

DEGRADACJA STEROLI ROŚLINNYCH PODCZAS  
NISKOTEMPERATUROWEGO SUSZENIA NASION RZEPAKU  
W SILOSIE TYPU BIN

*Marzena Gawrysiak-Witulska, Magdalena Rudzińska*

Institut Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego, Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu  
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań  
e-mail: wima@up.poznan.pl

**Streszczenie.** Celem niniejszej pracy było zbadanie strat steroli roślinnych podczas niskotemperaturowego suszenia nasion rzepaku w silosie typu BIN. Oznaczono zawartość takich steroli jak: brassikasterol, kampesterol, stigmasterol, sitosterol i awenasterol. Materiałem do badań były nasiona odmiany Californium. Po zbiorze rzepak suszono metodą niskotemperaturową w grubej, nieruchomej warstwie o grubości 2 m. Badania zawartości fitosteroli wykonano bezpośrednio po suszeniu oraz 6 i 12 miesiącach przechowywania w temp.  $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Oznaczenia jakościowe i ilościowe steroli roślinnych wykonano techniką chromatografii gazowej. Uzyskane wyniki wykazały istotny wpływ suszenia i czasu przechowywania na zawartość steroli roślinnych. Suszenie nasion metodą niskotemperaturową w silosie spowodowało spadek zawartości sumy steroli o 8-14%. Roczne przechowywanie nasion suszonych metodą niskotemperaturową obniżyło poziom steroli o 15-17%.

**Słowa kluczowe:** suszenie niskotemperaturowe, późniwna konserwacja, rzepak, sterole roślinne, liczba kwasowa

#### WSTĘP

W ciągu ostatnich 20 lat roczna produkcja rzepaku na świecie wzrosła z 26,7 do 65 mln ton (<http://www.faostat.fao.org>). W Polsce w tym czasie jego roczna produkcja przekroczyła wartość 2 mln ton. Silna tendencja wzrostowa produkcji rzepaku wynika z faktu, iż stanowi on cenny surowiec do produkcji oleju, natomiast produkty uboczne w postaci śruty i wyłoków mogą być wykorzystane jako wartościowa pasza wysokobiałkowa. Tak duże znaczenie gospodarcze rzepaku jest wynikiem wieloletnich badań, które pozwoliły m.in. na uzyskanie

odmian o pożądanej proporcji kwasów tłuszczowych oraz zwiększonej zawartości związków biologicznie aktywnych, takich jak sterole i tokoferole (Booth i Gunstone 2004, Möllers 2004).

