

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



Vliv dlouhodobého hnojení na kvalitu píče jetele lučního

Diplomová práce

Bc. Jiřina Jirásková

Výživa zvířat a dietetika

doc. Ing. Josef Hakl, Ph.D.

© 2019 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Vliv dlouhodobého hnojení na kvalitu píce jetele lučního" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12.4.2019

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Josefu Haklovi, Ph.D. za vedení diplomové práce, trpělivost, podporu a cenné rady při jejím vypracování.

Vliv dlouhodobého hnojení na kvalitu píce jetele lučního

Souhrn

Jetel luční je po vojtěšce nejvýznamnějším pěstovaným druhem jetelovin v mírném pásmu. Jeho nutriční kvalita významně ovlivňuje efektivitu živočišné produkce. Výzkumů zabývajících se možnostmi zvýšení kvality jeho píce vlivem dodání živin je však minimum. Cílem této práce bylo posoudit vliv dlouhodobého hnojení na nutriční kvalitu píce jetele lučního v souvislosti se změnami výnosu a struktury porostu.

Dlouhodobé polní pokusy byly založeny v roce 1955 na 2 experimentálních stanovištích VÚRV-Ruzyně (Čáslav a Lukavec). Porost jetele pro tento experiment byl založen do podsevu ovesa na zrno v roce 2017. Bylo hodnoceno 7 rozdílných variant hnojení: nehnojená kontrola, varianta hnojená pouze hnojem a varianty hnojené kombinací hnoje s různými dávkami dusíku, fosforu, draslíku a hořčíku. V roce 2018 byly na obou stanovištích provedeny 2 seče a stanoven výnos v t/ha, počet rostlin (r/m²), počet lodyh (l/m²), délka lodyh a u deseti nejdelších lodyh byl po manuální separaci jednotlivých částí rostlin stanoven hmotnostní podíl listů (LSR). Píce z 1. seče byla metodou NIRS analyzována na obsah dusíkatých látek (NL), hrubé vlákniny (HV), vodorozpustných cukrů (WSC) a in vitro stravitelnost organické hmoty (OMD).

Z charakteristik porostu hnojení významně ovlivnilo pouze LSR a výnos. Absence živin v nehnojené kontrole vedla k výraznému snížení výnosu, a to až o 30 % oproti maximální dávce všech živin, u které byl zjištěn výnos nejvyšší. Již samotné přidání hnoje průkazně zvýšilo výnos, tvořený převážně lodyhami, LSR zde bylo nejnižší. Z kvalitativních parametrů hnojení průkazně ovlivnilo pouze OMD. Nejvyšší stravitelnost poskytla varianta plného hnojení, kontrastně nejnižší stravitelnost se prokázala u píce hnojené hnojem z důvodu velkého podílu vláknitých lodyh.

Nejvhodnější variantou hnojení byla aplikace všech prvků z důvodu nejvyššího výnosu v kombinaci vysokou nutriční kvalitou. Výsledky poukázaly na důležitost přídatku Mg, který se projevil jako nejvíce deficitní, a i přes aplikaci N, P i K významně limitoval tvorbu výnosu a kvalitních živin. Pro pozitivní ovlivnění nutriční kvality píce je tedy nezbytné sestavení vyvážených dávek hnojiv, respektujících všechny biologické potřeby rostlin.

Klíčová slova: pícniny; nutriční hodnota; struktura porostu; minerální hnojení; vláknina

Influence of long-term fertilization management on forage nutritive value of red clover

Summary

Red clover is the second most important forage legume of the temperate climate zone. Its nutritional quality significantly influences the efficiency of animal production. However, there is lack of researches on the possibilities of increasing the nutritive quality through fertilization. The aim of this thesis was to evaluate the effect of long-term fertilization on the nutritional quality of the red clover forage in connection with yield changes and stand structure.

The long-term experiment with fertilization was established in 1955 at 2 experimental stations of VÚRV-Ruzyně (Čáslav and Lukavec). This experiment with clover stand was established in 2017 as undersowing red clover in oat. Seven different variants of fertilization were evaluated: an unfertilized control, a variant fertilized with manure only and variants fertilized with manures and a combination of different nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium doses. In 2018 two cuts were taken at both stations and the yield in t/ha, the number of plants (r/m^2), number of stems (l/m^2), stem length was determined. LSR was determined for the ten longest stems after manual separation of the individual parts of plant. The forage samples from the first cut were analyzed by the NIRS method for the crude protein content (CP), crude fiber (CF), water soluble sugars (WSC) and in vitro organic matter digestibility (OMD).

Of the stand characteristics, only LSR and yield were significantly influenced. The absence of nutrients in the non-fertilized control resulted in a significant reduction in yield, up to 30 % compared to the maximum dose of all nutrients, which resulted in the highest yield. The addition of manure has significantly increased yield, which is formed mainly by stems, so LSR was the lowest here. Of the qualitative parameters of fertilization, only OMD was significantly influenced. The highest digestibility was provided by the full fertilization variant, the lowest digestibility was found in forage fertilized with manure due to the large proportion of fibrous stems.

The most effective fertilization variant was the application of all elements due to the highest yield in combination with high nutritional quality. The results pointed the importance of the addition of Mg, which was proved to be the most deficient, and its absence significantly reduced the production of yield and quality nutrients despite of the application of N, P and K. For positive influence of the nutritive quality of forage, it is necessary to make balanced doses of fertilizers respecting all biological needs of plants.

Keywords: forages; nutritive value; stand structure; mineral fertilization; fiber

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce a vědecké hypotézy	2
2.1	Cíl práce	2
2.2	Vědecké hypotézy	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Jetel luční	3
3.1.1	Biologie, morfologie	4
3.1.2	Požadavky na pěstování	6
3.1.3	Agrotechnika.....	6
3.1.4	Využití	7
3.1.5	Výnos	9
3.2	Nutriční kvalita píce.....	10
3.2.1	Dusíkaté látky	10
3.2.2	Vláknina.....	12
3.3	Faktory ovlivňující nutriční kvalitu píce	13
3.3.1	Vlastnosti porostu	13
3.3.2	Podmínky prostředí.....	14
3.3.3	Antinutriční látky	16
3.3.4	Hnojení.....	16
3.3.4.1	Dusík.....	17
3.3.4.2	Fosfor.....	18
3.3.4.3	Draslík	19
3.3.4.4	Vápník	20
3.3.4.5	Hořčík	21
3.3.4.6	Vliv hnojení na výnos a strukturu porostu	22
3.3.4.7	Vliv hnojení na nutriční kvalitu píce	24
4	Metodika	26
4.1	Charakteristika pokusných lokalit	26
4.1.1	Čáslav.....	26
4.1.2	Lukavec.....	26
4.2	Design pokusu.....	27
4.3	Odběr vzorků.....	27
4.4	Stanovení kvalitativních parametrů	28
4.5	Statistické vyhodnocení	28

5	Výsledky	29
5.1	Vliv hnojení na výnos a parametry struktury porostu	29
5.2	Vliv hnojení na nutriční kvalitu.....	30
6	Diskuze	31
6.1	Struktura porostu.....	31
6.2	Nutriční kvalita.....	33
6.3	Vliv hnojení na kvalitu píče v souvislosti se strukturou porostu	33
7	Závěr.....	35
8	Literatura.....	36

1 Úvod

Jeteloviny patří mezi nejvýznamnější objemná krmiva, tvořící základ krmné dávky přežvýkavců. Mimo svou produkční roli mají v pěstitelské soustavě i řadu mimoprodukčních funkcí. Pro naplnění požadavků vysokého výnosu i nutriční hodnoty píce je třeba zajistit i dostatek dostupných živin v půdě. Otázkou však zůstává dopad dlouhodobého managementu hnojení na kvalitu sklizené píce. Přitom pouze vyvážené hnojení s vhodnými dávkami živin pro konkrétní plodiny a konkrétní půdy mohou zajistit jejich správné využití, které se odrazí v celkové kvalitě rostlinné produkce.

2 Cíl práce a vědecké hypotézy

2.1 Cíl práce

Cílem práce je na základě dlouhodobě probíhajícího pokusu sledovat vliv aplikace různých kombinací organických a minerálních hnojiv na výnosy, utváření výnosotvorných prvků, strukturu porostu a kvalitu píče u jetele lučního.

2.2 Vědecké hypotézy

- I. Dlouhodobé hnojení ovlivňuje výnos a parametry struktury porostu jetele lučního.
- II. Dlouhodobé hnojení ovlivňuje nutriční kvalitu píče jetele lučního.

3 Literární rešerše

3.1 Jetel luční

Jeteloviny, jichž je jetel luční (*Trifolium pratense L.*) druhým nejvýznamnějším zástupcem mírného pásma, představují největší producenty kvalitního zdravého a chutného krmiva, zdroj levně produkovaných dusíkatých látek, vitamínů (především C a E) a hlavních minerálních látek, jako je vápník a fosfor. Mají také příznivý obsah esenciálních aminokyselin (Pouлік 1996; Vasileva 2013). To vše určuje jejich dominantní postavení ve výživě přežvýkavců (Šantrůček 2003).

Nezastupitelná je také jejich mimoprodukční úloha, jako zlepšování fyzikálního, chemického a mikrobiologického stavu půdy (Sato et al. 2005; Gaudin et al. 2014). Na rozdíl od jiných pícnin, i přes vysokou produktivitu nevyžadují dusíkaté hnojení, které představuje až 70 % celkových energetických vkladů (Šantrůček 2003), ale zajišťují si jej samy prostřednictvím symbiózy s hlízkovými bakteriemi fixující dusík (Sato et al. 2005). Kořenová hmota bohatá na dusíkaté látky při svém rozkladu významně obohacuje půdu a přispívá k celkové bilanci dusíku v zemědělské výrobě (Vlčan 2002; Šantrůček 2003). Mohutný kořenový systém má také kladný vliv na půdní strukturu. Pomáhá hloubkovému prokypření, čímž se zlepšují podmínky pro koloběh srážkové i podzemní vody (Hrabě 2004). Dokáží uvolňovat z hlubších vrstev méně přístupné formy živin, jako například vápník, hořčík nebo fosfor, které jsou pro ostatní rostliny nedosažitelné. Jak se rostliny zotavují ze seče, znovu obrostou a kořeny se dostávají hlouběji (Vasileva & Kostov 2015). Podstatný je také jejich efekt odplevelovací, protierozní a krajínotvorný (Hrabě 2004).

Jetel luční je široce pěstován ve většině mírných oblastí díky rychlému růstu a velké síle mladých rostlin. Vyznačuje se větší tolerancí ke kyselým a vlhkým půdním podmínkám (Sato et al. 2005). Je také velmi dobře přizpůsoben růstu na živinově vyčerpaných půdách. Výnosový potenciál jetele lučního je vynikající a některé odrůdy mohou mít výnosy vyšší než vojtěška (Hoffman & Broderick 2001; Marković et al. 2012). Je také velmi kvalitní z hlediska nutričních hodnot a silážovatelnosti (Marković et al. 2012; Clavin et al. 2016). V našich zemích se začal ojediněle pěstovat v 18. století, nejvíce se jeho pěstování rozšířilo v 19. století (Jakešová & Světlík 2002). V mnoha oblastech Evropy jeho využití upadá, především kvůli méně stabilním výnosům a vytrvalosti oproti travám hnojeným dusíkem (Sato et al. 2005). Vedle monokultur má rozhodující uplatnění v jetelotravních směskách (Petřík et al. 1987; Hrabě 2004).

3.1.1 Biologie, morfologie

Existují dvě formy jetele lučního – jetel luční pozdní – jednosečný (*Trifolium pratense serotinum*) a jetel luční raný – dvousečný (*Trifolium pratense praecox*) (Hrabě 2004). Šlechtěním se podařilo získat z diploidních odrůd i odrůdy tetraploidní, lišící se odstupňováním pícní zralosti. Většina našich diploidních odrůd jsou rané, méně náročné. Tetraploidní odrůdy poskytují vyšší výnos, mají mohutnější vzrůst. Jsou pozdnější, obsahují více vody, vodorozpustných cukrů i dusíkatých látek, také pomaleji stárnou a jsou vytrvalejší (Jakešová & Světlík 2002).

Kořen

Jetel luční má ve srovnání s vojtěškou slabší kořenový systém, který se intenzivněji větví v ornici do hloubky 0,4 metru. Hlavní kulový kořen proniká do hloubky 1 – 3 metrů (Petřík et al. 1987). Je méně dřevnatý a po zaorání se rychle rozkládá (Šantrůček 2003). V horní části hlavního kořene se vytváří kořenový krček, na němž probíhá odnožování (Petřík et al. 1987). Jelikož se i s pupeny nachází při půdním povrchu, je velmi citlivou částí rostliny. Trpí holomrazy a je také citlivý na mechanické poškození agrotechnikou i pasoucími se zvířaty (Hrabě 2004). To je příčinou jeho menší vytrvalosti a výnosové stability (Šantrůček 2003). Při poranění se stává branou pro vstup původců patologických poškození krčkových a kořenových pletiv, končící odumřením napadených jedinců. Převážně se jedná o bakterie rodu *Fusarium* (Hrabě 2004).

Nadzemní část

Šťavnaté duté lodyhy vyrůstající z kořenového krčku mají oproti vojtěšce nižší obsah vlákniny ve stejném vývojovém stádiu o 2 – 4 % a jsou zejména u tetraploidních odrůd příčinou větší náchylnosti k poléhání, nejčastěji v době květu. Jejich délka se pohybuje kolem 80 cm. Počet lodyh na jedné rostlině značně závisí na hustotě rostlin na 1 m². V případě řidších porostů jich rostlina může vytvořit i více než 75 (Slavík et al. 1995).

