

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Vliv hnojení na výnos a obsah vybraných minerálních
látek v zrně ječmene jarního**

Bakalářská práce

**Jana Samešová
Rostlinná produkce**

Ing. Jindřich Černý, Ph.D.

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv hnojení na výnos a obsah vybraných minerálních prvků v zrně ječmene jarního" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Jindřichu Černému, Ph.D. za jeho ochotu, odborné vedení, cenné rady a věnovaný čas v průběhu zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat pracovníkům ÚKZÚZ Chrastava a ÚKZÚZ Brno za možnost podílet se na pokusu, zpřístupnění výsledků a za ochotu a čas věnovaný mým dotazům, a to zejména paní Janě Kaprálové, DiS. a paní Aleně Jahodové.

Vliv hnojení na výnos a obsah vybraných minerálních látek v zrnu ječmene jarního

Souhrn

Bakalářská práce na téma „Vliv hnojení na výnos a obsah vybraných minerálních látek v zrnu ječmene jarního“ se zaměřuje na vyhodnocení vlivu hnojení minerálními a organickými hnojivy na výnos a obsah prvků N, P, K, Ca a Mg v zrnu jarního ječmene (*Hordeum vulgare* L.). V bakalářské práci byly vyhodnoceny výsledky dlouhodobých polních pokusů ze zkušební stanice ÚKZÚZ Chrastava. Pokusy byly prováděny v roce 2019, kdy byl v osevním postupu pěstován ječmen jarní. Laboratorní výsledky byly poskytnuty ÚKZÚZ Brno.

Výnos a obsah prvků v půdě a zrnu byl sledován u 12 odlišných kombinací hnojených kravským hnojem, třemi hladinami N (60, 90 a 120 kg N/ha), P (30, 60 a 120 kg P₂O₅/ha) a K (40, 80 a 160 kg K₂O/ha) a vápněných. Varianty byly šestkrát opakovány. Pokus tedy obsahoval 72 parcel. Plocha jedné parcely byla rovna 15,26 m².

Byl prokázán pozitivní vliv hnojení minerálními a organickými hnojivy na výnos jarního ječmene. Nejvyšší výnos vykazovala varianta 11 hnojená nejvyššími dávkami hnojiv. Z ekonomického hlediska se i přes nižší výnos lépe osvědčila varianta 10, která byla hnojena N, P a K v nejnižších hladinách. Vliv hnojení na obsah prvků v zrnu prokázán nebyl. Dále byl prokázán vliv obsahu Ca v půdě na pH půdy, které ovlivňuje dostupnost živin a tím i výnos.

Výsledky této bakalářské práce poukazují na nutnost kombinace hnojení minerálními hnojivy s hnojivy organickými a adekvátním vápněním pro udržitelnost kvality půdy a stabilních výnosů.

Klíčová slova: ječmen jarní, dlouhodobý polní pokus, výnos, vliv hnojení, pH půdy

The effect of fertilization on yield and selected mineral content in grain of spring barley

Summary

Bachelor thesis on the topic of „The effect of fertilization on yield and selected mineral content in grain of spring barley“ is focused on evaluation of the effect of application of mineral and organic fertilizers on the content of N, P, K, Ca and Mg in grain of spring barley (*Hordeum vulgare* L.). In the bachelor thesis were evaluated the results of long-term field experiments from ÚKZÚZ (Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture) Chrastava. The experiments were conducted in 2019 and for this year there was spring barley in the crop rotation. Laboratory results were provided by ÚKZÚZ Brno.

The yield and mineral content in soil and grain were monitored in 12 different combinations, which were fertilized by farmyard manure, lime and three different levels of N (60, 90 and 120 kg N/ha), P (30, 60 and 120 kg P₂O₅/ha) a K (40, 80 and 160 kg K₂O/ha). The variants occurred in 6 repeatings. The experiment contained 72 parcels. The area of one parcel was 15,26 m².

The positive effect of mineral and organic fertilizers on yield of spring barley has been proven. The highest yield was reported in variant 11, which was fertilized in highest doses of fertilizers. The variant 10, which was fertilized in the lowest doses, has proven to be the best solution from economic point of view. The effect of fertilization on mineral content in grain hasn't been proven. The effect of Ca content in soil on soil pH, which influences the availability of nutrients and yield of crops, has been proven.

The results of this bachelor thesis point to the necessity to combine mineral with organic fertilization and adequate liming for sustainability of soil quality and stable yields.

Keywords: spring barley, long-term field experiment, yield, effect of fertilization, soil pH

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl práce a hypotézy	9
3	Literární rešerše	10
3.1	Význam dlouhodobých polních pokusů	10
3.2	Tvorba výnosu	11
3.2.1	Zákon klesajících výnosů	11
3.3	Jarní ječmen	12
3.3.1	Botanická charakteristika	13
3.3.2	Morfologický popis	13
3.3.2.1	Kořenová soustava	13
3.3.2.2	Stéblo, listy, odnože, květenství.....	14
3.3.2.3	Obilka a její chemické složení	14
3.3.3	Faktory ovlivňující výnos.....	15
3.3.3.1	Vodní deficit.....	15
3.4	Rostlinné živiny	15
3.4.1	Příjem živin rostlinou	16
3.4.2	Makroprvky	16
3.4.2.1	Dusík	16
3.4.2.2	Fosfor	17
3.4.2.3	Draslík	18
3.4.2.4	Vápník	18
3.4.2.5	Síra	18
3.4.3	Mikroprvky.....	19
3.5	Organická hnojiva	20
4	Metodika	21
4.1	Použitý materiál	21
4.2	Popis stanoviště	21
4.3	Popis odrůdy	21
4.4	Osevní postup	22
4.5	Kombinace hnojení	22
4.5.1	Dávky živin	23
4.6	Schéma parcel	23
4.7	Agrotechnické termíny	24
4.8	Ročník	24
4.9	Choroby	25
4.10	Analýza materiálu	25
4.10.1	Půdní reakce	25

4.10.2	Mineralizace rostlinného materiálu	25
4.10.3	Stanovení celkového dusíku	26
4.10.4	Stanovení fosforu	26
4.10.5	Stanovení draslíku	27
4.10.6	Stanovení vápníku a hořčíku	27
4.11	Cíle stacionární zkoušky	28
5	Výsledky	29
5.1	Výnos	29
5.2	Obsah N	30
5.2.1	Vstupy N	30
5.3	Obsah P	31
5.4	Obsah K	32
5.5	Půdní pH a obsah Ca a Mg	32
6	Diskuze	34
6.1	Výnos	34
6.2	Půdní reakce	35
6.3	Obsah N	36
6.4	Obsah P	38
6.5	Obsah K	39
6.6	Obsah Ca a Mg	40
7	Závěr	41
8	Literatura	42
9	Samostatné přílohy	I

1 Úvod

Ječmen patří společně s pšenicí, pšencem a žitem mezi nejstarší a člověkem nejdéle využívané plodiny na světě. Nejstarší zmínky o jeho pěstování jsou dochovány z oblasti dnešního Iráku. Za oblast původu je považována Asie a zejména oblast tzv. úrodného půlměsíce. Zde sloužily tyto obiloviny jako hlavní zdroje obživy lidstva a zároveň zajišťovaly jeho přežití. Jejich úloha se po tisíciletí nezměnila. Již v Mezopotámii sloužily tyto obiloviny nejen k výrobě chleba, ale také k výrobě kvašených nápojů, které můžeme označit za předchůdce dnešního piva. Jakožto hlavní surovina na výrobu piva, byl ječmen na našem území používán od sedmáctého století, kdy nahradil v procesu sladování pšenici (Zimolka 2006).

Ječmen jarní (*Hordeum vulgare* L., *convar. distichon var. nica*) po ozimé pšenici zaujímá druhou největší plochu v České republice mezi obilninami. S každoročním snižováním počtu zemědělských ploch se postupně snižuje i množství ploch, kde je pěstován ječmen jarní. V roce 2007 tyto plochy činily 369 177 hektarů a v roce 2018 to bylo 222 122 hektarů. Výnos jarního ječmene se v průběhu posledních let zvýšil. V roce 2007 byl průměrný výnos roven 3,44 t/ha a v roce 2018 vykazoval výnos 4,93 t/ha (Český statistický úřad 2019).

Jarní ječmen, jakožto plodina s krátkou vegetační dobou 90–130 dnů, má slabý a málo aktivní kořenový systém, který se nachází především v horních 30 cm vrstvy půdy, a malou listovou plochu. Proto se hůře vypořádává se stresovými faktory. Pro zajištění kvality a výnosu je nutné jarní ječmen vhodně zařadit do osevního postupu, uzpůsobit půdu před setím, ochranu během vegetace a přizpůsobit hnojení před setím a během vegetace (Zimolka 2004).

Z důvodů uvedených výše vyplývá, že ječmen je poměrně náročný na potřeby hnojení a musí mu být zajištěna dostatečná výživa v průběhu celé vegetace pro jeho odběrový normativ. Při vytváření zrna již není možné některé živiny doplnit. Proto musí být zajištěn přístup k dostatečnému množství živin dle fyziologické potřeby rostlin především ve fázích počátečního růstu. Nejkritičtějšími obdobími růstu jarního ječmene jsou vzházení, odnožování, sloupkování a plnění zrna.

Na dostupnost živin pro rostliny má výrazný vliv půdní pH. To také ovlivňuje efektivitu využití aplikovaných hnojiv a pesticidů rostlinami. V kyselých půdách se většina živin vyskytuje ve formách nedostupných pro rostliny, a to způsobuje deficit živin a ztráty na výnosech. Dodáním vápníku do půdy se upravuje pH půdy, redukuje se její zhutnění, zlepšuje se půdní struktura a odolnost rostlin vůči chorobám (Lemos et al. 2007).

Slabá osvojovací schopnost ječmene vyžaduje, aby byly živiny pro rostlinu snadno dostupné. Zároveň jsou jeho nároky na živiny poměrně vysoké. V počátečním období růstu je ječmen náročný na dostatek fosforu, který zabezpečuje intenzivnější dýchání. Při nedostatku fosforu dochází k menšímu odnožování, stébla jsou krátká a slabě vyvinutá. V období odnožování vyžaduje více dusíku než fosforu. Avšak nadbytek dusíku vede k nárůstu neproduktivní nadzemní biomasy. Příjem draslíku je po celou dobu vegetace plynulý. Zlepšuje kvalitu zrna, zdravotní stav rostliny a snižuje nebezpečí polehání. Avšak jeho nadbytek inhibuje tvorbu odnoží a snižuje kvalitu zrna. Jarní ječmen tedy vyžaduje vyšší pečlivost při plánování potřeby hnojení (Zimolka 2006).

2 Cíl práce a hypotézy

Cílem práce bylo vyhodnocení vlivu hnojení organickými hnojivy a hnojivy N, P, K na výnos a obsah prvků N, P, K, Ca, Mg v zrně jarního ječmene pěstovaného v dlouhodobém stacionárním polním pokusu na stanici ÚKZÚZ Chrastava vedeném na hnědozemí písčitohlinité v bramborářské výrobní oblasti v roce 2019.

Výchozími hypotézami pro tuto práci byly:

- 1) Hnojení N, P, K nebude mít vliv na obsah Ca a Mg v zrně.
- 2) Se zvyšující se dávkou hnojiva bude přírůstek výnosu klesat.
- 3) Největší vliv na tvorbu výnosu bude mít hnojení N.

3 Literární rešerše

3.1 Význam dlouhodobých polních pokusů

Dlouhodobé polní pokusy již mnohokrát dokázaly a stále dokazují svou relevantnost pro výzkum v zemědělství. Základním cílem tohoto výzkumu je zvyšování výnosů a zlepšování způsobů zpracování půdy pro udržitelnost zemědělství.

Hodnota kvalitně vedených experimentů s časem stoupá a současně s ní i náklady vynaložené na jejich provoz. Avšak efektivnost nákladů se zvyšuje, pokud pokusy slouží více záměrům a mají jasně stanovenou metodiku, která umožňuje, aby výsledky byly využitelné v co nejširším spektru možností. Mezi tyto záměry patří otestovat udržitelnost zemědělských systémů v dlouhodobém časovém rozpětí, monitorovat vlivy klimatických změn, zajistit aktuálnost experimentů se změnami v systémech hospodaření, archivovat půdní a rostlinný materiál pro další výzkum procesů, jež ovlivňují úrodnost půdy a výnos a kvalitu plodin. Dále se snaží zajistit realistické zhodnocení vlivu zemědělských procesů na životní prostředí a poskytnout data z co nejdějšího časového období, která mohou být dále využita pro vytvoření matematických modelů, jež by mohly být použity například k předpovídání vlivu klimatických změn na složení půdy a její úrodnost (Johnston & Poulton 2018).

Vědci si uvědomovali význam dlouhodobých polních pokusů již před více než 100 lety. Zaslouhou těchto vědců a generací po nich následujících, jež tyto pokusy nadále udržovaly a analyzovaly, jsou dnes k dispozici soubory výsledků, které mají nevyčíslitelnou hodnotu pro současný výzkum a udržitelnost zemědělství.

Nejstarší pokusy se nacházejí v Rothamstedu v Anglii a za svou existenci vděčí dvojici vědců John Bennet Lawes a Joseph Henry Gilbert. Ti nejenže založili několik dlouhodobých polních pokusů v období od roku 1843 do 1856, ale zároveň je po dosažení jejich prvotních záměrů zachovali. Mezi prvními pokusy založenými v roce 1843 byly velké polní pokusy na ozimé pšenici (*Triticum aestivum* L.) (Johnston & Poulton 2018).

Na rok 2002 připadlo 100. výročí od založení Static Fertilization Experiment v Bad Lauchstädt (Německo). V roce 2009 to bylo 50 let od založení dlouhodobých polních pokusů v Groß Kreutz (Německo) a 60 let od založení těchto pokusů v České republice (Körschens 2006).

Nedostatečné využití výsledků z dlouhodobých polních pokusů je nezodpovědné a má za následek újmu na potenciálním přínosu pokusů pro vědu. Přestože jsou tyto pokusy velmi nákladné, stále patří mezi nejefektivnější metody výzkumu. Zaslouhou znalostí z nich získaných mohli farmáři v průběhu posledních desetiletí zdvojnásobit výnosy, zlepšit kvalitu svých produktů a ochranu životního prostředí a zajistit tak dostatečné množství potravy pro stále se zvyšující množství obyvatel (Körschens 2006).

3.2 Tvorba výnosu

Na tvorbě výnosu v rostlinné výrobě se podílejí abiotické a biotické faktory současně. Cílem zemědělce je vyvinout systémy výroby, které jak z ekonomického, tak z ekologického pohledu, přinesou vyšší výnosy a kvalitu produkce.

Dle Peterové (2010) se podílí na růstu hektarového výnosu, jeho stabilitě v jednotlivých letech a stabilitě kvalitativních ukazatelů produkce především:

- a) správná rajonizace výroby, jež se zaměřuje na rajonizaci nejen jednotlivých druhů, ale i jejich odrůd a užitkových směrů.
- b) odrůdová skladba je dostatečně široká, po pečlivém výběru je možno ji použít ve většině oblastí a její výkonnost je srovnatelná s vyspělými státy.
- c) pěstební technologie jako komplex pěstitelských zásad v průběhu celé vegetace. V podmínkách České republiky lze tvrdit, že byla teoreticky zvládnuta na velkovýrobní úrovni, problém nastává při dodržování v praktických podmínkách. Mezi hlavní problémy lze zařadit špatné řazení v rámci osevního postupu, nevhodně připravený pozemek, pozdní setí, zvyšující se zaplevelenost pozemků, napadení porostů chorobami a škůdci a ztráty při sklizni vzniklé z nejrůznějších důvodů.
- d) výživa rostlin závisí jednak na výši vlastní dávky hnojiva na ha, na struktuře použitých hnojiv, tj. poměru očekávaných živin s ohledem na očekávaný výnos, na jejich kvalitě z hlediska koncentrace, fyzikálních a chemických vlastností, povrchové úpravy apod. Dále je nutné zohlednit starou půdní sílu daného stanoviště, vliv předplodiny, momentální stav porostu, průběh počasí a užitkový směr.

Všechny tyto faktory působí jak na velikost a kvalitu produkce, tak i na velikost nákladů na výrobu (Peterová 2010).

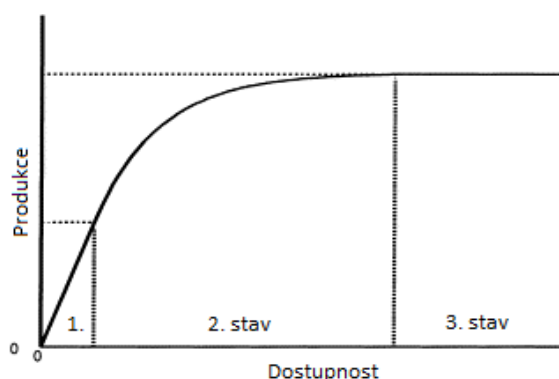
3.2.1 Zákon klesajících výnosů

Před druhou světovou válkou byla většina agronomického výzkumu zaměřena na hledání zákonů, dle kterých se řídí vztah mezi produkčními faktory a výnosy plodin (De Wit 1994).

Před více než sto lety v roce 1905 Blackman formuloval zákon o limitujících faktorech. Půl století před tím v roce 1855 Von Liebig již tento koncept objevil ve svém zákonu minima. Platnost těchto zákonů je potvrzena mnoha výzkumy, kde křivka grafu vykazuje pokles nárůstu výnosů s narůstající dostupností zdrojů. V roce 1895 Liebscher formuloval zákon optima, který říká, že rostliny využijí efektivněji faktor, kterého je nejmenší dostatek, čím více se ostatní faktory blíží ke svému optimálnímu množství (Kho 2000).