Jakość oleju pozyskiwanego z nasion rzepaku zależy przede wszystkim od stanu nasion wykorzystanych do jego produkcji. Należy pamiętać, że nasiona rzepaku są żywym materiałem roślinnym, w którym zachodzą procesy fizjologiczne. Intensywność tych zmian warunkuje wilgotność, temperatura i dostęp tlenu (Pronyk 2006, Tys i Rybacki 2001). Podczas zbioru wilgotność rzepaku może wynosić do 18%. W celu ich bezpiecznego przechowywania, bezpośrednio po zbiorze, nasiona powinny być suszone, a następnie schłodzone. W Polsce zaleca się suszenie nasion przeznaczonych do długotrwałego przechowywania do wilgotności 7% (Niewiadomski 1993). Jest to wilgotność znacznie niższa niż przyjęta dla prawidłowego przechowywania ziarna zbóż. Wiąże się to z dużą zawartością tłuszczu w nasionach rzepaku, która stanowi substancję hydrofobową oraz umiejscowienia wody w częściach beztłuszczowych. Stosowane po zbiorze rzepaku warunki suszenia w znaczący sposób mogą wpływać na jakość technologiczną nasion. Według Pathak i in. (1991) stosowanie temperatury powyżej 93°C zwiększa zawartość wolnych kwasów tłuszczowych w oleju. Podczas suszenia ogrzany powietrzem przyrost liczby kwasowej oraz straty fitosteroli są tym większe, im wyższa jest temperatura czynnika suszącego (Rudzińska i in. 2006, Gawrysiak-Witulska i in 2012). Stosowanie wysokich temperatur podczas suszenia nasion rzepaku może także znacząco wpływać na obniżenie ich wytrzymałości mechanicznej (Tys i in. 2002). Ponieważ jakość technologiczna nasion rzepaku, podczas suszenia i przechowywania, może w znacznym stopniu ulec pogorszeniu, coraz częściej propagowaną metodą suszenia dla nasion rzepaku jest energooszczędne suszenie niskotemperaturowe w grubej, nieruchomej warstwie (Gawrysiak-Witulska i in. 2009, Ryniecki 2005). Podczas suszenia niskotemperaturowego do grubej, nieruchomej warstwy nasion (od kilkudziesięciu centymetrów do kilku metrów) wdmuchiwane jest powietrze o potencjale suszącym, zmieniającym się w sposób stochastyczny zależnie od warunków pogodowych (Gawrysiak-Witulska i in. 2009). Podczas trwania procesu przepływ wilgoci od nasion do powietrza ma miejsce zasadniczo tylko w warstwie o stosunkowo niewielkiej grubości zwanej strefą suszenia, natomiast w warstwach powyżej strefy suszenia wilgotność nasion utrzymuje się na poziomie zbliżonym do wilgotności początkowej. Ponieważ proces trwa zwykle od kilku do kilkunastu dni, stwarza to ryzyko pogorszenia ich jakości technologicznej oraz rozwoju grzybów pleśniowych. Zawarte w oleju rzepakowym związki biologicznie aktywne, takie jak sterole i tokoferole, są niezwykle pożądane w diecie człowieka. Szczególną uwagę poświęca się fitosterolom z uwagi na ich zdolność do obniżania poziomu cholesterolu w surowicy krwi u ludzi, co prowadzi do znacznego zmniejszenia ryzyka chorób serca (Carr i in. 2009). Zwiększone zainteresowanie konsumentów

produktami bogatymi w sterole roślinne stwarza konieczność minimalizowania ich strat podczas kolejnych etapów obróbki pozbiorowej rzepaku. Zastosowana metoda suszenia i warunki przechowywania mogą w znaczący sposób wpływać na degradację zawartych w rzepaku związków biologicznie aktywnych. Podczas suszenia niskotemperaturowego mogą wystąpić straty tokoferoli na poziomie 6-11%, natomiast podczas suszenia wysokotemperaturowego na poziomie 4-8% (Gawrysiak-Witulska i in. 2009). Celem niniejszej pracy było zbadanie strat steroli roślinnych podczas suszenia nasion rzepaku metodą niskotemperaturową w silosie typu BIN. Badania w tym temacie zapoczątkowali Gawrysiak-Witulska i in. (2009). Ponadto w wyekstrahowanym z nasion oleju oznaczono liczbę kwasową.

#### MATERIAŁ I METODY

Suszenie w silosie prowadzono pod kontrolą sterownika komputerowego. Parametry powietrza podczas prowadzenia doświadczenia zmieniały się w sposób stochastyczny i były uzależnione od warunków pogodowych w okresie jego prowadzenia. Wyniki stanowiły bazę do potwierdzenia założenia badawczego, że suszenie niskotemperaturowe może być skuteczną metodą konserwacji rzepaku w klimacie Polski.

Doświadczenie przeprowadzono w Złotnikach, w gospodarstwie rolnym należącym do Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Stanowisko stanowił 28-tonowy silos typu BIN o wysokości 4,8 m i średnicy 3,2 m. Wyposażenie silosu składało się z wentylatora, elektrycznego podgrzewacza powietrza oraz sterownika procesu suszenia niskotemperaturowego typu „BIT” z zestawem czujników do pomiaru temperatury i wilgotności względnej powietrza. Sterownik mierzył i przysyłał do komputera, w celu rejestracji, 21 parametrów procesu. Rejestrowano między innymi temperaturę i wilgotność względną powietrza atmosferycznego, powietrza wdmuchiwanego do masy nasion i powietrza wylotowego z warstwy rzepaku oraz temperaturę nasion na kilku poziomach, szczególnie w warstwie górnej i dolnej. Uzyskane dane sterownik przetwarzał tak, aby proces przebiegał w sposób optymalny. Sterownik wymuszał ciągły przepływ powietrza przez warstwę nasion (z wyjątkiem, gdy wilgotność względna powietrza przekraczała wartość 96%) i sterował pracą podgrzewacza tak, aby powietrze wdmuchiwane do silosu posiadało odpowiedni potencjał suszący.

