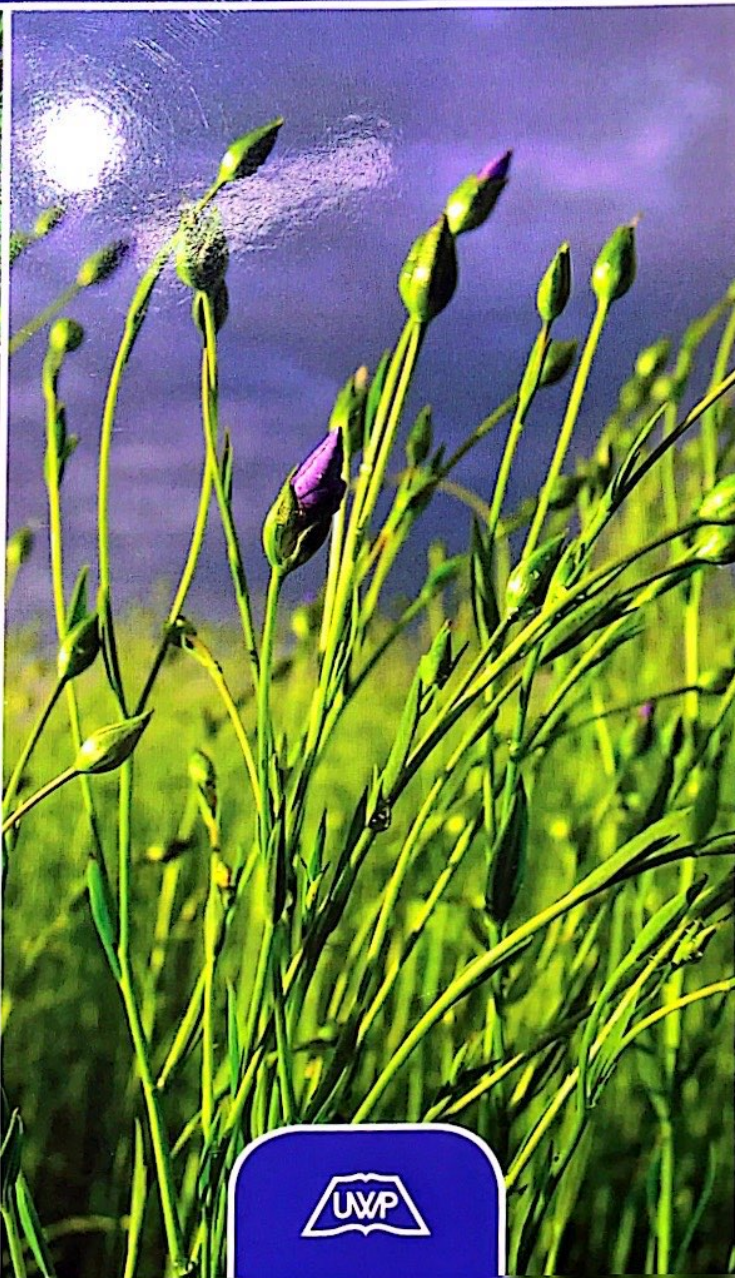


Anna Wondolowska-Grabowska

**Skład kwasów tłuszczowych
oraz wartość i jakość plonu nasion
jasno- i ciemnonasiennych odmian
lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.)
pod wpływem nawożenia
azotem, borem i siarką**



UWP

Autor
Anna Wondolowska-Grabowska

Recenzenci:
dr hab. inż. Ewa Szpunar-Krok, prof. UR
prof. dr hab. Iwona Bartkowiak-Broda

Redaktor merytoryczny
prof. dr. hab. Zofia Spiak

Opracowanie redakcyjne i korekta
Elżbieta Winiarska-Grabosz

Łamanie
Teresa Alicja Chmura

Okładka
Paweł Wójcik

Monografie CCXXVI

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław 2020

ISSN 2083-5531
ISBN 978-83-7717-318-3

DOI: 10.30825/1.12.2020

WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU PRZYRODNICZEGO WE WROCŁAWIU
Redaktor Naczelny – prof. dr hab. inż. Andrzej Kotecki
ul. Sopocka 23, 50-344 Wrocław, tel. 71 328 12 77
e-mail: wydawnictwo@upwr.edu.pl

Nakład 100 + 17 egz. Ark. wyd. 7,0. Ark. druk. 8,0
Druk i oprawa: KURSOR Spółka z o.o.
ul. Jana Długosza 2-6, 51-162 Wrocław

*Monografię tę dedykuję Mamie, mężowi
Piotrowi i moim dzieciom: Magdalenie,
Katarzynie i Mirosławowi.
Dziękuję Wam za wsparcie, wiarę we mnie
i za miłość – bez Was by ona nie powstała.*

SPIS TREŚCI

WSTĘP	9
1. PRZEGLĄD PIŚMIENICTWA	11
2. ZAŁOŻENIA I CEL BADAŃ	23
3. MATERIAŁ I METODY	25
3.1.1. Charakterystyka odmian.....	27
3.1.2. Warunki agrotechniczne doświadczeń	27
3.1.3. Warunki glebowe	28
3.1.4. Warunki klimatyczne.....	28
4. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA.....	37
4.1. Przebieg wegetacji na tle warunków meteorologicznych.....	37
4.1.1. Obsada roślin	40
4.2. Cechy morfologiczne roślin	42
4.3. Elementy struktury plonu nasion	49
4.4. Energia i zdolność kiełkowania	53
4.5. Struktura plonu	56
4.5.1. Masa słomy odziarnionej, nasion i plew z jednej rośliny	56
4.5.2. Udział słomy odziarnionej, nasion i plew w jednej roślinie lnu oleistego	60
4.5.3. Udział słomy odziarnionej, nasion, plew i zanieczyszczeń w plonie ogólnym	64
4.5.4. Udział słomy odziarnionej, nasion i plew w plonie ogólnym	66
4.6. Plon biologiczny słomy, nasion i plew	70
4.7. Zawartość składników mineralnych w nasionach	74
4.8. Zawartość składników organicznych w nasionach oraz wartość energetyczna nasion.....	78
4.9. Plon nasion, wydajność tłuszczu i białka oraz wartość energetyczna plonu nasion	83
4.10. Skład kwasów tłuszczowych w oleju lnianym	88
5. Wnioski	115
6. Piśmiennictwo	116
Streszczenie	125
Summary	127

