

WPLYW SPOSOBU NAWOŻENIA SIARKĄ I DOLISTNEJ APLIKACJI MAGNEZU I BORU NA PLONOWANIE RZEPAKU JAREGO ORAZ ZAWARTOŚĆ GLUKOZYNOŁANÓW W NASIONACH

ANNA FIGAS

Katedra Fizjologii Roślin, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

figasanna@utp.edu.pl

Synopsis: Przebadano wpływ nawożenia siarką stosowaną doglebowo lub dolistnie oraz siarką stosowaną doglebowo łącznie z dolistnym dokarmianiem magnezem lub borem na plon i zawartość glukozynolanów w nasionach rzepaku jarego odmiany Margo. Doświadczenie polowe przeprowadzono w Stacji Doświadczalnej Oceny Odmian (SDOO) w Chrzastowie k/Nakła w latach 2001–2003 w układzie losowanych bloków w 4 powtórzeniach. Wykazano, że zastosowane sposoby nawożenia istotnie zwiększyły plon nasion w porównaniu z kontrolą, a ponadto doglebowa aplikacja siarki była czynnikiem zwiększającym zawartość progoitryny. Zaobserwowano tendencję do wzrostu bardziej szkodliwych glukozynolanów alkenowych pod wpływem wszystkich sposobów nawożenia. Nawożenie siarką oraz siarką wraz z magnezem lub borem nie wpłynęły istotnie na całkowitą zawartość glukozynolanów oraz zawartość glukozynolanów indolowych w nasionach.

Słowa kluczowe – Key words: rzepak jary – *spring oilseed rape*, glukozynolany – *glucosinolates*, plon – *yield*, nawożenie – *fertilization*

WSTĘP

Glukozynolany są wtórnymi metabolitami roślinnymi, syntetyzowanymi drogą niezależnych od metabolizmu podstawowego szlaków biosyntetycznych [Halkier i Gershenzon 2006]. Wyizolowano i poznano budowę blisko 130 różnych glukozynolanów, przy czym u przedstawicieli rodzaju *Brassica* stwierdzono obecność ponad 30 [Hill i in. 2003]. W dojrzałych nasionach rzepaku w największych ilościach występują cztery glukozynolany alkenowe: progoitryna, glukonapina, glukobrassikanapina, napoleiferyna, a spośród glukozynolanów indolowych: 4-hydroksyglukobrassicyna i glukobrassicyna [Schnug 1990]. We wszystkich roślinach zawierających glukozynolany występuje także enzym mirozynaza. W wyniku uszkodzenia nasion dochodzi do kontaktu glukozynolanów z mirozynazą i powstania produktów ich hydrolizy o dużej aktywności biologicznej [Halkier i Gershenzon 2006, Zhang i in. 2006]. Obecność glukozynolanów w wyciekach i śrucie rzepakowej, zwłaszcza u odmian tradycyjnych, ogranicza wykorzystanie tych produktów poolejarskich w żywieniu zwierząt jednożołądkowych. Wprowadzenie odmian podwójnie ulepszonych zmniejszyło ten problem [Krzymański 2005, Sørensen 1990].

Rzepak, podobnie jak inne rośliny kapustowate, wykazuje duże zapotrzebowanie na siarkę [Schnug i Haneklaus 1995]. Nawożenie tym pierwiastkiem może powodować wzrost plonu nasion lecz równocześnie zwiększenie zawartości glukozynolanów w nasionach, co u odmian podwójnie ulepszonych jest cechą niepożądaną [Haneklaus i in. 1999, Rotkiewicz i in. 1996,

Wielebski 1997]. Na wielkość plonu nasion rzepaku wpływa również nawożenie borem [Sienkiewicz-Cholewa 2005, Szukalski i Sikora 1985] i magnezem [Bartkowiak-Broda i in. 2005].

Celem pracy było poznanie wpływu dwóch sposobów nawożenia siarką oraz siarką aplikowaną łącznie z magnezem lub borem na plon nasion rzepaku jarego odmiany ‘Margo’ i zawartość w nich glukozyolanów.

MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań stanowiły nasiona rzepaku jarego podwójnie ulepszanego odmiany ‘Margo’ pochodzące z trzyletniego (2001–2003) doświadczenia polowego, realizowanego w Stacji Doświadczalnej Oceny Odmian (SDOO) w Chrzastowie k/Nakła n. Notecią (53°09' N, 17°35'E). Doświadczenie zostało założone w układzie losowanych bloków, w 4 powtórzeniach, na glebie brunatnej właściwej, wytworzonej z gliny lekkiej, pylastej zakwalifikowanej do kompleksu pszennego dobrego i bardzo dobrego. Warstwę orną gleby charakteryzowała niska zawartość siarki przyswajalnej (6,03 mg SO₄·kg⁻¹), magnezu (40,7 mg·kg⁻¹) i boru (0,71 mg·kg⁻¹). Przedplonem dla rzepaku jarego były zboża takie jak: pszenica ozima, jęczmień jary i owies. W doświadczeniu uwzględniono różne kombinacje nawożenia siarką, magnezem i borem (tab.1) na tle nawożenia podstawowego NPK (130 kg N, 50–80 kg P₂O₅, 72–90 kg K₂O na 1 ha). Kontrolę stanowiły poletka nie nawożone S, Mg i B lecz o wymienionym poziomie nawożenia podstawowego.

Zawartość glukozyolanów w nasionach rzepaku jarego oceniono metodą chromatografii gazowej [Michalski i in. 1995] jako desulfoglukozyolany i podano w μmol·g⁻¹ s.m.

Tabela 1. Sposoby aplikacji, terminy i dawki nawozów stosowane w doświadczeniu
Table 1. Application method, timing, and doses of fertilizers used in the experiment

| Obiekt <i>Treatment</i> | Pierwiastek <i>Element</i> | Nawóz <i>Fertilizer</i> | Sposób aplikacji <i>Application method</i> | Dawka <i>Dose</i> [kg·ha ⁻¹] | Termin stosowania <i>Time of fertilization</i> |
|----------------------------|---|---|---|--|---|
| Kontrola <i>Control</i> | bez nawożenia S, B, Mg <i>without S, B, Mg fertilization</i> | | | | |
| I | siarka <i>sulphur</i> | Na ₂ SO ₄ | doglebowo <i>soil application</i> | 40,0 | przed siewem <i>before sowing</i> |
| II | siarka <i>sulphur</i> | Na ₂ SO ₄ | dolistnie <i>foliar application</i> | 20,0 | faza rozety <i>rosette phase</i> |
| | | | | 20,0 | faza pełni pąkowania <i>budding phase</i> |
| III | siarka <i>sulphur</i> | Na ₂ SO ₄ | doglebowo <i>soil application</i> | 40,0 | przed siewem <i>before sowing</i> |
| | bor <i>boron</i> | Boraks (Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O) | dolistnie <i>foliar application</i> | 0,5 | faza pełni pąkowania <i>budding phase</i> |
| IV | siarka <i>sulphur</i> | Na ₂ SO ₄ | doglebowo <i>soil application</i> | 40,0 | przed siewem <i>before sowing</i> |
| | magnez <i>magnesium</i> | MgSO ₄ | dolistnie <i>foliar application</i> | 1,0 | faza pełni pąkowania <i>budding phase</i> |

Wyniki badań opracowano statystycznie, posługując się do wyznaczania istotności różnic testem Tukey'a oraz NIR na poziomie ufności $\alpha=0,05$.

Średnie temperatury i miesięczne sumy opadów porównano ze średnimi z wielolecia (1981–2000) przyjętymi za normę w warunkach prowadzenia doświadczenia (tab. 2). W okresie prowadzonych badań najlepszym pod względem warunków pogodowych był rok 2001. Suma opadów atmosferycznych w sezonie wegetacyjnym rzepaku jarego (IV–VIII) wyniosła 331,2 mm i była o 25% wyższa od średniej wieloletniej (265 mm). W czerwcu i lipcu tj. w fazie kwitnienia rzepaku opady były wyższe od średniej wieloletniej odpowiednio o 19,1% i 70,6%. Średnia miesięczna temperatura powietrza w czerwcu była niższa o 2,5 °C, a w lipcu i sierpniu zbliżona do średniej z wielolecia.

