

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

Možnosti ovlivnění olejnatosti semen řepky ozimé

Bakalářská práce

Lukáš Lžičar

Rostlinná produkce

Vedoucí práce: Ing. Lucie Bečková, Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Možnosti ovlivnění olejnatosti semen řepky ozimé" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 21. 4. 2022

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval mé vedoucí bakalářské práce Ing. Lucii Bečkové Ph.D. za odborné vedení, náměty a cenné rady v průběhu psaní této práce.

Dále Ing. Štěpánce Nedvědové za podrobnou konzultaci biochemické části a v neposlední řadě Ing. Luboši Türkottovi Ph.D. za pomoc při sestavení metodiky hodnocení počasí.

Možnosti ovlivnění olejnatosti semen řepky ozimé

Souhrn

Řepka ozimá (*Brassica napus*) je jednou z nejdůležitějších kulturních plodin na světě z důvodu široké škály využití. Olej řepky ozimé je významnou komoditou potřebnou nejen pro farmacii, krmivářství, potravinářský a kosmetický průmysl.

Cílem této bakalářské práce bylo zaměřit se na vytvoření přehledu faktorů ovlivňujících olejnatost semen řepky ozimé. Praktická část práce se opírá o polní pokus, který byl založen s cílem ověřit vliv různých dávek dusíku a síry, různých termínů aplikace síry a různých hnojiv se sírou na výslednou olejnatost semen, výnos semen a výnos oleje řepky ozimé.

Polní experimenty byly uskutečněny na výzkumné stanici FAPPZ ČZU v Červeném Újezdu ve vegetačním období 2020/2021. Porost byl hnojen třemi dávkami dusíku (140, 180 a 220 kg N/ha), pěti dávkami síry (0, 15, 25, 50 a 75 kg S/ha). Navíc hnojení sírou v dávce 25 kg S/ha probíhalo ve třech různých termínech (3.3., 19.3. a 7.4. 2021). K hnojení porostů byla použita hnojiva: LAD (27 % dusíku, 4 % MgO), DASA (26 % N, 13 % S) a YaraVita Krista MgS (13 % S + MgO 16 %).

Rozdíly mezi dávkami hnojiv ani termíny aplikace nebyly statisticky průkazné, nicméně z výsledků bylo možné vyzorovat trendy působení hnojiv na olejnatost i výnos.

Hnojení dusíkem působilo na olejnatost negativně. S rostoucí dávkou dusíku se olejnatost semen snižovala. Na výnos semen měly zvyšující dávky dusíku naopak pozitivní vliv. Nejvyšší výnos semen byl zjištěn u varianty, která byla hnojena nejvyšší dávkou dusíku (220 kg N/ha). Výnos oleje se vlivem nárůstu výnosu semen s dávkou dusíku také zvyšoval.

Hnojení sírou v dávce 15 až 75 kg S/ha mělo jen velmi malý vliv na olejnatost a výnos semen řepky ozimé. Přesto se olejnatost i výnos semen s dávkou síry mírně zvyšovala do 50 kg S/ha. Varianta hnojená 50 kg S/ha dosáhla nejvyššího výnosu oleje. Zvýšení dávky síry nad 50 kg S/ha již nepřineslo žádné zvýšení olejnatosti ani výnosu semen a výnosu oleje.

Termín aplikace síry neměl vliv na výnos semen, ale ovlivnil olejnatost. Pro tvorbu oleje v semenech řepky byl nejvhodnější termín hnojení 7.4. tedy s druhou (produkční) dávkou dusíku.

Nejvyšší olejnatost (45,29 %) měla varianta, která byla hnojena LAD a Krista MgS (180 kg N/ha a 25 kg S/ha). Olejnatost semen u této varianty byla o 0,80 % vyšší než u varianty s použitím hnojiv LAD a DASA ve stejné dávce 180 kg N/ha a 25 kg S/ha. Tento rozdíl byl statisticky průkazný.

Poznatky vyplývající z literární rešerše a experimentální části práce mohou posloužit jako teoretické podklady pro zvolení adekvátního hnojení porostů řepky ozimé. Zároveň mohou pomoci porozumět komplikované problematice vlivu hnojení na kvalitativní parametry produkce řepky ozimé.

Klíčová slova: řepka ozimá; olejnatost; faktory ovlivňující olejnatost; síra; dusík

Possibilities of influencing the oil content of winter oilseed rape seeds

Summary

Winter rape (*Brassica napus*) is one of the most important crops in the world due to its wide range of uses. Winter rapeseed oil is an important commodity needed not only for the pharmaceutical, feed, food, and cosmetic industries. This bachelor thesis aimed to develop a review of the factors influencing the oil content of winter rapeseed. The practical part of the thesis is based on a field experiment that was set up to test the effect of different nitrogen and sulfur rates, different sulfur application dates, and different sulfur fertilizers on the resulting seed oil content, and seed yield, and oil yield of winter rape. Field experiments were carried out at the FAFNR CZU research station in Červený Újezd in the 2020/2021 growing season. The crop was fertilized with three nitrogen doses (140, 180, and 220 kg N/ha), and five sulfur doses (0, 15, 25, 50, and 75 kg S/ha). In addition, sulfur fertilization at 25 kg S/ha was carried out on three different dates (3 March, 19 March, and 7 April 2021). LAD (27 % N, 4 % MgO), DASA (26 % N, 13 % S) and YaraVita Krista MgS (13 % S + 16 % MgO) were used to fertilise the crops.

The differences between fertilizer rates and application dates were not statistically significant, but trends in fertilizer effects on oil content and yield could be observed from the results. Nitrogen fertilization decreased the oil content. Seed oil content decreased with increasing nitrogen rate. On the other hand, increasing nitrogen doses had a positive effect on seed yield. The highest seed yield was found in the variant fertilized with the highest nitrogen rate (220 kg N/ha). Oil yield also increased with nitrogen rate due to the increase in seed yield. Fertilization with sulfur at a rate of 15 to 75 kg N/ha had very little effect on oil content and seed yield of winter rape. Nevertheless, oil content and seed yield increased slightly with sulfur application up to 50 kg S/ha. The variant fertilized with 50 kg S/ha achieved the highest oil yield. Increasing the sulfur rate above 50 kg S/ha no longer increased oil content, seed yield, or oil yield.

The timing of sulfur application did not affect seed yield, but did affect oil yield. The most suitable fertilization date for oil formation in rapeseed was 7.4., i.e. with the second (production) nitrogen rate. The variant that was fertilized with LAD and Krista MgS (180 kg N/ha and 25 kg S/ha) had the highest oil yield (45.29 %). The seed oil content of this variant was 0.80 % higher than the variant using LAD and DASA fertilizers at the same rate of 180 kg N/ha and 25 kg S/ha. This difference was statistically significant

The findings from the literature search and the experimental part of the study can serve as a theoretical basis for the selection of adequate fertilization of winter rape crops. At the same time, they can help to understand the complicated problem of the effect of fertilization on the qualitative parameters of winter rape production.

Keywords: winter rape; oil content; factors affecting oil content; sulfur; nitrogen

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Nejvýznamnější olejniny světa	3
3.1.1	Palma olejná	3
3.1.2	Sója luštinatá	3
3.1.3	Řepka	4
3.1.4	Slunečnice roční	4
3.1.5	Podzemnice olejná	4
3.1.6	Bavlník	5
3.2	Charakteristika řepky olejký	5
3.2.1	Botanická charakteristika	5
3.2.2	Význam	5
3.2.3	Pěstování v ČR a ve světě	6
3.2.4	Genetika a šlechtění	7
3.2.5	Životní cyklus	7
3.3	Olejnatost	8
3.3.1	Syntéza oleje v semenech řepky	9
3.3.2	Složení řepkového oleje	9
3.4	Faktory ovlivňující olejnatost	10
3.4.1	Průměrná teplota	10
3.4.2	Odrůda	10
3.4.3	Vliv sponu rostlin na výnos a olejnatost	11
3.4.4	Vliv doby setí na výnos a olejnatost	11
3.4.5	Vliv vodního stresu	11
3.4.6	Stimulátory	12
3.4.7	Vliv hnojení na olejnatost řepky ozimé	12
3.5	Prvky a hnojiva ovlivňující olejnatost semen řepky ozimé	13
3.5.1	Síra	13
3.5.2	Dusík	15
3.5.3	Draslík	16
3.5.4	Zinek	16
3.5.5	Bór	17
3.5.6	Hořčík	18
3.5.7	Hněj	18

4	Metodika	20
4.1	Charakteristika lokality	20
4.1.1	Počasí	20
4.1.2	Půda	21
4.2	Metodika pokusu	22
4.3	Použitá hnojiva	23
4.3.1	LAD	23
4.3.2	DASA	23
4.3.3	YaraTera Krista MgS	23
4.4	Postup sběru dat	24
4.4.1	Stanovení výnosu	24
4.4.2	Stanovení olejnatosti	24
4.5	Analytické metody	24
5	Výsledky	25
5.1	Vliv dávky dusíku	25
5.2	Vliv dávky síry	26
5.3	Vliv termínu aplikace síry	28
5.4	Vliv použitých hnojiv	30
6	Diskuse	31
6.1	Hnojení dusíkem	31
6.2	Hnojení sírou	33
6.3	Vliv termínu hnojení	34
6.4	Vliv hnojiva na výnosové parametry	34
7	Závěr	35
8	Literatura	36
9	Seznam použitých zkratk a symbolů	45
10	Samostatné přílohy	46

1 Úvod

Řepka ozimá patří mezi významné olejniny pěstované ve střední a severní Evropě. Řepkový olej je používán v mnoha oborech lidské činnosti – od potravinářských, krmivářských účelů až po jeho přimíchávání do nafty jako tzv. biosložky. Právě olej z řepky nahrazuje palmový olej, který byl dovážen převážně z Jižní Ameriky za účelem přidávání do paliv, tudíž je zde i faktor lokální produkce, které ve svém důsledku pozitivně snižuje emise.

V současné době se zemědělství potýká se změnou klimatu a rapidním úbytkem orné půdy. Důsledkem těchto dějů je zde tlak na efektivnost, ekonomičnost a udržitelnost nejen produkce řepky, ale celého zemědělského odvětví.

Dramatický nárůst ploch řepky olejky nastal po roce 1989. Důvody tohoto rozmachu můžeme přisuzovat zlepšení šlechtitelských postupů, vývoji přípravků na ochranu rostlin a v neposlední řadě ekonomickým změnám. Olejnatost řepky ozimé je dána především geneticky, abiotickými faktory a vlivem agrotechniky.

Řepka byla pěstována roku 2018 na 400 000 hektarech, oproti roku 1990 (64 000 ha) (ČSÚ 2020). Množství oleje obsaženého v semenech řepky ozimé je jedním ze základních kvalitativních parametrů, které přímo ovlivňují výkupní cenu řepky. V roce 2016 došlo vlivem ročníku k výraznému snížení olejnatosti řepky na celém území České republiky. Řada prvovýrobců čelila srážkám za nízkou olejnatost, což se negativně projevilo ve výsledcích jejich hospodaření.

Předmětem bakalářské práce je shromáždění současných poznatků o olejnatosti řepky ozimé a faktorech, které ovlivňují množství oleje obsaženého v semenech. V zájmu dosažení co největší relevance a koherence celé práce, jsou uvedeny i abiotické faktory, které podle dostupné literatury mají také nezanedbatelný vliv.

V experimentální části práce je zkoumán vztah mezi hnojením řepky a olejnatostí sklizených semen. Tímto tématem se zabývala řada zahraničních autorů, například Malarz (2011), který zkoumal vztah mezi olejnatostí a přihnojováním sírou nebo studie zabývající se vlivem hnojení dusíkem na výnos a olejnatost (Brennan 2000). Vztah mezi hnojením dusíkem, sírou či mikroprvky a výnosem je již v současnosti hojně prostudovaný, avšak vztahy mezi hnojením a olejnatostí zůstávají stále neobjasněny a často dochází k rozdílným tvrzením.

V rámci našeho výzkumu jsme se zabývali vlivem rozdílných dávek síry a dusíku primárně na olejnatost semen řepky ozimé. Zároveň bylo stěžejní v celkovém kontextu zkoumaného problému brát v úvahu i další parametry výnosu.

Výstupem našeho výzkumu by měla být snaha o nalezení optimálního termínu, dávky síry a dusíku, vzhledem k olejnatosti semen řepky ozimé či jejím dalším výnosovým parametrům. Tato snaha by mohla přispět do budoucna k trvale udržitelnému pěstování řepky, nejen v podmínkách České republiky, ale i ostatních zemí.

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce bylo vypracovat literární rešerši zaměřenou na řepku ozimou a zejména olejnatost sklizených semen, vytvořit přehled faktorů ovlivňujících olejnatost sklizených semen a vyhledat současné poznatky vlivu jednotlivých faktorů na olejnatost.

Experimentálním cílem práce bylo posoudit v polních podmínkách maloparcelkových pokusů vliv vybraných agrotechnických vstupů na olejnatost. Posuzovanými faktory bylo hnojení dusíkem a sírou.

Konkrétními cíli bylo:

- 1) Vyhodnocení vlivu rozdílných dávek dusíku a síry na olejnatost, ale i výnos sklizených semen řepky ozimé a výnos oleje.
- 2) Porovnání různých termínů aplikace síry na olejnatost, výnos řepky ozimé a výnos oleje.
- 3) Porovnání různých hnojiv obsahujících síru na olejnatost, výnos řepky ozimé a výnos oleje.

3 Literární rešerše

3.1 Nejvýznamnější olejniny světa

Olejnininy zcela nepochybně patří k nejdůležitějším plodinám světa. Jsou významnou složkou lidské výživy, farmacie, krmivářství, potravinářského průmyslu a v neposlední řadě součástí biopaliv. Nejvýznamnějšími olejinami podle výše produkce oleje jsou: palma olejná, sója luštinatá, řepka, slunečnice, podzemnice olejná, bavlník.

Stejně jako v ostatních oblastech zemědělské produkce je i při pěstování olejin kladen důraz na trvalou udržitelnost produkce a snížení energetických nákladů.

3.1.1 Palma olejná

Palma olejná (*Elaeis guineensis*) je nejvýkonnější olejinou z hlediska produkce oleje na hektar. Celosvětová produkce palmového oleje je nejvyšší ze všech rostlinných olejů – v současné době je to 73,1 mil. tun (USDA 2022). Olej se získává z dužiny plodů palmy olejné. Plody mají jedno semeno, ze kterého se získává palmojádrový olej. Palmový a palmojádrový olej jsou stejného botanického původu, z hlediska složení mastných kyselin se však výrazně liší. Neustálý nárůst produkce palmového oleje však má za následek negativní dopady na životní prostředí. Dochází ke kácení a mýcení porostů deštného lesa, ztrátám přirozeného habitatu ohrožených zvířat, poklesu druhové diverzity a v neposlední řadě přicházejí i původní obyvatelé o své domovy (Monteiro de Carvalho 2013).

3.1.2 Sója luštinatá

Sója luštinatá (*Glycine max*) je jednou z nejuniverzálnějších plodin na světě, díky její vysoké olejnatosti a obsahu bílkovin. Roční produkce sóji je 363,86 milionů tun a sójového oleje 59,16 mil. tun (USDA 2022). Sója se stala hlavní zemědělskou komoditou mnoha zemí od Spojených států amerických, Číny, Argentiny či Brazílie (USDA 2022). Právě důležitost této plodiny vedla k tlakům na neustálé zlepšování jejích odrůd nejen konvenčním šlechtěním, ale i genetickou modifikací či technologií molekulárních markerů (Carter et al. 2016). Neustálý proces šlechtění odrůd sóji vede k rozšiřování do širokého spektra areálů, narůstajícím výnosům, lepší nodulaci, větší schopnosti fixovat dusík a v neposlední řadě rezistenci a toleranci vůči biotickým a abiotickým stresovým faktorům. Celý tento proces vedl za posledních 30 let k markantnímu zlepšení produkce a ekonomiky jejího pěstování (Bachleda et al. 2017). Navzdory svému relativně rozsáhlému a složitému genomu, byl tento proces šlechtění dosažen za užití molekulárních a cytogenetických nástrojů. Současně došlo také k pokroku v introgresích cizích genů, výběru opodstatněného genetickými markery a genetickým transformacím. V důsledku těchto zásahů došlo k zlepšení obsahu bílkovin, nárůstu nutriční kvality sójových bobů a úpravě profilu mastných kyselin v sójovém oleji

(Akdemir & Sánchez 2016). Všechny výše zmíněné aspekty se podílejí na skutečnosti, že se sója řadí mezi nejlukrativnější zemědělské plodiny.

3.1.3 Řepka

Za posledních 25 let světová produkce této významné olejninou neustále rostla. Během tohoto období se také zvýšil produkční podíl evropských zemí, zejména po zavedení kultivarů s nízkým obsahem kyseliny erukové a glukosinolátů (Bancroft et al. 2011). Dnes je řepka olejka nejdůležitější olejinou v severní a střední Evropě. Kromě zlepšení výživových parametrů řepkového oleje došlo i ke zlepšení mnoha agronomicky významných kvantitativních parametrů (výnos, olejnatost etc.). Semena řepky obsahují 40-45 % oleje. Řepkový olej je po palmovém a sójovém oleji na třetím místě objemu na celém světě (29,2 mil. tun oleje, USDA 2022).

3.1.4 Slunečnice roční

Slunečnice (*Helianthus annuus*) je plodina pocházející původem ze Severní Ameriky. Její produkce za rok 2021 byla podle USDA 49,2 milionů tun a vyrobilo se 19,11 mil. tun slunečnicového oleje, což řadí slunečnici na čtvrté místo do významu. Je pěstována po celém světě a nachází využití v potravinářském a krmivářském průmyslu (Yegorov et al. 2019). Slunečnice vyžaduje úrodnou půdu, mírné srážky a hlinito-písčité půdy. Je pěstována primárně pro svůj kvalitní olej a obsah vlákniny, která významně prospívá lidskému zdraví (Khan & Sheeba 2015). Lokalizace produkce v rámci celosvětového měřítka je závislá primárně na abiotických faktorech, které přispívají ekonomické konkurenceschopnosti vůči jiným plodinám – například: čirok, sója či kukuřice (Khan et al. 2015).

3.1.5 Podzemnice olejná

Podzemnice olejná (*Arachis hypogaea*), známější jako burák či burský oříšek patří mezi nejpěstovanější plodiny v oblasti tropů a subtropů. Celosvětová roční produkce arašídů se odhaduje na 49,55 milionů tun (USDA 2022) a vyrábí se z nich 6,5 mil. tun oleje. Stejně jako valná část zemědělských plodin se rozšířila do širokého spektra lokalit. Arašídů jsou důležitou součástí zemědělské výroby v Asii, kde se pěstuje 64 % z celosvětové produkce (USDA 2022). Důležitou roli ve výživě obyvatelstva nachází podzemnice v Africe, kde se jí pěstuje zhruba 26 % z celosvětové produkce. Charakterem se podzemnice olejná řadí mezi nenáročné plodiny – lze ji pěstovat od travnatých plání, přes lesní mýtiny po velmi vlhké oblasti (Lewis et al. 2005). Dále se uplatňuje v produkci arašídového oleje, který je hojně využíván při vaření, či smažení. Kvůli vysokému bodu varu (229,4 °C) nedochází k jeho přepalování a následné degradaci, která by negativně ovlivnila chuť připravovaného pokrmu (Warner et al. 1994).

