

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach  
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli we Wrocławiu,  
ul. Orzechowa 61, 50-540 Wrocław,  
e-mail: sekretariat@iung.wroclaw.pl

EWA STANISŁAWSKA-GLUBIAK

### **Wpływ dolistnego nawożenia rzepaku ozimego molibdenem na zawartość tego pierwiastka w nasionach**

The effect of foliar fertilisation of winter rapeseed with molybdenum  
on the concentration of the element in seeds

**Streszczenie.** Przeprowadzono 33 ściśle doświadczenia polowe zlokalizowane na polach produkcyjnych rzepaku ozimego na terenie 8 województw w kraju, w których badano efekt dolistnego nawożenia rzepaku molibdenem. Stosowano dawki: 30, 60 i 120 g Mo · ha<sup>-1</sup> w formie wodnego roztworu molibdenianu amonu w 2 terminach: wiosną, kilka dni po ruszeniu wegetacji, oraz na początku formowania łodygi. Dolistne nawożenie rzepaku molibdenem w przypadku niskiej jego zawartości w nasionach z obiektów kontrolnych powodowało wzrost koncentracji tego składnika o 39–56%, w zależności od dawki i terminu stosowania molibdenu. W grupie doświadczeń z dwukrotnie wyższą zawartością molibdenu w nasionach z obiektów kontrolnych nie stwierdzono zmiany koncentracji tego składnika wskutek nawożenia Mo.

**Słowluczowe:** rzepak, molibden, nawożenie dolistne, zawartość Mo w nasionach

#### WSTĘP

Rzepak jest rośliną, która zyskuje na świecie coraz większe znaczenie gospodarcze. Jego nasiona stanowią bowiem cenny surowiec do produkcji oleju jadalnego oraz biopaliw. Zapotrzebowanie rzepaku na makroskładniki jest duże, natomiast jego wymagania w stosunku do mikroskładników są mniej poznane. W literaturze podkreśla się szczególną wrażliwość roślin z rodziny *Cruciferae* na niedobór boru i molibdenu [Katyal i Randhawa 1983] oraz wysoką wrażliwość rzepaku na deficyt tych mikroelementów [Shorrocks 1990]. W Polsce około 60% areалу to gleby zakwaszone, w których przyswajalność Mo dla roślin jest ograniczona. Podobny problem niedoboru molibdenu występuje

w krajach, gdzie gleby są piaszczyste i zakwaszone [Gupta i MacLeod 2006], między innymi w południowo-zachodniej Australii [Brennan 2006]. Rośliny są tam nawożone molibdenem, zwłaszcza uprawiana na dużej powierzchni pszenica, z uwagi na nieopłacalność zabiegu wapnowania [Brennan i Bolland 2007]. Według Fincka [1998] rzepak powinien być nawożony Mo w warunkach odczynu gleby poniżej optimum oraz przy wysokich dawkach azotu stosowanych do osiągnięcia wysokich plonów. Stosowanie siarki pod rzepak, jak wykazały ostatnie badania, może również ograniczać pobieranie Mo przez rośliny [Balik i in. 2007]. Celem badań było sprawdzenie reakcji rzepaku ozimego na dolistne nawożenie tym składnikiem. W niniejszej pracy omówiono wpływ aplikacji molibdenu na zmiany koncentracji tego pierwiastka w nasionach.

#### MATERIAŁ I METODY

Badania wykonano na polach produkcyjnych rzepaku ozimego, na terenie 8 województw, łącznie w 33 punktach doświadczalnych. Rzekpak uprawiany był na glebach średnich i ciężkich (16 i 4 doświadczenia), jak również na lekkich (13 doświadczeń), o znacznym zróżnicowaniu pH oraz zasobności w składniki pokarmowe (tab. 1).