Tabela 2. Warunki meteorologiczne
Table 2. Meteorological conditions

| Lata Years | Średnia temperatura powietrza <i>Average temperature of air</i> (°C) | | | | | | Miesięczna suma opadów <i>Monthly sum of rainfalls</i> (mm) | | | | | |
|---------------|--|------|------|------|------|-----------------|---|------|------|-------|------|-------------|
| | Miesiąc – Month | | | | | | | | | | | |
| | IV | V | VI | VII | VIII | Średnio Mean | IV | V | VI | VII | VIII | Suma Sum |
| 1981–2000 | 8,5 | 14,3 | 17,0 | 19,2 | 18,7 | 15,5 | 28,0 | 48,0 | 66,0 | 67,0 | 56,0 | 265,0 |
| 2001 | 7,2 | 13,3 | 14,5 | 19,4 | 18,7 | 14,6 | 46,2 | 39,9 | 78,6 | 114,3 | 52,2 | 331,2 |
| 2002 | 7,8 | 15,9 | 16,7 | 19,5 | 20,7 | 16,1 | 34,6 | 44,1 | 35,0 | 67,6 | 51,2 | 232,5 |
| 2003 | 7,2 | 14,9 | 17,7 | 19,1 | 18,8 | 15,5 | 18,1 | 34,3 | 42,3 | 73,9 | 13,4 | 182,0 |

Sezon wegetacyjny rzepaku jarego w 2002 roku charakteryzował się o 12% niższymi od średniej wieloletniej opadami atmosferycznymi. W maju, czerwcu, i sierpniu opady były niższe, natomiast w pozostałych miesiącach analizowanego sezonu wyższe od średniej z wielolecia. W kwietniu zanotowano o 23,6% więcej opadów, a w lipcu były one zbliżone do średniej wieloletniej. Temperatura powietrza w kwietniu, czerwcu i lipcu również zbliżona była do średniej z wielolecia, natomiast w maju i sierpniu była odpowiednio o 1,6 °C i 2,0 °C wyższa.

Rok 2003 charakteryzował się najniższymi opadami atmosferycznymi. Ich suma wynosiła 182 mm i była o 31% niższa od średniej wieloletniej. Tylko w lipcu suma opadów była o 10,3% wyższa w porównaniu do średniej z wielolecia. Temperatura powietrza w kwietniu była o 1,3 °C niższa, natomiast w pozostałych miesiącach zbliżona do średniej z wielolecia.

W latach prowadzonych badań liczba dni z opadami deszczu w okresie kwiecień – sierpień wynosiła 80 (2001 rok), 67 (2002 rok) i 65 dni (2003 rok).

Okres wegetacji rzepaku jarego w pierwszym roku doświadczenia był najdłuższy i wynosił 126 dni, natomiast w drugim i trzecim roku wynosił odpowiednio 116 i 118 dni.

WYNIKI I DYSKUSJA

Synteza wyników doświadczenia przeprowadzonego w latach 2001–2003 wykazała, iż plony nasion rzepaku jarego zebrane z wszystkich obiektów, na których stosowano siarkę były istotnie wyższe niż w obiekcie kontrolnym (tab. 3). Średni plon nasion rzepaku uprawianego na poletkach nawożonych siarką, siarką wraz z magnezem oraz siarką wraz z borem wyniósł

Tabela 3. Wpływ nawożenia siarką oraz siarką z magnezem lub borem na plon nasion rzepaku jarego w t·ha⁻¹

Table 3. Influence of sulphur and sulphur with magnesium or boron fertilization on the seed yields of the spring oilseed rape in t·ha⁻¹

| Objekty Treatments | | Lata – Years | | | |
|--|--|--------------|---------|---------|-----------------|
| | | 2001 | 2002 | 2003 | Średnio Mean |
| Kontrolny – Control | | 2,75 b | 2,89 b | 3,17 b | 2,93 b |
| Nawożony – Fertilized | | | | | |
| I | S–doglebowo S–soil application | 3,10 a | 3,11 ab | 3,47 a | 3,23 a |
| II | S–dolistnie S–foliar application | 3,18 a | 2,92 ab | 3,28 ab | 3,12 a |
| III | S–doglebowo + B–dolistnie S–soil application + B–foliar application | 2,98 ab | 3,05 ab | 3,33 ab | 3,12 a |
| IV | S–doglebowo + Mg–dolistnie S–soil application + Mg–foliar application | 3,20 a | 3,16 a | 3,41 ab | 3,26 a |
| Średnio – Mean | | 3,04 | 3,03 | 3,33 | 3,13 |
| NIR _{0,05} dla obiektów LSD _{0,05} for treatments | | 0,265 | 0,272 | 0,282 | 0,159 |

*liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie – numbers in columns marked with the same letters do not differ significantly

3,18 t·ha⁻¹. Był on wyższy o 0,25 t·ha⁻¹ od kontroli i osiągnął wysokość porównywalną z plonem, jaki uzyskali w sprzyjających warunkach atmosferycznych i przy prawidłowej agrotechnice Budzyński i in. [2000], Muśnicki i Toboła [1998] oraz Wałkowski [2001].

Najbardziej korzystnym dla wzrostu i rozwoju rośliny rozkładem opadów atmosferycznych charakteryzował się 2001 rok. Mimo jednak korzystnego rozkładu opadów, niższa o 2,5 °C od średniej z wielolecia średnia miesięczna temperatura powietrza w czerwcu oraz wysoki stopień porażenia roślin przez patogenna grzybowego *Alternaria brassicae* spowodowały, iż plon nasion rzepaku jarego nie odbiegał od plonu uzyskanego w pozostałych latach badań. Straty w plonie nasion powodowane przez choroby grzybowe rzepaku są bowiem znaczne, średnio wynoszą od 15 do 20%, a w przypadku silnego porażenia są o wiele większe [Wałkowski 2006b].

Porównując wpływ sposobu aplikacji siarki nie stwierdzono istotnych różnic w plonie nasion w 3 letnim okresie badań, jakkolwiek tendencje wzrostowe wykazano na obiektach nawożonych siarką doglebowo w porównaniu z obiektem, na którym siarkę aplikowano dolistnie. Plon nasion rzepaku nawożonego siarką doglebowo zwiększył się o 0,30 t·ha⁻¹, a o 0,19 t·ha⁻¹ w wyniku dolistnej aplikacji siarki w porównaniu z kontrolą. Wyższy plon nasion rzepaku nawożonego przedsięwzięciem siarką w porównaniu z nawożeniem pogłównym i dolistnym uzyskały również Krauze i Bowszys [2001]. W zależności od genotypu oraz czynników antropogenicznych pozytywne efekty uzyskiwano również nawożąc siarką rzepak ozimy w fazie ruszenia wegetacji i pąkowania [Rotkiewicz i in. 1996] lub też nawożąc rzepak jary w fazie elongacji pędów [Hocking i in. 1995].

Zawartość glukozyolanów jest determinowana przez genotyp rośliny i w sposób istotny modyfikowana przez warunki środowiskowe, w tym nawożenie [Haneklaus i in. 1999, Rotkie-

wicz i in. 1996, Szulc i in. 2003, Wielebski 1997, Wielebski i Muśnicki 1998]. Wszystkie sposoby nawożenia siarką, które miały wyraźny efekt plonotwórczy, modyfikowały również średnio w latach zawartość glukozynolanów w nasionach (tab. 4 i 5). Wyrażając zawartość glukozynolanów w nasionach jako względne odchylenia tych średnich od kontroli można zauważyć, że zastosowane warianty nawożenia siarką spowodowały zwiększenie całkowitej zawartości glukozynolanów w nasionach, choć różnic tych nie udało się potwierdzić statystycznie. Reakcję rzepaku na nawożenie siarką przejawiającą się wzrostem plonu i zwiększoną zawartością glukozynolanów wykazali również Hocking i in. [1995] i Wielebski [1997]. Wielebski i Wójtowicz [2003] stosując różne dawki siarki (0–80 kg·ha⁻¹) stwierdzili, iż wzrastającym dawkom towarzyszył przyrost zawartości glukozynolanów w nasionach (do 39,4%) bez istotnej zmiany plonu. Szulc i in. [2000] za najlepszy wariant nawożenia, zwiększający plon nasion i równocześnie nie wpływający na zawartość glukozynolanów uznali nawożenie dolistne siarką elementarną w dawce 60 kg·ha⁻¹.

