

ZAWARTOŚĆ TŁUSZCZU ORAZ PROFIL KWASÓW TŁUSZCZOWYCH W OLEJU ŻÓŁTO I BRĄZOWONASIENNYCH ODMIAN LNU OLEISTEGO (*LINUM USITATISSIMUM* L.) W ZMIENNYCH WARUNKACH AGROTECHNICZNYCH I SIEDLISKOWYCH

FRANCISZEK WIELEBSKI¹, MAREK WÓJTOWICZ¹, STANISŁAW SPASIBIONEK²

¹Samodzielna Pracownia Technologii Produkcji Roślin Oleistych, ²Pracownia Genetyki i Hodowli
Jakościowej, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy,
Oddział w Poznaniu, ul. Strzeszyńska 36, 60-479 Poznań

Synopsis. Celem pracy była ocena nasion lnu oleistego pochodzących z dwóch ścisłych doświadczeń polowych realizowanych w latach 2011–2012. W pierwszym badano reakcję dwóch odmian lnu oleistego (Szafir i Amon) nawożonych pięcioma dawkami azotu (0, 20, 40, 1000 nasion·m²). Stosowane dawki nawożenia i gęstości siewu tylko nieistotnie różnicowały zawartość tłuszczu w nasionach oraz udział kwasów tłuszczowych w oleju badanych odmian lnu oleistego. Cechy te istotnie różnicował czynnik genetyczny. Odmiany o żółtej barwie nasion (Amon 41,6% i Jantarol 41,6%) gromadziły w nasionach istotnie więcej tłuszczu od odmian o brązowej barwie (Szafir 39,6% i Bukoz 39,8%). Nasiona odmian o tradycyjnym składzie kwasów tłuszczowych (Szafir, Bukoz i Jantarol) charakteryzowała wysoka (prawie 60%) zawartość kwasu α -linolenowego (C_{18:3}, ω -3), oraz korzystny stosunek kwasów ω -6 do ω -3 (0,24:1), natomiast nasiona niskolinolenowej odmiany Amon zawierały aż 70,2% kwasu linolowego (C_{18:2}, ω -6) i odznaczały się wysoce niekorzystnym stosunkiem ω -6 do ω -3 (31:1). Wykazano istotną zależność zawartości kwasów tłuszczowych od temperatury w fazie dojrzewania nasion. W warunkach niższych temperatur (rok 2011), stwierdzono w oleju istotnie więcej kwasu linolowego i linolenowego, natomiast przy wyższych temperaturach (rok 2012) obserwowano istotnie wyższą zawartość kwasu oleinowego (C_{18:1}, ω -9).

Słowa kluczowe: len oleisty, gęstość siewu, nawożenie azotem i siarką, tłuszcz, profil kwasów tłuszczowych, warunki siedliska

WSTĘP

Obszar uprawy formy oleistej lnu zwyczajnego (*Linum usitatissimum* L.) w Polsce jak i w krajach UE systematycznie wzrasta, dostarczając cennych nasion, które zawierają 35–40% ważnego dla zdrowia człowieka tłuszczu, oraz znaczne ilości białka (25%), a także kwasy organiczne, sole mineralne, włókno, śluzy, ligniny i związki fenolowe oraz inne substancje bioaktywne [Muśnicki 2003, Popis i in. 2015, Silska 2016, Silska i Praczyk 2011, Zajac i in. 2010]. Olej lniany jest jednym z najbogatszych źródeł niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (zwłaszcza kwasu α -linolenowego z rodziny ω -3) przewyższając w tym względzie inne oleje roślinne, a także tłuszcz rybi [Barcelo-Coblijn i Murphy 2009, Rubilar i in. 2010, Silska 2016, Zajac i in. 2010]. Zmielone nasiona lub estry etylowe wyższych kwasów tłuszczowych oleju lnianego wykorzystywane są coraz częściej do suplementacji żywności dla ludzi, tworzenia żywności funkcjonalnej spełniającej funkcje prozdrowotne [Marciniak-Łukasiak i Krygier

¹ Adres do korespondencji – *Corresponding address*: fwiel@nico.ihar.poznan.pl

2004]. Olej lniany jest też cennym surowcem dla przemysłu chemicznego, farmaceutycznego, kosmetycznego, a nasiona (zwane siemieniem lnianym) i makuchy dzięki swym właściwościom dietetycznym są wartościową paszą dla zwierząt [Antonkiewicz i Zajac 2003]. Duża zawartość kwasu linolenowego powoduje szybkie wysychanie oleju, co jest istotne przy wykorzystaniu oleju lnianego do produkcji farb i lakierów [Demirbas 2009, Piotrowska i Furowicz 1998]. Obecnie prowadzone są intensywne badania nad wykorzystaniem oleju lnianego, jako surowca do produkcji biodiesla [Tańska i in. 2013]. Włókno ze słomy lnu oleistego po rozdrobnieniu może służyć do wyrobu tzw. kompozytów wykorzystywanych w przemyśle meblarskim, motoryzacyjnym i budownictwie.