Tabela 1. Zawartość przyswajalnych form składników pokarmowych w glebach punktów doświadczalnych ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

Table 1. Content of available forms of nutrients in the soils of experimental sites ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

Parametr Parameter	pH	P	K	Mg	B	Cu	Mn	Mo	Zn
Wartość najmniejsza Minimum	4,1	15,0	28,0	14,0	0,35	1,0	57,0	0,025	3,0
Wartość największa Maximum	7,1	170,0	382,0	100,0	1,95	10,00	350,0	0,210	39,4
Średnia arytmetyczna Mean	5,6	57,8	141,1	47,3	0,67	3,02	140,2	0,069	8,3
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,8	28,7	86,2	4,6	0,39	1,39	68,0	0,047	7,2
Modalna Mode	5,0	54,9	116,2	72,0	0,40	2,50	200,0	0,030	5,0

Na polach produkcyjnych obsianych rzepakiem ozimym wytyczono doświadczenia ściśle, w 4 powtórzeniach w układzie dwuczynnikowym split-plot z obiektem kontrolnym. Schemat doświadczeń był następujący: obiekt kontrolny – bez nawożenia Mo;

Czynnik I – terminy oprysku Mo: 1) wiosną kilka dni po ruszeniu wegetacji, 2) początek formowania łodygi; Czynniki II – dawki Mo w  $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$ : 30, 60 i 120. Molibden stosowano w formie wodnego roztworu molibdenianu amonu o zawartości 54% Mo.

Podczas zbioru rzepaku pobrano nasiona do analizy chemicznej. W próbkach nasion po ich mineralizacji na mokro oznaczono zawartość azotu ogólnego metodą Kjeldahla, fosforu – metodą wanadomolibdenianową, potasu i wapnia – metodą spektrofotometrii płomieniowej oraz magnezu – metodą ASA. Ponadto, po przeprowadzeniu mineralizacji na sucho oznaczono zawartość molibdenu metodą rodankową, boru – metodą z dwuantrymidem oraz zawartość miedzi, cynku i manganu – metodą ASA.

W glebach oznaczano skład granulometryczny według Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego, pH w 1 mol KCl · dm<sup>-3</sup> oraz przyswajalne formy fosforu i potasu metodą Egnera – Riehma i magnezu metodą Schachtschabela. Mikroelementy (B, Mo, Mn, Cu i Zn) ekstrahowano we wspólnym wyciągu 1 mol HCl · dm<sup>-3</sup>, a następnie oznaczano kolorymetrycznie (B, Mo) lub metodą ASA.

W interpretacji wyników badań posługiwano się metodami analizy wielozmiennej, tzn. rachunkiem korelacji i regresji oraz metodą analizy skupień, z pomocą programu komputerowego Statgraphics. Metoda analizy skupień polega na podziale całego zbioru danych na określone podzbiory na podstawie macierzy obserwacji wielowymiarowych  $Y = \{y_{ij}\}$ , ( $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, p$ ), gdzie  $n$  jest liczbą badanych obiektów, a  $p$  stanowi liczbę uwzględnionych cech. Metoda ta prowadzi do uzyskania grup o zbliżonych liczebnościach, w obrębie których wariancja jest najmniejsza, a znacznie różni się między nimi.

#### WYNIK I I DYSKUSJA

Zawartość poszczególnych składników pokarmowych w nasionach rzepaku z obiektów kontrolnych wahała się w szerokich granicach, zależnie od punktu doświadczalnego, z którego pochodził materiał roślinny (tab. 2).

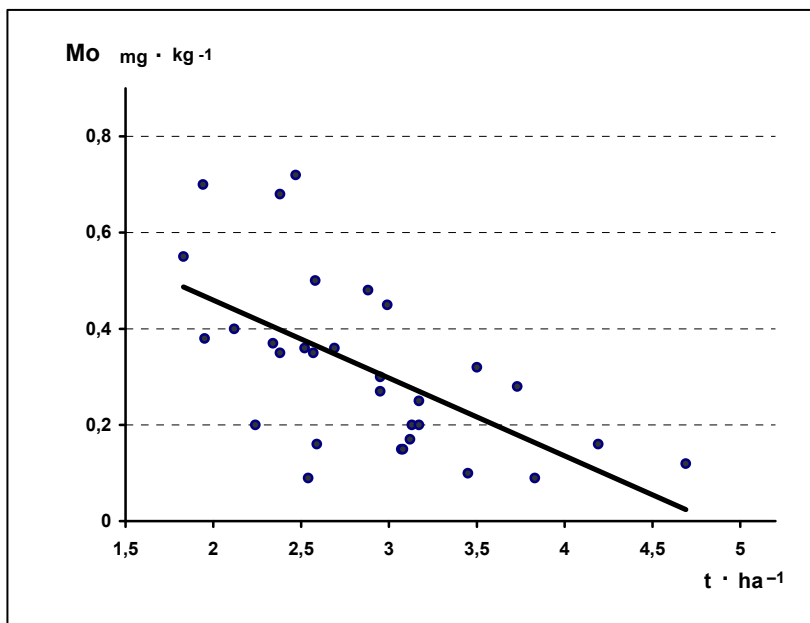
Tabela 2. Średnia zawartość składników pokarmowych w nasionach rzepaku z obiektów kontrolnych