3.1.6 Bavlík

Další významnou olejninou ve světovém měřítku je bavlník (*Gossypium*), který se podle objemu produkce oleje (4,81 mil. tun) řadí na šesté místo (USDA 2022). Olej a bílkoviny obsažené v semenech jsou vhodnou alternativou sóji ke krmivářským účelům (Meyer et al. 2001). Vysoká poptávka po těchto vedlejších produktech vedla ke snahám o úpravu genomu bavlníku, zdokonalováním agrotechnických opatření a v neposlední řadě snahu o trvalou udržitelnost produkce (Sawan et al. 2007). Pro dosažení těchto kritérií navrhuje Yang et al. (2017) vyšlechtění nového ekologického kultivaru s vysokým obsahem oleje, užívání biologických hnojiv a zdůrazňuje nutnost ekonomického užívání dusíkatých hnojiv.

3.2 Charakteristika řepky olejky

V průběhu 20. století bylo pěstování olejnin (nejen v Evropě) důležitým pilířem při zajištění základních zdrojů lidské výživy. Důležitou roli olejnin v potravě můžeme demonstrovat na výrobě tukových surovin a růstu populace, primárně v rozvojových zemích.

3.2.1 Botanická charakteristika

Brukev řepka (*Brassica napus* L.) je zástupcem z čeledi brukvovitých (*Brassicaceae*). Květy mají čtyři diagonálně protilehlé okvětní lístky v podobě kříže. Charakteristickým znakem pro tuhle skupinu jsou dobře rozvětvené stonky, i když stupeň větvení je odvozený primárně od druhu odrůdy, vlivu biotických a abiotických faktorů. Větve vyrůstají z paždí nejvyšších listů na stonku a každá končí v květenství. Květy mají tvar hroznu, žlutou barvu, nahoře seskupené a otevírají se směrem nahoru od báze hroznu (Musil 1960).

Brassica napus má dva poddruhy. Prvním je *brassica napus subsp. napobrassica*, neboli tuřín. Druhým poddruhem je *Brassica napus subsp. napus* – brukev řepka olejka, která se dále rozděluje na dvě formy – ozimou a jarní. V západní a střední Evropě je dominantně pěstována ozimá forma, díky větším výnosům. Jarní forma bývá občas uplatňována jako náhrada za zničený porost ozimé formy (Baranyk et al. 2007).

3.2.2 Význam

Řepka je s produkcí 72,6 mil. tun druhou nejvýznamnější olejninou světa, hned po sóje. Má důležitou roli v osevním postupu, jelikož působí pozitivně na strukturu půdy a následné plodiny, zejména obilniny. Například v Austrálii bylo zaznamenáno při polních pokusech zvýšení výnosu pšenice po řepce o 33 % (Gregory 1998, Kirkegaard et al. 1997). Kromě benefitů v osevním postupu je užívána v mnoha oblastech lidské činnosti.

Potravinářství je jedním z hlavních oblastí, kde nachází řepka široké uplatnění. Je zde primárně využívána pro svůj olej. Řepkový olej současných „00“ odrůd se vyznačuje

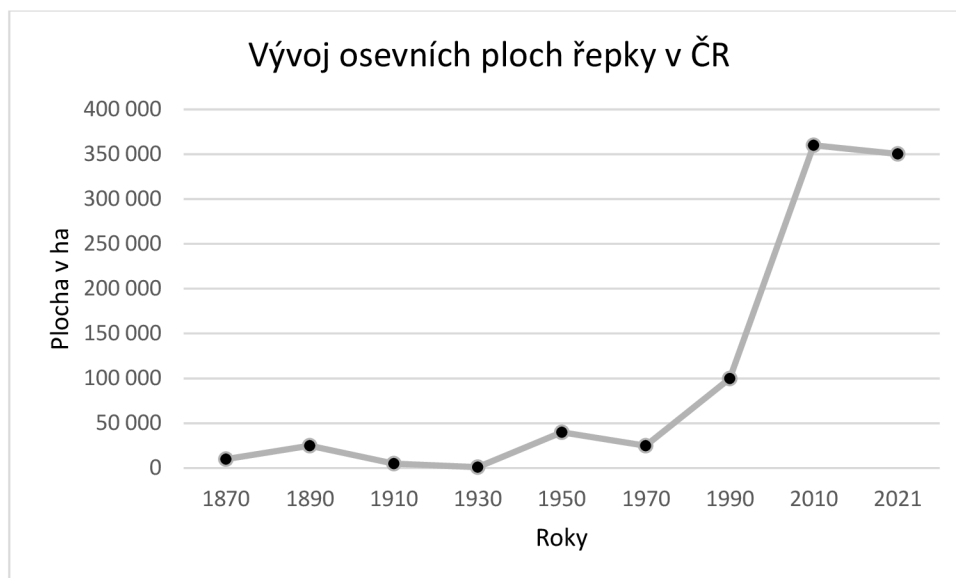
zanedbatelným obsahem kyseliny erukové (0,3-0,5 %) a nízkou hladinou glukosinolátů. Pozitivní vlastností řepkového oleje je jeho stabilita i při vysokých teplotách, což jej předurčuje k smažení či fritování. Je využíván v potravinářství proto, že má nižší obsah nasycených mastných kyselin, které zvyšují LDL cholesterol (v porovnání se sójovým olejem) (Matthaus et al. 2016).

Řepka má významnou roli ve výživě hospodářských zvířat, jelikož šroty nebo drcená semena jsou významnou bílkovinnou složkou krmných směsí. Pěstování „00“ odrůd umožňuje nahrazení sójových šrotů, což je výhodné nejen z ekonomické stránky, ale i z ekologické, jelikož je výživa hospodářských zvířat zabezpečena z lokální produkce (Nega 2018).

Olej lisovaný ze semen řepky je hned po sójovém a palmovém oleji třetím nejdůležitějším zdrojem rostlinných tuků na světě. Produkce olejů rostlinného původu se vyznačuje nízkou toxicitou, biologickou degradací a v neposlední řadě pocházejí z obnovitelných zdrojů. Je zde příležitost omezit dovoz ropy a nahradit část ropných produktů alternativou rostlinného původu. Používání biologicky rozložitelných produktů z obnovitelných olejů představuje jen malou část celosvětového trhu s průmyslovými výrobky (Gunstone 2001).

3.2.3 Pěstování v ČR a ve světě

Přesný počátek pěstování řepky na území České republiky neznáme, jelikož do konce 18. století se druhy řepka olejka a řepice nerozlišovaly. Pěstování brukvovitých druhů za účelem získání jejich oleje bylo typické pro starověký Řím, Řecko i Egypt. V roce 1682 vychází předpis, který rozlišuje mezi řepkou olejkou a řepicí. Za doby panování Josefa II. a Marie Terezie dochází nejen k rozvoji měst, manufaktur či průmyslu, ale i k rozmachu pěstování řepky. Od roku 1910 se snížily její plochy zastoupené v osevním postupu. Důvodem tohoto poklesu byl přechod na plynové osvětlení a používání minerálních olejů namísto rostlinných. Od roku 1930 se oseté plochy většinou zvyšovaly. Postupné zvyšování je následkem kvalitně zvládnuté pěstitelské technologie, neustálého šlechtění odrůd, rozvoje zpracovatelského průmyslu a ekonomické atraktivnosti této plodiny (Baranyk et al. 2007).



Graf 1 Osevní plochy řepky olejky (ha) v České republice (Baranyk et al. 2007)

3.2.4 Genetika a šlechtění

Brassica napus L. patří do čeledi brukvovitých, která vznikla před 32,4 miliony let na přelomu eocénu a oligocénu. Za genetický původ brukve řepky se považují nezávislé a spontánní inter-specifické hybridizace mezi genotypy brukve řepáka - *Brasica campestris* (AA, $2n=20$) a brukve zelné - *Brasica oleracea* (CC, $2n=18$). Z genetického hlediska je *B. napus* alopolyploid (AACC, $2n=38$), který vykazuje disomickou dědičnost. V rámci druhu *B. napus* byly vyčleněny dva poddruhy *napobrassica* a *brassica*. Posledně jmenovaný druh se stal hned po sóje druhou nejvýznamnější olejninou světa. Liniové odrůdy s nízkým obsahem kyseliny erukové se zasloužily o její název – CanOLA (Canadian Low Acid), která je využívána pro svůj kvalitní olej (Applequist a Ohlson 1972). Brukev řepka je takzvaný amfidiploid. Amfidiploidie je specifický druh polyploidie, při kterém jsou v jednom buněčném jádře přítomny dvě neidentické diploidní sady chromozomů – v případě řepky se jedná o sady brukve zelné a brukve řepáka (Bancroft et al. 2011). Právě nebývalá genetická plasticita rodu Brukev se stala předpokladem pro uplatnění moderních šlechtitelských postupů při tvorbě významných hospodářsky cenných typů (Kinney A.J. 1997).

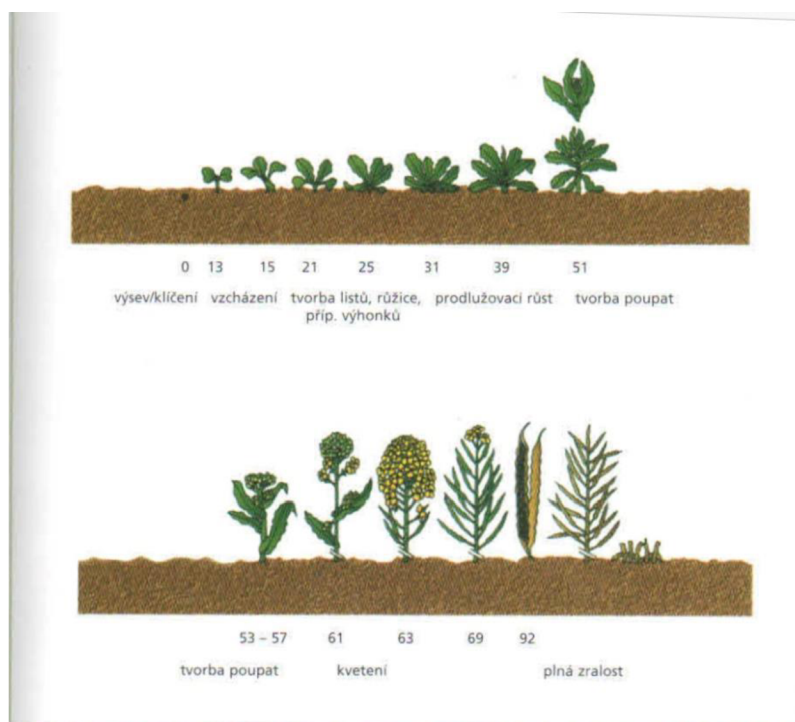
3.2.5 Životní cyklus

Pro životní cyklus řepky olejky (ozimá forma) je typické, že se odehrává ve dvou vegetačních obdobích – na podzim a na jaře. Na podzim prvního roku jsou utvářeny vegetativní orgány (kořen, listová růžice), dochází k postupnému shromažďování asimilátů v kořenové hmotě. Tyto asimiláty jsou již v podzimním období využívány za účelem tvorby generativních orgánů, dále pak na jaře, kdy je tvorba generativních orgánů dokončena. V podmínkách České republiky byla zpracována podrobná fenologická stupnice profesorem A. Fábrym roku 1963. Ozimá řepka potřebuje pro přechod z vegetativní do generativní fáze komplex nízkých teplot. Baranyk et al. (2007) uvádí, že optimální teplota vhodná pro jarovizaci je mezi 2 až 8 °C po dobu 30 až 60 dní.

Obecně dlouhý den urychluje přechod rostlin řepky do generativní fáze. Mimo změny teplot, fotoperiody a působení slunečního světla se na přechodu do generativní fáze podílí i světelná intenzita (Baranyk et al. 2007).

Jako optimální délka podzimní vegetace se uvádí 70-90 dní, kdy v kombinaci se včasným otevřením jara (přelom února a března), stále v podmínkách krátkého dne a optimálních teplot, dochází k inhibici dlouhivého růstu a diferenciaci květních základů (Baranyk et al. 2007).

Z hlediska zimuvzdornosti je doporučováno, aby byl porost v souladu mezi vývojovým a růstovým stavem již před nástupem zimy. Porost by měl být kvalitně založený, se silným hypokotylem a vyhraněnou listovou růžicí (Baranyk et al. 2007).



Obrázek 1 Fenologická stupnice BBCH (Baranyk et al. 2007)

3.3 Olejnatost

Olejnatost semen řepky olejky patří k významným parametrům hodnocení její kvality. Genetické inženýrství má vysoký potenciál se stát užitečnou součástí konvenčních šlechtitelských přístupů za účelem zvýšení obsahu oleje a získání požadovaného složení mastných kyselin. Zejména využití GMO by do budoucna mohlo přispět ke zvýšení produkce rostlinných olejů, bez nároků zvětšovat zemědělsky využívanou plochu. Pro efektivní šlechtění nových odrůd je ale zcela nezbytné znát biochemické a molekulárně-genetické principy ukládání a syntézy rostlinných olejů (Weselake et al. 2008). Vytvářející se semena olejnin sice poskytují kvalitní vzorky pro extrakci a studium lipidů a biosyntetických enzymů, ale na rozdíl od tkání rostlin je jejich studium omezeno na relativně krátký časový horizont v porovnání s ostatními pletivy rostliny. V následujících odstavcích bych chtěl přiblížit současný výzkum

biosyntézy lipidů v semenech olejnin. Znalost této problematiky nám do budoucna může přinést praktické využití v podobě zvýšení obsahu oleje nejen u řepky, ale i u dalších olejnin.

3.3.1 Syntéza oleje v semenech řepky

Rostliny syntetizují a ukládají mastné kyseliny ve formě triacylglycerolů (TAG). Triacylglyceroly jsou hlavní složkou rostlinných olejů, jejichž funkcí je podpora a vývoj semenáčků v raných růstových fázích. TAG jsou vysoce energeticky bohatým přírodním zdrojem energie, jelikož mají vyšší energetickou hodnotu oproti sacharidům či bílkovinám. Syntéza TAG je provedena ve dvou hlavních krocích – biosyntéza mastných kyselin a následné sestavení samotného triacylglycerolu. Tento proces vyžaduje vzájemnou kolaboraci buněčného kompartmentu a endoplazmatického retikula (ER) (Bates et al. 2013).

Mastné kyseliny (MK) jsou nejprve syntetizovány v plasmidech, následně dochází k jejich transportu do ER, kde jsou přeměněny na TAG. Samotná syntéza MK je zahájena činností enzymu acetyl-CoA karboxylázy (ACC), která katalyzuje karboxylaci za přeměny acetyl-CoA a bikarbonátu na malonyl-CoA. V dalším kroku dochází k prodloužení MK komplexem syntázy mastných kyselin. Po dokončení sestavení MK dochází k jejich exportu do ER ve formě acyl-CoA. K následné syntéze TAG v ER dochází hlavně prostřednictvím eukaryotické fosfolipidové biosyntetické dráhy (Bates et al. 2013).

Jako posledním krokem syntézy triacylglycerolů je diacylglycerol (DAG) přeměněn na TAG (triacylglycerol) pomocí enzymu acyl-CoA nebo fosfolipidů (Thelen & Ohlrogge 2002).

3.3.2 Složení řepkového oleje

Složení řepkového oleje je důležitým ukazatelem kvality oleje pro trh s potravinami a pohonnými hmotami. Triacylglyceroly jsou hlavní složkou rostlinných olejů složených z glycerolu a tří mastných kyselin, které jsou na něj vázány. Složení triglyceridů významně ovlivňuje fyzikální a chemické vlastnosti oleje (Indelicato et al. 2017). Řepkový olej obsahuje velmi málo nasycených mastných kyselin, a naopak významné množství mononenasycených a esenciálních omega 6 (kys. linolová) a omega 3 (kys. α -linolenová) polynenasycených mastných kyselin (Tabulka 1.), což je příznivé pro lidské zdraví.

Tokoferoly, známější jako vitamín E, jsou přírodní a nejúčinnější antioxidanty produkované rostlinami. Řepkový olej obsahuje nejvyšší množství tokoferolů ze všech rostlinných olejů (Stahl et al. 2017).

Další významnou složkou jsou fytosteroly, které se kladně podílejí na nutriční hodnotě oleje. Eskin et al. uvádí, že veškeré druhy fytosterolů jsou pravděpodobně zodpovědné za snižování hladiny LDL cholesterolu v lidském těle.

V řepkovém oleji je obsaženo celkem 5 mastných kyselin v rozdílném procentuálním zastoupení.

Tabulka 1: Složení řepkového oleje (Matthaus et al. 2016).

Nasyčené mastné kyseliny	kyselina palmitová	1,5-6 %
	kyselina stearová	0,8-2,5%
Mononenasyčené mastné kyseliny	kyselina olejová	50-66 %
Polynenasycené mastné kyseliny	kyselina linolová	18-24 %
	kyselina α -linolenová	6-14 %

3.4 Faktory ovlivňující olejnatost

3.4.1 Průměrná teplota

Řepka ozimá je plodinou mírného podnebí, tudíž teplota a srážky jsou hlavními faktory jejího úspěšného pěstování. Například časnost klíčení, rychlost regenerace po zimě, rychlost růstu - všechny tyto fyziologické procesy jsou do značné míry ovlivněny teplotou (Mendham et al. 1981). Klíčovým faktorem pro úspěšné pěstování je schopnost přezimování řepky ozimé.

Walton a Trent T.R. (1997) zjistili, že vysoké teploty během zrání řepky (BBCH 80-89), způsobují snížení obsahu oleje v jejích semenech a zároveň dochází ke zvýšení obsahu bílkovin. Naopak řepka rostoucí při nízkých teplotách se vyznačuje vysokým obsahem oleje a nízkým obsahem bílkovin. Navíc řada autorů dokázala, že nízká teplota zvyšuje obsah polynenasycených masných kyselin (Pleines et al. 1987, Deng & Scarth 1998, Laoretani et al. 2014).

3.4.2 Odrůda

Řepka ozimá byla, stejně jako všechny kulturní plodiny, podrobena procesu šlechtění z důvodu snahy o co nejlepší výnosové parametry, popřípadě o snížení obsahu antinutričních látek v řepkovém oleji. Kvalitní produkce začíná výběrem optimální odrůdy.

Jednotlivé odrůdy jsou šlechtěny podle požadavků pěstitelů. Za klíčové oblasti šlechtění nových odrůd můžeme označit výnos semene, výnos oleje, olejnatost a v neposlední řadě toleranci vůči patogenům, či abiotickým faktorům (Zanetti et al. 2009).

Odrůda se významně podílí na výsledné olejnatosti semen řepky ozimé (ze 4 %), pro srovnání ročník či podmínky stanoviště výslednou olejnatost ovlivňují z 1-3 % (Bečka 2008). Mezi současné české odrůdy s vysokým obsahem oleje patří například Dominator, Temptation či PX131 (Bečka 2021). Další oblastí, která je determinována volbou odrůdy, je kvalita olejů-respektive složení jednotlivých masných kyselin (Bečka 2008).

Z optimálního pěstebního hlediska je třeba přizpůsobit agrotechnická opatření nárokům vybrané odrůdy. Například u odrůd s vysokou tolerancí vůči houbovým chorobám pěstitel ušetří za fungicidní ošetření v době květu. Výběr vhodné odrůdy je jeden z předpokladů zvýšení ekonomičnosti pěstování řepky ozimé a snahy o trvale udržitelné zemědělství (Salisbury & Wratten 1999).

3.4.3 Vliv sponu rostlin na výnos a olejnatost

Spon rostlin je dalším důležitým faktorem, který ovlivňuje velikost výnosu na plochu (Dong et al. 2005, Ciampitti & Vyn 2011, Zhang et al. 2012). Podle Shahri et al. (2011) či Ciampitti a Vyn (2011) dochází k nejvyššímu výnosu při optimální hustotě rostlin. Optimální hustota polních plodin je závislá na jejich druhu, je ovlivněná abiotickými faktory a v neposlední řadě faktory agrotechnickými (Dong et al. 2005). Při poklesu hustoty rostlin dochází k částečné kompenzaci doprovodným zvýšením produktivity každé rostliny. Při nízké hustotě porostu u řepky dochází k větší produkci listové plochy, zvýšení počtu větví a nárůstu šesulí na rostlinu. V případě vysoké hustoty rostlin řepky dochází často k poléhání, nárůstu rizika výskytu patogenů a nedochází k nárůstu výnosu na jednotku plochy (Leach et al. 1999).