Graf č.1 ukazuje křivku reagující na zvyšující se dostupnost jednoho zdroje při stále dostupnosti ostatních zdrojů. Lze rozlišit tři stavy. V prvním „proporcionálním“ stavu je zdroj jediným limitujícím faktorem a je maximálně využit. Jakmile je tento zdroj zachycen, rostlina jej využije v procesu růstu, což vede k nárůstu biomasy. To má za výsledek poměrný vztah mezi produkcí a dostupností a minimální koncentrací zdroje v plodině. V druhém stavu „klesajících přírůstků výnosu“ proces ovlivňuje další faktor a také se stává limitujícím. Rostlina nemůže plně využít první zdroj a sklon křivky se snižuje. Pokud se dostupnost prvního zdroje nadále zvyšuje, jeho nedostatek ve vztahu k dostupnosti zdroje druhého se snižuje. Křivka vykazuje pokles nárůstu výnosů, jak koncentrace prvního zdroje v rostlině narůstá. Ve třetím

„plochem“ stavu faktory ovlivňují další procesy a křivka je rovnoběžná s osou x. První zdroj byl nasycen a dosáhl své maximální koncentrace. Změna v jeho dostupnosti již dále neovlivňuje jeho zachycování rostlinou a produkci biomasy (Kho 2000).



Graf č. 1 - Graf klesajícího výnosu (upraveno dle Kho 2000)

3.3 Jarní ječmen

Spolu s pšenicí je ječmen druhou nejstarší obilninou provázející člověka od počátku zemědělství. Nejstarší zmínky o jeho pěstování jsou dochovány z oblasti dnešního Iráku. Za oblast původu je považována Asie a zejména oblast tzv. úrodného půlměsíce (Zimolka 2006).

Toto tvrzení potvrzuje i Bard et al. (2000). Pozůstatky zrn ječmene (*Hordeum vulgare*) nalezené na archeologických místech v oblasti úrodného půlměsíce naznačují, že tato plodina byla domestikována přibližně před 10 000 lety ze svého planého příbuzného druhu *Hordeum spontaneum* C. Koch. Historie domestikace ječmene je revidována na základě předpokladů, že DNA markery efektivně měří genetické vzdálenosti, a že plané populace jsou geneticky rozdílné a neprošly výraznou změnou od počátku domestikace. V moderní taxonomii jsou *H. vulgare* L., *H. spontaneum* C. Koch a *H. argriocrithon* Åberg považovány za poddruhy *H. vulgare* L.

Šestiřadý ječmen *H. argriocrithon* byl poprvé popsán na základě materiálů získaných v Tibetu v roce 1938 a brzy poté mu byl přidělen status samostatného druhu. Tento objev vnesl mnoho nových otázek o původu a domestikaci ječmene. I když *H. argriocrithon* může být považován za autochtonní druh kvůli své genetické odlišnosti od *H. vulgare* a *H. spontaneum*, nové výzkumy ukázaly, že většina zástupců tohoto taxonu vznikla hybridizací, což vedlo k jeho vysoce heterogenní genetické struktuře. Dále tyto výzkumy podporují názor, že *H. spontaneum* je předkem *H. argriocrithon* poddruhu *paradoxon*, a že místem původní kultivace a domestikace šestiřadého ječmene je oblast Kaspického moře (Bonchev 2019).

Odhaduje se, že na našem území se ječmen začal pěstovat okolo roku 500 př.n.l. V té době byl užíván jako chlebovina. Na počátku rozvoje pivařství u nás jako surovina pro sladování převládala pšenice. Avšak s nárůstem výroby piva v 17. století byla pšenice postupně vytlačena ze sladovnictví a přešlo se na vaření piva z ječného sladu (Zimolka 2006).

V roce 2007 činila plocha jarního ječmene v České republice 369 177 hektarů s výnosem 3,44 tun na hektar. Do roku 2018 se tato plocha zmenšila na 222 122 hektarů, avšak výnos se zvýšil na 4,93 tun na hektar (Český statistický úřad 2019).

3.3.1 Botanická charakteristika

Z botanického hlediska ječmeny zastupují samostatný rod z čeledi lipnicovitých (*Poaceae*). Od ostatních zástupců čeledi se v tradiční taxonomii odlišují například jednokvětými klásky, které vyrůstají ve větvení lichoklasu vždy po trojicích. Dle počtu chromozomů ($n=7$) se rod *Hordeum* L. rozděluje na hexaploidní ($2n = 42$), tetraploidní ($2n = 28$) a diploidní ($2n = 14$). Kulturní ječmen je diploidní ($2n = 14$) a dle uspořádání klasu dvouřadý, čtyřřadý a šestiřadý (Beneš et al. 2011).

3.3.2 Morfologický popis

3.3.2.1 Kořenová soustava

Na růstové a produkční procesy ječmene má značný vliv mohutnost a funkce jeho kořenů. Stejně jako jiné druhy z čeledi lipnicovitých, tvoří ječmen svazčité kořeny, které jsou v porovnání s kořeny dvouděložných rostlin slabší a netloustnou. Jarní ječmen je plodinou s krátkou vegetační dobou a slabým kořenovým systémem, a proto zvyšuje riziko ztráty N vyplavováním z půdy (Shejbalová et al. 2014). Ječmen tvoří poměrně velký počet zárodečných (primárních) kořínků v počtu 4–10, nejčastěji 5-6. Rostliny s většími obilkami tvoří vyšší počet primárních kořínků než rostliny s menšími obilkami, víceřadé typy tvoří méně než dvouřadé a jarní více než ozimé. Z bazálních podzemních uzlů (kolének) během odnožování vyrůstají mohutnější a anatomicky odlišné kořínky adventivní (sekundární). Hloubka zakořenění je závislá z velké části na půdních vlastnostech, tedy půdním druhu, utužení, kyselosti, dostupnosti živin atd. 70–80 % sušiny kořenů se nachází v hloubce ornice (Zimolka 2006).

Základem růstu kořenového systému je dostatečná vlhkost půdy. V důsledku klimatických změn, a tedy stále sušších ročníků, je nutné uzpůsobit agrotechniku a tím zmírnit vliv těchto změn na půdu a vývoj rostlin. Půda na nedostatek vláhy reaguje sníženou prostupností pro vodu a vzduch, zvýšením povrchového odtoku (zvýšení rizika povodní), erozí a snížením hladiny podzemní vody. Všechny tyto prvky přispívají k vodnímu stresu rostlin, protože omezují její schopnost přijímat vodu a živiny. Kořeny jsou hustší, deformované a omezené v růstu směrem dolů (Jakobs et al. 2019).

Trendy posledního desetiletí jsou minimalizace a bezorebná „no-till“ metoda, jakožto způsoby ochrany půd a snížení nákladů a pojezdů. Avšak Hartmann et al. (2008) poukazuje na to, že by se mělo věnovat více pozornosti půdnímu podloží. V posledních dekadách bylo mnoho půd s nízkým produkčním potenciálem (kyselé, zasolené, svažité atd.) podrobena intenzivní kultivaci s cílem uspokojit stále narůstající požadavky na produkci potravin. Avšak toto zintenzivnění vedlo k degradaci půdního podloží a snížení produkčního potenciálu půd.

Všechny tyto negativní vlivy klimatických změn a zvyšujících se nároků na produkci mohou být ovlivněny správnou adaptací agrotechnických metod na podmínky v daných lokalitách. Správnou agrotechnikou lze ovlivnit schopnost půd absorbovat a zadržovat vodu, která je v době klimatických změn stěžejní (Jakobs et al. 2019).

3.3.2.2 Stéblo, listy, odnože, květenství

Stéblo ječmene tvoří 4–8 článků (internodií), oddělených kolénky (nody) a dosahuje výšky 80 – 130 cm. Nejvyšší internodia mají největší délku a spodní internodia jsou nejkratší. Prodlužování internodií je způsobeno tvorbou buněk meristemického pletiva umístěného v horní části kolének. Ve stěně stébla se pod vrstvou parenchymatického pletiva nachází souvislý prsteneček sklerenchymatického pletiva, jehož buňky jsou zvláště ke konci vegetace prostupovány ligninem. Poměr ligninu a celulózy má velký vliv na pevnost a pružnost stébla.

Listy jsou pravotočivé a umístěné ve dvou řadách. Z horní části kolénka vyrůstá pochva obepínající stéblo. Pochva je v místě, kde přechází v čepel zakončena blanitým jazýčkem (ligula), který je téměř rovný a po stranách vybíhá v dlouhá ouška (auriculy), jež se vzájemně překrývají (Zimolka 2006).

Stejně jako jiné obilniny tvoří ječmen z podzemního uzlu (odnožovacího kolénka) boční větve – odnože. Odnože vznikají z pupenů ležících v úžlabí blanitých listenů. Z odnoží vyrůstají adventivní kořeny, což znamená, že z hlediska příjmu živin a vláhy jsou nezávislé na hlavním stéble. Přeměna pupenu v odnož je podmíněna inhibicí růstu příslušného listu a dostatečnou výživou, a to zejména fosforem.

Květenství je složeno z rozvětveného klasu, který je tvořen smáčknutým větrem, na stranách obrveným. Vřetenem je rozděleno na jednotlivé články se třemi klásky (jednokvětými). Jejich plodnost či sterilitu určuje řadovost ječmene. Plevy jsou úzké a štětinovité a pluchy vybíhají v dlouhou osinu. Existují i formy bez osin. Osiny se podílejí na transpiraci a fotosyntéze, a tím ovlivňují i výnos zrna (Zimolka 2006).

3.3.2.3 Obilka a její chemické složení

Obilka, či zrno, se skládá ze tří částí: obalů, endospermu a zárodku. Zakrnělý vrchol osy klásku, který z vnější strany přiléhá k podélné rýze obilky, se nazývá bazální stětička. Její obrvení slouží jako rozlišovací znak některých odrůd ječmene. Plucha s pluškou společně chrání obilku před vnějšími vlivy a filtračních vlastností pluch se využívá při vaření piva, kde tvoří podstatnou část mláta. Pod pluchou a pluškou se nachází oplodí (perikarp), které je pevně srostlé s osemením (testa). Ty obalují celý vnitřek zrna, tedy zárodek a endosperm.

Ideální obsah vody ve vyzrálé obilce je 12–14 %. Pokud obsahuje nižší procento vody, má to negativní vliv na technologickou jakost, protože voda je součástí protoplazmy buněk. Vyšší vlhkost způsobuje problémy při skladování. Obsah popelovin (minerálních látek) v sušině se uvádí kolem 2 %, přičemž největší koncentrace je v obalových vrstvách obilky. Nejvíce jsou zastoupené prvky N, P, K, Si a Mg. V menším množství potom Ca, Fe, Al, Na a Mo. Největší část složení zrna představuje škrob (amylóza a amylopektin), tedy 60–65 %, který je během klíčení enzymaticky štěpen pomocí enzymů z aleuronové vrstvy na jednodušší a snáze transportovatelné formy sacharidů. Dále se zde v množství menším než 2 % nachází nízkomolekulární sacharidy (např. sacharóza, maltóza, rafinóza a další cukry), hemicelulózy (neškrobnaté polysacharidy), mezi které patří také β – glukany (3,3 – 4,9 %) a celulóza (4–7 %), tedy vláknina, která je pro lidské tělo těžko stravitelná a je jen částečně fermentována v tlustém střevě (Zimolka 2006; Wang 2017).

3.3.3 Faktory ovlivňující výnos

Dle Křena et al. (2014) mají na výnos jarního ječmene vliv následující faktory v sestupném pořadí dle relevantnosti: ročník, výživa dusíkem, kultivar a výsevek. To vychází z výsledků testů získaných pomocí Analýzy rozptylu (ANOVA). Výnos zrna značně koreluje s počtem odnoží rostliny a hmotností sušiny nadzemní biomasy na jednotku plochy. Dále nárůst výnosu, který nastává u zvýšení dávky hnojiva z 0 kg N na 45 kg N na hektar, je větší než při zvýšení dávky z 45 kg N na 90 kg N na hektar. Vliv výsevku je podstatně menší a výrazněji se projevil pouze v ročníku s nižším množstvím srážek, kde plochy s nižším výsevem vykazovaly nižší výnos. Na velikost zrn má vliv počet odnoží a dostupnost živin v období intenzivního růstu rostlin na začátku vegetace.

Klikocka et al. (2014) uvádí, že výnos zrna jarního ječmene je výsledkem počtu klasů, počtu zrn v klasu a hmotností tisíce semen. Všechny tyto výnosotvorné prvky jsou určovány genetickým potenciálem druhu a odrůdy, podmínkami stanoviště a stavem půdy. Jedním z aktuálních faktorů limitujících výnosy plodin ve Střední Evropě je nízký obsah forem síry dostupných pro rostliny.

3.3.3.1 Vodní deficit

Vodní deficit je považován za hlavní faktor limitující růst, fotosyntézu a produktivitu rostlin po celém světě (Jones & Corlett 1992). Tento fakt se bude v budoucnosti projevovat stále intenzivněji vlivem klimatických změn, a proto je zlepšení světového hospodaření s vodními zdroji jednou z nejdůležitějších výzev 21. století (Emelko et al. 2011). Systémy vodních zdrojů se zakládají na cirkulaci a ekologii vody v prostředí a udržují tak rovnováhu mezi jejich udržitelností, hydrologickým cyklem a podporou sociálního a ekonomického vývoje (Sun et al. 2016).

Navzdory výrazným pokrokům v porozumění vlivu vodního deficitu na rostliny, stále existují neobjasněné mezery v této problematice. Většina těchto mezer se vztahuje k neznámým interakcím mezi ostatními přírodními faktory. Z pohledu zemědělské praxe je nejdůležitější interakce mezi vodním deficitem a dostupností dusíku. N je často považován za druhý nejvíce limitující faktor pro růst a produktivitu plodin po vodním deficitu (Xu et al 2012).

Navíc prostorová variabilita půdy a změny v klimatických podmínkách mají za následek vysokou variabilitu v dostupnosti vody a živin pro rostliny na daném stanovišti. To významně ovlivňuje produktivitu plodin a vyluhování nebo odtok N ze zemědělských ploch do podzemních či povrchových vod. Dostupnost vody nebo N může také významně ovlivnit účinnost využití vstupních faktorů a tím i produkční parametry (Klem et al 2018).

3.4 Rostlinné živiny

Rostlinné živiny se z hlediska obsahu prvků v rostlině dělí na makroprvky, mikroprvky a prvky užitečné. Mezi makroprvky se řadí prvky takové, které se vyskytují v rostlinách od několika desetin do desítek procent. Do této skupiny patří C, H, O, N, P, K, Ca, Mg a S. Přičemž prvky C, H a O jsou přijímány v plynné a kapalné formě (H_2O , CO_2 nebo O_2 , C může být přijímán také ve formě kapalného aniontu HCO_3^-) a jsou nejdůležitějšími stavebními kameny organických molekul. Mikroprvky zastávají v rostlině zpravidla menší obsah než 0,05 % a často

jsou uváděny v ppm (tedy parts per milion). Mezi ně patří Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl a Ni. Pro prvky užitečné je typické, že se v rostlině mohou vyskytovat v různých koncentracích, avšak jejich přítomnost není nutná pro všechny rostlinné druhy. Patří sem například Na, Al, Si aj. Charakteristickými znaky živiny je její nezbytnost, nezastupitelnost a přímé zapojení do metabolismu rostliny (Vaněk et al. 2016).

3.4.1 Příjem živin rostlinou

Rostlina přijímá většinu živin svými kořeny ve formě iontů. Buď tedy ve formě kationtů jako např. K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} aj., nebo ve formě aniontů, např. NO_3^- , SO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$ aj.

Dle Vaňka et al. (2016) lze proces příjmu živin kořeny rozdělit do několik fází:

- a) přísun živin do bezprostřední blízkosti kořenů,
- b) průnik živin do volného prostoru mezi buňkami kořenů,
- c) průnik živin polopropustnou membránou, tj. plasmolemou, do cytoplasmy do vnitřního prostoru buněk
- d) transport živin v rostlině.

3.4.2 Makroprvky

3.4.2.1 Dusík

Dusík se řadí mezi nejvýznamnější prvky v koloběhu živin v přírodě. Jakožto jeden ze základních stavebních prvků bílkovin je nepostradatelný pro všechny živé organismy. Většina N na Zemi je soustředěna v litosféře, avšak pro jeho koloběh v přírodě má největší význam atmosférický N. Z atmosféry je N do půdy fixován pomocí mikroorganismů, které lze rozdělit na dvě základní skupiny, a to na mikroorganismy volně žijící, což jsou především bakterie nacházející se v půdě (např. aerobní *Azotobacter chroococcum* či anaerobní *Bacillus amylobacter* aj.), a na mikroorganismy symbiotické, které žijí v symbióze převážně s bobovitými rostlinami a přežívají v hálkách na kořenech rostlin (Vaněk et al. 2012).

Dusík je obecně nejvíce limitující živinou v rostlinné výrobě většiny zemědělských oblastí na světě a osvojení efektivních způsobů hospodaření s touto živinou většinou zajišťuje zemědělcům velké ekonomické přínosy. Navzdory tomu, že reakce výnosu jarního ječmene na hnojení N je velmi výrazná, proces sladování vyžaduje, aby obsah dusíkatých látek v zrně byl menší než 21,6 g/kg. Plán hnojení N se musí tedy řídit často protichůdnými požadavky na maximální výnos s potřebou nízkého obsahu dusíkatých látek v zrně. A proto dělení dávek N tak, aby se vyhovělo nárokům plodiny během vegetačního období, je nejefektivnějším způsobem, jak vyhovět zmíněným požadavkům (Baethgen et al. 1995).

Studie prováděné na jarní pšenici ukázaly, že aplikace části N hnojiva v raném stadiu růstu (při setí či brzy potom) a části na počátku prodlužovací fáze růstu rostlin má za výsledek jeho maximální využití (Fischer et al. 1993). Na výnos pšenice má podstatný vliv průběh ročníku, přičemž výnos ječmene je více závislý na hnojení (Kangor et al. 2010).

