



Efektivní užití hnojiva LAD s pomalým uvolňováním živin

2021

Kolektiv autorů

**Mendelova univerzita v Brně
Lovochemie, a.s.**

Autoři:

doc. Ing. Petr Škarpa, Ph.D. (Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně)
doc. Ing. Pavel Ryant, Ph.D. (Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně)
Ing. Dominika Mikušová (Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně)
Ing. Jiří Antošovský (Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně)
Bc. Petr Ulbricht (Lovochemie, a.s.)
Ing. Jiří Valenta (Lovochemie, a.s.)

Dedikace:

Metodika je výstupem projektu TH03030220: Environmentálně přijatelná granulovaná hnojiva s řízeným uvolňováním živin, řešeného v rámci Technologické agentury ČR, Programu na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje EPSILON.

Metodika byla v souladu s podmínkami MZe schválená ÚKZÚZ v Brně, který vydal osvědčení o uznání uplatněné certifikované metodiky č. UKZUZ 227690/2021.

Oponenti:

prof. Ing. Peter Kováčik, CSc.
Fakulta agrobiologie a potravinových zdrojov, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre,
Nitra, Slovensko

Ing. Miroslav Florián, Ph.D.
Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno, Česká republika

<https://doi.org/10.11118/978-80-7509-813-9>

ISBN 978-80-7509-813-9 (pdf)



This work is licensed under a

[Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 \(CC BY-NC-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Obsah metodiky

1. Cíl metodiky	4
2. Vlastní popis metodiky	4
2.1 Úvod	4
2.1.1 Dusík	4
2.1.2 Cyklus dusíku	4
2.1.3 Ztráty dusíku	6
2.1.4 Obalovaná hnojiva	7
2.2. Ověření účinku obalovaného hnojiva LAD ve výživě řepky ozimé	9
2.2.1 Základní charakteristika pokusných lokalit	9
2.2.2 Charakteristika hnojiv	12
2.2.3 Metodika polních pokusů	14
2.3 Výsledky ověření účinnosti obalovaného hnojiva LAD	16
2.3.1 Laboratorní testování obalovaného hnojiva LAD	16
2.3.2 Polní testování obalovaného hnojiva LAD	21
2.3.3 Závěr	25
2.3.4 Doporučení zemědělské praxi	26
3 Srovnání novosti postupů	26
4 Popis uplatnění metodiky	26
5 Ekonomické zhodnocení	26
6 Seznam použité související literatury	28
7 Seznam publikací, které předcházely metodice	31

1. Cíl metodiky

Metodika si klade za cíl seznámit pěstitele řepky ozimé s nově vyvinutými hnojivy na bázi hnojiva LAD obalených biodegradovatelným obalem z rostlinných olejů a na základě dosažených výsledků z testování vybraných kombinací a termínů hnojení poskytnout doporučení na jejich využití ve výživě této plodiny za účelem optimalizace výnosů a produkce oleje.

2. Vlastní popis metodiky

2.1 Úvod

S exponenciálním růstem světové populace a úbytkem orné půdy čelí zemědělství v posledních desetiletích velké výzvě v oblasti rostlinných komodit a potravin (Gerbens-Leenes et al. 2002; Jie et al. 2002). Do roku 2050 se může populace na Zemi přiblížit až 9,5 miliardám, což povede k téměř dvojnásobnému nárůstu poptávky po rostlinné produkci. Očekává se, že produkce obilovin vzroste z 940 milionů tun na 3 miliardy tun ročně (Brown et al. 2009, Alexandratos et al. 2012). Obdobně se u rozvojových zemí do roku 2050 odhaduje až trojnásobně vyšší produkce olejnatých semen, zvýšení produkce rostlinných olejů až na 25 milionů tun, produkce cukru by se měla dle odhadů zdvojnásobit (FAO, 2009). S tím spojené narůstající nároky na výnosy plodin vedou k celosvětově zvýšenému používání minerálních hnojiv. Nadměrná aplikace hnojiv však představuje zdroj znečištění půdy (těžké kovy), vody (vyplavování dusičnanů) a ovzduší (emise skleníkových plynů), které mohou být hrozbou pro lidské zdraví (Ju et al. 2006; Chien et al. 2009). Jednou z možností, jak snížit dávky dusíkatých hnojiv (omezení ztrát a negativního environmentálního vlivu), respektive zvýšit účinnost dusíkatého hnojení (pozdější příjem během vegetace za současného snížení přejezdů), je aplikace obalovaných hnojiv.

2.1.1 Dusík

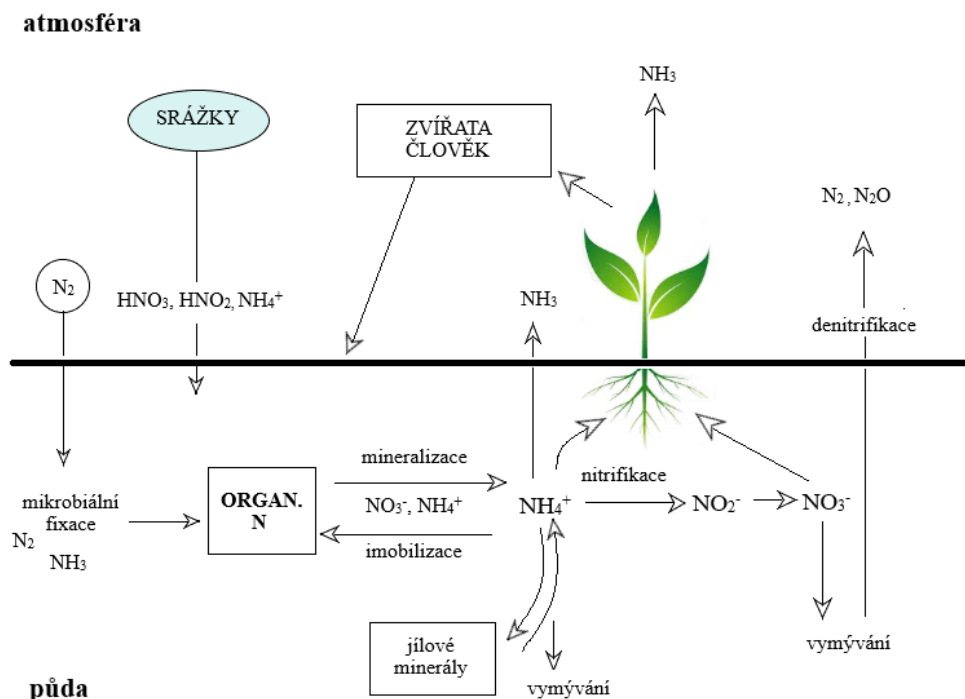
Dusík je jeden z hlavních prvků nezbytných pro tvorbu biomasy a zajištění životních funkcí buněk všech organismů jako složka aminokyselin, bílkovin, RNA, DNA, chlorofylu, chitinu a dalších látek (Šimek et al. 2019). U rostlin se hraje esenciální roli při jejich vývoji a růstu, tvorbě listů, obsahu chlorofylu a intenzitě fotosyntézy, ale také ovlivňuje příjem jiných prvků, např. draslíku a fosforu (Sedano-Castro et al. 2011). Rostliny přijímají dusík z půdy v jeho minerální formě, především jako NO_3^- a NH_4^+ . Obecně platí, že na zabezpečení normálního růstu rostlin se optimum obsahu dusíku v rostlinné sušině pohybuje v rozmezí 2–5 % (u hydroponie 5–10 %) (Castaño et al. 2008). Mezi hlavní příznaky nedostatku dusíku patří zpomalený růst nadzemní části rostlin, žloutnutí a nekrózy listů, předčasné kvetení a redukce vývoje plodů a semen rostlin (Salisbury et Ross 1994, WPHA, 2002). V přírodě patří dusík mezi nerozšířenější prvky (atmosféra, litosféra, hydrosféra). I přes jeho bohaté zastoupení v litosféře se v půdě nachází jen malá část přijatelná rostlinám.

2.1.2 Cyklus dusíku

Dusík je velmi mobilní prvek cirkulující mezi atmosférou, půdou a živými organismy. Jeho cyklus ovlivňuje mnoho faktorů fyzikálně-chemického a biologického původu (Mengel et Kirkby 2001). Mezi hlavní zdroje dusíku patří minerální a organická hnojiva, fixace vzdušného dusíku (spontánní ionizace molekulárního N_2 nebo biologická), mineralizace organické hmoty, tzn. aminizace, amonizace, následná nitrifikace a atmosférická depozice dusíku ve formě NH_4^+ , NO_x , HNO_3 nebo HNO_2 (Strock 2008, Fageria 2009).

Biologická fixace dusíku je přirozený proces redukce atmosférického N_2 na amoniak prováděný prokaryotickými volně žijícími nebo symbiotickými mikroorganismy, za pomoci enzymu nitrogenázy (de Bruijn 2015). Intenzita fixace N_2 závisí na dostupnosti organického uhlíku jako zdroji energie, koncentraci molekulárního kyslíku, koncentraci minerálních forem dusíku, ale také na teplotě a pH prostředí (Mengel a Kirkby 2001). Symbiotická fixace N_2 oproti volné fixaci probíhá v řádově větších množstvích, mezi nejznámější a současně nejvýkonnější symbiotické systémy patří spolupráce bakterií rodu *Rhizobium* a rostlin čeledi *Fabaceae* (Šimek et al. 2019).

Obr. 1 Cyklus dusíku (Mengel 1991)



Celkový obsah dusíku se v orniční půdě pohybuje v rozmezí 0,2 – 5 g/kg (průměrně 1,5 g/kg), přičemž až 98 % z tohoto množství je organického, rostlinám nepřístupného původu (Brady et Weil 2002).

Mineralizace organických dusíkatých látek představuje pro rostliny a mikroorganismy v přirozených a nehnojených oblastech hlavní zdroj dusíku. Probíhá hlavně činností mikroorganismů a extracelulárních enzymů mikrobiálního, rostlinného nebo živočišného původu. Výsledkem rozkladu organických molekul amoniak (Šimek et al. 2019). Intenzita mineralizace závisí na množství organického materiálu a jeho kvality (poměr C:N), pH a vlhkosti půdy, ale také typu vegetace pokrývající povrch půdy (Arslan et al. 2010). Organický dusík je však ve velkém množství v půdě stabilní (např. vazbou na jílové minerály) a nepodléhá biologickému rozkladu. Nejdůležitější zdroj organických molekul je dusík vázaný v aminokyselinách, peptidech (polypeptidech) a aminosacharidech (Mengel et Kirkby 2001). Mineralizace se skládá ze tří stupňů – první aminizace (rozklad složitějších organických sloučenin na aminokyseliny, aminy a amidy), druhá amonizace (proměna sloučenin na NH_4^+) a třetí nitrifikace (proměna NH_4^+ na NO_3^-) (Strock 2008).

Nitrifikace je proces oxidace amoniaku na nitrit (NO_2^-) a nitrát (NO_3^-) uskutečňovaný půdními bakteriemi. V prvním stupni nitrifikace (nitritace) oxidují aerobní bakterie (*Nitrosomonas*, *Nitrosovibria*, *Nitrospira*, *Nitrococcus* aj.) za pomoci enzymu amonium monooxygenázy amoniak na nitrit (Kowalchuk et Stephen 2001, Stein et Klotz 2016). Ve druhém stupni

nitrifikace (nitratace) oxidují bakterie (*Nitrobacter*, *Nitrosolobus* aj.) vzniknutý nitrit na nitrát (Singh et Verma 2007). Nitrifikace je značně ovlivňována teplotou (15-30 °C), pH půdy (6,2-9,0), vlhkostí půdy (40-60 %), koncentrací kyslíku a koncentrací solí (Ward 2008).

2.1.3 Ztráty dusíku

I přesto, že ztráty dusíku patří mezi přirozené procesy dusíkového cyklu, v důsledku lidské činnosti, z které v nejvyšší míře přispívá zemědělství, mají tyto ztráty negativní vliv na životní prostředí (tvorba skleníkových plynů, eutrofizace vod, kyselé deště aj.) a také přímo na lidské zdraví (methemoglobinémie, rakovina, otravy). Ke ztrátám dusíku dochází z důvodu emise jeho plyných metabolitů, volatilizací amoniaku, denitrifikací, vyplavováním nitrátů, exportem ve formě sklizně rostlinných produktů a erozí.

Emise plyných metabolitů dusíku (zejména NO_x , N_2O a NH_3) do atmosféry za běžných okolností přirozeně vyrovňávají jejich množství v atmosféře, odkud se odčerpávají biologickou fixací N_2 a spady (balance N cyklu). Tuto rovnováhu však výrazně narušuje člověk, který svou zemědělskou, průmyslovou a dopravní činností několikanásobně zvyšuje emise oxidů dusíku i amoniaku (Šimek et al. 2019, Yang et al. 2012). Zvýšená koncentrace NO_x a N_2O globálně představuje vážné environmentální následky, jako jsou kyselé deště (NO_x po reakci s ozonem a hydroxylovými radikály), tvorbu smogu a hromadění skleníkových plynů spojené se zvyšováním potenciálu globálního oteplování (MacDonald et al. 2011). Kromě přímého vlivu NO_x na acidifikaci prostředí patří také mezi tzv. nepřímé skleníkové plyny s potenciálem pro oteplování podobně jako metan (Lammel et Graßl 1995). Hlavním dusíkatým skleníkovým plynem je N_2O , jehož zvýšená emise s potenciálem až 310x vyšším než u CO_2 , představuje v kontextu globálního oteplování extrémní hrozbu (AGO 2004). Hnojení minerálními dusíkatými hnojivy se považuje za jedno z hlavních zdrojů emise N_2O ze zemědělsky využívaných půd, přičemž může zodpovídat až za 80 % emisí (Bouwman 1996, Gao et al. 2011).

Volatilizace amoniaku je proces ztráty plyného amoniaku (NH_3) z půdy a vody do atmosféry. V zemědělsky využívaných půdách dochází k volatilizaci zejména po aplikaci dusíkatých hnojiv (nejvíc močovina, bezvodý čpavek a organická hnojiva), zvláště pokud nejsou zapravena do půdy (Šimek et al. 2019). Její míra závisí nejen na teplotě (se zvyšující se teplotou se zvyšuje), pH půdy (především na zásaditých půdách), vlhkosti půdy a úhrnu srážek po aplikaci hnojiv, ale ve značné míře také na agrotechnických vstupech (Fageria 2009). V současné době mohou ztráty amoniaku po aplikaci dusíkatých hnojiv dosahovat až 50 %, co vede k snižování jejich celkové efektivity (Xue et al. 2013, Schlesinger a Hartley 1992, Fageria 2009).

Denitrifikace je anaerobní chemická redukce půdních dusičnanů (nebo dusitanů) chemotrofními denitrifikačními bakteriemi (*Pseudomonas aeruginosa*, *Micrococcus denitrificans*, *Thiobacillus denitrificans* aj.) přes meziprodukty oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusného (N_2O) až na elementární dusík (N_2) pomocí enzymů nitrát- a nitritreduktázy (Trois et al. 2010, Bedmar et al. 2013). Některé z uvedených plyných meziproductů (zejména N_2O) jsou považovány za skleníkové plyny, proto jejich potencionální uvolňování může vést k znečišťování životního prostředí. Denitrifikace je anaerobní proces, proto jsou kromě teploty a pH půdy (neutrální až alkalické) jedny z hlavních limitujících faktorů nedostatek kyslíku a přítomnost organické hmoty pro anaerobní respiraci (Bergaust et al. 2011).

