

KAROL MIŃKOWSKI, ARTUR KALINOWSKI, ANNA KRUPSKA

WPLYW PŁATKOWANIA NASION I NISKOTEMPERATUROWEJ HYDROTERMICZNEJ OBRÓBKİ PŁATKÓW NA PARAMETRY PROCESU TŁOCZENIA I CECHY JAKOŚCIOWE OLEJU LNIANEGO

Streszczenie

Celem pracy było określenie wpływu płatkowania nasion i hydrotermicznej obróbki płatków na wybrane parametry procesu tłoczenia i cechy jakościowe oleju lnianego. Materiałem do badań były nasiona lnu wysokolinolenowej odmiany 'Bukoz' (IWNiRZ Poznań). Płatkowanie nasion wykonywano w dwuwalcowym młynie laboratoryjnym wyposażonym w walce gładkie, przy szczelinie 0,2 mm. Obróbkę hydrotermiczną płatków o wilgotności 20 % prowadzono przez 3 h w temperaturze 50 °C, w cieplarni laboratoryjnej. Płatki po obróbce podsuszano w suszarce owiewowej. Oleje tłoczono za pomocą prasy ślimakowej UNO-SE, Farnet (Czechy). Płatkowanie nasion przyczyniło się do wzrostu przelotowości prasy z 8,5 do 10,6 kg/h i wydajności tłoczenia z 72,0 do 73,5 %, obniżenia temperatury oleju z 48 do 43 °C i wytloku z 68 do 64 °C oraz do wzrostu zawartości zanieczyszczeń nierozpuszczalnych z 3,2 do 4,0 %. Obróbka hydrotermiczna płatków surowych wpłynęła na wzrost przelotowości prasy z 10,6 do 13,5 kg/h i wydajności tłoczenia z 73,5 do 74,8 %, jak również na wzrost temperatury oleju z 43 do 47 °C i wytloku z 64 do 68 °C. W wyniku tego procesu nastąpił wzrost liczby kwasowej oleju o 0,16 mg KOH/g oraz liczby nadtlenkowej o 0,65 meq O₂/kg. Płatkowanie nasion powoduje wzrost zawartości zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w oleju, a obróbka hydrotermiczna płatków sprzyja hydrolizie i utlenianiu pozyskiwanego oleju.

Słowa kluczowe: nasiona lnu, płatkowanie, obróbka hydrotermiczna, tłoczenie na zimno, prasa ślimakowa, olej lniany

Wprowadzenie

Olej lniany z nasion odmian wysokolinolenowych charakteryzuje się dużą zawartością polienowych kwasów tłuszczowych z rodziny *n-3*, o specyficznych cechach prozdrowotnych. Olej przeznaczony na cele spożywcze zwykle jest tłoczony na zimno

Dr hab. K. Mińkowski, prof. IBPRS, mgr inż. A. Kalinowski, mgr inż. A. Krupska, Zakład Technologii Mięsa i Tłuszczu, Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego, ul. Jubilerska 4, 04-190 Warszawa. Kontakt: Karol.Minkowski@ipmt.waw.pl

z całych nasion. Technologia ta jest mało efektywna i charakteryzuje się niską wydajnością. Zastosowanie podwójnego tłoczenia zwiększa uzysk oleju, ale jest on niższej jakości [9]. Zwiększenie przelotowości prasy i stopnia wydobycia oleju może być osiągnięte w wyniku rozdrabniania nasion przed tłoczeniem poprzez ich zgniatanie, ścinanie, rozłupywanie, rozcieranie bądź płatkowanie. Zniszczenie struktury tkankowej nasion i otwarcie większości komórek zdecydowanie ułatwia wydobycie oleju z surowca [14]. Rozdrobnienie nasion umożliwia jednak enzymom komórkowym, takim jak: lipazy, peroksydazy czy fosfolipazy dostęp do substratów, co sprzyja zachodzeniu niekorzystnych reakcji enzymatycznych. Operacja ta ułatwia także dostęp tlenu atmosferycznego i utlenianie oleju. Dlatego też rozdrobnione nasiona są zwykle bezpośrednio poddawane dalszemu przerobowi [14, 30]. W celu ułatwienia wydobycia oleju podczas tłoczenia rozdrobnione nasiona można poddać kondycjonowaniu, które polega na podgrzaniu surowca i ewentualnym doprowadzeniu miazgi nasiennej do optymalnej wilgotności. Zabieg ten wpływa pozytywnie na efekty technologiczne (łatwość i głębokość wydobycia tłuszczu), ale jednocześnie może powodować obniżanie jakości oleju i wyciągu [7]. Procesem zwiększającym wydajność tłoczenia jest hydroliza enzymatyczna miazgi nasiennej, której celem jest degradacja ścian komórkowych i ułatwienie wydobycia oleju [6]. Może ona być prowadzona przed klasycznymi technikami wydobywczymi, takimi jak tłoczenie mechaniczne i ekstrakcja rozpuszczalnikami organicznymi [1], chociaż najczęściej poprzedza ekstrakcję wodną [24]. Prawidłowo przeprowadzony proces, zastosowany przed tłoczeniem mechanicznym, wymaga nawilżenia rozdrobnionych nasion, ich kondycjonowania w podwyższonej temperaturze oraz podsuszenia przed tłoczeniem [27, 28]. Interesujące jest, jak sposób przygotowania nasion i warunki wilgotnościowo-termiczne planowanego procesu hydrolizy enzymatycznej same, tj. bez dodatku enzymów, wpływają na proces tłoczenia mechanicznego w prasie ślimakowej. Według założeń pracy, cały proces technologiczny powinien być prowadzony w temperaturze nieprzekraczającej 50 °C, aby pozyskiwany olej mógł być określany jako tłoczony na zimno, natomiast wilgotność płatków, temperatura i czas ich hydrotermicznej obróbki tak dobrane, aby umożliwiały efektywne zastosowanie enzymów celulolitycznych i proteolitycznych w dalszych badaniach.