Prace hodowlane z lnu oleistym doprowadziły do wyhodowania nowych genotypów zarówno o brązowych jak i żółtych nasionach, charakteryzujących się korzystnymi cechami wartości gospodarczej, a także zmienionym składem kwasów tłuszczowych [Grant i in. 1999, Piotrowska i Furowicz 1998]. Obecnie w Krajowym Rejestrze znajdują się cztery polskie odmiany lnu oleistego: trzy autorstwa Hodowli Roślin Strzelce we współpracy z IHAR w Poznaniu (Jantarol, Oliwin, Szafir) i jedna odmiana wyhodowana w Instytucie Włókien Naturalnych w Poznaniu (Bukoz).

Z uwagi na wszechstronne wykorzystanie nasion lnu oleistego ważny jest ich skład chemiczny, zwłaszcza ilość i jakość zgromadzonego w nich tłuszczu. Wartość żywieniową oleju determinuje głównie skład kwasów tłuszczowych, który zależy przede wszystkim od odmiany [Krzymański 2009], ale może być kształtowany również przez warunki pogodowe i agrotechniczne zwłaszcza nawożenie azotem [Muśnicki i in. 1999]. Azot jest najbardziej plonotwórczym składnikiem nawożenia, ale zbyt wysokie dawki tego pierwiastka powodują spadek zawartości tłuszczu w nasionach [Zajac 2005]. Siarka wpływając na gospodarkę azotem decyduje nie tylko o wielkości plonu nasion, ale również o jego jakości [Wielebski i Wójtowicz 2004].

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu czynników agrotechnicznych i warunków siedliskowych na zawartość tłuszczu oraz profil kwasów tłuszczowych w oleju odmian lnu oleistego różniących się barwą nasion.

MATERIAŁ I METODY

Do badań wykorzystano nasiona lnu oleistego pochodzące z dwóch ścisłych doświadczeń polowych prowadzonych w gospodarstwie Łagiewniki (51°46' N, 17°14' E) należącego do Spółki Hodowla Roślin Smolice w latach 2011–2012. W pierwszym doświadczeniu, badano reakcję dwóch odmian lnu oleistego: krajowej, brązowonasiennej odmiany Szafir, oraz czeskiej, żółtonasiennej Amon, nawożonych wg schematu (tab. 1) pięcioma dawkami azotu (0, 20, 40, 60 i 80 kg N·ha⁻¹) i dwoma dawkami siarki (0 i 10 kg S·ha⁻¹). W doświadczeniu drugim badano reakcję dwóch krajowych odmian lnu oleistego (brązowonasiennej - Bukoz oraz żółtonasiennej - Jantarol) na pięć gęstości siewu (400, 550, 700, 850 i 1000 nasion·m⁻²). Doświadczenia polowe realizowano w układzie losowanych podbloków i w czterech powtórzeniach. Przedsięwzięcie w obu doświadczeniach zastosowano nawożenie PK w ilości odpowiednio 60 i 90 kg·ha⁻¹. Azot w doświadczeniu drugim stosowano w dawce 60 kg N·ha⁻¹ (40 przed siewem i 20 w fazie jodełki, BBCH15). Len wysiano 6 (2011) i 4 (2012) kwietnia w ilości 550 nasion·m⁻² (doświadczenie 1) oraz zgodnej ze schematem doświadczenia (doświadczenie 2).

Dane meteorologiczne w okresie wegetacji lnu w obu latach badań przedstawiono w tab. 2. Warunki termiczne i wilgotnościowe zwłaszcza w okresie wczesnej wiosny znacząco odbiegały od średnich z wielolecia. Przy temperaturach wyższych od średnich wieloletnich znacznie niższe od normy miesięczne sumy opadów notowano w kwietniu i w maju obu lat badań.

Tabela 1. Schemat nawożenia azotem i siarką
Table 1. Schema of nitrogen and sulphur fertilization

Całkowita dawka azotu i siarki Total dose nitrogen and sulphur (kg·ha ⁻¹)			Termin i dawka aplikacji azotu (N) i siarki (S) Date and rate of N and S application (kg·ha ⁻¹)			
			przed siewem pre-sowing		po wschodach after emergence (BBCH 15)	
Objekt Treatments	N	S	N	S	N	S
A	0	0	-	-	-	-
B	20	0	20	-	-	-
C	40	0	40	-	-	-
D	40	10	40	10	-	-
E	60	0	40	-	20	-
F	60	10	40	10	20	-
G	80	0	40	-	40	-

Tabela 2. Rozkład opadów i temperatury powietrza w miesiącach wegetacji lnu oleistego w dwóch latach badań na tle wieloletnia

Table 2. The range of rainfall and air temperature in vegetation period of linseed in two years comparing to long-term data

Rok – Year	Miesiące – Months					Średnia/Suma Mean/Sum
	IV	V	VI	VII	VIII	
Temperatura – Temperature (°C)						
2011	11,4	14,5	19,3	18,3	19,2	16,5
2012	9,3	15,7	16,8	19,8	19,4	16,2
1957–2012	8,3	13,6	16,8	18,4	17,9	15,0
Opady – Rainfalls (mm)						
2011	12,3	20,9	56,7	94,2	66,3	250
2012	16,3	19,5	99,0	71,8	95,2	302
1957–2012	31,6	54,8	66,0	82,4	68,7	304

Niższe od normy opady notowano także w czerwcu (o 15%) i sierpniu (o 14%) w pierwszym roku badań oraz w lipcu (o 13%) drugiego roku badań. Sumy opadów wyższe od normy notowano natomiast w lipcu (o 15%) w pierwszym roku oraz w czerwcu (o 50%) i sierpniu (o 40%) w drugim roku badań.

