

Jiří Šimka, Vlastimil Mikšík, David Bečka, Jan Vašák, Helena Zukalová

Czeski Uniwersytet Rolniczy w Pradze, Katedra Produkcji Roślinnej

Adres do korespondencji: simka@af.czu.cz

## Znaczenie jesiennego stosowania klasycznych i stabilizowanych nawozów azotowych w nawożeniu rzepaku ozimego (*Brassica napus* L. convar. *napus* f. *biennis*)

### Importance of autumnal application of nitrogen and stabilized nitrogen fertilizers in winter rapeseed nutrition (*Brassica napus* L. convar. *f. napus biennis*)

Słowa kluczowe: dawki, efektywność stosowania nawozów, inhibitor enzymu ureazy, inhibitor nityfikacji, plon, rzepak ozimy, stabilizowany nawóz azotowy

W latach 2009/10–2010/11 w Stacji Badawczej ČZU Praha w Červeném Újezdě (Czeskiego Uniwersytetu Rolniczego w Pradze) założono i przeprowadzono doświadczenie polowe z nawożeniem stabilizowanymi nawozami azotowymi ALZON (inhibitor nityfikacji) i UREAstabil (inhibitor ureazy) rzepaku ozimego liniowej odmiany Californium w porównaniu do klasycznych nawozów azotowych. Jesienią stosowano dawkę azotu 45 kg·ha<sup>-1</sup>, natomiast wiosną 155 kg·ha<sup>-1</sup>. W obydwu sezonach wegetacyjnych najwyższym plonowaniem odznaczały się kombinacje badawcze nawożone jesienią i na wiosnę stabilizowanymi nawozami azotowymi (ALZON, UREAstabil). Przeprowadzone doświadczenie potwierdziło efektywność stosowania stabilizowanych nawozów azotowych w nawożeniu rzepaku. Główną zaletą stosowania tego typu nawozów, w porównaniu do nawożenia klasycznymi niestabilizowanymi nawozami mineralnymi, jest powolne uwalnianie azotu wykorzystywanego następnie przez rośliny w dłuższym okresie ich rozwoju, co umożliwia zmniejszenie liczby aplikacji.

Key words: dose, effectiveness of fertilizer type, urease inhibitor, nitrification inhibitor, yield, winter rapeseed, stabilized nitrogen fertilizer

In the years 2009/10 and 2010/11 we established small-plot experiments with stabilized nitrogen fertilizers Alzon (nitrification inhibitor) and UREAstabil (urease inhibitor) on the linear variety Californium of rapeseed at Research Station of the Czech University of Life Sciences (CULS) Červený Újezd. Autumnal nitrogen dose was 45 N kg·ha<sup>-1</sup> and spring dose was 155 N kg·ha<sup>-1</sup>. A higher yield has been achieved in the first experimental year 2009/10. The most profitable variants in both experimental years were those fertilized in autumn and spring with stabilized fertilizers (ALZON, UREAstabil). The experiments confirmed the effectiveness of using stabilized nitrogen fertilizer on rapeseed nutrition. The main advantage of these fertilizers is gradual release of plant usable nitrogen for an extended period, which contributes to the reducing of the number of applications.

## Wstęp

---

Stabilizowane nawozy azotowe, zawierające w swym składzie inhibitory nityfikacji lub ureazy mają coraz większe znaczenie praktyczne w nawożeniu roślin. Główną zaletą ich stosowania jest zwiększenie efektywności nawożenia roślin azotem (poprzez zmniejszenie liczby aplikacji, większą rozpiętość terminów stosowania), jak również polepszenie warunków środowiskowych dzięki zmniejszeniu zagrożenia uwalnianiem nadmiaru azotu do wód podziemnych oraz powietrza (Šimka i in. 2010).

Inhibitory nityfikacji zmniejszają intensywność przemian mikrobiologicznych jonów amonowych ( $\text{NH}_4^+$ ) w kierunku jonów azotanowych ( $\text{NO}_3^-$ ) oraz wolnego azotu (gazowego  $\text{N}_2$  i podtlenku azotu  $\text{N}_2\text{O}$  – gazy cieplarniane) w glebie.