Materiał doświadczalny stanowiły nasiona rzepaku odmiany Californium o wilgotności początkowej 10,3%. Zbiór dokonano w Zakładach Doświadczalnych w Złotnikach. Nasiona suszono w warstwie o grubości 2 m. Doświadczenie zakończono po 96 godzinach, kiedy wilgotność w warstwie na poziomie 2 m wynosiła 7%.

Próbę kontrolną stanowiły nasiona bezpośrednio po zebraniu z pola. Do analiz pobierano próby po zakończeniu suszenia metodą niskotemperaturową z warstw na poziomie 0,1; 1,0; 1,5 i 2,0 m. Oznaczenia zawartości fitosteroli i liczby kwasowej wykonano bezpośrednio po zakończeniu suszenia oraz po 6 i 12 miesiącach przechowywania nasion w temperaturze  $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

#### **Oznaczanie wilgotności nasion**

Wilgotność nasion określano za pomocą wagosuszarki (MA150 Sartorius Mechatronics, Polska). Podczas pomiaru próbki zmielonego rzepaku o masie 5 g suszono w temperaturze  $115^{\circ}\text{C}$  do stałej masy. Dokładność pomiaru wagosuszarki wynosiła 0,05% (w.b). Wagosuszarka wcześniej została skalibrowana za pomocą metody suszarkowej zgodnie z PL-EN SO 665 (2004).

#### **Ekstrakcja oleju**

Olej z nasion rzepaku ekstrahowano, stosując procedurę opisaną przez Folch'a (1957). Nasiona rozdrabniano i homogenizowano w mieszaninie chloroform: metanol 2:1 (v/v). Rozpuszczalnik przemywano wodą, wytrząsano przez kilka sekund, po czym wirowano (2000 obrotów na minutę) w celu rozdzielenia dwóch faz. Warstwę chloroformową zbierano i odparowywano pod zmniejszonym ciśnieniem z użyciem wyparki Buchi R 215 (Buchi Labortechnik AG, Flawil, Szwajcaria).

#### **Oznaczenie steroli roślinnych**

Zawartość steroli oznaczano według metodyki AOCS Official Method Ch 6-91 (1997). Do oznaczeń pobierano 50 mg tłuszczu, który poddawano reakcji saponifikacji 1M KOH w metanolu przez 18 godzin w temperaturze pokojowej. Frakcję sterolową ekstrahowano trzykrotnie mieszaniną rozpuszczalników heksan: MTBE (eter metylo-tert-butylowy) 1:1 (v/v). Po odparowaniu rozpuszczalnika w strumieniu azotu, pozostałość rozpuszczano w bezwodnej pirydynie i siliowano odczynnikiem Sylon BTZ. Uzyskane pochodne siliłowe analizowano metodą chromatografii gazowej na aparacie firmy Agilent Technologies 6890 wyposażonym w kolumnę kapilarną DB-35MS (25 m x 0,20 mm x 0,33 m) oraz detektor płomieniowo-jonizacyjny FID. Nastrzyk w ilości 1  $\mu\text{l}$  wykonywano w systemie bez podziału strumienia (splitless), przy wykorzystaniu automatycznego podajnika prób. Rozdział steroli prowadzono w programowanej temperaturze pieca: od  $100^{\circ}\text{C}$  utrzymywanych przez 5 min, następnie podwyższano temperaturę do  $250^{\circ}\text{C}$  z prędkością  $25^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , i do  $290^{\circ}\text{C}$  z prędkością  $3^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ . Temperaturę końcową utrzymywano przez 20 min. Detektor i komora nastrzykowa pracowały w temperaturze  $300^{\circ}\text{C}$ . Jako gaz nośny zastosowano wodór przy przepływie 1,5  $\text{ml}\cdot\text{min}$ . Standard wewnętrzny stanowił  $5\alpha$ -cholestan, a identyfikację steroli wykonano na podstawie porównania czasów retencji ze standardami.

