity využití dusíku dodaného v hnojivech.

Z výsledků je patrné, že na celkový výnos jarního ječmene má vliv řada faktorů. Zejména průběh počasí v daném roce, půdní podmínky na stanovišti a systém hnojení. Nejvyšší absolutní výnos byl zaznamenán na stanovišti Suchdol s vysokou přirozenou půdní úrodností. Největší reakci na hnojení v relativním nárůstu výnosu pak byla zaznamenána na stanovišti Lukavec s menší přirozenou půdní úrodností. Vliv počasí byl nejlépe pozorovatelný v roce 2018, kde se sucho podepsalo pod významný propad absolutního výnosu na stanovišti Suchdol. Naopak stanoviště Lukavec s vyšší nadmořskou výškou a vyšším úhrnem srážek tento propad nezaznamenalo. Z hlediska výnosu se jako optimální jeví varianty hnojené minerálními hnojivy nebo kombinací minerálních a organických hnojiv.

Na obsah dusíku měly vliv stejné faktory jako na celkový výnos tedy průběh počasí, půda a systém hnojení. Na stanovišti Suchdol byl v suchém roce 2018 pozorován pokles relativní hodnoty u obsahu dusíku, ale nejednalo se o tak významný pokles jako v případě výnosu. U stanoviště Lukavec tento pokles pozorován nebyl. Nejvyšší absolutní hodnoty obsahu dusíku byly opět zaznamenány na stanovišti Suchdol s vysokou přirozenou půdní úrodností. Toto stanoviště rovněž vykazovalo větší relativní zvýšení obsahu dusíku v reakci na hnojení. Z pohledu obsahu dusíku v zrně se jako optimální projevuje hnojení minerálními hnojivy nebo kombinací minerálních a organických hnojiv.

Na obou stanovištích dosáhli největšího relativního zvýšení výnosu zrna a obsahu dusíku v zrně varianty NPK a N v jednom případě varianta N + sláma.

Výsledky pro výnos slámy a obsah dusíku ve slámě na stanovišti Suchdol kopírují výsledky pro výnos zrna a obsah dusíku v zrně. Ovšem na méně úrodném stanovišti Lukavec je, na rozdíl od stanoviště Suchdol, viditelný pozitivní efekt aplikace organických hnojiv případně jejich kombinace s hnojivy minerálními na zvýšení obsahu dusíku ve slámě i celkový výnos slámy oproti variantám hnojeným pouze minerálními hnojivy.

Pokus prokázal lepší efektivitu využití dusíku z organických hnojiv. Kromě varianty Kal na stanovišti Lukavec roku 2018 byla vždy efektivita využití dusíku z organických hnojiv vyšší než efektivita minerálních hnojiv či jejich kombinace s hnojivy organickými, a to v obou sledovaných letech a na obou stanovištích.

Hypotéza 1. Hnojení dusíkem se projevuje na zvýšení výnosu zrna a slámy.

Na všech hnojených variantách došlo alespoň v jednom ze sledovaných let ke zvýšení produkce zrna a slámy oproti nehnojené kontrole. Statistickou analýzou byl prokázán nárůst výnosu hnojených variant oproti nehnojené kontrole na obou stanovištích viz. přílohy.

Hypotéza 2. Hnojení dusíkem se projevuje na zvýšení obsahu dusíku v zrně a slámě ječmene.

Na všech hnojených variantách došlo alespoň v jednom ze sledovaných let ke zvýšení obsahu dusíku v zrně a slámě oproti nehnojené kontrole. Statistickou

analýzou byl prokázán nárůst obsahu dusíku v zrně na hnojených variantách (kromě varianty hnůj) oproti nehnojené kontrole na obou stanovištích viz. přílohy.

Hypotéza 3. Nejvyšší obsah dusíku v zrně mají varianty hnojené pouze minerálními hnojivy.

Na obou pokusných stanovištích dosáhla největšího relativního zvýšení obsahu dusíku v zrně v roce 2017 varianta N a v roce 2018 varianta NPK, obě hnojené pouze minerálním dusíkem.

Hypotéza 4. Využití dusíku je u minerálních hnojiv vyšší než u hnojiv organických.

Nebylo prokázáno vyšší využití dusíku z minerálních hnojiv. Na stanovišti Suchdol i Lukavec dosáhla v obou letech organická hnojiva lepší úrovně efektivity než hnojiva minerální. Pouze v roce 2018 byla na stanovišti Lukavec u varianty Kal zaznamenána nižší efektivita využití dusíku než u variant hnojených minerálními hnojivy. Ovšem vysoká efektivita využití dusíku je zaznamenána díky použité metodě výpočtu, kdy ve třetím roce pěstování počítáme s využitím pouze 5 % aplikovaného dusíku. Tento fakt zkresluje výsledky ve prospěch organických hnojiv.

8 Literatura

1. Agronormativy. Orientační výše výnosů polních plodin při různé intenzitě hospodaření. [online]. Normativy pro zemědělskou a potravinářskou výrobu. 31. března 2015 [2021-2-2]. Dostupné z <http://user.mendelu.cz/xvaltyni/systemy/projekt/files/vynosy.html>.
2. Akar, T., Kaplan, M., Yilmaz, S., H., Sagir, N., Tabak, N., Gelebur, A. 2016. Sustainable second-crop silage corn production under central anatolian highlands. *Fresenius Environmental Bulletin*. 25. 1078.
3. 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.
4. 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.
5. Araus, J., L., Slafer, G., A., Royo, C., Serret, M., D. 2008. Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. *Critical Reviews in Plant Science*. 27. (6). 377.
6. 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.
7. Arzu, M., 2020. THE EFFECT OF ORGANIC FERTILIZERS ON GRAIN YIELD AND SOME YIELD COMPONENTS OF BARLEY (*HORDEUM VULGARE* L.). *Fresenius Environmental Bulletin*. 29. 12. 10840-10846. 7
8. Badr, A., Muller, K., Schafer-Pregl, R., El Rabey, H., Effgen, S., Ibrahim, H., H., Pozzi, C., Rohde, W., Salamini, F. 2000. On the origin and domestication history of barley (*Hordeum vulgare*). *Mol Biol Evol* 17. 4. 499-510.
9. Baethgen, W., E., Christianson, C., B., Lamothe, A., G. 1995. Nitrogen fertilizer effects on growth, grain yield, and yield components of malting barley. *Field Crop Res*. 43(2-3). 87-99.
10. Baier, J., Baierová, V. 1985. *Abeceda výživy rostlin a hnojení*. Praha. Státní zemědělské nakladatelství. 364 s.
11. Balík, J., Černý J., Kulhánek, M., *Bilance dusíku v zemědělství: certifikovaná metodika*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012. ISBN 978-80-213-2329-2.
12. Basařová, G. *Pivovarství: teorie a praxe výroby piva*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. ISBN 978-80-7080-734-7. 626 s.
13. Beare, M. H., Wilson, P. E., Fraser, P. M., Butler, R. C. 2002. Management Effects on Barley Straw Decomposition, Nitrogen Release, and Crop Production. *Soil Science Society of America Journal*. 66. 3. 848. 9.
14. Benada, J. *Metodika pěstování jarních obilnin: ječmen jarní, oves, pšenice jarní*. Kroměříž: Zemědělský výzkumný ústav, 2001. ISBN 80-902545-4-3. 143 s.