W zebranych nasionach lnu oleistego określono zawartość tłuszczu surowego oraz szczegółowo przeanalizowano skład kwasów tłuszczowych. Zawartość tłuszczu w nasionach oceniono wykorzystując magnetyczny rezonans jądrowy NMR firmy Oxford Instruments, MQA 7005. Skład kwasów tłuszczowych oznaczono za pomocą chromatografii gazowej na chromatografii firmy Hewlett Packard, Agilent Technologies 6890N Network GC System, a wycenę ilościową chromatogramów wykonano wg metody opracowanej przez Byczyńską i Krzymańskiego [1969].

Zebrane dane poddano analizie statystycznej za pomocą pakietu STATISTICA 6. Istotność różnic określono testem Tukeya na poziomie ufności $p = 0,05$ i wyrażono literowo. Symbolem „r.n.” oznaczono brak podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej.

WYNIKI I DYSKUSJA

Nawożenie azotem i siarką jak również gęstości siewu w małym stopniu różnicowały zawartość tłuszczu w nasionach oraz udział kwasów tłuszczowych w oleju badanych odmian lnu oleistego (tab. 3 i 4). Zwiększenie dawek azotu, co udokumentowały wyniki badań wielu autorów przyczynia się do obniżenia zawartość tłuszczu w nasionach lnu [Grant i in. 2016, Zajac 2005, Zajac i Oleksy 2010] i innych roślin oleistych np. rzepaku [Jankowski i Budzyński 2000, Rathke i in. 2005]. Zakres zmienności zawartości tego składnika w nasionach jest jednak niewielki i zazwyczaj determinowany długością okresu napełniania nasion oraz warunkami pogodowymi w tym okresie [Faraji 2012]. Wiele prac poświęconych jakości nasion wykazuje brak istotnego oddziaływania nawożenia azotem i siarką na skład kwasów tłuszczowych w nasionach roślin oleistych np. rzepaku [Kotecki i in. 2001, Wielebski i Wójtowicz 2004]. Nie brakuje jednak prac, w których autorzy wykazali pod wpływem nawożenia istotne zróżnicowanie składu kwasów tłuszczowych w oleju tych roślin [Jędrzejak i in. 2005, Wielebski 2011]. Spadek zawartości wielonienasyconych kwasów linolenowego i linolowego w oleju lnu obserwowano w reakcji na wzrastające dawki azotu w trzyletnich doświadczeniach prowadzonych w Kanadzie [Grant i in. 2016].

Niezależnie od badanych czynników agrotechnicznych, nasiona ocenianych odmian lnu różniły się istotnie zawartością tłuszczu i składem kwasów tłuszczowych w oleju. Również istotne różnice pomiędzy odmianami dotyczyły sumy (SFA i UFA) oraz stosunku kwasów linolowego i linolenowego. Żółtonasienne odmiany: Amon (41,6%) i Jantarol (41,6%) gromadziły w nasionach istotnie więcej tłuszczu od odmian brązowonasiennych: Szafir (39,6%) i Bukoz (39,8%). Badania innych autorów [Zajac i in. 2001] nie wskazują, by zawartość tłuszczu była cechą charakterystyczną dla grup odmian żółto- czy brązowonasiennych, lecz zależy bezpośrednio od konkretnej odmiany. W badaniach własnych spośród genotypów lnu oleistego trzy odmiany (Szafir, Bukoz i Jantarol) odznaczały się tradycyjnym składem kwasów tłuszczowych, wśród których dominował (niemal w 60%) kwas α -linolenowy ($C_{18:3}$, ALA) należący do rodziny ω -3. Ten cenny dla zdrowia, ale bardzo podatny na utlenianie kwas tłuszczowy jest uważany za deficytowy w codziennej diecie człowieka [Cichosz i Czeczot 2011]. Czeska żółtonasienna odmiana Amon odznaczała się bardzo niską zawartością (2,55%) kwasu α -linolenowego ($C_{18:3}$, ω -3) i wysoką zawartością (70,2%) kwasu linolowego ($C_{18:2}$, LA) z rodziny ω -6. Olej z tej odmiany podobnie jak olej sojowy, kukurydziany czy słonecznikowy charakteryzuje się nadmiernie rozszerzonym stosunkiem niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (NNKT) z rodziny ω -6 do ω -3,

Tabela 3. Wpływ nawożenia azotem i siarką na zawartość tłuszczu i skład kwasów tłuszczowych w oleju lnu oleistego odmian Szafr i Amon
 Table 3. Effect of nitrogen and sulphur fertilization on fat content and fatty acid composition in oil of linseed varieties Szafr and Amon.