Celem pracy było określenie wpływu płatkowania nasion i niskotemperaturowej hydrotermicznej obróbki płatków na parametry procesu tłoczenia i cechy jakościowe oleju lnianego.

Material i metody badań

Materiałem wyjściowym do badań były nasiona lnu polskiej odmiany 'Bukoz' (IWNiRZ Poznań) pochodzące z upraw ekologicznych, ze zbiorów roku 2012. W nasionach oznaczano wilgotność metodą suszarkową [19] i zawartość tłuszczu – metodą Soxhleta [15]. Nasiona charakteryzowały się typową wilgotnością – 6,0 % oraz zawar-

tością tłuszczu – 41,9 %, i były niemal pozbawione zanieczyszczeń. Do badań stosowano całe nasiona, płatki surowe i płatki po obróbce hydrotermicznej. Płatkowanie prowadzono w młynie laboratoryjnym typu Gosmet wg Sadkiewicza (RSZZBM „Gosmet” Bydgoszcz) o wymiennych walcach, wyposażonym zgodnie z zamówieniem w parę gładkich walców z ustawioną fabrycznie stałą szczeliną pomiędzy nimi o wielkości 0,2 mm, poruszających się z prędkością obrotową 450 r/min. Nasiona wyjściowe przed badaniami podlegały wstępnemu nawilżeniu za pomocą wody destylowanej do wilgotności 8,5 % [13], starannemu ręcznemu wymieszaniu i przetrzymaniu w szczelnie zamkniętych torbach polietylenowych w temp. 8 °C (chłodziarka) przez 5 dni, w celu wyrównania wilgotności w całej masie. Obróbka hydrotermiczna płatków surowych polegała na ich nawilżeniu, kondycjonowaniu w podwyższonej temperaturze i podsuszeniu przed tłoczeniem. Próbkę płatków o wilgotności 20 % uzyskano w wyniku ich nawilżenia za pomocą wody destylowanej, starannego ręcznego wymieszania i przechowania w szczelnie zamkniętych torbach polietylenowych przez 2 dni w temp. 8 °C (chłodziarka), w celu wyrównania wilgotności w całej masie materiału. Kondycjonowanie nawilżonych płatków prowadzono w temp. $50 \pm 0,5$ °C, w ciągu 3 h, w cieplarni laboratoryjnej Incubat 801 firmy J P Selecta SA., Barcelona, Hiszpania. Płatki po kondycjonowaniu podsuszano w 4-półkowej suszarce owiewowej firmy Rommelsbacher typ DA 750, Dinkelsbühl, Niemcy. Temperatura powietrza suszącego wynosiła 60 °C, temperatura wewnętrzna złoża płatków na półce, mierzona za pomocą bezkontaktowego termometru laserowego Ray Temp 3. firmy ETI Ltd., Worthing, Wielka Brytania, wynosiła 44,5 °C, a przybliżony czas podsuszania do wilgotności 8,5 %, to około 50 min. Koniec podsuszania określano metodą wagową (punkt końcowy stanowiła masa płatków sprzed ich nawilżania). Ustalając powyższe parametry brano pod uwagę z jednej strony dobrą efektywność tłoczenia oleju, z drugiej – możliwie najkrótszy czas podsuszania. Podsuszone i częściowo schłodzone płatki poddawano następnie tłoczeniu.