15. Benbi, D. K., Biswas, C. R. 1997. Nitrogen balance and N recovery after 22 years of maizewheat-cowpea cropping in a long-term experiment. *Nutrition Cycle of Agroecosystem*, 47. 107-114.
16. Bezdíčková, A. 2010. Vliv jednotlivých agrotechnických zásahů, případně jejich kombinací, na výnos sladovnického ječmene. Intenzivní pěstitelské technologie jarního sladovnického ječmene. Velká Bystřice: Sdružení pro ječmen a slad, 2010. ISBN 978-80-213-2047-5. 77 s.
17. 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
18. 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.
19. Bothe, H., Stuart, F., William, A., Newton, E. *Biology of the nitrogen cycle*. Amsterdam: Elsevier, 2007. ISBN 978-0-444-52857-5. 427 s.
20. Bould C., Hewitt E., J., Needham P. 1983. *Diagnosis of mineral disorders in plants*. London. Her Majesty's Stationery Office 1. 170.
21. Bulman, P., Smith, D., L. 1993. Yield and yield component response of spring barley to fertilizer nitrogen. *Agron J.* 85. 226-231.
22. Buráňová, Š. Černý, J. Vašák, F. Kulhánek, M. Balík, J. Nitrogen efficiency of spring barley in long-term experiment. *Plant, Soil and Environment*, 2014, roč. 60, č. 7, s. 291-296. ISSN: 1214-1178.
23. Cai, J., Jiang, D., Wollenweber, B., Dai, T., Cao W. 2012. Effects of nitrogen application rate on dry matter redistribution, grain yield, nitrogen use efficiency and photosynthesis in malting barley. *Soil and Plant Science*. 62. 410-419.
24. Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different developmental stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*. 89. 1-16.
25. Canráková, E. 2011. Reakcia jačmeňa sateho jarného na aplikáciu dusíkatých hnojív počas vegetácie. *Agrochémia*. XV. 51. 1. 3- 8.
26. Cassman, K. G., Dobermann, A. R., Walters, D. T. 2002. *Agroecosystems, Nitrogen-use Efficiency, and Nitrogen Management* [online]. březen 2002 [2020-01-06]. Dostupné z <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1356&context=agronomyfa%20cpub>.
27. Černý, L. *Jarní sladovnický ječmen: pěstitelský rádce*. Praha: Pro katedru rostlinné výroby, FAPPZ, ČZU v Praze vydalo vydavatelství Kurent, 2007. ISBN 978-80-87111-04-8. 39 s.
28. Černý, L., Hájek, M., Křováček, J., Vašák J. 2010. Intenzivní pěstitelské technologie jarního sladovnického ječmene. Velká Bystřice: Sdružení pro ječmen a slad, 2010. ISBN 978-80-213-2047-5. 77 s.

29. Černý, J., Balík, J., Kulhánek, M., Sedlář, O., Hnojení jarního ječmene. [online]. Agromanuál. 23. února 2018 [2020-11-11]. Dostupné z <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/hnojeni-jarniho-jecmene>>.
30. Černý J., Shejbalová Š., Kulhánek M., Vašák F. Využití živin ze statkových hnojiv. [online]. Zemědělec. 13. září. 2013 [2020-11-11]. Dostupné z <<https://www.zemedelec.cz/vyuziti-zivin-ze-statkovych-hnojiv-2/>>.
31. Černý J. Hnojení jarního ječmene dusíkem-co vše spolu může souviset a proč vždy hnojení „nefunguje“, jak si přejeme. [online]. Agromanuál. 8. dubna 2020. [2020-8-8]. Dostupné z <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/hnojeni-jarniho-jecmene-dusikem-co-vse-spolu-muze-souviset-a-proc-vzdy-hnojeni-nefunguje-jak-si-prej>>.
32. Český statistický úřad. 2019. Výstupní objekt VDB. Český statistický úřad. 2020 [2020-8-8]. Dostupné z <<https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=ZEM02G&z=T&f=TABULKA&skupId=386&katalog=30840&pvo=ZEM02G&evo=v1442 ! ZEM02G-celek 1>>.
33. Comadira, G., Rasool, B., Karpinska, B., Morris, J., Verrall, S., R., Hedley, P., E., Foyer, Ch., H., Hancock, R., D. 2015. Nitrogen deficiency in barley (*Hordeum vulgare*) seedlings induces molecular and metabolic adjustments that trigger aphid resistance. *Journal of Experimental Botany*. 66. 12. 3639-3655.
34. 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.
35. Criddle, R.S., Ward, M.R. and Huffaker, R.C. 1988. Nitrogen uptake by wheat seedlings, interactive effects of four nitrogen sources: NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, and urea. *Plant Physiol*. 86. 166-175.
36. 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.
37. Dawson, J., C., Huggins, D., R., Jones, S., S. 2008. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereals crops in low-input and organic agricultural systems. *Field Crop*. 107:89-101.
38. Dawson, I., K., Russell, J., Powell, W., Steffenson, B., Thomas, W., T., B., Waugh, R. 2015. Barley: a translational model for adaptation to climate change. *New Phytol*. 206. 913.
39. 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.
40. Diviš, J. 2010. Pěstování rostlin, Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. 260 s. ISBN: 978-80-7394-216-8.