Leach et al. (1999) zjistil, že v sérii vícefaktorových experimentů vzrůstal výnos řepky ozimé do počtu 50 až 60 rostlin na metr čtvereční. Sidlauskas a Bernotas (2003) došli k závěru, že se výnos jarní řepky na jednotku plochy zvyšoval až do hustoty 120 rostlin na metr čtvereční, po překonání této hranice byl nárůst výnosu již zanedbatelný.

V některých studiích byl zkoumán vztah mezi sponem rostlin řepky, výnosem a obsahem řepkového oleje v semenech. Výsledky jednotlivých studií na vzájemné vztahy výše uvedených faktorů se rozcházejí, tudíž je vliv hustoty porostu na obsah oleje stále nejednoznačný. Například Zhang et al. (2012) při polním pokusu ověřoval vztah mezi olejnatostí a sponem rostlin. Došel k závěru, že zvýšení počtu rostlin na jednotku plochy pozitivně korelovalo s nárůstem obsahu oleje v semenech řepky ozimé. Tento výsledek může být způsoben tím, že podíl výnosu oleje v semenech na terminálu byl o 1 % vyšší než oleje obsaženého v semenech na postranních větvích. Na druhé straně s nárůstem hustoty rostlin se snížil počet postranních větví, došlo k synchronizovanému vývoji šesulí a semen, což by mohlo vést k rovnoměrnějšímu zrání a vyšší kvalitě semen (Leach et al. 1999).

3.4.4 Vliv doby setí na výnos a olejnatost

Otázkou kvalitativních a kvantitativních parametrů a jejich ovlivněním v důsledku doby setí se zabývala řada autorů. Například Lääniste et al. (2016) se ve své práci zaměřil na výnos, obsah oleje a hladinu glukosinolátů. Podle něj doba setí zásadně ovlivňuje kvalitativní parametry řepky ozimé. Největší množství oleje v semenech řepky měla varianta včasného výsevu (8.8. a 15.8.) – 50,2 % oleje v sušině. Naopak koncentrace oleje byla negativně ovlivněna pozdním setím (29.8.), kdy tato varianta vykazovala pouze 48 % oleje. Mimo jiné došlo i k ovlivnění koncentrace glukosinolátů a výnosu, kdy později setá varianta obsahovala větší množství glukosinolátů. Výsledky této studie souhlasí s výsledky Schulze et al. (1994), který také prokázal, že později seté porosty řepky dosahují horších výnosů a menšího obsahu oleje v semenech.

3.4.5 Vliv vodního stresu

Dalším faktorem, který se podílí na množství oleje uloženého v semenech řepky ozimé, je vodní režim rostliny v průběhu vegetace. Proto vystavení možným enviromentálním

stresům ovlivňuje nejen vegetativní části rostliny, ale i výnosové parametry, včetně olejnatosti (Turner 1986). Řepka při nedostatku vody reaguje snížením výnosů, snížením olejnatosti semen a podléhá morfologickým změnám. Tyto negativní účinky se projevují, když dojde k nedostatku vody v průběhu kvetení, či tvorbě šešulí (Sang et al. 1986).

Samotným důvodem, proč se při vodním stresu snižuje olejnatost je, že dochází k omezené tvorbě prekurzorů, které se podílejí na tvorbě oleje (Mingeau M. 1974). Dalším jevem je nárůst koncentrace glukosinolátů a fenolických látek v důsledku fyziologických změn rostliny. Podle Mailera a Cornishe (1987) tato skutečnost souvisí s dostupností síry v půdě a vodním režimem rostliny.

3.4.6 Stimulátory

Přírodní stimulanty pro růst a vývoj polních plodin se v současné době stávají stále oblíbenějšími prvky agrotechnických opatření. Biostimulátory aplikované v malých dávkách jsou zodpovědné nejen za stimulaci důležitých metabolických procesů, ale i syntézu rostlinných hormonů tím, že rapidně zvyšují jejich aktivitu. Zároveň aplikace biostimulátorů podporuje asimilační procesy, hospodaření s živinami a v neposlední řadě jejich translokaci. Vzhledem k výše popsaným důvodům se stalo téma vlivu biostimulátorů na kvalitativní a kvantitativní prvky oblíbeným mezi mnoha autory (Kocira et al. 2018, Szczepanek et al. 2016).

Například Guguła et al. (2019) dochází k závěrům, že užití biostimulantů má velmi malý vliv na výslednou olejnatost řepky. K opačným závěrům ve své studii došel (Kováčik et al. 2016), který po aplikaci biostimulátoru Mg-Titanit pozoroval průkazné zvýšení výnosu oproti kontrolní variantě o 0,3-0,6 t/ha a zvýšení obsahu oleje v semenech řepky o 0,94 % a 0,82 % u variant, kdy použil dávku Mg-Titanitu v celkovém množství 0,8 a 1,2 l/ha. Zajímavostí je, že výnos oleje se zvýšil u všech variant s aplikací biostimulátoru, bez ohledu na datum a množství dávky.

3.4.7 Vliv hnojení na olejnatost řepky ozimé

Vlivem užívání hnojiv na výnos a olejnatost řepky, popřípadě složením mastných kyselin v oleji, se v minulosti zabývala řada studií. Experimenty byly zaměřeny převážně na základní makroživiny – dusík, síra, fosfor, ale zájmem výzkumů se staly i mikroživiny, například zinek.

Názor odborné veřejnosti na vztah mezi hnojením řepky ozimé a nárůstem olejnatosti jejich semen se značně liší. Proto bych se chtěl na následujících stránkách podrobně zabývat vlivem jednotlivých živin na olejnatost a porovnat jednotlivé studie.

3.5 Prvky a hnojiva ovlivňující olejnatost semen řepky ozimé

3.5.1 Síra

Řepka ozimá se řadí mezi náročnější plodiny na živiny. Odběrový normativ na 1 tunu semen a odpovídajícího množství rostlinné biomasy řepky je zhruba 16 kg síry. Pro pochopení důležitosti síry z hlediska tvorby oleje si musíme uvědomit, že je důležitou součástí aminokyselin, vitamínů, proteinů a podílí se na enzymatických reakcích. Z tohoto důvodu olejninu pozitivně reagují parametry výnosu na hnojení sírou (McGrath & Zhao 1996).

Z důvodu vysokých nároků je řepka ozimá citlivá na nedostatek síry v porovnání s obilninami či leguminózami. Viditelné symptomy jejího nedostatku jsou pro čeled' brukvovitých poměrně specifické. Jako hlavní znaky nedostatku síry uvádí Haneklaus et al. (1996) viditelné morfologické změny tvaru a barvy okvětních lístků. Nedostatek síry vede k akumulaci aminokyselin, což je předpoklad pro omezení příjmu dusíku a jeho asimilace. Rostlina na nedostatek síry reaguje rozkladem zásobních sloučenin obsahujících síru. Celý tento fyziologický proces vystavuje rostlinu nadměrnému stresu, způsobuje omezení růstu a změnu poměru nadzemní ku podzemní biomase (Hawkesford a De Kok 2006). Samozřejmě, že tento stres negativně ovlivňuje kvalitativní a kvantitativní výnosové parametry, které při rapidním nedostatku síry mohou být sníženy až o 40 % oproti normálu (De Pascale et al. 2008, Abdallah et al. 2010). Mnoho autorů se zabývalo reakcí řepky ozimé na olejnatost jejích semen v důsledku různých dávek hnojení sírou, jelikož právě síra má důležitou úlohu v biosyntéze rostlinných olejů (Malarz et al. 2011, Bybordi 2014).

Podle některých autorů ovlivňuje hnojení sírou nutriční hodnotu oleje, koncentraci kyseliny erukové a glukosinolátů v oleji, množství vlákniny, či polyfenolů (Zhao et al. 1993b, Lu et al. 2016). Bybordi a Ebrahimian (2013) či Lu et al. (2016) uvádějí, že vhodný přísun síry do rostliny snižuje přeměnu kyseliny olejové (C18:1) na kyselinu erukovou (C22:0), což příznivě mění poměr nenasycených a nasycených mastných kyselin a tím je dosaženo zlepšení kvality oleje.

Četné množství studií prováděných na řepce prokazuje snížený obsah oleje v důsledku nedostatku síry (Haneklaus et al. 1999). Zahrnutí hnojení sírou pozitivně ovlivňuje obsah oleje v semenech (Grant et al. 2003, Lošak T. & Richter R. 2003, Mansoori I 2012). V experimentech prováděných na pozemcích, kde je v půdě obsažené dostatečné množství síry tak její další aplikací nedochází k zvýšení olejnatosti (McGrath & Zhao 1996).

Nezávislá aplikace dusíku a síry byla pro obsah oleje v řepce méně prospěšná než kombinovaná aplikace těchto živin. V experimentu s aplikací síry do půdy byl nejvyšší průměrný obsah oleje v semenech po dobu tří let studie získán po aplikaci 60 kg N/ha a 60 kgS/ha. V experimentu s použitím síry ve formě listového hnojiva se ukázalo jako nejúčinnější 60 kgN/ha a 20 kgS/ha (Tian et al. 2020).

Rathke et al. (2005) použil při polním pokusu dávky síry v množství 0, 10, 20 a 30 kg/ha, společně s rozdílnými dávkami dusíku. V důsledku přihnojování docházelo ke vzrůstajícímu množství oleje v semenech až do množství 20 kg S/ha s 40 kg N/ha. Množství vyšší než 20 kg S na 1 ha nepřineslo výrazné zvýšení olejnatosti semen.

Pozitivní vliv na zvýšení olejnatosti řepky v důsledku hnojení S a N uvádějí i další autoři. McGrath a Zhao (1996) konkrétně dávku od 20 kg S/ha do 40 kg S/ha v kombinaci se 180–230 kg N/ha. Podle jejich výsledků jsou pozitivní účinky hnojení sírou prokazatelné již po aplikaci 10 kg S/ha až do 40 kg S/ha, poté je již zvýšení obsahu oleje v semenech nepravděpodobné. Účinnost hnojení sírou se za 3 roky pokusu (1991, 1992 a 1993) pohybovala mezi 50 % a 73 %. Zajímavou skutečnost přinesl rozbor rostlin, které nebyly hnojeny sírou. V těchto rostlinách bylo nalezeno velké množství $\text{NO}_3\text{-N}$. Tato skutečnost poukazuje na narušení metabolismu dusíku v důsledku nedostatku síry. K signifikantnímu zlepšení olejnatosti došel při svém pokusu i Rehman et al. (2013), který uvádí jako optimální množství 40 kg S/ha ve formě thiomocoviny při aplikaci na list.

Barczak et al. (2019) uvádí, že aplikací různých dávek dusíku (0, 60, 120 a 180 kg N/ha) společně se sírou v množství 0, 20 a 60 kg S/ha, s přihlédnutím na formu jejich aplikace (před setím do půdy a na list) došlo k ovlivnění obsahu oleje v semenech řepky a výnosu. Větší obsah oleje v semenech byl pozorován při aplikaci síry do půdy, oproti aplikaci v podobě listového hnojiva. Hnojení sírou s dusíkem zvýšilo obsah oleje v semenech a výnos ve srovnání s aplikací těchto živin samostatně, ale jejich vzájemná interakce nebyla statisticky prokázána.

Mezi další autory, jejichž experimenty prokázaly zvýšení oleje v důsledku hnojení sírou, patří například Kurowski et al. (2012), Varényiová et al. (2017) a Zuo et al. (2016).

Harwood et al. (2013) uvádí, že důvodem zvýšení obsahu oleje po aplikaci síry je zvýšení obsahu CaO, který je substrátem pro lipogenezi (C_{18}). Dále také vitamín H (biotin), který obsahuje síru, je koenzymem karboxyláz a tvoří enzymový systém nezbytný pro biosyntézu mastných kyselin (Hawkesford a De Kok 2006). Důležitý je také pozitivní účinek síry na aktivitu acetyl-CoA karboxylázy (Fazili et al. 2010).

Pokusy s hnojením sírou jsou však v celé šíři odborné literatury nejednoznačné, či rozdíly mezi jednotlivými variantami jsou statisticky neprůkazné. Rudko (2011) dokonce uvádí, že obsah oleje v řepce je stabilní a je podmíněn pouze genetickou variabilitou.

Jeho teorii potvrdil i polní pokus Varényiové et al. (2017) v Mojimírovicích v letech 2013/2014 a 2014/2015. Nejnižší průměrný obsah oleje 44,1 % byl zjištěn na variantě, která byla nejvíce hnojena sírou v množství 65 kg/ha. Nejvyšší průměrný obsah oleje 45,5 % vykazovala varianta pokusu hnojená 40 kgS/ha. Ovšem ve srovnání s nehnojenou kontrolní variantou se jednalo pouze o zvýšení olejnatosti o 0,4 %. Rozdíly mezi variantami navíc nebyly statisticky průkazné.

Krauze a Bowszys (1996) uvádějí, že obsah bílkovin je v negativní korelaci s obsahem oleje, z tohoto důvodu je účinek hnojení sírou na výslednou olejnatost semen nejednoznačný. Při aplikaci množství 0, 10, 20 a 30 kg S/ha došlo u nejvyšší dávky hnojení k nárůstu výnosu o 0,5 t/ha bez průkazného zvýšení olejnatosti semen řepky ozimé. K zvýšení průměrného výnosu došel i Malarz et al. (2011), který považuje za optimální dávku až 60 kg S/ha. Ani u Malarzova pokusu se množství síry neprojevovalo průkazně na olejnatosti. Rozdílné výsledky těchto autorů mohou být způsobené zejména odlišnými abiotickými podmínkami pokusů, ale i užitím rozdílných odrůd, termínem aplikace, rozdílným množstvím a v neposlední řadě odlišnou agrotechnikou.

3.5.2 Dusík

Pro řepku ozimou jsou typické zvýšené nároky na příjem dusíku. Na druhou stranu je pro ni charakteristická nízká efektivita jeho využití, která je definována jako podíl hmotnosti semena o optimální vlhkosti (do 8 % dle ČSN 462300-2) vzhledem k množství dusíku v něm obsaženém (Rathke et al. 2006). V důsledku tohoto faktu je na odbornou veřejnost vyvíjen tlak k podrobnému výzkumu fyziologických a biochemických procesů, které jsou zodpovědné za jeho příjem tak, aby byla zvýšena efektivita pěstování řepky ozimé a bylo zamezeno negativním vlivům na životní prostředí (Sokólski et al. 2020). Pro zvýšení produktivity a efektivitu pěstování řepky je nutné vycházet z integrovaných strategií zahrnujících efektivní střídání plodin dle osevních postupů, efektivní hnojení a zpracování půdy (Walton & Trent T.R 1997). Odezva hnojení řepky ozimé dusíkem je velmi závislá na klimatických podmínkách, typu půdy, půdní úrodnosti, obsahu vody v půdě a její dostupnosti pro rostlinu a v neposlední řadě na kultivaru (Grant & Bailey 1993).

Řepka získává dusík prostřednictvím více forem – dusičné (NO_3^-), amonné (NH_4^+), močoviny ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$). Rostliny přijímají dusík primárně ve formě dusičnanů, které jsou následně redukovány na amoniak, jenž je následně asimilován do formy aminokyselin (Xu et al. 2012). Nedostatek vazebných míst v půdě způsobuje, že je aniont dusičnanů náchylný k vyplavování (Kinsey & Walters 2006). Hnojení dusíkem se obvykle provádí užitím močoviny, která obsahuje 46 % N, či síranu amonného (21 % N) nebo formou kombinovaných hnojiv (např. fosforečnan amonný) (Trenkel 2010).

Podle Bhattý (1964) došlo při nadměrné aplikaci dusíkatých hnojiv k negativní korelaci mezi proteiny obsaženými v semenech a množstvím oleje. To potvrdil při svém experimentu i Ridley (1973) s tvrzením, že s narůstající koncentrací proteinů klesá množství oleje a naopak.

V experimentech (Gao et al. 2010) bylo prokázáno, že přihnojování nadměrným množstvím dusíku nemá vliv na průměrný výnos a snižuje obsah oleje v semenech řepky). Na porost řepky bylo aplikováno syntetické hnojivo (84 a 168 kg N/ha) a došlo k průkaznému snížení obsahu oleje v semenech oproti kontrolním variantám, což odpovídá výsledkům studií, ke kterým došli Brennan et al. (2016) či Rathke (2005).

Rathke et al. (2005) zjistil, že výnos semen ozimé řepky měl tendence se zvyšovat s nárůstem dávky dusíku, za současného poklesu množství oleje v semenech. Nejnižší obsah oleje (43,9 %) byl pozorován ve variantě, kdy předplodinou řepky byl hrách a množství dusíku bylo 240 kg/ha. Nicméně tato varianta přinesla nejvyšší celkové množství oleje na hektar (2,15 t/ha) díky vysokému výnosu semen. Nejvyšší olejnatosti bylo dosaženo ve variantě nehnojené, kdy předplodinou byl jarní ječmen (47,9 %), avšak tato varianta vykazovala nejnižší průměrný výnos (1,31 t/ha).

S těmito tvrzeními je v souladu i tvrzení Taylor et al. (1991), který uvádí, že nejméně oleje (40,6 %) bylo obsaženo v semenech řepky, u které byla aplikována nejvyšší dávka dusíku (200 kg N/ha). Zatímco nejvyšší koncentraci oleje (46,4 %) měla varianta, kde nebyl aplikován žádný dusík.

Na druhou stranu Aminpanah (2013) uvádí, že hnojení různými dávkami dusíku (0, 50, 150 a 200 kg N/ha) nemělo statisticky průkazný vliv na olejnatost semen řepky ozimé. Nejvyšší

olejnatost přesto vykazovala kontrola (42,8 %), zatímco nejnižší olejnatost (40,9 %) byla u varianty, která byla hnojena 200 kg N/ha. Stejně, jako ostatní autoři, i Aminpanah (2013) uvádí, že největší výnos měla varianta, která byla hnojena největším množstvím dusíku (200 kg N/ha).

Také podle Ibrahim et al. (1989) nejvyšší výnos semene vykazovala varianta, která byla hnojena nejvyšší dávkou dusíku (213 kg N/ha) a hnojení dusíkem v jeho pokusech nemělo vliv na výslednou olejnatost, ani na složení mastných kyselin.

Naopak v pokusech Gao et al. (2010) došlo ke změnám procentuálního zastoupení jednotlivých mastných kyselin, například snížení kyseliny linolové a zvýšení obsahu kyseliny palmitové v důsledku hnojení dusíkem. Zobecněním tohoto výsledku docházelo vlivem aplikace hnojiv k růstu objemu nasycených mastných kyselin o 6,8 - 8,32 % a snížil se poměr kyseliny olejové vůči kyselině linolové a alfa linolenové o 2,04 - 2,52 %. Aplikace hnoje měla menší účinky na složení oleje než aplikace minerálních hnojiv (Gao et al. 2010).

3.5.3 Draslík

Draslík je dalším důležitým prvkem nezbytným pro optimální vývoj řepky. Je obecně rostlinami přijímán ve formě monovalentního kationtu K^+ . Pro draslík je typická snadná mobilita rostlinou přes apoplastické i symplastické cesty. Pro rostliny je obecný obsah draslíku v pletivech od 1 % do 5 %. Dále je osmoticky významným prvkem, ovládá otevírání a zavírání průduchů a podílí se na vodním režimu rostliny (Nobel 2009).