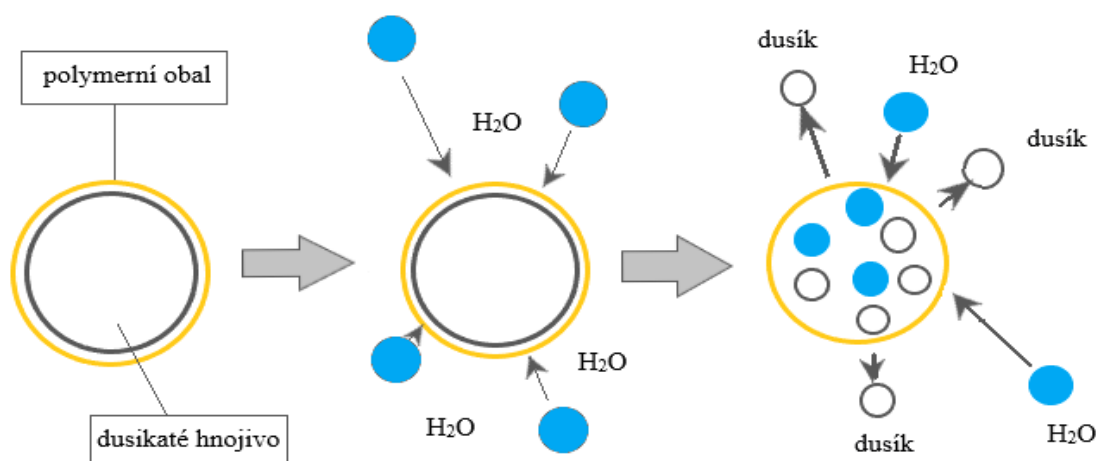
Vyplavování nitrátů a jeho eliminace představují jedny z největších environmentálních výzev z hlediska používání dusíkatých hnojiv. Ztráty dusíku způsobené vyplavováním NO_3^- z půdy do vody vedou jednak ke snižování úrodnosti půdy, především však ohrožují životní prostředí (eutrofizace vod), i lidské zdraví (Ju et al. 2006, Cameron et al. 2013). Největšími kontaminanty podzemních vod jsou dusičnany pocházející ze zemědělství (WWAP 2003). V Evropské unii je až 38 % vodních zdrojů výrazně pod tlakem znečištění ze zemědělství (WWAP 2015). Zvýšené hladiny dusičnanů přítomných v pitné vodě zvyšuje u kojenců riziko rakoviny, srdečních chorob a methemoglobinémie. Podle výpočtů Grizzettiho et al. (2011) až 50 %

evropské populace žije v oblastech s koncentrací dusičnanů ve vodě nad 25 mg/l a až 20 % žije v oblastech, kde dusičnany překračují hodnotu 50 mg/l, což je dle současného znění vyhlášky č 252/2004 Sb. nejvyšší mezní hodnota u pitné vody na našem území.

2.1.4 Obalovaná hnojiva

Aplikace hnojiv s řízeným uvolňováním (CRF) je způsob, jak zlepšit efektivitu využití živin, snížit ztráty dusíku a také přispět k minimalizaci znečištění životního prostředí (Gil-Ortiz et al. 2020). CRF prokazují potenciál snížit aplikační dávku hnojiva o 20 až 30 % doporučené dávky živin pro dosažení optimálního výnosu (Trenkel 2010). CRF lze definovat jako obalená nebo zapouzdřená hnojiva, z kterých se živiny uvolňují do prostředí skrz ve vodě nerozpustné, semipermeabilní nebo nepropustné membrány (Trenkel 2010, Shaviv 2005). Jejich chemická podstata a složení určující způsob, rychlost a dobu trvání uvolňování. K uvolňování živin dochází velmi často za pomoci difuze, kdy po proniknutí vody skrze póry obalu hnojiva dochází k jeho rozpouštění a následně k postupnému uvolňování do prostředí, které koresponduje s potřebami rostliny. Kinetika uvolňování živin se dá také ovlivnit i tloušťkou obalové vrstvy (Trenkel 2010, Bortolotto-Santos et al. 2019).

Obr. 2 Princip uvolňování živin z obalovaných hnojiv



Obalové materiály lze rozdělit do dvou kategorií – anorganické materiály (např. síra, bentonit, fosfosádrovec) a organické polymery složené ze syntetických polymerů odvozených od derivátů na bázi ropných produktů (polyuretan, polyetylén, alkydové pryskyřice atd.) nebo přírodních polymerů (např. olej, škrob, chitosan, celulóza) (Trenkel 2010).

Jednou z účinných metod přípravy CRF spojených se snížením ztrát živin je potažení povrchu hnojiva polyuretanovými materiály. Tyto obalové materiály jsou však spojeny s vysokými náklady a pocházejí z neobnovitelných zdrojů (Lligadas et al. 2006, Shavit et al. 1997). Studie dokázaly, že se zbytky polyuretanových obalů v půdě obtížně rozkládají a mohou způsobit potenciální riziko pro životní prostředí (Briassoulis et Dejean 2010). Z tohoto důvodu se v posledních letech při výrobě hnojiv klade důraz na hledání materiálů, které budou plnit požadavky biodegradace a obnovitelnosti na přírodní bázi (Tian et al. 2021). Rostlinný olej je považován za nejvhodnější materiál pro přípravu biopolymerů a polymerních materiálů, které jsou zároveň adekvátní náhradou polyuretanů (Zhang et al. 2014). Nejvíce využívané rostlinné oleje používané pro výrobu polymerů na biologické bázi jsou ricinový, lněný, řepkový, slunečnicový, palmový, tabákový, kukuřičný, sójový a řepkový (Abbasi et al. 2019). Nedávné

studie ukázaly, že hnojiva obalená polymery na bázi oleje rovnoměrně a postupně uvolňovala živiny a zároveň projevila vysokou míru biodegradovatelnosti (Feng et al. 2019, Bortoletto-Santos et al. 2016).

Řepka olejná je z hlediska spotřeby živin řadí k náročným plodinám (2 až 3x náročnější než obilniny). Na výnos 4 t semene spotřebuje přibližně 220 kg N, 225 kg K, 200 kg Ca, 70 kg S, 45 kg P a 30 kg Mg (Vašák et al. 2000). Na druhé straně má vysokou předplodinovou hodnotu, protože obohacuje půdu o organickou hmotu a mikroorganismy, vytváří drobtovitou strukturu a biologicky melioruje půdu. Na dostatečnou výživu dusíkem je řepka velmi náročná hlavně v čase od jarní regenerace až do fáze žlutých pupat (Bečka et al. 2007). Jeho nedostatek v tomto období se projevuje hlavně vytvářením nízkého počtu větví, redukcí květenství, snížením počtu šesulí, což v konečném důsledku ovlivňuje výši výnosu a kvalitativní parametry (Vašák et al. 2000, Bečka et al. 2007).

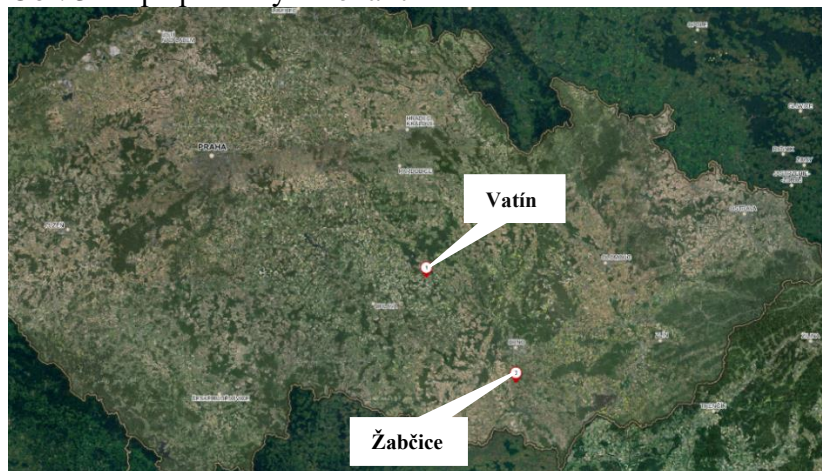
Pozitivní účinek CRF na kvalitativní a výnosové parametry řepky olejné (*Brassica napus* L.) byl popsán ve více studiích (Geng et al. 2015, Grant et al. 2012, Ren et al. 2016). Podle Liao et al. (2020) vedlo použití obalovaného hnojiva ke zvýšené akumulaci rostlinné biomasy (viditelné především ve fázi kvetení až plné zralosti), která se projevila na nárustu výnosu o 16,6 %. Pozitivní efekt obalovaných hnojiv se také projevil v nárustu mikrobiální aktivity a tím k prodloužení dostupnosti rostlinou využitelného dusíku v pozdějších vývojových fázích řepky. Tian et al. (2016) ve své studii prokázali, že aplikace CRF s různými dávkami N vedla k nárustu počtu šesulí, což rezultovalo zvýšeným výnosem semen v průměru o 17,3 % a obsahem oleje v semenech řepky. Podobné výsledky uvádí i Liu et al. (2019), kde aplikace dusíku v podobě obalované močoviny v dávce od 120 do 240 kg /ha N vedla k zvýšení výnosu v rozmezí 5,8 – 11,7 % a obsahu oleje semenech až o 12,4 %.

2.2. Ověření účinku obalovaného hnojiva LAD ve výživě řepky ozimé

Předložená studie se zaměřuje na ověření účinku obalovaného hnojiva LAD přírodním obalem na bázi rostlinných olejů ve výživě řepky ozimé dusíkem v polních experimentech realizovaných v letech 2019/20 a 2020/21.

Obalovaná hnojiva byla testována formou maloparcelních experimentů na pokusných stanicích v Žabčicích a Vatíně (obr. 3). Hlavním cílem pokusů bylo srovnávání účinku hnojiv s řízeným uvolňováním živin (obalovaný LAD) aplikovaných v různých poměrech a kombinacích s účinkem konvenčně využívaného hnojiva LAD na výnos a kvalitu produkce řepky ozimé.

Obr. 3 Mapa pokusných lokalit



2.2.1 Základní charakteristika pokusných lokalit

Školní zemědělský podnik Žabčice (Mendelova univerzita v Brně)

- obec Žabčice (49.0226389N, 16.6154822E)
- 30 km jižně od Brna
- kukuřičná výrobní oblast
- nadmořská výška: 184 m
- roční suma srážek: 480 mm
- průměrná roční teplota: 9,2 °C
- půdní typ: fluvizem, subtyp glejová
- půdní druh: převážně jílovitohlinitá až jílovitá půda



Tab. 1 Průměrná teplota v Žabčicích ve vegetačních obdobích 2019/2020 a 2020/21 (°C)

Měsíc	Normál*	2019/20	Hodnocení WMO	2020/21	Hodnocení WMO
září	14,7	15,6	normální	16,0	teplý
říjen	9,6	10,8	normální	10,5	normální
listopad	4,2	7,2	teplý	4,6	normální
prosinec	0,0	1,7	teplý	2,5	teplý
leden	-2,00	-0,5	normální	0,3	teplý
únor	0,2	4,8	mimořádně teplý	-0,4	normální
březen	4,3	5,8	normální	3,7	normální
duben	9,6	10,6	normální	7,6	studený
květen	14,6	13,0	studený	12,7	studený
červen	17,7	18,3	normální	20,9	mimořádně teplý
červenec	19,3	19,9	normální	21,2	silně teplý
srpen	18,6	21,3	velmi teplý	18,0	studený

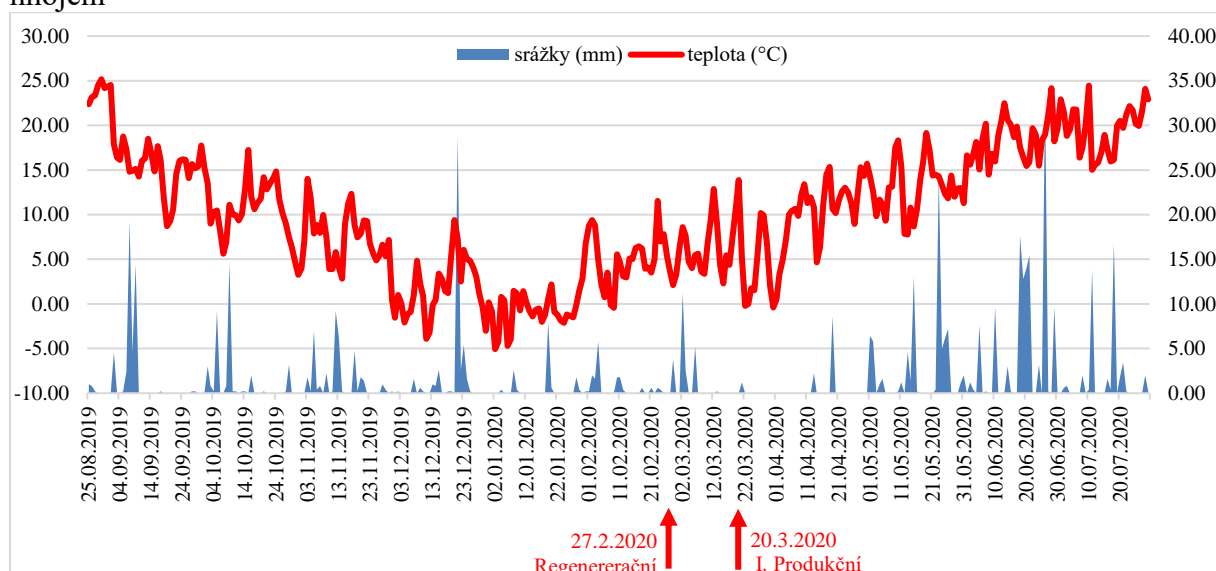
* 1961-1990

Tab. 2 Srážkový úhrn v Žabčicích ve vegetačních obdobích 2019/2020 a 2020/21 (mm)

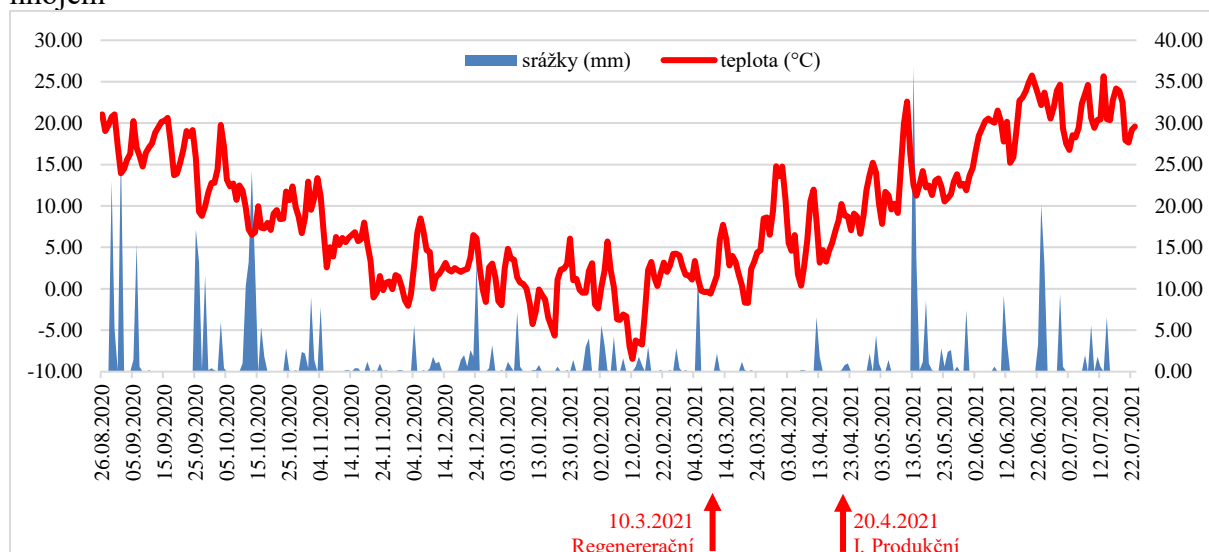
Měsíc	Normál*	2019/20	Hodnocení WMO	2020/21	Hodnocení WMO
září	35,5	46,0	nadnormální	87,2	silně nadnormální
říjen	31,0	35,0	nadnormální	83,4	silně nadnormální
listopad	38,6	38,0	normální	22,4	podnormální
prosinec	25,0	46,0	mimořádně nadnormální	35,6	nadnormální
leden	24,8	14,4	mimořádně podnormální	20,4	normální
únor	24,9	19,6	podnormální	24,6	normální
březen	23,9	20,4	podnormální	16,6	normální
duben	33,2	10,8	mimořádně podnormální	13,0	silně podnormální
květen	62,8	81,8	silně nadnormální	84,8	nadnormální
červen	68,6	128,6	mimořádně nadnormální	59,8	normální
červenec	57,1	44,0	podnormální	45,6	normální
srpen	54,3	97,6	mimořádně nadnormální	175,8	mimořádně nadnormální