W pierwszym roku badań (2001 rok) nasiona zawierały najmniej glukozynolanów (9,39 μmol·g⁻¹ s.m.), z kolei nasiona pochodzące ze zbiorów w 2003 roku charakteryzowały się najwyższą sumą glukozynolanów (11,54 μmol·g⁻¹ s.m.) (tab. 4). Pierwszy rok badań był rokiem „mokrym”, natomiast pozostałe lata (2002 i 2003) należały do „suchych” (tab. 2). Jak podają Mailer i Pratley [1990] jednym z czynników środowiska wpływających na zawartość glukozynolanów jest dostępność wody w glebie. Niedobór lub nadmiar wody może obniżyć zawartość tych metabolitów, co autorzy tłumaczą pobieraniem i translokacją siarki. W warunkach suszy, pobieranie tego pierwiastka przez roślinę jest bardzo ograniczone, czego efektem może być

Tabela 4. Wpływ nawożenia siarką oraz siarką z magnezem lub borem na całkowitą zawartość glukozynolanów w nasionach rzepaku jarego w μmol·g⁻¹ s.m.

Table 4. Influence of sulphur and sulphur with magnesium or boron fertilization on the total content of glucosinolates of the spring oilseed rape in μmol·g⁻¹ DM

| Objekty Treatments | | Lata – Years | | | |
|--|---|--------------|---------|-------|-----------------|
| | | 2001 | 2002 | 2003 | Średnio Mean |
| Kontrolny – Control | | 9,50 ab | 8,80 c | 11,15 | 9,82 |
| Nawożony – Fertilized | | | | | |
| I | S–doglebowo <i>S–soil application</i> | 10,00 a | 11,25 a | 11,90 | 11,05 |
| II | S–dolistnie <i>S–foliar application</i> | 8,70 b | 9,40 bc | 12,20 | 10,10 |
| III | S–doglebowo + B–dolistnie <i>S–soil application + B–foliar application</i> | 9,75 ab | 9,55 bc | 11,65 | 10,32 |
| IV | S–doglebowo + Mg–dolistnie <i>S–soil application + Mg–foliar application</i> | 9,00 ab | 10,10 b | 10,80 | 9,97 |
| Średnio – Mean | | 9,39 | 9,82 | 11,54 | 10,25 |
| NIR _{0,05} dla obiektów <i>LSD_{0,05} for treatments</i> | | 1,268 | 0,877 | r.n. | r.n. |

r.n. – różnica nieistotna – *difference not significant*

*liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie – *numbers in columns marked with the same letters do not differ significant*

Tabela 5. Wpływ nawożenia siarką oraz siarką z magnezem lub borem na zawartość glukozynolanów w nasionach rzepaku jarego odmiany 'Margo' w $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m. (średnio 2001–2003)

Table 5. Influence of sulphur and sulphur with magnesium or boron fertilization on the content of glucosinolates of the spring oilseed rape cv. 'Margo' in $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ DM (mean of 2001–2003)

| Objekty Treatments | Zawartość glukozynolanów w nasionach Content of the glucosinolates in seeds | | | | | | | |
|---|--|------|------|------|--|------|------|--|
| | PRO | GNP | GBN | NPL | Suma glukozynolanów alkenowych Total of alkenyl glucosinolates | 4-OH | GLB | Suma glukozynolanów indolowych Total of indolyl glucosinolates |
| Kontrolny – Control | 3,08 b | 1,60 | 0,20 | 0,17 | 5,05 | 4,60 | 0,17 | 4,77 |
| Nawożony – Fertilized | | | | | | | | |
| I S-doglebowo S-soil application | 3,75 a | 1,78 | 0,28 | 0,10 | 5,92 | 4,88 | 0,25 | 5,13 |
| II S-dolistnie S-foliar application | 3,35 b | 1,77 | 0,23 | 0,12 | 5,47 | 4,43 | 0,20 | 4,63 |
| III S-doglebowo + B-dolistnie S-soil application + B-foliar application | 3,37 b | 1,72 | 0,27 | 0,08 | 5,43 | 4,67 | 0,22 | 4,89 |
| IV S-doglebowo + Mg-dolistnie S-soil application + Mg-foliar application | 3,35 b | 1,83 | 0,23 | 0,08 | 5,50 | 4,32 | 0,15 | 4,47 |
| Średnio – Mean | 3,38 | 1,74 | 0,24 | 0,11 | 5,47 | 4,58 | 0,20 | 4,78 |
| NIR _{0,05} dla obiektów – LSD _{0,05} for treatments | 0,366 | r.n. | r.n. | r.n. | r.n. | r.n. | r.n. | r.n. |

r.n. – różnica nieistotna – difference not significant

* liczby w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie – numbers in columns marked with the same letters do not differ significantly