WSTĘP

Produkcja oleju lnianego na świecie na przestrzeni lat 2008–2014 wzrosła z 500 tys. ton do blisko 686 tys. ton [FAOSTAT 2018]. W pierwszej dziesiątce największych producentów oleju lnianego na świecie znajdują się kraje Europy: Belgia (drugie miejsce), Luksemburg, Niemcy i Wielka Brytania. W strukturze zbiorów roślin oleistych w Polsce udział lnu oleistego w 2017 r., w porównaniu z rokiem 2015, wzrósł o około 0,15 punktów procentowych [GUS 2019], a powierzchnia jego uprawy w 2017 r. wynosiła 22 781 hektarów [FAOSTAT 2018].

Len jest rośliną o szerokich możliwościach jej wykorzystania, między innymi w przemyśle chemicznym, kosmetycznym i spożywczym. Prognozuje się, że powierzchnia uprawy lnu oleistego będzie się zwiększać. Przemawiają za tym głównie wzrost popytu na oleje roślinne, sprzyjający uprawie klimat Polski oraz właściwości dietetyczno–lecnicze nasion [Diepenbrock i in. 1995, Gambuś 2005, Zając i in. 2010].

Wykorzystanie nasion lnu oleistego w piekarnictwie do wypieku chleba powoduje, że do diety wprowadza się, obok białek i związków mineralnych, pożądane kwasy tłuszczowe. W mące lnianej występują P, K, Ca, Mg, S, Na, Fe, Mn oraz Zn [Aziza i in. 2013].

W oleju lnianym znajdują się kwasy tłuszczowe nasycone (SFA, ang. *Saturated Fatty Acids*) – niepożądane w diecie ze względów żywieniowych oraz kwasy nienasycone (PUFA, ang. *Polyunsaturated Fatty Acids*), MUFA, ang. *Monounsaturated Fatty Acids*), ważne w żywieniu ludzi, ale podatne na utlenianie. W wyniku utleniania tłuszczów zmniejsza się ich wartość odżywcza, przede wszystkim zmniejsza się zawartość niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (NNKT) i w konsekwencji witamin rozpuszczalnych w tłuszczach. Podatność tłuszczów na utlenianie jest zależna od ich składu chemicznego. W związku z tym ustalenie składu kwasów tłuszczowych, oprócz określenia jakości tłuszczów, może być pomocne przy wskazaniu możliwości ich wykorzystania. Dlatego też rodzaj tłuszczu ma istotny wpływ nie tylko na właściwości fizyczne i sensoryczne produktów, ale także na ich właściwości zdrowotne [Pieńkowska i in. 1999, Bhathena i in. 2003, Zając 2004a, Gambuś 2005, Żbikowska i Rutkowska 2008, Roche 1999, Lorenc-Kukuła i in. 2005, Wielebski 2009, Ostasz i Kondratowicz-Pietruszka 2011].

Poziom plonowania lnu oraz skład kwasów tłuszczowych oleju lnianego zależą od odmiany, zastosowanej agrotechniki, warunków siedliska oraz zachodzących między nimi interakcji, a nawożenie wywiera ogromny wpływ na jakość produkowanej żywności [Matras i in. 2013].

Nawożenie azotem w znacznym stopniu determinuje wielkość plonu i modyfikuje jego jakość. Intensywne nawożenie N powoduje wzrost zawartości białka z jednoczesnym spadkiem zawartości tłuszczu [Grant i in. 1999, Izsaki 1998, Aufhammer i in. 2000, Zajac i in. 2001, Kadar i in. 2004, Zajac 2004b, Wielebski 2011].

Ważnym pierwiastkiem w nawożeniu upraw lnu oleistego jest siarka. W Polsce, od lat osiemdziesiątych do roku 1998 emisja siarki w wyniku zastosowanych zgodnie z przepisami metod ochrony środowiska spadła z 70 kg·ha⁻¹ do 33 kg·ha⁻¹. Całkowita emisja SO₂ w 2015 roku wyniosła około 690 260 Mg i była dwukrotnie niższa w porównaniu z rokiem 2000 i w dalszym ciągu maleje. W kraju około 57% gleb jest ubogich w siarkę. Niedobór tego pierwiastka jest widoczny szczególnie na obszarach z przewagą gleb lekkich lub z intensywną produkcją rolniczą oraz tam, gdzie uprawia się dużo rzepaku i warzyw kapustnych. Na podstawie analiz chemicznych, które wykazują niską zawartość siarki w roślinach, dowiedziono, że występują w nich objawy utajone, a typowe objawy niedoboru są widoczne dopiero przy bardzo dużym braku tego pierwiastka. W związku z tym często obserwuje się wysoką efektywność nawożenia siarką, zwłaszcza roślin uprawnych z rodziny *Brassicaceae*. Dlatego należy w uprawach roślin uwzględniać nawożenie tym składnikiem i uznać, że włączenie siarki do nawożenia staje się koniecznością [Kozłowska-Strawska i Kaczor 2003, Wielebski i Skwierawska 2011, 2012].