Oleje tłoczono w prasie ślimakowej o nominalnej przelotowości 9 - 12 kg/h, typ UNO-SE firmy Farnet a.s, Česká Skalice, Czechy. Prasa była wyposażona w dyszę wylotową o średnicy 8 mm. Temperaturę płatków, oleju oraz wyciągu mierzono za pomocą bezkontaktowego termometru laserowego Ray Temp 3. firmy ETI Ltd., Worthing, Wielka Brytania. Oleje oczyszczano przez naturalną sedimentację w ciągu 3 dni i ich dekantację, a następnie analizowano w ciągu 4 dni. Zawartość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych oznaczano w olejach otrzymanych bezpośrednio po tłoczeniu. Doświadczenia przeprowadzono w dwóch seriach, a oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach ($n = 2 \times 3$). We wszystkich wariantach doświadczeń określano przelotowość prasy, a także wydajność tłoczenia. Przelotowość prasy określano na podstawie pomiaru czasu tłoczenia 1 kg porcji surowca. Wydajność tłoczenia (W) obliczano (1)

z masy uzyskanego oleju, masy próbki nasion/płatków i procentowej zawartości oleju w nasionach.

$$W [\%] = \frac{\text{masa oleju(g)} \times 100 \times 100}{\text{zawartość oleju (\%)} \times \text{masa nasion(g)}} \quad (1)$$

Otrzymane oleje poddano analizie sensorycznej [11] oraz oznaczano: barwę ogółem – metodą spektrofotometryczną przy długościach fali $\lambda = 442$ nm i 668 nm [22], zawartość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w heksanie [18], zawartość wody i substancji lotnych [17], liczbę kwasową [16], liczbę nadtlenkową [20], liczbę anizydynową [21], zawartość związków fenolowych ogółem [12]. Wskaźnik oksydacji Totox wyliczano (2) z równania:

$$\text{Totox} = 2\text{LOO} + \text{LA} \quad (2)$$

gdzie:

LOO – liczba nadtlenkowa wyrażona w milirównoważnikach tlenu aktywnego/kg,

LA – liczba anizydynowa.

Oznaczenie zawartości związków fenolowych ogółem w olejach wykonywano metodą Folina-Ciocalteu'a [12]. Olej (3 g) rozpuszczano w 15 ml heksanu i ekstrahowano związki fenolowe za pomocą metanolu (3×5 ml) przez wytrząsanie po 2 min przy każdej ekstrakcji. Połączone ekstrakty zostawiano na 16 h. Po rozdziale frakcję metanolową przemywano 25 ml heksanu w celu usunięcia resztek oleju. Próbki metanolowych ekstraktów (0,2 ml) przenoszono do kolbek o pojemności 10 ml, do których dodawano 0,5 ml odczynnika Folina-Ciocalteu'a. Całość wytrząsano i zostawiano na 3 min. Następnie dodawano 1 ml nasyconego roztworu węgla sodu i uzupełniano wodą destylowaną do 10 ml. Po 1 h mierzono absorbancję roztworu przy długości fali $\lambda = 725$ nm w odniesieniu do próby kontrolnej, z zastosowaniem spektrofotometru U-2900 Hitachi High-Tech, Tokio, Japonia. Całkowitą zawartość związków fenolowych określano z krzywej kalibracyjnej, jako ekwiwalent kwasu ferulowego (FAE), dominującego wśród kwasów fenolowych nasion lnu [5].

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej za pomocą programu Statgraphic Plus 5.1. Do porównania wartości średnich zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA, test Duncana przy $p \leq 0,05$).

Wyniki i dyskusja

W tab. 1. zestawiono dane dotyczące parametrów procesu tłoczenia całych nasion, surowych płatków oraz płatków poddanych obróbce hydrotermicznej. W poszczególnych wariantach doświadczeń różniły się one między sobą.

Tabela 1. Wpływ płatkowania nasion i obróbki hydrotermicznej płatków na parametry procesu tłoczenia
 Table 1. Effect of seed flaking and hydrothermal treatment of flakes on parameters of pressing process

Parametry Parameters	Rodzaj próby / Type of sample		
	Nasiona Seeds	Płatki / Flakes	
		Surowe Raw	Po obróbce Treated
	$\bar{x} \pm s / SD$	$\bar{x} \pm s / SD$	$\bar{x} \pm s / SD$
Przelotowość prasy Capacity of press [kg/h]	8,5 ^a ± 0,1	10,6 ^b ± 0,1	13,5 ^c ± 0,1
Wydajność tłoczenia Yield of pressing [%]	72,0 ^a ± 1,1	73,5 ^{ab} ± 1,0	74,8 ^b ± 1,1
Temperatura nasion / płatków Temperature of seeds / flakes [°C]	23 ^a ± 1	24 ^a ± 1	32 ^b ± 1
Temperatura oleju Temperature of oil [°C]	48 ^a ± 1	43 ^b ± 1	47 ^a ± 1
Temperatura wylłoku Temperature of cake [°C]	68 ^a ± 1	64 ^b ± 1	68 ^a ± 1

Objaśnienia / Explanatory notes:

\bar{x} – wartość średnia / mean value; s / SD – odchylenie standardowe / standard deviation; n = 6;
 wartości średnie oznaczone różnymi literami w wierszach różnią się statystycznie istotnie ($p \leq 0,05$) /
 mean values in rows and denoted by different letters differ statistically significant ($p \leq 0.05$).