41. Ellis, R., P., Forster, B., P., Robinson, D., Handley, L., L., Gordon, D., C., Russell, J., R., Powell, W. 2000. Wild barley: a source of genes for crop improvement in the 21st century. *J Exp Bot.* 51. 342.9-17.
42. Evans, J. R. 1989. Partitioning of nitrogen between and within leaves grown under different irradiances. *Australian Journal of Plant Physiology.* 16. 533-548.
43. 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.
44. 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.
45. Finger, R. 2010. Evidence of slowing yield growth-the example of Swiss cereal yields. *Food Policy.* 35. 175-182.
46. Follett, R., F., Hatfield J., L. Nitrogen in the environment: Sources, problems, and management. Amsterdam: Elsevier, 2001. ISBN 0-444-50486-9. 520 s.
47. Forde, B. G. 2002. Local and long-range signaling pathways regulating plant responses to nitrate. *Annual Review of Plant Biology.* 53
48. 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.
49. 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.
50. Gastal, F., Lemaire, G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany.* 53 (370). 789-799.
51. Grausgruber H., Bointer H., Tumpold R., Ruckenbauer P., Fishbeck G. 2002. Genetic improvement of agronomic and qualitative traits of spring barley. *Plant Breed.*, 121(5): 411-416.
52. Grigg, D., B. The agricultural systems of the world: an evolutionary approach. London: Cambridge University Press, 1974. Cambridge geographical studies. ISBN 0521098432. 358 s.
53. 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.
54. Gruszka, D., Janeczko, A., Pula, J., Lepiarczyk, A., Pocięcha, E. 2020. Impact of Drought Exerted during Spike Development on Tillering, Yield Parameters and Grain Chemical Composition in Semi-Dwarf Barley Mutants Deficient in the Brassinosteroid Metabolism. *Agronomy.* 10, 1595, 1595
55. 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.
56. 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.
57. Hackett, C., Bartlett, B., O. 1971. A study of the root system of barley iii. Branching pattern. *New Phytologist*. 70. 409-413.
 58. Hájek M., Křováček, J., Černý, L., Dvořák, O., Vašák, J. 2010. Vliv pěstitelské technologie na odnožování a strukturu porostu jarního sladovnického ječmene (*Hordeum vulgare*). Velká Bystřice: Sdružení pro ječmen a slad, 2010. ISBN 978-80-213-2047-5. 77 s.
 59. Hawkesford, M. J. 2014. Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production. *Journal of Cereal Science*. 59 (3). 276-283.
 60. Hoffman, B., M., Lukoyanov, D., Zhi-Yong Y., Dean, D., R., Seefeldt L., C. 2014. Mechanism of Nitrogen Fixation by Nitrogenase: The Next Stage. *Chemical Reviews*. 114. 8. 4041-4062.
 61. Hoffmann, A., Maurer, A., Pillen, K. 2012. Detection of nitrogen deficiency QTL in juvenile wild barley introgression lines growing in a hydroponic systém. *BMC Genetics*. 13. 88.
 62. Hřivna, L., Ryant, P. 2006. Výživa jarního ječmene během vegetace a kvalita produkce. *Agro*. 5. 45-48.
 63. Hayashi, H., Chino, M. 1986. Collection of pure phloem sap from wheat and its chemical composition. *Plant and Cell Physiology*. 27. 1387-1393.
 64. Jain, M. 2015. Function genomics of abiotic stress tolerance in plants: a CRISPR approach. *Frontiers in Plant Science*. 6. 375.
 65. Karamanos, R., E., Kruger, G., A. 2009. Effect of Long-Term Fertilization and Placement of Phosphorus on Barley Yields. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*. 40. 1-6. 538-554.
 66. Karley, A., J., Valentine, T., A., Squire, G., R. 2011. Dwarf alleles differentially affect barley root traits influencing nitrogen acquisition under low nutrient supply. *J Exp Bot*. 62. 11. 3917-3927.
 67. Kassie, M., Fanataye, K. 2019. Nitrogen Uptake and Utilization Efficiency of Malting Barley as Influenced by Variety and Nitrogen Level. *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 22(1):65-73
 68. Kincl, M., Krpeš, V. 2000. *Základy fyziologie rostlin*. 2. doplněné vydání. Montanex. ISBN 80-7225-041-8. 220 s.
 69. 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.
 70. Kulhánek, M. Balík, J. Černý, J. Vašák, F. Buráňová, Š. Influence of long-term fertilizer application on changes of the content of Mehlich-3 estimated soil macronutrients. *Plant, Soil and Environment*, 2014, roč. 60, č. 4, s. 151-157. ISSN: 1214-1178.

71. Kupetz, M., Geissinger, C., Gastl, M., Becker, T. Comparison of Dumas and Kjeldahl Method for Nitrogen Determination in Malt, Wort and Beer. BREWING SCIENCE. 2018. 71. 3-4.
72. Kůst, F., Záruba, J. 2018. Situační a výhledová zpráva-obiloviny. Ministerstvo zemědělství. Praha. 111 s. ISBN 978-80-7434-487-9.
73. Laidig F., Piepho H. P., Rentel D., Drobek, T., Meyer U. 2017. Breeding progress, genotypic and environmental variation and correlation of quality traits in malting barley in German official variety trials between 1983 and 2015. Theor. Appl. Genet., 130(11): 2411-2429.
74. Leibovitch, S., Malobaand W., E., Smith D., L. 1992. Spring Barley Responses to Nitrogen Fertilizer and Ethepon in Regions with a Short Crop Growing Season. J. Agronomy & Crop Science. 169. 151—160.
75. Liang, J., Zongduan, G., Zhou, W., Hongxiu, J., Xinzhu, L., Yi, L. 2016. Alleviation Effect of Trace Elements Application on Biuret Phytotoxicity of Maize. Agricultural Science & Technology. 17. 3. 599-602.
76. Lillemo M., Reitan L., Bjørnstad A. 2009. Increasing impact of plant breeding on barley yields in central Norway from 1946 to 2008. Plant Breed., 129(5): 484-490.
77. Lindström, K., Mousavi, S., A. 2020. Effectiveness of nitrogen fixation in rhizobia. Microbial Biotechnology. 13. 5. 1314-1335.
78. Lincoln, T., Eduardo, Z. 2006. Plant physiology. 4th ed. Sunderland: Sinauer Associates. ISBN 978-0-87893-856-8. 764 s.
79. Liu, K., Harrison, M., Ibrahim, A., Manik, S., Johnson., P., Tian, X., Meinke, H., Zhou, M. 2020. Genetic factors increasing barley grain yields under soil waterlogging. Food & Energy Security. 9. 4. 1-12. 12
80. 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.
81. Luxem, K., E., Kraepiel, A., M., L., Zhang, L., Waldbauer, J., R., Zhang, X. 2020. Carbon substrate re-orders relative growth of a bacterium using Mo-, V-, or Fe-nitrogenase for nitrogen fixation. Environmental Microbiology. 22. 4. 1397-1408.
82. Macholdt J., Honermeier B. 2016. Impact of climate change on cultivar choice: adaptation strategies of farmers and advisors in German cereal production. Agronomy, 6: 40.
83. Makovec, P. 1979. Vliv přihnojení dusíkem na fotosyntetický aparát v průběhu ontogeneze jarního ječmene. Praha. VŠZ v Praze. 94 s.
84. Mark, O., Winfield, M., Allen, A. Wilkinson, Amanda, J., Burrridge, L., A., Barker, J., C., Christy, W., Luzie, U., Wingen, S., Keith, J. 2018. Edwards High-density genotyping of the AE Watkins collection of hexaploid landraces identifies a large molecular diversity compared to elite bread wheat. Plant Biotech. J. 16. 165.
85. Marley, C., L., Fychan, R., Theobald, V., J., Cuttle, S., P., Sanderson, R. 2012. Effects of a winter or spring sowing date on soil nitrogen utilisation and yield of barley following