Najbardziej deficytowym pierwiastkiem dla lnu jest bor. Odsetek gleb ubogich w ten mikroelement, na obszarze Polski, z powodu wysokich strat wynikających z jego wypłukiwania jest duży. W niektórych rejonach sięga ponad 90%. W okolicach Wrocławia wynosi od 70% do 90%. Nawet na glebach o średniej zasobności w bor może wystąpić u roślin jego brak w okresach niedoboru wody (suszy) albo gdy gleba jest zbyt kwaśna lub świeżo wapnowana. Niedobór boru w naszym kraju występuje w 50–70% roślin uprawnych. Niedostatek boru wzmagają się na glebach zarówno kwaśnych, jak i zasadowych, natomiast wzrost obserwuje się przy pH gleby poniżej 5,5 oraz powyżej 7,4 [Czuba 1986, Czuba i Mazur 1988, Blevins i Lukaszewski 1998, Czuba i in. 1999, Wielebski 2009].

Jednym z najważniejszych zadań współczesnego rolnictwa związanym z produkcją jest uzyskiwanie wysokich plonów o wysokiej jakości surowca. W związku z tym w niniejszej pracy podjęto próbę odpowiedzi na pytanie, w jakim stopniu nawożenie lnu oleistego N, S i B wpływa na zawartość tłuszczu i jakość kwasów tłuszczowych w nasionach, które są pożądane z żywieniowego punktu widzenia zarówno dla ludzi, jak i zwierząt.

Niniejsze opracowanie jest efektem badań prowadzonych w latach 2009–2011 w ramach grantu N N310 090836, pt.: Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem, borem i siarką na plon nasion i profil kwasów tłuszczowych jasno i ciemnonasiennych odmian lnu oleistego.

PRZEGLĄD PIŚMIENICTWA

Nasiona lnu oleistego średnio zawierają 34–41% tłuszczu, 20–23% białka, 22% bezazotowych związków wyciągowych, 9% błonnika, 3–3,4% popiołu i 7–8% wody [Ganorkar i Jain 2013]. W literaturze światowej istnieje wiele doniesień potwierdzonych badaniami o właściwościach prozdrowotnych kwasów tłuszczowych zawartych w oleju lnianym i jego korzystnym składzie z żywieniowego punktu widzenia [Borowiec i in. 2001, Gambuś 2005, Kasote 2013, Manukumar i in. 2014]. Olej lniany ze względu na swoje cenne właściwości biologiczne coraz częściej i szerzej wykorzystywany jest w wielu gałęziach przemysłu spożywczego, a ze względu na funkcjonalne właściwości służy do produkcji żywności wysokiej jakości odżywczej [Pieńkowska i in. 1999, Bhatena i in. 2003, Żbikowska i Rutkowska 2008, Singh i in. 2012].

Istnieje możliwość wykorzystania oleju lnianego jako potencjalnego surowca dla proekologicznych paliw i bazy surowców smarowych. Olej lniany tłoczony z nasion odmian o standardowym składzie kwasów tłuszczowych posiada wysoką zawartość kwasu linolenowego. Dlatego też należy on do olejów szybko schnących i znajduje zastosowanie w produkcji farb i lakierów [Wiślicki i in. 1995].

Len można uprawiać na terenach skażonych lub gruntach rekultywowanych [Klimont i in. 2014], gdyż gromadzi w nasionach niewielkie ilości metali ciężkich (Cu, Zn, Pb, Cd) – na poziomie dopuszczalnych norm dla olejów przeznaczonych na cele konsumpcyjne [Wiślicki i in. 1995, Strączyński i Andruszczak 1996]. Jednak na terenach o wysokim stopniu zanieczyszczenia metalami ciężkimi len gromadzi duże ilości ołowiu i w tym przypadku jego plon może być przeznaczony tylko na cele przemysłowe [Strączyński i Strączyńska 2007]. Na poziom gromadzenia metali ciężkich ma wpływ technologia uprawy. W porównaniu dwóch systemów uprawy, konwencjonalnej i ekologicznej, zawartość metali ciężkich w oleju z nasion lnu pochodzących z upraw ekologicznych była wyższa o 30 ppm Cd i 2,2 ppm Cu [Heller i in. 2010].

Siemię lniane zawiera średnio 700 razy więcej lignanów (fitoestrogenów) niż inne najczęściej spożywane produkty roślinne. Lignany redukują poziom cholesterolu i wykazują silne właściwości antyoksydacyjne, a dodawane do mieszanek dla drobiu [Barteczko i in. 2001], tuczników [Barowicz i in. 1997, Breja i in. 1998], buhajków [Barowicz i Brejta 2000, Breja i in. 1998] i jagniąt [Michalec-Dobija i in. 1999] podnoszą zawartość w tłuszczu zwierzęcym kwasów tłuszczowych wielonienasyconych, a szczególnie kwasu α -linolenowego [Barowicz i in. 1997, Białek i in. 2009]. Zauważono także korzystny spadek zawartości cholesterolu LDL we