Przelotowość prasy była istotnie zależna ($p \leq 0,05$) od formy przerabianego surowca. Najmniejszą przelotowość stwierdzono podczas tłoczenia całych nasion Inu. Podczas tłoczenia oleju z surowych płatków była ona większa o 24,7 %, a z płatków poddanych obróbce hydrotermicznej – o dalsze 27,3 %. W pierwszym przypadku było to możliwe dzięki znacznemu ograniczeniu oporów tarcia związanych z rozdrabnianiem całych nasion w samej prasie ślimakowej. W drugim, w którym temperatura płatków po obróbce hydrotermicznej była wyższa o 8 °C od temperatury płatków surowych, było to prawdopodobnie skutkiem zmian cech fizycznych płatków oraz oleju. Na skutek podgrzewania następuje zmniejszenie lepkości oleju i jego napięcia powierzchniowego, co ułatwia następnie mechaniczne wytłoczenie oleju [14]. Oba te zabiegi przyczyniły się przede wszystkim do zwiększenia przelotowości prasy, natomiast w niewielkim stopniu wpłynęły na wydajność tłoczenia, która w przypadku płatków surowych i kondycjonowanych wzrosła odpowiednio o 1,5 i 2,8 % wobec wydajności tłoczenia całych nasion. Jak podają Head i wsp. [8], przy tłoczeniu oleju w prasach ślimakowych, w warunkach przemysłowych, możliwe jest uzyskanie wydajności tłoczenia wynoszącej około 90 %, natomiast w niedużych urządzeniach i w małej skali wynosi ona zazwyczaj 60 ÷ 65 %, rzadko przekracza 80 % i jest istotnie związana z wyjściową zawartością oleju w przerabianym surowcu. Zheng i wsp. [33] tłocząc olej z nasion Inu w prasie typu Komet, w zależności od wilgotności surowca,

uzyskali wydajność tłoczenia od 70,1 do 85,7 %. Można zatem uznać, że tłoczenie nasion lnu za pomocą prasy typu Farmet było skuteczne, a uzyskana wydajność tłoczenia duża. Temperatura oleju była istotnie ($p \leq 0,05$) zależna od formy tłoczonego surowca. Była ona najwyższa, kiedy olej tłoczono z całych nasion (48 °C). Płatkowanie, oprócz zwiększenia przelotowości prasy oraz wydajności tłoczenia mogło przyczynić się do zmniejszenia oporów tarcia w prasie, czego efektem było obniżenie temperatury oleju o 5 °C. Z kolei olej otrzymany z płatków poddanych obróbce hydrotermicznej miał temperaturę istotnie wyższą od oleju z płatków surowych, zbliżoną do temperatury oleju z całych nasion. Wiązało się to z podwyższoną temperaturą płatków po obróbce hydrotermicznej, które w trakcie poduszania do wilgotności 8,5 % ulegały tylko częściowemu schłodzeniu przed podaniem na prasę. Warunkiem, żeby olej zakwalifikować do tłoczonych na zimno jest jego temperatura, która nie powinna przekraczać 50 °C [23]. Warunek ten został spełniony w każdym z badanych wariantów. Temperatura wyciągu otrzymanego z całych nasion oraz z płatków poddanych obróbce hydrotermicznej wynosiła 68 °C. Natomiast istotnie niższa, o 4 °C, była temperatura wyciągu otrzymanego z płatków surowych. A zatem forma, w jakiej występuje surowiec (nasiona, płatki), a także jego obróbka hydrotermiczna przed tłoczeniem, mają istotny wpływ na parametry procesu tłoczenia oleju lnianego w prasie ślimakowej.