- a forage crop of red clover, lucerne or hybrid ryegrass. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 181. 213-222. 10.
86. Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants* 2nd ed. Academic Press. ISBN 0-12-473543-6. 889 s.
 87. Marshall, B., Ellis, R., P. 1998. Growth, yield and grain quality of barley (*Hordeum vulgare* L.) in response to nitrogen uptake I. A low cost, controlled nutrient supply system. *J Exp Bot*. 49(323). 1049-1057.
 88. Martinoia, E., Heck, U., Wienecken, A. 1981. Vacuoles as storage compartments for nitrate in barley leaves. *Nature*. 289. 292-294.
 89. Martins, R., N., Pinto, F., A., C., Moura, A., D., Siqueira, W., C., Villar, F., M., M. 2020. Nitrogen variable rate fertilization in corn crop prescribed by optical sensor. *Journal of Plant Nutrition*. 43. 11. 1681-1688.
 90. 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.
 91. 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.
 92. Mercer, K., L., Perales, H., R. 2010. Evolutionary response of landraces to climate change in centers of crop diversity. *Evolutionary Applications*. 3. 480.
 93. Michael, M., Abrams, H., Abrams, D. 2014. Validation for the Determination of Biuret in Water-Soluble, Urea-Based Commercial Inorganic Fertilizer Materials, Urea Solutions, and Sulfur-Coated Urea Products by Reversed-Phase Liquid Chromatography: Single-Laboratory Validation of an Extension of AOAC Official Method SM 2003.14. *Journal of AOAC International*. 97. 3. 712-720.
 94. 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.
 95. 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.
 96. Nedvěd V., Balík J., Černý J., Kulhánek M., Balíková M. (2008): The changes of soil nitrogen and carbon contents in a long-term field experiment under different systems of nitrogen fertilization. *Plant, Soil and Environment*, 54(11):463-470. ISSN: 1214-1178.
 97. 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.
 98. 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.

99. Pavlíková, D., Pavlík, M., Balík, J. 2008. Vliv amonného dusíku na metabolismus rostlin. *Agrochémia*. 12 (4). 3-8.
100. Pavlov, K., Voronina, L. 2016. Potassium placement effect on dynamics of barley (*Hordeum vulgare* L.) nutrition. *Soil Science & Plant Nutrition*. 62. 5/6. 500-503.
101. Petr, J. 1989. Tvorba biologického a hospodářského výnosu obilnin. 77 s.
102. Plunkett, M., H., Knutson, C., M., Barney, B., M. 2020. Key factors affecting ammonium production by an *Azotobacter vinelandii* strain deregulated for biological nitrogen fixation. *Microbial Cell Factories*. 19. 1. 1-12.
103. Psota V., Hartmann J., Sejkorova S., Louckova T., Vejrazka K. 2009. 50 Years of progress in quality of malting barley grown in the Czech Republic. *J. Instit. Brew.*, 115(4), 279-291.
104. 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.
105. Raun, W. R., Johnson, G. V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*. 91 (3). 57-351.
106. Richter, R. 2004. Asimilace dusíku. Ústav agrochemie a výživy rostlin, MZLU v Brně. 23. ledna 2004 [2020-8-10]. Dostupné z http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/biogenni_prvky/na_similace.htm.
107. Richter, R., Hřivna, L., Ryant, P. 2006. Výživa a hnojení ječmene jarního. Profi Press. Praha. 200.
108. Robinson, D. 1994. The responses of plants to non-uniform supplies of nutrients. *New Phytologist*. 127. 635-674.
109. Rozhkov, A., O., Gutyansky, R., A. 2017. The dynamics of the leaf area formation of spring barley crops depending on the effect of seeding norm and extra-root nutrition. *Poltava State Agrarian Academy Newsletter*. 4. 32-37.
110. Römer, W., Schilling, G. 1986. Phosphorus requirements of the wheat plant in various stages of its life cycle. *Plant and Soil*. 91. 221-229.
111. Ryan, C. A. 1973. Proteolytic enzymes and their inhibitors in plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 24. 173-196.
112. 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.
113. 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.
114. Shabala, S. *Plant stress physiology*. 2nd edition. Wallingford. Oxfordshire. UK: CABI. 2017. ISBN-9781780647296
115. Shahbandeh, M. 2020. Barley production worldwide 2008/2009-2018/2019. 6. listopadu 2020 [2021-1-1]. Dostupné z <https://www.statista.com/statistics/271973/world-barley-production-since-2008/>.

116. 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.
117. 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.
118. Sinclair, T. R., Shiraiwa, T. 1993. Soybean radiation-use efficiency as influenced by nonuniform specific leaf nitrogen distribution and diffuse radiation. *Crop Science*. 33. 808-812.
119. Smirnoff, N., Stewart, G. R. 1985. Nitrate assimilation and translocation by higher plants: comparative physiology and ecological consequences. *Physiologia Plantarum*. 64. 133-140.
120. Soares, M., I., M., Lewis, O., A., M. 1986. An investigation into nitrogen assimilation and distribution in fruiting plants of barley (*hordeum vulgare* L. Cv. Clipper) in response to nitrate, ammonium and mixed nitrate and ammonium nutrition. *New Phytologist*. 104. 3. 385-393.
121. 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.
122. Söderström, M., Börjesson, T., Pettersson, C., Nissen, K., Hagner, O. 2010. Prediction of protein content in malting barley using proximal and remote sensing. *Precision agriculture*. 11. 6. 587-599
123. Stoorvogel, J., J., Smaling, E., M., A. 1998. Research on soil fertility decline in tropical environments: integration of spatial scales. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*. 50. 153-160.
124. Svoboda, P., Haberle, J. 2006. The effect of nitrogen fertilization on root distribution of winter wheat. *Plant Soil Environment*. 52. 308-313.
125. Šilha J., Cejtchaml J., Poláková M. Odrůda = základ výnosu a kvality jarního sladovnického ječmene. [online]. *Agromanuál*. 11. ledna 2011 [2019-2-2]. Dostupné z <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/osivo-a-sadba-1/odrud-a-zaklad-vynosu-a-kvality-jarniho-sladovnickeho-jecmene>.
126. Škarpa, P. 2006. Effect of soil nutrients reserves and level of fertilisation on production parameters of spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 54. 4. 91-98.
127. Škarpa P., Ryant P., Antošovský J. 2016. Základní hnojení pšenice ozimé. *Agromanuál* 8/2016.
128. 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.
129. Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*. 418 (6898). 671-677.