PRO – progoitryna – progoitrin, GNP – glukonapina – gluconapin, GBN – glukobrasikanapin – glucobrassicinapin, NPL – napoleiferyna – napoleiferine, 4-OH – 4-hydroksyglukobrasycyna – 4-hydroxyglucobrassicin, GLB – glukobrasycyna glucobrassicin

hamowanie syntezy glukozynolanów. Poprawa warunków wilgotnościowych powoduje zwykle wzmożoną ich syntezę, natomiast nadmiar wody wpływa na bujniejszy wzrost roślin i w efekcie obniżenie zawartości glukozynolanów. Obniżenie ich zawartości może być spowodowane efektem rozcieńczenia lub wymywania siarki z korzeni. Zależność pomiędzy zawartością glukozynolanów a dostępnością wody potwierdzają również badania Rotkiewicz i in. [2000], którzy stwierdzili, iż lata suche i ciepłe sprzyjają odkładaniu glukozynolanów w nasionach rzepaku jarego. Na podstawie analizy trzyletnich wyników badań można zatem mówić tylko o tendencji do zwiększania zawartości glukozynolanów alkenowych w nasionach pod wpływem dogłębowego nawożenia siarką (obiekt I) (tab. 5), choć ich poziom był o 17,2% wyższy w porównaniu do obiektu kontrolnego.

Zwiększona zawartość glukozynolanów alkenowych w nasionach rzepaku nawożonego siarką była przede wszystkim spowodowana istotnym wzrostem udziału progoitryny, która stanowiła 63,4% ich sumy (tab. 5). Średnie wyniki trzyletniego doświadczenia wskazują, iż siarka wpłynęła na akumulację tylko tego glukozynolanu alkenowego. Jednak zawartość glukozynolanów alkenowych w nasionach mieściła się w granicach normy. W Polsce dla podwójnie ulepszonych odmian rzepaku dopuszczalna suma glukozynolanów alkenowych w całych nasionach materiału zakwalifikowanego w stopniu elity hodowlanej wynosi $13\mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m., w stopniu oryginału lub I odsiewu $15\mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m. (PN-90/R-66151), a w nasionach przemysłowych $25\mu\text{M}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m. (PN-90/66151) [Wałkowski 2006ab]. Wielebski i Wójtowicz [2003] oraz Zhao i in. [1994] wykazali również, że nawożenie siarką powoduje głównie wzrost glukozynolanów alkenowych. Siarka jest składnikiem metioniny, która jest prekursorem glukozynolanów, zwłaszcza progoitryny. W warunkach słabego zaopatrzenia roślin w siarkę, zawartość dostępnej metioniny maleje, co może ograniczać syntezę glukozynolanów [Josefsson 1970, Zhao i in. 1994], lecz jednocześnie zubożać białko rzepakowe w cenne aminokwasy siarkowe. Siarka, bowiem wchodzi w skład aminokwasów takich jak: metionina, cystyna, cysteina, decydujących o utrzymaniu konformacji łańcuchowej białka [De Kok i in. 2003].

WNIOSKI

1. Istotny wzrost plonu nasion rzepaku uzyskano z wszystkich obiektów, na których zastosowano nawożenie siarką. Dogłębne nawożenie siarką wpływało dodatnio na poziom plonowania rzepaku jarego niezależnie od układu warunków środowiskowych, w jakich był on uprawiany, podczas gdy efektywność plonotwórcza nawożenia dolistnego była na ogół mniejsza.
2. Dodatkowa aplikacja dolistna magnezu i boru nie zwiększała istotnie efektywności nawożenia rzepaku siarką, bez względu na sposób stosowania siarki.
3. Nasiona rzepaku nawożonego siarką wykazywały tendencję do wzrostu ogólnej sumy glukozynolanów i sumy glukozynolanów alkenowych, a szczególnie progoitryny, glukonapiny i glukobrassikanapiny. Najwyższą zawartość progoitryny oznaczono w nasionach pochodzących z obiektów nawożonych siarką dogłębno.