### Oznaczanie liczby kwasowej

Liczbę kwasową w wyekstrahowanym z nasion oleju oznaczano zgodnie z normą PN-ISO 660 „Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce – oznaczanie liczby kwasowej i kwasowości”. Wartość liczby kwasowej wyrażono jako ilość KOH (w miligramach) wobec fenoloftaleiny, konieczną do zobojętnienia wolnych kwasów tłuszczowych zawartych w 1 g oleju.

### Analiza statystyczna

Uzyskane wyniki stanowiły wartości średnie z trzech równoległe przeprowadzanych oznaczeń. Badano istotność różnic między średnimi, korzystając z jednoczynnikowej analizy wariancji. W przypadku istotnych różnic w analizie post-hoc zastosowano test Tukeya. Obliczenia przeprowadzono, wykorzystując program komputerowy STATISTICA 10.0.

## WYNIKI I DYSKUSJA

We wszystkich wyodrębnionych podczas prowadzenia doświadczeń próbach oznaczono zawartość pięciu głównych steroli roślinnych: brassikasterol, kampesterol, stigmasterol, sitosterol i awenasterol. W wyekstrahowanym z nasion tłuszczu nie identyfikowano 4-monometylosteroli i 4,4'-dimetylosteroli, gdyż ich udział procentowy w całkowitej zawartości oznaczonych fitosteroli był bardzo niski.

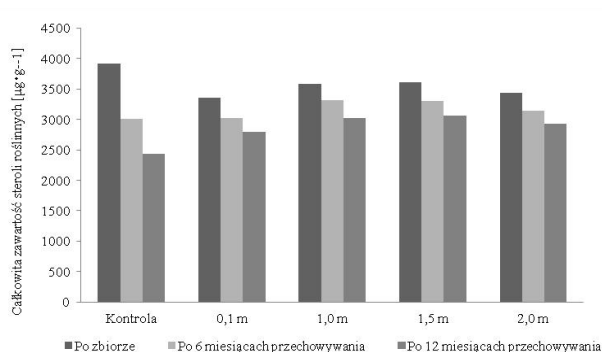
Zmiany całkowitej zawartości steroli podczas suszenia i przechowywania nasion rzepaku przedstawiono na rysunku 1, natomiast poszczególnych steroli w tabeli 1. W nasionach zebranych z pola sumaryczna zawartość steroli wynosiła  $3915 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  s.m. Całkowita zawartość steroli w nasionach rzepaku charakteryzuje się dużą zmiennością w zależności od odmiany i może wynosić od 4700 do  $6300 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  nasion (Rudzińska i in., 2003). Na różnice w zawartości tych związków, poza cechami odmianowymi, mają też wpływ wilgotność nasion, warunki zbioru i przechowywania (Vlahakis i in. 2000). Wśród oznaczonych steroli dominującym był  $\beta$ -sitosterol, który stanowił 52% całkowitej zawartości steroli ( $2047 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  s.m.). Zawartość kampesterolu w tłuszczu wyekstrahowanym z nasion wynosiła  $1302 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  s.m., co stanowiło 33% frakcji sterolowej. Brassikasterol, charakterystyczny sterol dla roślin krzyżowych, stanowił w wyekstrahowanym z nasion oleju 11% ( $423 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  s.m). Pozostałe sterole występowały w znacznie mniejszych ilościach. Zawartość awenasterolu wynosiła  $94 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  s.m., co stanowiło 2% frakcji sterolowej, natomiast stigmasterolu  $49 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  s.m. nie przekroczyła 2% całkowitej ich zawartości. Według Hamama i in. (2003) w rzepaku głównie występuje sitosterol (45-60%) i kampesterol (25-39%) oraz brassikasterol (5-13%), awenasterol (3-7%) i stigmasterol (< 1%). Podobne dane dotyczące udziału procentowego poszczególnych