Table 2. Mean nutrient content in rape seeds from control treatments

Parametr Parameter	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Mo	Zn
	g · kg <sup>-1</sup>					mg · kg <sup>-1</sup>				
Wartość najmniejsza Minimum	24,0	4,0	6,0	2,5	2,0	6,8	2,0	28,0	0,09	23,0
Wartość największa Maximum	42,5	8,2	10,1	9,4	3,1	12,4	4,0	140,5	1,02	52,5
Średnia arytmetyczna Mean	33,1	6,9	8,5	4,1	2,6	10,0	3,0	47,9	0,32	33,6
Odchylenie standardowe Standard deviation	3,9	0,7	0,9	1,2	0,3	1,3	0,6	20,78	0,21	7,2
Modalna Mode	28,1	7,2	8,1	4,3	2,8	10,2	4,0	36,0	0,20	29,5

Zawartość molibdenu w nasionach rzepaku nienawożonego tym mikroelementem, średnio dla wszystkich doświadczeń, wynosiła 0,32 mg · kg<sup>-1</sup>. Nie znaleziono istotnych korelacji między koncentracją molibdenu w nasionach a zawartością pozostałych skład-

ników, z wyjątkiem ujemnej korelacji z manganem ( $r = -0,44^{**}$ ). Wielu autorów opisuje antagonizm manganu i molibdenu polegający na tym, że nadmiar jednego z nich wywołuje niedobór drugiego [Henkens 1972, Kabata-Pendias 2001], co wiąże się również z odmiennym wpływem odczynu na przyswajalność tych pierwiastków.



Rys. 1. Wpływ poziomu plonowania na zawartość molibdenu w nasionach rzepaku  
Fig. 1. Influence of yielding level on molybdenum content in rape seeds

Pewne tendencje dotyczące zależności między składnikami pokarmowymi w nasionach można zaobserwować, interpretując wyniki analizy skupień. W zbiorze danych zostały wydzielone dwa skupienia, które różniły się średnią zawartością molibdenu w nasionach (tab. 3). W grupie doświadczeń o większej koncentracji tego składnika nasiona zawierały równocześnie więcej azotu, fosforu, potasu i boru, a mniej wapnia, manganu, cynku, miedzi i żelaza.

Tabela 3. Średnia zawartość składników pokarmowych w nasionach z obiektów kontrolnych w poszczególnych skupieniach

Table 3. Mean nutrient contents in rape seeds from control treatments in clusters

Skupienie Cluster	N	P	K	Ca	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	g · kg <sup>-1</sup>				mg · kg <sup>-1</sup>					
I (14)	34,0	7,2	9,0	3,5	11,1	2,83	62,4	38,8	0,39	28,2
II (19)	32,6	6,6	8,1	4,5	9,2	3,21	79,9	54,1	0,30	37,4

Tabela 4. Średnia zawartość molibdenu w nasionach rzepaku w zależności od poziomu plonu kontrolnego oraz dawki i terminu stosowania Mo  
 Table 4. Average Mo content in rape seeds depending control yields, rate and application time

Plon kontrolny Control yields (t · ha <sup>-1</sup> )	Kontrola Control	Dawka Mo / Mo rate (g · ha <sup>-1</sup> )					
		30		60		120	
		I	II	I	II	I	II
< 2,7	0,41	0,39	0,42	0,42	0,41	0,48	0,43
> 2,7	0,23	0,33	0,32	0,32	0,36	0,32	0,34
Średnia/Mean	0,32	0,36	0,37	0,36	0,39	0,40	0,38