Z kolei inhibitor ureazy jest związkami, który okresowo spowalnia enzymatyczną przemianę mocznika do  $\text{CO}_2$  i  $\text{NH}_3$  dzięki hamującemu działaniu na enzym ureazę.

Głównymi inhibitorami nityfikacji stosowanymi komercyjnie są: Nitrapyrin – handlowa nazwa N serve oraz Dicyandiamid (DCD) – handlowe nazwy Alzon, Didin i Ensan (Zerulla i in. 2000).

Wyniki większości dotychczas przeprowadzonych badań dotyczących stosowania nawozów azotowych zawierających inhibitory nityfikacji wskazują, że ich aplikacja do gleby, w porównaniu z tradycyjnymi mineralnymi nawozami azotowymi czy organicznymi, ma korzystny wpływ na obniżenie strat azotu. Bezpośrednio widocznym efektem ich działania jest zwiększenie wzrostu roślin (poprzez zwiększenie dostępności N) (Stelly 1980, Merino i in. 2002). Efekty stosowania tego typu nawozów są większe na glebach, które są mikrobiologicznie aktywne (wysoka aktywność enzymatyczna) i gdzie ryzyko strat azotu poprzez wypłukiwanie i denityfikację jest wysokie.

Do najważniejszych nawozów azotowych zawierających inhibitor nityfikacji na bazie DCD zarejestrowanych w Europie należą przede wszystkim ALZON® 46 (46% N w formie amidowej) i Piadin.

ALZON® 46 jest klasycznym nawozem mocznikowym zawierającym inhibitor hamujący proces nityfikacji (mieszanina dicyanodiamidu i 1H-1,2,4 triazolu). Dowiedziono, że nawóz ten znacząco obniża straty spowodowane ucieczką azotanów do głębszych warstw gleby (wypłukiwanie) i gazu w postaci np. podtlenku azotu  $\text{N}_2\text{O}$  (Agrofert 2010).

Z kolei nawóz Piadin został stworzony specjalnie w celu zwiększenia skuteczności płynnego nawożenia azotem w warunkach polowych (Woźniak i in. 1999).

Najbardziej znanym inhibitorem ureazy jest triamid kwasu N-(n-butyl) tiofosforowego występujący pod skrótem: NBPT (handlowa nazwa Agrotain). NBPT jest składnikiem mocznika nawozowego, który czasowo spowalnia jego enzymatyczną przemianę dzięki hamowaniu aktywności ureazy. Inhibitor ureazy blokuje prze-

mianę mocznika na amoniak w okresie od jednego do dwóch tygodni (Trenkel 1997). Powoduje to zmniejszenie ryzyka związanego ze stratami powstającymi w wyniku jego parowania i jest główną zaletą w porównaniu do niestabilizowanego mocznika.

W Czechach zarejestrowano nawóz azotowy na bazie NBPT pod handlową nazwą UREAstabil. Jest to nowy skoncentrowany nawóz azotowy, który stabilizując mocznik, hamuje jego rozpad i zmniejsza straty azotu po zastosowaniu (Mráz 2007).

Celem pracy było zbadanie jak stabilizowany mocznik stosowany dogłębowo, w różnych dawkach, wpływa na efektywne odżywianie rzepaku ozimego.

Celem pracy było sprawdzenie czy:

- 1) stosowanie nawozów ze stabilizowanym mocznikiem (Alzon, UreaStabil) będzie powodowało zwiększenie plonu w każdym wariantcie w porównaniu do nawożenia niestabilizowanymi formami (mocznik, saletra amonowa z wapniem – LAV).
- 2) możliwość redukcji dawek stabilizowanego mocznika zapewni lepszą efektywność ekonomiczną w porównaniu do stosowania niestabilizowanego mocznika.