**Tabela 1.** Zmiany zawartości steroli roślinnych w analizowanych próbach rzepaku *Californium*  
**Table 1.** Changes of phytosterols content in analysed samples of rapeseed cv. *Californium*

Czas Time	Kontrola Control	Suszenie niskotemperaturowe Near-ambient drying			
		0,1 m	1 m	1,5 m	2 m
		( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )
Brassikasterol					
Po zbiorze <sup>1</sup>	423±42 <sup>b</sup>	296±34 <sup>a</sup>	308±37 <sup>a</sup>	346±39 <sup>a</sup>	312±23 <sup>a</sup>
Po 6 miesiącach przechowywania <sup>2</sup>	296±41 <sup>a</sup>	266±28 <sup>a</sup>	292±32 <sup>a</sup>	318±19 <sup>a</sup>	302±35 <sup>a</sup>
Po 12 miesiącach przechowywania <sup>3</sup>	222±38 <sup>a</sup>	250±25 <sup>a</sup>	266±21 <sup>a</sup>	283±26 <sup>a</sup>	282±29 <sup>a</sup>
Kampesterol					
Po zbiorze	1302±81 <sup>a</sup>	1158±52 <sup>a</sup>	1262±68 <sup>a</sup>	1236±82 <sup>a</sup>	1197±64 <sup>a</sup>
Po 6 miesiącach przechowywania	1002±93 <sup>a</sup>	1103±84 <sup>a</sup>	1192±77 <sup>a</sup>	1142±62 <sup>a</sup>	1092±86 <sup>a</sup>
Po 12 miesiącach przechowywania	769±68 <sup>b</sup>	1009±57 <sup>a</sup>	1101±68 <sup>a</sup>	1064±74 <sup>a</sup>	1041±72 <sup>a</sup>
Stigmasterol					
Po zbiorze	49±4 <sup>b</sup>	30±2 <sup>a</sup>	35±3 <sup>a</sup>	34±2 <sup>a</sup>	31±1 <sup>a</sup>
Po 6 miesiącach przechowywania	nd	nd	nd	nd	nd
Po 12 miesiącach przechowywania	nd	nd	nd	nd	nd
$\beta$ -Sitosterol					
Po zbiorze	2047±86 <sup>a</sup>	1821±48 <sup>a</sup>	1921±96 <sup>a</sup>	1944±108 <sup>a</sup>	1842±82 <sup>a</sup>
Po 6 miesiącach przechowywania	1647±66 <sup>a</sup>	1602±82 <sup>a</sup>	1779±56 <sup>a</sup>	1794±90 <sup>a</sup>	1697±101 <sup>a</sup>
Po 12 miesiącach przechowywania	1399±71 <sup>a</sup>	1493±84 <sup>ab</sup>	1618±68 <sup>b</sup>	1668±84 <sup>b</sup>	1561±63 <sup>ab</sup>
Awenasterol					
Po zbiorze	94±5 <sup>b</sup>	56±3 <sup>a</sup>	58±4 <sup>a</sup>	54±2 <sup>a</sup>	54±3 <sup>a</sup>
Po 6 miesiącach przechowywania	66±2 <sup>b</sup>	52±2 <sup>a</sup>	48±3 <sup>a</sup>	48±3 <sup>a</sup>	46±2 <sup>a</sup>
Po 12 miesiącach przechowywania	43±2 <sup>a</sup>	44±3 <sup>a</sup>	42±2 <sup>a</sup>	40±2 <sup>a</sup>	41±2 <sup>a</sup>