Trojčetné ochmýřené listy se vyznačují typickou kresbou. Jsou nejkvalitnější částí rostliny. V optimální fázi sklizně, tedy před začátkem butonizace, tvoří více než polovinu sklizené hmoty. Aby jejich ztráty byly co nejmenší, je nutné věnovat maximální pozornost

způsobu sklizně a zavadání hmoty. Diploidní a tetraploidní odrůdy se liší velikostí a zejména tvarem listů. Poměr šířky listů k délce u diploidních odrůd je přibližně 1:3, zatímco u tetraploidních 2:3 (Slavík et al. 1995; Hrabě 2004).

Trubkovité květy jsou u tetraploidních odrůd delší, což ztěžuje jejich opylení. Mají také větší barevnou variabilitu. V počtu 80 až 140 tvoří hlávkovité květenství, na jedné rostlině bývá průměrně 150 hlávek. V řidším porostu může počet značně stoupat. Pro tvorbu lusků jsou zapotřebí opylovači, jelikož se jedná o cizosprašný druh (Nedělník et al. 2010). Plod je jednosemenný, méně často dvousemenný, oválný lusk. Barva nepravidelně srdčitých lesklých semen přechází od žluté po fialovou. Tvrdá semena často setrvávají v půdě i několik let bez újmy (Hrabě 2004; Nedělník et al. 2010).

Biologická fixace dusíku

Pro svou výživu je jetel, stejně jako ostatní jeteloviny, schopen získat atmosférický dusík pomocí symbiotických hlízkových bakterií rodu *Rhizobium sp.*, které se po zasetí již za 6 až 8 týdnů uchycují na kořincích (Vasileva & Kostov 2015). Nejintenzivnější fixace N díky největšímu počtu nodulů probíhá do fáze kvetení. Hostitelská rostlina poskytuje bakteriím energii (Petřík et al. 1987). Biologickou fixací si jeteloviny opatřují 50 až 80 % celkového množství přijatého N (Vasileva & Kostov 2015). Množství fixovaného dusíku v nadzemní části jetele lučního dosahuje až 373 kg N/ha/rok. Účinnost symbiózy je funkcí genotypu rostlinného hostitele, genotypu hlízkové bakterie a environmentálních faktorů (Carlsson & Huss-Danell 2003).

Fixovaný N rostliny využívají jako svůj přímý zdroj, dále jej až ze 60 % ukládají v kořenech, následně se dostává do půdy a k dalším plodinám. Tím jeteloviny značně přispívají ke snížení potřeby aplikace průmyslových hnojiv (Carlsson & Huss-Danell 2003; Vasileva & Kostov 2015) a jsou důležitou složkou systémů udržitelného zemědělství (Mia et al. 2014). V porovnání s technologiemi výroby dusíkatých hnojiv, je energetický vklad jetelovin na výrobu 1 kg N zhruba poloviční (Šantrůček 2003). Limitujícími faktory efektivní fixace N jsou nízké půdní pH, nedostatek vláhy, špatné provzdušnění půd, nízká teplota, vysoký obsah minerální N v půdě a v neposlední řadě nedostatek K a P (Carlsson & Huss-Danell 2003; Štranc et al. 2013).

3.1.2 Požadavky na pěstování

Pro úspěšné pěstování jsou rozhodující především vlhkostní poměry prostředí. Jetel luční je poměrně náročný na dostatečné množství vody, odolnost proti suchu je malá. Nejvhodnější jsou pro něj oblasti s ročním úhrnem srážek 600 – 700 mm i více a vyšší vlhkostí vzduchu (Šantrůček 2003). Nepříznivě působí i náhlé střídání teplot, zejména na jaře (Hrabě 2004). Nejlépe se mu daří v bramborářských a podhorských oblastech, ve kterých je mu během zimy poskytnuta důležitá ochrana sněhovou přikrývkou kvůli velkému nebezpečí vymrzání. V řepářských oblastech je pěstován pouze na těžkých půdách s vyšší hladinou podzemní vody, kde se nedaří vojtěšce (Petřík et al. 1987; Vlčan 2002).

Půdní typ je dalším významným faktorem pro pěstování. Nejvhodnějším typem jsou hluboké hlinité půdy, příznivé mohou být i půdy jílovohlinité nebo písčitohlinité, obsahují-li dostatek humusu (Šantrůček 2003). Extrémně těžké půdy jsou nepříznivé pro symbiotické bakterie, na písčitých půdách jetel trpí nedostatkem vláhy (Hrabě 2004). Na rašelinných nebo kyprých půdách bývají nejisté výnosy kvůli častému vyzimování. Nejvyšší aktivita hlízkových bakterií je pozorována při pH 6,2 – 6,8 (Petřík et al. 1987). Pro vyšší produkci je velmi efektivní aplikace doplňkové závlahy, jež dokáže zvýšit výnos až na trojnásobek. Zvláště významná je závlaha v roce setí. Bývá aplikována ve dvou dávkách, ke každé seči, podle vlastností půdy a úhrnu srážek. V druhém vegetačním roce se zavlažuje zpravidla až po první seči (Petřík et al. 1987).

3.1.3 Agrotechnika

Jetel se v osevním postupu zařazuje zpravidla mezi dvě obilniny. Ke krycí plodině je tolerantnější než vojtěška. Po sobě je však velmi nesnášenlivý kvůli intenzivní sekreční činnosti kořenového systému, chorobám (rakovina jetele, choroby kořenových krčků a hlavního kořene) a škůdcům (háďátka). Mezidobí pěstování by tedy nemělo být kratší než 5 až 6 let (Petřík et al. 1987). Diploidní jetel se v praxi uplatňuje většinou na dva roky vegetace, v příznivých podmínkách je možné tetraploidní odrůdy využívat i 3 roky (Hoffman & Broderick 2001; Marković et al. 2012).

Jeteloviny vyžadují náročnou přípravu půdy. Důležité je co nejhlubší prokypření, avšak bez vnesení biologicky neúčinného podorničí na povrch. Na těžkých půdách je vhodné i podrývání, které umožní rychlý vývoj hlubokého kořenového systému. Pro jarní předset'ovou úpravu je kvůli jeho drobným semenům stěžejní dokonalé urovnání půdy a rozpracování

povrchové vrstvy (Petřík et al. 1987). Osivo je vyséváno do hloubky 10 – 20 mm, klíčí již při teplotách těsně nad nulou a vzchází za 7 – 10 dnů. Výše výsevku, způsob zakládání ani vzdálenost řádků nemají na výnos píce takový vliv, jako je tomu u vojtěšky (Šantrůček 2003).

Neméně zásadní je příprava na zimování. V prvním roce výsevu by rostliny neměly zakvést, koncem léta je nutné porost pokosit, aby před nástupem zimy byly rostliny krátce obrostlé. Pozemek by měl být zbaven všech zbytků rostlin. Při příznivé vlhkosti je dobré půdy uválet. Kořenové krčky se tak přitlačí k povrchu půdy a jsou lépe chráněny před poškozením. Pokud dochází ke kolísání teplot během zimy, je vhodné provést uválení i brzy na jaře (Hrabě 2004).

3.1.4 Využití

Jetel luční nabízí několik možností využití. Může být použit na orné půdě jako monokultura, podsev pro krycí plodiny, rozhodující uplatnění má ve formě jetelovinotravních směsí (Cnops et al. 2010). Příležitostně se využívá pro pastvu, ale v důsledku rychlého poklesu produkce biomasy po 2 až 3 letech pastvy se více používá pro produkci siláže (Dewhurst et al. 2009; Clavin et al. 2016). Je využíván i k přímému zelenému krmení, ale mladý způsobuje nadýmání. Oproti vojtěšce poskytuje píci kvalitnější, zvířaty ochotněji přijímanou (Petřík et al. 1987), která rovněž v čase ztrácí kvalitu pomaleji než vojtěška (Šantrůček 2003).

V méně příznivém prostředí pro pěstování monokultur jetele lučního, je vhodný přídavek vzrůstnějších odrůd jetele plazivého, případně jetele zvrhlého. V nepříznivých podmínkách jsou účelnější krátkodobé jetelotravní porosty, zařazované do osevních postupů stejně jako monokultury jetele (Hrabě 2004).

Bylo prokázáno množství benefitů pro produkci při podsévání jetele k ozimé pšenici. Jetel luční je schopen založení a přežívání i v prostředí s nízkým slunečním ozářením pod pšeničným porostem a akumuluje většinu biomasy po sklizení obilovin (Gaudin et al. 2014). Jako předplodina také zvyšuje obsah bílkovin v zrně pšenice (Grewal & Williams 2002). V rámci střídání plodin přispívá ke zlepšení úrodnosti půdy a díky vynesení nepřístupných živin do vyšších vrstev ornice se objevuje zvýšený výnos pšenice i v pozdějších letech (Singh et al. 2012; Vasileva & Kostov 2015).

Pro konzervaci silážování je jetel vhodnější než vojtěška díky 2 – 3x většímu obsahu vodorozpustných cukrů v sušině píce (Šantrůček 2003). Siláže představují hlavní zdroj bílkovin pro všechny býložravce, výživná hodnota je však vždy nižší než u původní plodiny. Podle

obsahu živin se jetel řadí do krmiv bílkovinných, těžko silážovatelných, protože vyšší obsah NL zapříčiňuje vyšší pufrační schopnost, bránící potřebnému rychlému poklesu pH siláže. Nízký obsah cukrů zase neposkytuje dostatek energie pro bakterie mléčného kvašení. Aby konzervace byla úspěšná, je nutné nechat jej intenzivně zavadnout na obsah sušiny 35–45 %. Pro kvalitní siláž je potřeba použít zavadlou mladou píci s nízkým obsahem vlákniny a vysokou stravitelností (Zeman 2006).

Jetel není běžně uchováván ve formě sena kvůli pomalému sušení a většímu odrolu kvalitních listů (Hoffman & Broderick 2001). Kvalitní seno je možno získat v mechanizovaných senících aktivní ventilací vzduchu již předsušené píce na obsah sušiny 45–55 %. Horkovzdušné sušení sena je oproti vojtěšce náročnější z důvodu vyššího obsahu vody v buňkách (Šantrůček 2003). Kvalitní seno příznivě ovlivňuje trávicí procesy přežvýkavců, zmírňuje účinky kyselé siláže nebo nadměrných dávek jadrného krmiva. Poskytuje také vitamín D a betakaroten (Zeman 2006).

Jetelovinotravní směsi představují společenstva pěstovaná na orné půdě, a to jednak intenzivní krátkodobá s délkou využívání od 1 do 3 let, případně 3–4 roky (tzv. senážního typu), dále společenstva dočasného charakteru s délkou růstu 5–6 let určená převážně k produkci sena nebo pastvě. Další skupinou jsou trvalé travní porosty polopřirozeného charakteru (louky a pastviny), vyskytující se v oblastech podhorských a horských, kde není možné pěstovat plní plodiny (Hrabě 2004). Tyto porosty poskytují polobílkovinná krmiva, jejichž předností je vyrovnaný poměr živin a nízká inkrustace ligninem (Ball et al. 2001; Zeman 2006).

V takových porostech by měl být jetel zastoupen ze 75–80 %, kdy téměř plně nahrazuje potřebu dusíkatého hnojení a udržuje vyšší nutriční kvalitu píce (Gierus et al. 2012; Třináctý 2013). Vasileva a Kostov (2015) uvádí, že dusíkaté hnojivo není potřeba již při 25 % zastoupení vojtěšky v porostu. Díky vzájemnému propletení kořenů, traviny odebírají až 80 % N z biologické fixace, bez ohledu na výnos sušiny a stanoviště (Carlsson & Huss-Danell 2003). Travní komponenty zde zajišťují výnosovou stabilitu a omezují zaplevelení. Jejich výnosy jsou ale menší, než u monokultury jetele a s postupujícími roky rychleji klesají na 80–50 % z důvodu rychlého ústupu jetele a rozšiřování rhizomatických trav (Šantrůček 2003). Směsi mohou díky efektivnějšímu využití živin dosahovat vyšších výnosů s lepší nutriční kvalitou (Carlsson a Huss-Danell 2003; Dewhurst et al. 2009; Cnops et al. 2010). Koncentrace NL je nejvyšší na podzim u obou druhů v souvislosti s biologickou fixací (Dewhurst et al. 2009). Mimo produkční význam mají společenstva ale význam také ekologický, krajinnotvorný i společenský (Hrabě 2004).

Důležitou vlastností směsí je jejich rozdílná doba sklizně, která se řídí převládajícím druhem ve směsi. Mohou se využívat kombinovaně, sečí a pastvou (Šantrůček 2003). Úspěšný management jetelotravních směsí závisí na vhodnosti rostlinných druhů k frekvenci sečí a jejich nutriční kvalitě pro zvířata (Gierus et al. 2012). Smíšené jetelotravní louky jsou základním prvkem udržitelného rozvoje zemědělských systémů (Dewhurst et al. 2009; Cnops et al. 2010) a zvyšuje se zájem o tato krmiva pro přežvýkavce v Evropě pro přímé krmění, pastvu (Gierus et al. 2012), ale také konzervaci (Zeman 2006).

3.1.5 Výnos

Jetel luční má schopnost poskytovat velmi vysoké výnosy píce. Po zasetí dává plný výnos v druhém vegetačním roce, průměrně sušina činí kolem 10 t/ha (Petřík et al. 1987). Experimentálně byl jeho potenciál pro výnos sušiny stanoven až přes 20 t/ha (Hrabě 2004).