frakcji lipidowej mięsa zwierząt. Także lepsze, pod względem prozdrowotnym i dietetycznym, okazało się mięso pochodzące ze zwierząt tuczonych mieszanką z dodatkiem nasion lnu. Żywnienie intensywnie tuczonych jagniąt z dodatkiem makuchu słonecznika (23,5%) i nasion lnu (5%) wpłynęło korzystnie na parametry jakości zdrowotnej mięsa, wątroby i serca, głównie dzięki wzrostowi zawartości kwasów wielonienasyconych PUFA (ang. *Polyunsaturated Fatty Acids*) (średnio o 39,1%), a zmniejszeniu jednonienasyconych MUFA (średnio 16,1%) [Siminska i in. 2011]. Jagnięta różnej płci karmione codziennie paszą z dodatkiem 3 g nasion lub 3 g oleju lnianego wykazały, poza wyższą zawartością białka w mięśniach, większą aktywność enzymów proteolitycznych w mięśniach [Rosochacki i in. 2006]. Zastosowanie nasion lnu (10%) w mieszankach pokarmowych dla koźląt może powodować korzystne zmiany w zawartości cholesterolu w tkance mięsnej [Borkowska 2011]. Hamburgery wyprodukowane na bazie mięsa zwierząt karmionych nasionami lnu wykazywały wzbogaconą ilość kwasów tłuszczowych z grupy *omega-3* [Turner i in. 2015]. Zastosowany 10% dodatek nasion lnu w żywieniu kur spowodował spadek intensywności żółtego koloru żółtek jaj, ale zwiększył ich nieśność [Aziza i in. 2013]. Dodatek 5% siemienia lnianego do diety w żywieniu przepiórek spowodował wzrost zawartości nienasyconych kwasów tłuszczowych, natomiast mniejszy dodatek do paszy nasion lnu (1,5 i 3%) obniżył stosunek n-6:n-3 z 21,3 do 4,52 [Da Silva i in. 2009].

Wykorzystanie nasion lnu oleistego w piekarnictwie [Mohamed i in. 2005] wiąże się z wprowadzeniem do diety między innymi białek tłuszczu oraz 9,06 ppm P, 11,6 ppm K, 4,08 ppm Ca, 6,53 ppm Mg, 3,55 ppm S, 532 ppm Na, -137 ppm Fe, 45,6 ppm Mn, 68,5 ppm Zn, 19,1 ppm Cu oraz 51,1 ppm Al [Aziza i in. 2013]. Według Gambuś i in. [2004] dodatek nasion lnu do chleba, w ilości 10–13%, powoduje wzrost zawartości białka średnio o 1,25% oraz tłuszczu o około 4% w porównaniu z wartością średnią (4,34%). Ponadto wpływa na wzrost zawartości kwasu α -linolenowego (n-3 PUFA) i polepsza wartość dietetyczną chleba, związaną ze zwiększoną zawartością fosforu, potasu, cynku i podwojeniem zawartości magnezu i miedzi. Autorzy pracy porównując jasnonasienną odmianę Hungarian Gold z brązowonasienną odmianą Opal wykazali, że barwa nasion nie wpływa znacząco na wartość dietetyczną chleba [Gambuś i in. 2004].

Podjęte są także próby stosowania procesu produkcji makaronu z pszenicy durum z dodatkiem 15 i 30% nasion lnu do suchej masy bazowej [Villeneuve i in. 2013]. Oczekuje się, że odmiany lnu, które będą stanowiły dobry surowiec do celów spożywczych – smażenia i gotowania – będą charakteryzowały się obniżoną zawartością kwasu linolenowego [Dribnenki i Green 1995, Grant i in. 1999].

Nasiona lnu są znanym i cenionym od wieków surowcem leczniczym. Z nasion lnu wytłacza się cenny olej zawierający znaczne ilości wielonienasyconych kwasów tłuszczowych [Roche 1999, Lorenc-Kukuła i in. 2005, Wróbel-Kwiatkowska i in. 2004]. Jakość uzyskanego oleju uzależniona jest od poziomu wilgotności nasion, której wartość uznana za odpowiednią wynosi 7,5–9% [Mińkowski i in. 2014].

W oleju lnianym znajdują się wolne kwasy tłuszczowe (FFA – ang. *Free Fatty Acids*), w tym nasycone (SFA – ang. *Saturated Fatty Acids*) i nienasycone (UFA – ang. *Unsaturated Fatty Acids*). W grupie kwasów tłuszczowych nienasyconych występują kwasy jednonienasycone (MUFA – ang. *Monounsaturated Fatty Acids*) i wielonienasycone (PUFA – ang. *Polyunsaturated Fatty Acids*). Z żywieniowego punktu widzenia wyróżnia się kwasy tłuszczowe, które mają wpływ na organizm człowieka lub są dla niego niezbędne. Do nich zalicza się NNKT – niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe (ang. EFA – ang. *Essential Fatty Acid*), *omega* ω -3

i ω -6, a także DFA (suma kwasów tłuszczowych neutralnych oraz hipocholesterolemicznych, nienasyconych UFA), OFA (suma kwasów tłuszczowych hipercholesterolemicznych) i inne. Wielonienasycone kwasy tłuszczowe (WNKT, PUFA – najczęściej spotykane w przyrodzie z 2 do 6 wiązaniami podwójnymi) obejmują podgrupę NNKT, w której wyróżniamy kwasy ω -3, nazywane również *n*-3 PUFA lub rodziną kwasu α -linolenowego C18:3 (ALA), albo grupę kwasów tłuszczowych wielonienasyconych. Drugą podgrupę stanowią kwasy ω -6 (*n*-6 PUFA lub rodzina kwasu linolowego – C18:2, LA) Zarówno kwas α -linolenowy, jak i γ -linolenowy (C18:3, odpowiednio *n*-3 oraz *n*-6) powstają w wyniku przemian kwasu linolowego, podobnie jak i wiele innych cennych kwasów wielonienasyconych, m.in. kwas arachidonowy C20:4 (AA), kwas eikozapentaenowy C20:5 (EPA) czy kwas dokozaheksaenowy C22:6 (DHA) [Marciniak-Łukasiak 2011].