Tymi samymi literami w wierszach oznaczono wartości nie różniące się istotnie na poziomie  $\alpha = 0,05$  / Values in lines, denoted with the same letters, do not differ significantly at  $\alpha = 0.05$ ; 1 – after harvest, 2 – after 6 months of storage, 3 – after 12 months of storage

steroli wykazali Gawrysiak-Witulska i in. (2012). Po zakończeniu suszenia rzepaku metodą niskotemperaturową całkowita zawartość steroli w pobranych do analizy próbach zmalała w porównaniu do prób kontrolnych o 8-14% i wynosiła od 3361 do 3436  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  s.m. w zależności od umiejscowienia suszonej warstwy. Największe straty fitosteroli podczas suszenia w silosie odnotowano w nasionach suszonych na poziomie 0,1 i 2 m (12-14%). W warstwach nasion suszonych na poziomie 1 i 1,5 m straty sumy steroli były niższe i nie przekraczały 8%. Wcześniejsze badania prowadzone przez Gawrysiak-Witulska i in. (2012) wykazały, że suszenie nasion metodą niskotemperaturową może powodować spadek zawartości sumy steroli o 6-20%, natomiast suszenie ogrzanym powietrzem w zakresie temperatur 60-120°C o 14-40%. W badaniach tych proces suszenia niskotemperaturowego prowadzono dla wyższej wilgotności początkowej nasion, co wydłużyło proces suszenia i spowodowało prawdopodobnie większe straty tych związków.

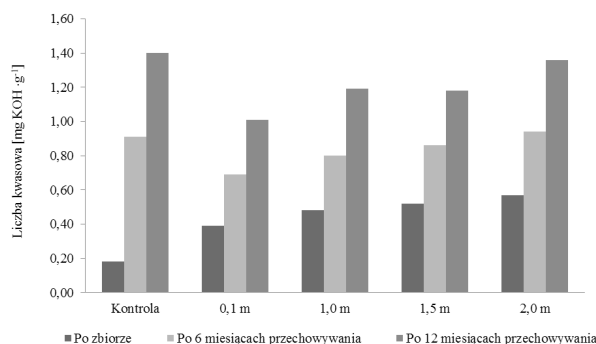


**Rys. 1.** Zmiany całkowitej zawartości steroli roślinnych w analizowanych próbach rzepaku *Californium*  
**Fig. 1.** Changes of total phytoosterols content in analysed samples of rapeseed cv. *Californium*

Podczas suszenia największej degradacji ulegały stigmasterol i awenasterol. Ich straty podczas suszenia w warstwach na poziomie 0,1 i 2 m wynosiły 37-39% (stigmasterol) oraz 40-43% (awenasterol). Straty brassikasterolu podczas suszenia niskotemperaturowego były wyższe niż sitosterolu i kampesterolu. W warstwach na poziomie 0,1 i 2 m wynosiły 26-30%, natomiast w warstwach na poziomie 1 i 1,5 m 18-27%. Zarówno stigmasterol, jak i awenasterol i brassikasterol posiadają w swojej cząsteczce dwa wiązania podwójne. Mogą one mieć istotny wpływ na szybszą degradację tych związków podczas suszenia nasion rzepaku. Degradacja kampesterolu i sitosterolu była mniejsza. Zawartość kampesterolu podczas suszenia nasion w silosie na poziomie 0,1 i 2 m obniżyła się o 8-11%, natomiast w pozostałych warstwach o 3-5%. Straty sitosterolu w warstwach na poziomie 0,1 i 2 m w suszonych nasionach wynosiły 10-11%, w pozostałych warstwach nie przekroczyły 6%. Zawartość fitosteroli w nasionach rzepaku, suszonych metodą niskotemperaturową, podczas rocznego przechowywania uległa obniżeniu. Po 6 miesiącach straty sumy steroli wynosiły 8-12%, natomiast po 12 miesiącach wzrosły do 15-17%. W nasionach nie poddanych suszeniu straty te po 6 miesiącach wynosiły 20% a po 12 – 38%. Największej degradacji ulegał stigmasterol i awenasterol. Identyfikacja stigmasterolu była niemożliwa już po 6 miesiącach przechowywania. Podobne zależności wykazali we wcześniejszych badaniach Gawrysiak-Witulska i in. (2012).