Pozitivně se na výši výnosu projevuje zásoba N v dobře vyvinutých kořenech (Lissbrant et al. 2010). Vysoké výnosy poskytují pouze přiměřeně husté porosty s velkým počtem lodyh o vysoké průměrné hmotnosti. Počet lodyh ovlivňuje hustota porostu a výkonnost kořenového krčku rostlin. Při řidším porostu se tvoří lodyh více, s větší hmotností. K dosažení maximálního výnosu píce ve druhém vegetačním roce by se v porostu mělo vyskytovat 230 rostlin na 1m², s celkovým počtem lodyh v rozmezí 1000 – 1300 na 1m². V příliš hustých porostech vzájemná konkurence rostlin vede k slabším, méně hluboko zakořeňujícím rostlinám, průsobující jejich postupnou redukcí. To je již méně příznivé pro tvorbu maximálního výnosu (Petřík et al. 1987).

Výnosy v první seči jsou zpravidla vyrovnané a vlivem zimních srážek i jarních teplot dosti vysoké. O celkové výši výnosů však rozhoduje až seč druhá. Ta bývá vysoká v oblastech, kde po první seči spadne dostatek srážek a kde i nižší teploty snáší jetel luční lépe než vojtěška. První seč je nutno zpravidla provést v ranější růstové fázi, aby se zabránilo poléhání a podehnívání. Včasnější první seč dává zpravidla větší předpoklady k dosažení dobrých výnosů semena z druhé seče. Časnější první seči vznikají ztráty jen zřídka kdy, ale opožděná první seč jetele (v plném kvetení a později) způsobuje vždy vysoké ztráty (Šantrůček 2003).

3.2 Nutriční kvalita píce

Kvalita píce je hlavním determinantem živočišné výroby, která závisí na dodávce dostatečného množství energie a dusíkatých látek z objemných krmiv (Hides et al. 1983; Clavin et al. 2016). Požadovaná kvalita krmiva je obvykle určena výslednou živočišnou produkcí (Yolcu et al. 2008). Je výsledkem množství přijatého krmiva, koncentrací živin v něm, stravitelností a rozdělením metabolizovaných produktů. Pro každou kategorii zvířat se optimální kvalita krmiv liší (Buxton 1996). Z hlediska koncentrace a produkce živin představují jeteloviny hlavní zdroj dusíkatých látek a v tomto směru značně převyšují trávy (Šantrůček 2003). Nutriční kvalitu ovlivňuje hmotnostní podíl jednotlivých nadzemních orgánů, tedy lodyh, listů, případně květů (Petřík et al. 1987). Bývá typicky hodnocena měřením obsahu sušiny, hrubého proteinu, vlákniny a jejích frakcí, stavitelnosti a odhadovaného energetického obsahu (Stallings 2005; Yolcu et al. 2008; Clavin et al. 2016).

Vedle vysokého obsahu dusíkatých látek poskytují jeteloviny příznivý obsah esenciálních aminokyselin, minerálních látek a vitamínů. Jetel luční ve srovnání s vojtěškou obsahuje méně NL a méně sirných aminokyselin. Naproti tomu má vyšší obsah vodorozpustných sacharidů, pomalejší lignifikaci a tím i menší koncentraci vlákniny (Lissbrant et al. 2009). Omezení zkrmovaného množství jetelovin spočívá v obsahu antinutričních látek s estrogení aktivitou, rovněž v nepříznivých nadýmacích účincích, zejména u pícnin mladých nebo mokřých (Zeman 2006).

Tabulka 1: Porovnání kvalitativních parametrů jetele lučního a vojtěšky.

jetelovina	sušina g/kg suš.	WSC g/kg suš.	SOH g/kg suš.	vláknina g/kg suš.	NL g/kg suš.	NEL MJ/kg suš.
jetel luční	162-183	60-65	810	200-210	170-180	6-2,2
vojtěška	182	31	720	220-240	200-210	6,7

(Hrabě 2004)

3.2.1 Dusíkaté látky

Dusíkaté látky jsou obvykle vypočteny jako 6,25násobek obsahu N v rostlině (Lithourgidis et al. 2006), protože bachorové mikroorganismy mohou využívat dusík bílkovinný i nebílkovinný a přetvářet jej do kvalitního mikrobiálního proteinu. Míra přeměny závisí na

konkrétní frakci NL (Alzueta et al. 2001; Ball et al. 2001). Jejich obsah je proto důležitou nutriční charakteristikou jetelovin (Lithourgidis et al. 2006; Vasileva 2013).

Původní systém v České republice SNL posuzoval rozdíl mezi množstvím NL přijatých krmivem a vyloučených výkaly, nezohledňoval tedy jejich metabolické cesty v organismu. Moderní systémy posuzují především příjem aminokyselin (např. suma esenciálních a neesenciálních aminokyselin, dusíkaté látky, metabolizovatelný protein). Nejdůležitějším je posouzení úrovně krytí požadavků organismu na přívod aminokyselin podle množství proteinu skutečně prostupujícího z batoru do tenkého střeva. Nejvíce je využíván systém PDI (protein skutečně stravitelný v tenkém střevě), zohledňující fermentaci batorovými mikroorganismy, degradaci NL píče i rozdílné využití NL v tenkém střevě. Mikrobiální protein tvoří větší část, menší je obsah nedegradovatelného proteinu krmiva a zbytek připadá na protein endogenního původu. Vzájemný poměr proteinů ovlivňuje míra degradovatelnosti NL. Degradovatelné NL slouží jako zdroj dusíku pro mikroorganismy v batoru, nedegradovatelné představují přímý zdroj aminokyselin v tenkém střevě (Zeman 2006).

Podle CNCP systému jsou NL rozděleny na základě degradovatelnosti a stravitelnosti do tří základních frakcí. Frakce A představuje neproteinový dusík (amoniak, peptidy, aminokyseliny), velmi rychle degradující v batoru (Alzueta et al. 2001). Podíl frakce A je v jeteli lučním oproti vojtěšce menší (Coblentz et al. 1998). Jako frakce B se označuje pravý protein, dále se dělí do tří podfrakcí podle různých rychlostí degradace v batoru a tvorby mikrobiálního proteinu. Jednotlivé podfrakce jsou: rychle degradovatelný pravý protein (B1), pravý protein se střední rychlostí degradace (B2), který částečně přechází nezměněn do tenkého střeva, a pomalu degradovatelný skutečný protein (B3), z velké části unikající batorové degradaci (Sniffen et al. 1992). Kvalitního proteinu přecházejícího do tenkého střeva obsahuje jetel luční větší množství než vojtěška nebo jetel plazivý (Buxton 1996). Frakce C je nedostupný protein, nerozpustný v kyselém detergentu kvůli navázání s ligninem buněčných stěn a tvorbě komplexů s taniny nebo produkty Mailardovy reakce. Vyznačuje se vysokou odolností vůči mikrobiálním i savčím enzymům (Alzueta et al. 2001), má také velmi nízkou stravitelnost v tenkém střevě a určuje hodnotu tepelného poškození sena a siláže. Malé množství přispívá prostupu proteinu až do tenkého střeva, ale ve větším množství snižuje celkovou stravitelnost NL (Ball et al. 2001).

Vzhledem k variabilitě degradovatelnosti frakcí NL a z toho vyplývajícího vlivu na produktivitu zvířat, je nezbytně nutné znát přesné složení pícnin pro tvorbu efektivních krmných dávek. Podle (Buxton 1996) nadměrné množství N z objemného krmiva zvyšuje

koncentraci amoniaku, stoupá jeho vstřebávání v bachoru a vylučování ve formě močoviny, což má negativní dopad na energetickou bilanci a omezuje živočišnou produkci.

3.2.2 Vlákna

Kvalitu píce také velkou měrou ovlivňuje složení hrubé vlákniny (Lithourgidis et al. 2006; Homolka et al. 2012). Pro přežvýkavce je důležitý jak poměr mezi buněčnou stěnou, představující 40 až 80 % organické hmoty pícnin (Buxton 1996), a obsahem buněk, tak schopnost bachorových mikroorganismů buněčné stěny degradovat. Buněčnou stěnu tvoří velké množství strukturních polysacharidů, jako celulóza, hemicelulózy a pektiny. Ty jsou protnuty proteiny a fenolickými složkami, zejména ligninem. S postupující vegetační fází rostlin se podíl složek buněčné stěny zvyšuje, zatímco buněčný obsah klesá (Homolka et al. 2012). Vlákna jsou velmi důležitá pro správnou funkci bachoru a maximalizaci příjmu krmiv. Dále podporuje peristaltiku střev a podílí se na pocitu nasycení. S vysokým podílem hůře stravitelných buněčných stěn ale omezuje příjem píce a také jeho stravitelnost (Allen 1996; Buxton 1996). Energií z vlákniny přežvýkavci využívají prostřednictvím mikrobiální fermentace v bachoru a tlustém střevě. Stravitelnost je zčásti určována tím, jak rychle je vlákna fermentována a jak dlouho setrvává v bachoru. Ne všechny složky vlákniny jsou ale potenciálně fermentovatelné (Allen 1996).

Hrubá vlákna se rozděluje na dvě základní části: neutrálně detergentní vlákninu (NDF) a acidodetergentní vlákninu (ADF). NDF představuje celkovou buněčnou stěnu včetně hemicelulózy, zatímco ADF je souhrnné označení pro celulózu, lignin a popel (Ball et al. 2001), přičemž tato část je nejhůře stravitelná (Yolcu et al. 2008). Z těchto důvodů se ADF často používá k predikci stravitelnosti a energetického obsahu, zatímco NDF ovlivňuje zejména dobrovolný příjem píce (Buxton 1996; Ball et al. 2001; Stallings 2005). Při vysokém obsahu příjem klesá, příliš nízké dávky zase způsobují zdravotní problémy, jako např. acidóza nebo dislokace slezu (Buxton 1996). Částí ADF nepodléhající fermentaci bez ohledu na dobu, po kterou zůstane v bachoru, je acidodetergentní lignin (ADL). Jeho obsah významně snižuje stravitelnost (Allen 1996). V lodyhách většiny druhů pícnin se vyskytuje větší obsah buněčných stěn než v listech, kde převažuje stravitelný buněčný obsah (Coblentz et al. 1998). Stravitelnost lodyh také klesá rychleji v průběhu zrání plodin vlivem. Rozdíl ve stravitelnosti jednotlivých částí rostlin je větší u jetelovin než u trav (Buxton 1996; Stallings 2005). Lodyhy obsahují vždy mnohem více vlákniny z důvodu většího podílu silnějších buněčných stěn (Coblentz et al. 1998). Oproti travám mají ale vyšší podíl buněčných obsahů (Stallings 2005). Stravitelnost píce

se obvykle pohybuje v rozmezí 60–80 % (Zeman 2006), podle vzájemného poměru jednotlivých frakcí (Lithourgidis et al. 2006).

3.3 Faktory ovlivňující nutriční kvalitu píce

Kvalitu píce ovlivňuje spolupůsobení velkého množství faktorů, jako je druh pícnin, jejich vegetační stádium pícnin, aplikace hnojiv, způsob a termín sklizně píce včetně podmínek jejího skladování a v neposlední řadě podmínky prostředí. Významně působí teplota, intenzita světla, dostupnost vody, nadmořská výška i sezónní výkyvy počasí (Ball et al. 2001; Leto et al. 2004; Homolka et al. 2012).

3.3.1 Vlastnosti porostu

Je dobře prozkoumáno, že nejdůležitějšími faktory ovlivňujícími chemické složení píce jsou druh pícnin, vegetační stádium při sklizni a dostatek půdní vlhkosti. Množství živin v půdě a jejich dodávání během hnojení patří až do faktorů sekundárních (Ball et al. 2001; Leto et al. 2004).

Druhy a odrůdy pícnin

Jeteloviny obecně produkují větší množství kvalitnější píce než trávy, protože obsahují obvykle méně vlákniny a více NL, z čehož vyplývá zabezpečení většího příjmu píce (Ball et al. 2001; Lithourgidis et al. 2006). Existuje mnoho příkladů šlechtění rostlin, které zlepšilo kvalitu píce. Vyšlechtěné tetraploidní odrůdy jetele lučního nejen že poskytují vyšší výnos, ale obsahují i více vody, vodorozpustných cukrů i dusíkatých látek a pomalejší zrání nesnižuje takovou měrou stravitelnost postupující lignifikací, jako je tomu v případě diploidních odrůd. Na druhou stranu jsou tetraploidní odrůdy mnohem častěji napadány padlím, které snižuje jejich chutnost i příjem zvířaty (Jakešová & Světlík 2002).

Vegetační stádium porostu

Vegetační stádium ovlivňuje kvalitu krmiva více než jakýkoli jiný faktor, ale podmínky prostředí velkou měrou působí na rychlost zrání porostu a způsobují meziroční, sezónní a geografické rozdíly v kvalitě píce sklizené ve stejné fázi vývoje (Buxton 1996). Obsah kvalitních živin se během vývinu jetelovin mění a se stářím rychle snižuje (Cakmak 1994; Ball et al. 2001; Šantrůček 2003; Homolka et al. 2012), zastoupení vlákniny se zvyšuje, zatímco její

stravitelnost, stejně jako obsah NL, klesá (Coblentz et al. 1998; Dewhurst et al. 2009; Marković et al. 2012). Stupeň zralosti při sklizni je tedy určujícím faktorem kvality píce, která také ovlivňuje spotřebu píce zvířaty (Buxton 1996).

Jak porost dozrává a stává se více vláknitý, ochota k jeho příjmu prudce klesá (Buxton 1996; Homolka et al. 2012). Děje se tak z důvodu zvyšování obsahu NDF i ADF při tloustnutí buněčné stěny, zvyšuje se také lignifikace, snižuje množství poskytované energie a mění se podíl listů a lodyh (Buxton 1996; Kalamak et al. 2005; Marković et al. 2012). V lodyhách obsah NL navíc klesá více než v listech (Kalamak et al. 2005). Pro dosažení vysokého zisku nejkvalitnějších NL je nutné sklízet porost ve fázi butonizace, kdy listy tvoří až polovinu výnosu (Buxton 1996). Při plném květu je píce nejméně kvalitní, s vysokým obsahem sušiny, jak listy sesychají a opadávají (Ball et al. 2001). Rané stádium květu tedy poskytuje žádoucí kompromis mezi dostatečným výnosem a uspokojivou nutriční kvalitou (Hrabě 2004). Hlavní příčinou poklesu kvality krmiva je snížení poměru listů k lodyhám, které obsahují menší množství stravitelných NL (Buxton 1996; Ball et al. 2001).