Badano również zależności korelacyjne między zawartością molibdenu w nasionach z obiektów kontrolnych a wielkością plonu oraz różnymi czynnikami glebowymi: pH, zawartością przyswajalnych form makro- i mikroelementów w glebie, zawartością części spławialnych i frakcji pyłu. Jedynie wielkość plonu nasion miała tu istotne znaczenie. Metodą regresji wielokrotnej został stworzony następujący model statystyczny:

$$y = 0,7828 - 0,1618 x R^2 = 0,357^{***}, n = 31$$

gdzie: y – zawartość Mo w nasionach obiektu kontrolnego w mg · kg<sup>-1</sup>  
 x – wielkość plonu nasion w t · ha<sup>-1</sup>

Według tego modelu wraz ze wzrostem plonu nasion zmniejszała się w nich koncentracja molibdenu (rys. 1), co jest zgodne ze znanym zjawiskiem „rozcieńczenia”. Współczynnik determinacji dla wymienionej funkcji świadczy o tym, że 35% zmienności cechy, jaką jest zawartość molibdenu w nasionach, związana była z wielkością plonów. W doświadczeniach lizymetrycznych Ruszkowskiej i in. [1996] zawartość molibdenu w nasionach rzepaku zależała od rodzaju gleby i również była niższa przy wyższym poziomie plonowania, lecz tylko na ubogiej glebie piaszczystej. Na bardziej zasobnych glebach zależność taka nie wystąpiła. Nie można jednak wykluczyć, że zmniejszenie koncentracji Mo w nasionach rzepaku było spowodowane obniżeniem pH gleby w wyniku zastosowania wyższych dawek NPK pod większe plony. Jednak według badań Rębowskiej [1983] oraz Rębowskiej i Kusio [1986] koncentracja molibdenu w nasionach rzepaku wzrastała na obiektach wapnowanych, ale nie ulegała obniżeniu wraz z postępującym zakwaszeniem gleby wskutek stosowania wyższych dawek NPK. W badaniach własnych nie stwierdzono zależności między pH gleby a koncentracją molibdenu w nasionach, zaś zmiany zawartości Mo związane były tylko z wielkością plonów. Podobny fakt obniżania się zawartości molibdenu wraz ze wzrostem poziomu plonowania stwierdzono dla ziarna pszenicy [Stanisławska-Głubiak i in. 1996]. Inne wyniki uzyskano natomiast w badaniach przeprowadzonych na 81 polach produkcyjnych rzepaku zlokalizowanych na terenie całego kraju [Sienkiewicz i Gembarzewski 1996]. Zawartość molibdenu w nasionach rzepaku nieznacznie wzrastała, w granicach 0,41–0,49 mg Mo · kg<sup>-1</sup>, w miarę wzrostu plonów. Różnica w kierunkach zmian koncentracji Mo w nasionach w zależności od poziomu plonów wynika zapewne z różnego zaopatrzenia gleb w ten składnik. W badaniach własnych średnia zawartość molibdenu w glebie wynosiła 0,069 mg · kg<sup>-1</sup> (tab. 1), podczas gdy w badaniach Sienkiewicz

i Gembarzewskiego [1996], obejmujących 81 pól rzepaku, zaopatrzenie gleb w molibden kształtowało się średnio na poziomie  $0,11 \text{ mg Mo} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Przepuszczalnie w sytuacji, gdy pula dostępnego molibdenu w glebie jest dla roślin wystarczająca, jego zawartość w nasionach może wzrastać wraz ze wzrostem plonów, oczywiście w granicach wyznaczonych przez genotyp. Natomiast przy niedoborowej zawartości mikroelementu w glebie następuje zjawisko rozcieńczenia, czyli obniżanie się koncentracji składnika w roślinie wraz ze wzrostem plonów. Burkin [1976] twierdzi, że przy deficycie Mo w glebie jest on kierowany do wszystkich organów roślin równomiernie, a dopiero przy większej jego podaży gromadzony w nasionach.

Nawożenie molibdenem powoduje na ogół wzrost jego zawartości w roślinach, chociaż stopień gromadzenia tego pierwiastka zależy od gatunku, części rośliny i jej wieku oraz od wielkości zastosowanej dawki. W organach roślin motylkowatych molibden nagromadza się prawie proporcjonalnie do stosowanych dawek nawozowych, natomiast w organach zbóż w znacznie mniejszych ilościach [Burkin 1976].