W tab. 2. przedstawiono wyniki badań wybranych cech jakościowych olejów pozyskanych w poszczególnych wariantach doświadczeń. Oleje charakteryzowały się dobrą smakowitością ogółem, a ich oceny punktowe były zbliżone. Olej pochodzący z całych nasion, a także olej pozyskany z płatków surowych, cechowała łagodna nuta smaku orzechowego, bez cech gorzkości i posmaku utlenionego. Największe zmiany sensoryczne stwierdzono w przypadku oleju pochodzącego z płatków poddanych obróbce hydrotermicznej. Dominowała w nim nuta smakowa „skórki od chleba”, natomiast zanikowi uległa nuta smaku orzechowego. Oleje tłoczone na zimno zawierają szereg związków nietriacyloglicerolowych, przechodzących do nich w trakcie tłoczenia z nasion i wpływających na ich cechy sensoryczne. Mogą to być niewielkie ilości białek i peptydów odpowiedzialnych za występowanie gorzkiego smaku oleju lnianego [2]. Obróbka hydrotermiczna mogła spowodować ich częściową denaturację oraz sprzyjać reakcjom Maillarda zachodzącym także w niskich temperaturach, których skutkiem była nuta smakowa „skórki od chleba”. Reakcje Maillarda inicjowane są przez bezpośrednią reakcję grupy karbonylowej bądź hemiacetalowej cukrów redukujących z grupą aminową aminokwasów, peptydów lub innych związków, a ich skutkiem jest między innymi powstawanie lotnych związków o małych cząsteczkach, nadających produktom charakterystyczny aromat [29]. Substraty tych reakcji występują w masie beztłuszczowej nasion lnu [5]. Płatkowanie nasion spowodowało nieistotne ($p \leq 0,05$) rozjaśnienie barwy oleju, pomimo obniżenia o $1/3$ absorbancji przy $\lambda =$

Tabela 2. Wpływ płatkowania nasion i obróbki hydrotermicznej płatków na cechy jakościowe oleju
Table 2. Effect of seed flaking and hydrothermal treatment of flakes on quality characteristics of oil

Wyszczególnienie Specification	Rodzaj próby / Type of sample		
	Nasiona / Seeds	Płatki / Flakes	
		Surowe / Raw	Po obróbce / Treated
	$\bar{x} \pm s / SD$	$\bar{x} \pm s / SD$	$\bar{x} \pm s / SD$
Smakowitość ogółem [pkt] General palatability [score] Nuta smakowa / Flavour note	4,5 lekko orzechowa bez cech gorzkości light nutty without bitterness	4,4 lekko orzechowa bez cech gorzkości light nutty without bitterness	4,6 nuta „skórki od chleba” / „crust of bread” note
Barwa ogólna / General colour [1000 × (A ₄₄₂ + A ₆₆₈) A ₄₄₂ A ₆₆₈	598 ^a 0,549 ^a 0,049 ^a	586 ^a 0,554 ^a 0,032 ^b	549 ^b 0,529 ^b 0,020 ^c
Zawartość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych Content of insoluble impurities [%]	3,2 ^a ± 0,1	4,0 ^b ± 0,1	4,2 ^c ± 0,1
Zawartość wody i substancji lotnych Content of water and volatile substances [%]	0,39 ^a ± 0,02	0,37 ^{ab} ± 0,02	0,41 ^b ± 0,02
Liczba kwasowa Acid value [mg KOH/g]	1,92 ^a ± 0,04	1,95 ^{ab} ± 0,05	2,11 ^b ± 0,05
Liczba nadtlenkowa Peroxide value [meq O ₂ /kg]	0,80 ^a ± 0,07	0,83 ^a ± 0,08	1,48 ^b ± 0,06
Liczba anizydynowa Anisidine value [-]	0,32 ^a ± 0,04	0,34 ^a ± 0,03	0,35 ^b ± 0,05
Wskaźnik Totox Totox index [-]	1,92 ^a ± 0,09	2,00 ^{ab} ± 0,09	3,83 ^b ± 0,08
Zawartość związków fenolowych ogółem Total content of phenolic compounds [mg/kg]	14,0 ^a ± 0,7	14,1 ^a ± 0,7	14,8 ^b ± 0,7

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Tab. 1.

668 nm, związanego z ubytkiem barwników chlorofilowych. Obróbka hydrotermiczna płatków spowodowała istotne ($p \leq 0,05$) rozjaśnienie barwy oleju, związane z obniżeniem absorbancji przy długościach fal $\lambda = 442$ nm oraz 668 nm. Wskazuje to