3.3.2 Podmínky prostředí

Rostlinné prostředí často projevuje největší vliv na kvalitu píce. Podle toho, jak je umožněn růst rostlin, mění se poměr listů a lodyh. Ovlivněním rychlosti dozrávání také způsobuje změny změny chemického složení jednotlivých částí rostlin (Leto et al. 2004). Mezi nejdůležitější faktory životního prostředí patří teplota, deficit vody, sluneční záření a dostupnost živin v půdě. Z těchto environmentálních faktorů kvalitu píce nejvíce ovlivňuje teplota prostředí (Buxton 1996; Trínáctý 2013).

Teplota

Zvýšení teploty obvykle zvyšuje rychlost zrání porostu a snižuje poměr listů a stonků, zároveň stravitelnost, která se v souvislosti s teplotou prostředí obvykle přisuzuje vyšším koncentracím NDF. Kromě toho NDF pícnin pěstovaných za vyšších teplot je obvykle méně stravitelné než krmivo pěstované za nižších teplot z důvodu zvýšené lignifikace (Buxton 1996; Leto et al. 2004). Pokles stravitelnosti při vyšších průměrných ročních teplotách potvrzuje i Homolka et al. (2012).

Zásobení vodou

Mírný vodní deficit obvykle zpožďuje dozrávání píce a napomáhá udržování nutriční kvality na vyšších úrovních. Pokud není závažně snížen podíl listů opadem, může se ve skutečnosti zlepšit stravitelnost pícnin v daném vegetačním stádiu (Buxton 1996). Obecně ale nedostatek vody představuje závažné omezení pro tvorbu výnosu i kvality píce. Produkce sušiny je výrazně ovlivněna zejména v roce založení porostu (Vasileva et al. 2011; Vasileva & Kostov 2015). V období rychlého růstu píce na jaře zhoršuje kvalitu píce a zvyšuje především podíl vlákniny (Gaudin et al. 2014). Obsah vlákniny v sušině nad 25 % je indikátor nízké kvality píce (Třináctý 2013). Dále sucho inhibuje tvorbu nodulů a rozvětvení píce, významně se urychluje smrt již vzrostlých odnoží (Buxton 1996). Hmotnost listů je snížena z důvodu rychlejšího sesychání starších spodních listů. Snižuje se v nich obsah NL i vodorozpustných cukrů (Vasileva 2013). Hakl et al. (2016) uvedl až 80 % variabilitu výnosu sušiny vojtěšky vlivem roku sklizně, závisující na obsahu vody v půdě, kdy se snižuje i schopnost biologické fixace N (Gierus et al. 2012). Stejný trend potvrdil i Vasileva et al. (2011) a Singh et al. (2012) společně s dopadem zvýšení maximální teploty. Změny počasí jsou vážným rizikem pro vytrvalé pícniny, protože ovlivňují jejich produkční kapacitu na několik let.

Denní doba

V průběhu dne jsou zaznamenány změny v koncentraci nestrukturních sacharidů s nejnižšími hodnotami před východem slunce a nejvyššími hodnotami v pozdním odpoledni. Hodnoty vychází z faktu, že rostliny během dne pomocí fotosyntézy živiny tvoří, zatímco v noci je spotřebovávají respirací (Ball et al. 2001). Během světelné části dne také narůstá obsah škrobu v listech. Tyto změny způsobuje nárůst poměru listů a lodyh z 1,1 pro ranní dobu na 1,5 v pozdním odpoledni. Koncentrace bílkovin navíc vykazuje nejvyšší hodnotu během pozdního odpoledne. Diurnálních změn je možné využít u pastevních systému nebo při silážování píce. Zvýšené koncentrace kvalitních živin ale mohou být ztraceny při sklizni na seno kvůli vysokým hodnotám respirace (Buxton 1996).

3.3.3 Antinutriční látky

Antinutriční neboli přirozeně škodlivé látky jsou sekundárními rostlinnými metabolity, které neplní žádnou z primárních funkcí a nevyskytují se ve všech rostlinných druzích. Rostliny je produkují jako vedlejší cesty primárního metabolismu, adaptaci vůči abiotickému prostředí, možnost regulace vztahů mezi živočichy a jinými rostlinami. Z důvodu obrany proti okusu býložravců znamenají vždy snížení nutriční kvality píce (Kalač & Míka 1997).

Látky vyvolávající nadmutí

Jetel luční, obzvláště mladý nebo zapařený, obsahuje větší množství vodorozpustných bílkovin, které při degradaci v bachoru vytváří velké množství plynů ve formě bublin tvořících stabilní pěnu, kterou není možné říháním eliminovat. Přirozená degradace proteinů v bachoru není možná a netvoří se mikrobiální protein (Kalač & Míka 1997).

Fytoestrogeny

Jetel luční může způsobovat problémy reprodukčního systému hospodářských zvířat, zejména ovcí, kvůli velkému obsahu kumestanů a isoflavonů daidzeinu, genisteinu, formononetinu a biochaninu A. Zatímco genistein a biochanin A je v bachoru degradován na p-ethylfenol a fenolické kyseliny, formonetin se redukuje na equol, který má výrazné estrogení účinky. Imituje působení živočišných hormonů a inhibuje sekreci estrogenů. Největší množství se nachází v květenstvích. Udržování vysoké hladiny equolu v krvi způsobuje tzv. jetelovou nemoc, projevující se falešnou říjí, sníženým zabřezáváním, zvýšeným počtem abortů a poporodních komplikací (Booth et al. 2006; Dewhurst et al. 2009; Du et al. 2013).

3.3.4 Hnojení

Pouze vhodně zvolená kombinace hnojení, vycházející z hlavních biologických vlastností plodin a jejich nároků na živiny, podporuje maximální výnosový potenciál (Černý et al. 2010; Dwivedi 2014). Jeteloviny výnosem 1 t sušiny odčerpají z půdy v průměru 25 – 30 kg N, 2,5 – 3,5 kg P, 15 – 23 kg K, 15 – 20 kg Ca a 2,5 – 4 kg Mg (Pouлік 1996). Ztráta úrodnosti půdy z kontinuálního odebírání živin sklízenými plodinami bez adekvátního doplnění v kombinaci s aplikacemi nevyváženého hnojení, představuje vážné ohrožení úrodnosti půdy a zemědělské výroby (Dwivedi 2014). U jetelovin je nejvíce prozkoumáno hnojení P a K, protože

N si až z 90 % zajišťují biologickou fixací (Macolino et al. 2013). Kvůli čerpání živin z hlubších vrstev půdy musí být jejich požadované množství (s výjimkou N) do půdy dodáno před založením porostů. Aplikace těsně před setím nebo přihnojování již založeného porostu má již jen omezený vliv na výnos (Petřík et al. 1987). Vyvážená dodávka živin pomáhá zlepšit odolnost proti chorobám, tvorbě přísušků a také vyzimování (Poulik 1996).

3.3.4.1 Dusík

V důsledku vysokého obsahu NL v jetelovinách představuje dusík rozhodující živinu a významně ovlivňuje výši výnosu (Štranc et al. 2013). Dusíkaté hnojení jetelovin je ale podle Cherney et al. (1994) obecně považováno za sporné, zejména pokud mají rostliny dobře vytvořený kořenový krček s noduly hlízkových bakterií. V takovém případě anorganický N neefektivně nahrazuje ten rhizobiální, protože čerpání živin z půdy pomocí koncentračního spádu není tolik energeticky náročné, jako biologická fixace. Vasileva et al. (2011) uvádí, že vysoké dávky anorganického dusíku mohou být toxické pro nodulaci vojtěšky. Narušením symbiózy s hlízkovými bakteriemi se snižují výnosy rostlin (Mia et al. 2014), zhoršuje struktura porostu a zvyšuje se množství plevelných rostlin (Carlsson & Huss-Danell 2003). Gaudin et al. (2014) však nepozoroval u jetele lučního ve srovnání s ostatními jetelovinami snížení biologické fixace při hnojení N.

Dusík je významnou výnosotvornou živinou všech rostlin, včetně jetelovin. Jeho aplikace má význam především pro velmi mladé rostliny v průběhu několika týdnů po zasetí, kdy na kořenech ještě nejsou dostatečně vytvořeny noduly a symbióza s bakteriemi nefunguje naplno. I v tuto dobu však bývá potřeba N kryta půdními zásobami (Petřík et al. 1987).

Vhodné je aplikovat jej spíše na méně úrodných půdách při setí bez krycí plodiny, aby byl posílen počáteční růst. Další možností je použití malého množství minerálního N hnojení na porost jetele na jaře pro podporu růstu v období, kdy nízká teplota také limituje fixaci N. Případě je rovněž možná aplikace na porost po sklizni krycí plodiny, zeslabený sníženým množstvím dopadajícího slunečního záření (Clavin et al. 2016). Ball et al. (2001) dusíkaté hnojení jetelovin pro zlepšení kvality píce nedoporučuje.

Dusík může být pro kořeny rostlin k dispozici ve formě dusičnanové nebo amoniakální. Nejprve je vycytáván kořenovými buňkami, odkud dále prochází do cév xylému a putuje k nadzemním orgánům. Redukce na dusitanovou formu může probíhat již v kořenech, nebo později v listech, enzymem nitrátoreduktáza. Dusitany jsou následně převedeny do chloroplastů

a přeměněny nitritreduktázou na amoniový ion. Při nadměrné dávce N slouží dusičnany v rostlině jako jeho zásobárna (Kalač & Míka 1997, Neuberg et al. 2010).

3.3.4.2 Fosfor

Fosfor je pro všechny jeteloviny nezbytnou živinou jak z hlediska zajištění stabilních vysokých výnosů optimálním růstem, tak pozitivního vlivu na tvorbu bílkovin a reprodukci. Půdy v České republice jsou jím všeobecně špatně zásobeny (Petřík et al. 1987). Fosfor je extrémně imobilní živinou v půdě, uvolňuje se zvětráváním hornin a jeho obsah je dán starou půdní silou (Singh et al. 2012). Jeteloviny mají zvýšené požadavky na pohotový fosfor zvláště v počátečních fázích vegetačního vývoje kvůli správnému růstu kořenů umožňujícímu růst nadzemní části rostliny. Je nutné zabezpečit dostatečnou zásobu fosforu přístupného v půdě včasnou aplikací superfosfátů, vodorozpuštěných fosforečných hnojiv (Poulik 1996).

Dobře zásobené půdy obsahují alespoň 35 – 45 mg P/kg. V takových případech je dávka hnojiva upravena, aby odpovídala jeho odběru sklizněmi. Při nižší zásobě fosforu v půdě se dávka zvyšuje zpočátku o 50 – 100 %. Pro dosažení zvýšení obsahu v půdě o 10 mg P/kg je třeba zvýšit dávku hnojiva o 100 kg/ha. Sušina jetelovin obsahuje podle stáří rostlin a zásobenosti půd od 0,25 do 0,35 % P. To je dobrým ukazatelem jeho přístupu v půdě a důležitým kritériem pro posouzení potřebné dávky hnojení (Petřík et al. 1987). Fosforem lze s úspěchem hnojit do zásoby na příslušný počet užitkových let, účinnost fosforečného hnojení se zvyšuje na půdách s dostatkem vápníku a příznivým pH (Petřík et al. 1987).

Fosfor vstupuje do rostliny přes kořenové vlášení. Jeho příjem usnadňují symbiotické bakterie. Fosfor je převážně přijímán jako primární dihydrofosforečnanový iont, případně jako sekundární hydrogenfosforečnanový iont při zvyšujícím se pH půdy. Jakmile je uvnitř kořene rostliny, může být přepravován do nadzemní části. V rostlinách je velmi dobře pohyblivý. Přes různé chemické reakce, je začleněn do organických sloučenin, včetně nukleových kyselin (DNA a RNA), fosfoproteinů, fosfolipidů, enzymů a fosforečnanů bohatých na energii, například adenosintrifosfát (ATP), který sehrává podstatnou roli při procesu fotosyntézy (Štranc et al. 2013).

Ovlivňuje aktivitu všech fyziologických a biochemických procesů v rostlinách, působí na zvýšení obsahu NL i samotného fosforu v sušině píce. Rovněž zvyšuje chutnost píce a celkově zlepšuje její krmnou hodnotu. Při nedostatku fosforu se rostliny nemohou dostatečně

vyvíjet, lodyhy jsou tenčí, listy menší, v menším počtu, špinavě šedo zelené barvy a dříve opadávají. Ještě zásadněji se fosfor uplatňuje při pěstování jetelovin na semeno (Petřík et al. 1987). Nedostatek fosforu neumožňuje správný rozvoj kořenů, proto rostliny nejsou schopny adekvátně přijímat živiny a vodu z půdy, snižuje se jejich odolnost proti chorobám a vyzimování (Štranc et al. 2013). Zároveň je základní složkou pro hlízkové bakterie, umožňující převést atmosférický N na formu využitelnou rostlinami s pomocí enzymu nitrogenázy (Macolino et al. 2013). To je považováno za jeden z důvodů, proč mají jeteloviny výrazně vyšší požadavky na P než ostatní pícní plodiny (Singh et al. 2012).