Avšak aplikace N u jarního ječmene během prodlužovací fáze může mít za následek vysoký obsah dusíkatých látek v zrně a negativně ovlivnit proces sladování. Bylo prokázáno, že nejefektivnější způsob hnojení jarního ječmene N je aplikace v malých dávkách okolo 30 kg N/ha (Baethgen et al. 1995).

Načasování aplikace N hnojiva, jeho množství a forma ovlivňují výživu K a četné studie potvrdily výraznou interakci mezi těmito faktory a výživou K. Optimální poměr N a K velice příznivě ovlivňuje celkovou produkci a kvalitu plodin (Gething 1993; Milford & Johnston 2009).

3.4.2.2 Fosfor

Světová spotřeba potravin se bude v příštích dekádách rapidně zvyšovat, jakožto výsledek narůstajícího množství světové populace (Long et al. 2015). S tím jsou spojené stále vyšší nároky na rostlinnou výrobu, zároveň na výrobu živočišnou a s tím spojenou výrobu krmiv a píče. Adekvátní zásoba fosforu v půdě je pro celou produkci důležitá, a to zejména na počátku primárního růstu rostlin na jaře. Avšak výzkumy poukazují na to, že zásoby hlavního zdroje P hnojiv, fosforitu, budou spotřebovány v několika příštích dekádách (Vance et al. 2003). Zároveň, aby se zajistila dostatečná produkce potravin, tak se očekává, že spotřeba P hnojiv se v roce 2050 v porovnání s rokem 2005 zdvojnásobí (Shi et al. 2020).

Většina P v půdě je ve formách, které jsou pro rostliny nepřijatelné. Základem těchto forem jsou sloučeniny H_3PO_4 a částečně $H_4P_2O_7$. Ty tvoří minerální formy, jenž se dále dělí na primární fosforečné minerály (apatity) vyskytující se ve formách sloučenin s vápníkem ($Ca_2(PO_4)$) a sekundární vysrážené a adsorbované fosforečnany. V kyselějších prostředích se vytvářejí sloučeniny s hliníkem a železem, které jsou hůře rozpustné. Naopak minerální vápenaté sloučeniny P za příznivých podmínek mohou postupně uvolňovat P do půdního roztoku, a tím jej zpřístupnit rostlinám.

Dále se P v půdě vyskytuje ve formách organických, které jsou nedílnou součástí organické půdní hmoty. Takto vázaný P tvoří většinou 30–50 % celkového fosforu v půdě. Jeho podstatnou část tvoří fyty, dále nukleové kyseliny, fosfolipidy a nukleoproteiny. Většina organického fosforu je imobilizována v tělech půdních mikroorganismů (Vaněk et al. 2012).

Půdní mikroorganismy jsou velmi důležité pro fosforečnou výživu rostlin, protože P rozkládají, mineralizují a imobilizují a poskytují tak využitelné formy pro rostliny. P v půdě je předmětem rozsáhlých fyzikálně-chemických a biologických reakcí a jen malá část celkového obsahu je ve formě přímo dostupné pro rostliny. K jeho příjmu rostlinami dochází z půdního roztoku v podobě ortofosfátu ($H_2PO_4^-$ a HPO_4^{2-}) pomocí vysoce afinitních transportérů, které se nacházejí v epidermis kořenů rostlin (Richardson & Simpson 2011).

Anorganický P je základní makroživinou potřebnou pro růst a vývoj rostlin. Ovlivňuje fakticky všechny biochemické procesy v rostlinách. P je součástí mnoha buněčných komponentů jako například ATP, nukleových kyselin, fosfolipidů a fosforylovaných cukrů, a také hraje klíčovou roli v metabolismu uhlíku a dusíku. Nedostatek P ve výživě tedy výrazně ovlivňuje růst rostlin a jejich produktivitu (Huang et al. 2008).

V prostředí s nedostatkem P rostliny modifikují metabolické procesy tak, aby přednostně spotřebovávaly P ze zásob a maximalizovaly příjem P z okolního prostředí. Rostliny tedy v těchto podmínkách zvyšují plochu povrchu kořenů a poměr nárůstu biomasy podzemní ku nadzemní, aby mohly využít větší objem půdy. Dále rostliny trpící nedostatkem P optimalizují spotřebu pomocí mobilizace P z organel, modifikací metabolických procesů a hydrolýzou mnoha molekul obsahujících P jako jsou nukleové kyseliny, fosfolipidy a fosforylované metabolity (Vance et al. 2003).

3.4.2.3 Draslík

Draslík je dalším z hlavních živin, které jsou zásadní pro růst a vývoj plodin. Avšak není nedílnou součástí žádné z buněčných organel či strukturálních částí rostlin. Je to kation vyskytující se v rostlinách nejhojněji a je asociován či zapojen v mnoha fyziologických procesech podporujících růst a vývoj rostlin. Draslík v rostlině může mít vliv na její vodní režim, fotosyntézu, transport asimilátů a aktivaci enzymů (Pettigrew 2007).

Draslík má v rostlinných buňkách mnoho různých funkcí, které závisí na jeho transportu přes specifické transportní proteiny vázané na membránu. Mezi tyto funkce patří krátkodobé udržování elektrického potenciálu, s turgorem spojený fenomén buněčné expanze, pohyb rostlin, vývoj pylové láčky a otevírání a zavírání stomat. Mezi další významné funkce K patří aktivace enzymů, transport dusičnanů a sacharózy na dlouhé vzdálenosti a stabilizace náboje aniontů uvnitř buňky (Britto & Kronzucker 2008).

Výživa K u plodin je ovlivňována agrotechnikou, druhem a podmínkami stanoviště, půdním typem, klimatickými podmínkami atd. Pro zajištění udržitelnosti rostlinné produkce při intenzivním pěstování plodin je nutné dodávat na pole doporučené dávky NPK a organických hnojiv. Dostupnost N významně interaguje s K výživou rostlin. Optimální poměr N a K velice příznivě ovlivňuje celkovou produkci a kvalitu plodin. K je také označován za makroprvek zlepšující odolnost rostlin vůči biotickým a abiotickým stresům (Zhang et al. 2010).

Hnojení minerálními a organickými hnojivy má výrazný vliv na koncentraci N, P a K v zrně, avšak téměř žádný vliv na koncentraci Ca a Mg, mikroprvků a rizikových prvků v zrně. Dlouhodobé hnojení těmito hnojivy ve standardních dávkách na minerálně bohatých půdách nevykazuje žádné riziko kontaminace plodin rizikovými prvky (Hejzman et al. 2013).

3.4.2.4 Vápník

Obsah vápníku má velký vliv na půdní reakci, a tedy na fyzikální, chemické a biologické procesy v půdě. V rostlině sehraje důležitou úlohu v metabolismu. Ovlivňuje strukturu a prostorové uspořádání membrán a tím zajišťuje předpoklady pro jejich semipermeabilitu. Významně ovlivňuje tvorbu a růst kořenů (Vaněk et al. 2016).

Jakožto dvojmocný kation (Ca^{2+}) je podstatným prvkem stavby buněčné stěny a membrán. Tvoří vazby s anorganickými a organickými anionty ve vakuole a přenáší signály uvnitř buněčného cytosolu (Marschner 1995). Rostlina přijímá Ca z půdního roztoku pomocí kořenů a transportuje jej přes xylém. Nedostatek Ca u rostlin způsobuje snížení tvorby kořenového vlášení, dále se na mladých listech projevují chlorotické skvrny. Nedostatek Ca je v přírodě vzácný, ale může se vyskytovat u půd s nízkým nasycením bazickými kationty nebo u kyselých půd. Zemědělské půdy s nízkou pufrací schopností je nutno dostatečně vápnit a pravidelně hnojit organickými hnojivy (White & Broadley 2003).

3.4.2.5 Síra

Síra hraje významnou roli v metabolismu rostlin a její nedostatek ovlivňuje kvalitu plodin. Přestože je vliv S na vývoj a růst rostlin znám již spoustu let, nedostatek S u zemědělských plodin byl v Evropě vzácný až do 90. let minulého století. Pokles přísunu S z atmosférické depozice na začátku 70. let minulého století spolu se zvyšováním

výnosů plodin a přechodu z používání hnojiv obsahujících S na hnojiva, která ji neobsahují, měl za důsledek nárůst nedostatku S v půdě. Navzdory tomu, že obilniny vyžadují pouze malé množství S pro optimální růst (okolo 15-20 kg·ha⁻¹), byly zaznamenány nárůsty ve výnosech vlivem dodání S hnojiv (Zhao et al. 1999).

V zrna ječmene je tento prvek přítomen ve formě aminokyselin obsahujících síru. Biochemickou rolí S je tvorba disulfidových vazeb mezi peptidovými řetězci a stabilizace proteinových struktur (Hawkesford & De Kok 2006). To má významný vliv na kvalitu sladovnického ječmene, jelikož tyto faktory ovlivňují obsah proteinů a frakční složení. Průměrné zrno ječmene obsahuje 12,1 % albuminů, 8,4% globulinů, 25% prolaminů a 54,5% glutelinů. Obsah každé z těchto složek má významný vliv na technologickou a výživovou kvalitu zrna. V důsledku nedostatku S se snižuje množství frakcí bohatých na síru B-hordeinů a vysokomolekulárních D-hordeinů, které ovlivňují modifikaci endospermu během sladování (Dostálová et al. 2015).

3.4.3 Mikroprvky

Mikroprvky hrají klíčovou roli v růstu a vývoji rostlin a jsou nezbytné nejen pro rostliny, ale i pro všechny živočichy (včetně člověka). Mezi mikroprvky významné pro rostliny patří Zn, Cu, Fe, Mn, B, Mo, Ni, Cl a Ni. Avšak živočichové musejí přijímat také Se, I, Co, F a Cr, které jsou pro rostliny postradatelné. Tyto prvky jsou absorbovány rostlinami z půdy a vody a skrz potravní řetězec vstupují do těl živočichů.

Obsah těchto živin má velký vliv na produktivitu a lidské zdraví. Ne nadarmo se říká, že lidské zdraví je spojeno se zdravím půdy. Nedostatek živin v rostlinách způsobený jejich nedostatkem v půdě má tedy negativní vliv na živočišný organismus. Zejména nedostatek vitamínu A, Fe, Zn a I, který má vliv na hormonální soustavu štítné žlázy. Plodiny pěstované na kyselějších půdách vykazují nižší obsah Se a Mo, avšak vyšší obsah Cu. Nedostatek Se ve výživě může vést např. k nutriční svalové dystrofii a zvýšení pravděpodobnosti výskytu nádorového onemocnění. Dále je nedostatek Se, Cu, Fe a Zn označován za původce anémie. Bór je považován za tělu prospěšný prvek, protože zabraňuje ztrátám Mg a Ca z organismu. Avšak toxická koncentrace některých stopových prvků ovlivňuje zdraví negativně. Každý prvek tedy sehrává svou specifickou roli v metabolismu rostlin a živočichů (Shukla et al. 2018; Shukla et al. 2019).

Hromadění mikroprvků v zrna regulují fyziologické a biochemické membrány v rostlině. Tyto membrány jsou výsledkem kontrolovaných homeostatických mechanismů, které regulují absorpci a translokaci kovů v rostlinách. To zajišťuje jejich vhodnou a netoxickou koncentraci v tkáních.

Nedostatek mikroprvků je výsledkem špatného hospodaření s půdou, což zahrnuje intenzivní kultivaci bez dostatečného navrácení živin zpět do půdy, omezený osevní postup s malým zastoupením zlepšujících plodin a nedostatečné dodávání organické hmoty do půdy. To způsobuje snižování výnosů a kvality plodin a koncentraci mikroprvků v nich obsažených.

Pro zlepšení obsahu mikroprvků v půdě, a tedy i potravě je nutné vyvinout co nejefektivnější metody testování půd na obsah těchto mikroprvků pro umožnění předpovědi dalšího vývoje jejich koncentrace v půdě a pro navrhnutí vhodného způsobu jejich navrácení do půdy (Shukla et al. 2018).

3.5 Organická hnojiva

Dle zákona č. 156/1998 Sb. neboli zákona o hnojivech se hnojivem rozumí látka, která poskytuje účinné množství živin pro výživu kulturních rostlin, pro zlepšení či udržení úrodnosti a pozitivní ovlivnění výnosu nebo kvality produkce. Organickým hnojivem je hnojivo obsahující deklarované živiny v organické hmotě. Statkovým hnojivem je hnojivo, které vzniká jako vedlejší produkt při chovu hospodářských zvířat či pěstování kulturních rostlin, pokud není dále upravováno. Za úpravu se nepovažují přirozené procesy přeměn při skladování, mechanická separace kejdy a přidávání látek snižujících ztráty živin nebo zlepšujících účinnost živin.

Koloběh živin v půdě je z velké části určován aktivitou půdní mikrobiální biomasy a je zdrojem energie, která pohání funkci této biomasy, a to převážně ve formě fixovaného uhlíku (Witter et al. 1993). Hnojení organickými hnojivy v zemědělských systémech nutně zahrnuje dodání velkého množství uhlíku spolu s ostatními živinami, kterými se plodiny hnojí. Uhlík také vstupuje do půdy skrz kořenové exudáty rostlin a rozkladem rostlinných zbytků. Dodání uhlíku do půdy v jakékoliv formě stimuluje velikost mikrobiální biomasy a její aktivitu. Pro udržení velikosti biomasy je nutné tyto vstupy zachovávat (Joergensen et al. 1995).

Zintensivňování produkce dobytka v uplynulých letech mělo za výsledek nahuštění zvířat na malé plochy, kde se produkuje velké množství hnoje pro aplikaci na relativně malou okolní zemědělskou plochu. Jako příklad lze uvést vývoj vepřového průmyslu v Hong Kongu. To vedlo k obavám o životní prostředí, které zahrnují znečištění vzduchu, emise metanu a znečištění vod N a P. Vysoký promyv N a P vede k eutrofizaci a nepříznivě ovlivňuje růst a diversitu života ve vodním prostředí (Huang et al. 2004).

Bylo prokázáno, že dlouhodobá aplikace minerálních NPK hnojiv bez dodání organické hmoty může urychlit mineralizaci humusu a degradaci půdy. To je způsobeno okyselením půdy. Okyselení půdy dále způsobuje nižší dostupnost živin, promyv N, zvýšený obsah toxických prvků, snížení mikrobiální aktivity atd. Hnojení organickými hnojivy napomáhá dosáhnout dlouhodobých stabilních výnosů a zároveň udržuje vlastnosti půdy v optimální hladině (Menšík et al. 2018).

4 Metodika

4.1 Použitý materiál

Podklady pro tuto bakalářskou práci vznikaly od jara do podzimu roku 2019 ve spolupráci s Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským v Chrastavě a v Brně. Pro účely této práce byly využity výsledky jedné ze tří polních stacionárních zkoušek vedených na stanici ÚKZÚZ Chrastava pod názvem Sledování vlivu stupňované intenzity hnojení na výnosy plodin, na agrochemické vlastnosti půd a na bilanci živin. Dalšími dvěma zde vedenými polními stacionárními zkouškami jsou Ověření různých systémů organického hnojení a Ověření účinnosti stupňovaných dávek dusíku při konstantních hladinách fosforu a draslíku.

Zkouška se řídí metodickými pokyny č. 24/SZV vydání 3. Byla založena v roce 1977 jako jedna z prvních na této stanici. Rok 1977 je zároveň rokem založení stanice. Od tohoto roku jsou používány stejné formy hnojiv N, P a K a umístění a velikost parcel také zůstávají stejné. V průběhu let se měnily pouze odrůdy jednotlivých plodin.

4.2 Popis stanoviště

Stanoviště se nachází v severozápadní části města Chrastava a mírně se svažuje směrem na jihovýchod, tedy k směrem k opakování B.

Tabulka č.1 - Popis stanoviště

Kraj	Liberecký
Výrobní oblast	Bramborářská
Půdní typ a subtyp dle FAO	Hnědozem luvizemní
Půdní druh dle Nováka	Písčitohlinitá
Nadmořská výška	345 m
Průměrná roční teplota	8,0 °C
Průměrný roční úhrn srážek	738 mm

4.3 Popis odrůdy

Laudis 550 je odrůda s výběrovou sladovnickou kvalitou a je doporučena Výzkumným ústavem pivovarským a sladařským pro výrobu piva s chráněným zeměpisným označením (CHZO) České pivo. Byl zaregistrován v březnu 2013 po úspěšném absolvování registračních zkoušek ÚKZÚZ v letech 2009–2012. Pochází z hrubčického šlechtitelského programu, tak jako odrůdy Malz, Bojos, Radegast, Heris a další. Držitelem šlechtitelských práv je Limagrain Central Europe Cereals (Blažek 2014).