## Material i metodyka

---

W latach 2009/10–2010/11 w Stacji Badawczej Czeskiego Uniwersytetu Rolniczego w Pradze (ČZU Praha) w Červeném Újezdě założono i przeprowadzono ściśle doświadczenie polowe z nawożeniem rzepaku ozimego liniowej odmiany Californium stabilizowanymi nawozami azotowymi ALZON (inhibitor nityfikacji) i UREAstabil (inhibitor ureazy) w porównaniu do klasycznych nawozów azotowych. Stacja znajduje się na granicy dzielnic Kladno i Praga–Zachód, około 25 km od centrum Pragi, na wysokości 398 m nad poziomem morza. Gleba typu brunatnoziemnego charakteryzuje się średnią do wysokiej pojemnością kompleksu sorpcyjnego, który jest w pełni nasycony. Odczyn gleby jest obojętny, a zawartość próchnicy kształtuje się na średnim poziomie. Zasobność gleby w fosfor i potas waha się od średniej do wysokiej.

Stacja znajduje się w rejonie umiarkowanie ciepłym, gdzie średnia roczna temperatura powietrza wynosi 6,9°C, a średnia roczna suma opadów 549 mm. Długość okresu wegetacyjnego wynosi 150–160 dni.

W doświadczeniu stosowano stabilizowane nawozy azotowe: ALZON (mocznik z inhibitorem nityfikacji – 46% N) oraz UREAstabil (mocznik z inhibitorem ureazy – 46% N). Nawozem kontrolnym (kombinacją kontrolną) była saletra amonowa z wapniem: LAV (27,5% N). Doświadczenie zostało założone w czterech powtórzeniach dla każdej kombinacji badawczej, wielkość pojedynczego poletka do siewu wynosiła 15,0 m<sup>2</sup>, a do zbioru 11,875 m<sup>2</sup>.

Zestawienie kombinacji badawczych przedstawiono w tabeli 1.

Terminy stosowania azotu:

jesień – 21.10.2009 i odpowiednio 20.10.2010,  
wiosna 1a – 5.03.2010 i odpowiednio 2.03.2011,  
wiosna 1b – 23.03.2010 i odpowiednio 15.03. 2011,  
wiosna 2 – 6.04.2010 i odpowiednio 31.03.2011,  
wiosna 3 – 20.04.2010 i odpowiednio 19.04.2011.

Tabela 1

Metodyka doświadczenia z aplikacją stabilizowanych nawozów azotowych (2009/10–2010/11) — *Methodology of experiments with stabilized fertilizers (2009/10 and 2010/11)*

Kombinacja badawcza <i>Variant</i>		Jesień <i>Autumn</i>	Wiosna — <i>Spring</i>				Razem N [kg·ha <sup>-1</sup> ] <i>Overall N</i>
			1a	1b	2	3	
1. (0 + 155 LAV)	Nawóz — <i>Fertilizer</i> Dawka N — <i>Dose N</i> [kg·ha <sup>-1</sup> ]		LAV 40	LAV 35	LAV 50	LAV 30	155
2. (45 + 155 US)	Nawóz — <i>Fertilizer</i> Dawka N — <i>Dose N</i> [kg·ha <sup>-1</sup> ]	UREAstabil 45	UREAstabil 90	UREAstabil 65			200
3. (0 + 155 US)	Nawóz — <i>Fertilizer</i> Dawka N — <i>Dose N</i> [kg·ha <sup>-1</sup> ]		UREAstabil 90	UREAstabil 65			155
4. (45 + 155 AL)	Nawóz — <i>Fertilizer</i> Dawka N — <i>Dose N</i> [kg·ha <sup>-1</sup> ]	ALZON 45	ALZON 90	ALZON 65			200
5. (0 + 155 AL)	Nawóz — <i>Fertilizer</i> Dawka N — <i>Dose N</i> [kg·ha <sup>-1</sup> ]		ALZON 90	ALZON 65			155

\* LAV – saletra amonowa z wapniem; US – UREAstabil; AL – ALZON

Jesienią 10.11.2009 oraz odpowiednio 09.11.2010 roku pobrano próbki roślin rzepaku dla określenia masy systemu korzeniowego. Z każdej kombinacji badawczej, w każdym powtórzeniu, pobrano po 10 roślin, a następnie określono świeżą i suchą masę systemu korzeniowego. Rośliny do badań oczyszczono, umyto, osuszono i określano świeżą masę korzeni. Następnie materiał suszono w temperaturze 105°C w czasie ośmiu godzin. Po wysuszeniu i wychłodzeniu zważono suchą masę korzeni. Po zbiorze określono plon nasion rzepaku, który sprowadzono do stałej zawartości wody wynoszącej 8% i wyrażono w tonach na 1 ha.