3.3.4.3 Draslík

Draslík, stejně jako fosfor, je jetelovinami čerpán ve velkém množství. Zásobenost půd je ale v porovnání s fosforem v bramborářské a řepařské oblasti podstatně lepší. Určité množství je také zpřístupňováno zvětráváním hornin (Petřík et al. 1987). Hnojení draslíkem je nepostradatelné pro dostatečnou tvorbu výnosu sušiny píce, její nutriční kvality a také vytrvalost, zejména na půdách přirozeně deficitních (Orioli Junior et al. 2014).

Draselná hnojiva lze aplikovat do zásoby pouze na půdách středních a těžších, s dobrou fixační schopností pro draslík. Na lehčích půdách se aplikuje raději každoročně v menších dávkách z důvodu zamezení rizika nadměrné kumulace v píci v počátečních sklizních. Jeteloviny si nedokáží osvojit draslík z hlubokých vrstev půdy nebo méně přístupných forem (Poullík 1996). Pokud je použit na jaře před setím, může zejména v kombinaci s N hnojením nepříznivě ovlivnit vzcházivost jetelovin (Petřík et al. 1987).

Ačkoliv se prokázalo, že rostliny jetelovin trvale přijímají K v průběhu celého vegetačního období, příliš vysoké aplikační dávky draselného hnojení vedou k jeho nadměrné akumulaci v horní vrstvě půdy (Macolino et al. 2013). Rostliny jej poté přijímají velmi snadno a často dochází k tzv. luxusnímu konzumu (Poullík 1996), při němž se draslík, nedostatečně využitý v metabolických procesech, kumuluje v nadzemní části rostliny. Při nadměrné koncentraci (nad 3 % v sušině) nepříznivě ovlivňuje kvalitu píce z hlediska nutričních požadavků hospodářských zvířat (Macolino et al. 2013).

Draslík podobně jako fosfor příznivě ovlivňuje vývoj kořenů jetelovin, zesiluje jejich pletiva, zlepšuje nodulaci. Pomáhá odolat chorobám, suchu a vyzimování, čímž zvyšuje vytrvalost pícních porostů (Poullík 1996; Grewal & Williams 2002; Mia et al. 2014). Taktéž zvyšuje efektivitu využití slunečního svitu při chladnějším počasí, což je důležité při zakládání

porostů (Štranc et al. 2013). Po aplikaci K byla rovněž potvrzena zvýšená aktivita enzymu nitrogenázy (Grewal & Williams 2002). Podílí se na tvorbě biomasy, také podporuje tvorbu a ukládání rezervních látek. Samotný zvyšuje výnos jen málo, vytváří se ale silný synergický efekt při aplikaci společně s fosforem.

Je základním kationtem cytoplazmy a je nezbytný téměř ve všech procesech potřebných k udržení růstu rostlin a reprodukce (Štranc et al. 2013). Stejně jako fosfor má značný význam při pěstování jetelovin na semeno (Pettigrew 2008). V rostlinných pletivech se vyskytuje jako volný kationt, nebo ve formě snadno rozpustných sloučenin. Má nezastupitelnou roli v několika fyziologických procesech, které zahrnují enzymovou aktivitu, podporu fotosyntézy, tvorbu vodorozpustných cukrů a škrobu, jejich transport. A účastní se řízení aktivity průduchů. Uplatňuje se při kontrole správného napětí rostlin a využití vody. Taktéž zabraňuje opadu listů v důsledku sesychání a zvyšuje obsah NL (Grewal & Williams 2002; Štranc et al. 2013). Účinky nedostatku K způsobují snížení výnosu dlouho předtím, než se objeví viditelné příznaky deficiencie na rostlinách, objevující se nejprve na starších spodních listech

3.3.4.4 Vápník

Vápník představuje nejen důležitou živinu pro jeteloviny, ale také prostředek úpravy půdní reakce (Poulik 1996). Vyskytuje se v buněčné stěně a membránách, je nezbytný pro správný průběh dělení buněk. Také aktivuje řadu enzymů (např. fosfolipázu, argininkinázu) a ATP. Současně napomáhá neutralizaci přebytečných organických kyselin v rostlinách. Kořeny i listy je přijímán ve formě vápenatých kationtů. Vliv na nižší příjem má prostředí s vysokou teplotou a nedostatečnými srážkami. Ze všech prvků je v rostlinách nejméně pohyblivý. Jeho deficit v rostlinách se projevuje také opadem květů nebo pomalou tvorbou semen (Štranc et al. 2013).

Ke zvýšení obsahu dostupného vápníku v půdě a podpoře počátečního růstu rostlin se osvědčuje předset'ová aplikace ledku vápenatého, nebo ledku amonného s vápencem (Štranc et al. 2013). Intenzivní fixace N se podílí na acidifikaci půdy (Hakl et al. 2016; Chen et al. 2018), která je pro jeteloviny nevhodná. Zemědělská půda je také postupně okyselována každoroční aplikací minerálních NPK hnojiv (Havelková & Khel 2014; Klement & Smatanová 2014). U jetele dochází ke snížení výnosové jistoty při poklesu pH pod 6,2. Na kyselých půdách je mnohem více napadán chorobami, zejména kořenovými. Na kořenech se tvoří méně hlízkových bakterií a výrazně klesá intenzita jejich činnosti (Petřík et al. 1987).

Zajištění optimální půdní reakce je nezbytné pro efektivní využití hnojiv a přístupných živin. Vápnění se také podílí na zlepšení struktury půdy, a tím i koloběhu vody a vzduchu v půdě, pomáhá rozvoji kořenových systémů a tvorbě humusu. V neposlední řadě imobilizuje kontaminanty prostředí (např. kadmium, olovo, rtuť) a zabraňuje jejich vstupu do rostlin (Havelková & Khel 2014; Klement & Smatanová 2014). Na půdách s nižším pH vápník napomáhá růstu kořenů jetelovin, jejich nodulaci a příjmu některých živin. Zároveň vytváří příznivější podmínky pro růst hlízkových bakterií (Štranc et al. 2013). Upravení pH půd vápněním tak může zvýšit výnos jetelovin i jejich konkurenceschopnost vůči plevelům. Petřík et al. (1987) doporučuje vápnit půdy 2 – 3 roky před zakládáním porostů jetelovin, aby došlo k ovlivnění i hlubších vrstev půdy. Dávky závisí na kyselosti půdy a její zrnitosti, pohybují se v rozmezí 1 – 3 t/ha. Na lehkých půdách se používá vápenec a na těžkých vápno. Zvláště u jetele je vhodný dolomitický vápenec, který je tvořen uhličitanem vápenatým a hořečnatým, takže současně doplňuje i hořčík, zvláště. Aplikací vápence se současně upravuje poměr K:Mg, jehož ideální poměr je 2:1 (Klement & Smatanová 2014).

3.3.4.5 Hořčík

I když hořčíku přijímají jeteloviny méně než ostatních živin, je třeba jeho zásobu v živném prostředí zabezpečit na dostatečné úrovni, zvláště na lehčích půdách, neboť je důležitým minerálem zvyšujícím nutriční hodnotu píce. Týká se to zvláště jetele lučního pěstovaného ve vyšších polohách, který má vyšší spotřebu hořčíku než vojtěška (Poulik 1996).

Hořčík je nezastupitelnou součástí chlorofylu, aktivuje enzymy glycidového metabolismu rostlin, syntézy nukleových kyselin apod. Současně podporuje příjem a přesun fosforu v rostlinách a translokaci sacharidů. Ve vegetativních orgánech je obsažen podstatně více než v semenech. Přijímán je ve formě hořečnatého kationtu. V rostlinách je špatně pohyblivý. Jeho deficitu způsobuje blednutí a následné žloutnutí listů, které při výrazném nedostatku odumírají a postupně opadávají (Štranc et al. 2013). Mg hnojiva je vhodné aplikovat společně s PK před orbou ke krycí plodině nebo při přípravě půdy k seti (Poulik 1996).

3.3.4.6 Vliv hnojení na výnos a strukturu porostu

Vasileva (2013) uvádí, že aplikace minerálního N hnojiva zvýšila výnos sušiny vojtěšky. Podle Pettigrew (2008) jeteloviny vyžadují mnohem větší množství N a K pro maximální výnos píce, zajištění dostatečného množství K v půdě je tedy pro podporu růstu nejdůležitější. Neuberg et al. (2010) doplňuje, že obsah N v listí úzce souvisí s procesem fotosyntézy, zvyšuje její tempo a následně podporuje vyšší nárůst biomasy. Hakl et al. (2016) ale zaznamenal při přímém minerálním hnojení vojtěškového porostu pokles výnosu až o 20 %, Dwivedi (2014) pak nárůst 30 % ve sklizené biomase sóji. U jetelotravních směsí dochází v důsledku N hnojení k postupnému ústupu až vymizení jetelové populace, celková produktivita porostu se ale zvyšuje (Glab et al. 2016).

Dusíkaté hnojení negativně ovlivňuje růst kořenů jetele (Carlsson & Huss-Danell 2003) a zároveň potlačuje nodulaci (Vasileva et al. 2011). Lissbrant et al. (2009) dodává, že dusík způsobuje omezený růst a nižší výnos jak za podmínek extrémní nedostatečnosti, tak i nadbytku. Dle Chen et al. (2018) může zvýšený obsah N v půdě pozitivně ovlivňovat využití půdního P, a tím i dlouhodobý růst rostlin.

Fosforečné hnojení podporuje tvorbu biomasy posílením vývoje kořenů a nodulů (Singh et al. 2012; Dwivedi 2014), zvláště u porostů jetelovin pěstovaných na půdách s nedostatkem fosforu (Lissbrant et al. 2009). Správná dávka P je nutná k dosažení maximálního rozvoje porostu a jeho vytrvalosti. Zvýšení výnosu je typicky nejmarkantnější v první seči sezóny (Macolino et al. 2013). Při aplikaci fosforečného hnojení na půdy, které nejsou limitované P, nemá hnojení žádný vliv na výnos a způsobuje jeho další akumulaci v půdě, čímž se zvyšuje potenciální environmentální dopad (Macolino et al. 2013).

Fosfor s draslíkem mají synergický účinek na tvorbu výnosu jetelovin a vytrvalost porostu, ale příliš vysoké dávky nejsou efektivní (Lissbrant et al. 2009; Glab et al. 2016; Hakl et al. 2016). Jejich interakce by ale neměla být podceňována, protože v případě nevyvážené dávky jednotlivých prvků se může výnos snížit i ve srovnání s nehnojenými porosty (Macolino et al. 2013).

Interakce N a P taktéž pozitivně ovlivňuje produkci sušiny (Mia et al. 2014), jelikož je růst rostlin stimulován zvýšením dostupnosti P pro kořeny jetelovin. Ve většině prostředí jsou zásoby N a P poměrně vyvážené, pokud ale jedna živina převládá, nastupuje limitování živinou deficitní a výnos je omezen. Daşci a Çomakli (2011) zaznamenali nejvyšší výnos při aplikaci dusíkatého a fosforečného hnojiva v poměru 2:1. V případě vyvážené dávky N a P se dále může projevit omezení nedostatečným množstvím železa, křemíku, síry nebo draslíku (Mia et al.

2014). V rámci NPK hnojení byl pozorován nižší výnos při zvyšujících se dávkách N v rámci stejného množství P a K (Hakl et al. 2016).

Jetel, stejně jako ostatní jeteloviny, vyžaduje značné množství půdního K pro udržení vysoké produktivity (Smith 1975). Přídavek draselného hnojení způsobil prokazatelné zvýšení biologické fixace N, a tím i výnos (Mia et al. 2014; Orioli Junior et al. 2014), díky vyšším a silnějším rostlinám (Grewal & Williams 2002). Pokud je půda dostatečně zásobena draslíkem, přidání N nebo P výrazně zvyšuje jeho příjem a výnosy se také zvyšují (Pettigrew 2008). Draslík má také přínosný vliv na zvýšení podílu listů, omezením jejich opadávání (Grewal & Williams 2002). Při aplikaci nepřiměřeně vysoké dávky K dochází k jeho akumulaci ve tkáních a vzniká fyziologický stres (Mia et al. 2014), kdy rostliny produkují ještě méně sušiny než při absenci hnojení (Macolino et al. 2013). Draslík také interaguje s hořčíkem a jeho hladinu v pletivech snižuje (Lissbrant et al. 2010).

V případě porostu sóji při aplikaci N Dwivedi (2014) zaznamenal vzrůst výnosu sklizené biomasy o 30 %, zařazení P přineslo zvýšení o dalších 100 % a zahrnutí K produktivitu plodin ještě zvýšilo. Každý z prvků má tedy pozitivní vliv na tvorbu výnosu, který se jejich kombinací ještě umocňuje. Při zvýšení dávek NPK již nebyl pozorován požadovaný efekt, jelikož vyšší úroveň aplikace hnojiva vedla k vyšší poptávce po ostatních živinách, která zůstala neplněna a omezila další růst produktivity. Dle Cakmak (1994) je nižší výnos jetelovin ovlivněn nedostatečným zásobením P, K a Mg.

Největší výnosy byly pozorovány při kombinaci organického hnojení s vyššími dávkami N, P, K (Dwivedi 2014; Hakl et al. 2016). Přidání hnoje pozitivně ovlivňuje půdní vlastnosti, zvyšuje mobilizaci nedostupných živin a poskytuje dlouhodobě vyšší výnos organického uhlíku a biomasy jetelovin než NPK hnojiva s dvojnásobnou dávkou dusíku, protože významně podporuje biologickou fixaci N (Dwivedi 2014; Vasileva & Kostov 2015; Hakl et al. 2016). Podstatně zvyšuje také tvorbu humusu v půdě (Vasileva & Kostov 2015). Použití samotného organického hnojení dokáže zajistit srovnatelný výnos sušiny jako vysoké dávky minerálních hnojiv (Hakl et al. 2016). Na druhou stranu může aplikace organických hnojiv zvyšovat riziko poléhání a podehnívání jetelovin (Poulik 1996).