PIŚMIENNICTWO

- Bartkowiak-Broda I., Wałkowski T., Ogrodowczyk M. 2005. Przyrodnicze i agrotechniczne możliwości kształtowania jakości nasion rzepaku. Pam. Puł. 139: 7–25.
- Budzyński W., Jankowski K., Zielonka R. 2000. Efektywność nawożenia azotem rzepaku jarego chronionego i niechronionego przed szkodnikami. I. Nawożenie i ochrona a plon nasion. Rośl. Oleiste 21(1): 513–525.

- De Kok L.J., Castro A., Durenkamp M., Stuijver C.E., Westerman S., Yang L., Stulen I. 2003. Sulphur in plant physiology. *Nawozy Nawoż.* 5(2): 55–80.
- Halkier B., A., Gershenzon J. 2006. Biology and biochemistry of glucosinolates. *Annu. Rev. Plant Biol.* 57: 303–333.
- Haneklaus S., Paulsen H.M., Gupta A.K., Bloem E., Schnug E. 1999. Influence of sulfur fertilization on yield and quality of oilseed rape and mustard. 10th Intern. Rapeseed Congress, Canberra, Australia, 26-29 September 1999: 1–5.
- Hill J., Jørnsgaard B., Rahman M. H., Peivu Li., Sørensen H., Sørensen J. C. 2003. Breeding for reduced glucosinolate content in oilseed rape. 11th Intern. Rapeseed Congress, Copenhagen, Denmark, 6–10 July 2003: 263–265.
- Hocking P.J., Pinkerton A., Good A.J. 1995. Recovery of field grown canola from sulphur deficiency. 9th Intern. Rapeseed Congress, Cambridge, U.K., 4–7 July 1995: 299–301.
- Josefsson E. 1970. Glucosinolate content and amino acid composition of rapeseed (*Brassica napus*) meal as affected by sulphur and nitrogen nutrition. *J. Sci. Food Agric.* 21: 98–103.
- Krzymański J. 2005. Nieżywnościowe wykorzystanie rzepaku. W: „Technologia produkcji rzepaku”. Muśnicki Cz., Bartkowiak-Broda I., Mrówczyński M. (red.), *Wiś Jutra*: 34–39.
- Mailer R.J., Pratley J.E. 1990. Field studies on moisture availability effects on glucosinolate and oil concentration in the seed of rape (*Brassica napus*) and turnip rape (*Brassica rapa* L. var. *silvestris* (Lam.) Briggs). *Can. J. Plant Sci.* 70: 399–407.
- Michalski K., Kołodziej K., Krzymański J. 1995. Quantitative analysis of glucosinolates in seeds of oilseed rape – effect of sample preparation on analytical results. Proc 9th Intern. Rapeseed Congress, Cambridge, U.K., 4–7 July 1995: 911–913.
- Muśnicki Cz., Toboła P. 1998. Reakcja rzepaku jarego podwójnie ulepszanego na termin siewu. *Rośl. Oleiste* 19(1): 135–140.
- Rotkiewicz D., Ojczyk T., Konopka I. 1996. Nawożenie siarką a wartość użytkowa i technologiczna nasion rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste* 17(1): 257–264.
- Rotkiewicz D., Murawa D., Konopka I., Warmiński K. 2000. Glukozynolany dwóch odmian rzepaku jarego traktowanego herbicydami. *Rośl. Oleiste* 21(1): 271–277.
- Schnug E. 1990. Glucosinolates – fundamental, environmental and agricultural aspects. In: *Sulphur Nutrition and Sulphur Assimilation in Higher Plants*. (Ed.) Rennenberg H., Brunold Ch., De Kok L.J., Stulen J., SPB Acad. Publ. The Hague: 97–106.
- Schnug E., Haneklaus S. 1995. Sulphur deficiency in oilseed rape flowers-symptomatology, biochemistry and ecological impact. 9th Intern. Rapeseed Congress. Cambridge, U.K., 4–7 July 1995: 296–298.
- Sienkiewicz-Cholewa U. 2005. Znaczenie boru i miedzi w uprawie rzepaku w kraju. *Rośl. Oleiste* 26(1): 163–172.
- Sørensen H. 1990. Glucosinolates – structure, properties, function. Chapter 9 in „Canola and rapeseed. Production, chemistry, nutrition and processing technology”, (Ed.) Shahidi F., Van Nostrand Reinhold. Publ. New York: 149–172.
- Szukalski H., Sikora H. 1985. Wpływ doglebowego i dolistnego stosowania boru na jego zawartość w roślinach i na plon rzepaku ozimego. *Biul. IHAR* 157: 87–92.
- Szulc P., Drozdowska L., Kachlicki P. 2003. Effect of sulphur on the yield and content of glucosinolates in spring oilseed rape seeds. *EJPAU* 6 (2): #01.
- Szulc P., Piotrowski R., Drozdowska L., Skinder Z. 2000. Wpływ nawożenia siarką na plon i akumulację związków siarki w nasionach rzepaku jarego odmiany Star. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 204, *Agricultura* 81: 157–162.
- Wałkowski T. 2001. Wpływ terminu i gęstości wysiewu na plony rzepaku jarego odmiany populacyjnej Star i mieszańca złożonego Margo. *Rośl. Oleiste* 22(2): 409–422.
- Wałkowski T. 2006a. Rzepak jary. *IHAR Poznań*: ss. 75.
- Wałkowski T. 2006b. Rzepak ozimy. *IHAR Poznań*: ss. 164.
- Wielebski W. 1997. Wpływ wzrastających dawek siarki na skład glukozyzolanów zawartych w nasionach dwóch odmian rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste* 18(1): 179–186.
- Wielebski F., Muśnicki C. 1998. Wpływ wzrastających dawek siarki na plon nasion i zawartość glukozyzolanów w nasionach dwóch odmian rzepaku podwójnie ulepszanego. *Post. Nauk Rol.* 6: 63–67.