* 1961-1990

Graf 1 Vývoj povětrnosti na lokalitě Žabčice ve vegetačním roce 2019/20 ve vztahu k termínům hnojení



Graf 2 Vývoj povětrnosti na lokalitě Žabčice ve vegetačním roce 2020/21 ve vztahu k termínům hnojení



Tab. 3 Vývoj povětrnosti v pokusných letech na lokalitě Žabčice ve vztahu k termínům hnojení

Lokalita	Vegetační sezona	Celá vegetace		Období mezi reg. a prod. hnojení		Období od prod. hnojení do sklizně	
		teplota	srážky	teplota	srážky	teplota	srážky
Žabčice	2019/20	9,9	487	6,0	23	14,3	266
	2020/21	9,0	493	5,5	13	16,9	165

Výzkumná pícninářská stanice Vatín (Mendelova univerzita v Brně)

- obec Vatín (49.5176269N, 15.9696028E)
- 6 km jižně od Žďáru nad Sázavou
- bramborářská výrobní oblast
- nadmořská výška: 560 m
- roční suma srážek: 617 mm
- průměrná roční teplota: 6,9 °C
- půdní typ: kambizem typická
- půdní druh: písčitohlinitá půda



Tab. 4 Průměrná teplota ve Vatíně ve vegetačních obdobích 2019/2020 a 2020/21 (°C)

Měsíc	Průměr*	2019/20	hodnocení WMO	2020/21	hodnocení WMO
září	12,0	12,7	normální	13,5	teplý
říjen	7,2	8,5	normální	8,2	normální
listopad	+1,8	5,2	velmi teplý	3,3	teplý
prosinec	-1,5	0,7	teplý	0,9	teplý
leden	-3,3	-1,3	teplý	-1,9	normální
únor	-1,7	2,7	velmi teplý	-1,6	normální
březen	2,1	3,4	normální	1,7	normální
duben	6,6	7,8	teplý	4,5	studený
květen	12,2	10,1	velmi studený	9,7	studený
červen	14,9	15,6	normální	17,9	mimořádně teplý
červenec	16,4	16,8	normální	18,0	silně teplý
srpen	16,3	18,2	teplý	15,1	studený

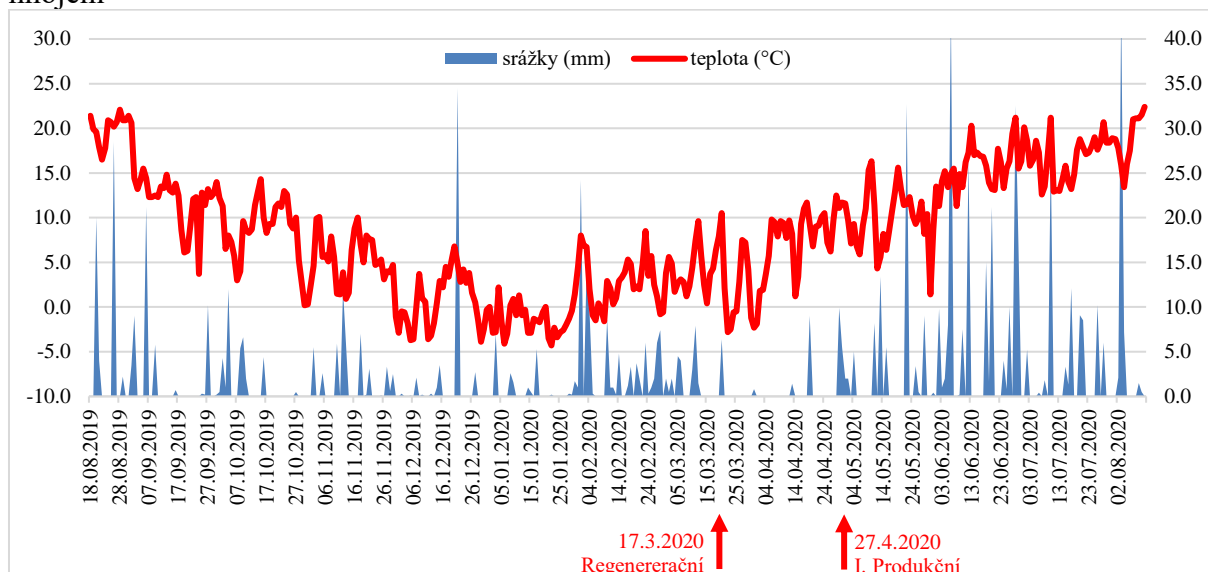
* 1961-1990

Tab. 5 Srážkový úhrn ve Vatíně ve vegetačních obdobích 2019/2020 a 2020/21 (mm)

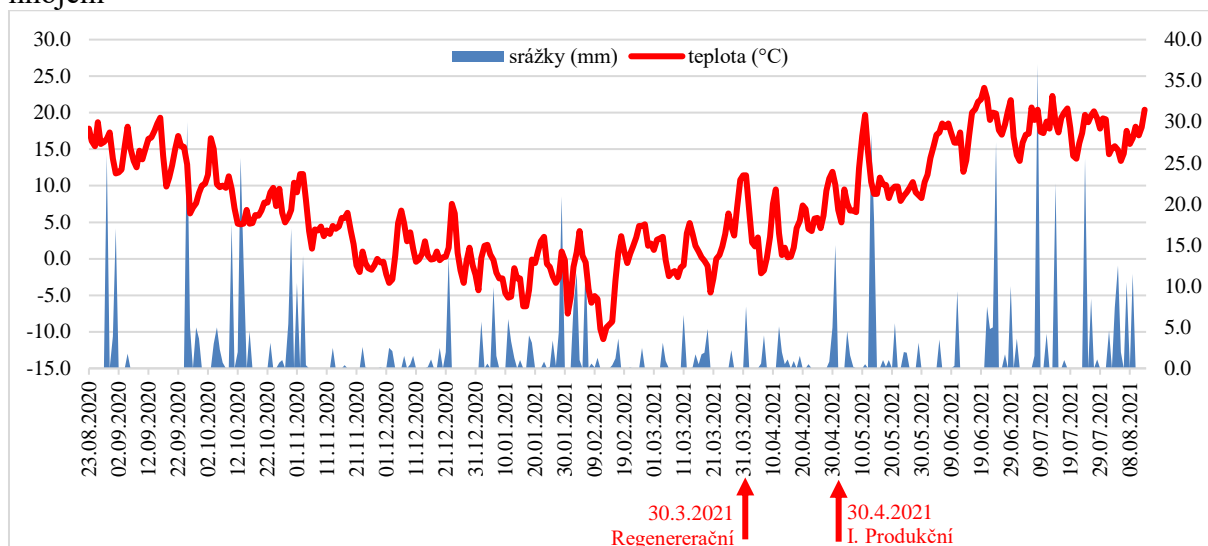
Měsíc	Průměr*	2019/20	hodnocení WMO	2020/21	hodnocení WMO
září	53,2	51,2	normální	62,4	normální
říjen	38,4	36,7	normální	101,2	silně nadnormální
listopad	40,6	48,7	vlhký	30,2	normální
prosinec	46,2	44,7	normální	27,5	normální
leden	45,4	21,4	mimořádně suchý	66,4	nadnormální
únor	30,6	97,0	mimořádně vlhký	43,3	nadnormální
březen	41,6	32,6	suchý	23,4	normální
duben	38,0	16,8	mimořádně suchý	29,6	normální
květen	66,5	82,1	vlhký	83,0	normální
červen	75,0	200,3	mimořádně vlhký	69,7	normální
červenec	79,5	84,9	normální	104,9	nadnormální
srpen	62,5	103,9	mimořádně vlhký	91,3	nadnormální

* 1961-1990

Graf 3 Vývoj povětrnosti na lokalitě Vatín ve vegetačním roce 2019/20 ve vztahu k termínům hnojení



Graf 4 Vývoj povětrnosti na lokalitě Vatín ve vegetačním roce 2020/21 ve vztahu k termínům hnojení



Tab. 6 Vývoj povětrnosti v pokusných letech na lokalitě Vatín ve vztahu k termínům hnojení

Lokalita	Vegetační sezona	Celá vegetace		Období mezi reg a prod. hnojení		Období od prod. hnojení do sklizně	
		teplota	srážky	teplota	srážky	teplota	srážky
Vatín	2019/20	8,2	835	4,5	9	14,0	447
	2020/21	7,4	720	4,6	25	15,3	311

2.2.2 Charakteristika hnojiv

V pokusu byla porovnávána účinnost obalovaného ledku amonného s dolomitem (LAD) s konvenčním hnojivem LAD bez povrchové úpravy. Ve všech ošetřeních byla aplikována shodná dávka dusíku s použitím různých zdrojů N: LAD ($\frac{1}{2}$ % N-NH_4^+ a $\frac{1}{2}$ % N-NO_3^- , Lovochemie a.s., Lovosice, Česká republika) a LAD potažený polymerem na bázi oleje (O-LAD) ve dvou vrstvách (tab. 7). Obalená hnojiva byla připravena nanesením povlaku na

konvenční hnojivo LAD pomocí fluidního granulovacího stroje. Povlak použitý při obalování granulí je polymerem na bázi oleje (triglyceridy mastných kyselin, z nichž nenasycené byly do 75 hm.%, kyselina polymléčná do 10 hm.%). Povlak na bázi oleje obsahuje, v porovnání s jinými typy obalů, biologicky odbouratelnější složkou zaručující vysokou míru degradability nátěrového materiálu.

Tab. 7 Testovaná hnojiva

Hnojiva	Typ obalu	Vrstva obalu	Obsah N
LAD	-		27,0 %
O-LAD4	olej	4 % hm.	25,9 %
O-LAD6	olej	6 % hm.	25,4 %

Obr. 4 Hnojivo LAD



Obr. 5 Hnojivo O-LAD4



Obr. 6 Blend LAD a O-LAD4



2.2.3 Metodika polních pokusů

Schéma hnojení, respektive kombinace testovaných hnojiv a forma jejich aplikace je uvedena v tabulce 8. Množství dusíku aplikované během vegetace (194 kg/ha N) odpovídá běžným dávkám používaným v praxi s respektem k nárokům pěstované plodiny.

Tab. 8 Testované varianty hnojení u řepky ozimé

Varianta		Aplikace	Regenerační hnojení		Produkční hnojení	
			Hnojivo	Dávka N (kg/ha)	Hnojivo	Dávka N (kg/ha)
1	LAD+LAD	Dělená	LAD	64	LAD	130
2	LAD+O-LAD4	Dělená	LAD	64	O-LAD4	130
3	LAD+O-LAD6	Dělená	LAD	64	O-LAD6	130
4	bl O-LAD4(1:1)	Jednorázová 1:1	LAD	97	-	-
			O-LAD4	97	-	-
5	bl O-LAD6(1:1)	Jednorázová 1:1	LAD	97	-	-
			O-LAD6	97	-	-
6	bl O-LAD4(1:2)	Jednorázová 1:2	LAD	64	-	-
			O-LAD4	130	-	-
7	bl O-LAD6(1:2)	Jednorázová 1:2	LAD	64	-	-
			O-LAD6	130	-	-
8	O-LAD4	Jednorázová	O-LAD4	194	-	-
9	O-LAD6	Jednorázová	O-LAD6	194	-	-

bl – blend

Variety 1–3 jsou charakteristické dělenou aplikací hnojiv, tedy regeneračním a produkčním přihnojením řepky ozimé dusíkem. Varianta 1 představuje kontrolní technologii, a to použití konvenčního hnojiva LAD v obou termínech. U variant 2 a 3 byl regeneračně aplikován klasický LAD, obalovaná hnojiva (O-LAD) byla použita v rámci produkčního hnojení.

Variety 4–7 představují jednorázovou aplikaci dusíku v termínu regeneračního hnojení v podobě směsi hnojiva LAD a jeho obalovaných ekvivalentů. Podíly komponentů směsi (LAD/O-LAD) byly stanoveny v poměru 1:1 a 1:2 aplikovaného dusíku.

Variety 8 a 9 představují opět jednorázovou aplikaci dusíku, která byla provedena čistě obalovanými hnojivy v termínu regeneračního hnojení.

Základní agrotechnika polních pokusů***Vegetační rok 2019/2020***

V rámci přípravy půdy byla na pokusné lokalitě v Žabčicích provedena dvakrát podmítka, setí odrůdy řepky DK EXCEPTION s následným uvalením proběhlo 25. 8. 2019. Regenerační hnojení dle výše zmíněného schématu bylo provedeno 27. 2. 2020, produkční hnojení proběhlo 20. 3. 2020. Sklizeň řepky proběhla 29. 7. 2020. Během vegetace byl pokus dvakrát ošetřován herbicidy (AGIL, BUTISAN STAR + GALERA), třikrát insekticidy (VAZTAK ACTIVE, NURELLE D, PROTEUS) a jednou fungicidně (PICTOR).

Ve Vatíně proběhla příprava půdy za pomoci orby, odrůda řepky SILVER byla vyseta 18. 8. 2019. Aplikace obalovaných hnojiv v rámci regeneračního přihnojení byla provedena 17. 3. 2020 dle schématu, produkční hnojení bylo provedeno o měsíc později (17. 4. 2020). Sklizeň řepky byla provedena 11. 8. 2020. Během vegetace byly porosty ošetřeny herbicidně (BUTISAN STAR), insekticidně (CALYPSO, PROTEUS) a fungicidně (CARYX, PICTOR). V jarním období byla navíc provedena aplikace přípravku STUTOX do děr za účelem hubení hlodavců.

Vegetační rok 2020/2021

Předseťová příprava půdy byla na pokusné stanici v Žabčicích provedena opět systémem dvou podmítek, setí odrůdy řepky DK EXCEPTION proběhlo 26. 8. 2020. Regenerační aplikace zkoumaných hnojiv byla provedena 10. 3. 2021, produkčně byla hnojiva dle schématu aplikována 20. 4. 2021. Sklizeň řepky byla provedena 23. 7. 2021. Během vegetace probíhala zj. insekticidní ochrana (DECIS MEGA 2x, NEXIDE, MOSPILAN, CYPERKILL MAX), ale také fungicidní (SYMETRA, PROPULSE) a herbicidní ochrana (PANTERA QT).