Četné výzkumné studie hnojení prokázaly, že řepka zřídka reaguje konzistentně či ekonomicky na hnojení draslíkem, pokud úroveň draslíku neklesne pod kritickou úroveň (Sheppard a Bates 1980). Dalšími, kdo se zabýval problematikou hnojení draslíkem byl Cheema et al. (2012). Ve své práci dochází k závěru, že hnojení draslíkem pozitivně ovlivnilo výnos (3,0672 t/ha při dávce 120 kg K/ha), oproti kontrole (2,3538 t/ha). Ovšem olejnatost se zvyšující se dávkou draslíku klesala (42,46 % kontrola) ve srovnání s nejvyšší dávkou K (120 kg K/ha), která měla průměrnou olejnatost 39,25 %. K obdobným výsledkům dospěl také Khan et al. (2004), který aplikoval draslík v různých dávkách (0, 25, 75, 100, 125 a 150 kg K/ha). Nejvyšší výnos vykazovala opět varianta s nejvyšším množstvím K (150 kg/ha), konkrétně 3,473 t/ha. Nejnižší výnos byl zaznamenán u kontroly (2,585 kg/ha). Nejvyšší olejnatost byla u kontroly (42,86 %), nejnižší olejnatost vykazovala varianta s nejvyšším množstvím K (37,42 %). Tian et al. (2020) dospěl k závěru, že se vzrůstajícím množstvím NPK hnojiv klesá průměrná olejnatost. Výsledky těchto studií potvrzují, že užití draslíku má pozitivní vliv na průměrný hektarový výnos, ale s jeho vzrůstajícím množstvím klesá průměrná olejnatost u semen řepky ozimé.

3.5.4 Zinek

Zinek patří mezi nejčastější prvky z kategorie mikroživin, s jehož nedostatkem se poměrně často setkáváme v praxi nehledě na podnebí (Grewal & Graham 1997). Problémy s nedostatečným množstvím zinku se obvykle vyskytují ve vápenaté půdě kvůli vysokému pH (>7,0), vysokému množství volného uhličitanu vápenatého, nízkému obsahu organických látek a vzájemným vazbám s dalšími prvky (Stevens & Mesbah 2004).

Podle Tafrishi et al. (2009) jehož výzkum se zaměřoval na zvýšení výnosu a olejnatosti jarní řepky v Iránu, po aplikaci síranu zinečnatého (v dávce 10 kg Zn/ha) došlo k průkaznému zvýšení olejnatosti semen u všech třech hodnocených odrůd. Mezi další autory, kteří popisují zvýšení olejnatosti, patří i Manaf et al. (2019), který použil dávku 0, 5 a 10 kg Zn/ha. Aplikace zinku ovlivnila pozitivně výnos semen, hmotnost tisíce semen, ale významný vliv na výslednou olejnatost semen se lišil u jednotlivých kultivarů. Kultivar Pakola vykazoval o 1,5 % vyšší olejnatost při dávce 5 kg Zn/ha, oproti kontrolní variantě.

Ahmadi (2010) vyhodnocoval vliv hnojení síranem zinečnatým. Množství použitého Zn odpovídalo 0, 30 a 60 kg Zn /ha, v kombinaci s různými dávkami dusíku (0, 50, 100, 150 kg N/ha). Dospěl k závěru, že aplikace zinku neměla průkazný vliv na výšku rostlin a hmotnost tisíce semen, ale významně zvýšila počet větví na rostlinu, počet šesulí a výnos semen. Také olejnatost semen se s aplikací zinku zvyšovala. Nejvyšší olejnatosti bylo dosaženo při dávce 60 kg Zn/ha. Zvýšená aplikace dusíkatého hnojiva měla vliv na zvýšení výšky rostlin, počet větví na rostlinu, počet šesulí a výnos semene. Celkově nejlepších výnosových parametrů dosahovala varianta, která byla hnojena 60 kg Zn/ha a 150 kg N/ha.

Olama et al. (2014) uvádějí, že v nádobovém pokusu s řepkou aplikace zinku (0, 5 a 10 mg Zn/kg) průkazně zvýšila olejnatost semen u obou sledovaných odrůd řepky.

3.5.5 Bór

Bór se svojí charakteristikou řadí mezi základní mikroživiny pro optimální růst vyšších rostlin (Brown et al. 2002, Goldberg 1997). Bór je v půdě zastoupen primárně v aniontové formě ve vodním roztoku s malou disociační konstantou. Je významným prvkem, který se podílí na tvorbě buněčné stěny (Matoh 1997). Jeho nedostatek se projevuje podprůměrným růstem podzemní biomasy.

Rozsáhlé studie uvádějí, že požadavky řepky ozimé na síru a bór jsou oproti ostatním polním plodinám nadstandardní (Subhani et al. 2003, Bybordi 2014, Tian et al. 2020). Náročnost je dána tím, že bór a síra jsou důležité při syntéze glukosinolátů a mastných kyselin (McGrath & Zhao 1996). Některé polní experimenty prokázaly zlepšení kvalitativních parametrů řepky ozimé v důsledku samostatné aplikace obou živin. Zhoršení kvality řepky a snížení olejnatosti v semenech naopak nastalo při společné aplikaci obou živin. Reakce řepky na hnojení bórem byly nejpříznivější, když byl bór ve formě hnojiva zapraven rovnou do půdy (Malhi & Gill 2002).

Dále několik studií uvádí příznivý účinek bóru na snížení toxického vlivu hliníku na růst rostlin (Lenoble et al. 1996). Mnoho studií již poukázalo na fakt, že přítomnost toxického hliníku mění mechanismy rostlinných enzymů v ozimé řepce, stejně tak ovlivňuje obsah proteinů či obsah malondialdehydu (Zhang et al. 2012). V roce 2018 vydal Yan et al. studii, kdy sledoval vývoj porostu řepky ozimé. Toxicita hliníku zde byla zmírněna přihnojováním bórem. Toto přihnojování pozitivně ovlivnilo množství celkové fytomasy porostu.

Tématikou vlivu bóru se zabývala i studie Varényiové a Duksayové (2014), kdy byl porost řepky ozimé hnojen různými dávkami bóru. Základní hnojení bylo 183 kg N/ha a 46,5 kg S/ha s rozdílnými dávkami bóru (200, 400 a 800 g B/ha). Nejvyšší obsah oleje v semenech řepky byl

stanoven na nehnojené kontrolní variantě (41,61 %) a nejnižší obsah oleje (37,49 %) vykazovala varianta hnojená pouze dusíkem a sírou. Obsah oleje byl o 3,96 % vyšší u varianty pokusu hnojené nejvyšší dávkou bóru (800 g B/ha), oproti variantě hnojené pouze sírou a dusíkem. Varényiová a Ducsay (2014) dochází k závěru, že hnojení bórem mělo pozitivní vliv na výslednou olejnatost řepky ozimé.

Listové hnojení může být podle Puzyrské et al. (2018) efektivním způsobem, jak dodávat bór rostlinám, když je aktivita kořenů omezena suchou půdou. Dále Hossain et al. (2015) prokázal vztah mezi hnojením bórem a rychlostí fotosyntézy, potažmo výměnou plynů s okolím. Hossainovy výsledky potvrzuje i studie Puzynské et al. (2018), která také zkoumala vliv hnojení sírou a bórem na rychlost fotosyntézy rostlin. V přímém důsledku hnojení došlo k zvýšení rychlosti fotosyntézy na vybraných odrůdách řepky ozimé a následnému zvýšení průměrného výnosu na jednotku plochy.

3.5.6 Hořčík

Stejně jako předchozí prvky je i hořčík důležitou součástí pro kvalitní, zdravý a vyrovnaný růst zemědělských plodin. Je zodpovědný za přímou tvorbu výnosu, jelikož jeho nedostatek značně limituje aktivitu fotosyntetického aparátu a transport asimilátů do zásobních orgánů rostlin. Pokles transportu asimilátů má za přímý následek snížený obsah asimilátů v zásobních orgánech (Hermans et al. 2005, Ceylan et al. 2016, Cakmak a Kirkby 2008).

Je nutné podotknout, že vlivem hořčíku na olejnatost se v minulosti nezabývalo tolik autorů, jako vlivem dusíku či síry. Geng et al. (2021), který aplikoval šest dávek Mg (0-45 kg Mg/ha), pozoroval zvýšení výnosu (o 29 % napříč všemi variantami oproti kontrole), zvýšení průměrné olejnatosti semen (ze 43,5 % na 44,9 %) a v neposlední řadě nárůst výnosu oleje z hektaru (o 40 % více, oproti nehnojené variantě). Ke stejnému závěru dochází i Rekas et al. (2015), který po aplikaci hořčíku zaznamenal zvýšený obsah oleje v semenech řepky ze 42,8 % (kontrola) na 46,8 %. Hnojení hořčíkem mělo i významný vliv na následnou klíčivost semen a jejich vitalitu.

Zásobní látky obsažené v semenech jsou důležité z hlediska zdroje energie pro prvotní vývoj rostlin. Například Gu et al. (2019) prokázal, že semena kultivarů s vysokým obsahem oleje klíčí rychleji a následně je i růst rostlin v prvotních fázích rychlejší a vyrovnanější, oproti kultivarům, jejichž semena vykazovala menší obsah oleje. Mnoho autorů navíc prokázalo zhoršené klíčení porostů řepky na půdách s nízkým obsahem hořčíku, což v kombinaci s dalšími stresovými podmínkami může vést k rapidnímu snížení výnosových prvků (Gusta et al. 2004, Assefa et al. 2018).

3.5.7 Hněp

Výhodou hnoje oproti syntetickým hnojivům je jeho nízká cena. Obsahuje jak mikroživiny, tak makroživiny a jeho aplikace má zlepšující vliv na obsah organického uhlíku v půdě (Fronning et al. 2008). Mezi jeho další benefity patří zlepšení fyzikálních a chemických vlastností půdy (Eghball et al. 2002).

Dále existuje riziko vylučování reziduí N a P ve formě solí do povrchových a podzemních vod, nárůst rizika šíření semen plevelů a v neposlední řadě vysoká variabilita živin (Jacobs 1995) . Při zkoumání vlivu aplikace hnoje na olejnatost narážíme, jako v případě ostatních prvků, na relativní omezenost studií.

Gao et al. (2010) se zabýval srovnáním kvantitativních parametrů řepky ozimé hnojené hnojem a syntetickými hnojivy. Z výsledků tohoto experimentu vyplývá, že výnos řepky na plochu nebyl ovlivněn druhem použitých hnojiv. Při vyhodnocování půdní analýzy po sklizni Gao et al. (2010) došel k závěru, že koncentrace dusičnanů v horní půdní vrstvě 0-30 cm byly pro hnůj i syntetické hnojivo identické. Jedinou výjimku tvořil pozemek, kde byl v roce 2007 aplikován hnůj. Byly zde naměřené nadprůměrné hodnoty dusičnanů. Ve studii Gao (2010) byl rozsah množství oleje v rámci variant a ročníků od 444 do 536 ml/ kg, což odpovídá procentuálnímu rozsahu 40,4-48,8 %. Olejnatost se s dávkou dusíku snižovala, zejména při použití syntetických hnojiv. U variant hnojených hnojem byla olejnatost vyšší než u variant se stejnou dávkou N dodanou v syntetických hnojivech.

4 Metodika

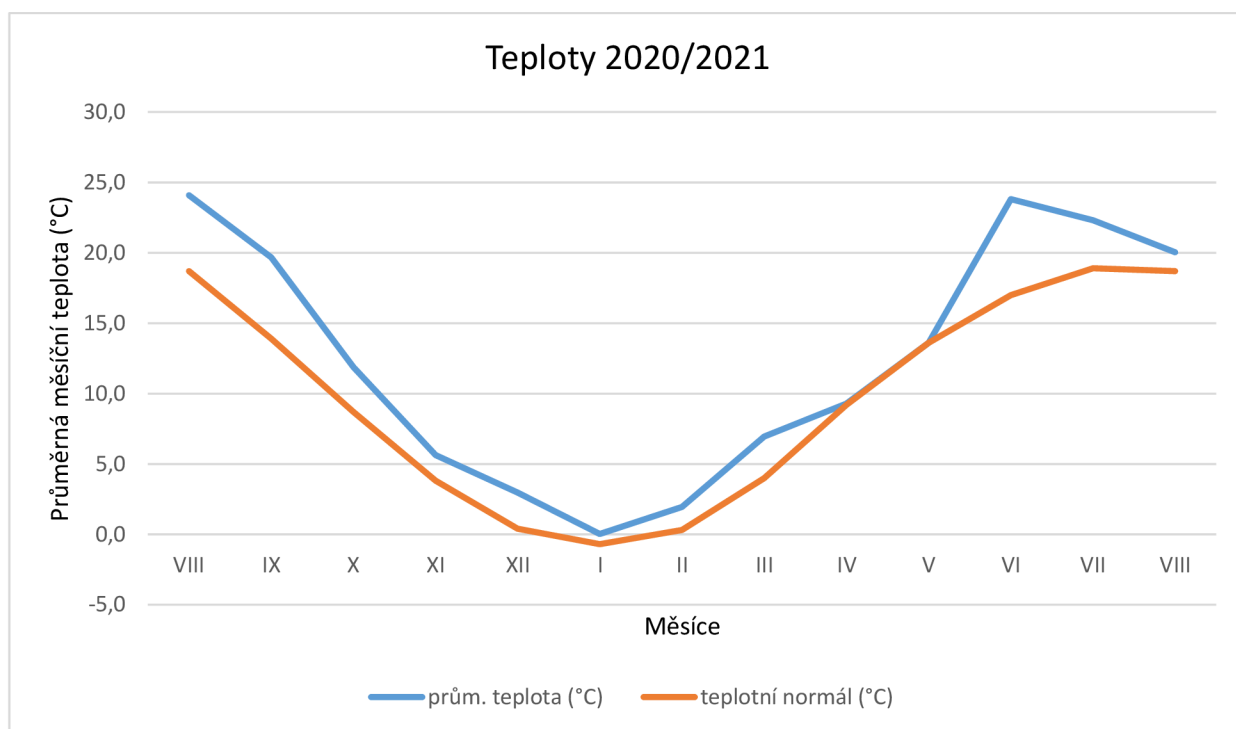
V rámci maloparcelkového pokusu byl zkoumán vliv hnojení na olejnatost semen řepky ozimé ve vegetačním období 2020/2021. Byl zkoumán vliv rozdílných dávek hnojení a rozdílných termínů jejich aplikace na olejnatost semen řepky ozimé.

4.1 Charakteristika lokality

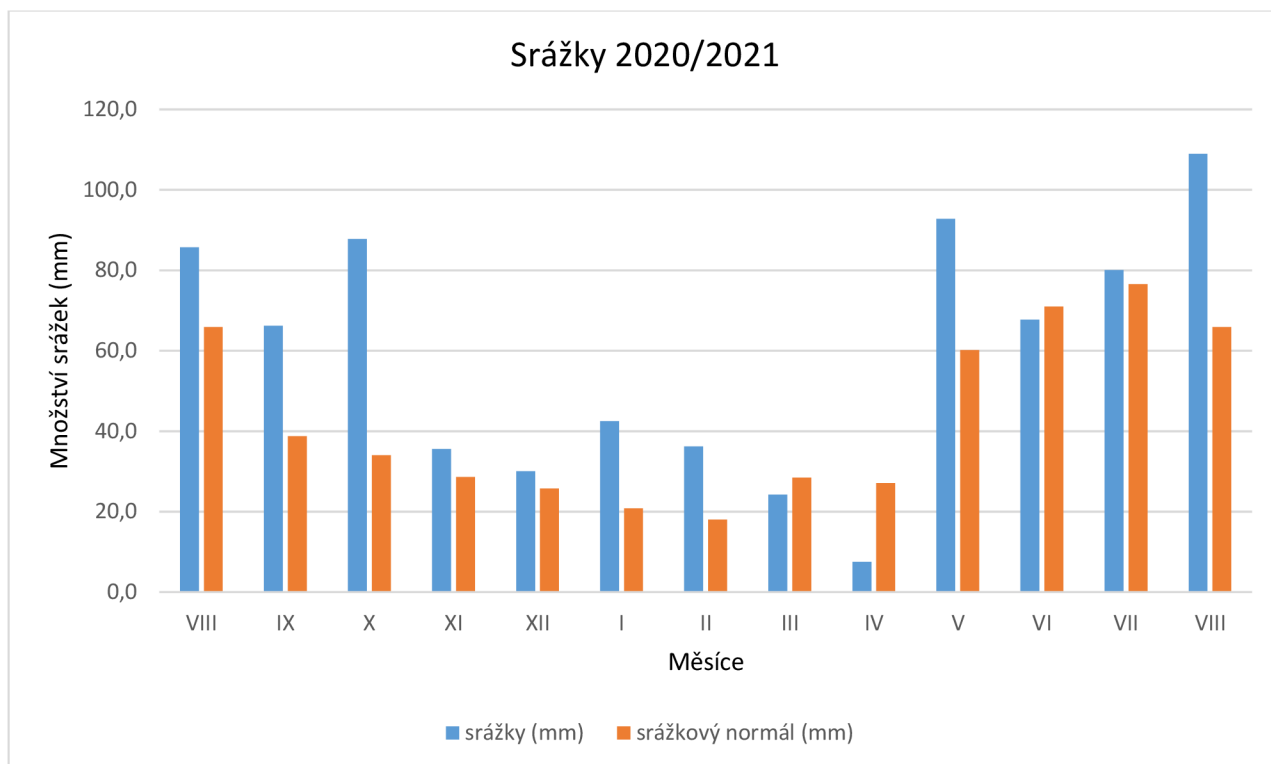
Maloparcelkový pokus byl založen na pokusné stanici Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity v obci Červený Újezd, která leží ve Středočeském kraji, zhruba 22 kilometrů západně od Prahy. Nadmořská výška lokality je 401 m n. m. a svým charakterem spadá do řepařské výrobní oblasti.

4.1.1 Počasí

Pokusné plochy se nachází v teplém a mírně suchém klimatickém regionu České republiky, s průměrným úhrnem slunečního světla 3701-3800 MJ/m² (Český hydrometeorologický ústav 2021). Teploty a srážky, v porovnání s klimatologickým normálem (Praha Ruzyně) jsou uvedeny v Grafu 2 a 3.



Graf 2- Průběh průměrných měsíčních teplot ve srovnání s klimatickým normálem



Graf 3- Srážky za vegetační období 2020/2021 ve srovnání s klimatickým normálem

4.1.2 Půda

Pokusné plochy se nacházejí na rovině s všesměrnou expozicí, s celkovým obsahem skeletu do 10 %. Jedná se o půdy hluboké, které se v teplém, či mírně suchém regionu vyznačují střední produkční schopností. Mají střední rychlosti infiltrace a vysokou retenční vodní kapacitou (od 320 l/m²). Svým charakterem nejsou ohroženy acidifikací, ale možným nebezpečím je jejich znehodnocení utužením.

Z pokusné plochy byly dne 8.9.2020 odebrány vzorky pro půdní rozbor. Půda byla slabě kyselá (pH 6,6), s nízkým obsahem dostupné síry (11,8 mg/kg), středním obsahem humusu (2,5 %), dobrou zásobou fosforu (84 mg/kg), středním obsahem draslíku (160 mg/kg), dobrým obsahem vápníku (2210 mg/kg), střední zásobou hořčíku (135 mg/kg) a hmotnostní poměr K/Mg byl dobrý (1,3).

4.2 Metodika pokusu

Předplodinou ozimé řepky byl jarní ječmen (sklizen 28.7.2020), jehož sláma byla rovnoměrně zapravena do půdy. Podmítka byla provedena 30.7. 2020 do hloubky 10 cm. Za 24 dní (23.8.2020) následovala seťová orba do hloubky 22 cm. Příprava půdy k setí probíhala za pomoci kompaktoru, den po seťové orbě. O den později probíhalo samotné setí řepky ozimé odrůdy LG Architect s výsevkem 50 klíčivých semen na m², do hloubky 1,5-2 cm, šířka řádku byla 12,5 cm. Velikost pokusných parcel byla 1,25 x 8 m. Samotný experiment se skládal z 10 různých variant se čtyřmi opakováními. Všechny varianty byly ošetřeny rodenticidem, preemergentním herbicidem a insekticidem viz tabulka 2.