w pierwszym przypadku na ubytek barwników karotenoidowych, w drugim barwników chlorofilowych. Ubytek barwników karotenoidowych był prawdopodobnie spowodowany ich utlenianiem, a chlorofilowych być może aktywnością enzymu chlorofilazy, hydrolizującego barwniki chlorofilowe [10]. W badaniach Wroniak i wsp. [32] obróbka termiczna nasion rzepaku powodowała wzrost intensywności barwy oleju. Wynikało to z obróbki całych nasion (a nie płatków), a stosowana temperatura była dwukrotnie wyższa. Barwniki karotenoidowe są uznawane za związki najbardziej skuteczne w hamowaniu utleniania fotosensybilizowanego i ich ubytek jest niekorzystny, natomiast barwniki chlorofilowe są w olejach niepożądane. Barwniki chlorofilowe pełnią rolę fotosensybilizatorów, które przez reakcję bezpośrednią z tlenem tripletowym generują wysoce reaktywny tlen singletowy, inicjując w ten sposób proces autooksydacji lipidów oraz, rzadziej, kiedy są w stanie wzbudzonym, biorą udział w utlenianiu lipidów tlenem tripletowym [25]. Płatkowanie nasion przyczyniło się do zwiększenia o 1/4 zawartości zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w oleju, natomiast obróbka hydrotermiczna płatków tylko w niewielkim stopniu zwiększyła ich zawartość (tab. 2). Zawartość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych jest ważnym parametrem jakościowym olejów tłoczonych na zimno. Zanieczyszczenia te to przede wszystkim drobne fragmenty nasion przechodzące wraz z olejem przez otwory cedzidła prasy. Stanowią one zbędny balast i podlegają usunięciu, zwykle na drodze sedymentacji i filtracji lub wirowania. Zwiększona zawartość zanieczyszczeń w oleju wymaga większej powierzchni filtracyjnej i podwyższa jego straty na etapie filtracji [14]. Stwierdzono niewielkie, ale statystycznie istotne ($p \leq 0,05$) różnice zawartości wody i substancji lotnych pomiędzy poszczególnymi olejami. Zawartość wody w olejach ma duży związek z wilgotnością surowca. Olej otrzymany z płatków surowych zawierał mniej wody niż olej z nasion, co prawdopodobnie wynikało z niewielkiego, naturalnego podeschnięcia płatków wskutek rozwiniętej powierzchni kontaktu z otoczeniem. Olej otrzymany z płatków poddanych hydrotermicznej obróbce zawierał więcej wody niż olej z nasion, co być może wynikało z wyższej wilgotności tych płatków. Duża zawartość wody w oleju jest niepożądana, gdyż jej obecność przyczynia się przede wszystkim do hydrolizy triacylogliceroli [14]. W badanych olejach nie przekraczała ona 0,5 % i była mniejsza od podanej przez Choo i wsp. [3]. Płatkowanie nasion nie miało praktycznie wpływu na liczbę kwasową (LK), liczbę nadtlenkową (LOO) i liczbę anizydynową (LA) oleju oraz wskaźnik Totox (tab. 2). Istotne zmiany tych parametrów powodowała obróbka hydrotermiczna płatków, to jest nawilżanie, kondycjonowanie w podwyższonej temperaturze i podsuszanie owiewowe. Operacje te w mniejszym stopniu sprzyjały procesom hydrolitycznym, natomiast w większym zmianom oksydacyjnym. Olej z nasion po obróbce charakteryzował się średnim stopniem hydrolizy lipidów, a jego liczba kwasowa wzrosła w sposób statystycznie istotny ($p \leq 0,05$) o blisko 10 % – z 1,95 do 2,11 mg KOH/g, przy dopuszczalnym dla olejów tłoczonych na zimno poziomie LK – 4 mg

KOH/g [4]. Zawartość pierwotnych produktów utlenienia określona za pomocą liczby nadtlenkowej wzrosła o 78 %, z 0,83 do 1,48 meq O₂/kg. Było to jednak zdecydowanie poniżej dopuszczalnego dla olejów tłoczonych na zimno poziomu LOO – 15 meq O₂/kg [4]. Zawartość wtórnych produktów utlenienia mierzona za pomocą liczby anizydynowej wzrosła z 0,34 jednostek w oleju tłoczonym z całych nasion do 0,35 jednostek w oleju z płatków po obróbce hydrotermicznej. Oznaczenie LOO i LA umożliwiło wyliczenie wskaźnika Totox, który w sposób umowny wyraża ogólny stopień utlenienia olejów. Jego wartości wahały się od 1,92 – w przypadku oleju z całych nasion, do 3,83 – w oleju z płatków poddanych obróbce hydrotermicznej, a zatem były znacznie poniżej granicznego poziomu 10, wyznaczającego dobrą jakość olejów jadalnych [31]. Podobne zmiany parametrów oleju w przypadku zastosowania obróbki termicznej nasion rzepaku zaobserwowano w badaniach innych autorów [7, 32]. Obróbka hydrotermiczna płatków przyczyniła się do istotnego wzrostu zawartości związków fenolowych ogółem w oleju z 14,1 do 14,7 mg/kg. Nasiona lnu zawierają szereg związków fenolowych, ale ich hydrofilowa natura sprawia, że tylko w niewielkim stopniu uwalniają się do oleju [5]. Przy porównywaniu wyników należy mieć na uwadze niespecyficzność powszechnie stosowanej metody oznaczania zawartości związków fenolowych ogółem z użyciem odczynnika Folina-Ciocolteu'a, gdyż może on reagować także z innymi składnikami wykazującymi właściwości redukujące, takimi jak: niektóre cukry, aminokwasy, białka czy produkty reakcji Maillarda [26]. Związki fenolowe pełnią funkcje naturalnych przeciwutleniaczy i wywierają korzystny wpływ na stabilność oksydacyjną i wartość żywieniową oleju [12].