130. 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.
131. 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.
132. Užík, M., Žofajová, A., Rückschloss, L. 2008. Reakcia troch odrôd jačmeňa sateho jarného na N hnojenie v úrode zrna a v ukazovateľoch kvality zrna. *Agrochémia*. XII. 48. 1. 6-11.
133. Usubaliev, B., Brantestam, A., Kurmanbekova, G., Chekirov, K., Totubaeva, N., Bothmer, R. 2020. Agronomic performance of spring barley cultivars under different eco-environmental conditions. *Polish Journal of Environmental Studies*. 29. 4331-4344.
134. Valkama, E., Salo, T., Esala, M., Turtola, E. 2013. Nitrogen balances and yields of spring cereals as affected by nitrogen fertilization in northern conditions: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 164. 1-13.
135. Vaněk, V., Balík, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P. *Výživa a hnojení polních plodin*. Praha: Profi Press, 2016. ISBN 978-80-86726-79-3. 220 s.
136. Venclová, B. Sladovnický jarní ječmen a velké změny nejen v pěstování. [online]. *Úroda*. 20. února 2019 [2019-11-11]. Dostupné z <https://www.uroda.cz/sladovnicky-jarni-jecmen-a-velke-zmeny-nejen-v-pestovani/>.
137. Wang, Y., Hu, N., Xu, M., Li, Z., Lou, Y., Chen, Y., Wu, Ch., Wang, Z. 2015. 23-year manure and fertilizer application increases soil organic carbon sequestration of a rice-barley cropping system. *Biology & Fertility of Soils*. 51. 5. 583-591.
138. Warner, R., L., Kleinhofs, A. 1992. Genetics and molecular biology of nitrate metabolism in higher plants. *Physiologia Plantarum*. 85. 245-252.
139. Waters, S. P., Peoples, M. B., Simpson, R. J., Dalling, M. J. 1980. Nitrogen redistribution during grain growth in wheat. *Planta*. 148 (5). 422-428.
140. Wheeler, T., Von Braun, J. 2013. Climate change impacts on global food security. *Science*. 341. 508-513.
141. World barley production from 2008/2009 to 2018/2019
142. Xu, Y., Wang, T., Li, H., Ren, C., Chen, J., Yang, G., Han, X., Feng, Y., Ren, G., Wang, X. Variations of soil nitrogen-fixing microorganism communities and nitrogen fractions in a *Robinia pseudoacacia* chronosequence on the Loess Plateau of China. 2019. *Catena*. 174:316-323
143. Xuekai, P., Dogan G., David B., G. 2020. Specific energy cost for nitrogen fixation as NO_x using DC glow discharge in air. *Journal of Physics: D Applied Physics*. 53. 4. 1-1

144. Yawson, D., Mulholland, B., Ball, T., Adu, M., Mohan, S., White, P. 2017. Effect of climate and agricultural land use changes on UK feed barley production and food security to the 2050 s. *Land*, 6. 74.
145. Zarey, A. Mahmoudi, M., Shabani, A., Achite, M., 2020. Determination of the most important meteorological parameters affecting the yield and biomass of barley and winter wheat using the random forest algorithm. *PADDY AND WATER ENVIRONMENT*. 20. 18.
146. Zehnález, J., Adam, V., Kizek, R., 2006. Assimilation of Nitrate, Ammonium and Amide Nitrogen by Agricultural Crops. *Chemické Listy*. 100. 508–514
147. 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.

9 Přílohy

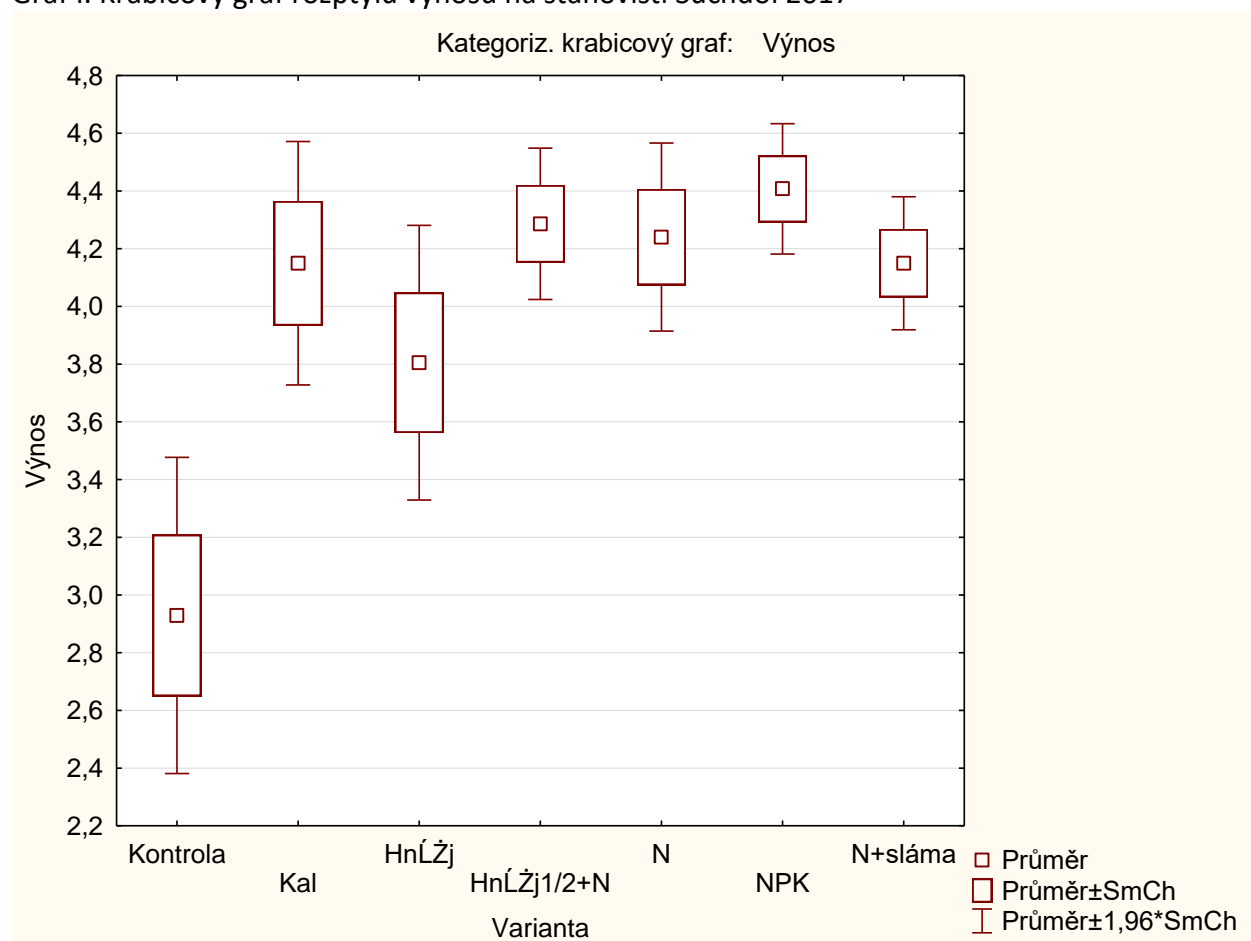
Tabulka I. Rozkladová tabulka popisných statistik pro výnos zrna na stanovišti Suchdol 2017