Olej lniany zawiera 50–58% estru glicerynowego kwasu α -linolenowego, który jest nienasyconym kwasem tłuszczowym typu *omega*-3; ok. 15% estru glicerynowego kwasu linolowego, który jest dwunienasyconym kwasem tłuszczowym typu *omega*-6; ok. 17% estru glicerynowego kwasu oleinowego, który jest jednonienasyconym kwasem tłuszczowym typu *omega*-9. W mniejszych ilościach w oleju lnianym znajdują się glicerydy innych kwasów, np. kwasu mirystynowego, kwasu palmitynowego, kwasu stearynowego, kwasu erukowego, kwasu arachidowego, kwasu arachidonowego – wielonienasyconego kwasu tłuszczowego. Występują także niezestryfikowane, wolne kwasy tłuszczowe [Gomez-Alonso i in. 2003].

Oddziaływanie oleju lnianego na organizm ludzki związane jest głównie z obecnością nienasyconych kwasów tłuszczowych typu *omega*-3, *omega*-6 i *omega*-9 oraz lignanów [Jhala i Hall 2010]. W nasionach o wilgotności około 7% znajduje się 54,7% kwasu tłuszczowego *omega*-3 [Singh i in. 2012]. Oddziaływanie kwasów tłuszczowych na organizm ludzki, w ocenie pojedynczego związku lub grupy (rodziny) związków, jest bardzo podobne lub niemalże identyczne, ale siła ich oddziaływania jest zróżnicowana. Kwas linolowy (C18:2, *n*-6 LA) hamuje powstawanie i rozwój nowotworów piersi, skóry, jelita grubego i pierwotnego raka wątroby [Chin i in. 1992, Stanley 2001]. Stwierdzono także, że sprzężone dieny kwasu linolowego wykazują działanie antymutagenne, obniżają poziom cholesterolu we krwi, szczególnie frakcji LDL, przeciwdziałają miażdżycy indukowanej drogą pokarmową, poprawiają tolerancję na węglowodany, a także zmniejszają zawartość tłuszczu w masie ciała [Kritchevsky 2000, Lawson i Moss 2001]. Według zaleceń ISSFAL (ang. *International Society for the Study of Acids and Lipids*) wystarczające spożycie kwasu linolowego LA *omega*-6, dla zdrowych osób dorosłych, powinno wynosić nie więcej niż 6,67 gramów na dzień [Barylski i Banach 2009].

Kwas arachidonowy (C20:4, AA) bierze udział w budowie błon komórkowych neuronów mózgu i fotoreceptorów siatkówki oka, a także ma wpływ na pracę serca, oddziałuje na komórki naczyń wieńcowych. Jest on niezbędny do prawidłowego rozwoju mózgu dziecka już w okresie prenatalnym, stąd stanowi ważny składnik mleka modyfikowanego dla wcześniaków i niemowląt w celu zapewnienia prawidłowego rozwoju (tempa wzrostu, ostrości widzenia, funkcji poznawczych). Z kolei kwas dokozaheksaenowy (C22:6, DHA) to ważny składnik fosfolipidów błon komórkowych i bierze udział w regulacji ich przepuszczalności. Występuje w błonach komórkowych całego organizmu, włączając w to błony komórkowe siatkówki oka oraz neuronów kory mózgowej, gdzie stanowi połowę z wszystkich kwasów tłuszczowych. Deficyt DHA w komórkach nerwowych wiąże się z zaburzeniami systemu nerwowego, zwiększoną wrażliwością na stres, nadpobudliwością, hiperaktywnością, agresją, oraz dysleksją i schizofrenią [Logan 2004]. Jego właściwy poziom w organizmie zmniejsza ryzyko występowania reakcji alergicznych i atopowego zapalenia skóry [Kolanowski 1998, Nowak 2009].

Zespół kwasów linolowego, linolenowego oraz arachidonowego jest nazywany synonimowo witaminą F [Łukaszewicz i in. 2004].

Obecność w pożywieniu sumy kwasów tłuszczowych nasyconych (SFA) ma decydujący wpływ na wzrost poziomu cholesterolu w osoczu krwi (efekt hipercholesterolemiczny). Liczne badania naukowe wskazują, że nasycone kwasy tłuszczowe zwiększają ryzyko powstawania chorób serca i układu krążenia, a nadmierne ich spożycie zwiększa tendencję nie tylko powstawania zakrzepów naczyniowych, ale także wystąpienia zawału mięśnia sercowego [Engler i Engler 2006]. Odpowiedzialność za to ponoszą kwasy nasycone z 12÷16 atomami węgla w łańcuchu, tj. laurynowy, mirystynowy i palmitynowy. Niekorzystne działanie tych kwasów koncentruje się na wzroście zawartości niskocząsteczkowej postaci cholesterolu, tzw. LDL (*low density lipoprotein cholesterol*) [Ziemlanski 1991, Murawa i in. 1997, Jimenez-Colmenero i in. 2001].

MUFA – jednonienasycone kwasy tłuszczowe, szczególnie kwas oleinowy C18:1, pełnią rolę ochronną w profilaktyce miażdżycy, wykazują właściwości hipocholesterolemiczne, obniżając poziom ogólnego cholesterolu oraz LDL, jednakże nie obniżają zawartości lipoprotein o wysokiej gęstości (HDL) i nie powodują wzrostu poziomu trójglicerydów [Kris-Etherton 1999].

Wielonienasycone kwasy tłuszczowe mogą jednak łatwo ulegać oksydatywnej modyfikacji w LDL, co ułatwia wychwyt utlenionych cząstek LDL przez makrofagi i nasila proces miażdżycy. Z tego względu zwiększonemu spożyciu tych kwasów powinno towarzyszyć większe pobranie składników o działaniu antyoksydacyjnym [Simopoulos 1999].