Czynniki Factors	Tłuszcz Fat (%)	Kwasy tłuszczowe – Fatty acids (%)									
		C _{16:0}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	C _{21:1}	SFA	UFA	C _{18:2} /C _{18:3}	
(1) Lata – Years											
2011	40,3 b	5,74	3,51 b	17,4 b	41,8 a	31,5 a	0,07	9,25 b	90,7 a	15,3	
2012	40,9 a	5,71	3,87 a	20,3 a	40,2 b	29,9 b	0,02	9,58 a	90,4 b	15,6	
NIR _{0,05} -LSD _{0,05}	0,5	r.n.	0,05	1,0	0,8	0,8	r.n.	0,1	0,1	r.n.	
(2) Dawka aplikacji azotu (N) i siarki (S) – Rate of N and S application (kg ha ⁻¹)											
A (kontrola-check)	40,7	5,82	3,70	19,0	41,2	30,3	0,01	9,52	90,5	15,3	
B 20 N	40,6	5,73	3,71	18,5	41,2	30,8	0,06	9,44	90,5	14,2	
C 40 N	40,7	5,68	3,72	18,6	40,6	31,3	0,04	9,41	90,6	11,6	
D 40 N+10S	40,6	5,72	3,68	18,7	40,9	30,9	0,04	9,39	90,5	15,1	
E 60 N	40,5	5,75	3,66	19,1	40,9	30,5	0,08	9,41	90,5	16,1	
F 60 N+10S	40,6	5,72	3,68	18,9	41,1	30,6	0,02	9,40	90,6	17,0	
G 80 N	40,5	5,66	3,68	19,2	41,0	30,5	0,06	9,33	90,6	18,8	
NIR _{0,05} -LSD _{0,05}	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	
NIR _{0,05} -LSD _{0,05} (1x2)	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	
(3) Odmiana – Cultivar											
Szafr	39,6 b	5,49 b	3,89 a	20,0 a	11,7 b	58,9 a	0,03 b	9,38 b	90,6 a	0,2 b	
Amon	41,6 a	5,96 a	3,49 b	17,7 b	70,2 a	2,55 b	0,06 a	9,45 a	90,5 b	30,7 a	
NIR _{0,05} -LSD _{0,05}	0,2	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3	0,02	0,06	0,06	2,3	
NIR _{0,05} -LSD _{0,05} (2x3)	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	

Kwasy – Acids: C_{16:0} – palmitynowy/palmitic; C_{18:0} – stearynowy/stearic; C_{18:1} – oleinowy/oleic; C_{18:2} – linolowy/oleic; C_{18:3} – linolenowy/linolenic; C_{21:1} – eikozenowy/eicosenic
 SFA – Nasycone kwasy tłuszczowe/Saturated fatty acids (C_{16:0} + C_{18:0}); UFA – Nienasycone kwasy tłuszczowe/Unsaturated fatty acids (C_{18:1} + C_{18:2} + C_{18:3})
 r.n. – różnice nieistotne/no significant difference

Tabela 4. Wpływ gęstości siewu na zawartość tłuszczu i skład kwasów tłuszczowych w oleju lnu oleistego odmian Jantarol i Bukoz
Table 4. Effect of sowing density on fat content and fatty acid composition in oil of linseed varieties Jantarol and Bukoz

Czynniki Factors	Tuszcz Fat (%)	Kwasy tłuszczowe – Fatty acids (%)										
		C _{16:0}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	C _{21:1}	SFA	UFA	C _{18:2} /C _{18:3}		
(1) Lata – Years												
2011	41,0	5,48	2,48	16,6 b	14,4 a	60,9 a	0,13 a	7,96	91,9	0,24		
2012	40,4	5,48	2,48	20,9 a	13,7 b	57,4 b	0,03 b	7,96	92,0	0,24		
NIR _{0,05} -LSD _{0,05}	r.n.	r.n.	r.n.	0,7	0,5	0,6	0,03	r.n.	r.n.	r.n.		
(2) Gęstość siewu (nasion m ²) – Sowing density (seeds m ²)												
400	40,7	5,48	2,48	18,7	14,1	59,2	0,08	7,95	92,0	0,24		
550	40,7	5,49	2,46	19,0	14,0	58,9	0,07	7,96	92,0	0,24		
700	40,7	5,52	2,48	18,8	14,2	58,9	0,11	7,99	91,9	0,24		
850	40,8	5,45	2,49	18,6	14,1	59,4	0,06	7,94	92,0	0,24		
1000	40,5	5,47	2,48	18,8	14,0	59,3	0,08	7,94	92,0	0,23		
NIR _{0,05} -LSD _{0,05}	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.		
NIR _{0,05} -LSD _{0,05} (1x2)	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.		
(3) Odmiana – Cultivar												
Jantarol	41,6 a	5,33 b	2,49	19,6 a	14,1	58,4 b	0,09	7,83 b	92,1 a	0,24 a		
Bukoz	39,8 b	5,63 a	2,46	18,0 b	14,0	59,9 a	0,06	8,09 a	91,9 b	0,23 b		
NIR _{0,05} -LSD _{0,05}	0,24	0,04	r.n.	0,35	r.n.	0,36	r.n.	0,06	0,1	0,004		
NIR _{0,05} -LSD _{0,05} (2x3)	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.	r.n.		