Rozkladová tabulka popisných statistik N=35 (V seznamu záv. prom. nejsou ChD)			
Varianta	Výnos průměr	Výnos N	Výnos Sm.odch.
Kontrola	2,929182	5	0,625141
Kal	4,149536	5	0,481363
HnŁžj	3,805126	5	0,542887
HnŁžj1/2+N	4,286304	5	0,299203
N	4,240268	5	0,371678
NPK	4,407342	5	0,257963
N+sláma	4,149776	5	0,262955
Vš.skup.	3,995362	35	0,613497

Tabulka II. Analýza rozptylu pro výnos zrna na stanovišti Suchdol 2017

Proměnná	Analýza rozptylu Označ. efekty jsou význ. na hlad. p < ,05000							
	SČ efekt	SV efekt	PČ efekt	SČ chyba	SV chyba	PČ chyba	F	p
Výnos	7,674483	6	1,279080	5,122380	28	0,182942	6,991721	0,000128

Graf I. Krabicový graf rozptylu výnosu na stanovišti Suchdol 2017



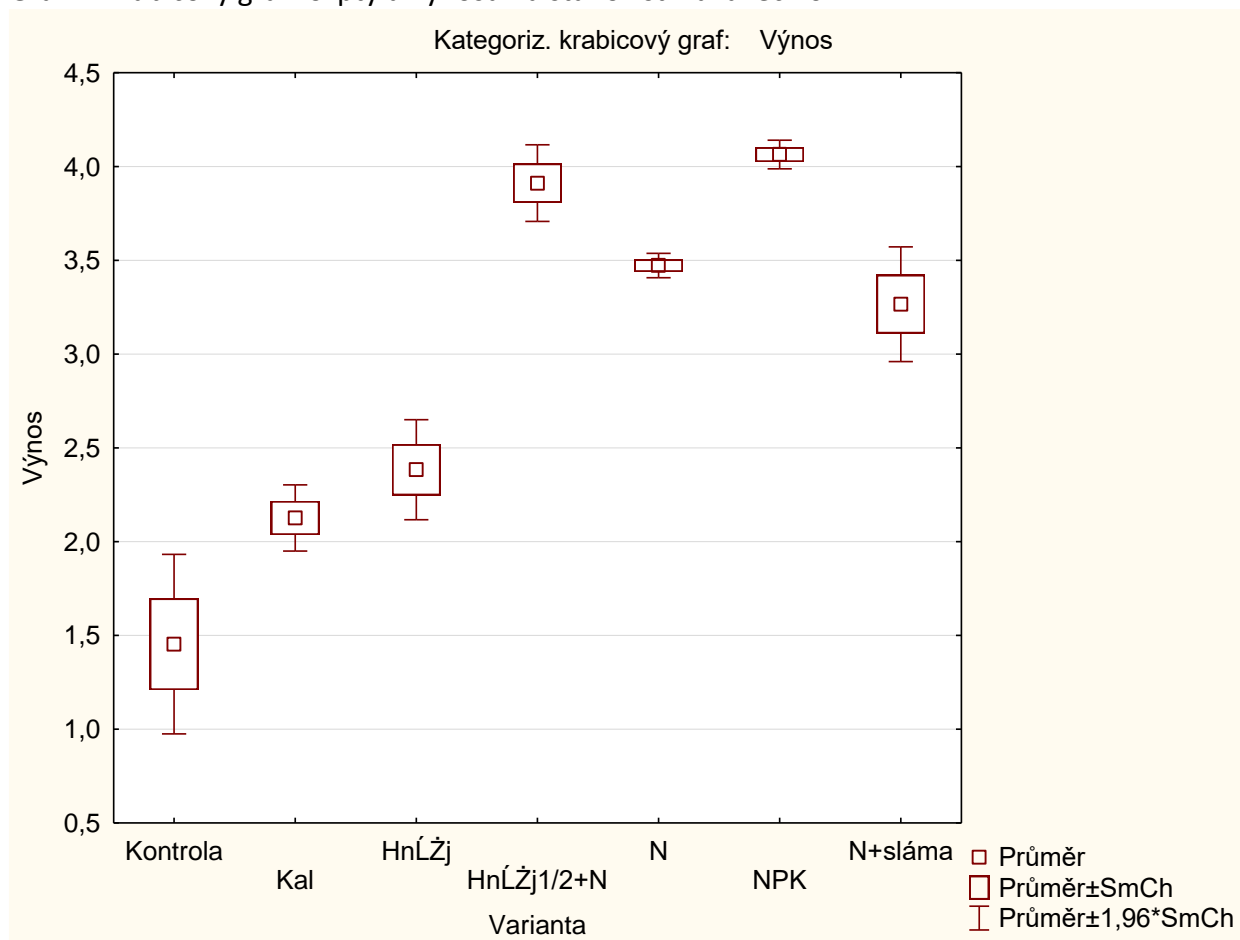
Tabulka III. Rozkladová tabulka popisných statistik pro výnos zrna na stanovišti Lukavec 2017

Rozkladová tabulka popisných statistik N=21 (V seznamu záv. prom. nejsou ChD)			
Varianta	Výnos průměr	Výnos N	Výnos Sm.odch.
Kontrola	1,453533	3	0,422849
Kal	2,126327	3	0,155844
HnLžj	2,383393	3	0,235529
HnLžj1/2+N	3,911670	3	0,180575
N	3,471870	3	0,057600
NPK	4,063967	3	0,067396
N+sláma	3,266200	3	0,270454
Vš.skup.	2,953851	21	0,950655

Tabulka IV. Analýza rozptylu pro výnos zrna na stanovišti Lukavec 2017

Proměnná	Analýza rozptylu Označ. efekty jsou význ. na hlad. p < ,05000							
	SČ efekt	SV efekt	PČ efekt	SČ chyba	SV chyba	PČ chyba	F	p
Výnos	17,33055	6	2,888426	0,744352	14	0,053168	54,32643	0,000000