W profilaktyce chorób układu krążenia podkreśla się ochronną rolę wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (WNKT), szczególnie kwasów z rodziny n-3 i n-6. Wykazano, że kwas linolowy (n-6) wywiera wyraźne działanie hipocholesterolemiczne, szczególnie wobec stężenia cholesterolu LDL we krwi [Simopoulos 1999, Mantzioris i in. 2000, Gambuś i in. 2001, 2003, Gambuś 2005]. Mechanizm działania opisano na podstawie badań, gdzie zastąpiono część nasyconych kwasów tłuszczowych kwasem linolowym, który wpływał znacząco na aktywność receptorów LDL. Kwasy z rodziny n-6 silnie zmniejszają wydzielanie z wątroby cząstek VLDL, które mają wysoki potencjał aterogeny. Kwasy z rodziny n-3 natomiast hamują syntezę i sekrecję VLDL silniej niż n-6, tym samym obniżają stężenie trójglicerydów we krwi [Simopoulos 1999]. Badania *in vitro* wykazały, że kwas eikozapentaenowy (C20:5 n-3) wpływa na obniżenie syntezy estrów cholesterolu w hepatocytach poprzez hamowanie acylotransferazy cholesterolowej, co może odpowiadać za zmniejszenie produkcji VLDL przez ten narząd [Cantwell 2000]. W innych badaniach [Simopoulos 1999, Cantwell 2000, Mantzioris i in. 2000] wykazano, że wielonienasycone kwasy tłuszczowe z rodziny n-3 stymulują receptory dla LDL, co obniża stężenia tej frakcji cholesterolu w osoczu. Kwasy te zmniejszają ponadto zdolność płytek krwi do agregacji, działają przeciwadhezyjnie, a także prawdopodobnie wpływają korzystnie na lepkość krwi i przeciwdziałają deformacji erytrocytów. Kwas α -linolenowy (ALA, n-3) hamuje syntezę trójglicerydów w wątrobie. W badaniach *in vitro* na hepatocytach wykazano, że oleje rybne upośledzają funkcjonowanie enzymu acylotransferazy diacyloglicerolowej, który bierze udział w ostatnim etapie syntezy trójglicerydów oraz fosfohydrolazy, który także katalizuje włączenie kwasu fosfatydowego do cząstki diacyloglicerolu [Cantwell 2000, Bhattacharya i in. 2006]. Według ISSFAL (ang. *International Society for the Study of Acids and Lipids*) dzienne spożycie kwasu α -linolenowego C18:3 (ALA) przez zdrowego dorosłego człowieka powinno wynosić około 2,22 gramów na dobę [Barylski i Banach 2009].

Uważa się, że kwasy *omega-3* są niezbędne w prawidłowym rozwoju układu nerwowego u dzieci; zapobiegają i wspomagają proces leczenia Zespołu Nadpobudliwości (ADHD). Kwas α -linolenowy (ALA) jest podstawowym źródłem kwasu DHA będącego bardzo ważnym składnikiem mózgu. Niski poziom DHA związany jest ze zmianami nastroju, utratą pamięci, problemami ze wzrokiem i występowaniem schorzeń neurologicznych, a więc sugeruje się korzystne oddziaływanie oleju lnianego w zaburzeniach psychicznych z dominującymi objawami obniżenia nastroju oraz w schorzeniach neurologicznych. Olej lniany korzystnie wpływa na proces odłuszczenia wątroby [Siger i in. 2005, Choo i in. 2007, Piotrowska i Furrowicz 1998].

Inne pozytywne oddziaływanie na organizm ludzki kwasów tłuszczowych *omega-3* polega na hamowaniu rozwoju niektórych chorób, w tym choroby wieńcowej i niedokrwiennej serca, miażdżycy, cukrzycy typu II, redukowaniu stężenia triacylogliceroli w osoczu krwi, działaniu przeciwzakrzepowym, normalizacji ciśnienia krwi, korzystnym oddziaływaniu na skórę, ochronie układu immunologicznego, działaniu przeciwnowotworowym, przeciwdepresyjnym oraz przeciwdziałaniu otyłości. Kwasy z grupy *n-3* zmniejszają śmiertelność spowodowaną arytmia serca, nagłą śmiercią kardiologiczną lub długotrwałym zwapnieniem naczyń. Kwasy te przypisuje się także pozytywne działanie w okresie rekonwalescencji w stanach po zawale serca i w nadciśnieniu. PUFA *n-3* przeciwdziałają takim chorobom autoimmunologicznym jak reumatyzm i artretyzm. Uważa się, że mają korzystny wpływ na pracę nerek i mogą przeciwdziałać ich chronicznym stanom zapalnym [Simopoulos 1994, 1999, 2001, Noguchi i in. 1995].

Nie ustalono dotychczas optymalnej ilości dziennego spożycia PUFA *n-3* przez człowieka zdrowego lub chorego. Niemniej jednak, jak podają Departament of Health, American Heart Association i The American Dietetic of Canada oraz ISSFAL (International Society for the Study of Acids and Lipids) dzienne zapotrzebowanie dorosłego człowieka na DHA i EPA określa się na poziomie 0,2–0,3 g, natomiast za pożądane spożycie uznaje się około 0,65–1 g [Barylski i Banach 2009, Zymon i Strzetelski 2010, Marciniak-Łukasiak 2011, Materac i Marczyński 2013]. Stąd też poziom spożycia PUFA jest kluczowym wskaźnikiem jakości zdrowotnej pokarmu. Nienasycone kwasy tłuszczowe, niezależnie od liczby i pozycji podwójnych wiązań lub konfiguracji, są skuteczne w zmniejszaniu wskaźników aterogenicznego (AI) i trombogenicznego (TI), poprawie zdrowia serca poprzez minimalizację tworzenia płytek miażdżycowych i obniżanie poziomu estrów kwasów tłuszczowych, cholesterolu i fosfolipidów [Ramsden i in. 2010]. NNKT nasilają procesy przemiany materii. Olej lniany jest jednym z najbogatszych źródeł kwasu α -linolenowego (ALA) spośród tłuszczów roślinnych (44–57% sumy kwasów tłuszczowych), zawiera również 15–29% kwasu linolowego [Pieńkowska i in. 1999].