Tabulka 2: Agrotechnika polního pokusu řepky ozimé 2020/2021

Agrotechnika pokusů s řepkou ozimou Výzkumná stanice Červený Újezd 2020/21	
<u>Podzim</u>	
28.07.2020	sklizeň předplodiny (jarní ječmen) – sláma rozdrčena
30.07.2020	podmítka (10 cm)
23.08.2020	seťová orba (22 cm)
24.08.2020	předseťová příprava půdy (kompaktor)
24.08.2020	výsev, hloubka 1,5-2 cm, řádky 12,5 cm, výsevek 50 kl. semen na m ²
25.08.2020	rodenticid Stutox lokálně do děr (zpočátku 2-3x týdně, pak dle potřeby)
27.08.2020	herbicide Butisan Complete (2,5 l/ha)
08.09.2020	insekticid Nexide (0,08 l/ha)
15.09.2020	insekticid Mospilan (100 g/ha) + Vaztak (0,1 l/ha) + Galant (0,5 l/ha)
<u>Jaro</u>	
03.03.2021	1a. dávka dusíku a síry (40 - 60 kgN/ha dle varianty) v DASA či LAD
19.03.2021	1b. dávka dusíku a síry (0 - 60 kgN/ha dle varianty) v DASA či LAD
26.03.2021	insekticid Nexide (0,08 l/ha)
31.03.2021	insekticid Nexide (0,08 l/ha) + Gazelle (100 g/ha)
07.04.2021	2. dávka dusíku a síry (50 - 70 kgN/ha dle varianty) v DASA či LAD
21.04.2021	insekticid Trebon (0,2 l/ha)
28.04.2021	3. dávka dusíku a síry (30 kgN/ha) v DASA či LAD

Tabulka 3: Varianty pokusu

Varianta	Dávka N (kg/ha)	Dávka S (kg/ha)	Použité hnojivo a dávka N (kg/ha) v jednotlivých termínech			
			1a	1b	2	3
1	220	0	LAD (60)	LAD (60)	LAD (70)	LAD (30)
2	180	0	LAD (40)	LAD (50)	LAD (60)	LAD (30)
3	140	0	LAD (50)		LAD (60)	LAD (30)
4	180	75	DASA (40)	DASA (50)	DASA (60)	LAD (30)
5	180	50	DASA (50)	DASA (50)	LAD (50)	LAD (30)
6	180	25	DASA (50)	LAD (50)	LAD (50)	LAD (30)
7	180	25	LAD (50)	DASA (50)	LAD (50)	LAD (30)
8	180	25	LAD (50)	LAD (50)	DASA (50)	LAD (30)
9	180	15	LAD (50)	LAD (50)	LAD (50)	DASA (30)
10	180	25	LAD (50)+ Krista (25 S)	LAD (50)	LAD (50)	LAD (30)

4.3 Použitá hnojiva

4.3.1 LAD

LAD, též známější jako ledek amonný s dolomitickým vápencem je hnojivo, které obsahuje 27 % dusíku (13,5 % amonný, 13,5 % nitrátové formě) a 4 % MgO. Toto hnojivo tvoří směs dusičnanu amonného s jemně mletým vápencem. Celá textura hnojiva ve formě drobných krystalů zaručuje dlouhodobou skladovatelnost.

4.3.2 DASA

DASA je dusíkaté hnojivo s přidaným obsahem síry (13 %). Jeho použitím je převážně jarní regenerační hnojení. Obsahuje 18,5 % N v amonné formě a 7,5 % N je obsaženo v nitrátové formě (Vaněk et al. 2016).

4.3.3 YaraTera Krista MgS

YaraTera Krista MgS je vodorozpustné hnojivo, které obsahuje síru ve formě SO₃ (33 %) a MgO (16 %).

4.4 Postup sběru dat

4.4.1 Stanovení výnosu

Skřízeň byla provedena maloparcelkovou sklízecí mlátičkou Wintersteiger. Z každé parcelky byla stanovena hmotnost sklizených semen, podíl nečistot a aktuální vlhkost semen. Byl proveden přepočet na výsledný výnos v t/ha při 8 % vlhkosti a 2 % nečistot. Z každé parcelky byl odebrán vzorek a vyčištěn.

4.4.2 Stanovení olejnatosti

U odebraných vzorků semen z každé varianty byla analyzována vlhkost a obsah oleje. Olejnatost semen řepky ozimé byla zjišťována nedestruktivní metodou nukleární magnetické rezonance (NMR), za užití přístroje Bruker-minispec mq-one TD-NMR analyser. Jedná se o analytickou metodu, která poskytuje informace o struktuře zkoumané látky na základě absorpce radiofrekvenčního záření vzorkem, který je umístěn v silném magnetickém poli. Vzorek o hmotnosti cca 19 g byl odebrán ze souhrnného vzorku, umístěn do skleněné kyvety, zvážen s přesností na tři desetinná místa a vložen do NMR analyzátoru. Na základě dříve vytvořené kalibrační křivky pro olejnatost semen řepky byla přístrojem stanovena olejnatost a vlhkost vložených semen. Výsledná olejnatost byla přepočtena na olejnatost v sušině. Vzorky byly analyzovány v laboratoři katedry agroekologie a rostlinné produkce na České zemědělské univerzitě v Praze.

4.5 Analytické metody

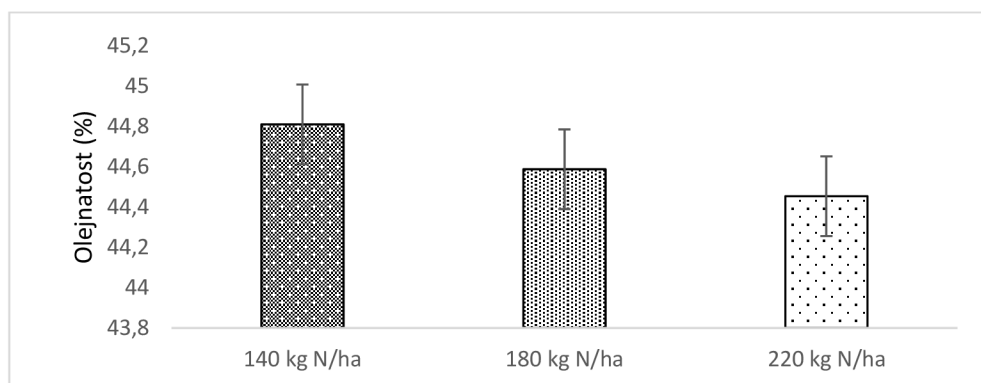
Získaná data byla analyzována v statistickém programu Statgraphics Plus for Windows 4.0 (firmy Manugistics – Maryland, USA) za použití metody analýzy rozptylu (ANOVA), která umožňuje ověřit, jestli mají rozdíly mezi variantami vypovídající statistický význam. Pro podrobnější vyhodnocení výsledků analýzy rozptylu byla použita LSD metoda mnohonásobného porovnávání (Multiple Range Test), pomocí níž jsme zjistili, které z testovaných variant se od sebe statisticky významně lišily. Ve všech hodnoceních byla použita 95% hladina významnosti. Finální grafy a tabulky byly sestaveny v programu MS Excel.

5 Výsledky

Na maloparcelkových pokusech založených v Červeném Újezdu ve vegetačním roce 2020/2021 jsme zkoumali vliv rozdílných hnojiv a aplikačních termínů na výslednou olejnatost semen řepky ozimé. Ze získaných dat jsme vyhodnotili vliv stupňované dávky dusíku (140, 180 a 220 kg/ha), stupňované dávky síry (0, 15, 25, 50 a 75 kg/ha), termínu hnojení sírou (3.3., 19.3. a 7.4.) a použitých hnojiv (DASA a Krista) na olejnatost, výnos semene a výnos oleje. Velikost datového souboru a jeho vypovídající hodnoty byly značně omezeny, jelikož se jednalo pouze o jednoletý pokus. Na druhou stranu zde můžeme pozorovat určité trendy vlivu rozdílného hnojení na kvantitativní i kvalitativní parametry.

5.1 Vliv dávky dusíku

V naší práci jsme nezaznamenali statisticky významný vliv hnojení dusíkem na výslednou olejnatost semen řepky ozimé. Navzdory těmto výsledkům můžeme pozorovat zajímavé trendy. Nejvyšší množství oleje (44,81 %) vykazovala varianta, kde bylo použito 140 kg N/ha viz graf 4.

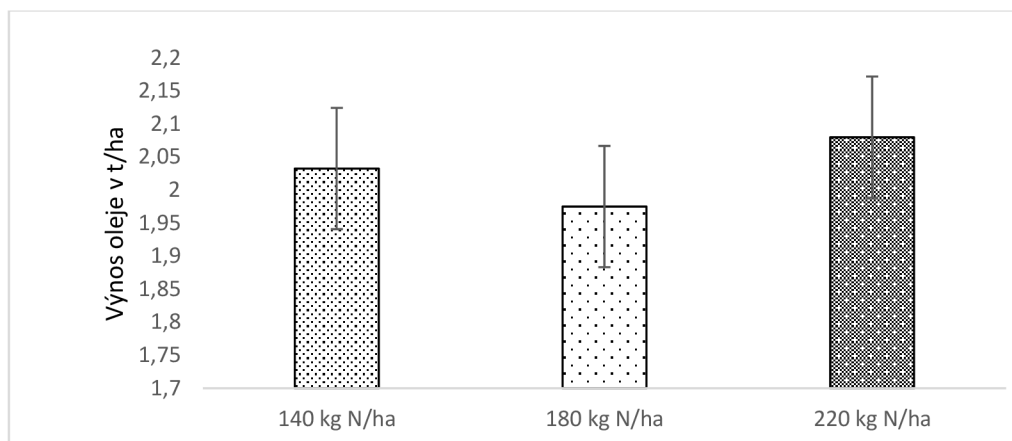


Graf 4: Obsah oleje v semenech řepky ozimé podle jednotlivých dávek dusíku

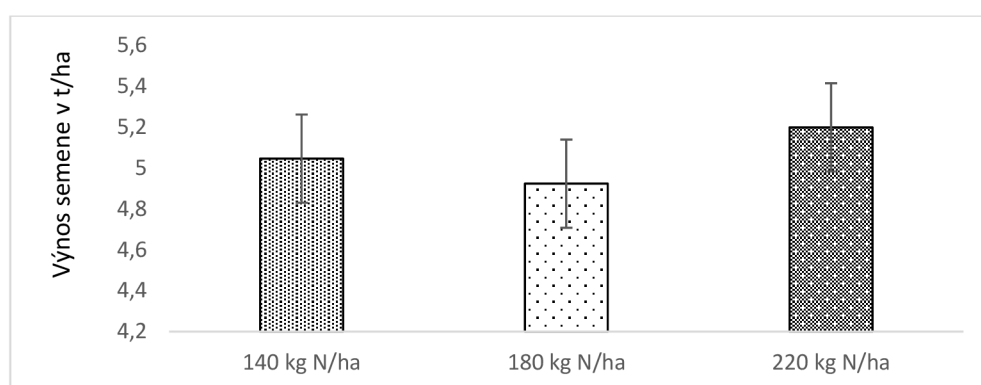
Při porovnávání jednotlivých variant pokusu podle množství použitého dusíku vykazovala nejvyšší obsah oleje v semenech řepky varianta, u které bylo použito nejmenší množství dusíku na hektar. Pomocí statistického hodnocení analýzou rozptylu se nám nepodařilo prokázat signifikantní vliv hnojení dusíkem na olejnatost semen řepky ozimé, ale můžeme zde pozorovat trend, že se zvyšující dávkou dusíku se snižovala průměrná olejnatost.

Také ve výnosu semen nebyly mezi variantami statisticky průkazné rozdíly (graf 7). Ačkoliv tento výsledek není statisticky průkazný, tak nejvyšší dávka dusíku měla o 150 kg/ha vyšší výnos, oproti dávce nejmenší.

Průměrný výnos oleje z hektaru (viz graf 6) měl tendenci růst společně se zvyšováním dávky dusíku, ale tento parametr, stejně jako předchozí dva není statisticky průkazný. Rozdíl výnosu oleje mezi nejvyšší a nejnižší dávkou dusíku byl 50 kg na ha.



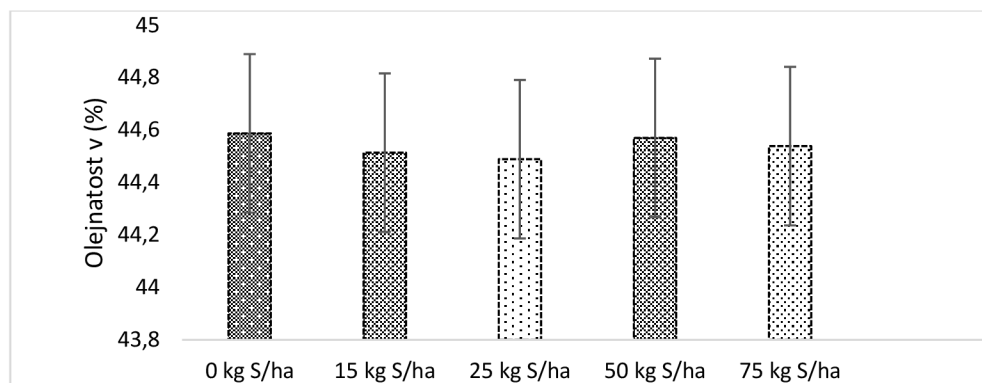
Graf 5: Výnos oleje z hektaru podle jednotlivých dávek dusíku



Graf 6: Výnos semene z hektaru podle jednotlivých dávek dusíku

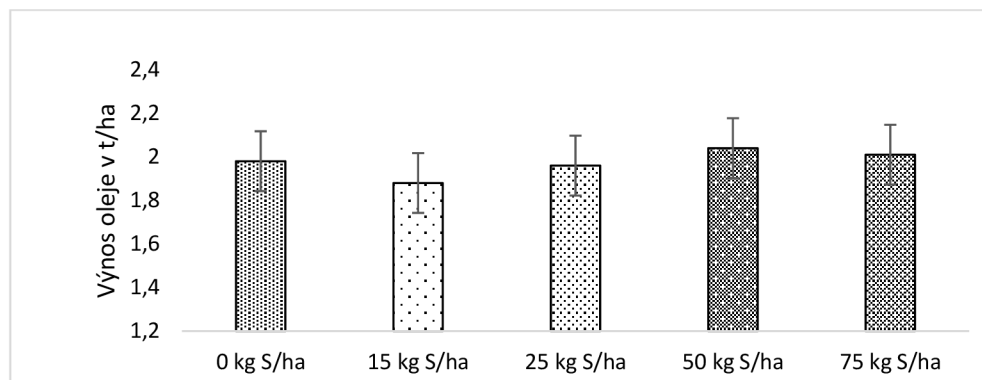
5.2 Vliv dávky síry

V rámci polního pokusu byl hodnocen vliv hnojení sírou na vybrané parametry výnosu (olejnatost, výnos oleje z hektaru a výnos semene z hektaru). Celkem bylo sírou hnojeno 7 variant, které byly hnojeny dávkou 15, 25, 50 a 75 kg S/ha. Pomocí statistického hodnocení analýzou rozptylu se nám nepodařil prokázat vliv stupňovaného hnojení sírou na olejnatost, výnos semen ani výnos oleje. Nejvyšší olejnatost vykazovala kontrolní varianta, ale můžeme zde pozorovat mírný nárůst olejnatosti u dávky 50 kg S/ha, následné zvýšení dávky síry již vykazovalo snížení obsahu oleje, které ovšem nebylo statisticky průkazné.



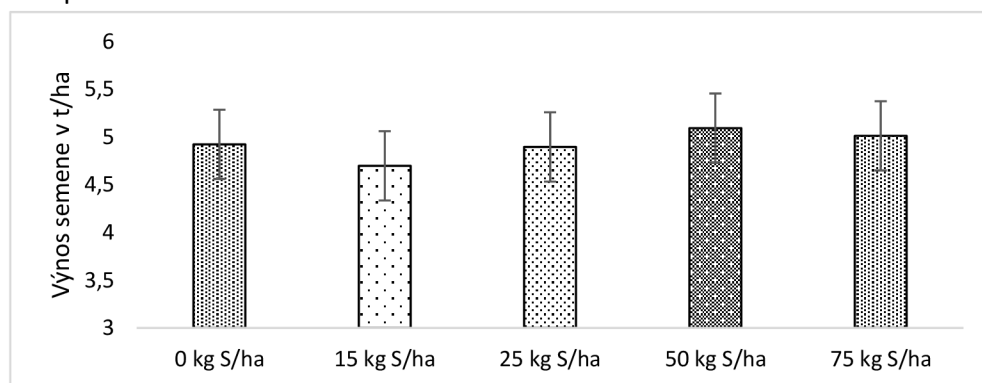
Graf 7: Vliv různých dávek síry na obsah oleje v semenech řepky

Obdobný trend, ač také statisticky nesignifikantní lze pozorovat u vlivu síry na výnos oleje z hektaru. Varianta hnojená 50 kg S/ha měla o 160 kg větší množství oleje než varianta nejnižší, která byla hnojená 15 kg S/ha. Zvýšení dávky síry nad 50 kg S/ha již nepřineslo žádné zvýšení výnosu oleje (graf 8).



Graf 8: Vliv rozdílných dávek síry na výnos oleje z hektaru

Nejvyšší výnos semene byl zaznamenán u varianty, která byla hnojena 50 kg S/ha. Rozdíl mezi nejvyšším výnosem a kontrolní variantou byl 0,17 t/ha. Ačkoliv ani tento výnosový parametr nebyl statisticky průkazný, tak zde můžeme pozorovat stejný trend jako u dvou předchozích parametrů.

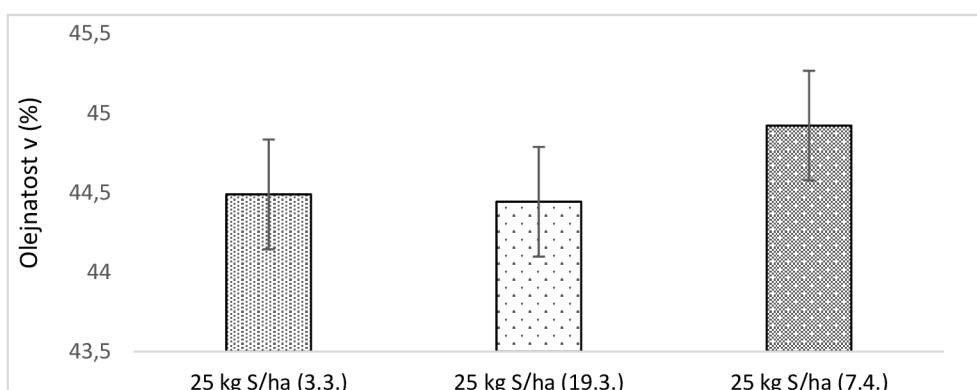


Graf 9: Vliv rozdílných dávek síry na průměrný výnos semene z hektaru

5.3 Vliv termínu aplikace síry

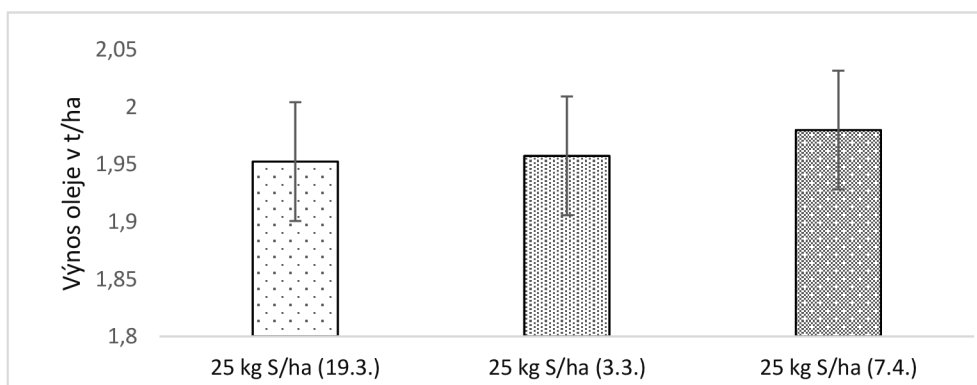
Nalezení optimálního termínu hnojení porostů by kromě počasí mělo být i odpovídající z hlediska fyziologických procesů rostlin. Porovnávali jsme vliv aplikace síry v rozdílných termínech na výslednou olejnatost semen.