Laudis 550 je polopozdní odrůda s vysokou odnoživostí, která tvoří vysoký počet produktivních stébel. Rostliny jsou středně vysoké s dobrou odolností vůči poléhání a lámání stébla. Zrno má středně velké s HTZ 45 g. V tříletém průměru registračních zkoušek ÚKZÚZ 2009–2012 dosáhl Laudis 550 vysokého výnosu ve všech výrobních oblastech. Má výborný zdravotní stav. Absolutní odolnost vůči padlí travnímu je kontrolována genem Mlo. Laudis 550 má velmi dobrou odolnost proti rhynchosporiové skvrnitosti a rzi

ječné a střední odolnost vůči hnědé skvrnitosti. Tato odrůda je vhodná do všech výrobních oblastí. Nejvhodnější předplodinou je hnojená okopanina, vhodnou je mák a řepka ozimá. Méně vhodnou je obilnina. Pro termín setí platí zásada sít co nejdříve, jakmile to počasí dovolí. Ideální hloubka setí je 2–4 cm. Má vysokou odnoživost a pro bramborářskou výrobní oblast je doporučeno vysévat 4 – 4,5 MKS na hektar. Po obilnině nebo zpožděném setí je vhodné zvýšit výsek o 0,5 MKS na hektar. Fosforečná, draselná a hořečnatá hnojiva lze užít zásobně na podzim nebo před setím na jaře. Hnojení dusíkem se řídí výrobní oblastí, předplodinou a obsahem N_{\min} v půdě v rozmezí od 40 do 80 kg N na hektar. Dusíkatá hnojiva se aplikují zásadně před setím, v případě aplikace po zasetí je důležité ukončit hnojení ve fázi 25 (plné odnožování). Korekci výživného stavu je možné provést ve fázi konce odnožování a začátku sloupkování. První fungicidní ošetření je vhodné aplikovat ve fázi 32–39, tj. v první polovině sloupkování, se zaměřením na hnědou skvrnitost, druhé ošetření v době metání ve fázi 51–59. Je důležité sledovat infekční tlak chorob a stav porostu a ošetření správně načasovat (Blažek 2014).

4.4 Osevní postup

ÚKZÚZ Chrastava spadá do bramborářského výrobního typu oblasti a osevní postup pro období 2014–2021 je následující:

Tabulka č.2 - Osevní postup pro období 2014-2021

rok	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
plodina	jetel	jetel	pšenice ozimá	brambory rané	pšenice ozimá	ječmen jarní	brambory	ječmen jarní

Osevní postup je osmihonný s 50 % zastoupením obilovin a neobsahuje meziplodiny. Ve verzi určené pro oblast výrobního typu řepářského je jetel nahrazen vojtěškou a brambory v roce 2020 řepou cukrovkou.

4.5 Kombinace hnojení

Dusík, fosfor a draslík jsou aplikovány ve třech hladinách. V bramborářské výrobní oblasti je kombinace 3. až 12. hnojena zásobně. Kombinace 12. je hnojena s vysokou intenzitou hnojení stejně jako kombinace 11. avšak bez vápnění, pro ověření vlivu vysokých dávek hnojiv na půdní reakci. Při hnojení jednotlivých parcel jsou používána hnojiva: síran amonný (SA), superfosfát (SP) a draselná sůl (DS). Hnojení hnojem se provádí v osevním postupu dvakrát (viz Příloha I.) a pouze pod brambory v dávce 40 t/ha. Vápnění se provádí také dvakrát v osevním postupu, a to po jeteli a před jarním ječmenem.

1. Nehnojená kontrola
2. CHM - hnojeno chlěvským hnojem, vápněno dle potřeby
3. $N_2 P_2 K_0$ - zásobně P a K, hnojeno chlěvským hnojem, vápněno dle potřeby
4. $N_2 P_2 K_1$ - zásobně P a K, hnojeno chlěvským hnojem, vápněno dle potřeby
5. $N_2 P_2 K_2$ - zásobně P a K, hnojeno chlěvským hnojem, vápněno dle potřeby
6. $N_2 P_2 K_3$ - zásobně P a K, hnojeno chlěvským hnojem, vápněno dle potřeby
7. $N_2 P_0 K_2$ - zásobně P a K, hnojeno chlěvským hnojem, vápněno dle potřeby
8. $N_2 P_1 K_2$ - zásobně P a K, hnojeno chlěvským hnojem, vápněno dle potřeby

9. N₂ P₃ K₂ - zásobně P a K, hnojeno chlévským hnojem, vápněno dle potřeby
10. N₁ P₁ K₁ - zásobně P a K, hnojeno chlévským hnojem, vápněno dle potřeby
11. N₃ P₃ K₃ - zásobně P a K, hnojeno chlévským hnojem, vápněno dle potřeby
12. N₃ P₃ K₃ - hnojeno minerálními hnojivy do zásoby, hnojeno chlévským hnojem, nevápněno

4.5.1 Dávky živin

Při stanovení základních dávek je užíváno vyhodnocení bilance živin za celé zkušební období. Hladiny živin jsou shodné pro všechna pokusná místa v řepařské i bramborářské oblasti.

Tabulka č.3 - Hladiny živin

hladina živin	kg č.ž. P ₂ O ₅ · ha ⁻¹	kg č.ž. K ₂ O · ha ⁻¹	kg č.ž. N · ha ⁻¹
nízká - 1	30	40	60
střední - 2	60	80	90
vysoká - 3	120	160	120

4.6 Schéma parcel

Pokus je rozdělen na 12 variant s různými stupni hnojení jednotlivých živin v 6 opakováních, což činí 72 parcel. Celková plocha jedné parcely i s ochranným pásmem odpovídá 64 m² o délce 12,8 m a šířce 5 m. Sklizňová plocha jedné varianty pokusu je rovna 15,26 m², přičemž délka jednoho dílce je rovna 11,1 m a šířka 1,375 m. Šířka odpovídá rozpětí malého secího stroje. Zbylá plocha slouží jako ochranné pásmo pro zajištění co nejvyšší možné přesnosti pokusu. Ochranné pásy jsou vysévány velkým secím strojem. Délka předního a zadního okraje je stejná a činí 0,85 m.

Výsevek jarního ječmene na 1 ha plochy je 173 kg, což je v přepočtu 305 g na plochu jedné varianty. Meziřádková vzdálenost odpovídá 12,5 cm a v jedné variantě je tedy 11 řádků.

Tabulka č.4 - Schéma parcel

6F	5F	4F	3F	2E	1E	12E	11E
2F	1F	12F	11F	10E	9E	8E	7E
10F	9F	8F	7F	6E	5E	4E	3E
11D	12D	1D	2D	9C	10C	11C	12C
3D	4D	5D	6D	1C	2C	3C	4C
7D	8D	9D	10D	5C	6C	7C	8C
4B	3B	2B	1B	12A	11A	10A	9A
12B	11B	10B	9B	8A	7A	6A	5A
8B	7B	6B	5B	4A	3A	2A	1A

4.7 Agrotechnické termíny

Tabulka č.5- Agrotechnické termíny

Datum	Operace
podzim 2018	podmítka
	hnojení SP, DS
	hluboká orba
21.3.2019	orba
	urovnání kompaktozem
27.3.2019	hnojení DA, SP, DS
4.4.2019	setí
6.5.2019	ochranný postřik přípravky Mustang (0,5 l · ha ⁻¹) a Lontrel (0,3 l · ha ⁻¹)
31.5.2019	ochranný postřik přípravkem Dicopur M 750 (1 l · ha ⁻¹)
27.7.2019	sklizeň vzorků

Po sklizni speciální sečkou byly jednotlivé vzorky zváženy a spolu se vzorky půdy odeslány do ÚKZÚZ Brno k dalšímu rozboru.

4.8 Ročník

Tabulka č.6 - Meteorologické záznamy zkušební stanice Chrástava

Měsíc	Teplota (°C)				Součet srážek (mm)	Odchylka od měsíčního normálu	
	Denní průměr	Přízemní maximum	Přízemní minimum	Počet dní s přízemním mrazíkem		teplotní	srážková
Září	14,1	28,6	-0,4	0	39,1	+1,1 °C	57,5 %
Říjen	10,7	22,9	0,2	0	36,6	+2,7 °C	77,9 %
Listopad	4,9	16,6	-9,6	6	10,6	+1,7 °C	20,4 %
Prosinec	1,8	9,5	-7,8	1	113,4	+1,5 °C	202,5 %
Leden	-1,1	6,1	-13,5	12	84,8	+0,1 °C	197,2 %
Únor	2,2	14,3	-8,1	1	38,5	+2,7 °C	101,3 %
Březen	3,9	19,9	-1,6	0	54,4	+0,5 °C	100,7 %
Duben	6,8	28,2	-3,3	8	24,5	-0,6 °C	52,1 %
Květen	11,0	26,6	-2,6	10	122,8	-1,7 °C	188,9 %
Červen	21,1	36,6	6,0	0	29,8	+5,6 °C	35,5 %
Červenec	18,7	35,4	4,7	0	44,0	+1,6 °C	46,3 %

Zima na přelomu let 2018/2019 byla bohatá na srážky oproti měsíčním normálům. Sněhová pokrývka se vyskytla v druhé dekádě prosince, první a druhé dekádě ledna a první dekádě února. Avšak vlivem následného oteplení a deště sněhová pokrývka vždy vydržela pouze několik dní a následně roztála. Únor byl nadprůměrně teplý. V březnu se poměrně často vyskytovaly sněhové, smíšené a dešťové přeháňky. Duben byl převážně suchý s občasnými

ranními přízemními mrazíky a denními teplotami od 7 do 25 °C. Větší množství srážek spadlo až na konci dubna. Květen byl převážně deštivý a poměrně chladný. 27. května napršelo 46 mm dešťových srážek. Červen se vyznačoval převládajícími letními až tropickými teplotami s občasnými bouřkami. V první dekádě července napršelo malé množství srážek. V období 11. - 14. července spadlo 29 mm dešťových srážek. V druhé polovině července se postupně opět oteplilo až k letním tropickým teplotám a srážky byly v tomto období ojedinělé.

4.9 Choroby

Během vegetace nebylo zaznamenáno napadení zástupci s čeledi padlí. Rzi a rhynchosporiová skvrnitost se vyskytovaly v menší míře. Střední výskyt byl zaznamenán u hnědých skvrnitostí, a to bez rozdílu v kombinacích hnojení.

4.10 Analýza materiálu

Následující pracovní postupy analýzy vzorků byly vedeny dle metodiky vydané Národní referenční laboratoří ÚKZÚZ Brno platné od 1.7.2016.

4.10.1 Půdní reakce

Úprava odebraných půdních vzorků byla provedena dle jednotného pracovního postupu analýzy půd I. (JPP AP I) 30010.1 - Úprava půdních vzorků pro fyzikálně-chemické rozbory.

Ze vzorku byly odstraněny větší kameny a zbytky rostlin. Poté byl vzorek vysušen a následně proset přes síto o velikosti 2 mm v půdním deglomerátoru tak, aby nedocházelo k drcení skeletu.

Stanovení výměnného pH bylo vedeno dle JPP AP I 30040.1 - Stanovení výměnného pH půd extrakcí 0,01M CaCl₂.

Do nádoby bylo naváženo 10 g upraveného půdního vzorku a k tomu bylo přidáno 50 ml extrakčního roztoku (roztok CaCl₂ o koncentraci 0,01 mol/l) a extrahováno v mechanické třepačce (60 ± 10) minut. Po extrakci byla suspenze ponechána 1 hodinu v klidu a této době byla změřena na pH metru.

4.10.2 Mineralizace rostlinného materiálu

Pro stanovení obsahu jednotlivých makroprvků v zrně bylo nutné materiál nejdříve mineralizovat dle jednotného pracovního postupu analýzy rostlinného materiálu (JPP ARM) 40018.1 - Mineralizace směsí kyseliny sírové a peroxidu vodíku.

Do mineralizační tuby bylo naváženo (1,000 ± 0,001) g namletého a vysušeného zrna a přidáno 10 ml 96 % roztoku kyseliny sírové a 5 ml 35 % roztoku peroxidu vodíku. Vzorek byl umístěn do mineralizačního bloku nastaveného na 250 °C a po dobu 20 minut mineralizován. Po ochlazení bylo do trubice pomalu přidáno dalších 5 ml roztoku peroxidu vodíku a mineralizace dále probíhala v bloku při teplotě 400 °C až do úplného vyčerení vzorků. Po ukončení mineralizace byl vzorek zchlazen a zvážen pro zjištění úbytku kyseliny sírové. Hmotnost vzorku byla 10 g. Po úplném zchlazení bylo ke vzorku v tubě přidáno 20 ml destilované vody a obsah byl kvantitativně převeden do 100 ml odměrné baňky. Baňka byla

následně doplněna vodou téměř po značku a promíchána. Po 18 h stání při laboratorní teplotě byla baňka doplněna destilovanou vodou po značku, promíchána a obsah byl přefiltrován do 100 ml plastové uzavíratelné lahvičky.

4.10.3 Stanovení celkového dusíku

Pro stanovení celkového dusíku v zrně dle JPP ARM 40053.1 - Stanovení celkového dusíku byla použita automatická destilační jednotka umožňující destilaci vodní párou. V každé sérii vzorků byla provedena slepá stanovení s použitím všech chemikálií.

Do destilační tuby byl kvantitativně převeden mineralizovaný vzorek. Tuba byla umístěna do destilační jednotky a do tuby bylo nadávkováno 50 ml roztoku hydroxidu sodného o koncentraci 400 g/l. Po alkalizaci vzorku byla provedena destilace vodní parou. Do 1 % roztoku kyseliny borité s roztokem bromkresolové zeleně a methylčerveně, který byl automaticky nadávkován do titrační nádoby, byl zachycen uvolněný amoniak. Současně s probíhající destilací probíhala titrace pomocí standardního odměrného roztoku kyseliny sírové o koncentraci 0,10 mol/l.

Obsah dusíku X byl vypočítán dle vztahu

$$X = (V_1 - V_2) \times c \times 2,801/m$$

kde

X byl procentuální obsah celkového dusíku ve vysušeném vzorku

V_1 spotřeba kyseliny sírové v ml při titraci zkušební podílu

V_2 spotřeba kyseliny sírové v ml při titraci slepého stanovení

c koncentrace kyseliny sírové v mol/l

m navážka zkušební podílu v gramech

4.10.4 Stanovení fosforu

Stanovení obsahu fosforu v zrně bylo provedeno dle JPP ARM 40060.1 - Stanovení fosforu spektrofotometricky.

Do 100 ml odměrných baněk byly připraveny kalibrační roztoky o koncentracích fosforu 0; 0,25; 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10 mg/l a do každé baňky bylo přidáno 0,5 ml kyseliny sírové a 20 ml vybarvovacího roztoku molybdenanu amonného. Obsah byl důkladně protřepán. Dále bylo do jedné 100 ml odměrné baňky napipetováno 10 ml mineralizačního roztoku a do druhé baňky 10 ml slepého roztoku. Po přidání 20 ml vybarvovacího roztoku molybdenanu amonného byly baňky doplněny destilovanou vodou a obsah důkladně promíchán a ponechán 1 h odstát.

Kalibrační roztoky i vzorky byly měřeny na spektrofotometru při vlnové délce procházejícího světla 430 nm a dále vyhodnoceny metodou kalibrační křivky.

Výsledný obsah fosforu ve vzorku byl vypočten dle vztahu

$$X = \frac{(C_V - C_B) \times V \times F}{m} \times 0,1$$

kde

X byl procentuální obsah fosforu ve vzorku

C_V koncentrace fosforu odečtená z kalibračního grafu v mg/l

- C_B koncentrace fosforu v roztoku slepého vzorku v mg/l
- V celkový objem mineralizátu v l
- F faktor ředění mineralizátu
- m hmotnost navážky vzorku v g

4.10.5 Stanovení draslíku

Stanovení obsahu draslíku v zrnu bylo vedeno dle JPP ARM 40080.1 - Stanovení draslíku a sodíku metodou FAES.

Do 100 ml odměrných baněk byly připraveny kalibrační roztoky o koncentracích draslíku 0; 10; 20; 50; 80; 100; 200; 300; 500 a 800 mg/l a do každého roztoku bylo přidáno 0,5 ml kyseliny sírové. Baňky byly doplněny destilovanou vodou po rysku a byly protřepány.

Kalibrační standardy i vzorky byly měřeny ve stechiometrickém plamenu acetylen-vzduchu na atomovém absorpčním spektrofotometru s možností měření emise. Pro draslík byla vlnová délka nastavena na 766,5 nm a výsledky byly vyhodnoceny kalibrační metodou.

Výsledný obsah draslíku ve vzorku byl vypočten dle vztahu

$$X = \frac{(C_V - C_B) \times V}{m} \times 0,1$$

kde

X byl procentuální obsah draslíku ve vzorku

C_V koncentrace draslíku odečtená z kalibračního grafu v mg/l

C_B koncentrace draslíku z roztoku slepého pokusu v mg/l

m hmotnost navážky vzorku v g

V celkový objem mineralizátu v l

4.10.6 Stanovení vápníku a hořčíku

Stanovení obsahu vápníku a hořčíku v zrnu bylo vedeno dle JPP ARM 40070.1 - Stanovení vápníku a hořčíku metodou FAAS.

Do 100 ml odměrných baněk byly připraveny kalibrační standartní roztoky o koncentracích Ca a Mg 1; 2; 5; 10; 15; 20 a 30 mg/l. Do všech baněk bylo následně přidáno 9 ml roztoku lanthanu o koncentraci 10,0 g/l a 0,5 ml 96 % roztoku kyseliny sírové. Baňky byly dále doplněny destilovanou vodou po rysku. Slepý vzorek byl připraven do 500 ml baňky, do které bylo přidáno 45 ml roztoku lanthanu a 2,5 ml kyseliny sírové. Baňka byla doplněna destilovanou vodou po rysku. Při přípravě vzorků bylo pomocí dilutoru do zkumavek nadávkováno 0,500 ml mineralizátu a 4,500 ml roztoku lanthanu a zkumavky byly důkladně protřepány.

Kalibrační standarty i vzorky byly měřeny ve stechiometrickém plamenu acetylen-vzduch se štěrbinovým hořákem na atomovém absorpčním spektrofotometru. Pro měření vápníku byla vlnová délka nastavena na 422,7 nm a pro hořčík 285,2 nm.