Pomimo tych zalet należy pamiętać, że kwasy tłuszczowe z rodziny *n-3* i *n-6* wykazują wzajemnie antagonistyczne działanie. Na przykład nadmierna produkcja eikozanoidów powstałych z kwasu arachidonowego *n-6* powoduje zwężenie światła naczyń krwionośnych, stymuluje progresję zmian zakrzepowych, rozrost nowotworowy, szczególnie guzów sutka i komórek rakowych okrężnicy oraz prostaty, jak również wywołuje silne reakcje zapalne oraz alergiczne, zwłaszcza u osób wrażliwych [Materac i Marczyński 2013]. Z kolei eikozanoidy powstałe z kwasów *n-3* (np. kwasu eikozapentaenowego, EPA) wykazują działanie przeciwzapalne, przeciwzakrzepowe, hamują nadmierną kurczliwość naczyń krwionośnych oraz rozwój nowotworów [Tsai i in. 1998, Noguchi i in. 1995]. Za najistotniejszy według dietetyków uważany jest stosunek kwasów *n-6* do *n-3* w pożywieniu. Wzajemna proporcja pomiędzy

kwasami *omega-6* do *omega-3* w oleju lnianym jest bardzo korzystna dla organizmu ludzkiego, chociaż za optymalną uznaje się 4–5 : 1 [Jelińska i in. 2003, Jelińska 2005]. Według FAO/WHO powinna ona wynosić około 5–10 : 1, natomiast Turley i Strain [1993] uważają, że tylko niższe proporcje 2,5–5 : 1 są korzystne. Podobnie za bardzo ważny uznaje się stosunek kwasów hipocholesterolemicznych do hipercholesterolemicznych (HH) oraz indeksy trombogenny (TI) i aterogenny (AI) [Ulbricht i Southgate 1991].

Istotnym jest fakt, że organizm człowieka może samodzielnie wytwarzać własne kwasy tłuszczowe, szczególnie na drodze metabolicznej z kwasu linolenowego [Givens i in. 2000]. Niemniej jednak są to niemal wyłącznie pochodne nasycone i jednonienasycone, a zdolność przekształcania kwasu linolenowego w DHA maleje wraz z wiekiem [Wright i in. 1998].

Należy także zauważyć, że NNKT z rodziny n-3 i n-6 są syntetyzowane wyłącznie przez rośliny oraz niektóre zwierzęta [Gertig i Przysławski 1994] i należy je dostarczyć wraz z dietą. Olej lniany jest bogatym źródłem kwasu α -linolenowego i linolowego, natomiast podstawowym i jedynym źródłem kwasów DHA i EPA są tłuszcze z ryb i zwierząt morskich oraz oleje otrzymywane z hodowli specyficznych mikroalg i grzybów morskich [Nettleton 1995]. Rośliny syntetyzują kwas linolenowy C18:3, który może być przekształcony w organizmie człowieka do EPA i później do DHA [Connor 1999, Voss i in. 1991].

Nasiona lnu zawierają dużo błonnika głównie jego frakcji rozpuszczalnej (przede wszystkim gumy) o działaniu hipocholesterolemicznym i hipoglikemicznym. Innym cennym składnikiem nasion są śluzy, które działają osłaniająco, przeciwkaszlowo i lekko przeczyszczająco. Nasiona lnu są bogatym źródłem lignanów – fitoestrogenów o działaniu przeciwnowotworowym, które wykazują aktywność hormonalną oraz posiadają silne właściwości przeciwutleniające [Kasote 2013].

Olej lniany zawiera witaminy rozpuszczalne w tłuszczach, głównie witaminę E – ok. 0,02–0,03%, tylko 9,8–10% nasyconych kwasów tłuszczowych, barwniki organiczne (takie jak ksantofil, chlorofil, erytrofil), fruktooligosacharydy, lignany, w bardzo małych ilościach śluzy oraz inne związki [Gomez-Alonso i in. 2003].

W nasionach lnu znajduje się cenna dla komórek nerwowych organizmu człowieka lecytyna oraz glikozyd linamaryna, który obniża wartość pastewną i leczniczą nasion lnu [Walkowiak 2007].

Olej lniany jest stosowany wewnętrznie, jako środek wspomagający, w miażdżycy, zapaleniu gardła i przełyku, chorobie wrzodowej żołądka i dwunastnicy, przewlekłych stanach zapalnych jelit, chronicznych zaparciach, reumatyzmie i artretyzmie, chorobie wieńcowej (także w profilaktyce) [Heller i in. 2010, Amin i Thakur 2014]. Nienasycone kwasy tłuszczowe zawarte w oleju lnianym są prekursorami do syntezy prostacyklin wpływających na rozszerzanie naczyń wieńcowych i zwiększenie siły skurczu mięśnia sercowego; skłonności do zatorów i zakrzepów, wypadaniu włosów, cukrzycy, chrypce, suchym kaszlu, nadciśnieniu, depresji, chorobach przebiegających z osłabieniem odpowiedzi immunologicznej. Zakłada się, że obecne w oleju lnianym fitohormony (lignany) eliminują nadmierną ilość wolnych rodników, a tym samym wspomagają leczenie chorób alergicznych oraz autoimmunologicznych (np. *systemic lupus erythematosus*, *psoriasis*, *sclerosis multiplex*) i może mieć to korzystny wpływ w profilaktyce chorób nowotworowych [Kolanowski i Świdorski 1997, Ostasz i Kondratowicz-Pietruszka 2011].