Rozdíly mezi termíny aplikace síry v množství 25 kg S/ha sice nebyly statisticky průkazné, ovšem jako nejvhodnější termín s ohledem na olejnatost vyšel termín 7.4. (odpovídá 2. jarní aplikaci dusíku). Olejnatost se při nejpozdnějším termínu zvýšila z 44,49 % (nejčasnější aplikace) na 44,92 % (nejpozdnější aplikace).

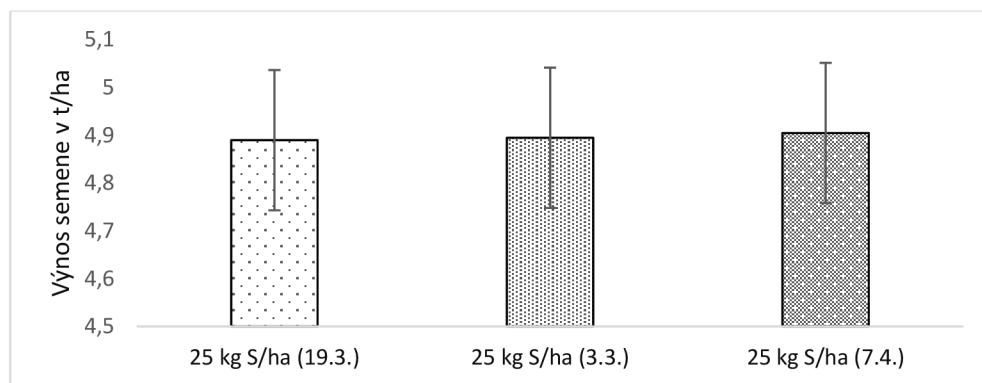


Graf 10: Vliv termínu aplikace na obsah oleje v semenech řepky ozimé

Stejně tako v případě olejnatosti, ani výnos semene či výnos oleje nebyl signifikantně ovlivněn termínem hnojení. Ve výnosu oleje při hnojení v termínu 7.4. se promítla vyšší olejnatost u této varianty. Výnos oleje byl však vyšší pouze o 27,5 kg oleje/ha. Ve výnosu semen nebyly rozdíly mezi termíny hnojení sírou (graf 12).



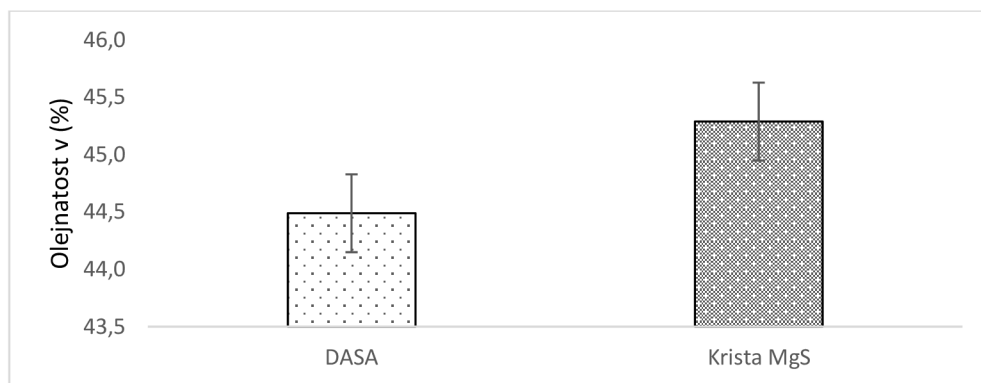
Graf 11: Vliv termínu na výnos oleje z hektaru



Graf 12: Vliv termínu hnojení na výnos semene z hektaru

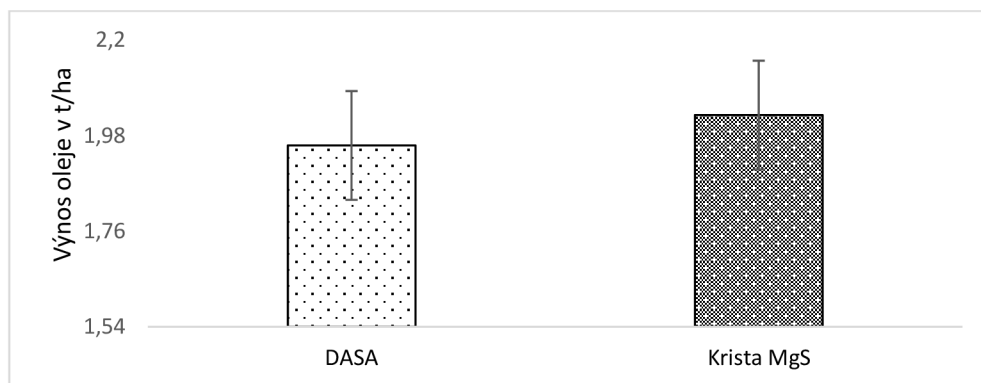
5.4 Vliv použitých hnojiv

V rámci další varianty pokusu byly porovnávány účinky hnojiv LAD + DASA a druhou variantou bylo užití LAD + Krista MgS (u obou variant 180 kg N a 25 kg S/ha). Tato poslední varianta jako jediná ze statistického výběru vykazovala signifikantní rozdíl. Celková olejnatost byla 44,48 % při použití hnojiva DASA a 45,28 % u varianty s hnojivem Krista MgS (graf 13). Největší obsah oleje v semenech měla ze všech pokusných variant varianta, kde bylo použito hnojivo LAD společně s Kristou MgS (25 S).

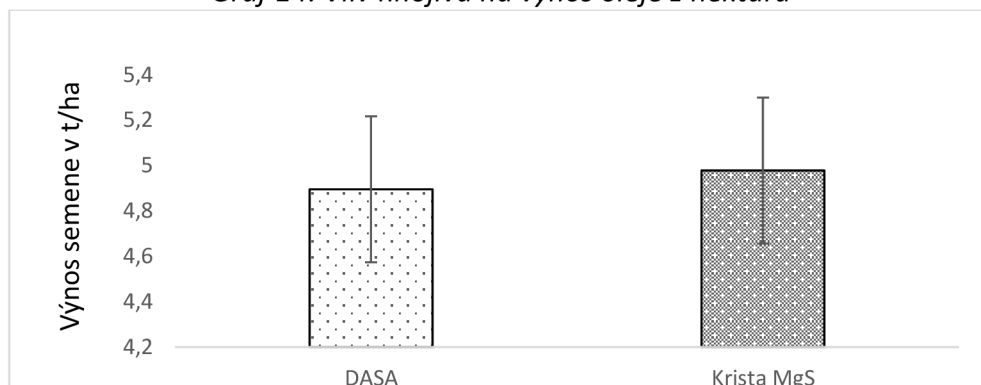


Graf 13: Vliv použitého hnojiva na obsah oleje v semenech řepky ozimé

Ačkoliv již další parametry výnosu nebyly statisticky průkazné, tak vyšší množství oleje z hektaru a výnos semene vykazovala varianta, která byla hnojena Kristou MgS. Výnos semene byl u Kristy o 0,082 t/ha vyšší než u varianty, kde byla použita DASA.



Graf 14: Vliv hnojiva na výnos oleje z hektaru



Graf 15: Vliv hnojiva na výnos semene z hektaru

6 Diskuse

Neustálý nárůst požadavků na trvalou udržitelnost zemědělské produkce, snaha o zmenšení vstupů v podobě paliva, přípravků na ochranu rostlin a v neposlední řadě omezení používání minerálních hnojiv, se bude týkat i pěstování řepky ozimé. Aby bylo možné do budoucna splnit tato očekávání, je nutné do detailů pochopit, jak omezené vstupy ovlivňují nejen výnos řepky, ale i důležité parametry mezi které se nepochybně řadí olejnatost. Z těchto důvodů je důležité porozumět, jakými faktory je obsah oleje v semenech ovlivněn.

Výsledky této práce jsou shodné s výsledky autorů (Holmes 1980, Brennan 2000, Rahtke 2005, Bhatti, 1964 Allen and Morgan 1972), ze kterých je zřejmé, že je důležité se vyvarovat nedostatku dusíku z důvodu dosažení maximálního výnosu. Je stěžejní, aby nedocházelo k přehnojování porostů, jelikož přehnojení dusíkem má negativní dopad na výslednou olejnatost.

6.1 Hnojení dusíkem

Ačkoliv byl pozitivní vliv aplikace dusíku na výnos semen řepky ozimé popsán různými autory, například Rahtke et al. (2005), Grant a Bailey (1993, Bybordi a Ebrahimian (2013), Mason a Brennan (1998) či Hegewald et al. 2016), tak procesy, jakými dusík inhibuje množství oleje v semenech řepky ozimé, stále nejsou zcela dokonale popsány.

Při pokusu bylo aplikováno různé množství dusíku (140 kg, 180 kg a 220 kg N/ha). Nejvyšší průměrná olejnatost (44,81 %) byla zaznamenána u nejnižší dávky dusíku (140 kg N/ha). Tento trend, že s rostoucím množstvím dusíku dochází ke snížení průměrného obsahu oleje v semenech řepky ozimé, pozorovala řada dalších autorů- Brennan et al. (2000), Rathke et al. (2005), Gao et al. (2010).

Olejnatost

I přes to, že naše jednoleté pokusy nebyly vyjímá jedné varianty statisticky průkazné, tak jsme ve výsledcích mohli pozorovat určité trendy. Fakt, že s rostoucím množstvím dusíku dochází ke snížení průměrného obsahu oleje v semenech řepky ozimé, v minulosti potvrdilo mnoho autorů. Výsledky naší studie odpovídají výzkumu Ibrahimia et al. (1989), který uvádí, že hnojení dusíkem nemělo statisticky průkazný vliv na výslednou olejnatost semen řepky ozimé. Při jeho pokusu nejvyšší olejnatost měla kontrolní nehnojená varianta. Nejnižší olejnatost semen byla zjištěna u varianty, kde bylo použito 200 kg N/ha. Také Taylor et al. (1991), který uvádí, že nejméně oleje (40,6 %) bylo obsaženo v semenech řepky, u které byla aplikována nejvyšší dávka dusíku (200 kg N/ha). Nejvyšší koncentraci oleje (46,4 %) měla varianta, kde nebyl aplikován žádný dusík.

Obdobně Amnipanah (2013) uvádí, že hnojení různými dávkami dusíku (0, 50, 150 a 200 kg N/ha) nemělo statisticky průkazný vliv na olejnatost semen řepky ozimé. Nejvyšší olejnatost rovněž vykazovala kontrola (42,8 %), zatímco nejnižší olejnatost (40,9 %) byla u

varianty, která byla hnojena 200 kg N/ha. Řada autorů dochází k závěru, že s rostoucím množstvím dusíku signifikantně klesá množství oleje v semenech řepky- Cheema et al. (2001), Taylor et al. (1991). Důvodem, proč vysoké množství dusíku způsobuje snížení olejnatosti, se zabýval Sunarpi a Anderson (1997). Uvádějí, že vysoké hladiny dusíku inhibují proces proteolýzy u sóji luštinaté, zároveň dochází k omezení transportu dusíku a síry do nově vyvíjejících se listů a zrn. Ačkoliv se jejich výzkum netýkal řepky ozimé, lze předpokládat, že syntéza oleje bude probíhat na podobných principech, jako u sóji luštinaté. Z výše zmíněných důvodů je zcela jistě potřebný další výzkum, abychom zcela pochopili vzájemný vztah dusíku a síry, včetně jejich vlivu na olejnatost řepky ozimé.

Výnos oleje

Varianta, která byla hnojena největším množstvím dusíku vykazovala nejvyšší výnos oleje z hektaru. Na druhou stranu měla nejmenší olejnatost semen. Naše závěry jsou stejné s Aminpanah (2013), který pozoroval nejvyšší výnos oleje při nejvyšší dávce dusíku (150 kg N/ha). V rozporu s tímto tvrzením je Cheema et al. (2001) který uvádí, že výnos oleje vzrůstal do dávky 90 kg N/ha, pak již docházelo k stagnaci výnosu oleje.

Někteří autoři uvádí, že se vzrůstajícím množstvím dusíku došlo k zvýšení obsahu bílkovin na úkor množství oleje v semenech řepky (Andersen et al. 1996, Rathke et al. 2005a).

Výnos semen

Výnos produktu je jeden z klíčových ekonomických aspektů celé zemědělské produkce. Nejvyšší výnos semen (5,20 t/ha) byl zaznamenán u varianty 1, která byla hnojena množstvím 220 kg N/ha. Tento fakt, že s narůstajícím množstvím dusíku roste i výnos semene potvrdilo v minulosti mnoho autorů, například (Sieling et al. 1997, Zhao et al. 1993a, Rathke et al. 2005a, 2006, Barlog a Grzebisz 2004).

Na druhou stranu je uváděna stagnace výnosu v důsledku přehnojování porostů řepky ozimé (Gammelvind et al. 1996). Hledání jednotné optimální dávky dusíku pro maximalizaci výnosu je velmi komplexní záležitostí, jelikož musíme vzít v potaz kultivar, průběh počasí, vliv předplodiny. Ačkoliv v našem pokusu měla nejvyšší výnos varianta, které byla hnojená nejvyšší dávkou dusíku, tak varianta hnojená pouze množstvím 140 kg N/ha měla jen o 152 kg/ha nižší výnos. Naše závěry jsou shodné s Rathke a Schuster (2001), Grant a Bailey (1993), kteří jako optimální dávku uvádějí 80-160 kg N/ha, jelikož výnos při vyšších dávkách již neroste tak rapidně.

V rozporu s naším tvrzením je závěr Yusuf a Bullock (1993), kteří jako optimální dávku uvádějí 250 kg N/ha s rozdělením na dvě stejné dávky, jelikož se výnos semen kvadraticky zvyšoval s narůstající dávkou dusíku. Z těchto důvodů musíme vždy k hnojení porostu přistupovat individuálně s ohledem na abiotické faktory, zásobenost živinami a kultivarem.

6.2 Hnojení sírou

Síra je jednou z nejdůležitějších živin při pěstování řepky ozimé. Její nedostatek zpomaluje průběh fotosyntézy a inhibuje tvorbu oleje v semenech (Lee et al. 2016, Waraich et al. 2022). Je proto důležité vždy přizpůsobit dávku síry požadavkům rostlin, brát ohledy na její množství v půdě a v neposlední řadě i v samotných rostlinách.

Ovšem ještě zcela nejsou popsány fyziologické procesy, které ovlivňují syntézu oleje, popřípadě role síry na jejich průběh. Z výše uvedených důvodů je třeba pokračovat ve zkoumání procesů syntézy oleje v semenech řepky ozimé za účelem stanovení optimální dávky hnojení. Při její aplikaci musíme vzít v potaz zásobenost půdy, průběh počasí a v neposlední řadě potřeby dané odrůdy.

Olejnatost

Jak již bylo zmíněno výše, olejnatost je jedním z nejdůležitějších parametrů produkce řepky ozimé. Ačkoliv výsledky našeho pokusu se stupňovanými dávkami síry (0 až 75 kg S/ha) nejsou statisticky průkazné, můžeme pozorovat, že došlo k zvýšení olejnatosti u varianty 50 kg S/ha. Dávka 75 kg S/ha nepřinesla další zvýšení, ale došlo naopak k mírnému poklesu. Tento závěr koreluje se závěry mnoha autorů (Rehman et al. 2013, Varényiová a Ducsay 2016 Ahmad et al. 2007), kteří uvádějí jako optimální dávku síry 40 kg S/ha. Přínos hnojení sírou byl zaznamenán i Malarzem et al. (2011), který jako optimální dávku uvádí 60 kg S/ha.

Tyto výsledky jsou v rozporu s tvrzením Subhani et al. (2003), který tvrdí, že obsah oleje je přímo úměrný dávkám síry. K opačnému závěru docházejí Walker a Booth (2003), kteří tvrdí, že aplikace síry nemá žádný vliv na výslednou olejnatost.

Následkem nedostatku síry dochází ke zvýšení hladiny dusičnanů v listech. (Hu et al. 2019), což je příčina degradace proteinů přítomných v chloroplastech (Dannehl et al. 1995). Na druhou stranu je důležité, aby nedocházelo k přehnojování porostů sírou, stejně jako u dusíku.

Výnos oleje

Nejvyšší výnos oleje byl pozorován u varianty, která byla hnojena 50 kg S/ha. Množství větší než 50 kg S/ha již přineslo snížení výnosu oleje. Tento trend můžeme mimo jiné pozorovat i u olejnatosti a výnosu. Singh a Singh (2007), kteří zkoumali vliv hnojení sírou u semen Inu, došli k závěru, že nejvyšší množství oleje vykazovala varianta hnojená 50 kg S/ha. Ke stejnému závěru dospěli i Legha a Giri (1999), kteří pro nejvyšší výnos oleje a semene doporučují dávku 50 kg S/ha.

Výnos semen

Nejvyšší výnos semene vykazovala varianta, která byla hnojena 50 kg S/ha. Hnojení nad 50 kg S/ha vykazovalo sestupný trend. Tuhle skutečnost pozorovala i Varényiová et al. (2017), která nejvyšší výnos zaznamenala u varianty, kde bylo aplikováno 40 kg S/ha. Aplikace 65 kg S/ha již měla o 11,4 % nižší výnos semene na hektar oproti 40 kg S/ha. Jako optimální dávku

40 kg S/ha uvádějí i další autoři, například Vaseghi et al. (2013), Sattar et al. (2011), či Ahmad et al. (2011).

Na druhou stranu Sienkiewicz-Cholewa a Kieloch (2016) uvádí, že nejvyšší výnos semene řepky ozimé byl zaznamenán u dávky 60 kg S/ha, ovšem zde došlo jen k 1% nárůstu výnosu, oproti dávce 40 kg S/ha. Z těchto důvodů je nutné porosty nepřehnojovat, ideálně hnojit podle rozboru půd, popřípadě rostlin.

6.3 Vliv termínu hnojení

Termín hnojení neměl statisticky průkazný vliv na olejnatost, výnos oleje z hektaru ani na výnos semene. Stejně jako u ostatních variant ale můžeme pozorovat určité trendy. Nejvyšší množství oleje v semenech měla varianta, která byla hnojena nejpozději (7.4.).

Většina autorů, kteří se zabývali vlivem síry na výnos a olejnatost řepky, hnojila před setím řepky (Zhao et al. 1993a, Grant et al. 2003). Barczak et al. (2019) se zabýval rozdíly mezi hnojením sírou na list a do půdy – varianta hnojení sírou do půdy měla vyšší obsah oleje, než varianta hnojená na list.

Sienkiewicz-Cholewa a Kieloch (2016) aplikovali Wigor S (90 kg S) před setím porostu. Byly použity dvě rozdílné dávky síry - 40 kg S/ha a 60 kg S/ha. Dávka nad 60 kg S/ha zvýšila výnos semene o 11 % oproti 40 kg S/ha. Je však důležité zmínit, že žádný z výše uvedených autorů neporovnával vliv termínu aplikace síry na výsledný výnos či olejnatost semen řepky ozimé.