Kwasy – Acids: C_{16:0} – palmitynowy/palmitic; C_{18:0} – stearynowy/stearic; C_{18:1} – oleinowy/oleic; C_{18:2} – linolowy/linoleic; C_{18:3} – linolenowy/linolenic; C_{21:1} – eikozenowy/eicosenic

SFA – Nasycone kwasy tłuszczowe/Saturated fatty acids (C_{16:0} + C_{18:0}); UFA – Nienasycone kwasy tłuszczowe/Unsaturated fatty acids (C_{18:1} + C_{18:2} + C_{18:3})

r.n. – różnice nieistotne/no significant difference

kształtującym się na poziomie 30:1. Tak szeroka proporcja NNKT z rodzin ω -6 i ω -3 w diecie ludzi wpływa na zwiększenie ryzyka wystąpienia wielu chorób, w tym nowotworowych [Jelińska 2005]. W organizmach zwierząt i ludzi w wyniku równocześnie zachodzących procesów desaturacji konkurują o te same enzymy, dlatego ważny jest z punktu widzenia żywieniowego odpowiedni stosunek zawartości kwasów $C_{18:2}$, (ω -6) do zawartości $C_{18:3}$, (ω -3) w pokarmie i paszy. Kwasy linolowy i linolenowy, (niesyntetyzowane w organizmie zwierzęcym i ludzkim), są prekursorami dwóch ważnych rodzin długołańcuchowych. Rodzina ω -6 pochodzi od kwasu linolowego a jej przedstawicielami są kwasy arachidonowy (AA) i dihomogammalinolenowy (DGLA), natomiast pochodząca od kwasu linolenowego rodzina ω -3 reprezentowana jest przez kwasy dokosaheksaenowy (DHA) i eikozapentaenowy (EPA). Wielonienasycone kwasy obu rodzin odgrywają ważną rolę w budowie błon komórkowych i wewnątrzkomórkowych organizmu ludzkiego i zwierzęcego [Achremowicz i Szary-Sworst 2005, Krzymański 2009, Spasibonek 2013]. Brak w diecie człowieka odpowiednich ilości kwasów ω -3 powoduje wiele chorób zwłaszcza układu krążenia (miażdżyca, niewydolność serca, nadciśnienie tętnicze, podwyższony poziom cholesterolu) oraz cukrzycę, otyłość [Krzymański 2009, Marciniak-Lukasiak 2011], a także znacznie zwiększa ryzyko nowotworów [Jelińska 2005].

Należy zwrócić uwagę na korzystny stosunek kwasów ω -6 do ω -3 (0,24:1) w oleju badanych w doświadczeniach odmian lnu o tradycyjnym profilu kwasów tłuszczowych (Szafir, Bukoz i Jantarol). Bardzo korzystnym stosunkiem tych kwasów tj. 2:1 charakteryzuje się olej rzepakowy [Krzymański 2009]. Aktualnie panuje przekonanie, że optymalnym dla prawidłowego funkcjonowania organizmu człowieka jest stosunek równy 1:1 [Obiedzińska i Waszkiewicz-Robak 2012]. W oleju żółtonasiennej odmiany Jantarol stwierdzono istotnie więcej kwasu oleinowego, mniej natomiast w porównaniu do odmiany Bukoz kwasu palmitynowego i linolenowego. Odmiana ta charakteryzowała się także istotnie większym udziałem nienasyconych kwasów tłuszczowych (UFA). Niskolinolenowa odmiana Amon zawierała względem odmiany Szafir istotnie mniej kwasu oleinowego ($C_{18:1}$) i stearynowego ($C_{18:0}$) oraz istotnie więcej kwasu palmitynowego ($C_{16:0}$).

W prowadzonych doświadczeniach, lata badań miały istotny wpływ na skład kwasów tłuszczowych, natomiast tylko nieistotnie różnicowały zawartość tłuszczu w nasionach. Podobnie Zajac i in. [2001] bez względu na odmianę lnu, nie wykazali istotnych różnic w zawartości tłuszczu pomiędzy kolejnymi latami uprawy. Wiele doniesień naukowych wykazuje wpływ czynników siedliskowych na skład kwasów tłuszczowych, zwłaszcza na zależność zawartości kwasu linolenowego od sumy temperatur minimalnych [Baux i in. 2008] lub od średniej temperatury [Wójtowicz 2013] w okresie najintensywniejszej produkcji oleju, czyli w fazie dojrzewania nasion. Stwierdzili oni w oleju rzepaku wzrost zawartości kwasu linolenowego ($C_{18:3}$) w warunkach niższych temperatur, a także obserwowali zwiększenie zawartości kwasu oleinowego ($C_{18:1}$, ω -9) wraz ze wzrostem temperatur. Podobnie w prezentowanej pracy, w warunkach niższych temperatur jakie obserwowano w fazie dojrzewania nasion w pierwszym roku badań (2011), stwierdzono w oleju odmian lnu oleistego istotnie więcej kwasu linolowego i linolenowego. W warunkach natomiast wyższych temperatur (2012 rok), wykazano istotnie mniejszą zawartość obu tych kwasów, zaś istotnie wyższą zawartość kwasu oleinowego ($C_{18:1}$) (tab. 5). Brak statystycznie istotnych różnic w zawartości kwasów tłuszczowych pomiędzy kolejnymi latami badań wykazali Zajac i in. [2001].