Na pokusné stanici ve Vatíně proběhla před setím (23. 8. 2020) řepky odrůdy SILVER podmítka. Regenerační hnojení dle schématu proběhlo 30. 3. 2021, produkční přihnojení bylo provedeno o měsíc později (30. 4. 2021). Sklizeň řepky byla provedena 13. 8. 2021. Pokus byl během vegetace ošetřován za pomoci herbicidu (BELKAR), insekticidů (NEXIDE 2x, MOSPILAN) a fungicidů (CARYX, EFILOR 2x). Na jaře byla také provedena aplikace přípravku STUTOX do děr za účelem hubení hlodavců.

Obr. 7 Polní pokusy s řepkou

**Hodnocené parametry**

Po sklizni, provedené maloparcelní sklízecí mlátičkou, byla zjištěna vlhkost semen a výnos z pokusných parcel. Z průměrných vzorků byl následně stanoven obsah oleje v semenech podle metodiky Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (Zbíral 2021). Olejnatost semen byla stanovena gravimetricky po extrakci vzorků diethyletherem Soxhletovou metodou založenou na NMR extrakci semen v kontinuálním průtokovém extraktoru Minispec mq series TD-NMR.

Statistické vyhodnocení

Vliv hnojení na výnos semen, olejnatost a produkci oleje řepky byl statisticky vyhodnocen v programu STATISTICA 12 (StatSoft, 2021). Normalita a homogenita rozptylů byla ověřena pomocí Shapiro-Wilkova a Levenova testu shodnosti rozptylu $p \leq 0,05$. Vliv hnojení byl analyzován pomocí vícefaktorové analýzy rozptylu ($p \leq 0,05$). Rozdíly mezi průměry byly vyhodnoceny pomocí Fisherova LSD testu.

2.3 Výsledky ověření účinnosti obalovaného hnojiva LAD

2.3.1 Laboratorní testování obalovaného hnojiva LAD

Za účelem vyhodnocení dynamiky uvolňování dusíku z obalovaných hnojiv byl před polním testováním hnojiv založen ve vegetačním období 2018/2019 nádobový experiment s řepkou zimou. Ve shodných termínech vegetace jako v podmínkách polních (regenerační a produkční hnojení) bylo aplikováno obalované hnojivo O-LAD6 samostatně a ve směsi (bl) s klasickým hnojivem LAD (tab. 9). Během vegetace řepky byla v nádobovém pokusu sledována dynamika uvolňování minerálního dusíku z hnojiv do půdy.

Tab. 9 Schéma nádobového pokusu

Varianta	Aplikace	Dávka dusíku v g/nádoba (mg/kg půdy)		
		Regenerační hnojení	Produkční hnojení	Celková dávka
LAD+LAD	Dělená	0,408 (68)	0,848 (141)	1,256 (209)
LAD+O-LAD6	Dělená	0,408 (68)	0,848 (141)	1,256 (209)
LAD	Jednorázová	1,256 (209)	-	1,256 (209)
O-LAD6	Jednorázová	1,256 (209)	-	1,256 (209)
bl O-LAD6(1:2)	Jednorázová	0,408+0,848 (68+141)	-	1,256 (209)

Po aplikaci hnojiv byly ve 3 termínech odebrány půdní vzorky z nádob (vždy ve 3 hloubkách), ve kterých byl stanoven obsah minerálního N (NO_3^- , NH_4^+). Na základě provedených analýz byla hodnocena dynamika uvolňování dusíku z testovaných hnojiv v čase, termíny odběrů půdy ve vztahu k setí, hnojení a sklizni uvádí tab. 10.

Tab. 10 Termíny odběrů půdy v nádobovém pokusu

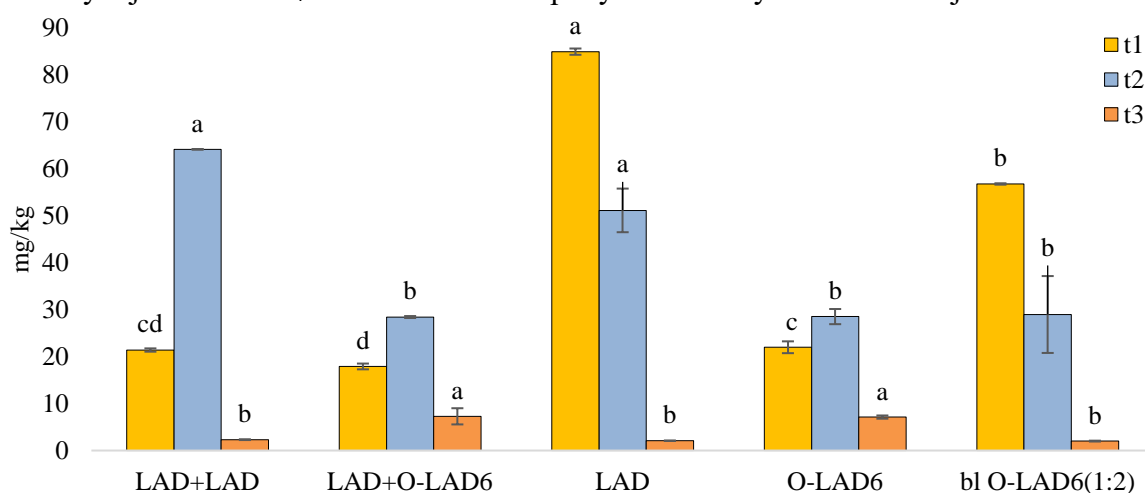
Opatření	Datum	Růstová fáze	Termín
Setí řepky	1. listopad 2018	setí	
Regenerační hnojení	11. březen 2019	9 rozvinutých listů	
Produkční hnojení, 1. odběr půdy	2. duben 2019	prodlužování stonku	t1
2. odběr půdy	16. duben 2019	butonizace	t2
3. odběr půdy	16. červenec 2019	sklizeň	t3

Přestože dostatek dostupného dusíku je nezbytný pro přímou spotřebu rostlinami, jeho nadměrný obsah může zvýšit jeho ztráty z půdy (Zhu 2000). Uvolňování dusíku z obalovaného hnojiva LAD významně ovlivnilo obsah rostlinami přijatelného N v půdě. Dynamika uvolnění minerálního N z hnojiva O-LAD6 byla ve srovnání s konvenčním neobalovaným hnojivem LAD výrazně mírnější, což dokazují hodnoty N_{\min} stanovené v půdě (tab. 11).

Tab. 11 Vývoj obsahu N_{\min} v půdě testovaných variant v čase

Varianta hnojení	t1	t2	t3
LAD+LAD	18,64 ^c ± 1,34	62,84 ^a ± 1,27	10,69 ^b ± 1,04
LAD+O-LAD6	14,23 ^c ± 1,72	23,33 ^b ± 1,25	18,21 ^a ± 3,09
LAD	108,42 ^a ± 3,37	37,54 ^b ± 6,44	8,54 ^b ± 0,60
O-LAD6	35,33 ^{bc} ± 2,89	19,42 ^b ± 1,22	19,17 ^a ± 2,90
bl O-LAD6(1:2)	50,73 ^b ± 2,22	24,34 ^b ± 5,09	11,99 ^b ± 0,99

Dusíkatá hnojiva obsahující amonnou formou N aplikovaná na povrch půdy bez jejich následného zapravení jsou potenciálně náchylná ke ztrátám dusíku volatilizací (Dari et al. 2019). Dusičnan amonný (v našem pokusu použitý LAD) lze zařadit mezi tato hnojiva, přičemž množství volatilizovaného NH_3 je dáno především výší aplikované dávky hnojiva (N) a vývojem povětrností po aplikaci hnojiv, především teplotou a vlhkostí (Yerokun 1997). Rovněž obal hnojiva může přispět k eliminaci rychlého uvolnění potenciálně volatilizovaného N do atmosféry. Tento předpoklad potvrdily analýzy svrchní vrstvy půdních vzorků (graf 5).

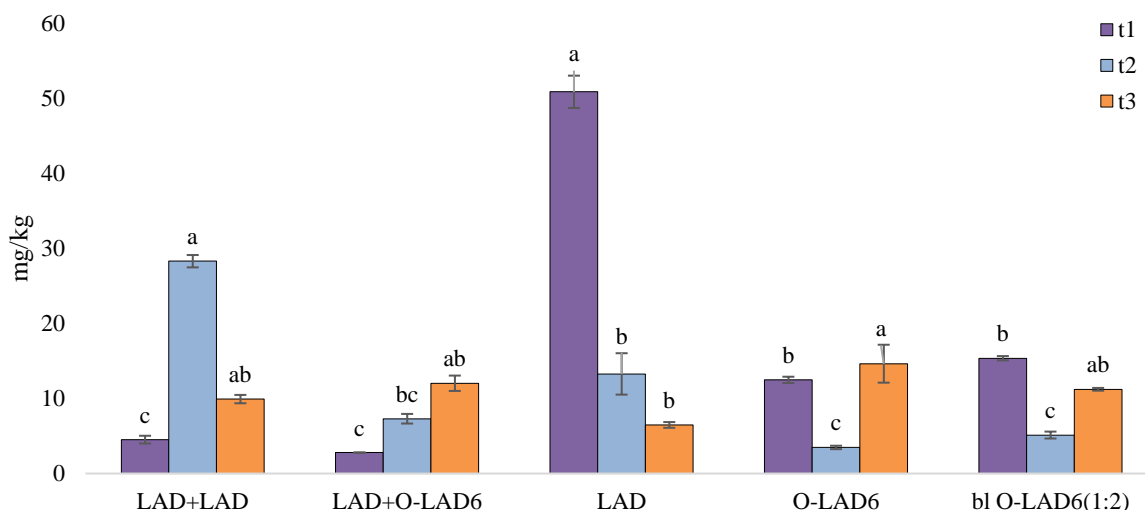
Graf 5 Vývoj obsahu NH_4^+ ve svrchní vrstvě půdy u testovaných variant hnojení v čase

Mezi obsahy NH_4^+ označenými stejnými písmeny (a, b, ...) nejsou statisticky průkazné ($p \leq 0,05$) rozdíly (v každém termínu hodnoceno zvlášť). Chybové úsečky vyjadřují směrodatnou odchylku průměrů.

Analogicky k hodnotám N_{\min} byl zaznamenán největší potenciál pro volatilizaci dusíku na variantě hnojené konvenčním neobaleným hnojivem LAD. Tento fakt dokumentují signifikantně nejvyšší obsahy NH_4^+ zjištěné v povrchové vrstvě půdy zejména v termínech t1 a t2. Zvýšenou zásobu NH_4^+ ve vrchní části půdy stanovenou po aplikaci blendu bl O-LAD6(1:2) lze přičíst účinku neobaleného hnojiva LAD, který činil 1/3 celkové dávky N. Přesto byl obsah NH_4^+ na této variantě signifikantně nižší v porovnání s jednorázovou aplikací konvenčního hnojiva LAD.

Kromě zmíněné volatilizace představuje rychlé uvolňování NH_4^+ také riziko zvýšené nitrifikace, tedy přirozeně probíhající přeměny amonného iontu do podoby vyplatitelného nitrátu (Bandibas, 1994). Obsah nitrátů zjištěný ze střední vrstvy profilu nádob (graf 6) poukazuje na potenciální migraci NO_3^- do spodních vrstev půdy, a podobně jako hodnoty nitrátů stanovené v půdě na spodní části nádob (graf 7) slouží k vyhodnocení rizika vyplavování dusičnanů do podzemních vod během vegetace řepky a bezprostředně po její sklizni.

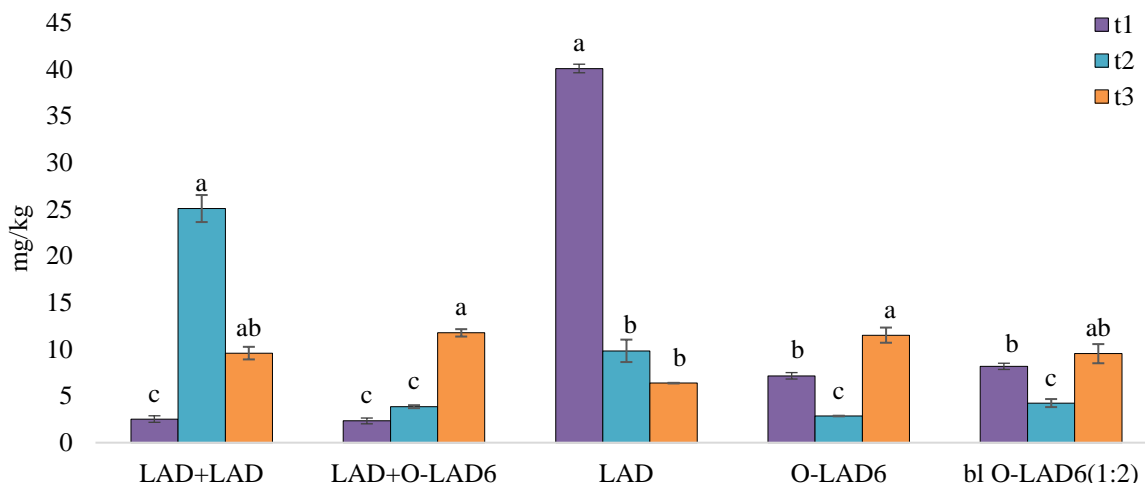
Graf 6 Vývoj obsahu NO_3^- ve střední vrstvě půdy u testovaných variant hnojení v čase



Mezi obsahy NO_3^- označenými stejnými písmeny (a, b, ...) nejsou statisticky průkazné ($p \leq 0,05$) rozdíly (v každém termínu hodnoceno zvlášť). Chybové úsečky vyjadřují směrodatnou odchylku průměrů.

Dle zmíněného předpokladu, výrazně nejvyšší potenciál pro vyplavování nitrátů, zaznamenaný v termínu t1, byl způsoben rychlým uvolňováním dusíku z neobaleného hnojiva LAD aplikovaného jednorázově (LAD). Podobně se v půdě nádobového pokusu chovalo toto hnojivo i při jeho dělené aplikaci (LAD+LAD), kde byl zjištěn signifikantně nejvyšší obsah nitrátu v termínu t2. Obalený LAD, aplikovaný děleně, jednorázově i v blendu, přispěl ke statisticky průkazné redukci obsahu nitrátů ve střední i spodní vrstvě půdy v obou zmíněných termínech vegetace (t1 a t2).