Obniżona zawartość molibdenu w nasionach rzepaku jest niekorzystna, ponieważ materiał siewny jest wówczas gorszej jakości. W badaniach australijskich na glebach bardzo kwaśnych od zawartości molibdenu w materiale siewnym zależała wielkość zwyczajki plonów w wyniku dolistnego stosowania Mo. Przy niższej zawartości Mo w nasionach uzyskiwano lepszy efekt plonotwórczy po dolistnym wniesieniu tego składnika [Brennan i Bolland 2007]. Prowadzone badania z fasolą nad zwiększeniem zawartości Mo w nasionach w wyniku stosowania wysokich dolistnych dawek Mo wykazały, że dzięki wzbogaceniu materiału siewnego w Mo można zrezygnować z późniejszego nawożenia roślin Mo [Vieira i in. 2005].

W badaniach własnych dolistne nawożenie rzepaku Mo spowodowało wzrost koncentracji tego składnika w nasionach w stosunku do kontroli (tab. 4). W zależności od stosowanych dawek Mo i terminów jego aplikacji średnia z wszystkich doświadczeń zawartość Mo w nasionach mieściła się w zakresie  $0,36\text{--}0,40 \text{ mg Mo} \cdot \text{kg}^{-1}$ . W roślinach nawożonych dawkami 30 i  $60 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$  stwierdzono niższe zawartości Mo w porównaniu z dawką  $120 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$ , zwłaszcza stosowaną w I terminie.

Biorąc pod uwagę poziom plonowania rzepaku jako cechę kształtującą w pewnym stopniu zawartość molibdenu w nasionach, doświadczenia podzielono na 2 grupy o jednakowej liczebności. W grupie doświadczeń z plonem do  $2,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  średnia zawartość Mo w nasionach wynosiła  $0,41 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (tab. 4). W tej grupie doświadczeń nawożenie rzepaku molibdenem nie spowodowało wzrostu zawartości Mo w nasionach, z wyjątkiem zwiększenia koncentracji Mo po zastosowaniu dawki  $120 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$  w I terminie. W drugiej grupie doświadczeń, z plonem powyżej  $2,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , średnia zawartość molibdenu w nasionach obiektu kontrolnego wynosiła zaledwie  $0,23 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Dolistne nawożenie rzepaku ozimego tym składnikiem spowodowało znaczny wzrost jego zawartości w nasionach, zależny od wielkości dawki i terminu zabiegu. Po nawożeniu dawką  $30 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ , dla obu terminów aplikacji, wzrost ten wynosił około 40% w stosunku do kontroli. Przy dawce  $60 \text{ g Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$  wystąpiło natomiast zróżnicowanie w zawartości Mo między roślinami nawożonymi w różnych terminach. Zawartość Mo wzrosła o około 39% po nawożeniu w I terminie i 56% w II terminie. Dawka  $120 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$  spowodowała odpowiednio 39% i 47% wzrost zawartości molibdenu w nasionach.

Nawożenie rzepaku molibdenem nie spowodowało zmian w zawartości innych składników pokarmowych w nasionach. Nie znaleziono również żadnych zależności

regresyjnych między koncentracją molibdenu w nasionach rzepaku nawożonego Mo a cechami charakteryzującymi glebę bądź składem chemicznym nasion. Udowodniono, jedynie w grupie doświadczeń z niższymi plonami, ujemną korelację prostą między zawartością Mo i Mn w nasionach ( $r = -0,62^*$ ) oraz dla rzepaku o większych plonach dodatnią korelację zawartości Mo i Ca ( $r = 0,68^{**}$ ).

#### WNIOSKI

1. Zawartość molibdenu w nasionach rzepaku modyfikowana jest wysokością plonów oraz zasobnością gleby w przyswajalną formę tego pierwiastka. Wysoki poziom plonów rzepaku, przy jednocześnie niskiej zawartości Mo w glebie, może powodować zmniejszenie jego koncentracji w nasionach, co jest niekorzystne w przypadku, gdy będą one stanowić materiał siewny lub surowiec paszowy.

2. W sytuacji niedostatecznego zaopatrzenia rzepaku w molibden dolistne nawożenie tym składnikiem może powodować wzrost koncentracji Mo w nasionach o 40%–50% w zależności od dawki i terminu stosowania. Najlepszych rezultatów należy spodziewać się przy poziomie aplikacji 60–120 g Mo ha<sup>-1</sup>.