Za pomocą współczynników korelacji wykazano zależności pomiędzy zawartością nienasyconych kwasów 18węglowych (tab. 6). W oleju badanych odmian zawartość kwasu linolowego a także (za wyjątkiem niskolinolenowej odmiany Amon) zawartość kwasu linolenowego była istotnie ujemnie skorelowana z zawartością kwasu oleinowego. U tej ostatniej wystąpiła ujemna korelacja pomiędzy zawartością kwasu linolowego i linolenowego, natomiast u pozostałych odmian korelacja ta była dodatnia, ale istotnie tylko u odmiany Bukoz. Podobne zależności pomię-

Tabela 5. Zawartość tłuszczu i skład kwasów tłuszczowych w oleju badanych odmian lnu oleistego w zależności od lat badań
 Table 5. The fat content and fatty acid composition in oil of linseed varieties according to years of investigation

Odmiana Cultivar	Tłuszcz Fat (%)	Kwasy tłuszczowe – Fatty acids (%)																		
		Lata – Years																		
		C _{16:0}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	C _{21:1}	SFA	UFA	C _{18:2} /C _{18:3}										
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Szafir	39,6	39,7	5,45	5,52	3,65	4,13	17,8	22,2	12,5	10,9	60,5	57,2	0,06	0,01	9,10	9,65	90,8	90,3	0,21	0,19
Amon	41,0	42,1	6,02	5,90	3,37	3,60	17,0	18,5	71,0	69,4	2,59	2,51	0,08	0,04	9,40	9,51	90,5	90,4	30,3	31,1
NIR _{0,05} -LSD _{0,05}	0,3	0,05	0,06	0,4	0,5	0,45	r.n.	0,08	0,1	r.n.	0,08	0,1	r.n.	0,08	0,1	r.n.	0,09	0,1	r.n.	r.n.
Jantarol	41,6	41,6	5,38	5,29	2,52	2,47	17,7	21,5	14,4	13,8	59,8	56,9	0,16	0,03	7,90	7,76	92,0	92,2	0,24	0,24
Bukoz	40,3	39,2	5,58	5,67	2,44	2,48	15,5	20,4	14,4	13,6	62,0	57,8	0,10	0,02	8,02	8,16	91,9	91,8	0,23	0,23
NIR _{0,05} -LSD _{0,05}	0,3	0,05	0,06	0,5	0,3	0,5	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5	r.n.	0,09	0,1	r.n.	0,09	0,1	r.n.	r.n.

Kwasy – Acids: C_{16:0} – palmitynowy/palmitic; C_{18:0} – stearynowy/stearic; C_{18:1} – oleinowy/oleic; C_{18:2} – oleinowy/oleic; C_{18:3} – linolowy/linoleic; C_{18:3} – linolenowy/linolenic; C_{21:1} – eikozenowy/eicosenic
 SFA – Nasycone kwasy tłuszczowe/Saturated fatty acids (C_{16:0} + C_{18:0}); UFA – Nienasycone kwasy tłuszczowe/Unsaturated fatty acids (C_{18:1} + C_{18:2} + C_{18:3})
 r.n. – różnice nieistotne/no significant difference

Tabela 6. Współczynniki korelacji pomiędzy zawartością nienasyconych kwasów 18-węglowych w oleju z nasion ocenianych odmian lnu oleistego.

Table 6. Correlation coefficients between content of unsaturated acids of eighteen carbon length in oil from seeds of evaluated linseed varieties

Odmiana Cultivar	Współczynniki korelacji – Correlation coefficients		
	Kwas – Acid	Oleinowy – Oleic	Linolowy – Linoleic
Bukoz	Linolowy – Linoleic	-0,81**	0,71**
	Linolenowy – Linolenic	-0,99**	
Jantarol	Linolowy – Linoleic	-0,57**	0,28
	Linolenowy – Linolenic	-0,95**	
Szafir	Linolowy – Linoleic	-0,77**	0,53
	Linolenowy – Linolenic	-0,95**	
Amon	Linolowy – Linoleic	-0,75**	-0,61**
	Linolenowy – Linolenic	-0,04	

** Korelacja istotna na poziomie $\alpha=0,01$ /Significant correlation at $\alpha=0.01$

dzy zawartością kwasów 18-węglowych stwierdzono w oleju z nasion odmian rzepaku [Baux i in. 2008, Wójtowicz 2013].

WNIOSKI

1. Nawożenie azotem i siarką oraz gęstości siewu w niewielkim stopniu różnicowały zawartość tłuszczu w nasionach oraz udział kwasów tłuszczowych w oleju badanych odmian lnu oleistego. Cechy te były istotnie zróżnicowane między odmianami.
2. Odmiany o żółtej barwie nasion (Amon 41,6% i Jantarol 41,6%) gromadziły w nasionach istotnie więcej tłuszczu od odmian o brązowej barwie (Szafir 39,6% i Bukoz 39,8%).
3. Odmiany o tradycyjnym składzie kwasów tłuszczowych (Szafir, Bukoz i Jantarol) charakteryzowała wysoka (prawie 60%) zawartość kwasu α -linolenowego ($C_{18:3}$, ω -3), oraz korzystny stosunek kwasów ω -6 do ω -3 (0,24:1), natomiast niskolinolenowa odmiana Amon zawierała aż 70,2% kwasu linolowego ($C_{18:2}$, ω -6) i odznaczała się wysoce niekorzystnym stosunkiem ω -6 do ω -3 (31:1).
4. Wykazano istotną zależność zawartości kwasów tłuszczowych od warunków wilgotnościowo-termicznych w fazie dojrzewania nasion. W warunkach niższych temperatur (rok 2011), stwierdzono w oleju badanych odmian lnu oleistego istotnie więcej kwasu linolowego i linolenowego, natomiast przy wyższych temperaturach (rok 2012) obserwowano istotnie wyższą zawartość kwasu oleinowego ($C_{18:1}$, ω -9).