Výsledné obsahy vápníku a hořčíku ve vzorku byly vypočteny dle vztahu

$$X = \frac{(C_V - C_B) \times V \times F}{m} \times 0,1$$

kde

X byl procentuální obsah vápníku či hořčíku ve vzorku

C_v koncentrace vápníku či hořčíku odečtená z kalibračního grafu v mg/l

C_B koncentrace vápníku či hořčíku v roztoku slepého vzorku v mg/l

V celkový objem mineralizátu v l

F faktor ředění mineralizátu

m hmotnost navážky vzorku v g

4.11 Cíle stacionární zkoušky

Cíle stacionární zkoušky jsou:

- a) sledování závislosti mezi výrobností osevního sledu a intenzitou hnojení, stanovení optimálních dávek živin,
- b) sledování změn agrochemických vlastností půd při stupňované intenzitě hnojení a upřesnění kritérií pro hodnocení obsahu přístupných živin,
- c) sledování dodaných a odčerpaných živin – bilance živin,
- d) ověřování vhodných analytických metod pro stanovení obsahu přístupných živin v půdě,
- e) posouzení vlivu použitých hnojiv na kvalitu produkce.

Tato bakalářská práce se zabývá zejména body a) a e).

5 Výsledky

5.1 Výnos

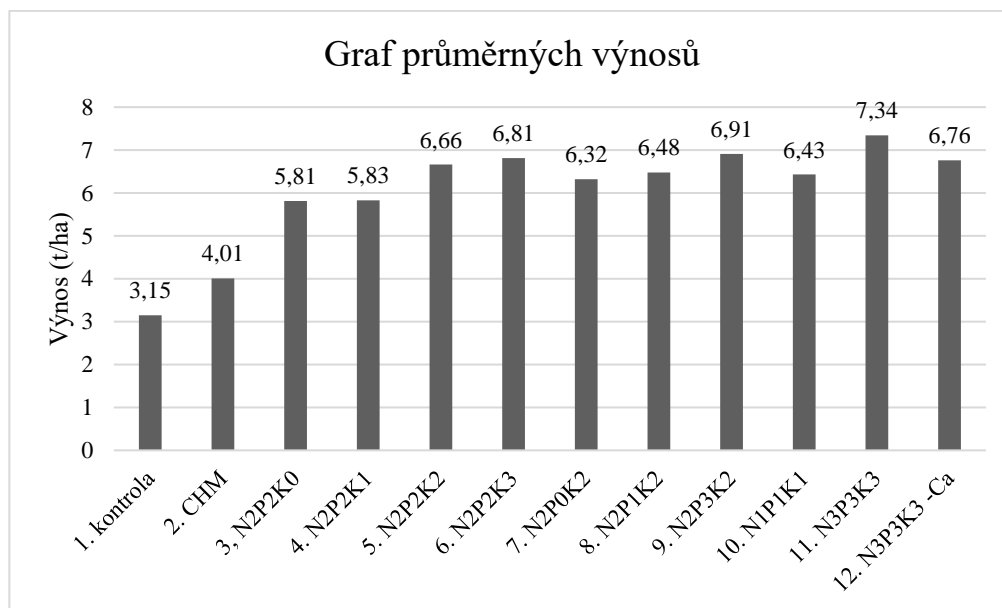
Hodnoty u jednotlivých opakování jsou uvedeny v kilogramech na parcelu. Pouze průměrné výnosy jsou přepočteny na t/ha. Vše je přepočteno na 14% vlhkost zrna.

Nejvyšší průměrný výnos (viz Příloha II.) měla varianta 11 s 7,34 t/ha, tedy varianta hnojená v nejvyšších hladinách minerálními hnojivy, kravským hnojem a pravidelně vápněná. U jednotlivých opakování měla varianta 11 v porovnání s ostatními variantami nejvyšší výnos ve 3 ze 6 opakování. U opakování C měla nejvyšší výnos varianta 5 (N₂P₂K₂), u opakování D varianta 9 (N₂P₃K₂) a u opakování E varianta 6 (N₂P₂K₃). Nejnižší výnos vykazovala ve všech opakováních kontrolní nehnojená a nevápněná varianta 1, kde průměrný výnos činil 3,15 t/ha.

Při stupňování dávek jednotlivých forem hnojiv byl největší rozdíl rovný 1,8 t/ha zaznamenán mezi variantami 2 (hnojeno pouze hnojem a vápněno) a 3 (N₂P₂). Nejmenší rozdíl rovný 0,02 t/ha byl mezi variantami 3 (N₂P₂) a 4 (N₂P₂K₁).

V grafu je patrný výrazný rozdíl ve výnosu ječmene po dodání minerálních hnojiv mezi variantami 2 a 3, avšak při stupňování dávek jednotlivých minerálních hnojiv nárůst výnosu klesá. Dále je viditelný vliv vápnění na výnos mezi variantami 11 a 12, kde byly obě varianty hnojeny ve stejné hladině N₃P₃K₃, avšak varianta 12 nebyla vápněna. Varianta 12 měla také nejnižší pH půdy rovno 5,2. U vápněných variant 2 až 11 se pH drželo v rozmezí 6,1 - 6,3. U kontrolní varianty 1 bylo pH rovno 5,4.

Nejvyšší hodnoty v rámci jednotlivých opakování se nacházely převážně v opakování B na jihovýchodní části stanoviště. Zde vykazovalo 7 z 12 parcel nejvyšší výnos v rámci opakování. Naopak nejnižší výnosy vykazovaly parcely, které se nacházely v nejvyšší části stanoviště, a to parcely v opakování E, kde byl u 5 z 12 parcel naměřen nejnižší výnos v rámci opakování



Graf č.2 - Sloupcový graf průměrných výnosů

Tabulka č.7 - Obsah N, P a K v zrnu a půdě po sklizni v roce 2019

varianta	Obsah N	Obsah P		Obsah K	
	Zrno [g/kg]	Zrno [g/kg]	Půda [ppm]	Zrno [g/kg]	Půda [ppm]
1.nehnojená kontrola	16,4	3,7	30,3	4,7	103
2. CHM	15,5	3,9	30,9	4,8	110
3. N ₂ P ₂ K ₀	15,8	3,6	41,9	4,4	125
4. N ₂ P ₂ K ₁	15,8	3,5	49,8	4,6	186
5. N ₂ P ₂ K ₂	15,3	3,4	59,0	4,5	216
6. N ₂ P ₂ K ₃	15,1	3,4	42,5	4,5	196
7. N ₂ P ₀ K ₂	15,6	3,5	30,0	4,6	193
8. N ₂ P ₁ K ₂	15,4	3,4	36,1	4,9	187
9. N ₂ P ₃ K ₂	14,9	3,5	67,2	4,8	176
10. N ₁ P ₁ K ₁	15,9	3,3	45,6	4,3	181
11. N ₃ P ₃ K ₃	15,1	3,6	72,0	4,6	220
12.N ₃ P ₃ K ₃ nevápněno	16,3	3,5	82,2	4,6	277

5.2 Obsah N

Nejvyšší obsah N v zrnu (viz Příloha IV.) byl naměřen u nehnojené a nevápněné první kontrolní varianty a byl roven 16,4 g/kg hmoty. Druhý nejvyšší obsah N roven 16,3 g/kg byl naměřen u nevápněné varianty 12 (N₃P₃K₃). Varianty 1 a 12 vykazovaly výrazně nižší pH půdy v rozmezí hodnot 5,2 - 5,4 v porovnání s ostatními variantami, jejichž hodnoty se pohybovaly v rozmezí 6,1 - 6,3. Nejnižší obsah N v zrnu roven 14,9 g/kg byl naměřen u varianty 9 (N₂P₃K₂) hnojené fosforem v maximální hladině.

5.2.1 Vstupy N

Obsah N v půdě měřen nebyl z důvodu značné kolísavosti v průběhu roku v důsledku mineralizace, amonizace a nitrifikace. Množství N dodaného do půdy je rovno součtu N dodaného minerálním hnojením (viz Příloha I.) u jednotlivých variant a N v aplikované dávce kravského hnoje 40 t/ha. Dávky N, P a K z hnoje jsou započítávány z důvodu bilance a jsou pouze přibližné. Využití živin ječmenem je menší, protože je pěstován 3. rokem od aplikace hnoje.

Tabulka č.8 - Celkový vstup N do půdy

Varianta	N dodaný minerálním hnojivem [g/kg]	Obsah N ve 40 t kravského hnoje [g/kg]	Celkový vstup N [g/kg]
1. nehnojená kontrola	0	0	0
2. CHM	0	132	132
3. N ₂ P ₂ K ₀	60	132	192
4. N ₂ P ₂ K ₁	60	132	192
5. N ₂ P ₂ K ₂	60	132	192
6. N ₂ P ₂ K ₃	60	132	192
7. N ₂ P ₀ K ₂	60	132	192
8. N ₂ P ₁ K ₂	60	132	192
9. N ₂ P ₃ K ₂	60	132	192
10. N ₁ P ₁ K ₁	40	132	172
11. N ₃ P ₃ K ₃	80	132	212
12. N ₃ P ₃ K ₃ nevápněno	80	132	212

5.3 Obsah P

Nejvyšší obsah P v zrně (viz Příloha IV.) roven 3,9 g/kg byl naměřen u varianty 2, které byla hnojena pouze hnojem. Nejnižší obsah P byl naměřen u varianty 10 (N₁P₁K₁) hnojené všemi živinami v nejnižších hladinách a byl roven 3,3 g/kg.

Obsah P v půdě (viz Příloha III.) dle výsledků rozborů půdy po sklizni v roce 2018 (viz Příloha III.) byl přepočítán na kg/ha, a to do hloubky ornice 30 cm při objemové hmotnosti půdy 4,5 t/m³. Celkový obsah P v půdě po hnojení na jaře roku 2019 byl roven součtu obsahu P v půdě a množství dodaného P minerálními a organickými hnojivy.

Tabulka č.9 - Celkový obsah P v půdě po hnojení na jaře 2019

Varianta	Obsah P v půdě v roce 2018 [kg/ha]	P dodaný minerálním hnojivem [kg/ha]	Obsah P ve 40 t kravského hnoje [kg/ha]	Celkový obsah P [kg/ha]
1. nehnojená kontrola	310	0	0	310
2. CHM	386	0	40	426
3. N ₂ P ₂ K ₀	477	33,6	40	551
4. N ₂ P ₂ K ₁	572	33,6	40	645
5. N ₂ P ₂ K ₂	635	33,6	40	708
6. N ₂ P ₂ K ₃	504	33,6	40	578
7. N ₂ P ₀ K ₂	359	0	40	399
8. N ₂ P ₁ K ₂	468	16,8	40	525
9. N ₂ P ₃ K ₂	581	67,2	40	688
10. N ₁ P ₁ K ₁	343	16,8	40	400
11. N ₃ P ₃ K ₃	599	67,2	40	706
12. N ₃ P ₃ K ₃ nevápněno	657	67,2	40	764

5.4 Obsah K

Nejvyšší obsah K v zrně (viz Příloha IV.) roven 4,9 g/kg byl naměřen u varianty 8 (N₂P₁K₂) a nejnižší u varianty 10 (N₁P₁K₁). Obsah K v půdě dle výsledků rozborů půdy po sklizni v roce 2018 (viz Příloha III.) byl přepočítán na kg/ha, a to do hloubky ornice 30 cm při objemové hmotnosti půdy 4,5 t/m². Celkový obsah K v půdě po hnojení na jaře roku 2019 byl roven součtu obsahu K v půdě a množství dodaného K minerálními a organickými hnojivy.

Tabulka č.10 - Celkový obsah K v půdě po hnojení na jaře 2019

Varianta	Obsah K v půdě v roce 2018 [kg/ha]	K dodaný minerálním hnojivem [kg/ha]	Obsah K ve 40 t kravského hnoje [kg/ha]	Celkový obsah K [kg/ha]
1. nehnojená kontrola	459	0	0	459
2. CHM	626	0	236	862
3. N ₂ P ₂ K ₀	779	0	236	1015
4. N ₂ P ₂ K ₁	1125	33,2	236	1394
5. N ₂ P ₂ K ₂	1103	66,4	236	1405
6. N ₂ P ₂ K ₃	1143	132,8	236	1512
7. N ₂ P ₀ K ₂	1058	66,4	236	1360
8. N ₂ P ₁ K ₂	981	66,4	236	1283
9. N ₂ P ₃ K ₂	774	66,4	236	1076
10. N ₁ P ₁ K ₁	612	33,2	236	881
11. N ₃ P ₃ K ₃	1107	132,8	236	1476
12. N ₃ P ₃ K ₃ nevápněno	1157	132,8	236	1525

5.5 Půdní pH a obsah Ca a Mg

Obsah Ca a Mg v zrně se se změnou kombinace hnojení nezměnil. Obsah Ca byl u všech variant menší než 0,5 g/kg a obsah Mg byl roven 1,2 g/kg (viz Příloha IV.). Obsah Ca a Mg v půdě (viz Příloha III.) koreloval s hodnotami půdní reakce.

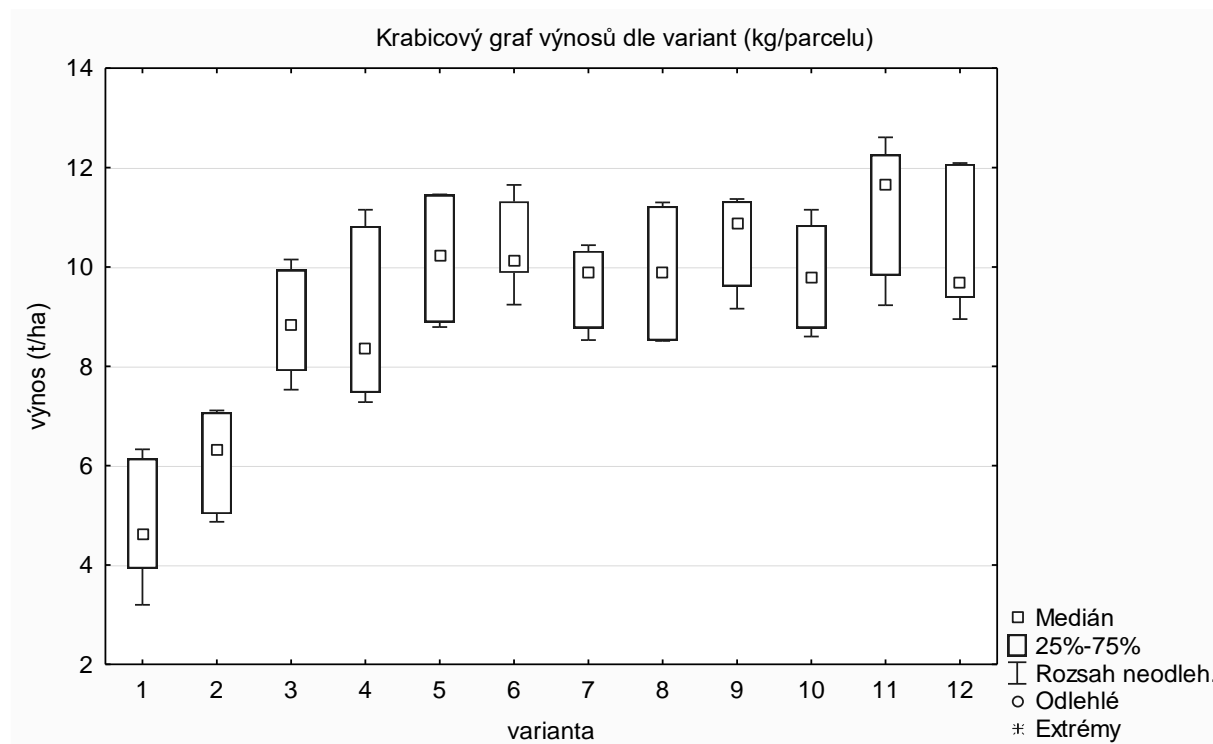
Tabulka č.11 - Obsah Ca a Mg v půdě a zrně po sklizni v roce 2019

Varianta	Půdní pH	Obsah Ca		Obsah Mg	
		Zrno [g/kg]	Půda [ppm]	Zrno [g/kg]	Půda [ppm]
1. nehnojená kontrola	5,4	<0,05	1060	0,12	151
2. CHM	6,2	<0,05	1450	0,12	241
3. N ₂ P ₂ K ₀	6,3	<0,05	1840	0,13	267
4. N ₂ P ₂ K ₁	6,3	<0,05	1630	0,12	248
5. N ₂ P ₂ K ₂	6,1	<0,05	1390	0,12	236
6. N ₂ P ₂ K ₃	6,2	<0,05	1500	0,12	225
7. N ₂ P ₀ K ₂	6,1	<0,05	1400	0,12	241

8. N₂P₁K₂	6,1	<0,05	1510	0,12	234
9. N₂P₃K₂	6,2	<0,05	1550	0,12	232
10. N₁P₁K₁	6,2	<0,05	1570	0,12	237
11. N₃P₃K₃	6,1	<0,05	1470	0,12	231
12. N₃P₃K₃ nevápňeno	5,2	<0,05	1140	0,12	154

6 Diskuze

6.1 Výnos



Graf č.3 - Krabicový graf výnosů variant a opakování

Výsledky pokusu jednoznačně prokázaly pozitivní vliv hnojení na výnos jarního ječmene. Ovšem dlouhodobá aplikace minerálních hnojiv bez dodání organické hmoty a vápníku, v případě tohoto pokusu ve formě kravského hnoje a vápence, půdu okyseluje. To způsobilo u variant 1 a 12 snížení pH půdy, a tedy její výrazné okyselení oproti ostatním variantám. Podobné výsledky publikovali Menšík et al. (2018), který zkoumal vliv aplikace organických a minerálních hnojiv na výnos, půdní reakci, obsah organického uhlíku, obsah huminových kyselin (HK) a fulvokyselin (FK). Dále, dle jejich výsledků, aplikace organických hnojiv zvýšila obsah HK v půdě a optimalizovala poměr HK/FK na více než 1. Liu et al. (2013) také poukazují na pozitivní efekt kombinace hnojení minerálními a organickými hnojivy na kvalitu půdy.