Analizę statystyczną przeprowadzono z wykorzystaniem programu STATISTICA Cz 9.1. Ocenę poziomu plonowania rzepaku ozimego w latach 2009/10 oraz 2010/11 wykonano wieloczynnikową analizą wariancji (ANOVA) w oparciu o metodę najmniejszych kwadratów, na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Analizę

wariancji wykonano z użyciem testu NIR. Ponadto przy pomocy analizy korelacji, na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ , określono wzajemną zależność pomiędzy masą korzeni a plonem nasion rzepaku ozimego.

## Wyniki i dyskusja

---

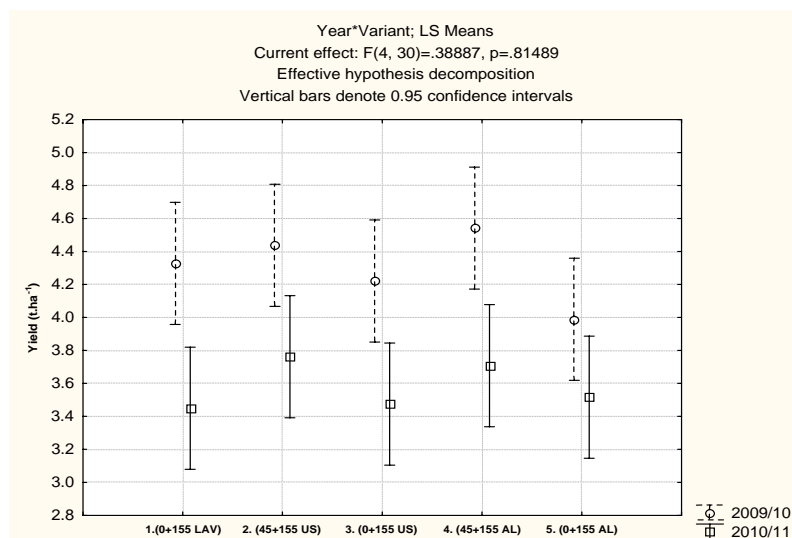
Wiele prac przedstawia pozytywny wpływ aplikacji stabilizowanych nawozów na strukturę plonu roślin rzepaku ozimego w porównaniu do stosowania standardowych nawozów mineralnych z niestabilizowanym mocznikiem (Harrison i Webb 2001, Ryden 1986, Watson i in. 1990).

W badaniach własnych jesienne stosowanie stabilizowanych nawozów azotowych (UREAstabil – kombinacja 2 (45 + 155 US) oraz ALZON – kombinacja 4 (45 + 155 AL) pozytywnie wpłynęło na osiągnięte plony nasion rzepaku ozimego (rys. 1, tab. 2).

Statystycznie istotnie wyższe plony nasion rzepaku ozimego uzyskano w pierwszym sezonie wegetacyjnym 2009/10. Z kolei plony nasion zebrane z poszczególnych kombinacji badawczych nie różniły się statystycznie istotnie między sobą. Najwyższy średni plon nasion rzepaku (statystycznie nieistotny) uzyskano w kombinacji 4 (45 + 155 AL – Alzon) –  $4,54 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (105% w odniesieniu do kombinacji kontrolnej 1 (0 + 155 LAV – saletra amonowa).

W roku 2010/11 najkorzystniejsza okazała się kombinacja 2 (45 + 155 US – UREAstabil) –  $3,76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (109% zwyczajki plonu nasion w stosunku do kombinacji kontrolnej).