PIŚMIENNICTWO

- Achremowicz K., Szary-Sworst K. 2005. Wielonienasycone kwasy tłuszczowe czynnikiem poprawy stanu zdrowia człowieka. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 3(44): 23–35.
- Antonkiewicz J., Zajac T. 2003. Zawartość wybranych pierwiastków w lnie oleistym (*Linum usitatissimum* L.) w zależności od stadium rozwojowego i części roślin. *Chemia Inż. Ekol.* 10(9): 849–855.
- Barcelo-Coblijn G., Murphy E.J. 2009. Alpha-linolenic acid and its conversion to longer chain n-3 fatty acids: benefits for human health and a role in maintaining tissue n-3 fatty acid levels. *Prog Lipid Res.* 48(6): 355–374.
- Baux A., Hebeisen Th., Pellet D. 2008. Effects of minimal temperatures on low-linolenic rapeseed oil fatty-acid composition. *Europ. J. Agron.* 29: 102–107.
- Byczyńska B., Krzymański J. 1969. Szybki sposób otrzymania estrów metylowych kwasów tłuszczowych do analizy metodą chromatografii gazowej. *Tłuszcze Jadalne* 13: 108–114.
- Cichosz G., Czczot H. 2011. Stabilność oksydacyjna tłuszczów jadalnych – konsekwencje zdrowotne. *Bromat. Chem. Toksykol.* 1: 50–60.
- Demirbas A. 2009. Production of biodiesel fuels from linseed oil using methanol and ethanol in non-catalytic SCF conditions. *Biomass Bioenergy* 33: 113–118.
- Faraji A. 2012. Oil concentration in canola (*Brassica napus* L.) as a function of environmental conditions during seed filling period. *Int. J. Plant Prod.* 6(3): 267–277.
- Grant C.A., Dribnenki J.C.P., Bailey L.D. 1999. A comparison of the yield response of solin (cv. Linola 947) and flax (cvs. McGregor and Vimy) to application of nitrogen, phosphorus, and Provide (*Penicillium bilaji*). *Can. J. Plant Sci.* 79: 527–533.
- Grant C.A., McLaren D., Irvine R.B., Duguid S.D. 2016. Nitrogen source and placement effects on stand density, pasmo severity, seed yield, and quality of no-till flax. *Can. J. Plant Sci.* 96(1): 34–47.
- Jankowski K., Budzyński W. 2000. Wpływ sposobu wiosennego nawożenia azotem na plonowanie i energochłonność produkcji rzepaku ozimego. Cz. I. Wysokość i jakość plonu nasion. *Rośliny Oleiste/Oilseed Crops* 21(2): 429–438.
- Jelińska M. 2005. Kwasy tłuszczowe – czynniki modyfikujące procesy nowotworowe. *Biul. Wydz. Farm. AMW* 1: 1–14.
- Jędrzejak M., Kotecki A., Kozak M., Malarz W. 2005. Cz. II. Wpływ zróżnicowanych dawek azotu na profil kwasów tłuszczowych oleju rzepaku jarego. *Rośliny Oleiste/Oilseed Crops* 26(1): 139–149.
- Kotecki A., Kozak M., Malarz W., Aniołowski K. 2001. Wpływ nawożenia azotem na skład chemiczny nasion pięciu odmian rzepaku jarego. *Rośliny Oleiste/Oilseed Crops* 22(1): 81–89.
- Krzymański J. 2009. Skład chemiczny oleju rzepakowego na tle innych olejów roślinnych. W: *Olej rzepakowy – nowy surowiec, nowa prawda. Teraz rzepak olej.* Krzymański J. (red). Wyd. Polskie Stowarzyszenie Producentów Oleju, Warszawa, II: 47–56.
- Marciniak-Łukasiak K. 2011. Rola i znaczenie kwasów omega - 3. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 6(79): 24–35.
- Marciniak-Łukasiak K., Krygier K. 2004. Charakterystyka kwasów omega-3 i ich zastosowanie w żywności funkcjonalnej. *Przem. Spoż.* 12(57): 32–36.
- Muśnicki Cz. 2003. Len oleisty. W: *Szczegółowa uprawa roślin.* Jasińska Z., Kotecki A. (red.). Wyd. AR Wrocław, T 2: 493–495.
- Muśnicki Cz., Toboła P., Muśnicka B. 1999. Wpływ niektórych czynników agrotechnicznych i siedliskowych na jakość plonu rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste/Oilseed Crops* 22(2): 459–469.
- Obiedzińska A., Waszkiewicz-Robak B. 2012. Oleje tłoczone na zimno jako żywność funkcjonalna. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.* 1(80): 27–44.
- Piotrowska A., Furowicz B. 1998. Postęp w hodowli jasnonasiennego lnu oleistego. *Rośliny Oleiste/Oilseed Crops* 19(2): 641–643.
- Popis E., Ratusz K., Przybysz M., Krygier K., Sakowska A., Konarska M. 2015. Światowa oraz polska produkcja lnu oleistego i oleju lnianego. *Zesz. Nauk. SGGW Warszawa. Problemy Rolnictwa Świata* 15(2): 106–116.