6.4 Vliv hnojiva na výnosové parametry

Při našem polním pokusu jsme použili hnojiva LAD, DASA a Yara Krista MgS. Ačkoliv výsledky u výnosu semene a výnosu oleje nebyly statisticky průkazné, tak při použití Krista MgS došlo k nárůstu olejnatosti o 0,8 %, nepatrnému zvýšení výnosu semene o 0,083 t/ha a zvýšení výnosu oleje z hektaru o 0,07 t oproti variantě, která byla hnojena DAsou. Hnojivo Krista MgS obsahuje kromě síry navíc 10 % hořčíku. To mohlo způsobit námi pozorovaný nárůst olejnatosti.

Pozitivní vliv hořčíku na olejnatost potvrdilo mnoho dalších autorů například Hermans et al. (2005), Ceylan et al. (2016) a Cakmak a Kirkby (2008).

Výsledky zvýšené olejnatosti naší studie jsou v souladu se závěry Geng et al. (2021), který pozoroval zvýšenou hladinu oleje ve variantě ošetřené hořčíkem. Při aplikaci 27 kg Mg/ha došlo k nárůstu olejnatosti na 44,9 %, oproti kontrolní nehnojené variantě (43,5 %).

7 Závěr

- V jednoletých maloparcelkových pokusech byl hodnocen vliv dávky dusíku, dávky síry, termínu hnojení sírou a hnojiva se sírou na olejnatost, ale i výnos semen a výnos oleje řepky ozimé. Rozdíly mezi dávkami hnojiv ani termíny aplikace nebyly statisticky průkazné, nicméně bylo možné vyzorovat trendy působení hnojiv na olejnatost i výnos.
- Hnojení dusíkem působilo negativně na olejnatost. S rostoucí dávkou dusíku se olejnatost semen řepky ozimé snižovala. Na výnos semen měly zvyšující dávky dusíku naopak pozitivní vliv. Nejvyšší výnos semen byl zjištěn u varianty, která byla hnojena nejvyšší dávkou dusíku (220 kg N/ha). Výnos oleje se vlivem nárůstu výnosu semen s dávkou dusíku také zvyšoval.
- Hnojení sírou v dávce 15 až 75 kg S/ha mělo jen velmi malý vliv na olejnatost a výnos semen řepky ozimé. Přesto se olejnatost i výnos semen s dávkou síry mírně zvyšovala do 50 kg S/ha. Varianta hnojená 50 kg S/ha dosáhla nejvyššího výnosu oleje. Zvýšení dávky síry na 75 kg S/ha již nepřineslo žádné zvýšení olejnatosti ani výnosu semen a výnosu oleje.
- Termín aplikace síry neměl vliv na výnos semen, ale ovlivnil olejnatost. Pro tvorbu oleje v semenech řepky byl nejvhodnější termín hnojení 7.4. tedy s druhou (produkční) dávkou dusíku.
- Nejvyšší olejnatost (45,29 %) měla varianta, která byla hnojena LAD a Krista MgS (180 kg N/ha a 25 kg S/ha). Olejnatost semen u této varianty byla o 0,80 % vyšší než u varianty s použitím hnojiv LAD a DASA ve stejné dávce 180 kg N/ha a 25 kg S/ha.

Poznatky vyplývající z literární rešerše a experimentální části práce mohou posloužit jako teoretické podklady pro zvolení adekvátního hnojení porostů řepky ozimé. Zároveň mohou pomoci porozumět komplikované problematice vlivu hnojení na kvalitativní parametry produkce řepky ozimé.

8 Literatura

- Abdallah M, Dubousset L, Meuriot F, Etienne P, Avice J-C, Ourry A. 2010. Effect of mineral sulphur availability on nitrogen and sulphur uptake and remobilization during the vegetative growth of *Brassica napus* L. *Journal of Experimental Botany* **61**:2635–2646. Available from <https://academic.oup.com/jxb/article-lookup/doi/10.1093/jxb/erq096>.
- Ahmad G, Jan A, Arif M, Jan MT, Khattak RA. 2007. Influence of nitrogen and sulfur fertilization on quality of canola (*Brassica napus* L.) under rainfed conditions. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B* **8**:731–737. Available from <http://link.springer.com/10.1631/jzus.2007.B0731>.
- Ahmad G, Jan A, Arif M, Jan MT, Shah H. 2011. Effect of nitrogen and sulfur fertilization on yield components, seed and oil yields of canola. *Journal of Plant Nutrition* **34**:2069–2082. Available from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904167.2011.618569>.
- Ahmadi M. 2010. Effect of zinc and nitrogen fertilizer rates on yield and yield components of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *World Applied Sciences Journal* **10**:298–303. IDOSI Publications.
- Akdemir D, Sánchez JI. 2016. Efficient Breeding by Genomic Mating. *Frontiers in Genetics* **7**.
- Aminpanah H. 2013. Effect of nitrogen rate on seed yield, protein and oil content of two canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Acta agriculturae Slovenica* **101-2**:183–190. Available from <http://aas.bf.uni-lj.si/september2013/02Aminpanah.pdf>.
- Andersen MN, Heidmann T, Plauborg F. 1996. The Effects of Drought and Nitrogen on Light Interception, Growth and Yield of Winter Oilseed Rape. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* **46**:55–67. Available from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09064719609410947>.
- Applequist L, Ohlson R. 1972. Rapeseed. Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
- Assefa Y, Prasad PVV, Foster C, Wright Y, Young S, Bradley P, Stamm M, Ciampitti IA. 2018. Major Management Factors Determining Spring and Winter Canola Yield in North America. *Crop Science* **58**:1–16. Available from <http://doi.wiley.com/10.2135/cropsci2017.02.0079>.
- Bachleda N, Grey T, Li Z. 2017. Effects of high oleic acid soybean on seed yield, protein and oil contents, and seed germination revealed by near-isogenic lines. *Plant Breeding* **136**:539–547.
- Bancroft I, Morgan C, Fraser F. 2011. Dissecting the genome of the polyploid crop oilseed rape by transcriptome sequencing. *Nature Biotechnology* **29**:762–766.
- Baranyk, Fábry, Balík, Soukup. 2007. Řepka. Profi Press, Praha.
- Barczak B, Skinder Z, Piotrowski R. 2019. Content and yield of oil in spring rape seeds in conditions of nitrogen and sulphur fertilization. *Journal of Central European Agriculture* **20**:222–237. Available from <https://jcea.agr.hr/en/issues/article/2172>.
- Barlog P, Grzebisz W. 2004. Effect of Timing and Nitrogen Fertilizer Application on Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). I. Growth Dynamics and Seed Yield. *Journal of Agronomy and Crop Science* **190**:305–313. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1439-037X.2004.00108.x>.
- Bates PD, Stymne S, Ohlrogge J. 2013. Biochemical pathways in seed oil synthesis. *Current opinion in plant biology* **16**: 358-364
- Bečka D. 2008. Zásady při výběru odrůd řepky ozimé. Available from <https://zemedelec.cz/zasady-pri-vyberu-odrud-repky-ozime/>.
- Bečka D. 2021. Výsledky hodnocení odrůd a jejich směsí u řepky ozimé v sezoně 2019/20. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/osivo-a-sadba>

- 1/vysledky-hodnoceni-odrud-a-jejich-smesi-u-repky-ozime-v-sezone-2019-20.
- Bhatty RS. 1964. Influence of nitrogen fertilization on the yield, protein and oil content of two varieties of rape. *Canadian Journal of Plant Science* **44**:215–217.
- Brennan RF, Mason MG, Walton GH. 2000. Effect of nitrogen fertilizer on the concentrations of oil and protein in canola (*Brassica napus*) seed. *Journal of Plant Nutrition* **23**:339–348.
- Brown, Patrick, Pfeiffer D. 2002. Boron in plant biology. *Plant biology* **4**:205–223.
- Bybordi A. 2014. Efficacy of integrated fertilizer management to improve agronomic and physiological traits of canola cultivars. *Archives of Agronomy and Soil Science* **60**:935–950.
- Bybordi A, Ebrahimian E. 2013. Growth, Yield and Quality Components of Canola Fertilized with Urea and Zeolite. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **44**:2896–2915.
- Cakmak I, Kirkby EA. 2008. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiologia Plantarum* **133**:692–704. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1399-3054.2007.01042.x>.
- Carter TE, Nelson RL, Sneller CH, Cui Z. 2016. Genetic Diversity in Soybean. Pages 303–416 in Shibles RM, Harper JE, Wilson RF, Shoemaker RC, editors. *Soybeans: Improvement, Production, and Uses*. American Society of Agronomy, Inc. Crop Science Society of America, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Český hydrometeorologický ústav. 2021. Mapa globálního slunečního záření ČR. Available from <https://www.chmi.cz/o-nas/organizacni-struktura/usek-meteorologie-a-klimatologie/odbor-klimatologie/oddeleni-vseobecne-klimatologie/zakladni-informace>.
- ČSÚ 2020. Osevní plochy ozimých plodin pro sklizeň v roce 2020. ČS. . Available from <https://www.czso.cz/csu/czso/osevni-plochy-ozimych-plodin-pro-sklizen-v-roce-2020>
- Ceylan Y, Kutman UB, Mengutay M, Cakmak I. 2016. Magnesium applications to growth medium and foliage affect the starch distribution, increase the grain size and improve the seed germination in wheat. *Plant and Soil* **406**:145–156. Available from <http://link.springer.com/10.1007/s11104-016-2871-8>.
- Cheema M, Wahid M, Sattar A, Rasul F, Saleem MF. 2012. Influence of different levels of potassium on growth, yield and quality of canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* **49**:163–168.
- Cheema MA, Malik MA, Hussain A, Shah SH, Basra SMA. 2001. Effects of time and rate of nitrogen and phosphorus application on the growth and the seed and oil yields of canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science* **186**:103–110.
- Ciampitti IA, Vyn TJ. 2011. A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. *Field Crops Research* **121**:2–18. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378429010002649>.
- Dannehl H, Herbig A, Godde D. 1995. Stress-induced degradation of the photosynthetic apparatus is accompanied by changes in thylakoid protein turnover and phosphorylation. *Physiologia Plantarum* **93**:179–186. Available from <http://doi.wiley.com/10.1034/j.1399-3054.1995.930125.x>.
- De Pascale S, Maggio A, Orsini F, Bottino A, Barbieri G. 2008. Sulphur fertilisation affects yield and quality in friarielli (*Brassica rapa* L. subsp. *sylvestris* L. Janch. var. *esculenta* Hort.) grown in a floating system. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* **83**:743–748. Available from <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14620316.2008.11512454>.
- Deng X, Scarth R. 1998. Temperature effects on fatty acid composition during development of low-

- linolenic oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of the American Oil Chemists' Society* **75**:759–766. Available from <http://doi.wiley.com/10.1007/s11746-998-0223-4>.
- Dong H, Zhang D, Tang W, Li W, Li Z. 2005. Effects of planting system, plant density and flower removal on yield and quality of hybrid seed in cotton. *Field Crops Research* **93**:74–84. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378429004002370>.
- Eghball B, Wienhold BJ, Gilley JE, Eigenberg RA. 2002. Mineralization of manure nutrients. *Journal of Soil and Water Conservation* **57**:470-473.
- Fazili IS, Masoodi M, Ahmad S, Jamal A, Khan JS, Abdin MZ. 2010. Oil biosynthesis and its related variables in developing seeds of mustard (*Brassica juncea* L.) as influenced by sulphur fertilization. *Journal of Crop Science and Biotechnology* **13**:39–46. Available from <http://link.springer.com/10.1007/s12892-009-0117-5>.
- Fronning BE, Thelen KD, Min D. 2008. Use of Manure, Compost, and Cover Crops to Supplant Crop Residue Carbon in Corn Stover Removed Cropping Systems. *Agronomy Journal* **100**:1703–1710. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2134/agronj2008.0052>.
- Gammelvind LH, Schjoerring JK, Mogensen VO, Jensen CR, Bock JGH. 1996. Photosynthesis in leaves and siliques of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Plant and Soil* **186**:227–236. Available from <http://link.springer.com/10.1007/BF02415518>.
- Gao J, Thelen KD, Min DH, Smith S, Hao X, Gehl R. 2010. Effects of manure and fertilizer applications on canola oil content and fatty acid composition. *Agronomy Journal* **102**:790-797.
- Geng G, Cakmak I, Ren T, Lu Z, Lu J. 2021. Effect of magnesium fertilization on seed yield, seed quality, carbon assimilation and nutrient uptake of rapeseed plants. *Field Crops Research* **264**:108082. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378429021000289>.
- Goldberg. 1997. Reactions of boron with soils. *Plant and Soil* **193**:35–38.
- Grant CA, Bailey LD. 1993. Fertility management in canola production. *Canadian Journal of Plant Science* **73**:651–670. Available from <http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.4141/cjps93-087>.
- Grant CA, Clayton GW, Johnston AM. 2003. Sulphur fertilizer and tillage effects on canola seed quality in the Black soil zone of western Canada. *Canadian Journal of Plant Science* **83**:745-758.
- Grewal HS, Graham RD. 1997. Seed zinc content influences early vegetative growth and zinc uptake in oilseed rape (*Brassica napus* and *Brassica juncea*) genotypes on zinc-deficient soil. *Plant and Soil* **192**:191–197. Springer. Available from <http://www.jstor.org/stable/42948064>.
- Gu J, Hou D, Li Y, Chao H, Zhang K, Wang H, Xiang J, Raboanatahiry N, Wang B, Li M. 2019. Integration of proteomic and genomic approaches to dissect seed germination vigor in *Brassica napus* seeds differing in oil content. *BMC Plant Biology* **19**:21. Available from <https://bmcpplantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12870-018-1624-7>.
- Gugała M, Sikorska A, Zarzecka K, Kapela K, Mystkowska I. 2019. The effect of biostimulators on the content of crude oil and total protein in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) seeds. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science* **69**:121–125. Available from <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09064710.2018.1513063>.
- Gunstone FD. 2001. Production and consumption of rapeseed oil on a global scale. *European Journal of Lipid Science and Technology* **103**:447–449. Available from [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1438-9312\(200107\)103:7%3C447::AID-EJLT447%3E3.0.CO;2-Q](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1438-9312(200107)103:7%3C447::AID-EJLT447%3E3.0.CO;2-Q).
- Gusta L V., Johnson EN, Nesbitt NT, Kirkland KJ. 2004. Effect of seeding date on canola seed quality and seed vigour. *Canadian Journal of Plant Science* **84**:463–471. Available from <http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.4141/P03-100>.

- Haneklaus S, Paulsen H, Gupta A, Bloem E, Schnug E. 1999. Influence of sulfur fertilization on yield and quality of oilseed rape and mustard. in *New horizons for an old crop*. Proceedings of 10th International Rapeseed Congress. Canberra, Australia.
- Harwood JL, Ramli US, Tang M, Quant PA, Weselake RJ, Fawcett T, Guschina IA. 2013. Regulation and enhancement of lipid accumulation in oil crops: The use of metabolic control analysis for informed genetic manipulation. *European Journal of Lipid Science and Technology* **115**:1239-1246.
- HAWKESFORD MJ, DE KOK LJ. 2006. Managing sulphur metabolism in plants. *Plant, Cell and Environment* **29**:382–395. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3040.2005.01470.x>.
- Hegewald H, Koblenz B, Wensch-Dorendorf M, Christen O. 2016. Impacts of high intensity crop rotation and N management on oilseed rape productivity in Germany. *Crop and Pasture Science* **67**:439–449. CSIRO.
- Hermans C, Bourgis F, Faucher M, Strasser RJ, Delrot S, Verbruggen N. 2005. Magnesium deficiency in sugar beets alters sugar partitioning and phloem loading in young mature leaves. *Planta* **220**:541–549. Available from <http://link.springer.com/10.1007/s00425-004-1376-5>.
- Hossain MF, Pan S, Duan M, Mo Z, Karbo MB, Bano A, Tang X. 2015. Photosynthesis and antioxidant response to winter rapeseed (*Brassica napus* L.) as affected by boron. *Pakistan Journal of Botany* **47**:675–684.
- Hu H, Sparks D, Evans JJ. 2019. Sulfur Deficiency Influences Vegetative Growth, Chlorophyll and Element Concentrations, and Amino Acids of Pecan. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **116**:974–980.
- Ibrahim AF, Abusteit EO, El-Metwally E. 1989. Response of rapeseed (*Brassica napus* L.) growth, yield, oil content and its fatty acids to nitrogen rates and application times. *Journal of Agronomy and Crop Science* **162**:107–112. Wiley Online Library.
- Indelicato S, Bongiorno D, Pitonzo R, Di Stefano V, Calabrese V, Indelicato S, Avellone G. 2017. Triacylglycerols in edible oils: Determination, characterization, quantitation, chemometric approach and evaluation of adulterations. *Journal of Chromatography A* **1515**:1–16. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0021967317311445>.
- Jacobs LW. 1995. MSU Extension Publication Archive Scroll down to view the publication . *FIELD CROP WEEDS. crop and Soil Sciences* **2**:2–10.
- Khan HZ, Malik M, Saleem M, AZIZ I. 2004. Effect of Different Potassium Fertilization Levels on Growth, Seed Yield and Oil Contents of Canola (*Brassica napus* L.). *International Journal of Agriculture and Biology*. **6**:557-559.
- Khan S, Choudhary S, Pandey A, Khan MK, Thomas G. 2015. Sunflower Oil: Efficient oil source for human consumption. *Emergent life sciences research* **1**:1–3.
- Kinney AJ. 1997. Genetic engineering of oilseeds for desired traits. Plenum Press, New York.
- Kinsey N, Walters C. 2006. Neal Kinsey's Hands-on Agronomy: Understanding Soil Fertility & Fertilizer Use. Acres U.S.A. Available from <https://books.google.cz/books?id=yexHAAAACAAJ>.
- Kocira A, Świeca M, Kocira S, Złotek U, Jakubczyk A. 2018. Enhancement of yield, nutritional and nutraceutical properties of two common bean cultivars following the application of seaweed extract (*Ecklonia maxima*). *Saudi Journal of Biological Sciences* **25**:563–571. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1319562X16000413>.
- Kováčik P, Šimanský V, Wierzbowska J, Renčo M. 2016. Impact of foliar application of the biostimulator Mg-Tytanit on the formation of winter oilseed rape phytomass and titanium content. *Journal of*