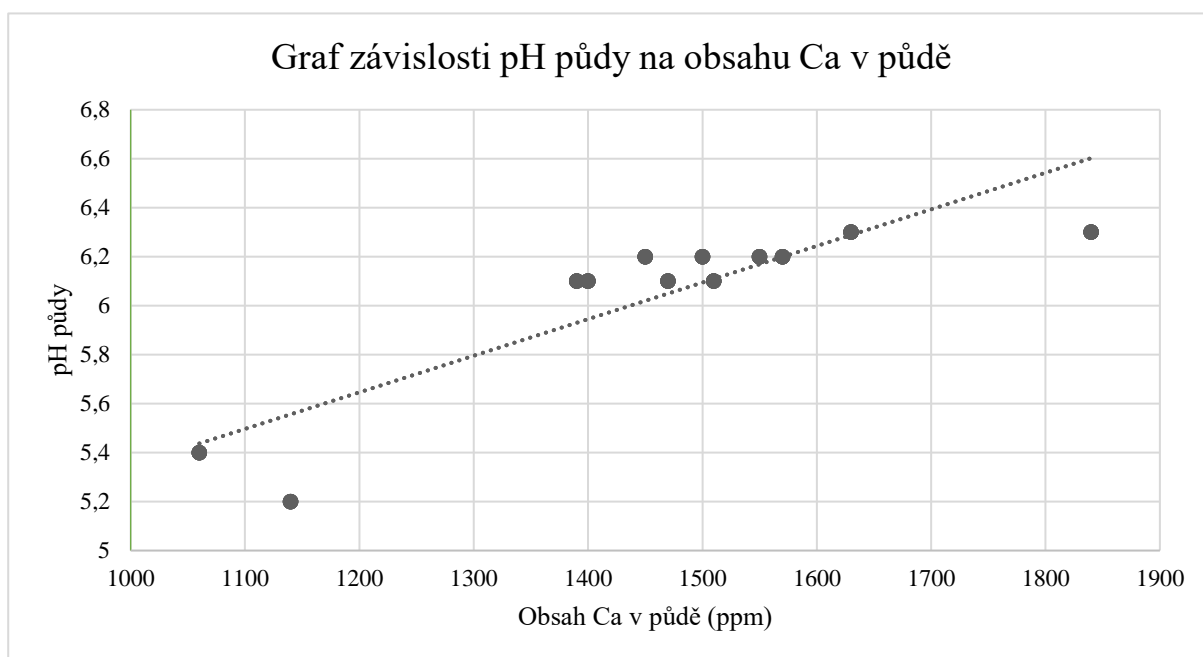
V grafu č.3 lze vidět, že výnosy jednotlivých parcel v rámci opakování variant byly značně rozdílné (viz Příloha II.). Největší rozptyl hodnot v rámci jedné varianty byl naměřen u varianty 4 a byl roven 3,87 t/ha. Nejmenší rozptyl hodnot rovný 1,91 t byl naměřen u varianty 7. K rozdílnosti výsledků v rámci opakování pravděpodobně přispěla mírná svažitost stanoviště směrem na jihovýchod k opakování B. V opakování B se nacházelo 7 z 12 nejvyšších hodnot v rámci opakování. Naopak 5 z 12 nejnižších hodnot se vyskytovalo v opakování E, která se nacházela v nejvyšší části stanoviště. Tato svažitost pravděpodobně zapříčinila zvýšený promyv půdy a snížila přesnost pokusu.

Nejvyšší výnos vykazovala varianta 11, tedy varianta hnojená v nejvyšších hladinách minerálními hnojivy NPK a hnojem. Nejvíce hnojená varianta sice vykazovala nejvyšší výnos,

avšak z ekonomického hlediska vykazovala nejvyšší vstupy v podobě organických a zejména minerálních hnojiv. U varianty 10, která byla hnojena minerálními hnojivy v nejnižších hladinách, a tudíž vykazovala třetinové vstupy oproti variantě 11, byl průměrný výnos nižší pouze o 0,91 t/ha než u varianty 11. V porovnání vstupních nákladů v podobě hnojiv a tržeb ze sklizeného ječmene vykazovala varianta 11 ztráty cca 1 300 Kč/ha v porovnání s variantou 10. Varianta 10 se tedy projevila jako ekonomicky nejvýhodnější.

Zde byl potvrzen zákon klesajících přírůstků výnosu. Největší nárůst výnosu roven 1,8 t/ha nastal mezi variantami 2 a 3 po dodání N ve formě minerálního hnojiva. Hladina N hnojiva byla u variant 3 až 9 stále střední a změnila se pouze u varianty 10, kde byla nejnižší, a u variant 11 a 12, kde byla nejvyšší. Varianta 3 se nacházela dle Kho (2000) v „proporcionálním“ stavu, kdy byla dodána nejvíce limitující živina, tedy dusík, a byla rostlinou maximálně využita pro její růst. Varianty 4 až 12 se nacházely ve stavu „klesajících přírůstků výnosu“. V důsledku nasycení nejvíce limitujícího prvku N, se staly limitujícími P i K. Avšak rostlina nemohla již plně využít dostupné zdroje pro svůj růst, a tak nárůst výnosů klesal. Pokud by se hladiny hnojení dále zvyšovaly nastal by „plochý“ stav, kdy se výnos se zvyšující dávkou hnojení již nezvyšuje či klesá v důsledku toxicity způsobené nadměrným množstvím prvku v půdě.

6.2 Půdní reakce



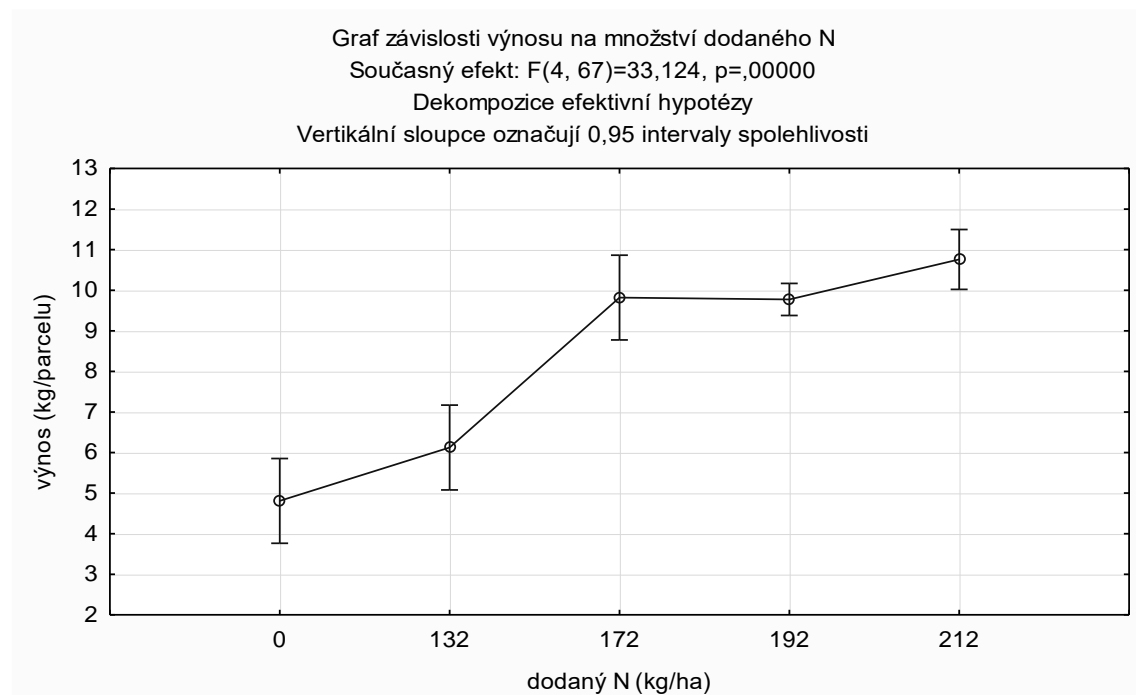
Graf č.4 - Graf závislosti půdní reakce na obsahu Ca v půdě

Dle Soti et al. (2015) je dostupnost živin pro rostliny ovlivněna půdním pH a nejvíce a nejnadhěji jsou dostupné v případě, kdy je pH půdy neutrální a jeho hodnoty se pohybují v rozmezí 6,5 - 7,5. Sirisuntornlak et al. (2020) dodávají, že pH půdy také ovlivňuje efektivitu využití aplikovaných chemikálií ve formě hnojiv a pesticidů rostlinami, a že v kyselých půdách se většina základních živin vyskytuje v nedostupné formě pro rostliny, a to způsobuje jejich nedostatek a ztráty na výnosech. Při aplikaci N hnojiv do zamokřených půd, může kyselost půdy také způsobovat akumulaci dusitanů, což může být toxické pro růst rostlin.

Ve výsledcích pokusu se pH půdy ani v jednom případě nepohybovalo ve zmíněném neutrální optimu 6,5 - 7,5. Nelze tedy porovnat vliv pH na výnos v neutrálním a kyselém prostředí, protože nejsou dostupné výsledky varianty s neutrálním pH půdy. Hodnota pH půdy také neměla prokazatelný vliv na obsah a dostupnost živin N, P a K a výnos.

Jak uvádějí Lemos et al. (2007), dodáním vápníku do půdy se upravuje pH půdy. Zvýšení obsahu kationtu Ca^{2+} v půdě má pozitivní vliv na strukturu, redukuje její zhutnění, aktivuje různé enzymatické systémy, které redukuje růst rostlin, a přispívá ke zvýšení odolnosti rostlin vůči chorobám. Výsledky znázorněné v grafu č.4 prokázaly závislost pH půdy na obsahu Ca v půdě. Nevápněné varianty 1 a 12 měly výrazně nižší pH v porovnání s ostatními variantami. Nejnižší pH rovno 5,2 měla varianta 12, která byla hnojena kravským hnojem a minerálními hnojivy v nejvyšších hladinách. Varianty 11 a 12 byly hnojeny stejným množstvím kravského hnoje a minerálních hnojiv a výnos varianty 12 byl o 0,58 t/ha nižší než u varianty 11. Z těchto výsledků, lze tedy předpokládat, že největší vliv na pH půdy mělo vápnění. Nedostatek Ca v půdě u variant 1 a 12 způsobil snížení pH půdy, což způsobilo nižší dostupnost živin pro rostliny a snížilo výnos.

6.3 Obsah N



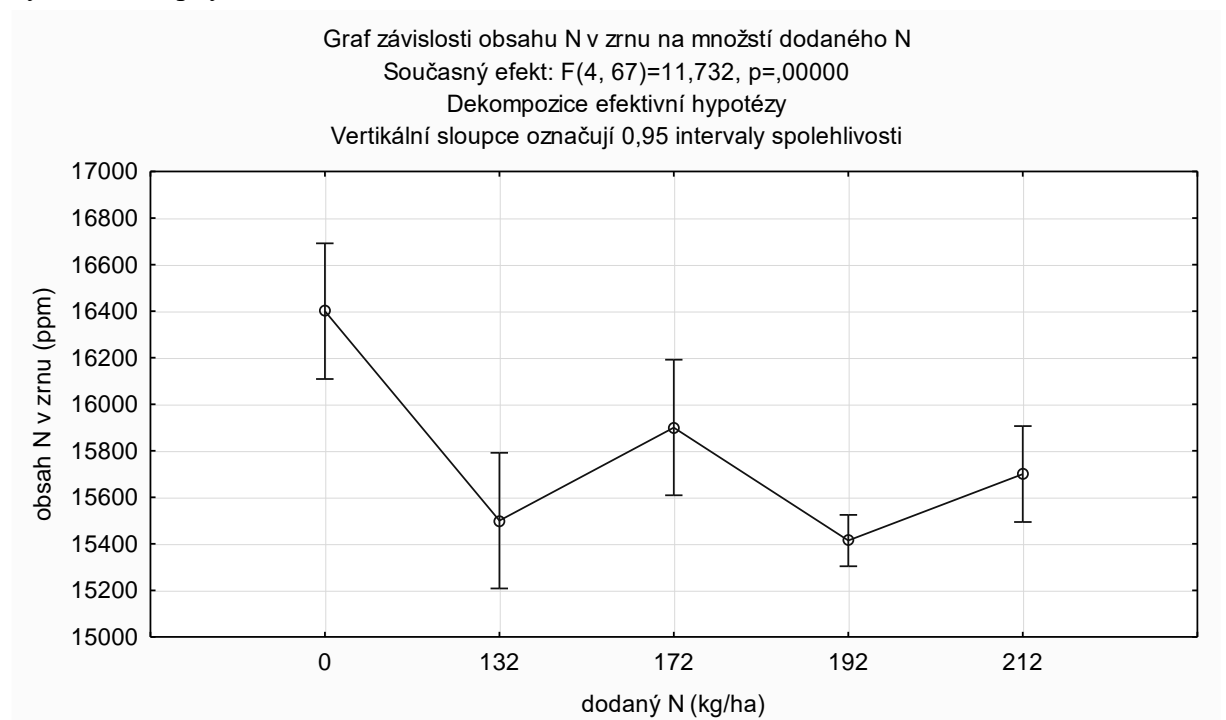
Graf č.5 - Graf závislosti výnosu na množství dodaného N

Hnojení N mělo prokazatelně pozitivní vliv na výnos ječmene. Nejvýraznější rozdíl ve výnose se projevil mezi variantou 2, která byla hnojena pouze kravským hnojem, a variantou 10, která byla hnojena N v nejnižší hladině a kravským hnojem. Dle Eghball et al. (2002) mineralizace živin z aplikovaného hnoje závisí na teplotě, vlhkosti půdy, vlastnostech půdy, složení hnoje a mikrobiální aktivitě v půdě. Tyto faktory nelze přesně předpovědět, a proto lze dávky živin z hnoje vypočítat pouze přibližně.

Rozdíl průměrných výnosů variant 2 a 10 činil 2,42 t/ha. Na grafu č. 5 lze vidět, že při stupňování dávky N se výnos již výrazně nezvýšil. Rozdíl průměrných výnosů mezi variantou,

kteře byla hnojena N v nejnižší hladině, a variantami, které byly hnojeny v hladině nejvyšší, činil 0,62 t/ha.

Dle Abid et al. (2016) dostupnost N zlepšuje schopnost rostliny vyrovnat se stresem způsobeným suchem v období odnožování a sloupkování. Rostliny reagovaly na stres způsobený suchem uzavřením stomat, a to omezilo proces fotosyntézy. Avšak rostliny s větší aplikovanou dávkou N prokázaly vyšší aktivitu stomat, stabilitu membrán, dokázaly lépe udržet proces fotosyntézy a rychleji se zotavily poté, co stres skončil. Tyto rostliny vykazovaly větší produkci sušiny a vyšší výnos než rostliny hnojené nižší dávkou N. To mohlo mít také vliv na tvorbu výnosu u ječmene během vegetace. Měsíce duben a červen byly velmi suché a spadlo pouze 52,1 % měsíčního srážkového normálu v dubnu a 35,5 % v červnu. Naopak v měsíci květnu, který byl na srážky příznivý, spadlo 188,9 % měsíčního srážkového normálu. V období odnožování a sloupkování na začátku května měly tedy rostliny vhodné vláhové podmínky pro využití dostupných živin.



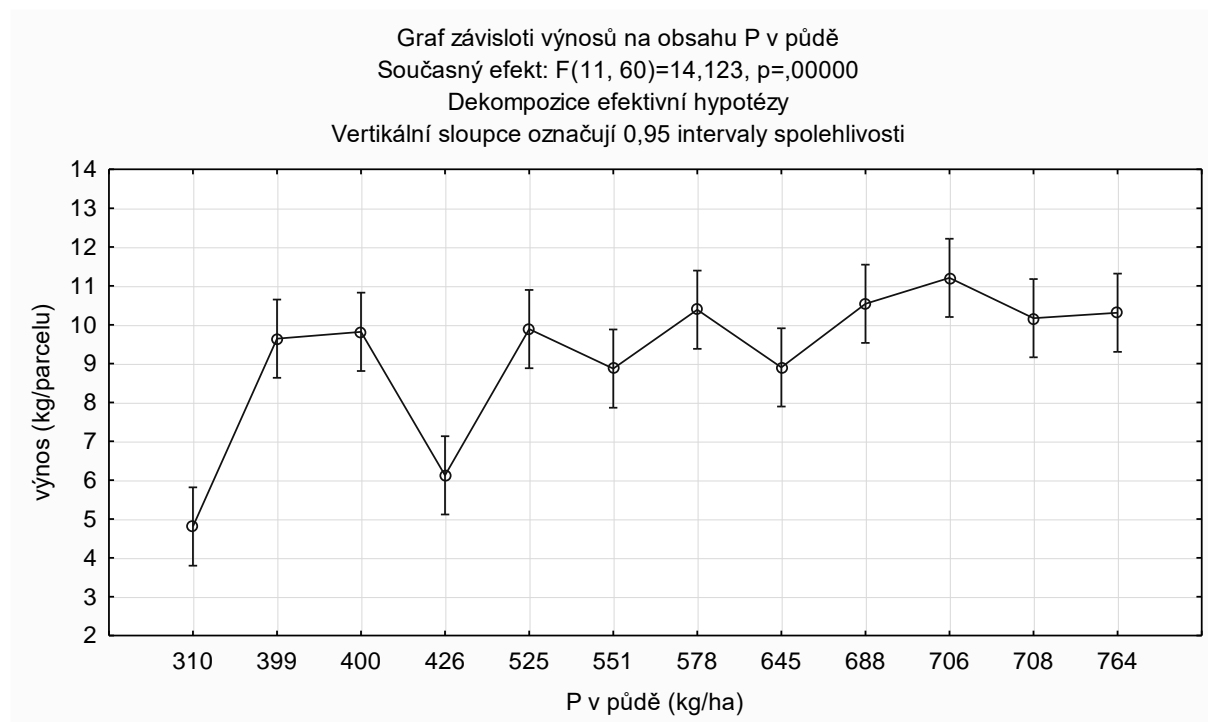
Graf č.6 - Graf závislosti obsahu N v zru na množství dodaného N

Největší obsah N v zru byl naměřen u variant 1 a 12 v rozmezí hodnot 16300 - 16400 ppm. Na grafu č.6 lze pozorovat, že hnojení N nemělo prokazatelně jednoznačný vliv na obsah N v zru. Lze však předpokládat, že na obsah N v zru mělo vliv pH půdy, protože varianty 1 a 12, které vykazovaly nejnižší pH, obsahovaly nejvíce N (viz příloha III. a IV.). U variant 6, 9 a 11 s nejvyššími průměrnými výnosy bylo možné pozorovat tzv. zředovací efekt, kdy byl obsah N v zru nižší vlivem jeho „naředění“ výnosem.