Graf 7 Vývoj obsahu NO_3^- ve spodní vrstvě půdy u testovaných variant hnojení v čase

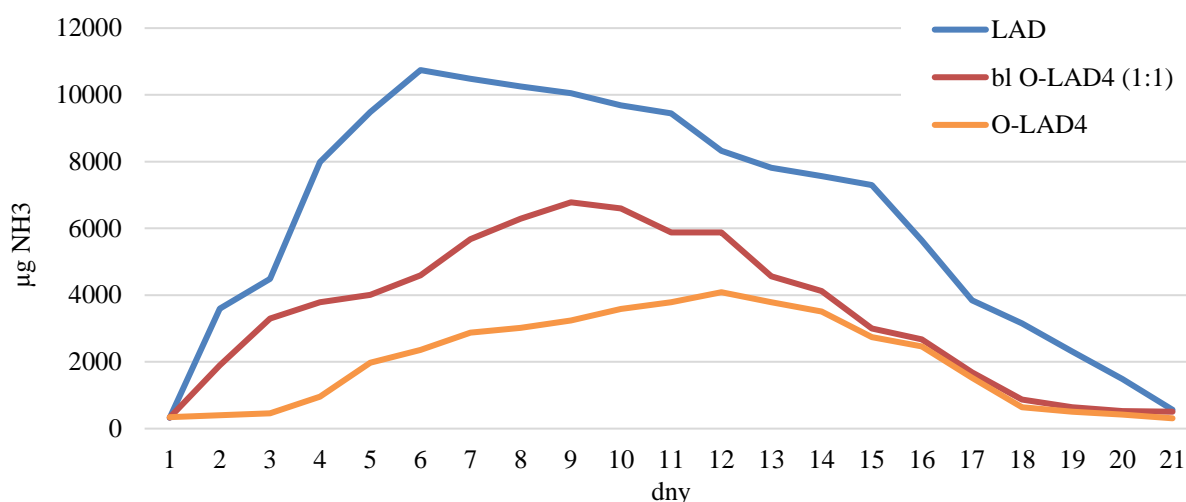


Mezi obsahy NO_3^- označenými stejnými písmeny (a, b, ...) nejsou statisticky průkazné ($p \leq 0,05$) rozdíly (v každém termínu hodnoceno zvlášť). Chybové úsečky vyjadřují směrodatnou odchylku průměrů.

Signifikanční vliv obalu na vývoj emisí plynů dusíku (NH_3 , N_2O , NO_x) deklarují výsledky nádobového experimentu založeného za účelem posouzení ztrát N z aplikovaných hnojiv. Během 3 týdnů byl v laboratorním experimentu kontinuálně stanovován vývoj emise plynů (NH_3 , NO_x a N_2O). Testovaná hnojiva (LAD, O-LAD4 a jejich směs "bl O-LAD4") byla rovnoměrně rozmístěna na povrch půdy, která byla během pokusu pravidelně zavlažovaná. Pravidelné měření emisí plynů bylo provedeno pomocí analyzátorů od firmy Thermo Scientific, Model 46i (NH_3) a Model 17i (NO_x a N_2O).

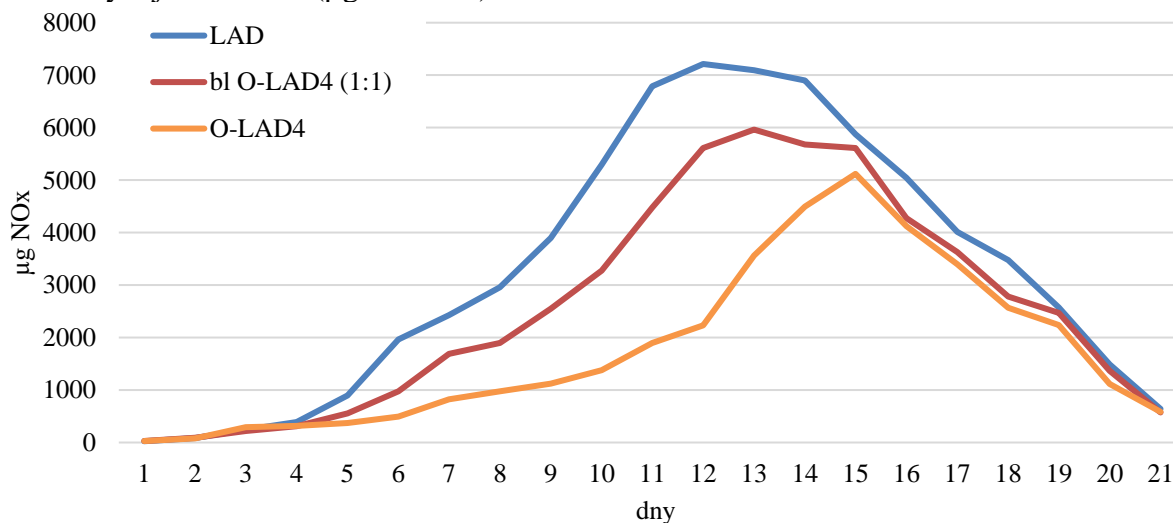
Množství volatilizovaného NH_3 z neobalovaného hnojiva LAD se téměř lineárně zvyšovalo během prvního týdne experimentu, na konci tohoto období kulminovalo (cca 6 den od založení) a v dalších dnech se jeho hodnoty postupně snižovaly. Vedle toho hnojivo obalené olejovým polymerem emitovalo amoniak v relativně malém množství, jeho emise kulminovala ve 12 dnu experimentu. V tento den naměřené množství uvolněného amoniaku z hnojiva O-LAD4 dosahovala cca 1/3 emise naměřené při kulminaci NH_3 z konvenčního hnojiva v 6 den experimentu. Úroveň těkání amoniaku se směsí obou hnojiv (v grafu pod označením bl O-LAD4 1:1), stejně jako jeho kulminace, měla logický vývoj a pohybovala se mezi hodnotami klasického LAD a O-LAD4.

Graf 8 Vývoj emisí amoniaku ($\mu\text{g}/\text{den NH}_3$)



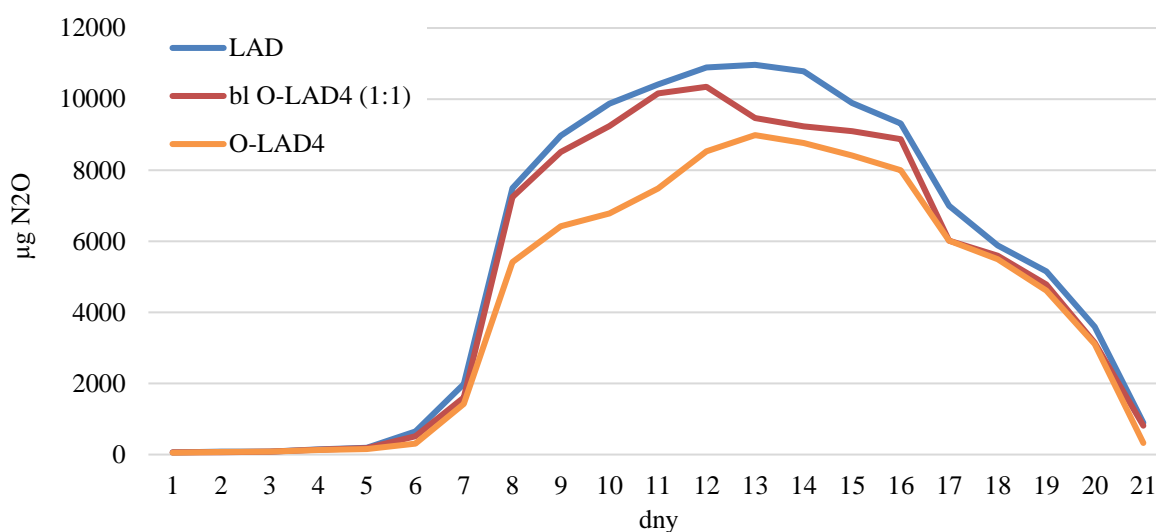
Podobně jako u emise amoniaku i produkce NO_x byla redukována účinkem obalu. I u tohoto plynu je mezi sledovanými variantami patrný rozdíl v množství vyprodukovaného plynu a posun jeho emise v čase. Zatím co uvolněný NO_x kulminoval u varianty LAD 12. den po založení pokusu ($7,2 \text{ mg}/\text{den NO}_x$), u varianty s obalovaným hnojivem bylo jeho nejvyšší emitované množství naměřeno o 3 dny později, navíc v úrovni o více než 2 mg vytvořeného plnu za den nižší.

Graf 9 Vývoj emisí NO_x ($\mu\text{g}/\text{den NO}_x$)



Logicky nejmenší rozdíl v úrovni plyných ztrát byl mezi testovanými hnojivy zjištěn v případě emise N_2O . Zatím co redukce tvorby předešlých plynů byla založena v principu na účinku obalu, který zabránil přímému kontaktu minerálního dusíku obsaženého v hnojivu (NH_4NO_3) s atmosférou a zpomalil jeho rychlé uvolnění do prostředí, čímž významně omezil volatilizaci NH_3 a uvolnění NO_x , na oxid dusný, jako produkt denitrifikace, obal neměl významný vliv. I přes skutečnost, že obal hnojiva snížil emise amoniaku a NO_x a tím potenciálně zvýšil půdní zásobu vyplatitelného dusíku (NO_3^-), tedy dusíku, který podléhá denitrifikaci a je primárním zdrojem N_2O , emitované množství tohoto plynu stanovené na variantě hnojené hnojivem O-LAD4 bylo nejnižší. Zejména pak v období 8.–16. dne pokusu bylo produkováno na této variantě v průměru o 2,2 mg/den N_2O méně v porovnání s variantou hnojenou hnojivem LAD.

Graf 10 Vývoj emisí oxidu dusného ($\mu\text{g}/\text{den N}_2\text{O}$)



Podíl dusíku emitovaného ve formě plynů z jeho celkového množství aplikovaného hnojivy do nádob prezentuje tabulka 12. Obal na bázi oleje potažený ve vrstvě 4 % z hmotnosti hnojiva snížil ztráty dusíku o téměř 50 % oproti jeho konvenčnímu neobalenému protějšku.

Tab. 12 Ztráty dusíku z hnojiv

Hnojivo	Dávka (g/nádoba)		Ztráty dusíku (%)			
	hnojiva	N	NH_3	NO_x	N_2O	Celkem
LAD	4,02	1,085	10,2	1,9	6,7	18,9
bl O-LAD4 (1:1)	4,12	1,085	5,6	1,5	6,2	13,3
O-LAD4	4,22	1,085	3,3	1,0	5,3	9,6

Na základě vyhodnocení výsledků laboratorních testů založených s cílem posouzení účinnosti obalu hnojiva LAD, tvořeného biodegradabilním olejovým polymerem, byla zjištěna po aplikaci hnojiv O-LAD prokazatelná redukce plyných ztrát dusíku (NH_3 , NO_x a N_2O) a omezené vyplavení nitrátového dusíku v profilu půdy.

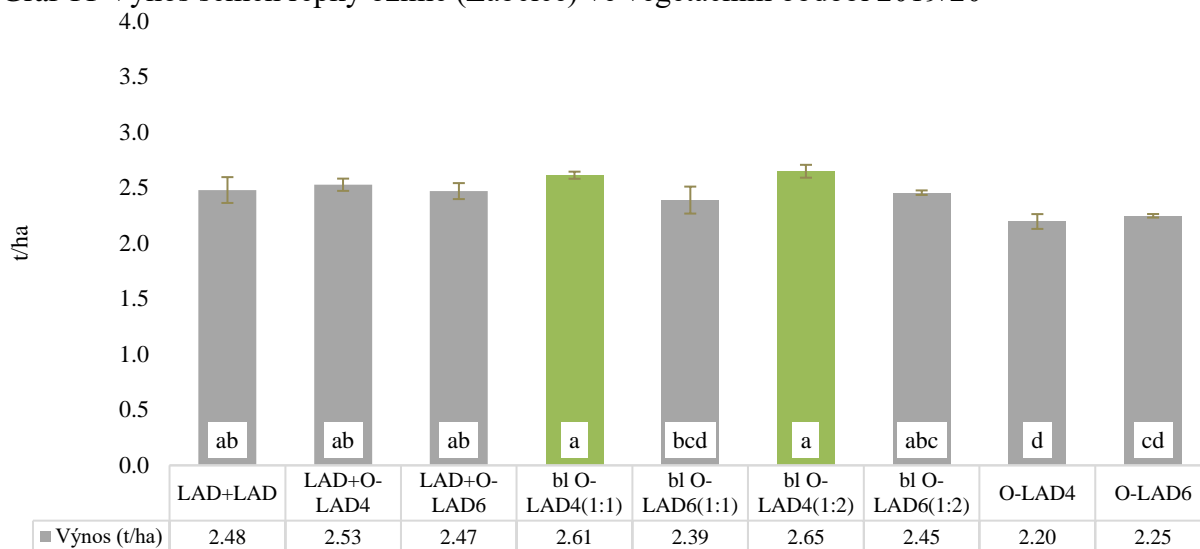
Redukce ztrát dusíku, zjištěná po použití hnojiv O-LAD, v principu zvyšuje efektivitu hnojení měřitelnou výnosem, případně kvalitou produkce. Za účelem ověření vlivu O-LAD na výnos a kvalitu semen řepky byly založeny polní pokusy realizované ve dvou vegetačních obdobích (2019/20 a 2020/21) na lokalitách Žabčice a Vatín.

2.3.2 Polní testování obalovaného hnojiva LAD

A) Lokalita Žabčice

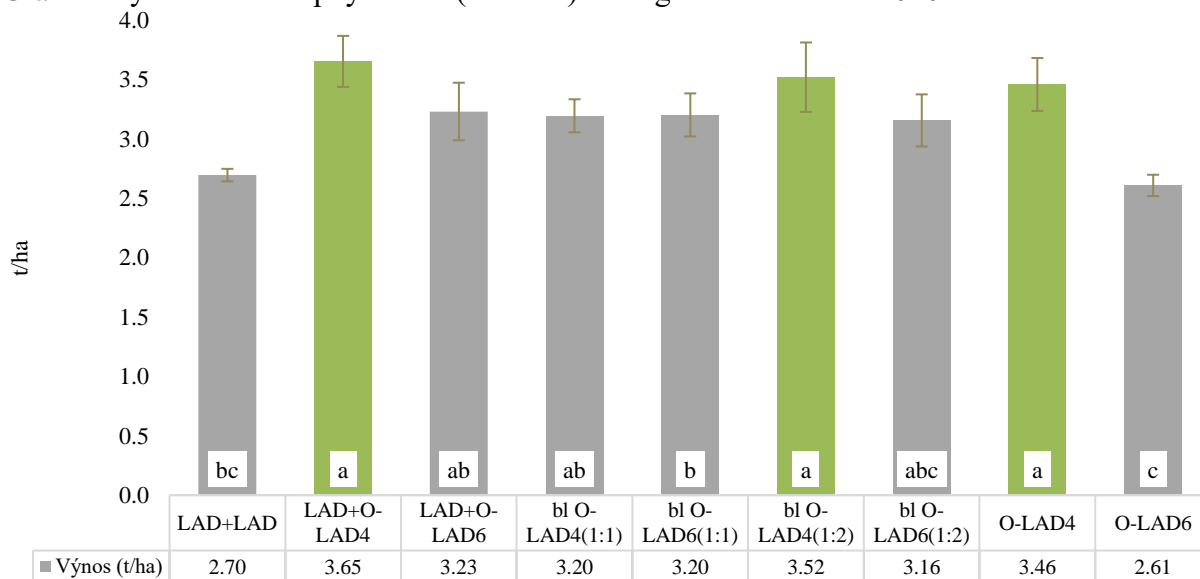
Nejvyšší výnos semene řepky ozimé byl na lokalitě Žabčice zaznamenán v obou sledovaných obdobích polního testování po aplikaci hnojiva O-LAD4 (graf 11 a 12). Hnojivo LAD obalené vrstvou oleje na úrovni 4 % jeho hmotnosti použité při regeneračním hnojení v kombinaci s klasickým neobalovým hnojivem LAD (var. bl O-LAD4) v poměru 1:2 (LAD/O-LAD4) a aplikované při dělné aplikaci v termínu produkčního hnojení (LAD+O-LAD4) mělo v podmínkách aridnější oblasti (Žabčice) největší vliv na produkci semen řepky. Ten se projevil v obou vegetačních obdobích a v průměru zvýšil u obou zmíněných variant produkci semen oproti klasické technologii (LAD+LAD) o téměř 20 % (graf 13).