- Elementology **21**:1235–1251. Polish Society Magnesium Research.
- Krauze A, Bowszys T. 1996. The effect of magnesium on yield and crude oil content of winter rape seed. *Agro Food Industry Hi-Tech* **7**:39–40.
- Kurowski TP, Majchrzak B, Jankowski K. 2012. Effect of sulfur fertilization on the sanitary state of plants of the family Brassicaceae. *Acta Agrobotanica* **63**:171–178. Available from <https://pbsociety.org.pl/journals/index.php/aa/article/view/aa.2010.019>.
- Lääniste P, Ereemeev V, Mäeorg E, Jõudu J. 2016. Effect of sowing date on oil, protein and glucosinolate concentration of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Agronomy Research* **14**:1384–1395.
- Laoretani D, Fernández M, Crapiste G, Nolasco S. 2014. Effect of drying operating conditions on canola oil tocopherol content. *Antioxidants* **3**:190-199.
- Leach JE, Stevenson HJ, Rainbow AJ, Mullen LA. 1999. Effects of high plant populations on the growth and yield of winter oilseed rape (*Brassica napus*). *The Journal of Agricultural Science* **132**:173–180. Available from https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0021859698006091/type/journal_article.
- Lee BR, Zaman R, Avice JC, Ourry A, Kim TH. 2016. Sulfur Use Efficiency Is a Significant Determinant of Drought Stress Tolerance in Relation to Photosynthetic Activity in *Brassica napus* Cultivars. *Frontiers in Plant Science* **7**:459. Available from <http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fpls.2016.00459/abstract>.
- Legha PK, Giri G. 1999. Influence of nitrogen and sulphur on growth, yield and oil content of sunflower (*Helianthus annuus*) grown in spring season. *Indian Journal of Agronomy* **44**:408-412.
- Lenoble ME, Blevins DG, Miles RJ. 1996. Prevention of aluminium toxicity with supplemental boron. II. Stimulation of root growth in an acidic, high-aluminium subsoil. *Plant, Cell and Environment* **19**:1143–1148. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3040.1996.tb00429.x>.
- Lewis, Schrire, Muackinder, Lock. 2005. *Legumes of the World*. Kew: Royal Botanic Gardens.
- Lošak T., Richter R. 2003. The influence of nitrogen and sulphur on the yield and oils content of winter rape. *Fertilizers and Fertilization* **4**:160–168.
- Lu S, Yao S, Wang G, Guo L, Zhou Y, Hong Y, Wang X. 2016. Phospholipase D ϵ enhances *Brassica napus* growth and seed production in response to nitrogen availability. *Plant Biotechnology Journal* **14**:1519-1534.
- Mailer RJ, Cornish PS. 1987. Effects of water stress on glucosinolate and oil concentrations in the seeds of rape (*Brassica napus* L.) and turnip rape (*Brassica rapa* L. var. *silvestris* [Lam.] Briggs). *Australian Journal of Experimental Agriculture* **27**:707–711.
- Malarz, Kozak, Kotecki. 2011. The effect of spring fertilization with different sulphur fertilizers on the growth and morphological features of winter oilseed rape ES Saphir cultivar. *Rolnictwo* **32**:107–116.
- Malhi SS, Gill KS. 2002. Effectiveness of sulphate-S fertilization at different growth stages for yield, seed quality and S uptake of canola. *Canadian Journal of Plant Science* **82**:665-674.
- Manaf A, Raheel M, Sher A, Sattar A, Ul-Allah S, Qayyum A, Hussain Q. 2019. Interactive Effect of Zinc Fertilization and Cultivar on Yield and Nutritional Attributes of Canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* **19**:671-677.
- Mansoori I. 2012. Response of canola to nitrogen and sulphur fertilizers. *International Journal of Agriculture and Crop Science* **4**:28–31.
- Mason MG, Brennan RF. 1998. Comparison of growth response and nitrogen uptake by canola and

- wheat following application of nitrogen fertilizer. *Journal of Plant Nutrition* **21**:1483-1499.
- Matoh T. 1997. Boron in plant cell walls. *Plant and Soil* **193**:59–70. Available from <https://doi.org/10.1023/A:1004207824251>.
- Matthaus B, Özcan MM, Al Juhaimi F. 2016. Some rape/canola seed oils: fatty acid composition and tocopherols. *Zeitschrift für Naturforschung C* **71**:73–77. Available from <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/znc-2016-0003/html>.
- McGrath SP, Zhao FJ. 1996. Sulphur uptake, yield responses and the interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus*). *The Journal of Agricultural Science* **126**:53–62. Available from https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0021859600088808/type/journal_article.
- Mendham NJ, Shipway PA, Scott RK. 1981. The effects of delayed sowing and weather on growth, development and yield of winter oil-seed rape (*Brassica napus*). *The Journal of Agricultural Science* **92**:389–416.
- Meyer MJ, Shirley JE, Titgemeyer EC, Park AF, VanBaale MJ. 2001. Effect of Mechanical Processing and Fat Removal on the Nutritive Value of Cottonseed for Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* **84**:2503–2514. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022030201747017>.
- Mingeau M. 1974. Comportement du colza de printemps a la secheresse **36**:1–11.
- Monteiro de Carvalho C. 2013. Palm oil expansion on degraded land for biodiesel production: a case study in Pará state, Brazil. *Biofuels* **4**:485–492. Available from <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.4155/bfs.13.32>.
- Musil AF. 1960. Identification of Brassicas by seedling growth or later vegetative stages.
- Nega T. 2018. Review on Nutritional Limitations and Opportunities of using Rapeseed Meal and other Rape Seed by - Products in Animal Feeding. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering* **8**:43-48. Available from <https://medcraveonline.com/JNHFE/review-on-nutritional-limitations-and-opportunities-of-using-rapeseed-meal-and-other-rape-seed-by-products-in-animal-feeding.html>.
- Nobel PS. 2009. Chapter 2 - Water. Pages 44–99 in Nobel PS, editor. *Physicochemical and Environmental Plant Physiology (Fourth Edition)* Fourth Edi. Academic Press, San Diego. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123741431000028>.
- USDA 2022. Oilseeds: World Markets and Trade. USDA. Available from <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf>.
- Olama V, Ronaghi A, Karimian N, Yasrebi J, Hamidi R, Tavajjoh M, Kazemi MR. 2014. Seed quality and micronutrient contents and translocations in rapeseed (*Brassica napus* L.) as affected by nitrogen and zinc fertilizers. *Archives of Agronomy and Soil Science* **60**:423–435. Available from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03650340.2013.796588>.
- Pleines S, Marquard R, Friedt W. 1987. Recurrent selection for modified polyenoic fatty acid composition in rapeseed (*Brassica napus* L.). Pages 140–145.
- Pużyńska K, Kulig B, Halecki W, Lepiarczyk A, Pużyński S. 2018. Response of oilseed rape leaves to sulfur and boron foliar application. *Acta Physiologiae Plantarum* **40**:169. Available from <http://link.springer.com/10.1007/s11738-018-2748-y>.
- Rathke GW, Christen O, Diepenbrock W. 2005a. Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field Crops Research* **94**:103–113. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378429004002886>.

- Rathke GW, Schuster C. 2001. Yield and quality of winter oilseed rape related to nitrogen supply. Pages 798–799 *Plant Nutrition*. Springer Netherlands, Dordrecht. Available from http://link.springer.com/10.1007/0-306-47624-X_388.
- Rathke GW, Behrens T, Diepenbrock W. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review.
- Rathke GW, Christen O, Diepenbrock W. 2005. Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field Crops Research* **94**:103-113.
- Rękas A, Wroniak M, Rusinek R. 2015. Influence of roasting pretreatment on high-oleic rapeseed oil quality evaluated by analytical and sensory approaches. *International Journal of Food Science & Technology* **50**:2208–2214. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ijfs.12884>.
- Ridley. 1973. Effect of nitrogen and sulfur fertilizers on yield and quality of rapeseed. Pages 182–187. University of Manitoba, Manitoba.
- Rudko. 2011. Cultivation of winter rape. Rape, rules crops, healthy food. A guide for producers.
- Salisbury P, Wratten N. 1999. Brassica napus breeding. *Canola in Australia: The First Thirty Years*:29–35.
- Sang JP, Bluett CA, Elliott BR, Truscott RJW. 1986. Effect of time of sowing on oil content, erucic acid and glucosinolate contents in rapeseed (*Brassica napus* L. cv. Marnoo). *Australian Journal of Experimental Agriculture* **26**:607–611. CSIRO Publishing.
- Sattar A, Cheema MA, Hassan M. 2011. Interactive effect of sulphur and nitrogen on growth, yield and quality of canola. *Crop Environment* **2**:32-37.
- Sawan ZM, Hafezb SA, Basyony AE, Alkassas A-E-ER. 2007. Cottonseed: protein, oil yields, and oil properties as influenced by potassium fertilization and foliar application of zinc and phosphorus. *Grasas y Aceites* **58**. Available from <http://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/view/7/7>.
- Schulze W, Stadler J, Heilmeier EH, Stitt M, Mooney HA. 1994. Growth and reproduction of *Arabidopsis thaliana* in relation to storage of starch and nitrate in the wild-type and in starch-deficient and nitrate-uptake-deficient mutants. *Plant, Cell and Environment* **17**:795–809. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3040.1994.tb00174.x>.
- Shahri MM, Soleymani A, Shahrajablan MH, Yazdpour H. 2011. Effect of plant densities and sulphur fertilizer on seed and oil yields of canola. *Research on Crops* **12**:383-387.
- Sheppard SC, Bates TE. 1980. Yield and Chemical Composition of rape in response to nitrogen, phosphorus and potassium. *Canadian Journal of Soil Science* **60**:153–162. Available from <http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.4141/cjss80-019>.
- Sidlauskas G, Bernotas S. 2003. Some factors affecting seed yield of spring oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Agronomy research* **1**:229–243.
- Sieling K, Günther Borstel O, Hanus H. 1997. Effect of slurry application and mineral nitrogen fertilization on N leaching in different crop combinations. *The Journal of Agricultural Science* **128**:79–86. Available from https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0021859696004005/type/journal_article.
- Sienkiewicz-Cholewa U, Kieloch R. 2016. Effect of sulphur and micronutrients fertilization on yield and fat content in winter rape seeds (*Brassica napus* L.). *Plant, Soil and Environment* **61**:164–170. Available from <http://www.agriculturejournals.cz/web/pse.htm?volume=61&firstPage=164&type=publishedAr>

ticle.

- Singh S, Singh V. 2007. Effect of sources and levels of sulphur on yield, quality and nutrient uptake by linseed (*Linum usitatissimum*). *Indian Journal of Agronomy* **52**:158–159. The Indian Society of Agronomy.
- Sokólski M, Jankowski KJ, Załuski D, Szatkowski A. 2020. Productivity, Energy and Economic Balance in the Production of Different Cultivars of Winter Oilseed Rape. A Case Study in North-Eastern Poland. *Agronomy* **10**:508. Available from <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/4/508>.
- Stahl A, Pfeifer M, Frisch M, Wittkop B, Snowdon RJ. 2017. Recent genetic gains in nitrogen use efficiency in oilseed rape. *Frontiers in Plant Science* **8**:Article 963.
- Stevens WB, Mesbah AO. 2004. Zinc Enhances Sugar Beet Emergence and Yield on a Calcareous Soil with Marginal Zinc Availability. *Crop Management* **3**:1–7. Available from <http://doi.wiley.com/10.1094/CM-2004-0805-01-RS>.
- Subhani A, Shabbir G, Fazil M, Mahmood A, Khalid R. 2003. Role of sulphur in enhancing the oil contents and yield of rapeseed under medium rainfed conditions. *Pakistan Journal of Soil Science (Pakistan)*.
- Sunarpi, Anderson JW. 1997. Effect of nitrogen nutrition on the export of sulphur from leaves in soybean. *Plant and Soil* **188**:177–187.
- Szczepanek M, Wilczewski E, Grzybowski K. 2016. Response of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) on soil applied humus preparation and foliar potassium fertilizer. *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura* **15**:85-94 Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich. Wydawnictwo PB.
- Tafrihi SG, Yazdifar S, Amini I. 2009. Effects of potassium and zinc fertilizers on some agronomical traits of three spring canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Journal of Biological Sciences* **9**:452-457.
- Taylor AJ, Smith CJ, Wilson IB. 1991. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on yield, oil content, nitrogen accumulation and water use of canola (*Brassica napus* L.). *Fertilizer Research* **29**:249-260.
- Thelen JJ, Ohlrogge JB. 2002. Metabolic engineering of fatty acid biosynthesis in plants. *Metabolic Engineering* **4**:12-21.
- Tian C, Zhou X, Liu Q. 2020. Increasing yield, quality and profitability of winter oilseed rape (*Brassica napus*) under combinations of nutrient levels in fertiliser and planting density. *Crop and Pasture Science* **71**:1010–1019. CSIRO.
- Trenkel ME. 2010. Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture.
- Turner. 1986. Adaptation to water deficits: a changing perspective. *Australian Journal Plant Physiology* **13**:175–190.
- Rehman H, Iqbal Q, Farooq M, Wahid A, Afzal I, Basra SMA. 2013. Sulphur application improves the growth, seed yield and oil quality of canola. Springer-Verlag.
- Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Daniela Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. *Výživa a hnojení polních plodin*. Praha: Profi Press.
- Varényiová M, Ducsay L. 2016. Effect of increasing spring doses of nitrogen on yield and oil content in seeds of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Acta fytotechnica et zootechnica* **19**:29-34.
- Varényiová M, Ducsay L, Ryant P. 2017. Sulphur Nutrition and its Effect on Yield and Oil Content of Oilseed Rape (*Brassica Napus* L.). *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* **65**:555–562. Available from <http://acta.mendelu.cz/doi/10.11118/actaun201765020555.html>.

- Varényiová M, Ducsay L. 2014. Effect of increasing doses of boron on oil production of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Pages 110-114 in Proceedings of Conference MendelNet 2014.
- Vaseghi S, Valinejad M, Afzali M. 2013. Yield, Seed Quality, and Sulfur Uptake of Brassica Oilseed Crops in Response to Sulfur Fertilization. *World of Sciences Journal* **7**:163–172.
- Walton GH, Trent T.R. 1997. The effect of crop rotation and location on canola yield and oil. Eleventh Australian Research Assembly on Brassicas. 165–169.
- Waraich E, Hussain A, Ahmad Z, Ahmad M, Barutçular C. 2022. Foliar application of sulfur improved growth, yield and physiological attributes of canola (*brassica napus* L.) under heat stress conditions. *Journal of Plant Nutrition* **45**:369–379. Available from <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01904167.2021.1985138>.
- Warner K, Orr P, Parrott L. 1994. Effects of frying oil composition on potato chip stability. *Am Oil Chem Soc* **71**:1011–1021.
- Weselake RJ, Shah S, Tang M. 2008. Metabolic control analysis is helpful for informed genetic manipulation of oilseed rape (*Brassica napus*) to increase seed oil content. *Journal of Experimental Botany* **59**:3543-3549.
- Xu G, Fan X, Miller AJ. 2012. Plant Nitrogen Assimilation and Use Efficiency. *Annual Review of Plant Biology* **63**:153–182. Available from <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-arplant-042811-105532>.
- Yan L, Riaz M, Wu X, Wang Y, Du C, Jiang C. 2018. Interaction of boron and aluminum on the physiological characteristics of rape (*Brassica napus* L.) seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum* **40**:33. Available from <http://link.springer.com/10.1007/s11738-018-2614-y>.
- Yang H, Zhang X, Chen B, Meng Y, Wang Y, Zhao W, Zhou Z. 2017. Integrated Management Strategies Increase Cottonseed, Oil and Protein Production: The Key Role of Carbohydrate Metabolism. *Frontiers in Plant Science* **8**. Available from <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2017.00048/full>.
- Yegorov B, Turpurova T, Sharabaeva E, Bondar Y. 2019. PROSPECTS OF USING BY-PRODUCTS OF SUNFLOWER OIL PRODUCTION IN COMPOUND FEED INDUSTRY. *Food Science and Technology* **13**.
- Yusuf RI, Bullock DG. 1993. Effect of several production factors on two varieties of rapeseed in the central United States. *Journal of Plant Nutrition* **16**:1279–1288. Available from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904169309364612>.
- Zanetti F, Vamerli T, Mosca G. 2009. Yield and oil variability in modern varieties of high-erucic winter oilseed rape (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) and Ethiopian mustard (*Brassica carinata* A. Braun) under reduced agricultural inputs. *Industrial Crops and Products* **30**:265–270. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092666900900079X>.
- Zhang S, Liao X, Zhang C, Xu H. 2012. Influences of plant density on the seed yield and oil content of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Industrial Crops and Products* **40**:27-32.
- Zhao F, Bilsborrow PE, Evans EJ, Syers JK. 1993a. Sulphur turnover in the developing pods of single and double low varieties of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* **62**:111–119. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.2740620203>.
- Zhao F, Evans EJ, Bilsborrow PE, Syers JK. 1993b. Influence of sulphur and nitrogen on seed yield and quality of low glucosinolate oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* **63**:29–37.

Zuo QS, Zhou GS, Yang SF, Yang Y, Wu LR, Leng SH, Yang G, Wu JS. 2016. Effects of nitrogen rate and genotype on seed protein and amino acid content in canola. *Journal of Agricultural Science* **154**:438-455.

9 Seznam použitých zkratk a symbolů

- ACP- z anglického acyl carrier protein- protein přenášející acyl
- DASA- dusičnan amonný se síranem amonným- hnojivo
- ER- endoplazmatické retikulum
- GMO- geneticky modifikovaný organismus
- LAD- ledek amonný s dolomitem- hnojivo
- LAV- ledek amonný s vápencem- hnojivo
- LDL- low density lipoprotein
- MK- mastné kyseliny
- TAG- triacylglyceroly

10 Samostatné přílohy

Tabulka 4: Vliv dávky dusíku na výslednou olejnatost (%)

kg N/ha	olejnatost	limits
140 kg N/ha	44,81	0,197731
180 kg N/ha	44,59	0,197731
220 kg N/ha	44,45	0,197731

Tabulka 5: Vliv dávky dusíku na výsledný výnos oleje (t/ha)

kg N/ ha	výnos oleje	limits
140 kg N/ha	2,03	0,091725
180 kg N/ha	1,98	0,091725
220 kg N/ha	2,08	0,091725

Tabulka 6: Vliv dávky dusíku na výsledný výnos semene (t/ha)

kg N/ ha	výnos semene	limits
140 kg N/ha	5,05	0,091725
180 kg N/ha	4,92	0,091725
220 kg N/ha	5,20	0,091725

Tabulka 7: Vliv dávky síry na výslednou olejnatost (%)

kg S/ha	olejnatost	limits
0 kg S/ha	44,59	0,302294
15 kg S/ha	44,51	0,302294
25 kg S/ha	44,49	0,302294
50 kg S/ha	44,57	0,302294
75 kg S/ha	44,54	0,302294

Tabulka 8: Vliv dávky síry na výsledný výnos oleje (t/ha)

kg S/ha	výnos oleje	limits
0 kg S/ha	1,98	0,137413
15 kg S/ha	1,88	0,137413
25 kg S/ha	1,96	0,137413
50 kg S/ha	2,04	0,137413
75 kg S/ha	2,01	0,137413

Tabulka 9: Vliv dávky síry na výsledný výnos semene (t/ha)

kg S/ha	výnos semene	limits
0 kg S/ha	4,92	0,362524
15 kg S/ha	4,70	0,362524
25 kg S/ha	4,90	0,362524
50 kg S/ha	50,09	0,362524
75 kg S/ha	5,01	0,362524

Tabulka 10: Vliv hnojiva na výslednou olejnatost (%)

hnojivo	olejnatost	limits
DASA	44,49	0,339381
Krista MgS	45,29	0,339381

Tabulka 11: Vliv hnojiva na výsledný výnos oleje (t/ha)

hnojivo	výnos oleje	limits
DASA	1,96	0,2504862
Krista MgS	2,03	0,2504862

Tabulka 12: Vliv hnojiva na výsledný výnos semene (t/ha)

hnojivo	výnos semene	limits
DASA	4,90	0,321488
Krista MgS	4,98	0,321488

Tabulka 13: Vliv termínu na výslednou olejnatost (%)

termín	olejnatost	limits
25 kg S/ha (3.3.)	44,49	0,344988
25 kg S/ha (19.3.)	44,44	0,344988
25 kg S/ha (7.4.)	44,92	0,344988

Tabulka 14: Vliv termínu na výsledný výnos oleje (t/ha)

termín	výnos oleje	limits
25 kg S/ha (3.3.)	1,96	0,051799
25 kg S/ha (19.3.)	1,95	0,051799
25 kg S/ha (7.4.)	1,98	0,051799

Tabulka 15: Vliv termínu na výsledný výnos semene (t/ha)

termín	výnos semene	limits
25 kg S/ha (3.3.)	4,90	0,146847
25 kg S/ha (19.3.)	4,89	0,146847
25 kg S/ha (7.4.)	4,91	0,146847



Obrázek 3: Porost 1.6. 2021, varianta 1a