Otázka aplikace dusíkatých hnojiv stoupá za podmínek nedostatku půdní vlhkosti, kdy je produktivita nadzemní hmoty rostlin, stejně jako další charakteristiky porostu, negativně ovlivněna. Dle Vasileva et al. (2011) se výnos sušiny nadzemní hmoty zvýšil i v nepříznivých podmínkách, mnohem více ale nabyla sušina podzemní hmoty. Při snížené vlhkosti se zhoršují podmínky pro biologickou fixaci N (Leto et al. 2004), jeho přidání pak zvyšuje odolnost rostlin

(Mia et al. 2014) a pomáhá jetelovinám růst, protože asimilace půdního N vyžaduje menší množství energie než jeho biologická fixace (Vasileva 2013).

Fosfor při správných aplikačních dávkách napomáhá rostlinám využívat více vody a odolávat suchu díky plnějšímu rozvoji hustého porostu bránícímu odpařování vody z půdy a zvýšenou proliferací kořenů do hlubších vrstev půdy k dalším zdrojům vody. Jeteloviny jsou poté i v nepříznivých podmínkách schopné poskytovat větší výnos (Singh et al. 2012). Aplikace K také zlepšuje schopnost plodin odolávat nepříznivým vlhkostním podmínkám, díky tomu si dokáží uchovat příznivější podíl listů (Cakmak 1994; Grewal & Williams 2002; Pettigrew 2008). Draslík napomáhá rostlinám lépe využívat vodu stimulací rozvoje kořenů, snížením transpirace z porostu jeho zhuštěním (Macolino et al. 2013), udržováním osmotického gradientu uvnitř buňky, bránícího ztrátám vody. Negativní vliv na výnos sušiny tak nemusí být zpozorován (Pettigrew 2008).

3.3.4.7 Vliv hnojení na nutriční kvalitu píče

Hnojení fosforem, draslíkem a dalšími živinami, které příznivě ovlivňují výnos, může při rychlém růstu rostlin snižovat nutriční kvalitu píče změnou poměru jednotlivých částí v neprospěch listů (Smith 1975; Ball et al. 2001; Lissbrant et al. 2009).

Draslík významně ovlivňuje kvalitativní charakteristiky píče, jako velikost listů a jejich podíl (Pettigrew 2008; Macolino et al. 2013), jelikož podporuje jejich retenci, značně podíl listů k lodyhám zvyšuje (Grewal & Williams 2002). Protože NL jsou koncentrované více v listech, byla při zvýšení podílu listů zaznamenána jejich zvýšená koncentrace (Grewal & Williams 2002; Neuberg et al. 2010; Orioli Junior et al. 2014). Na vyšším obsahu NL se může podílet také vyšší biologická fixace N (Lissbrant et al. 2009). Ačkoliv Smith (1875) pozoroval snížení koncentrace NL vlivem zvýšeného výnosu.

V případě nadměrných dávek K a jeho akumulaci v pletivech se může vlivem nepříznivé interakce snížit úroveň rostlinného vápníku, hořčíku nebo sodíku (Smith 1975; Grewal & Williams 2002; Macolino et al. 2013). Rostoucí dávky minerálního N hnojení příznivě ovlivňují obsah NL v jetelovinách (Cherney et al. 1994; Daşci & Çomaklı 2011; Vasileva 2013). Dle Cherney et al. (1994) nemá aplikace minerálního N vliv na jiné chemické složky vojtěškové píče. Na obsah NL v jetelovinách působí pozitivně rovněž aplikace P (Lissbrant et al. 2009). Singht et al. (2012) zaznamenal maximální zisk rostlinného N při aplikaci fosforečného hnojení, v porovnání s minerálním N hnojením, kdy se množství NL zvyšovalo pouze do určité dávky.

Přidání organického hnojení v podobě hnoje rovněž zvyšuje množství NL v píci podporou biologické fixace (Vasileva & Kostov 2015).

Dle Ball et al. (2001) ovlivňuje hnojení jen velmi málo nebo vůbec míru stravitelnosti píce. Při zvýšení výnosu vlivem aplikace P a K hnojení dochází ke zhoršení stravitelnosti píce, jak koncentrace NDF, ADF a ADL stoupá (Lissbrant et al. 2009), jelikož růst rostlin a následný výnos zajišťují hlavně lodyhy s vyšším podílem hůře stravitelné vlákniny (Cherney et al. 1994). Daşci a Çomakli (2011) potvrzují, že vyšší podíl listů zaručuje vyšší stravitelnost. Při nízkých dávkách fosforečných a draselných hnojiv naopak koncentrace frakcí hrubé vlákniny klesá (Lissbrant et al. 2009). Nicméně Smith (1975) žádnou změnu stravitelnosti sušiny vlivem K hnojení nezaznamenal. Při současné aplikaci N a P hnojení se stravitelnost zvyšuje v porovnání hnojení prvky samotnými i přes zvýšení koncentrace NDF, protože hůře stravitelná ADF klesá. Nejvyšší stravitelnost však zůstává u píce bez aplikace hnojiv (Lissbrant et al. 2009; Daşci & Çomakli 2011). Vysoké dávky N a P významně snižují hladinu isoflavonů v píci, zatím co hnojení K neprokázalo žádný vliv (Du et al. 2013).

4 Metodika

4.1 Charakteristika pokusných lokalit

Výzkum probíhal na 2 experimentálních stanovištích VÚRV-Ruzyně, kde jsou již od roku 1955 vedeny dlouhodobé pokusy s hnojením s osevním postupem zahrnujícím jetel luční při pěstování na jeden užitkový rok. Porost jetele pro tento experiment byl založen do podsevu ovsa na zrno v roce 2017.

4.1.1 Čáslav

Pokusná stanice Čáslav leží na 49°85' severní šířky a 15°40' východní délky ve středočeském kraji. Pokusná lokalita se nachází ve výrobní oblasti řepařské, podoblasti Ř1. Nadmořská výška je 263 m.

Stanice spadá do klimatického regionu T3 (oblast mírně teplá) klimatický okrsek B2 (mírně teplý, mírně suchý, převážně s mírnou zimou). Agroklimatické členění (makrooblast, oblast a podoblast): teplá, poměrně teplá, mírně suchá). Průměrná roční teplota vzduchu je 8,9°C a průměrná teplota vzduchu za vegetační období činí 13,6 °C. Průměrný roční úhrn srážek činí 577 mm.

Půdním typem je zde šedozem, druh půdy je hlinitý, stav strukturní, středně humózní. Hloubka ornice činí 40 až 50 cm. Ornice pokusných honů je hlinitopísčítá, v hlubších vrstvách kolem 80 cm je půda písčítá a pod ní se nachází písek.

4.1.2 Lukavec

Zeměpisná poloha pokusné stanice rostlinné výroby v Lukavci je 49°34' severní šířky a 14°59' východní délky, spadá do podhoří Českomoravské vysočiny. Z hlediska geomorfológie náleží pokusné stanoviště spadá do oblasti bramborařské k výrobnímu typu B2 s polohou kolem 620 m nad mořem.

Klimatická oblast mírně teplá, klimatický okrsek B5 (mírně teplý, mírně vlhký, vrchovinový). Agroklimatické členění (makrooblast, oblast a podoblast): chladná, mírně chladná, mírně suchá. Roční úhrn srážek činí 696 mm.

Půda je hnědá, podzolová oglejová. Půdotvorný substrát je rula. Druhově jde o půdu středně těžkou, spíše lehčí drobitost, která se vyznačuje vyšším obsahem IV. kategorie hrubého písku, a to u ornice 30-40 % a spodin 40-60 %. Obsah jílnatých částic se pohybuje u ornice mezi 40-60 %. Půdní profil má humózní horizont mocnosti 18-25 cm písčitohlinité až hlinité textury.

Tabulka 2: Agrochemické vlastnosti ornice pokusných stanovišť.

Agrochemické vlastnosti ornice	Čáslav	Lukavec
pH	6,7	5,6
Obsah humusu (%)	2,98	3,25
Obsah přístupných živin (mg/kg)		
- P	81	114
- K	239	221
- Mg	141	82

4.2 Design pokusu

Na pokusných parcelách o výměře 9×9 metrů je zastoupeno 12 různě hnojených variant, vždy ve 4 opakováních. Je zde nehnojená kontrola, samostatné hnojení hnojem či jeho kombinace s různými dávkami dusíku, fosforu, draslíku a hořčíku. Statkové hnojivo je aplikováno (zaoráním) každé 4 roky, minerální hnojiva P a K jsou aplikována na podzim, zatímco N hnojivo částečně před setím a poté i během vegetace (u plodin mimo jetele). Pro diplomovou práci bylo vybráno následujících 7 variant: nehnojená kontrola, samostatné hnojení hnojem a 5 variant kombinujících hnojení hnojem a minerální N, P a K hnojení (dávky živin v $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$): PK (P 35 a K 105), N2PK (N 101, P 35 a K 106), N2P (N 101, P 35 a K 59), N2K (N 101, P 14 a K 106) a N2PK + Mg. Seče byly provedeny vždy ve fázi butonizace (1/4 rozkvetlých hlávek).

4.3 Odběr vzorků

V roce 2018 byly na obou stanovištích provedeny 2 seče. Výnos se stanovil pokusným parcelním sklízecem ve středním pruhu parcely o rozměrech 3×9 metrů. Výnosy byly po přepočtu na sušinu vyjádřeny v t/ha.

Bezprostředně před každou sečí byly pomocí ručních nůžek odebrány vzorky píce z 0,5 m řádku v každém bloku s ponecháním strniště o délce 5 cm. Na každé odběrové ploše byl následně spočítán počet rostlin. U odebraných vzorků byl stanoven počet lodyh, maximální délka lodyhy a u deseti nejdelších lodyh byl po manuální separaci jednotlivých částí rostlin stanoven hmotnostní podíl listů (LSR, čepele, řapíky, palisty). Všechny vzorky byly zváženy a následně sušeny ve skříňové sušárně Venticell do konstantní hmotnosti při $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po usušení

následovalo opětovné vážení vzorků pro stanovení obsahu sušiny v celé rostlině i jednotlivých částech. Zjištěné hodnoty ve vztahu k jednotce plochy byly přepočteny na 1 m².

4.4 Stanovení kvalitativních parametrů

Vzorky 1. seče z obou stanovišť byly sešrotovány na velikost částic 0,5 mm a analyzovány ve výzkumné stanici Jevíčko metodou blízké infračervené spektroskopie (NIR) na přístroji Foss NIR 6500 vybaveným modulem spinningového vzorku v rozsahu odrazivosti 1100 - 2500 nm, šířkou pásma 2 nm, měřeny v malých prstencových kelímcích, přičemž vzorky byly skenovány dvakrát. Kalibrované kvalitativní charakteristiky (v g/kg) byly obsahy dusíkatých látek (NL), hrubé vlákniny (HV), vodorozpustných cukrů (WSC) a in vivo stravitelnost organické hmoty (OMD). Lokální kalibrační rovnice byly primárně vyvinuty pro travní porosty v České republice a jejich validační ověření popisuje Míka et al. (2003).

4.5 Statistické vyhodnocení

Vyhodnocení výsledků bylo provedeno v programu STATISTICA 12 pomocí vícefaktorové analýzy rozptylu s interakcemi na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Při průkaznosti F-testu byl použit post-hoc Fisherův LSD test na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

5 Výsledky

Zpracování výsledků bylo rozděleno na část analyzující vliv hnojení na produktivitu a strukturu porostu. Vliv hnojení na kvalitu píce byl zpracován v samostatné části.

5.1 Vliv hnojení na výnos a parametry struktury porostu

Výsledky ANOVA pro testování vlivu hlavních efektů jsou uvedeny v Tabulce 3.

Tabulka 3: Vliv faktorů stanoviště, seče a hnojení na strukturu porostu jetele lučního.

Faktor	Varianta	r/m ²	l/m ²	délka	LSR	g/m ²	t/ha
Stanoviště	Čáslav	112 ^b	730 ^b	52 ^a	33 ^b	603	2,82 ^a
	Lukavec	48 ^a	525 ^a	57 ^b	31 ^a	625	6,36 ^b
	P hodnota	< 0,001	< 0,001	0,002	< 0,001	0,607	< 0,001
Seče	1	113 ^b	655	67 ^b	32	710 ^b	6,59 ^b
	2	47 ^a	600	43 ^a	32	517 ^a	2,59 ^a
	P hodnota	< 0,001	0,187	< 0,001	0,802	< 0,001	< 0,001
Hnojení	hnůj	78	712	54	31,2 ^{ab}	676	4,86 ^{ab}
	PK	84	637	53	31,7 ^{ab}	598	4,95 ^{ab}
	N2PK	75	641	58	29,1 ^a	669	4,19 ^{ac}
	N2PK + Mg	82	606	56	31,7 ^{ab}	639	5,30 ^b
	kontrola	83	654	53	33,2 ^{ab}	607	3,76 ^c
	N2P	84	585	55	32,5 ^{ab}	606	4,61 ^{ab}
	N2K	72	557	54	34,8 ^b	501	4,46 ^{ac}
	P hodnota	0,818	0,543	0,574	0,003	0,342	< 0,001

Porovnávaná stanoviště se lišila ve všech hodnocených parametrech s výjimkou výnosu z odběrových ploch. Porost v Lukavci měl nižší počty rostlin i lodyh na m², lodyhy však dosahovaly vyšší délky a byl zde průkazně vyšší hektarový výnos píce.

Pro pořadí seče byl prokázán statisticky významný rozdíl u počtu rostlin, délky lodyh a výnosu. U všech zmíněných parametrech byly zaznamenány vyšší hodnoty u první seče.