Graf II. Krabicový graf rozptylu výnosu na stanovišti Lukavec 2017



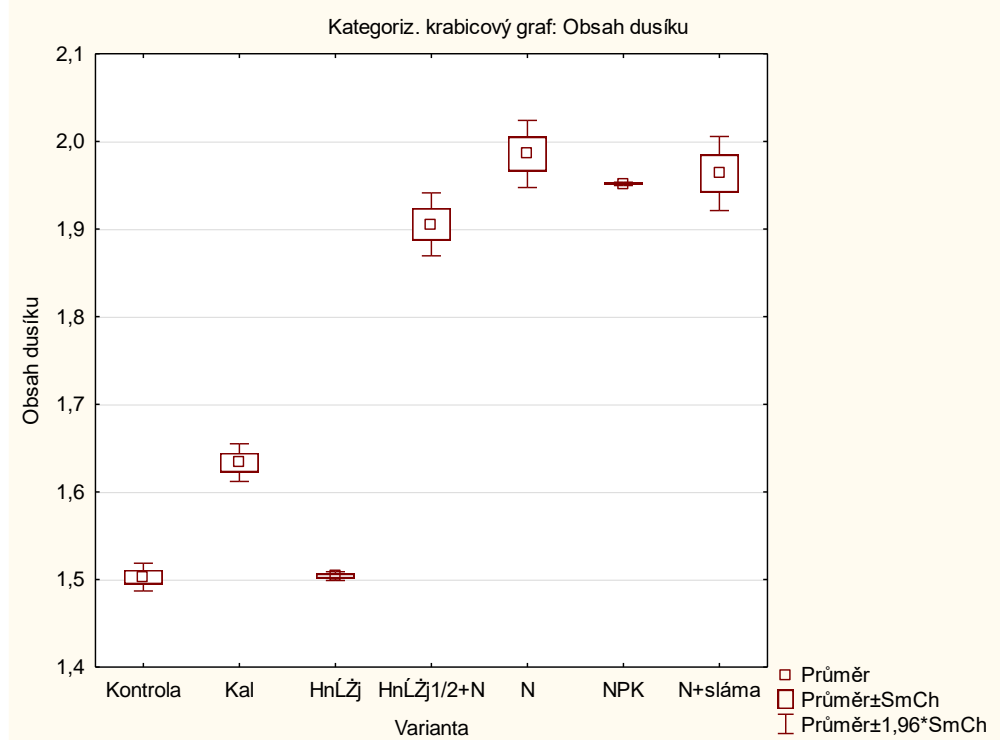
Tabulka V. Rozkladová tabulka popisných statistik pro obsah dusíku v zrna na stanovišti Suchdol 2017

Rozkladová tabulka popisných statistik N=14 (V seznamu záv. prom. nejsou ChD)			
Varianta	Obsah dusíku průměr	Obsah dusíku N	Obsah dusíku Sm.odch.
Kontrola	1,502779	2	0,011429
Kal	1,633423	2	0,015535
HnŁžj	1,503927	2	0,003644
HnŁžj1/2+N	1,905398	2	0,025892
N	1,985737	2	0,027633
NPK	1,951566	2	0,001398
N+sláma	1,963376	2	0,030455
Vš.skup.	1,778030	14	0,213763

Tabulka VI. Analýza rozptylu pro obsah dusíku v zrna na stanovišti Suchdol 2017

Proměnná	Analýza rozptylu Označ. efekty jsou význ. na hlad. $p < ,05000$							
	SČ efekt	SV efekt	PČ efekt	SČ chyba	SV chyba	PČ chyba	F	p
Obsah dusíku	0,591279	6	0,098546	0,002749	7	0,000393	250,9658	0,000000

Graf III. Krabicový graf rozptylu obsahu dusíku v zrna na stanovišti Lukavec 2017



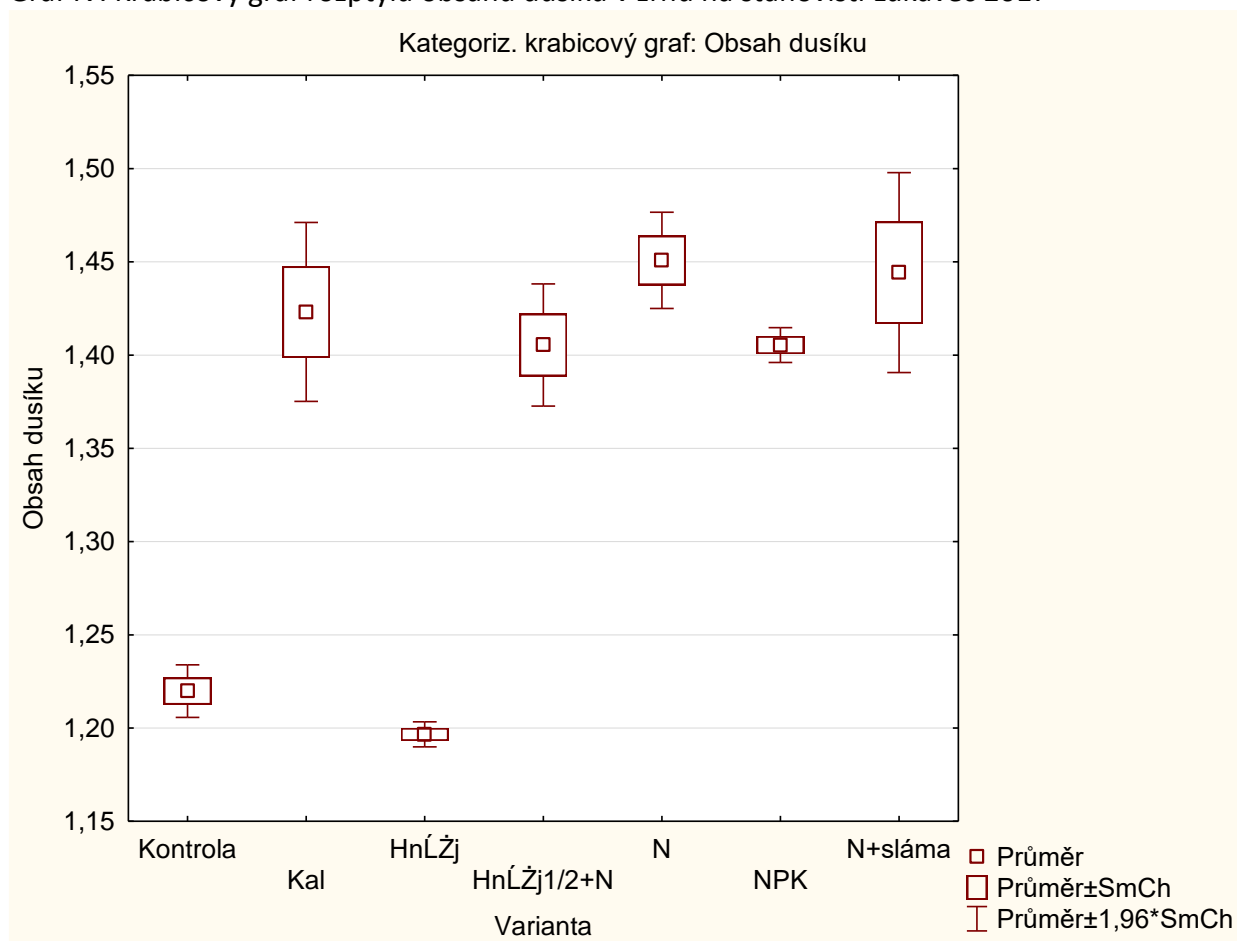
Tabulka VII. Rozkladová tabulka popisných statistik pro obsah dusíku v zrně na stanovišti Lukavec 2017