3. Dolistne nawożenie rzepaku molibdenem można przeprowadzić w okresie od wiosny (kilka dni po ruszeniu wegetacji) do początku formowania łodygi, dostosowując termin do ewentualnego połączenia z odpowiednim zabiegiem ochrony roślin.

#### PIŚMIENNICTWO

- Balik J., Pavlikowa D., Tlustos P., Cerny J., Kulhanek M., 2007. The content of molybdenum in oilseed rape plants after the application of nitrogen and sulphur fertilizers. *Mat. Konf. Biogeochemistry of trace elements: Environmental protection, remediation and human health*. Eds. Zhu Y., Lepp N., Naidu R., Tsinghua University Press, Bei Jing, 46–47
- Brennan R. F., 2006. Residual value of molybdenum for wheat production on naturally acidic soils of Western Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 46(10), 1333–1339.
- Brennan R. F., Bolland M. D. A., 2007. Increased concentration of molybdenum in sown wheat seed decreases grain yield responses to applied molybdenum Fertilizer in naturally acidic sandplain soils. *J. Plant. Nutr.* 30 (12), 2005–2019.
- Burkin I., 1976. Znaczenie molibdenu w produkcji rolniczej. PWRiL Warszawa.
- Finck A., 1998. Rapsdüngung – Bericht über deutsche Literatur. Beiträge zur Düngung von Winter-raps. *UFOP-Schriften* 9, 9–48.
- Gupta U. C., Macleod J. A., 2006. Boron and Molybdenum. *Encyclopedia of Soil Science*, Second Edition, Taylor and Francis, 188–190.
- Henkens Ch. H., 1972. Molybdenum uptake by beets in Dutch soils. *Agric. Res. Reports* 775, Centre for Agric. Pub. and Document., Wageningen.
- Kabata-Pendias A., 2001. Trace elements in soils and plants. Third Edition, CRC Press, NY, 1–448.
- Katyal J. C., Randhawa N.S., 1983. Micronutrients. *FAO. Fert. Plant Nutr. Bull.* 7, 57–76
- Rębowska Z., 1983. Wpływ nawożenia NPK, wapnowania i nawadniania na pobieranie kilku mikroelementów przez pszenicę ozimą i rzepak ozimy. *Pam. Puł.* 80,33–47.

- Rębowska Z., Kusio M., 1986. Wpływ nawożenia NPK i wapnowania gleby na zawartość i pobieranie mikroelementów przez rzepak jary. *Pam. Puł.* 86, 97–114.
- Ruszkowska M., Sykut S., Kusio M., 1996. Stan zaopatrzenia roślin w mikroelementy w warunkach zróżnicowanego nawożenia w wieloletnim doświadczeniu lizymetrycznym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 434, 43–47.
- Shorrocks V.M., 1990. Micronutrient assessment at country level an international study. *FAO Soils Bull.* 63, 20.
- Sienkiewicz U., Gembarzewski H., 1996. Stan zaopatrzenia w mikroelementy rzepaku ozimego z pól wysokoprodukcyjnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 434, 365–370.
- Stanisławska-Głubiak E., Strączyński S., Sienkiewicz-Cholewa U., 1996. Wpływ zróżnicowanego poziomu pól na zawartość mikroelementów w ziarnie pszenicy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 434 (I), 77–81.
- Vieira R. F., Salgado L. T., De A. C., Ferreira B., 2005. Performance of Common Bean using seeds harvested from plants fertilized with high rates of molybdenum. *J. Plant. Nutr.* 28 (2), 363–377.

**Summary.** A total of 33 strict field experiments were made in production fields of winter rapeseed in 8 voivodeships in Poland to examine the effects of foliar fertilisation of rapeseed with molybdenum. The following doses of molybdenum as an aqueous solution of ammonium molybdate were applied: 30, 60 and 120 g Mo · ha<sup>-1</sup>. The application was made twice: in spring, several days after the beginning of vegetation and at the beginning of stem formation. In the case of a low concentration of Mo in the seeds of the control objects (at about 0.2 mg · kg<sup>-1</sup>), foliar the fertilisation of rapeseed with Mo led to an increase in the concentration of this component by about 39–56% depending on the dose and term of application of molybdenum. In the set of experiments where the concentration of molybdenum in the seeds of the control objects was twice as high, no change in the concentration of this component was observed as a result of molybdenum fertilisation.

**Key words:** oilseed rape, molybdenum, foliar application, seed molybdenum content