Hnojení průkazně ovlivnilo pouze LSR a výnos. Průkazně vyšší hodnota LSR se objevuje u varianty hnojení N2K a u kontroly s rozdílem od nejnižší hodnoty na variantě N2PK. Největší výnos poskytla varianta plného hnojení N2PK + Mg, nejmenší výnos byl sklizen na nehnojené kontrole, která se průkazně lišila od všech variant mimo N2K a N2PK.

5.2 Vliv hnojení na nutriční kvalitu

Na stanovišti v Čáslavi byla druhá letní seč výrazně poškozena suchem, takže analyzovány byly pouze vzorky v prvních sečích. Výsledky statistického hodnocení jsou uvedeny v Tabulce 4.

Tabulka 4: Vliv faktorů stanoviště a hnojení na parametry nutriční kvality jetele lučního z první seče.

Faktor	Varianta	NL[g/kg]	vlak[g/kg]	WSC[g/kg]	OMD[%]
Stanoviště	Čáslav	173 ^b	227	49	68,0 ^a
	Lukavec	151 ^a	234	45	71,6 ^b
	P hodnota	< 0,001	0,209	0,454	< 0,001
Hnojení	hnůj	154	238	47	68,5 ^b
	PK	161	230	46	70,6 ^{ac}
	N2PK	151	239	48	68,9 ^{ab}
	N2PK + Mg	164	228	48	71,3 ^c
	kontrola	169	225	46	69,2 ^{ab}
	N2P	165	227	50	69,9 ^{abc}
	N2K	169	224	46	70,5 ^{ac}
	P hodnota	0,468	0,606	0,871	0,045

Stanoviště se významně lišila v obsahu NL a OMD, kde lokality v Čáslavi vykazala vyšší obsahy NL, Lukavec naopak vyšší OMD.

Hnojení mělo statisticky významný vliv pouze na OMD, která byla průkazně nejvyšší u varianty plného hnojení N2PK + Mg, s výjimkou variant N2P, N2K a PK. Nejnižší hodnota byla u porostu s aplikací samotného hnoje, s průkaznými rozdíly oproti PK, N2PK + Mg a N2K.

6 Diskuze

6.1 Struktura porostu

Z výsledků vyplývá, že stanoviště nejvíce ovlivňuje strukturu porostu, protože mělo prokazatelný vliv na všechny parametry. Stanoviště v Čáslavi vykazuje mnohem menší výnos. Je to méně vhodná oblast pro pěstování jetele lučního, bez dostatečné půdní vlhkosti, s ročním úhrnem srážek pod optimální hranicí. To potvrzují výsledky Leto et al. (2004), že největší vliv na růst jetele lučního mají podmínky počasí, tedy teplota a množství srážek. I přes vyšší počet rostlin a lodyh nemá jetel vhodné podmínky pro růst, lodyhy jsou kratší, ale na druhou stranu se zvyšuje podíl listů.

Lukavec má podstatně vyšší výnos díky vyššímu podílu delších lodyh, i když je zde méně než poloviční počet rostlin. Rostliny zde měly lepší podmínky pro růst a tvorbu výnosu, protože stanoviště v roce 2018 poskytlo příznivější vlhkostní podmínky. Monrado et al. (2003); Leto et al. (2004) zjistili, že ve vyšší nadmořské výšce poskytuje jetel vyšší výnos.

V druhé seči se oproti první výrazně snížil počet rostlin a lodyh i jejich délka, je také výrazně nižší výnos, Mohlo to být způsobeno počasím, jelikož bylo extrémní horko a velmi málo srážek. To je v souladu se Singh et al. (2012), Vasileva (2013) a Gaudin et al. (2014), podle nichž nedostatek vody negativně ovlivňuje výnos. Stejně působí i zvýšení maximální teploty nad optimální hodnoty (Buxton 1996; Singh et al. 2012).

Hnojení významně ovlivnilo pouze LSR a výnos. Výsledky jasně ukázaly, že absence dodávání živin vede k výraznému snížení výnosu na nehnojené kontrole, a to až o 30 % oproti maximální dávce všech živin. Hustota porostu zde byla průměrná, ale byly zaznamenány neprůkazně nejkratší lodyhy. Již samotné hnojení hnojem průkazně zvýšilo výnos oproti kontrole, stejně jako u (Vasileva & Kostov 2015; Hakl et al. 2016). Singh et al. (2012) a Hakl et al. (2016) uvádějí, že organické hnojení pozitivně ovlivňuje půdu, podporuje růst kořenů, umožňuje zvýšit mobilizaci neodstupných živin, mohou se hodně tvořit hlízkové bakterie fixující dusík, a to podporuje rostliny v růstu a tvorbě výnosu. Porost vykazuje díky organickému hnojení také vyšší stabilitu (Vasileva & Kostov 2015). Podobný efekt na výnos jako organické hnojení mělo i dodání PK nebo N2P. Přidání draslíku (N2K) výnos oproti kontrole nezvýšilo a byla zde rovněž zaznamenána nízká hustota porostu, což může být limitací P na stanovišti. Grewal a Williams (2002) pozorovali významné snížení opadu listů při aplikaci K, což je v souladu s nejvyšší hodnotou LSR na této variantě. Jak uvádí Singh et al. (2012) a Macolino et al. (2013) při nedostatku fosforu se rostliny špatně vyvíjejí a mají tenké lodyhy.

Hůře se vyvíjí i kořeny a tím je rostlina omezena v přijímání vody i živin a snižuje se výnos (Carlsson & Huss-Danell 2003; Dwivedi 2014). S omezením růstu obvykle koresponduje vyšší podíl listů (Hakl et al. 2016). Snižuje se také množství nodulů, čímž je omezena fixace N (Vasileva et al. 2011; Singh et al. 2012). Podle Pettigrew (2008), Mia et al. (2014) a Lissbrant et al. (2010) množství přijímaného N potřebuje adekvátní dávka K, aby dusík mohl být využit, a proto by poměr N a K měl být vyrovnaný. V tomto experimentu porost lépe reagoval na dodání P než K. Chen et al. (2018) uvádí, že P je společně s N limitující prvek pro život rostlin a pokud se zvýší dávka N, je nutné rovněž zvýšit dávku P. To je v souladu s vyššími výnosy N2P než N2K. Podle Singh et al. (2012) nepřítomnost P má větší vliv než nepřítomnost K při přidání N na špatný vývoj kořenů a nodulů, tím i fixaci N a horší růst – proto je horší varianta N2K. N a P jsou zvláště důležité pro zvýšení produkce sušiny (Glab et al. 2016). Pokud půda je více limitována P, přídavek K již může působit toxicky a snížit výnos (Lissbrant et al. 2010; Mia et al. 2014).

Podobně nízký výnosový efekt jako N2K hnojení mělo paradoxně i N2PK hnojení. Rostliny zde měly sice nejdelší lodyhy, ale porost byl nevyrovnaný. Podle Hakl et al. (2016) byl při plném hnojení N, P i K pozorován snížený výnos při neúměrně vyšších dávkách N v osevním postupu. Pravděpodobně při vyšším obsahu N v půdě mohla být stimulována poptávka po ostatních živinách (mikroživiny), které zůstaly neplněné (zvláště v přísuškovém roce) a omezila se tak i produktivita jetele (Dwivedi 2014).

Největší výnos se objevil při plném hnojení N2PK + Mg, což podporuje hypotézu o chybějících mikroprvcích. Nachází se zde vyšší počet rostlin se středním počtem lodyh, které ale mají větší délku. To je v souladu s Grzebisz (2013), že k NPK hnojení je důležitý přídavek Mg, protože podporuje fotosyntézu a vývoj kořenu a zvyšuje výnos. Je podpořena především tvorba nových lodyh a jejich intenzivní růst. Při optimální dávce všech živin se zvyšuje i biologická fixace N (Dwivedi 2014).

Varianta PK má výnos vysoký. Podle Černý et al. (2010) jsou naše půdy obecně špatně zásobeny fosforem, který má velký vliv na stabilní vysoký výnos. Samotný draslík zvyšuje výnos jetelovin jen málo, velký efekt má však při společném hnojení s fosforem – to souvisí i s nízkým výnosem u varianty N2K. Draslík také prokazatelně zvyšuje biologickou fixaci N (Mia et al. 2014), protože napomáhá nodulaci (Grewal & Williams 2002). Navíc fosfor je nezbytný pro hlízkové bakterie. Oba prvky zvyšují fotosyntézu, podporují fixaci N, zvyšují odolnost proti suchu a tvorbu výnosu (Pettigrew 2008). Mají synergický účinek na výnos (Grewal & Williams 2002; Lissbrant et al. (2010). Macolino et al. (2013) dodává, že prodlužuje

i vytrvalost porostu, takže je vhodné pro dlouhodobou produktivitu. Účinek se neprojeví, pokud půdy mají přirozeně P dostatek.

6.2 Nutriční kvalita

Faktor stanoviště významně ovlivňuje obsah dusíkatých látek a stravitelnost. Lukavec má vyšší stravitelnost, což je v rozporu s Homolka et al. (2012), podle kterého se stoupajícím obsahem vlákniny klesá stravitelnost organické hmoty. Oproti Čáslavi má menší obsah NL, to by také mělo korespondovat s nižší stravitelností. Porost v Čáslavi trpěl suchem a teplejším podnebím, což se projevilo na nižší stravitelnosti. Leto et al. (2004) zjistil, že v níže položených oblastech mají rostliny nižším vzrůstem zvýšený podíl listů, v nichž se nachází více NL (Grewal & Williams 2002). Vasileva (2013) naopak uvádí, že při vyšších teplotách a nedostatku vody klesá podíl listů kvůli jejich sesychání a opadu, zároveň se snižuje množství N v rostlinách. Naše výsledky jsou v souladu s druhou studií, což ukazuje, že při extrémním stresu suchem dochází ke snižování obsahu NL. Snižená stravitelnost spojená se zvýšenými teplotami se obvykle přisuzuje vyšším koncentracím NDF, která je obvykle méně stravitelná z důvodu zvýšené lignifikace (Buxton 1996).

Hnojení mělo významný vliv pouze na OMD, která byla nejvyšší při plném hnojení N2PK + Mg, kdy se kvalita píce podle stanovených parametrů prokázala jako vysoká. Poulík (1996) potvrzuje, že aplikace Mg může zvyšovat nutriční hodnotu píce, pokud je prvek deficitní. Podle Dewhurst et al. (2009) hořčík zvyšuje v rostlinách množství WSC a NL. Absence prvku Mg u varianty N2PK, způsobila výrazný pokles stravitelnosti. Nejnižší OMD byla stanovena u píce po aplikaci samotného hnoje. Pokles oproti nejkvalitnější variantě byl o více než 2 %. Kvalita píce se zvyšuje při vyšší koncentraci stravitelnějších NL a nižším podílu hůře stravitelné vlákniny (Lissbrant et al. 2009).

6.3 Vliv hnojení na kvalitu píce v souvislosti se strukturou porostu

Vyšší výnos je obvykle v negativním vztahu ke kvalitě píce (Lissbrant et al. 2009). V souladu s tím nehnojená kontrola s nejnižším výnosem dosáhla vysokého podílu listů, žádoucí kvalitativní vlastnosti, což vedlo k vyšší OMD (Buxton 1996; Leto et al. 2004; Lissbrant et al. 2009). Jetel i přes deficit minerálního hnojení dokázal prostřednictvím biologické fixace N zajistit dostatečnou produkci NL. Vysoký podíl listů navíc přispívá k nízkému obsahu vlákniny. S tím rovněž koresponduje fakt, že dodání hnoje zvýšilo výnos a

zhoršilo kvalitu. Organické hnojení výrazně podporuje růst rostlin, které více odnožují a vysokým počtem delších lodyh se snižuje LSR podporující kvalitu, zároveň stoupá množství vlákniny, která kvalitu píce snižuje (Lissbrant et al. 2009). Pokud byly však doplněny všechny minerální živiny včetně hořčíku, došlo ke zvýšení výnosu a zároveň stravitelnost byla průkazně lepší než na kontrole. Podobně vysoké hodnoty stravitelnosti zajistily i varianty N2P, N2K a PK, kde rostliny měly dostatek prvků pro tvorbu kvalitních živin.

Je potvrzeno, že K i P zvyšují množství NL v rostlině (Mia et al. 2014), stejně jako přídavek N (Cherney et al. 1994; Vasileva 2013). Fosfor zvyšuje rozvoj nodulů a podporuje fixaci N, což zvyšuje obsah NL v rostlině (Lissbrant et al. 2009; Singh et al. 2012). Vyšší množství NL v rostlině po hnojení K pozoroval Pettigrew (2008) a Orioli Junior et al. (2014). Ke zvýšení nodulace přispívá i K (Lissbrant et al. 2009), který zároveň snižuje opad listů, čímž zvyšuje LSR (Grewal & Williams 2002). Nicméně větší růst rostlin podpořený K naopak vede ke snížení podílu listů (Smith 1975). Navíc jeteloviny mohou absorbovat vyšší množství K, než potřebují pro svůj růst, což obecně vede ke snížení obsahu NL a dalších látek (Macolino et al. 2013). Bonfil (2008) tvrdí, že správná dávka K je důležitá pro obsah NL, protože při sníženém množství K v rostlině, není N prezentován jako protein. V souvislosti se zvýšením výnosu po aplikaci P klesá OMD, jak se jednotlivé frakce vlákniny zvyšují (Lissbrant et al. 2009).