Graf 11 Výnos semen řepky ozimé (Žabčice) ve vegetačním období 2019/20



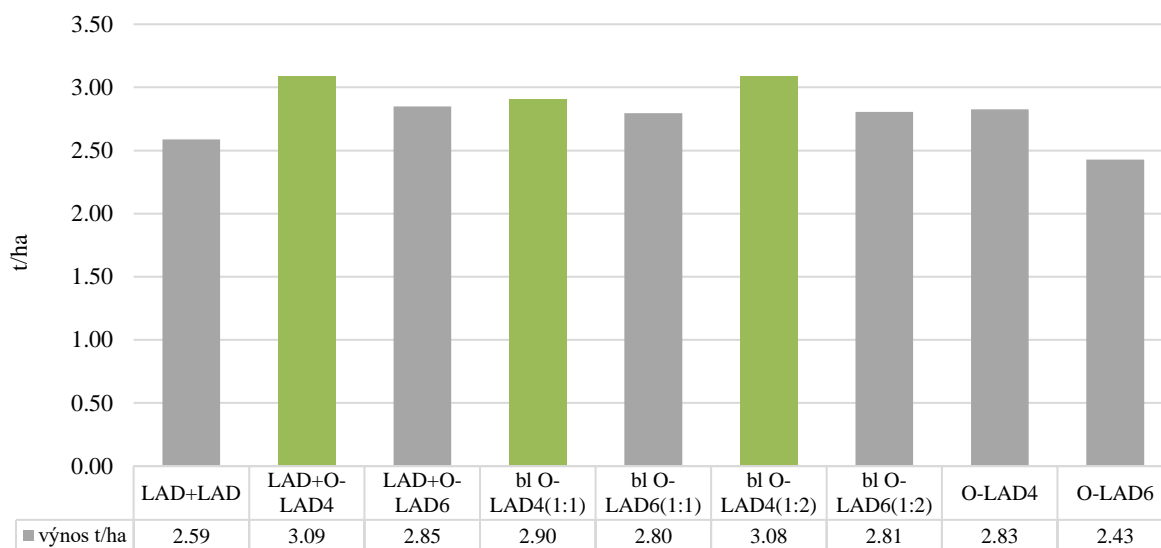
Mezi výnosy označenými stejnými písmeny (a, b, ...) nejsou statisticky průkazné ($p \leq 0,05$) rozdíly. Zeleně zvýrazněné varianty vykazují relativně nejvyšší produkci semen řepky. Chybové úsečky vyjadřují směrodatnou odchylku průměrů.

Graf 12 Výnos semen řepky ozimé (Žabčice) ve vegetačním období 2020/21



Mezi výnosy označenými stejnými písmeny (a, b, c) nejsou statisticky průkazné ($p \leq 0,05$) rozdíly. Zeleně zvýrazněné varianty vykazují relativně nejvyšší produkci semen řepky. Chybové úsečky vyjadřují směrodatnou odchylku průměrů.

Graf 13 Průměrný výnos semen řepky ozimé (Žabčice)

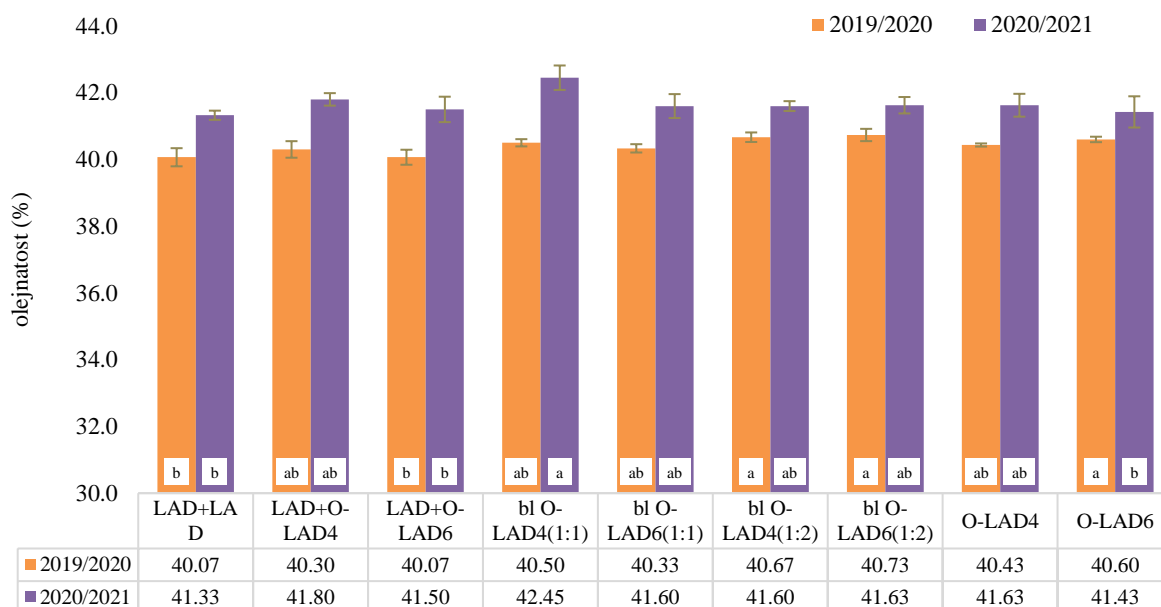


Zeleně zvýrazněné sloupce u variant s největším efektem hnojení na produkci semen.

Olejnatosť semen řepky ozimé nebyla v průměru obou testovaných let hnojením významně ovlivněna. Množství oleje v semeni řepky ovlivnil ročník (graf 14), jeho průměrný obsah obou testovaných období se pohyboval na úrovni $41 \pm 0,4$ % (graf 15).

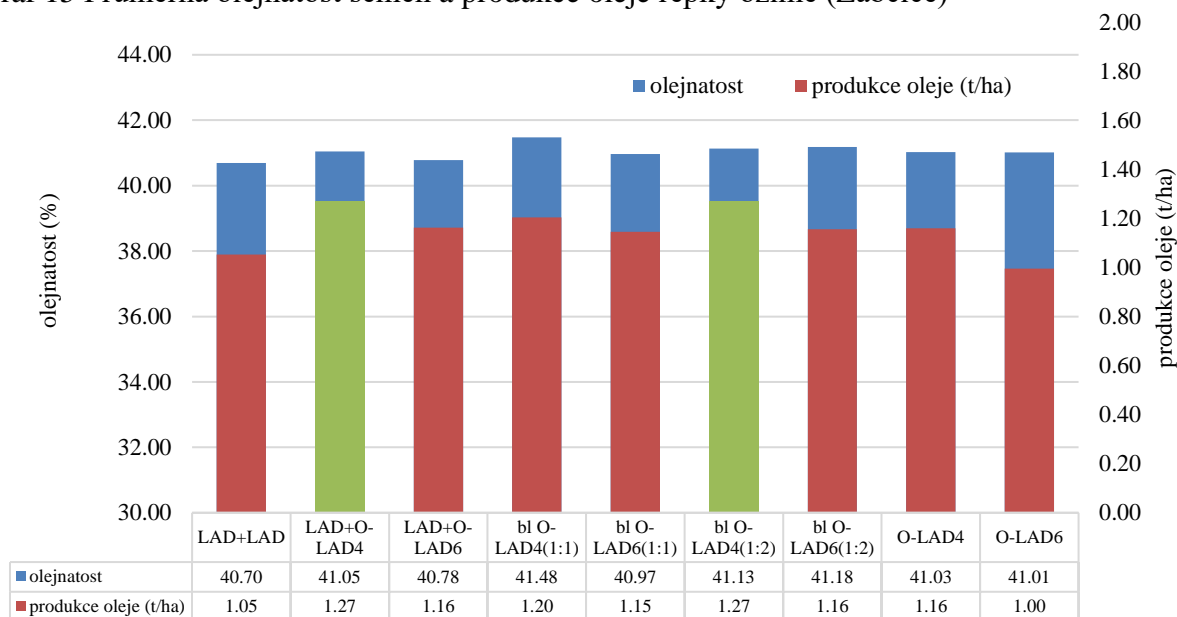
Nepatrný vliv hnojení dusíkem na olejnatosť řepky byl důvodem vysoké korelace mezi produkcí oleje z plochy (t/ha) a výnosem semen ($r = 0,988$, $p < 0,001$). Proto také nejvyšší výnos oleje byl dosažen na variantách s nejvyšší produkcí semen, tedy při použití klasického LAD ve směsi s jeho obalenou formou O-LAD4 aplikované v poměru 1:2 v termínu regenerace porostu řepky. Totožná produkce oleje byla zaznamenána na variantě hnojené dělenou dávkou N s využitím shodného typu obalovaného hnojiva (LAD+O-LAD4). U obou zmíněných variant se produkce oleje zvýšila oproti variantě LAD+LAD o 2,2 q z hektaru (graf 15).

Graf 14 Olejnatosť semen řepky ozimé (Žabčice)



Mezi olejnatostí semen označenou stejnými písmeny (a, b, ...) nejsou statisticky průkazné ($p \leq 0,05$) rozdíly (hodnocení bylo provedeno pro každé vegetační období zvlášť). Chybové úsečky vyjadřují směrodatnou odchylku průměrů.

Graf 15 Průměrná olejnatost semen a produkce oleje řepky ozimé (Žabčice)

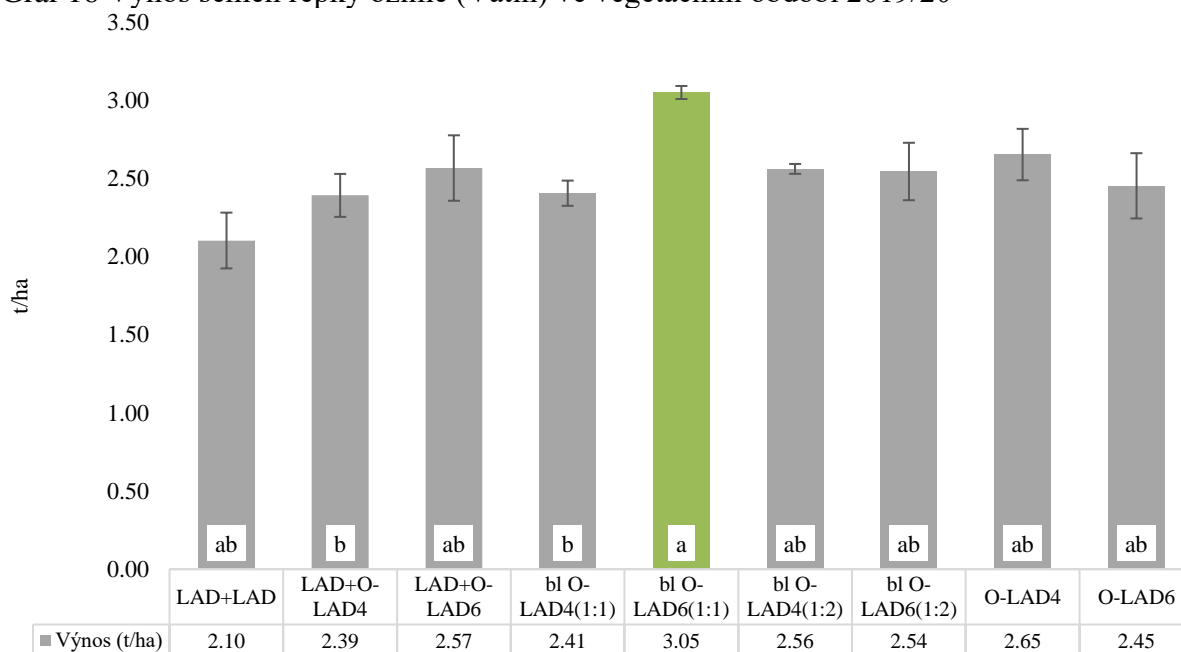


Zeleně zvýrazněné sloupce u variant s největším efektem hnojení na produkci oleje.

B) Lokalita Vatín

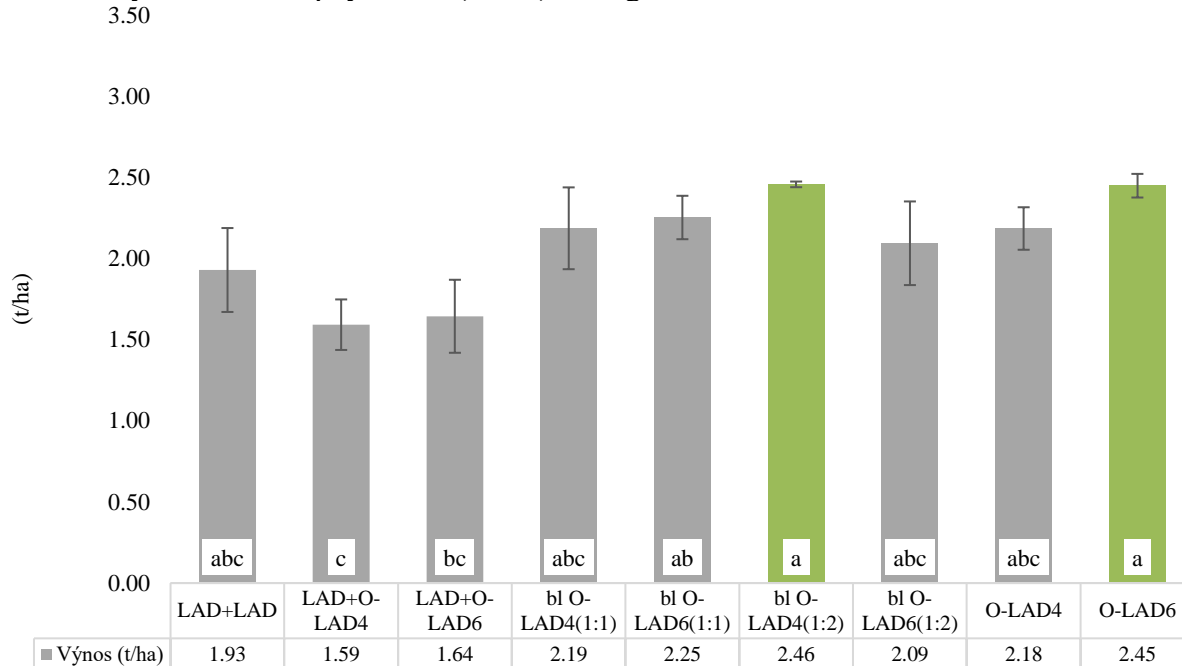
V podmínkách humidnější oblasti, kterou reprezentovala lokalita Vatín, se výnos semen řepky nejvíce zvýšil po regeneračním hnojení hnojivem O-LAD6, aplikovaném ve směsi s neobaleným hnojivem LAD v poměru 1:1, případně směsi LAD a O-LAD4 (v poměru 1:2) přihnojené rovněž v prvním jarním termínu. Na rozdíl od lokality s nižším úhrnem srážek (Žabčice) se v podmínkách Vatin uplatnilo hnojivo s větší tloušťkou obalu, ve vegetačním roce 2020/21 dokonce aplikované samostatně v jedné dávce v termínu regeneračního hnojení (var. O-LAD6).