W przypadku stosowania stabilizowanych nawozów azotowych jedynie wiosną (kombinacja 3 i 5) średnio w obydwu sezonach wegetacyjnych uzyskano najniższe plony nasion rzepaku (kombinacja 3 (0 + 155 US) – 99%, kombinacja 5 (0 + 155 AL) – 97%) w stosunku do kontroli (kombinacja 1). Spadek plonów w tych kombinacjach badawczych nie był jednak znaczący z praktycznego punktu widzenia, gdyż był rekompensowany mniejszą liczbą aplikacji nawozów (2 aplikacje w porównaniu do 4 aplikacji w kombinacji kontrolnej 1) i związanych z tym niższych kosztów prowadzenia uprawy rzepaku ozimego (tab. 1).



Rys. 1. Statystyczna analiza plonów ( $t\cdot ha^{-1}$ ) w zależności od poszczególnych kombinacji nawożenia azotem (Stacja Badawcza Červený Újezd ČZU w Pradze, 2009/10–2010/11) — *Statistical analysis of yields ( $t\cdot ha^{-1}$ ) of different variants of nitrogen fertilization (Research Station Červený Újezd CULS, 2009/10 and 2010/11)*

Tabela 2

Szczegółowa analiza statystyczna plonów ( $t\cdot ha^{-1}$ ) w zależności od kombinacji nawożenia azotem (Stacja Badawcza Červený Újezd ČZU w Pradze, 2009/10–2010/11) — *Detailed statistical analysis of yields ( $t\cdot ha^{-1}$ ) as result of different variants of nitrogen fertilization (Research Station Červený Újezd CULS, 2009/10 and 2010/11)*

Lp.	NIR — LSD test; Plon nasion [ $t\cdot ha^{-1}$ ] — Yield of seeds							
	rok year	kombinacja badawcza variant	średni plon mean yield [ $t\cdot ha^{-1}$ ]	1	2	3	4	5
6.	2010/11	1. (0 + 155 LAV)	3,449713	****				
8.	2010/11	3. (0 + 155 US)	3,474669	****	****			
10.	2010/11	5. (0 + 155 AL)	3,516960	****	****			
9.	2010/11	4. (45 + 155 AL)	3,707679	****	****	****		
7.	2010/11	2. (45 + 155 US)	3,762408	****	****	****		
5.	2009/10	5. (0 + 155 AL)	3,989401		****	****	****	
3.	2009/10	3. (0 + 155 US)	4,221453			****	****	****
1.	2009/10	1. (0 + 155 LAV)	4,327906				****	****
2.	2009/10	2. (45 + 155 US)	4,437495				****	****
4.	2009/10	4. (45 + 155 AL)	4,542397					****

Efektywność aplikacji nawozów azotowych jesienią wzrasta wraz z późniejszym przejściem roślin rzepaku w stan spoczynku zimowego. Późne nastanie spoczynku zimowego rzepaku jest ważne według Mikšíka (2000) ze względu na to, że rośliny podczas grudniowej wegetacji są zdolne podwoić masę systemu korzeniowego (tab. 3). Dotychczasowe dane literaturowe wskazują, że korzenie rzepaku rosną w temperaturze do  $+1,9^{\circ}\text{C}$  (Golcov 1983, Vašák i in. 1997). Poniżej tej temperatury następuje przejście rzepaku w fazę spoczynku zimowego (Vašák i in. 1997).