Avšak Yousif a Evans (2018) prokázali, že aplikace N hnojiv vliv na obsah N v zru má. Tento vliv zkoumali na 4 různých odrůdách a došli k závěru, že velký vliv na reakci obsahu N v zru na množství aplikované dávky N hnojiva má také odrůda ječmene. Dále v jejich výzkumu prokázala dávka N 40 kg/ha nejpříznivější vliv na kvalitu zrna pro jeho další zpracování. Avšak tento poznatek nelze aplikovat v praxi, protože každé stanoviště má jiný obsah N_{min} , jinou půdní strukturu a klimatické podmínky.

K přesnějšímu srovnání vlivu hnojení N, P a K na výnos a obsahu těchto prvků v zrnu by přispělo, kdyby se v pokusu vyskytovaly varianty nehnojené N, ale pouze různými hladinami P a K. Takové varianty se však v pokusu nevyskytují.

6.4 Obsah P



Graf č.7 - Graf závislosti výnosů na obsahu P v půdě

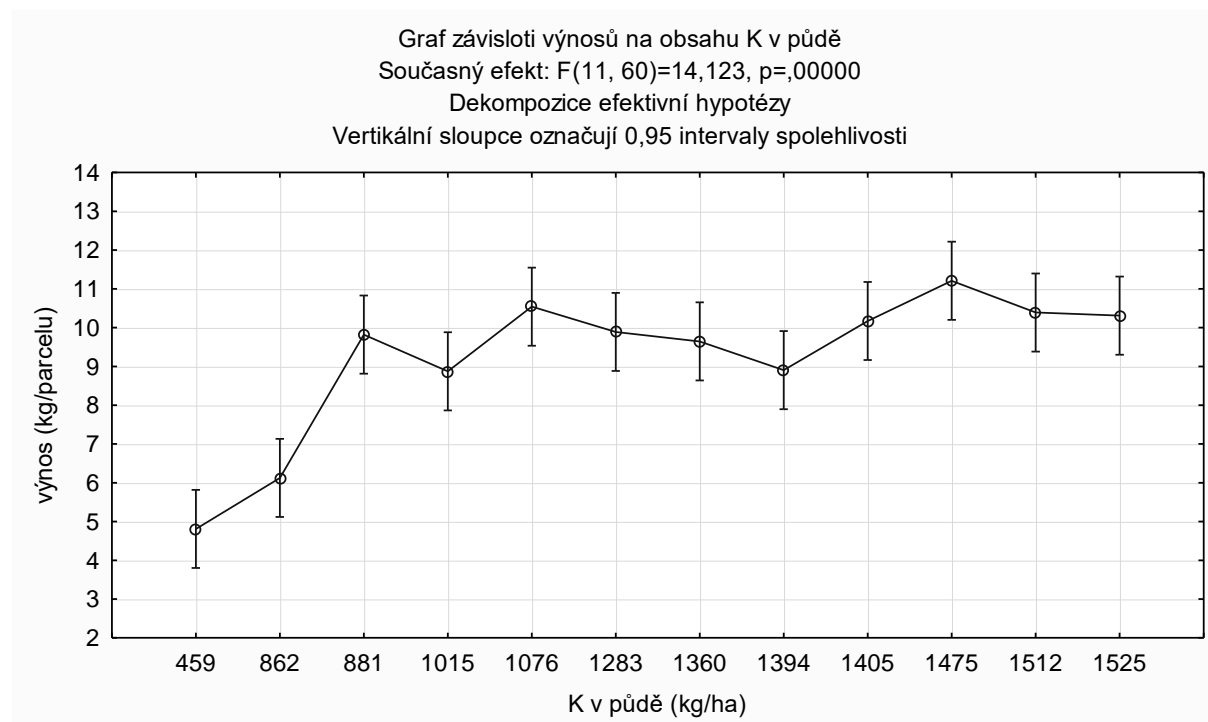
Obsah P v půdě a hnojení P mělo prokazatelně pozitivní vliv na výnos (viz graf č.7). Výjimkou byla varianta 2, která byla hnojena pouze kravským hnojem bez dodání minerálních hnojiv a obsah P v půdě byl roven 426 kg/ha. V porovnání s variantami 10 a 7, které vykazovaly obsah P v půdě v rozmezí hodnot 399–400 kg/ha, měla varianta 2 nižší výnos. To mohlo být způsobeno nižší dostupností živin pro rostliny způsobené absencí minerálních hnojiv a tím, že byl ječmen pěstován 3. rok od aplikace hnoje. Porosty variant 1 a 2 byly výrazně menší a méně odnožovaly v porovnání s ostatními variantami.

Schopnost rostliny adaptovat se v prostředí s nedostatkem P je ovlivněna růstem a kvalitou kořenového systému. V prostředí s nízkou dostupností P nabývá schopnost kořenového systému přijímat a mobilizovat půdní P na významu (Liu et al. 2004; Vance et al. 2003). Výsledky pokusů, které vedli Heydari et al. (2019), poukazují na pozitivní vliv nedostatku P na rozvoj kořenového systému ječmene. Rostliny, které trpěly nedostatkem P v půdě, tvořily strukturálně efektivnější kořenový systém, tvořily tenčí a delší kořeny, pro zvýšení příjmu P a lépe využily dostupné živiny.

White a Broadley (2003) uvádějí, že nedostatek Ca snižuje tvorbu kořenového vlášení. Lze tedy očekávat vzájemný vztah mezi dostupností živin Ca a P a jeho vliv na tvorbu kořenového systému a výnosu. V období klíčení a vzházení ječmene, tedy v dubnu, spadlo malé množství srážek a půda byla velmi suchá. To spolu s nedostatkem N, P, K a Ca u kontrolní varianty 1 způsobilo nižší nárůst a kvalitu biomasy, který se projevoval výrazněji v pozdějším období vegetace.

Vliv hnojení na obsah P v zrnu výsledky pokusů prokázán nebyl a tento vliv dodnes není kompletně objasněn. Dle Yaseen a Malhi (2009) je P v zrnu jediným dostupným zdrojem P v počátečních fázích růstu klíčení a vzcházení. Při rozvoji kořenového systému je tento zdroj částečně doplňován P přijatým kořeny. Když jsou zásoby P ze zrna vyčerpány, růst rostliny je podpořen pouze P přijatým kořeny, které musí být dostatečně rozvinuty. White a Veneklaas (2012) doplňují, že vyšší obsah P v zrnu umožňuje rostlinám rychlejší a kvalitnější založení porostu, čímž se zvyšuje jejich výnos.

6.5 Obsah K

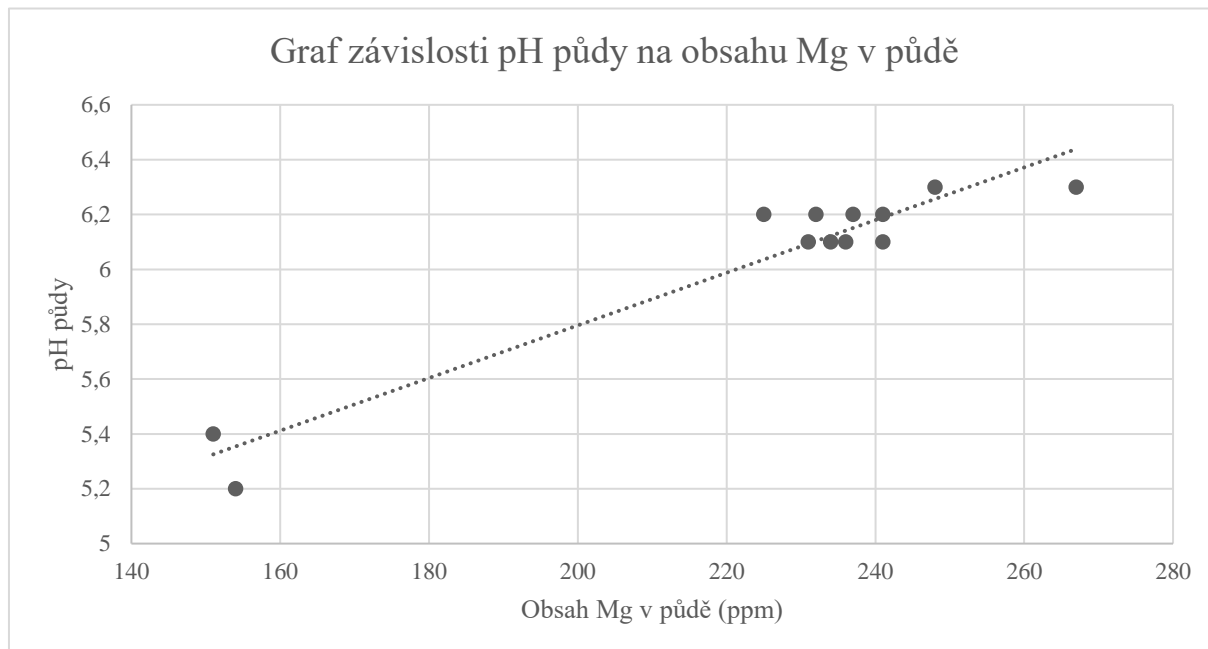


Graf č.8 - Graf závislosti výnosů na obsahu K v půdě

Obsah K v půdě a hnojení K mělo prokazatelně pozitivní vliv na výnos (viz graf č.8). Podobné výsledky publikoval Zhang et al (2011), který zkoumal reakci výnosů pšenice a kukuřice na změny v dostupnosti K. Varianta 3 hnojená pouze N a P ve středních hladinách vykazovala třetí nejnižší průměrný výnos po variantách 1 a 2 roven 5,81 t/ha. Dle Amtmann et al. (2008) má výživa K vliv na mnoho fyziologických a biochemických procesů, které ovlivňují citlivost rostlin vůči patogenům a napadení škůdci. Rozpoznání změn v dostupnosti K rostlinou a signály, které na ně upozorňují a vyvolávají adaptivní reakci, zahrnují biofyzikální a chemické signalizační systémy a hormonální dráhy, které ovlivňují obranný mechanismus rostliny. Přestože aplikace K hnojiv ve většině případů vede ke snížení napadení rostlin chorobami, ve výzkumech se objevuje vysoký stupeň variability. Dle Amtmann et al. (2008) je nejpravděpodobnějším vysvětlením této variability různá výkonnost jednotlivých odrůd a plodin pod vlivem změn dostupnosti K a stupni stresu způsobenými napadením patogeny a škůdci a různými podmínkami zkoumaných stanovišť. Lze předpokládat, že výzkum interakce dostupnosti K a citlivosti rostlin vůči napadení patogeny a škůdci v budoucnu přispěje ke snížení potřeby chemických vstupů v zemědělství a podpoří tak snahy o dosažení ekonomicky a environmentálně udržitelného zvýšení produkce potravin.

Vliv hnojení K na obsah K v zrně výsledky prokázán nebyl. Aspekty ovlivňující obsah K v zrně nejsou kompletně objasněny. Draslík, jakožto jednomocný kationt, je v rostlině velmi pohyblivý a snadno prostupuje membránami a nejvíce se ho nachází ve slámě.

6.6 Obsah Ca a Mg



Graf č.9 - Graf závislosti pH na obsahu Mg v půdě

Stejně jako hodnoty obsahu Ca v půdě, tak i hodnoty obsahu Mg v půdě korelovaly s hodnotou pH půdy (viz graf č.9).

Vliv hnojení minerálními a organickými hnojivy na obsah Ca a Mg v zrně nebyl prokázán. Hodnoty obsahů těchto živin byly u všech variant až na výjimku u varianty 3. Podobné výsledky publikoval Hejzman et al. (2013), který dodává, že hnojení N, P a K s výjimkou Fe nemělo prokazatelný vliv na obsah rizikových prvků a kontaminaci rostlin.

7 Závěr

Výsledky pokusů potvrdily pozitivní vliv hnojení minerálními a organickými hnojivy na výnos jarního ječmene. Dle očekávání vykazovala nejvyšší výnos varianta 11, která byla hnojena nejvyššími dávkami hnojiv. Avšak z ekonomického hlediska při porovnání vstupních nákladů ve formě hnojiv a tržeb ze sklizeného ječmene se nejlépe osvědčila varianta 10, která byla hnojena N, P a K v nejnižších hladinách.

Hypotéza č.1, dle které hnojení N, P a K nemělo mít vliv na obsah Ca a Mg v zrně byla potvrzena. Obsah Ca v půdě měl výrazný vliv na pH půdy, které ovlivňuje dostupnost živin pro rostlinu a tím i výnos.

Hypotéza č.2 o zákonu klesajících přírůstků výnosu byla potvrzena. Nejvyšší nárůst výnosu byl naměřen po dodání minerálních hnojiv mezi variantami 2 a 3. Mezi následujícími variantami byl nárůst výnosu výrazně nižší.

Hypotéza č.3, dle které měl mít N největší vliv na výnos ječmene, nebyla touto prací potvrzena ani vyvrácena. Kombinace hnojení jednotlivých variant neumožnila vyhodnocení této hypotézy, protože se zde nevyskytovala varianta hnojená pouze P a K. Je pravděpodobné, že by se při úpravě pokusu hypotéza potvrdila, z důvodu výrazného nárůstu výnosu při dodání dávky N v nejnižší hladině mezi variantami 2 a 10. Vliv hnojení N, P a K na obsah těchto prvků v zrně nebyl prokázán. Varianty 1 a 12 s nejnižším pH vykazovaly vyšší obsah N v zrně oproti ostatním variantám. Lze tedy předpokládat, že pH půdy má vliv na obsah N v zrně, který je u jarního ječmene důležitým parametrem pro další zpracování.

Tato práce tedy potvrdila nutnost kombinace hnojení minerálními hnojivy s hnojivy organickými a adekvátním vápněním pro dlouhodobé udržení kvality půdy a stabilních výnosů. Při dodání kravského hnoje a vápence bylo možné snížit dávky minerálních hnojiv, které jsou nejdražším komponentem této kombinace, a přesto dosáhnout vysokého výnosu.

Tento pokus vedený na ÚKZÚZ Chrastava má své zmíněné nedostatky, které omezují výzkum vlivů hnojení N, P a K na kvalitu zrna a výnos. Při rozšíření této práce by bylo vhodné sledovat více výnosotvorných prvků během vegetace, a to například počet odnoží, počet klasů, počet zrn v klasu atd.

8 Literatura

- Abid M, Tian Z, Ata-Ul-Karim ST, Cui Y, Liu Y, Zahoor R, Jiang D, Dai T. 2016. Nitrogen nutrition improves the potential of wheat (*Triticum aestivum* L.) to alleviate the effects of drought stress during vegetative growth periods. *Frontiers in plant science* **7**:981.
- Amtmann A, Troufflard S, Armengaud P. 2008. The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. *Physiologia plantarum* **133**:682-91.
- Baethgen WE, Christianson CB, Lamothe AG. 1995. Nitrogen fertilizer effects on growth, grain yield, and yield components of malting barley. *Field Crops Research* **43**:87-99.
- Bard A, M K, Sch R, Rabey El, Effgen S, Ibrahim HH, Pozzi C, Rohne W, Salamini F. 2000. On the Origin and Domestication History of Barley (*Hordeum vulgare*). *Molecular Biology and Evolution* **17**: 499-510.
- Beneš J, Šálková T, Vaneček Z. 2011. Původ a nejstarší historie ječmene setého (*Hordeum vulgare*) na Předním východě: pohled archeobotaniky. *Kvasný průmysl* **57**: 121-126.
- Blažek V., 2014. Laudis 550 – nová odrůda sladovnického ječmene z hrubčického šlechtění. In Sborník z konference „Technologie slad. ječmene – ječmen na rozcestí“, 27. - 30. 1. 2014. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Bonchev G, Dušinsky R, Hauptvogel P, Gaplovská-Kyselá K, Švec M. 2019. On the diversity and origin of the barley complex *agriocrithon* inferred by iPBS transposon markers. *Genetic Resources and Crop Evolution* **66**: 1573-1586.
- Britto DT, Kronzucker HJ. 2008. Cellular mechanisms of potassium transport in plants. *Physiologia Plantarum* **133**:637-50.
- Český statistický úřad. 2019. Definitivní údaje o sklizni zemědělských plodin – 2018. Český statistický úřad. Available from <https://www.czso.cz/csu/czso/definitivni-udaje-o-sklizni-zemedelskych-plodin-2018> (accessed July 2020).
- De Wit CT. 1994. Resource use analysis in agriculture: a struggle for interdisciplinarity. In *The future of the land: mobilising and integrating knowledge for land use options*.
- Dostálová Y, Hřivna L, Kotková B, Burešová I, Janečková M, Šottníková V. 2015. Effect of nitrogen and sulphur fertilization on the quality of barley protein. *Plant, Soil and Environment* **61**:399-404.
- Eghball B, Wienhold BJ, Gilley JE, Eigenberg RA. 2002. Mineralization of manure nutrients. *Journal of Soil and Water Conservation* **57**:470-3.
- Emelko MB, Silins U, Bladon KD, Stone M. 2011. Implications of land disturbance on drinking water treatability in a changing climate: Demonstrating the need for “source water supply and protection” strategies. *Water research* **45**: 461-472.
- Fischer RA, Howe GN, Ibrahim Z. 1993. Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. I. Grain yield and protein content. *Field Crops Research* **33**:37-56.
- Gething PA. 1993. Improving returns from nitrogen fertilizer - the potassium-nitrogen partnership. *IPI Research Topics* **13**:51-60.
- Hartmann C, Poss R, Noble AD, Jongskul A, Bourdon E, Brunet D, Lesturgez G. 2008. *Soil & Tillage Research* **99**: 245-253.
- Hawkesford MJ, De Kok LJ. 2006. Managing sulphur metabolism in plants. *Plant, Cell & Environment* **29**:382-95.