Graf 16 Výnos semen řepky ozimé (Vatín) ve vegetačním období 2019/20



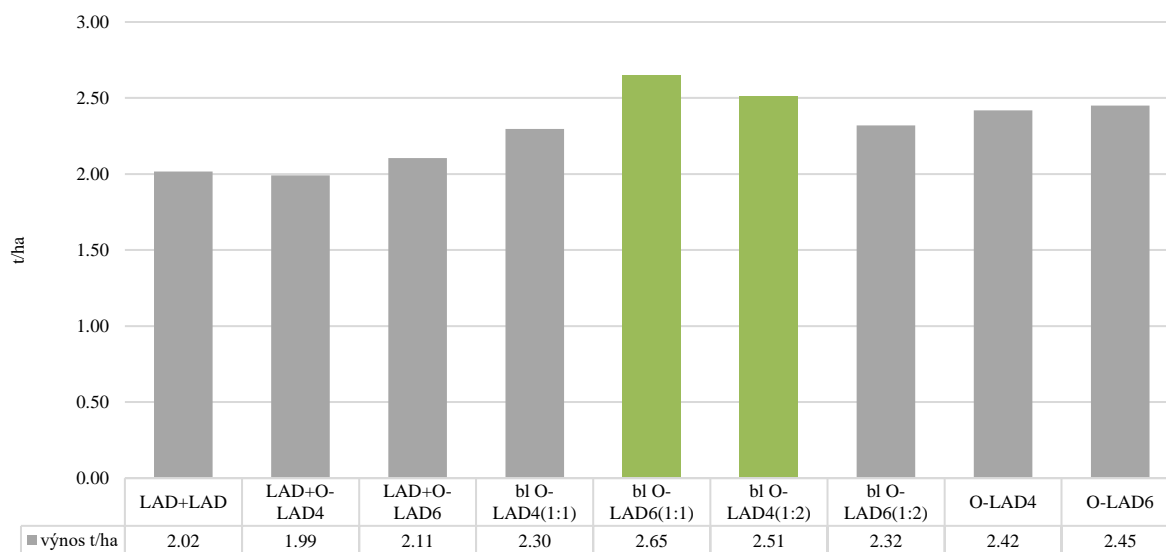
Mezi výnosy označenými stejnými písmeny (a, b) nejsou statisticky průkazné ($p \leq 0,05$) rozdíly. Zeleně zvýrazněné varianty vykazují relativně nejvyšší produkci semen řepky. Chybové úsečky vyjadřují směrodatnou odchylku průměrů.

Graf 17 Výnos semen řepky ozimé (Vatín) ve vegetačním období 2020/21



Mezi výnosy označenými stejnými písmeny (a, b, c) nejsou statisticky průkazné ($p \leq 0,05$) rozdíly. Zeleně zvýrazněné varianty vykazují relativně nejvyšší produkci semen řepky. Chybové úsečky vyjadřují směrodatnou odchylku průměrů.

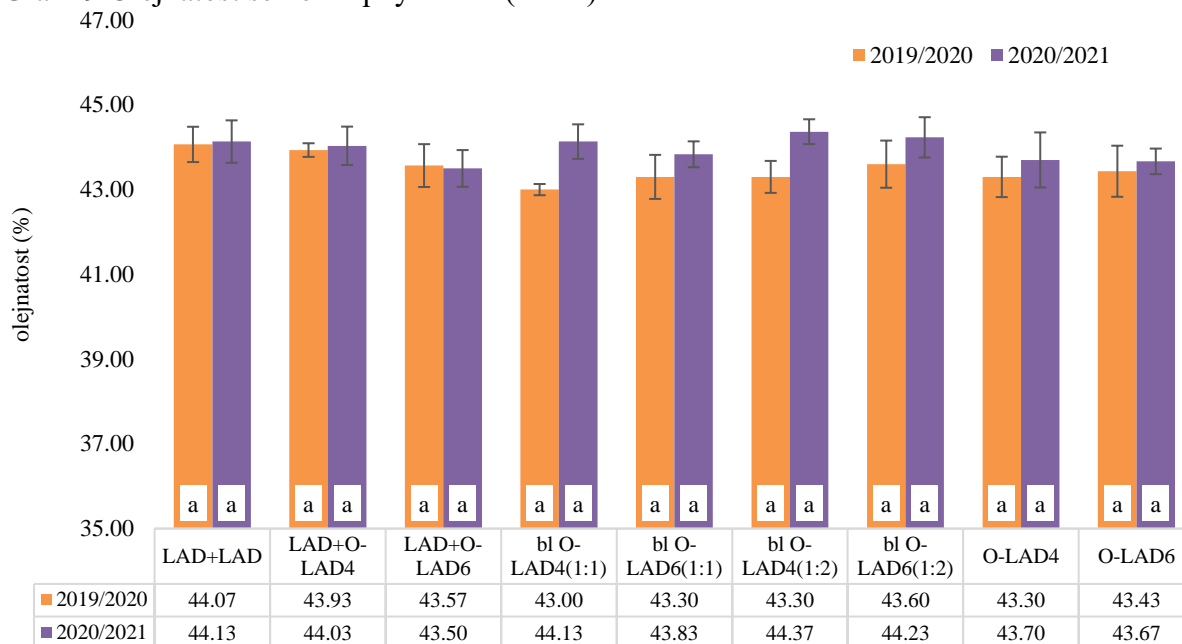
Graf 18 Průměrný výnos semen řepky ozimé (Vatín)



Zeleně zvýrazněné sloupce u variant s největším efektem použitého hnojení na produkci semen.

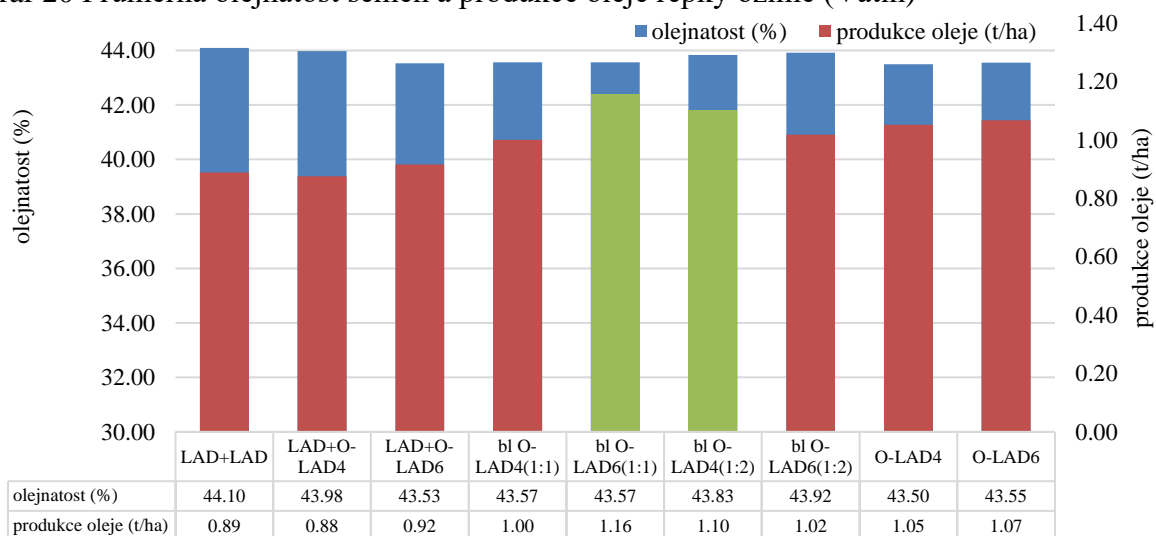
Ve shodě s výsledky polního experimentu z lokality Žabčice se hnojení obalovanými hnojivy na olejnatost semen řepky průkazně neprojevovalo. Vyprodukované množství oleje na ploše (t/ha) bylo závislé především na výnosu semen ($r = 0,995$, $p < 0,001$). Jeho nejvyšší produkce byla dosažena na variantě regeneračně přihnojené směsí LAD a O-LAD6 v poměru 1:1 a směsí LAD a O-LAD4 v poměru 1:2 (graf 19).

Graf 19 Olejnatost semen řepky ozimé (Vatín)



Mezi olejnatostí semen označenou stejnými písmeny (a) nejsou statisticky průkazné ($p \leq 0,05$) rozdíly (hodnocení bylo provedeno pro každé vegetační období zvlášť). Chybové úsečky vyjadřují směrodatnou odchylku průměrů.

Graf 20 Průměrná olejnatost semen a produkce oleje řepky ozimé (Vatín)



Zeleně zvýrazněné sloupce u variant s největším efektem použitého hnojení na produkci oleje.

2.3.3 Závěr

Na základě výsledků polních experimentů lze konstatovat, že LAD obalený olejem na úrovni 4 a 6 hmotnostních % (O-LAD4 a O-LAD6) aplikovaný zejména ve směsi s klasickým LAD prokazatelně zvyšuje výnos semene řepky. Olejový obal má tendenci snižovat emise plyných ztát na dusíku, především NH_3 a NO_x , zároveň je schopen zpomalit uvolňování dusíku z granulí a omezit jeho ztráty vyplavením. Pro tyto výhody je obalený LAD vhodným komponentem směsí (blendů) s klasickým hnojivem (LAD) aplikovaných zejména při regeneračním hnojení řepky. Tloušťka obalu, tvořeného biodegradovatelným polymerem rostlinných olejů, a vlhkost prostředí (množství srážek) odpovědné za rychlost uvolnění dusíku a rozhodují o efektu hnojení.

2.3.4 Doporučení zemědělské praxi

Přes zjištěné ročníkové rozdíly lze na základě zjištěné účinnosti hnojiv doporučit aplikaci dusíku do portů řepky ve formě obaleného hnojiva O-LAD ve směsi s klasickým, neobaleným LAD v termínu regeneračního hnojení.

V podmínkách aridnější oblasti, s nižšími srážkovými úhrny, je vhodnější aplikovat obalovaná hnojiva s tenčí vrstvou obalu (O-LAD4) v termínu regeneračního hnojení. Způsob hnojení s nejvýraznějším ekonomickým efektem, tedy varianta, kterou lze doporučit, je aplikace 1/3 dávky dusíku klasickým hnojivem LAD (65 kg N/ha) a 2/3 dusíku aplikovaného obalovaným hnojivem O-LAD4 při regeneraci prostu po zimě.

V humidnějších podmínkách se na produkci semen řepky projevila s nejvyšším ekonomickým dopadem aplikace směsi klasického LAD s oběma typy obalovaných hnojiv (O-LAD4 i O-LAD6). V oblastech s vyšší vláhovou jistotou je tak vhodné aplikovat dusík rovněž při regeneraci porostů, ideálně v blendu hnojiv LAD a O-LAD6 v poměru 1:1, případně směs LAD a O-LAD4 (v poměru 1:2) přihnojené rovněž v prvním jarním termínu.

Použití obalovaných hnojiv v termínu produkčního hnojení a jednorázová aplikace čistě obalovaných hnojiv v prvním jarním termínu (regenerační hnojení) se na základě dosažených výsledků jeví méně efektivními, případně ztrátové.

3 Srovnání novosti postupů

Metodika přináší nové postupy ve výživě řepky ozimé dusíkem, které jsou založeny na použití zcela nového obalovaného hnojiva LAD. Metodika prezentuje účinek čistě přírodního obalu hnojiva na redukci emisí plyných ztrát dusíku a jeho vyplavení do spodních vrstev půdy. Přináší zhodnocení víceletého srovnání vlivu hnojení obalovaného LAD a jeho konvenční, neobalené formy, na výnos semen, jejich olejnatost a produkci oleje. Žádná z předchozích metodik zaměřená na hnojení řepky dusíkem s využitím hnojiva LAD obalovaného biodegradovatelným polymerem na bázi rostlinných olejů nezabývala.

4 Popis uplatnění metodiky

Metodika je určena především managementu podniků pěstujících řepku ozimou, dále zemědělským poradcům v zemědělství, organizacím sdružujících pěstitele řepky ozimé za účelem poradenské činnosti a pracovníkům ve státní správě.

Metodika bude uplatněna v zemědělské prvovýrobě, zejména v podnicích pěstujících řepku ozimou. Certifikovaná metodika bude distribuována v písemné formě na pořádaných konferencích, seminářích a polních dnech určených pro zemědělskou veřejnost. V elektronické podobě bude zveřejněna na webových stránkách Mendelovy univerzity v Brně a výrobce hnojiva.

5 Ekonomické zhodnocení

Řepka ozimá patří mezi nejpěstovanější plodiny v ČR s výměrou, která v posledních letech převyšuje 350 tis. ha. V systému střídání plodin má řepka ozimá mimořádné postavení. I když je pěstování této plodiny spojeno s relativně vyššími náklady, vychází „ekonomika“ řepky ozimé dlouhodobě ziskově, zejména z důvodu propracované technologie pěstování, která je v ČR na vysoké úrovni a dovoluje pěstitelům dosáhnout relativně vysoké výnosy. Tyto, se díky poměrně stabilním cenám, které jsou dány velkou poptávkou po této komoditě, daří úspěšně zhodnotit. Mimo to je řepka vhodným přerušovačem obilních sledů a její pěstování přináší pěstitelům benefity. Jedná se především o vnos velkého množství organické hmoty do půdy s pozitivním vlivem na tvorbu její drobtovité struktury a nezanedbatelným antifytopatogenním efektem.

Součástí již zmíněných nákladů na produkci řepky jsou i hnojiva, aplikovaná zejména za účelem dodání dusíku. Řepka je náročná plodina na tento prvek. Díky velkému nárůstu biomasy a poměrně vysokému obsahu N v sušině je schopna odebrat během růstu více než 200 kg této živiny z ha. Průměrná potřeba dusíku na tvorbu výnosu je cca 50 kg/1 t semen a dávky této živiny v rozmezí 150–200 kg/ha N jsou v zemědělské praxi běžným vstupem k této plodině.

Za účelem ekonomického zhodnocení použití obalovaných hnojiv v systému hnojení řepky ozimé byla provedena finanční analýza. Ekonomické zhodnocení polních pokusů je založeno na srovnání variabilních nákladů na hnojení (ceny hnojiva a jejich aplikace) bez započítání fixních nákladů s výnosy, které představují tržby za produkci semen. Kalkulované ceny hnojiv s náklady spojené s jejich aplikací a cena semen řepky vychází z aktuálních tržních cen platných pro období 10-11/2021.

Náklady na hnojení:	LAD	326 EUR za tunu hnojiva
	O-LAD4	458 EUR za tunu hnojiva
	O-LAD6	498 EUR za tunu hnojiva
	Aplikaci hnojiva	12 EUR

Pro výpočet tržeb byla kalkulována farmářská cena semen řepky ve výši 447 EUR za tunu semen.