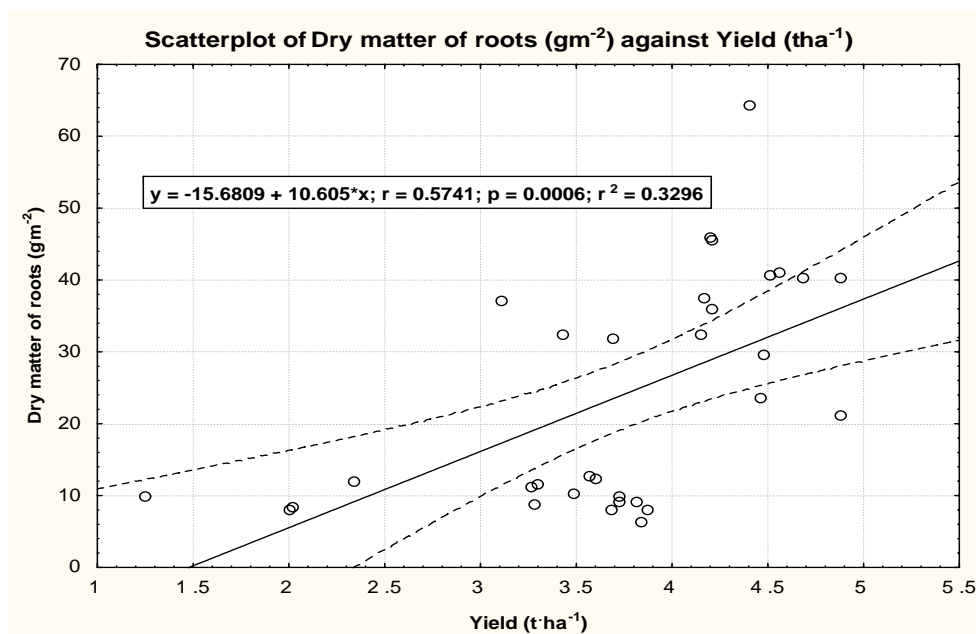
Dynamikę wzrostu masy korzeni rzepaku przed nastaniem spoczynku zimowego przedstawiono w tabeli 3. Średnio w latach badań 1994/95–1999/2000 na przedwiośniu doszło do zwiększenia suchej masy korzeni rzepaku o 44,3%.

Tabela 3  
Dynamika wzrostu korzeni rzepaku przed fazą spoczynku zimowego oraz na przedwiośniu (1994/1995–1999/2000; Mikšík 2000) — *Dynamics of roots growth before winter and in early spring (1994/1995–1999/2000; Mikšík 2000)*

Sezon wegetacyjny <i>Growth season</i>	Sucha masa korzeni rzepaku [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ] <i>Dry matter of roots</i>		Procent przyrostu suchej masy korzeni rzepaku <i>Increase of roots dry matter [%]</i>
	jesienią <i>autumn</i>	na przedwiośniu <i>early spring</i>	
1994/1995	31,3	38,8	124,0
1995/1996	8,7	22,0	252,9
1996/1997	10,1	13,4	132,7
1997/1998	27,4	37,8	137,8
1998/1999	4,5	7,5	166,7
1999/2000	33,8	47,7	141,1
Średnia z lat <i>Average</i>	19,3	27,9	144,3

Zależność między suchą masą korzeni rzepaku określoną w listopadzie a uzyskanym plonem nasion przedstawiono na rysunku 2. Obliczony współczynnik korelacji wskazuje na średnio silną zależność między tymi cechami ( $r = 0,57$ ,  $\alpha = 0,05$ ).

Osiągnięte wyniki wskazują na duży wpływ masy systemu korzeniowego wytworzonej przez rośliny rzepaku przed przejściem w stan spoczynku zimowego na zebrane plony nasion. Dlatego też jest bardzo ważne aby optymalnie zaopatrzyć rośliny rzepaku na przezimowanie i dostarczyć korzeniom azot potrzebny w tym okresie.



Rys. 2. Zależność między suchą masą korzeni ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) a plonem nasion rzepaku ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) (Stacja Badawcza Červený Újezd ČZU w Pradze, 2009/10–2010/11) — Relation between roots weight ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) and yield ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) of rapeseed (Research Station Červený Újezd CULS, 2009/10 and 2010/11)