- Hejman M, Berková M, Kunzová E. 2013. Effect of long-term fertilizer application on yield and concentrations of elements (N, P, K, Ca, Mg, As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) in grain of spring barley. *Plant, Soil and Environment* **59**:329-334.
- Heydari MM, Brook RM, Jones DL. 2019. The role of phosphorus sources on root diameter, root length and root dry matter of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of plant nutrition* **42**:1-5.
- Huang CY, Roessner U, Eickmeier I, Genc Y, Callahan DL, Shirley N, Langridge P, Bacic A. 2008. Metabolite profiling reveals distinct changes in carbon and nitrogen metabolism in phosphate-deficient barley plants (*Hordeum vulgare* L.). *Plant and Cell Physiology* **49**: 691-703.
- Huang GF, Wong JW, Wu QT, Nagar BB. 2004. Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste management* **24**:805-13.
- Jakobs I, Schmittmann O, Athmann M, Kautz T, Schulze Lammers P. 2019. Cereal Response to Deep Tillage and Incorporated Organic Fertilizer. *Agronomy* **9**:296.
- Joergensen RG, Schmaedeke F, Windhorst K, Meyer B. 1995. Biomass and activity of microorganisms in a fuel oil contaminated soil. *Soil Biology and Biochemistry* **27**:1137-43.
- Johnston AE, Poulton PR. 2018. The importance of long-term experiments in agriculture: their management to ensure continued crop production and soil fertility; the Rothamsted experience. *European journal of soil science* **69**:113-125
- Jones HG, Corlett JE. 1992. Current topics in drought physiology. *The Journal of Agricultural Science* **119**:291-6.
- Kangor T, Ingver A, Tamm Ü, Tamm I, Koppe R. 2010. Effect of fertilization and conditions of year on some characteristics of spring wheat and barley. *Agronomy Research* **8**:595-602.
- Kho RM. 2000. On crop production and the balance of available resources. *Agriculture, ecosystems & environment* **80**:71-85.
- Klem K, et al. 2018. Interactive effects of water deficit and nitrogen nutrition on winter wheat. Remote sensing methods for their detection. *Agricultural Water Management* **210**:171-84.
- Klikocka H, Narolski B, Michałkiewicz G. 2014. The effects of tillage and soil mineral fertilization on the yield and yield components of spring barley. *Plant, Soil and Environment* **60**:255-261.
- Körschens M. 2006. The importance of long-term field experiments for soil science and environmental research—a review. *Plant Soil Environ* **52**:1-8.
- Křen J, Klem K, Svobodová I, Míša P, Neudert L. 2014. Yield and grain quality of spring barley as affected by biomass formation at early growth stages. *Plant Soil Environ* **60**: 221-227.
- Lemos SG, Nogueira AR, Torre-Neto A, Parra A, Alonso J. 2007. Soil calcium and pH monitoring sensor system. *Journal of agricultural and food chemistry* **55**:4658-63.
- Liu E, Yan C, Mei X, Zhang Y, Fan T. 2013. Long-term effect of manure and fertilizer on soil organic carbon pools in dryland farming in northwest China. *Plos one* (e56536) DOI: 10.1371/journal.pone.0056536.
- Liu Y, Mi G, Chen F, Zhang J, Zhang F. 2004. Rhizosphere effect and root growth of two maize (*Zea mays* L.) genotypes with contrasting P efficiency at low P availability. *Plant science* **167**:217-23.

Long SP, Marshall-Colon A, Zhu XG. 2015. Meeting the Global Food Demand of the Future by Engineering Crop Photosynthesis and Yield Potential. *Cell* **161**: 56-66.

Marschner H. 2011. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic press, Londýn.

Menšík L, Hlisnikovský L, Pospíšilová L, Kunzová E. 2018. The effect of application of organic manures and mineral fertilizers on the state of soil organic matter and nutrients in the long-term field experiment. *Journal of Soils and Sediments* **18**:2813-2822.

Milford GF, Johnston AE. 2009. Potassium and nitrogen interactions in crop production. *Nawozy i Nawozenie (Fertilisers and Fertilization)* **34**:143-62.

Ministerstvo zemědělství. 1998. Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech). In *Sbírka zákonů České republiky, 1998, částka 54. Česká republika.*

Peterová J. 2010. *Ekonomika výroby a zpracování zemědělských produktů. Česká zemědělská univerzita v Praze Provozně ekonomická fakulta, Praha.*

Pettigrew WT. 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiologia plantarum* **133**:670-81.

Richardson AE, Simpson RJ. 2011. Soil Microorganisms Mediating Phosphorus Availability. *Plant Physiology* **156**: 989-996.

Shejbalová Š, Černý J, Vašák F, Kulháněk M, Balík J. 2014. Nitrogen efficiency of spring barley in long-term experiment. *Plant, Soil and Environment* **60**:291-296.

Shi Y, Ziadi N, Hamel C, Bélanger G, Abdi D, Lajeunesse J, Lafond J, Lalande R, Shang J. 2020. Soil microbial biomass, activity and community structure as affected by mineral phosphorus fertilization in grasslands. *Applied Soil Ecology* **146**:103391.

Shukla AK, Behera SK, Pahre A, Chaudhari SK. 2018. Micronutrients in Soils, Animals and Humans. *Indian Journal of Fertilisers* **14**:30-54.

Shukla AK, Behera SK, Satyanarayana T, Majumdar K. 2019. Importance of Micronutrients in Indian Agriculture. *Better Crops – South Asia 2019* **11**:6-10.

Sirisuntornlak N, Ullah H, Sonjaroon W, Anusontpornperm S, Arirob W, Datta A. 2020. Interactive Effects of Silicon and Soil pH on Growth, Yield and Nutrient Uptake of Maize. *Silicon* **29**:1-1.

Soti PG, Jayachandran K, Koptur S, Volin JC. 2015. Effect of soil pH on growth, nutrient uptake, and mycorrhizal colonization in exotic invasive *Lygodium microphyllum*. *Plant ecology* **216**:989-98.

Sun S, Wang Y, Liu J, Cai H, Wu P, Geng Q, Xu L. 2016. Sustainability assessment of regional water resources under the DPSIR framework. *Journal of Hydrology* **532**: 140-148.

Vance CP, Uhde-Stone C, Allan DL. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New phytologist* **157**: 423-47.

Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. *Výživa a hnojení polních plodin. Profi Press, Praha.*

Wang Y, Harding SV, Thandapilly SJ, Tosh SM, Jones PJH, Ames NP. 2017. Barley β -glucan reduces blood cholesterol levels via interrupting bile acid metabolism. *British Journal of Nutrition* **118**: 822-829.

White PJ, Broadley MR. 2003. Calcium in plants. *Annals of botany* **92**:487-511.

White PJ, Veneklaas EJ. 2012. Nature and nurture: the importance of seed phosphorus content. *Plant and soil* **357**:1-8.

Witter EM, Mårtensson AM, Garcia FV. 1993. Size of the soil microbial biomass in a long-term field experiment as affected by different N-fertilizers and organic manures. *Soil Biology and Biochemistry* **25**:659-69.

Xu G, Fan X, Miller AJ. 2012. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual review of plant biology* **63**:53-82.

Yaseen M, Malhi SS. 2009. Differential growth performance of 15 wheat genotypes for grain yield and phosphorus uptake on a low phosphorus soil without and with applied phosphorus fertilizer. *Journal of plant nutrition* **32**:1015-43.

Yousif AM, Evans DE. 2018. The impact of barley nitrogen fertilization rate on barley brewing using a commercial enzyme (Ondea Pro). *Journal of the Institute of Brewing* **124**:132-42.

Zhang F, Niu J, Zhang W, Chen X, Li C, Yuan L, Xie J. 2010. Potassium nutrition of crops under varied regimes of nitrogen supply. *Plant and soil* **335**:21-34.

Zhang HM, Xue-Yun YA, Xin-Hua HE, Ming-Gang XU, HUANG SM, Hua LI, Bo-Ren WA. 2011. Effect of long-term potassium fertilization on crop yield and potassium efficiency and balance under wheat-maize rotation in China. *Pedosphere* **21**:154-63.

Zhao FJ, Salmon SE, Withers PJ, Evans EJ, Monaghan JM, Shewry PR, McGrath SP. 1999. Responses of breadmaking quality to sulphur in three wheat varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **79**:1865-1874.

Zimolka J. 2006. Ječmen-formy a užítkové směry v České republice. Profi Press, Praha.

9 Samostatné přílohy

rok plodina	živina	měrná jednotka	doba použití	kombinace												
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2014 jetel	P ₂ O ₅	kg č.ž./ha	podzim 2013	0	0	120	120	120	120	0	60	240	60	240	240	
	K ₂ O	kg č.ž./ha	podzim 2013	0	0	0	80	160	320	160	160	160	80	320	320	
	N	kg č.ž./ha	základní - jaro 2014	0	0	60	60	60	60	60	60	60	60	40	80	80
2015 jetel	P ₂ O ₅	kg č.ž./ha	jaro 2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	K ₂ O	kg č.ž./ha	jaro 2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	N	kg č.ž./ha	jaro 2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	vápnění	t/ha	podzim 2015	0	dávka podle hodnoty pH a zmitostního složení půdy (dávka na 4 roky)											0
2016 ozimá pšenice	P ₂ O ₅	kg č.ž./ha	podzim 2015	0	0	60	60	60	60	0	30	120	30	120	120	
	K ₂ O	kg č.ž./ha	podzim 2015	0	0	0	40	80	160	80	80	80	40	160	160	
	N	kg č.ž./ha	základní - podzim 2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	N	kg č.ž./ha	regenerační - jaro 2016	0	0	45	45	45	45	45	45	45	45	30	60	60
	N	kg č.ž./ha	produkční - 2016	0	0	45	45	45	45	45	45	45	45	30	60	60
2017 rané brambory	chl. hnůj	t/ha	podzim 2016	0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
	P ₂ O ₅	kg č.ž./ha	podzim 2016	0	0	120	120	120	120	0	60	240	60	240	240	
	K ₂ O	kg č.ž./ha	podzim 2016	0	0	0	80	160	320	160	160	160	80	320	320	
	N	kg č.ž./ha	jaro 2017	0	0	120	120	120	120	120	120	120	80	160	160	
2018 ozimá pšenice	P ₂ O ₅	kg č.ž./ha	jaro 2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	K ₂ O	kg č.ž./ha	jaro 2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	N	kg č.ž./ha	základní - podzim 2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	N	kg č.ž./ha	regenerační - jaro 2018	0	0	45	45	45	45	45	45	45	45	30	60	60
	N	kg č.ž./ha	produkční - 2018	0	0	45	45	45	45	45	45	45	45	30	60	60
	vápnění	t/ha	podzim 2018	0	dávka podle hodnoty pH a zmitostního složení půdy (dávka na 4 roky)											0
2019 jarní ječmen	P ₂ O ₅	kg č.ž./ha	jaro 2019	0	0	60	60	60	60	0	30	120	30	120	120	
	K ₂ O	kg č.ž./ha	jaro 2019	0	0	0	40	80	160	80	80	80	40	160	160	
	N	kg č.ž./ha	jaro 2019	0	0	60	60	60	60	60	60	60	40	80	80	
2020 brambory	chl. hnůj	t/ha	podzim 2019	0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
	P ₂ O ₅	kg č.ž./ha	podzim 2019	0	0	120	120	120	120	0	60	240	60	240	240	
	K ₂ O	kg č.ž./ha	podzim 2019	0	0	0	80	160	320	160	160	160	80	320	320	
	N	kg č.ž./ha	jaro 2019	0	0	120	120	120	120	120	120	120	80	160	160	
2021 jarní ječmen	P ₂ O ₅	kg č.ž./ha	podzim 2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	K ₂ O	kg č.ž./ha	podzim 2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	N	kg č.ž./ha	jaro 2021	0	0	45	45	45	45	45	45	45	30	60	60	

Číslo parcely	Přepočtený výnos (kg/parcelu)						Celkem	Průměrný výnos		Porovnání s kontrolou (%)	Pořadí
	A	B	C	D	E	F		kg/parc	t/ha		
1. nehnojená kontrola	3,20	6,14	4,28	4,97	3,93	6,33	28,85	4,81	3,15	100,0	12.
2. CHM	5,03	7,07	6,05	7,11	4,87	6,62	36,76	6,13	4,01	127,3	11.
3. N₂P₂K₀	9,70	10,15	9,94	7,53	8	7,91	53,24	8,87	5,81	184,4	10.
4. N₂P₂K₁	11,15	8,85	7,28	10,82	7,47	7,85	53,42	8,90	5,83	185,1	9.
5. N₂P₂K₂	8,79	11,46	11,45	11,09	8,89	9,34	61,01	10,17	6,66	211,4	5.
6. N₂P₂K₃	11,32	11,65	9,88	10,23	10,01	9,24	62,34	10,39	6,81	216,2	3.
7. N₂P₀K₂	10,32	10,44	9,72	8,77	8,53	10,08	57,85	9,64	6,32	200,6	8.
8. N₂P₁K₂	11,30	8,6	8,51	11,22	8,52	11,18	59,34	9,89	6,48	205,7	6.
9. N₂P₃K₂	9,61	11,37	10,59	11,32	9,16	11,19	63,24	10,54	6,91	219,4	2.
10. N₁P₁K₁	10,48	11,15	8,77	10,84	9,07	8,6	58,9	9,82	6,43	204,1	7.
11. N₃P₃K₃	12,15	12,61	11,16	9,83	9,23	12,26	67,24	11,21	7,34	233,0	1.
12. N₃P₃K₃ nevápněno	12,07	9,63	8,95	9,74	9,38	12,09	61,87	10,31	6,76	214,6	4.
celkem	115,12	119,12	106,58	113,47	97,06	112,69	664,06				
průměr kontroly	3,2	6,14	4,28	4,97	3,93	6,33	28,85	4,81	3,15	100	

Číslo parcely	pH půdy	K [mg/m ³]	P [mg/m ³]	Ca [mg/m ³]	Mg [mg/m ³]	S [mg/m ³]	Cu [mg/m ³]	Zn [mg/m ³]	Al [mg/m ³]	Fe [mg/m ³]	Mn [mg/m ³]
1. nehojená kontrola	5,4	102	30,3	1060	151	14,1	2,87	3,86	1180	317	127,5
2. CHM	6,2	139	30,9	1450	241	14,3	3,16	3,41	1100	304	131,2
3. N₂P₂K₀	6,3	173	41,9	1840	267	22,5	3,5	3,65	1150	321	132,3
4. N₂P₂K₁	6,3	250	49,8	1630	248	23,8	3,24	3,89	1140	352	136,5
5. N₂P₂K₂	6,1	245	59,0	1390	236	20,5	3,1	4,15	1120	335	125,4
6. N₂P₂K₃	6,2	254	42,5	1500	225	24	2,9	4,58	1080	311	131,9
7. N₂P₀K₂	6,1	235	30,0	1400	241	26,4	3,1	3,79	1130	329	147,3
8. N₂P₁K₂	6,1	218	36,1	1510	234	27,9	3,14	3,94	1130	326	129,6
9. N₂P₃K₂	6,2	172	67,2	1550	232	24,6	2,96	3,76	1140	331	121,9
10. N₁P₁K₁	6,2	136	45,6	1570	237	15,7	3,03	3,88	1080	306	134,2
11. N₃P₃K₃	6,1	246	72,0	1470	231	26,9	3,16	3,82	1150	346	130,1
12. N₃P₃K₃ nevápněno	5,2	257	82,2	1140	154	31,8	2,96	4,14	1230	420	120,6
průměr celkem	6,03	202,25	48,96	1459,17	224,75	22,71	3,09	3,91	1135,83	333,17	130,71

Číslo parcely	Obsah sušiny [%]	Hmotnost vzorku [g]	Obsah P v zrnu [%]	Obsah K v zrnu [%]	Obsah Mg v zrnu [%]	Obsah Ca v zrnu [%]	Obsah N v zrnu [%]
1. nehojená kontrola	90,5	366	0,37	0,47	0,12	<0,05	1,64
2. CHM	91,1	366	0,39	0,48	0,12	<0,05	1,55
3. N₂P₂K₀	91,2	366	0,36	0,44	0,13	<0,05	1,58
4. N₂P₂K₁	91,2	366	0,35	0,46	0,12	<0,05	1,58
5. N₂P₂K₂	91,2	366	0,34	0,45	0,12	<0,05	1,53
6. N₂P₂K₃	90,7	366	0,34	0,45	0,12	<0,05	1,51
7. N₂P₀K₂	90,9	366	0,35	0,46	0,12	<0,05	1,56
8. N₂P₁K₂	91,7	366	0,34	0,49	0,12	<0,05	1,54
9. N₂P₃K₂	91,5	366	0,35	0,48	0,12	<0,05	1,49
10. N₁P₁K₁	91,6	366	0,33	0,43	0,12	<0,05	1,59
11. N₃P₃K₃	91,5	366	0,36	0,46	0,12	<0,05	1,51
12. N₃P₃K₃ nevápněno	90,8	366	0,35	0,46	0,12	<0,05	1,63
Průměr celkem			0,35	0,46	0,12	<0,05	1,56