Nejkvalitnější píce při plném hnojení N2PK + Mg by měla vykazovat nízký výnos, protože ten poskytují převážně lodyhy s vyšším obsahem vlákniny. Tahle varianta hnojení se zde projevila jako nejvýhodnější, protože zajišťuje i velký počet rostlin s delšími lodyhami a střední LSR, znamenající vysoký obsah NL. Vyvážené hnojení poskytuje rostlinám optimální podmínky pro růst, rostlina tvoří větší buňky s větším podílem lépe stravitelného buněčného obsahu s kvalitními živinami (Stallings 2005). Buněčné stěny nejsou ztlustělé, nezvyšuje se tím obsah vlákniny ani nestravitelného ligninu (Allen 1996; Buxton 1996).

Varianta N2PK vykazovala nevýznamné zvýšení výnosů oproti nehnojené kontrole při nižší kvalitě píce. To souvisí se strukturou porostu, kde na této variantě byla nejnižší LSR, s největší délkou lodyh. Je zde i nejmenší obsah NL, což je v souladu s tím, že listy mají větší obsah NL než lodyhy (Hakl et al., 2016). Zvýrazňuje se tak důležitost přídavku Mg k NPK hnojení. Jedná se o nejvíce limitující prvek, mající zásadní vliv na výnos, stukturu porostu i jeho nutriční kvalitu.

7 Závěr

Cílem práce bylo stanovit vliv aplikace různých kombinací organických a minerálních hnojiv na výnosy, strukturu porostu a nutriční kvalitu píce u jetele lučního. Výsledky potvrdily, že

- vliv hnojení nemá na strukturu porostu byl méně zřetelný, mnohem výrazněji se projevují rozdíly mezi lokalitami
- nejvyšší výnos dosáhla varianta plného hnojení N2PK + Mg, nejnižší nehnojená kontrola
- z parametrů kvality píce hnojení významně ovlivnilo pouze stravitelnost organické hmoty, kde nejvyšší stravitelnost vykazala varianta N2PK + Mg a nejnižší hodnoty kontrola a samostatné hnojení hnojem.
- jako nejdůležitější faktor v rámci hnojení se prokazuje vyvážená dávka všech živin včetně mikroprvků, protože právě jejich absence může zásadně snížit jak výnos sušiny, tak nutriční kvalitu píce.

8 Literatura

- Allen MS. 1996. Relationship between forage quality and dairy cattle production. *Animal Feed Science and Technology* **59**:51–60.
- Alzueta C, Caballero R, Rebolé A, Treviño J, Gil A. 2001. Crude protein fractions in common vetch (*Vicia sativa* L.) fresh forage during pod filling. *Journal of Animal Science* **79**:2449-2455.
- Ball DM, Collins M, Lacefield GD, Martin NP, Mertens DA, Olson KE, Putnam DH, Undersander DJ, Wolf MW. 2001. Understanding Forage Quality. American Bureau Federation Publication 1–01. Illinois.
- Booth NL, Overk CR, Yao P, Totura S, Deng Y, Hedayat AS, Bolton JL, Pauli GF, Farnsworth, NR. 2006. Seasonal Variation of Red Clover (*Trifolium pratense* L., Fabaceae) Isoflavones and Estrogenic Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **54**: 1277–1282.
- Buxton DR. 1996. Quality-related characteristics of forages as influenced by plant environment and agronomic factors. *Animal Feed Science and Technology* **59**:37–49.
- Cakmak I, Hengeler Ch, Marschner H. 1994. Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. *Journal of Experimental Botany* **45**:1245-1250.
- Carlsson G, Huss-Danell K. 2003. Nitrogen fixation in perennial forage legume in the field. *Plant and Soil* **253**:353-372.
- Clavin D, Crosson P, Grant J, O’Kiely P. 2016. Red clover for silage: management impacts on herbage yield, nutritive value, ensilability and persistence, and relativity to perennial ryegrass. *Grass and Forage Science* **72**:414–431.
- Cnops G, Rohde A, Saracutu O, Malengier M, Roldán-Ruiz I. 2010. Morphological and Molecular Diversity of Branching in Red Clover (*Trifolium pratense*). Pages 73-77 in Huyghe C. editor. Sustainable Use of Genetic Diversity in Forage and Turf Breeding, Institute for Agricultural and Fisheries Research, Melle.

- Coblentz WK, Fritz JO, Fick WH, Cochran RC, Shirley JE. 1998. In Situ Dry Matter, Nitrogen, and Fiber Degradation of Alfalfa, Red Clover, and Eastern Gamagrass at Four Maturities. *Journal of Dairy Science* **81**:150–161.
- Černý J, Vaněk V, Kulhánek M. 2010. Vliv hnojení na úrodnost půdy. *Zemědělec* **18**:10,12.
- Daşci M, Çomakli B. 2011. Effects of fertilization on forage yield and quality in range sites with different topographic structure. *Turkish Journal of Field Crops*. **16**:15 - 22.
- Dewhurst RJ, Delaby L, Moloney A, Boland T, Lewis E. 2009. Nutritive value of forage legumes used for grazing and silage. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* **48**:167–187.
- Du W, Tian X, Yue Y, Lu J. 2013. Isoflavone content in red clover (*Trifolium pratense* L.) as related to nitrogen and phosphorus application rate. *Chilean Journal of Agricultural Research* **73**:372–376.
- Dwivedi AK. 2014. Impact of continuous cropping with fertilizer and manure application on soil fertility and crop productivity. *CAFT on Management of Soil Health: Challenges and Opportunities*. Jawaharlal Nehru Krishi Vishwa Vidyalaya. Jabalpur.
- Gaudin ACM, Janovicek K, Martin RC, Deen W. 2014. Approaches to optimizing nitrogen fertilization in a winter wheat–red clover (*Trifolium pratense* L.) relay cropping system. *Field Crops Research* **155**:192–201.
- Gierus M, Kleen J, Loges R, Taube F. 2012. Forage legume species determine the nutritional quality of binary mixtures with perennial ryegrass in the first production year. *Animal Feed Science and Technology* **172**:150–161.
- Glab T, Żabinski A, Sadowska U. 2016. Tractor traffic and nitrogen fertilization affect the herbage production of the red clover/grass sward. *Zemdirbyste-Agriculture* **103**:347-354.
- Grewal HS, Williams R. 2002. Influence of potassium fertilization on leaf to stem ratio, nodulation, herbage yield, leaf drop, and common leaf spot disease of Alfalfa. *Journal of Plant Nutrition* **25**:781-795.
- Grzebisz W. 2013. Crop response to magnesium fertilization as affected by nitrogen supply. *Plant and Soil* **368**: 23–39.

- Hakl J, Kunzová E, Konečná J. 2016. Impact of long-term organic and mineral fertilization on lucerne forage yield over an 8-year period. *Plant, Soil and Environment* **62**:36-41.
- Havelková L, Khel T. 2014. Acidifikace zemědělských půd minerálním hnojením. *Úroda* **62**:69
- Hides DH, Lovatt JA, Hayward MV. 1983. Influence of stage of maturity on the nutritive value of Italian ryegrasses. *Grass and Forage Science* **38**:33–38.
- Hoffman PC, Broderick GA. 2001. Red clover forages for lactating dairy cows. *Focus on Forage* **3**:1-2.
- Homolka P, Koukolova V, Podsednicek M, Hlavackova A. 2012. Nutritive value of red clover and lucerne forages for ruminants estimated by in vitro and in vivo digestibility methods. *Czech Journal of Animal Science* **57**:454-468.
- Hrabě, F. 2004. *Trávy a jetelovino trávy v zemědělské praxi*. Petr Baštan. Olomouc.
- Chen H, Chen M, Li D, Mao Q, Zhang W, Mo J. 2018. Responses of soil phosphorus availability to nitrogen addition in a legume and a non-legume plantation. *Geoderma* **322**:12–18.
- Cherney DJR, Cherney JH, Pell AN. 1994. Inorganic Nitrogen Supply Effects on Alfalfa Forage Quality. *Journal of Dairy Science* **77**:230–236.
- Jakešová H, Světlík V. 2002. Historie a současnost českého šlechtění jetele lučního. *Úroda* **50**:1-3.
- Kalač P, Míka V. 1997: *Přirozené a škodlivé látky v rostlinných krmivech*. ÚZPI. Praha.
- Kamalak A, Canbolat O, Gurbuz Y, Erol A, Ozay O. 2005. Effect of maturity stage on chemical composition, in vitro and in situ dry matter degradation of tumbleweed hay (*Gundelia tournefortii* L.). *Small Ruminant Research* **58**:149–156.
- Klement V, Smatanová M. 2014. Půdu je třeba pravidelně vápnit. *Zemědělec* **45**:34-35.
- Leto J, Knežević M, Bošnjak K, Maćešić D, Štafa Z, Kozumplik V. 2004. Yield and forage quality of red clover (*Trifolium pratense* L.) cultivars in the lowland and the mountain regions. *Plant Soil and Environment* **50**:391-396

- Lissbrant S, Brouder SM, Cunningham SM, Volenec JJ. 2010. Identification of fertility regimes that enhance long-term productivity of alfalfa using cluster analysis. *Agronomy Journal* **102**:580–591.
- Lissbrant S, Stratton S, Cunningham SM, Brouder SM, Volenec JJ. 2009. Impact of long-term phosphorus and potassium fertilization on Alfalfa nutritive value yield relationships. *Crop Science* **49**:1116-1124.
- Lithourgidis AS, Vasilakoglou IB, Dhima KV, Dordas CA, Yiakoulaki MD. 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research* **99**:106–113.
- Macolino S, Lauriault LM, Rimi F, Ziliotto U. 2013. Phosphorus and potassium fertilizer effects on Alfalfa and soil in a non-limited soil. *Agronomy Journal* **105**:1613-1618.
- Marković J, Štrbanović R, Petrović M, Dinić B, Blagojević M, Milić D. Spasić N. 2012. Estimation of red clover (*Trifolium pratense* L.) forage quality parameters depending on the cut, stage of growth and cultivar. *Agroznanje* **13**:31-38.
- Mia S, van Groenigen JW, van de Voorde TFJ, Oram NJ, Bezemer TM, Mommer L, Jeffery S. 2014. Biochar application rate affects biological nitrogen fixation in red clover conditional on potassium availability. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **191**:83–91.
- Míka V, Pozdíšek J, Tillmann P, Nerušil P, Buchgraber K, Gruber L. 2003. Development of NIR calibration valid for two different grass sample collections. *Czech Journal of Animal Science* **48**:419-424.
- Montardo DP, Dall’Agnol M, Paim NR. 2003. Forage yield and persistence of red clover progenies in two environments. *Scientia Agricola* **60**:447–452.
- Nedělník J, et al. 2010. Kapitoly z moderního pícninářství. Petr Baštan. Olomouc.
- Neuberg M, Pavlíková D, Pavlík M, Balík J. 2010. The effect of different nitrogen nutrition on proline and asparagine content in plant. *Plant, Soil and Environment* **56**:305-311.
- Orioli Junior V, Coutinho ELM, Coutinho Neto AM, Cardoso SS. 2014. Nutritional status and dry mass production of alfalfa in function of potassium rates in two soils. *Bioscience Journal* **30**:31-38.

- Petrík M, Minařík I, Procházka O, Zejbrlík O. 1987. Intenzivní pícninářství. Státní zemědělské nakladatelství. Praha.
- Pettigrew WT. 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiologia Plantarum* **133**:670–681.
- Poulik Z. 1996. Výživa a hnojení pícních kultur. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství České republiky. Praha.
- Sato S, et al. 2005. Comprehensive Structural Analysis of the Genome of Red Clover (*Trifolium pratense* L.). *DNA Research* **12**:301–364.
- Singh M, Wajnari RH, Dwivedi A, Dalal R. 2012. Yield response to applied nutrient and estimates of N₂ fixation in 33-year-old soybean-wheat experiment on a vertisol. *Experimental Agriculture* **48**:311–325.
- Slavík B, Smejkal M, Dvořáková M, Grulich V, Skoumalová-Hadačová A, Smrčinová E. 1995. Květena české republiky 4. Academia. Praha.
- Smith D. 1975. Effects of potassium topdressing a low fertility silt loam soil on Alfalfa herbage yields and composition and on soil K values. *Agronomy Journal* **67**:60-64.
- Sniffen CJ, O'Connor JD, Van Soest PJ, Fox DG, Russell JB. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science* **70**:3562–3577.
- Stallings CC. 2005. Test available for measuring forage quality. Virginia Cooperative Extension Dairy Guideline 404-124. VPI & SU. Blacksburg.
- Šantrůček J. 2003. Encyklopedie pěstování víceletých pícnin na orné půdě. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha.
- Štranc J, Štranc P, Štranc D. 2013. Biogenní prvky ve výživě sóji. *Úroda* **61**:35-37.
- Třináctý J. 2013. Hodnocení krmiv pro dojnice. AgroDigest, s.r.o. Pohořelice.
- Vasileva V, Kostov O, Vasilev E, Athar M. 2011. Effect of mineral nitrogen fertilization on growth characteristic of lucerne under induced water deficiency stress. *Pakistan Journal of Botany* **43**:2925-2928.

Vasileva V, Kostov O. 2015. Effect of mineral and organic fertilization on Alfalfa forage and soil fertility. *Emirates Journal of Food and Agriculture* **27**:678-686.

Vasileva V. 2013. Effect of increasing doses of mineral nitrogen fertilization on chemical composition of lucerne (*Medicago sativa* L.) under optimum water supply and water deficiency stress. *Banat's Journal of Biotechnology* **4**: 80-85.

Vlčan M. 2002. Semenářství jetele. *Úroda* **50**:14-15.

Yolcu H, Dasci M, Tan M, Comakli B. 2008. Nutrient value of some lucerne cultivars based on chemical composition for livestock. *Asian Jouenal od Chemistry* **20**:4110-4116.

Zeman L. 2006. *Výživa a krmení hospodářských zvířat*. Profi Press, s.r.o. Praha.