We wszystkich pobranych do analiz próbach oznaczono zawartość wolnych kwasów tłuszczowych. Zmiany zawartości wolnych kwasów tłuszczowych przedstawiono na rys. 2. W oleju wyekstrahowanym z nasion bezpośrednio po zbiorze liczba kwasowa wynosiła 0,18 mg KOH·g<sup>-1</sup>. Zgodnie z PN-90 R-66151 liczba kwasowa w nasionach rzepaku przeznaczonych na cele spożywcze powinna być mniejsza od 3 mg KOH·g<sup>-1</sup>. Wskazuje to, że nasiona użyte w doświadczeniu były dobrej jakości. Podczas suszenia nastąpił wzrost liczby kwasowej do poziomu 0,39-0,57 mg KOH·g<sup>-1</sup>, przy czym wzrost był tym większy, im wyżej podczas suszenia

była położona warstwa rzepaku. Dalsze przechowywanie nasion spowodowało dalszy przyrost wolnych kwasów tłuszczowych, jednak po roku wartość ta nie przekroczyła poziomu  $1,4 \text{ mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$ , a co za tym idzie dopuszczalnego normą poziomu. Jest to bardzo istotne, gdyż w celu zapewnienia ciągłości produkcji zakładów tłuszczowych, nasiona muszą być przez taki właśnie czas przechowywane.



**Rys. 2.** Zmiany liczby kwasowej w oleju ekstrahowanym z nasion rzepaku suszonych metodą niskotemperaturową

**Fig. 2.** Changes of the acid value of oil extracted from rapeseed dried with near-ambient method

Suszenie niskotemperaturowe trwa od kilku do kilkunastu dni. Podczas doświadczenia obserwuje się charakterystyczny dla suszenia niskotemperaturowego, przesuwający się od dołu ku górze front suszenia. Dzieje się tak, ponieważ powietrze przepływając przez dolne warstwy rzepaku, pobiera wilgoć od nasion i po dotarciu do górnej warstwy nie posiada już potencjału suszącego. Dopiero po wysuszeniu warstw dolnych przepływające powietrze zaczyna odbierać wilgoć od nasion znajdujących się w górnych warstwach. Obniżaniu wilgotności nasion w poszczególnych warstwach towarzyszy wzrost temperatury (Gawrysiak-Witulska i in., 2009). Taka sytuacja powoduje, że podczas trwania procesu suszenia nasiona osiągają pożądaną wilgotność 7% po różnym czasie. Prawdopodobnie różnicę to wielkość strat fitosteroli w poszczególnych warstwach.

## WNIOSKI

Koszty suszenia stanowią znaczący udział w ogólnych nakładach ponoszonych na produkcję rzepaku, dlatego coraz bardziej propagowaną metodą suszenia jest suszenie niskotemperaturowe w grubej, nieruchomej warstwie. Do prowadzenia suszenia niskotemperaturowego mogą być wykorzystywane silosy typu BIN, po wyposażeniu je w odpowiedni sterownik. Rzepak zawiera wiele cennych z punktu widzenia żywieniowego związków – fitosteroli. W celu uzyskania z nasion rzepaku oleju o wysokiej jakości należy minimalizować straty tych związków podczas



kolejnych etapów obróbki pozbiorowej. Przeprowadzone badania wykazały, że podczas suszenia nasion rzepaku metodą niskotemperaturową w silosie BIN straty fitosteroli mogą być mniejsze lub zbliżone do strat tych związków podczas suszenia nasion rzepaku ogrzany powietrzem. Pozwala to rekomendować metodę niskotemperaturową jako korzystną w procesie obróbki pozbiorowej nasion rzepaku.