- Wielebski W., Wójtowicz M. 2003. Wpływ wiosennego nawożenia siarką na plon i zawartość glukozynolanów w nasionach odmian mieszańcowych złożonych rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste* 24(1): 107–119.
- Zhang Z., Ober J. A., Kliebenstein D.J. 2006. The gene controlling the quantitative trait locus Epithiospecifier modifier 1 alters glucosinolate hydrolysis and insect resistance in *Arabidopsis*. *The Plant Cell* 18: 1524–1536
- Zhao F., Evans E. J., Bilsborrow P.E., Syers J. K. 1994. Influence of nitrogen and sulphur on the glucosinolate profile of rapeseeds (*Brassica napus* L.). *J. Sci. Food Agric.* 64: 295–304.

A. FIGAS

**INFLUENCE OF SULPHUR FERTILIZATION AND FOLIAR APPLICATION
WITH MAGNESIUM AND BORON ON THE SPRING OILSEED RAPE YIELD
AND GLUCOSINOLATES CONTENT IN SEEDS**

Summary

The impact of sulphur fertilization on spring oilseed rape cv. „Margo” was studied in 2001–2003 in a randomized block-design with four replications at the Experimental Station of Cultivar Evaluation in Chrzastowo near Nakło (53°09' N, 17°35' E). The experiment was done on brown soil from silty light loam and qualified as good and very good wheat complex. The previous crops were small grain cereals. Before treatments were applied, soil was relatively low in sulphur (6.03 mg SO₄·kg⁻¹), magnesium (40.7 mg·kg⁻¹) and boron (0.71 mg·kg⁻¹). The sulphur fertilizers were applied directly onto the soil or onto the leaves. In addition to sulphur onto the soil, a foliar application of magnesium or boron was added, resulting in as much as four treatments studied plus control. Rape seeds of the three-year experiment were analysed for their yields and contents of glucosinolates. In general, fertilisation significantly increased yield of seeds. A significant increase of progoitin content was observed in seeds of plants fertilized only with sulphur via the soil and all fertilization treatments showed a consistent trend toward higher values of alkenyl glucosinolates. Total and indol glucosinolate contents were not affected by fertilization with sulphur, sulphur supplemented with boron and sulphur supplemented with magnesium.