Tab. 13 Ekonomické zhodnocení vlivu hnojení řepky ozimé (Žabčice)

Varianta	Náklady na hnojení			Celkové tržby	Tržby bez hnojiv*	Rozdíl k LAD+LAD **
	Hnojiva	Aplikace	Celkem			
LAD+LAD	234	24	258	1157	899	
LAD+O-LAD4	307	24	331	1382	1051	152
LAD+O-LAD6	332	24	356	1275	919	20
bl O-LAD4(1:1)	289	12	301	1299	998	99
bl O-LAD6(1:1)	307	12	319	1250	931	32
bl O-LAD4(1:2)	307	12	319	1379	1060	161
bl O-LAD6(1:2)	332	12	344	1255	911	12
O-LAD4	343	12	355	1265	909	10
O-LAD6	380	12	392	1086	694	-205

* tržby za prodej semene řepky po odečtení nákladů na hnojení

** rozdíl v tržbách od klasické technologie (LAD+LAD)

Tab. 14 Ekonomické zhodnocení vlivu hnojení řepky ozimé (Vatín)

Varianta	Náklady na hnojení			Tržby		Rozdíl k LAD+LAD
	Hnojiva	Aplikace	Celkem	Celkové	Bez hnojiv*	
LAD+LAD	234	24	258	902	643	
LAD+O-LAD4	307	24	331	891	560	-84
LAD+O-LAD6	332	24	356	942	586	-58
bl O-LAD4(1:1)	289	12	301	1027	726	83
bl O-LAD6(1:1)	307	12	319	1186	867	223
bl O-LAD4(1:2)	307	12	319	1122	803	160
bl O-LAD6(1:2)	332	12	344	1037	693	50
O-LAD4	343	12	355	1082	727	83
O-LAD6	380	12	392	1096	704	61

* tržby za prodej semene řepky po odečtení nákladů na hnojení

** rozdíl v tržbách od klasické technologie (LAD+LAD)

Při použití běžně doporučených dávek dusíku k řepce ozimé a při započtení nákladů spojených s výrobou obalovaných hnojiv (materiálové náklady, technologie a pracovní náklady) a nákladů na aplikaci (tab. 13 a 14), hnojení obalenými hnojivy zvyšuje tržby řepky na variantách s nejvyšším výnosovým efektem oproti klasické technologii hnojení s dělenou dávkou hnojiva LAD o 152 a 162 EUR/ha na lokalitě Žabčice a o 160 a 223 EUR/ha na lokalitě Vatín (v tabulkách zeleně označeno).

6 Seznam použité související literatury

- Abbasi A., Nasef M.M., Yahya W.Z.N. 2019. Copolymerization of vegetable oils and bio-based monomers with elemental sulfur: A new promising route for bio-based polymers, *Sustain. Chem. Pharm.*, 13, 100158.
- Alexandratos N., Bruinsma J. 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working paper No. 12-03. FAO: Rome, Italy, pp. 147.
- Arslan H., Gülleryüz G., Kırmızı S. 2010. Nitrogen mineralisation in the soil of indigenous oak and pine plantation forests in a Mediterranean environment. *European Journal of Soil Biology*, 46(1), pp. 11-17.
- Australian Greenhouse Office (AGO). 2004. National Greenhouse Gas Inventory 2002. Australian Greenhouse Office, Canberra.
- Bandibas, J.; Vermoesen, A.; De Groot, C.J.; Cleemput, O.V. The effect of different moisture regimes and soil characteristics on nitrous oxide emission and consumption by different soils. *Soil Sci.* 1994, 158, 106–114.
- Bečka D. a kol. 2007. Řepka ozimá – Pěstitelský rádce. Vydání první. Vydavatelství Kurent, s. r. o, Praha, Česká republika. ISBN 978-80-87111-05-5.
- Bedmar E. J., Bueno E., Correa-Galeote, D., Torres M. J., Delgado M. J., Mesa S. 2013. Ecology of denitrification in soils and plant-associated bacteria. In book: *Beneficial Plant-Microbial Interactions: Ecology and Applications*, eds M. B. Rodelas and J. González-López. Boca Ratón, FL: CRC Press, pp. 164–182.
- Bergaust L., Bakken L. R., Frostegård Å. 2011. Denitrification regulatory phenotype, a new term for the characterization of denitrifying bacteria. *Biochem. Soc. Trans.*, 39, pp. 207–212.
- Bortoletto-Santos R., Ribeiro C., Polito W.L. 2016. Controlled release of nitrogen-source fertilizers by natural-oil-based poly (urethane) coatings: The kinetic aspects of urea release. *J. Appl. Polym. Sci.* 2016, 133, 43790.
- Bortoletto-Santos R., Guimarães G.G.F., Roncato Junior V., da Cruz D.F., Polito W.L., Ribeiro C. 2020. Biodegradable oil-based polymeric coatings on urea fertilizer: N release kinetic transformations of urea in soil. *Sci. agric.*, 77(1), pp. 1-9.
- Bouwman AF. 1996. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutr Cycl Agroecosyst.*, 46, pp. 53–70.
- Brady N.C., Weil R.R. 2002. The nature and properties of soils, 13th edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Briassoulis D., Dejean C. 2010. Critical review of norms and standards for biodegradable agricultural plastics part I. Biodegradation in soil. *J. Polym. Environ.*, 18, pp. 384-400.
- Brown M.E.; Hintermann B.; Higgins N. 2009. Markets, climate change, and food security in West Africa. *Environ. Sci. Technol.*, 43, pp. 8016–8020.
- Cameron K.C., Di H.J., Moir J.L. 2013. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. *Ann. Appl. Biol.*, 162, pp. 145–173.

- Castaño C.A, Morales L.C.S., Obando M.F.H. 2008. Assessment of nutritional deficiencies in growing blackberry (*Rubus glaucus*) under controlled conditions to lower montane forest. *Agronomy*, 16 (1), pp. 75-88.
- Chien S.H., Prochnow L.I., Cantarella H. 2009. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts *Adv. Agron.*, 102, pp. 267-322.
- Dari, B.; Rodgers, C.W.; Walsh, O.S. Understanding factors controlling ammonia volatilization from fertilizers nitrogen applications. *Univ. Ida. Ext. Bul* 2019, 926, 1–4.
- de Bruijn F. J. 2015. Chapter: Biological Nitrogen Fixation. In book: *Principles of Plant-Microbe Interactions: Microbes for Sustainable Agriculture*. Springer International Publishing, editor Lugtenberg, Ben. pp 215-224. ISBN 978-3-319-08575-3.
- FAO. 2009. HOW TO FEED THE WORLD IN 2050. Proceeding of the Expert Meeting on How to Feed the World in 2050. 24-26 June 2009, FAO Headquarters, Rome.
- Fageria N.K. 2009. *The Use of Nutrients in Crop Plants*. CRC Press, United States of America. ISBN 978-1-4200-7510-6.
- Feng G., Ma Y., Zhang M., Jia P., Hu L., Liu C., Zhou Y. 2019. Polyurethane-coated urea using fully vegetable oil-based polyols: Design, nutrient release and degradation. *Prog. Org. Coat.*, 133, pp. 267-275.
- Gao B., Ju X.T., Zhang Q., Christie P., Zhang F.S. 2011. New estimates of direct N₂O emissions from Chinese croplands from 1980 to 2007 using localized emission factors. *Biogeosciences*, 8, pp. 3011–24.
- Geng J., Sun Y., Zhang M., Li Ch., Yang Y., Liu Z., Li S. 2015. Long-term effects of controlled release urea application on crop yields and soil fertility under rice-oilseed rape rotation system. *Field Crops Research*, 184, pp. 65-73.
- Gerbens-Leenes P., Nonhebel S., Ivens W. 2002. A method to determine land requirements relating to food consumption patterns. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 90, pp. 47-58.
- Gil-Ortiz R., Naranjo M.Á., Ruiz-Navarro A., Atares S., García C., Zotarelli L., San Bautista A., Vicente O. 2020. Enhanced Agronomic Efficiency Using a New Controlled-Released, Polymeric-Coated Nitrogen Fertilizer in Rice. *Plants*, 9, 1183.
- Grant C.A., Wu R., Selles F., Harker K.N., Clayton G.W., Bittman S., Zebarth B.J., Lupwayi N.Z. 2012. Crop yield and nitrogen concentration with controlled release urea and split applications of nitrogen as compared to non-coated urea applied at seeding. *Field Crops Research*, 127, pp. 170-180.
- Grizzetti B., Bouraoui F., Billen G., van Grinsven H., Cardoso A.C., Thieu V., Garnier J., Curtis C., Howarth R.W., Johnes P. 2011. Nitrogen as a threat to European water quality. In *The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives*. Sutton, M.A., Howard, C. M., Erisman, J. W., Billen, G., Bleeker, A., Grennfelt, P., van Grinsven, H., Grizzetti, B., Eds., Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom, pp. 379-404.
- Jie C., Jing-zhang C., Man-zhi T. 2002. Soil degradation: a global problem endangering sustainable development. *J. Geogr. Sci.*, 12, 243-252.
- Ju X.T., Kou C.L., Zhang, F.S., Christie P. 2006. Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: Comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain. *Environ Pollut.*, 143, pp. 117–125.
- Kowalchuk G.A., Stephen J.R. 2001. Ammonia-oxidizing bacteria: a model for molecular microbial ecology. *Annu Rev Microbiol*, 55, pp. 485-529.
- Lammel, G. and Graßl, G. 1995. Greenhouse effect of NO_x. *Environ. Sci. Pollut. R.* 2: 40–45.

- Liao J., Liu X., Hu A., Song H., Chen X., Zhang Z. Effects of biochar-based controlled release nitrogen fertilizer on nitrogen-use efficiency of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Sci Rep.*, 10, 11063.
- Liu Q., Ren T., Zhang Y., Li X., Cong R., Liu S., Fan X., Lu J. 2019. Evaluating the application of controlled release urea for oilseed rape on *Brassica napus* in regional scale: The optimal usage, yield and nitrogen use efficiency responses. *Industrial Crops & Products*, 140, 111560.
- Lligadas G., Ronda J.C., Galia M., Cádiz V. 2006. Development of novel phosphorus-containing epoxy resins from renewable resources. *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, 44, pp. 6717-6727.
- MacDonald B.C.T., Denmead O.T. White I., Byrant G. 2011. Gaseous Nitrogen Losses from Coastal Acid Sulfate Soils: A Short-Term Study. *Pedosphere*, 21(2), pp. 197-206.
- Mengel K., Kirkby E.A. 2001. Chapter 7: Nitrogen. In book: *Principles of Plant Nutrition*, 5th edition. Published by Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. ISBN 978-0-7923-7150-2.
- Ren T., Lu J. 2016. Integrated Nitrogen Management Strategy for Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L.) in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 18, pp. 3506 – 3521.
- Salisbury B., Ross C.W. 1994. *Plant Physiology*, Iberoamericana Editorial Group, México.
- Schlesinger W.H., Hartley A.E. 1992. A global budget for atmospheric NH₃. *Biogeochem*, 15, pp. 191–211.
- Sedano-Castro G., González V.A., Saucedo C., Soto M., Sandoval M., Carrillo J.A. 2011. Yield and fruit quality of zucchini with high doses of N and K. *American TERRA*, 29(2), pp. 133-142
- Shavit U., Shaviv A., Shalit G., Zaslavsky D. 1997. Release characteristics of a new controlled release fertilizer. *J. Contr. Release*, 43, pp. 131-138.
- Shaviv A. Controlled release fertilizers. In IFA International Workshop: Enhanced-Efficiency Fertilizers, Frankfurt, Germany, 28-30 June 2005.
- Šimek M. et al. 2019. *Živá půda: biologie, ekologie, využívání a degradace půdy*. První vydání. Praha: Academia, 2019. ISBN 978-80-2500-2976-8.
- Singh, S.N., Verma, A. 2007. Environmental Review: The Potential of Nitrification Inhibitors to Manage the Pollution Effect of Nitrogen Fertilizers in Agricultural and Other Soils: A Review. *Journal: Environmental Practice*, 9, pp. 266-279.
- StatSoft, Inc. STATISTICA (Data Analysis Software System), Version 12. 2013. Dostupné online na: www.statsoft.com.
- Stein L.Y., Klotz M.G. 2016. The nitrogen cycle. *Curr Biol*, 26, pp. R94-R98.
- Strock, S. 2008. Ammonification. In book: *Encyclopedia of Ecology*. Editor(s): Sven Erik Jørgensen, Brian D. Fath. Academic Press, 2008, pp.162-165, ISBN 9780080454054.
- The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. Available online: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000231823> (accessed on 24 November 2021).
- Tian H., Li Z., Lu P., Wang Y., Jia C., Liu H.W.Z., Zhang M. 2021. Starch and castor oil mutually modified, cross-linked polyurethane for improving the controlled release of urea. *Carbohydr. Polym.*, 251, pp. 1-10.
- Tian CH., Zhou X., Liu Q., Peng J., Wang W., Zhang Z., Yang Y., Song H., Guan CH. 2016. Effects of controlled-release fertilizer on yield, nutrient uptake, and fertilizer usage

- efficiency in early ripening rapeseed (*Brassica napus* L.). J Zhejiang Univ-Sci B (Biomed & Biotechnol), 17(10), pp. 775 – 786.
- Trenkel M.E. 2010. Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture. 2nd ed.; IFA: Paris, France, 160 pp.
- Trois C., Pisano G., Oxarango L. 2010. Alternative solutions for the bio-denitrification of landfill leachates using pine bark and compost. J. Hazard. Mater., 178, pp. 1100-1105.
- Vašák J. a kol. 2000. Řepka. AGROSPÓJ, Praha, Česká republika, pp. 157-174.
- Ward B.B. 2008. Nitrification. In book: Encyclopaedia of Ecology. Eds: Jørgensen S.E., Fath B.D. Academic Press, 2008, pp. 2511-2518.
- Water for People, Water for Life. Available online: https://www.un.org/esa/sustdev/publications/WWDR_english_129556e.pdf (accessed on 24 November 2021).
- Western Plant Health Association, 2002. Chapter 4: Essential Plant Nutrients. In book: Western Fertilizer Handbook, 9th edition. Pp. 87-106. ISBN 978-1-57766-679-0.
- Xue L.H., Yang L.Z., Shi W.M., a kol. 2013. J. Rural non-point source pollution is the "4R" theory and practice: source reduction technique. Journal of Agro-environment science. 32 881-888
- Yang W.H., Weber K.A., Silver W.L. 2012. Nitrogen loss from soil through anaerobic ammonium oxidation coupled to iron reduction. Nat. Geosci., 5, pp. 538-541.
- Yerokun, O.A. Ammonia volatilization from ammonium nitrate, urea and urea phosphate fertilizers applied to alkaline soils. S. Afr. J. Plant. Soil 1997, 14, 67–70.
- Zbírál J. (2020): Stanovení obsahu tuku v olejnatých semenech. Jednotné pracovní postupy – zkoušení krmiv. ÚKZÚZ, dostupné online. https://eagri.cz/public/web/file/246173/_10060._1_Stanoveni_obsahu_tuku_v_olej_semenech.pdf
- Zhang C., Li Y., Chen R., Kessler M.R. 2014. Polyurethanes from solvent-free vegetable oil-based polyols. ACS Sustain. Chem. Eng., 2, 2465-2476.

7 Seznam publikací, které předcházely metodice

- Škarpa P., Mikušová D., Antošovský J., Kučera M., Ryant P. Oil-Based Polymer Coatings on CAN Fertilizer in Oilseed Rape (*Brassica napus* L.) Nutrition. Plants 2021, 10, 1605. <https://doi.org/10.3390/plants10081605>



Efektivní užití hnojiva LAD s pomalým uvolňováním živin

Certifikovaná metodika č. UKZUZ 227690/2021

Autoři: Petr Škarpa, Pavel Ryant, Dominika Mikušová, Jiří Antošovský,
Petr Ulbricht, Jiří Valenta

Vydal: Mendelova univerzita v Brně
Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, Česká republika.

Vydání: první

Publikace „Efektivní užití hnojiva LAD s pomalým uvolňováním živin“ podléhá licenci CC BY-NC-ND 4.0 – <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

<https://doi.org/10.11118/978-80-7509-813-9>
ISBN 978-80-7509-813-9 (pdf)