#### PIŚMIENNICTWO

- AOCS Official Method Ch 6-91, 1997 Determination of the composition of the sterol fraction of animal and vegetable oils and fats by TLC and capillary GLC.
- Booth E.J., Gunstone F.D., 2004. Rapeseeds and rapeseed oil: agronomy, production, and trade. In: Rapeseed and canola oil. Production, processing, properties and uses (Ed. F.D. Gunstone). Blackwell Publishing, Oxford UK, 1-16.
- Carr T.P., Krogstrand K.L.S., Schlegel V.L., Fernandez M.L., 2009. Stearate-enriched plant sterol esters lower serum LDL cholesterol concentration in normo- and hypercholesterolemic adults. *J. Nutr.*, 139, 1445-1450.
- Folch J., Lees M., Stanley G.H.S., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. *J. Biol. Chem.*, 726, 497-509.
- Gawrysiak-Witulska M., Rudzińska M., 2012. Degradation of phytosterols during near-ambient drying of rapeseeds in a thick immobile layer. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 89, 1681-1689.
- Gawrysiak-Witulska M., Siger A., Nogala-Kalucka M., 2009. Degradation of tocopherols during near-ambient rapeseed drying. *J. Food Lipids*, 16, 524-539.
- Hamama A.A., Bhardwaj H.L., Starner D.E., 2003. Genotype and growing location effects on phytosterols in canola oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 80, 1121-1126.
- Möllers C., 2004. Potential and future prospects for rapeseed oil. In: Rapeseed and canola oil. Production, processing, properties and uses (Ed. F.D. Gunstone). Blackwell Publishing, Oxford UK, 186-212.
- Niewiadomski H., 1993. *Technologia tłuszczów jadalnych*. WNT, Warszawa.
- Pathak P.K., Agrawal Y.C., Singh B.P.N., 1991. Effect of elevated drying temperature on rapeseed oil quality. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 68, 580-582.
- PL-EN SO 665:2004. *Nasiona oleiste. Oznaczanie wilgotności i zawartości substancji lotnych*.
- PN-ISO 660:1998. *Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce – oznaczanie liczby kwasowej i kwasowości*.
- Pronyk C., Abramson D., Muir W.E., White N.D.G., 2006. Correlation of total ergosterol levels in stored canola with fungal deterioration. *J. Stored Prod. Res.*, 42, 162-172.
- Rudzińska M., Jeleń H., Nogala-Kalucka M., Gawrysiak-Witulska M., 2006. The influence of storage time and drying temperature on sterols content in seeds of rapeseed. *Rośliny Oleiste*, 27, 302-312.
- Rudzińska M., Muśnicki Cz., Wąsowicz E., 2003. Fitosterole i ich pochodne utlenione w nasionach rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste*, 24, 51-66.
- Ryniecki A., 2005. *Drying and Cooling Grain in Bulk – Handbook (Part 1)*. Mr Info, Poznań, Poland & KBN Handelsselskab v/Karlo B. Nielsen, Esbjerg, Denmark.
- Tys J., Rybacki R., 2001. Rzepak – jakość nasion. Procesy zbioru, suszenia, przechowywania. *Acta Agroph.*, 44, 33-38.
- Tys J., Sobczuk H., Rybacki R., 2002. Wpływ temperatury suszenia na właściwości mechaniczne nasion rzepaku. *Rośliny Oleiste*, 23, 417-426.
- Vlahakis C., Hazebroek J., 2000. Phytosterol accumulation in canola, sunflower, and soybean oils: Effects of genetics, planting location, and temperature. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 77, 49-53.

## THE DEGRADATION OF PHYTOSTEROLS DURING NEAR-AMBIENT DRYING OF RAPESEEDS IN BIN TYPE SILO

*Marzena Gawrysiak-Witulska, Magdalena Rudzińska*

Institute of Plant Origin Food Technology, Faculty of Food Science and Nutrition  
Poznan University of Life Sciences  
ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań, Poland  
e-mail: wima@up.poznan.pl

**Abstract.** The aim of this study was to determine phytosterol degradation during near-ambient drying of rapeseeds in a BIN silo. The contents were determined for such sterols as brassicasterol, campesterol, stigmasterol, sitosterol and avenasterol. Material for analyses comprised seeds of rape cultivar Californium. After harvest, rapeseeds were dried with the near-ambient method in a thick immobile layer of 2 m. Analyses of phytosterols contents were performed immediately after drying and after 6 and 12 months of storage at a temperature of  $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Qualitative and quantitative determinations of phytosterols were conducted using gas chromatography. Recorded results showed a significant effect of drying and storage time on contents of phytosterols. Near-ambient drying of seeds in the silo resulted in a reduction of total sterol contents by 8-14%. One-year storage of seeds dried with the near-ambient method reduced the level of sterols by 15-17%.

**Key words:** low-temperature drying, post-harvest maintenance, rape, phytosterols, acid value