## Podsumowanie

Jesienne stosowanie stabilizowanych nawozów azotowych w przeprowadzonym cyklu doświadczalnym okazało się bardzo korzystne. Rośliny rzepaku pochodzące z kombinacji badawczych, w których stosowano jesienne nawożenie azotem plonowały wyżej (średnio o  $0,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , tj. o 8,1% średnio więcej w latach 2009/10–2010/11). Efektywność stosowania jesienią nawozów azotowych jest wprost proporcjonalna do długości okresu jesiennej wegetacji rzepaku. W przypadku późniejszego nastania spoczynku zimowego roślin rzepaku aplikacja stabilizowanych nawozów azotowych nabiera większego znaczenia dla uzyskania wysokich plonów nasion. Zaletą aplikacji tego typu nawozów jest stopniowe uwalnianie azotu dostępnego dla roślin i jednocześnie obniżenie strat wynikających z jego wypłukania z gleby lub ucieczki do atmosfery. Nie należy jednocześnie zapominać o stałej kontroli stanu rzepaku na plantacji. Jesienne nawożenie osłabionych roślin (co może być spowodowane np. opóźnionym wysiewem lub niską obsadą roślin – do 35 sztuk na  $1 \text{ m}^2$ ) jest konieczne bez względu na długość okresu jesiennej



wegetacji rzepaku. Stan roślin rzepaku (zwłaszcza systemu korzeniowego) przed nadejściem zimy jest jednym z wielu ważnych czynników wpływających na osiągnięcie wysokich plonów nasion.

Publikacja dofinansowana przez Agra Group i Agrofert oraz w ramach projektu naukowego NAZV QH 81147 „Střet plodin v globální soutěži a řešení rizik pro ozimou řepku“

## Literatura

---

- Agrofert 2010. Alzon 46 – stabilizovaná dusíkatá hnojiva snižují pracnost, zvyšují výnosy a jsou šetrná k životnímu prostředí. Informativní leták k hnojení.
- Merino P., Estavillo J.M., Gracioli L.A., Pinto M., Lacuesta M., Munoz-Rueda A., Golcov A.A. 1983. Рапс и сурепица. Moskva. Rusko.
- Gonzalez-Murua C. 2002. Mitigation of N<sub>2</sub>O emissions from grassland by nitrification inhibitor and Actilith F2 applied with fertilizer and cattle slurry. *Soil use and management*, 18: 135-141.
- Harrison R., Webb J. 2001. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. *Advances in Agronomy*, 73: 65-108.
- Mikšík V. 2000. Výživa a hnojení řepky ozimé dusíkem. Disertační práce. ČZU v Praze. ss. 390.
- Mráz J. 2007. UREA stabil – efektivní zdroj dusíku pro polní plodiny. Sborník referátů. Prosperující olejiny. ČZU v Praze. 121-122.
- Ryden J.C. 1986. Gaseous losses of nitrogen from grassland. In: Van der Meer H.G., Ryden J.C., Ennik G.C. (eds.). *Nitrogen Fluxes in Intensive Grassland Systems*. Martinus Nijhoff Publisher. Dordrecht, Netherlands.
- Stelly M. 1980. Nitrification Inhibitors – Potentials and Limitations. ASA Special Publication No. 38. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Maddison, Wisconsin.
- Šimka J., Bečka D., Cihlá, P., Vašák J. 2010. Využití stabilizovaných dusíkatých hnojiv ve výživě řepky ozimé (*Brassica napus* L.). *Úroda*, 58 (12): 821-824.
- Trenkel M.E. 1997. Improving fertilizer use efficiency – controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. Ed. by IFA. Paris, ss. 157.
- Vašák J., Fábry A., Zúkalová H., Morbacher J., Baranyk P. 1997. Systém výroby řepky – česká a slovenská pěstitelská technologie ozimé řepky pro roky 1997–1999. SPZO. Praha, ss. 116.
- Watson C.J., Stevens R.J., Garrett M.K., McMurray C.H. 1990. Efficiency and future of urea for temperate grasslands. *Fertiliser Research*, 26: 341-357.
- Wozniak H., Michel H.J., Fuchs M. 1999. Nitrification inhibitors for economically efficient and environmentally friendly nitrogen fertilization. IFA Agricultural conference on managing plant nutrition. Barcelona.
- Zerulla W., Kummer K., Wissemeier A., Radle M. 2000. The development and testing a new nitrification inhibitor. *The International Fertiliser Society Proceedings*, 455: 6-23.