Wnioski

1. Płatkowanie nasion lnu przed tłoczeniem przyczynia się do wzrostu przelotowości prasy ślimakowej i wydajności tłoczenia oraz do obniżenia temperatury oleju i wytloku.
2. Obróbka hydrotermiczna płatków w zastosowanych warunkach powoduje wzrost przelotowości prasy ślimakowej i wydajności tłoczenia, ale jej negatywnym skutkiem jest wzrost temperatury oleju i wytloku.
3. Płatkowanie nasion lnu powoduje istotny wzrost zawartości zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w oleju, natomiast obróbka hydrotermiczna płatków sprzyja procesom hydrolitycznym i oksydacyjnym.
4. Obróbka hydrotermiczna płatków przed tłoczeniem powoduje istotne zmiany cech sensorycznych oleju, co przejawia się z jednej strony zanikiem nuty smakowej orzechowej, a z drugiej wykształceniem się nuty smakowej „skórki od chleba”.
5. Podsuszanie w suszarce owiewowej nie jest efektywnym sposobem usuwania nadmiaru wody z płatków po obróbce hydrotermicznej. Należy rozważyć zastoso-

wanie innych wydajniejszych sposobów, na przykład wykorzystać suszenie w fazie fluidalnej.

Literatura

- [1] Bargale P.C., Sosulski K., Sosulski F.W.: Enzymatic hydrolysis of soybean for solvent and mechanical oil extraction. *J. Food Proc. Eng.*, 2000, **23**, 321-327.
- [2] Brühl L., Matthäus B., Fehling E., Wiege B., Lehmann B., Luftmann H., Bergander K., Quiroga K., Scheipers A., Frank O., Hofmann T.: Identification of bitter off-taste compounds in the stored cold pressed linseed oil. *J. Agric. Food Chem.*, 2007, **55**, 7864-7868.
- [3] Choo W.S., Birch J., Dufour J.P.: Physicochemical and quality characteristics of cold-pressed flaxseed oils. *J. Food Comp. Anal.*, 2006, **20**, 202-211.
- [4] CODEX STAN 210-1999. Codex standard for named vegetable oil. Codex Alimentarius. Amendment 2005, 2011.
- [5] Daun J.K., Barthelet V.J., Chomick T.L., Duguid S.: Structure, composition, and variety development of flaxseed. In: *Flaxseed in human nutrition*. 2nd ed. by L. U. Thompson and S.C. Cunnae. AOCS Press, Champaign, Illinois, USA, 2003, 1-40.
- [6] Dominguez H., Nunez M.J., Lema J.M.: Oil extractability from enzymatically treated soybean and sunflower: Range of operational variables. *Food Chem.*, 1993, **46** (3), 277-284.
- [7] Górecka A., Wroniak M., Krygier K.: Wpływ ogrzewania nasion rzepaku na jakość wyłoczonego oleju. *Rośliny Oleiste*, 2003, **24**, 567-576.
- [8] Head S.W., Swetman A.A., Hammonds T.W., Gordon A., Southwell K.H., Harris R.V.: *Small Scale Vegetable Oil Extraction*. NRI, University of Greenwich, Chatham, Kent, Great Britain, 1995, p.105.
- [9] Kasote D.M., Badhe Y.S., Hegde M.V.: Effect of mechanical press oil extraction processing on quality of linseed oil. *Ind. Crops Prod.* 2013, **42**, 10-13.
- [10] Levadoux W.L., Kalmokoff M.L., Pickard M.D., GrootWassink J.W.D.: Pigment removal from canola oil using chlorophyllase. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1987, **64** (1), 139-144.
- [11] Mińkowski K.: Studia nad stabilnością oksydacyjną olejów roślinnych bogatych w polienowe kwasy tłuszczowe o budowie trienowej. Rozprawa habilitacyjna. *Roczn. Inst. Przem. Mies.* 2008, **46**, (4).
- [12] Mińkowski K., Zawada K., Ptasznik S., Kalinowski A.: Wpływ związków fenolowych nasion na stabilność oksydacyjną i aktywność antyrodnikową wyłoczonych z nich olejów bogatych w PUFA *n*-3. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2013, **4** (89), 118-132.
- [13] Mińkowski K., Kalinowski A., Krupska A.: Wpływ sposobu przygotowania nasion oraz dławienia masy nasiennej w prasie ślimakowej na parametry procesu tłoczenia i cechy jakościowe oleju lnianego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2014, **4** (95), 75-87.
- [14] Niewiadomski H. *Technologia tłuszczów jadalnych*. WNT, Warszawa 1993.
- [15] PN-EN ISO 659:1999. Nasiona oleiste. Oznaczanie zawartości oleju (Metoda odwoławcza).
- [16] PN-EN ISO 660:2010. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczenie liczby kwasowej i kwasowości.
- [17] PN EN ISO 662:2001. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczanie zawartość wody i substancji lotnych.
- [18] PN-EN ISO 663:2009. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczanie zawartości zanieczyszczeń nierozpuszczalnych.
- [19] PN-EN ISO 665:2004. Nasiona oleiste. Oznaczanie wilgotności i zawartości substancji lotnych.
- [20] PN-EN ISO 3960:2012. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczanie liczby nadtlencowej. Jodometryczne (wizualne) oznaczanie punktu końcowego.
- [21] PN-EN-ISO 6885:2008. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczanie liczby anizydynowej.