- Rathke G.-W., Christen O., Diepenbrock W. 2005. Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field Crops Res.* 94: 103–113.
- Rubilar M., Gutiérrez C., Verdugo M., Shene C., Sineiro J. 2010. Flaxseed as a source of functional ingredients. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 10(3): 373–377.
- Silska G. 2016. Polska Kolekcja Lnu – źródłem nasion o terapeutycznym działaniu. *Zag. Dor. Rol.* 4(86): 73–81.
- Silska G., Praczyk M. 2011. Nasiona lnu i olej lniany to cenne źródło kwasów tłuszczowych Omega-3. *Biuletyn Informacyjny Polskiej Izby Lnu i konopi. Len i Konopie* 17: 50–56.
- Spasibionek S. 2013. Badania genetyczno- hodowlane mutantów rzepaku ozimego (*Brassica napus* L.) o zmienionym składzie kwasów tłuszczowych. *Wyd. IHAR-PIB, Monogr. Rozpr. Nauk.* 47: ss. 106.
- Tańska M., Rotkiewicz N., Ambrosewicz-Walacik M. 2013. Wpływ warunków ogrzewania nasion lnu i lnianki na jakość olejów przeznaczonych do produkcji biodiesla. *Nauka Przyr. Technol.* 7(4), #57.
- Wielebski F. 2011. Wpływ nawożenia siarką w warunkach stosowania zróżnicowanych dawek azotu na skład chemiczny nasion różnych typów odmian rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste/Oilseed Crops* 32(1): 79–95.
- Wielebski F., Wójtowicz M. 2004. Wpływ czynników agrotechnicznych na skład chemiczny nasion odmiany mieszańcowej zrestorowanej w porównaniu z odmianą populacyjną i odmianami mieszańcowymi złożonymi. *Rośliny Oleiste/Oilseed Crops* 25(2): 505–519.
- Wójtowicz M. 2013. Rola czynników środowiskowych i agrotechnicznych w kształtowaniu wielkości i jakości plonu rzepaku ozimego (*Brassica napus* L.). *Wyd. IHAR-PIB, Monogr. Rozpr. Nauk.* 45: ss. 111.
- Zajac T. 2005. Powierzchnia asymilacyjna i plonowanie odmian lnu oleistego w zależności od gęstości siewu i nawożenia mineralnego. *Acta Agr. Silv., ser. Agraria* 45: 65–76.
- Zajac T., Borowiec F., Micek P. 2001. Porównanie produktywności, składu chemicznego i profilu kwasów tłuszczowych żółtych i brązowych nasion lnu oleistego. *Rośliny Oleiste/Oilseed Crops*, 22(2): 441–454.
- Zajac T., Oleksy A. 2010. Len oleisty. W: *Rośliny oleiste uprawa i zastosowanie*. Budzyński W., Zajac T. (red.). PWRiL Poznań, 125–141.
- Zajac T., Oleksy A., Kulig B., Klimek A. 2010. Uwarunkowania plonowania formy oleistej lnu zwyczajnego (*Linum usitatissimum* L.) oraz jej znaczenie żywieniowe i lecznicze. *Artykuł przeglądowy. Acta Sci. Pol., Agricultura* 9(2): 47–63.

F. WIELEBSKI, M. WÓJTOWICZ, S. SPASIBIONEK

**FAT CONTENT AND FATTY ACID PROFILE IN OIL OF YELLOW AND BROWN
LINSEED VARIETIES (*LINUM USITATISSIMUM* L.) IN DIFFERENT AGROTECHNICAL
AND HABITAT CONDITIONS**

Summary

The aim of the study was the estimation of linseed seeds collected from two field experiments conducted in 2011–2012. In the first experiment, reaction of two linseed varieties (Szafir and Amon) fertilized with five nitrogen (0, 20, 40, 60 and 80 kg·ha⁻¹ N) and two sulphur doses (0 and 10 kg·ha⁻¹ S) was tested, while in the second, the response of varieties Bukoz and Jantarol to five sowing density (400, 550, 700, 850, and 1000 seeds·m⁻²) was investigated. Applied fertilization doses and seeding rates only insignificantly differentiated fat content in the seeds and fatty acids profile in oil of studied linseed varieties. These features were significantly differentiated by genetic factor. Varieties with yellow colored seeds (Amon 41.6% and 41.6% Jantarol) accumulated significantly more fat in seeds than varieties with brown color seeds (Szafir 39.6% and 39.8% Bukoz). Seeds of varieties with traditional fatty acid composition (Szafir,

Bukoz, Jantarol) were characterized by high (almost 60%) linolenic acid content ($C_{18:3}$ ω -3) and an advantageous ratio of fatty acids: ω -6 to ω -3 (0.24:1), while the seeds of low linolenic variety Amon contained up to 70.2% of linoleic acid ($C_{18:2}$ ω -6) and characterized by a highly unfavorable ratio of ω -6 to ω -3 (31:1). The results showed a significant dependence of the fatty acid content according to the temperature in phase of seed maturation. At a lower temperature (2011), significantly more linoleic and linolenic acid in the oil was found, while at higher temperatures (year 2012) significantly higher content of oleic acid was observed ($C_{18:1}$ ω -9).

Key words: linseed, sowing density, nitrogen and sulphur fertilization, fat, fatty acid, habitat conditions

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 30.03.2017

Do cytowania – *For citation*

Wielebski F., Wójtowicz M., Spasibonek S. 2017. Zawartość tłuszczu oraz profil kwasów tłuszczowych w oleju żółto i brązowonasiennych odmian lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) w zmiennych warunkach agrotechnicznych i siedliskowych. *Fragm. Agron.* 34(2): 103–114.