Rozkladová tabulka popisných statistik N=14 (V seznamu záv. prom. nejsou ChD)			
Varianta	Obsah dusíku průměr	Obsah dusíku N	Obsah dusíku Sm.odch.
Kontrola	1,219817	2	0,010171
Kal	1,423137	2	0,034600
HnŁžj	1,196618	2	0,004835
HnŁžj1/2+N	1,405419	2	0,023619
N	1,450775	2	0,018621
NPK	1,405377	2	0,006725
N+sláma	1,444228	2	0,038672
Vš.skup.	1,363624	14	0,104940

Tabulka VIII. Analýza rozptylu pro obsah dusíku v zrně na stanovišti Lukavec 2017

Proměnná	Analýza rozptylu Označ. efekty jsou význ. na hlad. p < ,05000							
	SČ efekt	SV efekt	PČ efekt	SČ chyba	SV chyba	PČ chyba	F	p
Obsah dusíku	0,139391	6	0,023232	0,003769	7	0,000538	43,14378	0,000035

Graf IV. Krabicový graf rozptylu obsahu dusíku v zrně na stanovišti Lukavec 2017



10 Seznam obrázků, tabulek a grafů

10.1 Obrázky

- Obrázek 1.: Dynamika odběru živin jarním ječmenem a nárůst sušiny
Obrázek 2.: Mechanismus asimilace NO_3^- zelenými rostlinami na světle
Obrázek 3.: Obecné schéma metabolismu spojené s redukcí nitrátů

10.2 Tabulky

- Tabulka 1.: Odběrový normativ jarního ječmene v kg/t zrna
Tabulka 2.: Odpočet využitelného dusíku z organických hnojiv předplodiny (hnůj, kejda, chrást)
Tabulka 3.: Dávky živin aplikovaných hnojiv v tříletém cyklu (kg/parcelu)
Tabulka 4.: Výnos předního zrna v registračních zkouškách ÚKZÚZ v letech 2011–2013
Tabulka 5.: Významné hospodářské vlastnosti odrůdy Francin v kontextu ostatních odrůd doporučených na České pivo (data ÚKZÚZ, 2011-2014)
Tabulka 6.: Kationtová výměnná kapacita a obsah živin v půdě
Tabulka 7.: Odběr dusíku v nadzemní biomase na stanovišti Suchdol (kg/ha)
Tabulka 8.: Odběr dusíku v nadzemní biomase na stanovišti Lukavec (kg/ha)

10.3 Grafy

- Graf 1.: Srážky na stanovišti Suchdol v roce 2017 a 2018 (mm) (údaje z meteostanice agrobiologie)
Graf 2.: Průměrná teplota na stanovišti Suchdol v roce 2017 a 2018 (°C) (údaje z meteostanice agrobiologie)
Graf 3.: Srážky na stanovišti Lukavec v letech 2017 a 2018 (údaje z pokusné stanice Lukavec)
Graf 4.: Průměrná teplota na stanovišti Lukavec v letech 2017 a 2018 (údaje z pokusné stanice Lukavec)
Graf 5.: Výnos zrna při 100 % sušiny na stanovišti Suchdol (t/ha)
Graf 6.: Procentuální výnos zrna ve 100 % sušiny vztažený ke kontrole na stanovišti Suchdol (%)
Graf 7.: Výnos zrna při 100 % sušiny na stanovišti Lukavec (t/ha)
Graf 8.: Procentuální výnos zrna ve 100 % sušiny vztažený ke kontrole na stanovišti Lukavec (%)
Graf 9.: Výnos slámy při 100 % sušiny na stanovišti Suchdol (t/ha)
Graf 10.: Procentuální výnos slámy ve 100 % sušiny vztažený ke kontrole na stanovišti Suchdol (%)
Graf 11.: Výnos slámy při 100 % sušiny na stanovišti Lukavec (t/ha)

- Graf 12.: Procentuální výnos slámy ve 100 % sušně vztažený ke kontrole na stanovišti Lukavec (%)
- Graf 13.: Obsah dusíku v zru na stanovišti Suchdol (%)
- Graf 14.: Procentuální obsah dusíku v zru vztažený ke kontrole na stanovišti Suchdol (%)
- Graf 15.: Obsah dusíku v zru na stanovišti Lukavec (%)
- Graf 16.: Procentuální obsah dusíku v zru vztažený ke kontrole na stanovišti Lukavec (%)
- Graf 17.: Obsah dusíku ve slámě na stanovišti Suchdol (%)
- Graf 18.: Procentuální obsah dusíku ve slámě vztažený ke kontrole na stanovišti Suchdol (%)
- Graf 19.: Obsah dusíku ve slámě na stanovišti Lukavec (%)
- Graf 20.: Procentuální obsah dusíku ve slámě vztažený ke kontrole na stanovišti Lukavec (%)
- Graf 21.: Procentuální vyjádření efektivity využití dusíku z dávky dusíku v aplikovaných hnojivech na stanovišti Suchdol (%)
- Graf 22.: Procentuální vyjádření efektivity využití dusíku z dávky dusíku v aplikovaných hnojivech na stanovišti Lukavec (%)
- Graf 23.: Srovnání relativního výnosu zrna mezi stanovišti Suchdol a Lukavec v roce 2017 oproti kontrole.
- Graf 24.: Srovnání relativního výnosu zrna mezi stanovišti Suchdol a Lukavec v roce 2018 oproti kontrole.
- Graf 25.: Srovnání relativního obsahu dusíku v zru mezi stanovišti Suchdol a Lukavec v roce 2017 oproti kontrole.
- Graf 26.: Srovnání relativního obsahu dusíku v zru mezi stanovišti Suchdol a Lukavec v roce 2018 oproti kontrole.

10.4 Tabulky v samostatné příloze

- Tabulka I.: Rozkladová tabulka popisných statistik pro výnos zrna na stanovišti Suchdol 2017
- Tabulka II.: Analýza rozptylu pro výnos zrna na stanovišti Suchdol 2017
- Tabulka III.: Rozkladová tabulka popisných statistik pro výnos zrna na stanovišti Lukavec 2017
- Tabulka IV.: Analýza rozptylu pro výnos zrna na stanovišti Lukavec 2017
- Tabulka V.: Rozkladová tabulka popisných statistik pro obsah dusíku v zru na stanovišti Suchdol 2017
- Tabulka VI.: Analýza rozptylu pro obsah dusíku v zru na stanovišti Suchdol 2017
- Tabulka VII.: Rozkladová tabulka popisných statistik pro obsah dusíku v zru na stanovišti Lukavec 2017
- Tabulka VIII.: Analýza rozptylu pro obsah dusíku v zru na stanovišti Lukavec 2017

10.5 Grafy v samostatné příloze

Graf I.: Krabicový graf rozptylu výnosu na stanovišti Suchdol 2017

Graf II.: Krabicový graf rozptylu výnosu na stanovišti Lukavec 2017

Graf III.: Krabicový graf rozptylu obsahu dusíku v zrně na stanovišti Lukavec 2017

Graf IV.: Krabicový graf rozptylu obsahu dusíku v zrně na stanovišti Lukavec 2017