- [22] PN-A-86934:1995. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Spektrofotometryczne oznaczanie barwy.
- [23] Panfilis F.D., Toschi T.G., Lercker G.: Quality control for cold-pressed oils. *Inform*, 1998, **9**, 212-221.
- [24] Rosenthal A., Pyle D.L., Niranjana K., Gilmour S., Trinca L.: Combined effect of operation variables and enzyme activity on aqueous enzymatic extraction of oil and protein from soybean. *Enzyme and Microbial Technology*, 2001, **28**, 499-509.
- [25] Rotkiewicz D., Konopka I., Tańska M.: Barwniki karotenoidowe i chlorofilowe olejów roślinnych oraz ich funkcje. *Rośliny Oleiste*, 2002, **23**, 561-579.
- [26] Singleton V.L., Orthofer R., Lamuela-Raventos R.M.: Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Meth. Enzymol.*, 1999, **299**, 152-178.
- [27] Smith D.D., Agrawal Y.C., Sarkar B.C., Singh B.P.N.: Enzymatic hydrolysis pretreatment for mechanical expelling of soybeans. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1993, **70** (9), 885-890.
- [28] Soto C., Chamy R., Zúñiga M.E.: Enzymatic hydrolysis and pressing conditions effect on borage oil extraction by cold pressing. *Food Chem.*, 2007, **102**, 834-840.
- [29] Wilska-Jeszka J.: Monosacharydy i oligosacharydy. W: *Chemiczne i funkcjonalne właściwości składników żywności*. Red. Sikorski Z.E. WNT, Warszawa 1994, ss. 93-130.
- [30] Wroniak M., Krygier K.: Oleje tłoczone na zimno. *Przem. Spoż.*, 2006, **7**, 30-32, 34.
- [31] Wroniak M., Kwiatkowska M., Krygier K.: Charakterystyka wybranych olejów tłoczonych na zimno. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2006, **2** (47), 46-58.
- [32] Wroniak M., Krygier K., Kaczmarczyk M.: Comparison of cold pressed and virgin rapeseed oils with industrially obtained oils. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2008, **58**, (1), 85-89.
- [33] Zheng Y.L., Wiesenborn D.P., Tostenson K., Kangas N.: Screw pressing of whole and dehulled flaxseed for organic oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2003, **80** (10), 1039-1045.

**EFFECT OF SEEDS FLAKING AND LOW-TEMPERATURE HYDROTHERMAL
TREATMENT OF FLAKES ON PRESSING PROCESS PARAMETERS AND
QUALITY OF LINSEED OIL**

S u m m a r y

The objective of the research study was to determine the effect of flaking seeds and hydrothermally treating seed flakes on some selected parameters of pressing process and the quality characteristics of linseed oil. The research material consisted of flaxseeds of the 'Bukoz' high linolenic variety (IWNiRZ, Poznan, PL). The seeds were flaked in a two-roll laboratory mill equipped with smooth rolls and a 0.2 mm slot. The flakes produced of 20 % of moisture were hydrothermally treated in a laboratory incubator, at a temperature of 50 °C, over a period of 3 h. The hydrothermally treated flakes were dried in an air flow dryer. The oils were pressed in an UNO-SE expeller press manufactured by Farnet (CZ). The flaking of seeds contributed to the increase in the press capacity from 8.5 to 10.6 kg/h as well as in the oil yield from 72.0 to 73.5 %; further, it contributed to the decrease in the oil temperature from 48 to 43 °C and in the cake temperature from 68 to 64 °C. The flaking of seeds caused the amount of insoluble impurities in oil to increase from 3.2 to 4.0 %. The hydrothermal treatment of raw flakes caused the press capacity to increase from 10.6 to 13.5 kg/h, the oil yield to increase from 72.0 to 73.5 %, the oil temperature to increase from 43 to 47 °C, and the cake temperature to increase from 64 to 68°C. The latter process resulted in the increase in the acid value of oil by 0.16 mg KOH/g and in the increase in the peroxide value by 0.65 meq

O₂/kg. The flaking of seeds causes the amount of insoluble impurities in oil to increase whereas the hydrothermal treatment of flakes aids the hydrolysis and oxidation of the oil being produced.

Key words: flax seeds, flaking, hydrothermal treatment, cold pressing, expeller press, flax oil ☒