Olej lniany zastosowany zewnętrznie wykazuje działanie przeciwzapalne, łagodzące, rozmiękczejące. Przyspiesza regenerację naskórka i skóry właściwej (np. po ostrych stanach zapalnych czy oparzeniach), udrażnia gruczoły łojowe, wspomaga zahamowanie rozwoju bak-

terii. Olej lniany ułatwia leczenie odleżyn, owrzodzeń i czyraków. Odznacza się niewielkim działaniem przeciwświądowym i przeciwalergicznym. Stosowany pomocniczo w trądziku, łojotoku, zmianach zaskórnikowych. Jest bardzo dobrze tolerowany przez skórę – efektywnie natłuszcza i nawilża, nadaje miękkość i elastyczność. Łagodzi objawy suchych egzem. Stosowany jest bardzo często w zewnętrznym leczeniu zmian łuszczycowych. Odpowiedni procent kwasu α -linolenowego gwarantuje, że nie dochodzi do powstawania zaskórników. Zawarte w oleju fitohormony – lignany hamują aktywność 5- α -reduktazy, który powoduje łysienie u mężczyzn. Ponadto olej lniany, stosowany w postaci ciepłych okładów, wpływa korzystnie na stan włosów i paznokci. Bardzo korzystny efekt terapeutyczny odnosi się w leczeniu stanów zapalnych, oparzeń i odmrożeń skóry. Jest stosowany również do pielęgnacji skóry suchej przy atopowych zapaleniach, nadmiernej suchości czerwieni wargowej, trudno gojących się ran i wyprysków [Łukaszewicz i in. 2004].

W zwyczajowym żywieniu człowieka zwykle występuje deficyt kwasów rodziny n-3, której prekursorem jest kwas ALA, dlatego olej lniany dodawany do potraw mógłby uzupełniać niedobór tego kwasu tłuszczowego [Gambuś i in. 2004]. Zastosowanie oleju lnianego w żywieniu jest jednak ograniczone ze względu na jego podatność na procesy utleniania, prowadzące do obniżenia walorów organoleptycznych i zdrowotnych oleju, a także do wytworzenia szkodliwych związków o charakterze wolnych rodników oraz związków toksycznych i kancerogennych, takich jak aldehydy i cykliczne monomery. Nasiona lnu zarówno wysoko- jak i niskolinolenowego gromadzą pewne ilości związków o właściwościach przeciwutleniających. Oprócz wspomnianych lignanów w nasionach lnu występują tokoferole, głównie γ -tokoferol, karotenoidy (związki hydrofobowe), a także kwasy fenolowe [Kasote 2013]. Nasiona lnu zawierają niewielkie ilości antocyjanów, takich jak glukorutynozydy, pelargonidyny, cyjanidyny i delfinidyny. Związki te mają w większości charakter hydrofilowy [Singh i in. 2012].

Zainteresowanie flawonoidami i fenolokwasami jako składnikami żywności jest uzasadnione ze względu na ich właściwości antyoksydacyjne, wpływające korzystnie na status antyoksydacyjny organizmu człowieka i zmniejszające podatność lipoprotein na działanie reaktywnych form tlenu, a co za tym idzie, zmniejszające prawdopodobieństwo wystąpienia chorób układu krążenia. Flawonoidy wykazują również działanie przeciwnowotworowe ze względu na ich ochronny wpływ na strukturę białek, DNA i organelli komórkowych narażonych na działanie wolnych rodników oraz innych kancerogenów. Obecność związków o charakterze przeciwutleniającym w produktach żywnościowych powoduje ponadto zahamowanie procesów utleniania składników odżywczych, które prowadzą do obniżenia wartości odżywczej, a także powstania szkodliwych dla zdrowia związków. Do produktów żywnościowych szczególnie narażonych na destrukcję na skutek procesów utleniania należą tłuszcze, głównie oleje z dużą zawartością kwasów wielonienasyconych. Związki przeciwutleniające gromadzone w nasionach w różnym stopniu przechodzą do oleju, ale ich zawartość zmienia się w trakcie procesów oczyszczania oleju, a największa ich ilość występuje w oleju tłoczonym na zimno i poddanym jedynie filtracji [Lemcke-Norojärvi i in. 2001].

Zarówno związki hydrofobowe, jak i hydrofilowe wykazują działanie stabilizujące olej. Stwierdzono, że duża efektywność związków hydrofilowych jako przeciwutleniaczy w oleju wynika z tego, że ze względu na małe powinowactwo do fazy lipidowej nie ulegają rozproszeniu w oleju. Skupiają się one natomiast wokół pęcherzyków powietrza znajdujących się w oleju i tym samym chronią olej przed wpływem tlenu atmosferycznego [Tuberoso i in. 2007]. Zwiększenie zawartości związków fenolowych w oleju lnianym mogłoby wpłynąć korzystnie na jego stabilność oksydacyjną, a zarazem podwyższyć jego wartość prozdrowotną

jako źródła przeciwutleniaczy w pożywieniu. Przeprowadzono wiele badań, w których wykazano, iż dodatek czystych związków fenolowych czy też całych frakcji metanolowych uzyskanych z różnych surowców roślinnych zwiększa odporność na utlenianie olejów o wysokiej zawartości wielonienasyconych kwasów tłuszczowych [Olejnik i in. 1997].

W związku z tak pozytywnym oddziaływaniem oleju lnianego na zdrowie i życie człowieka wskazane jest badanie nowych odmian i wprowadzanie do uprawy już sprawdzonych o optymalnych parametrach ilościowych i jakościowych. Prawidłowy ich dobór wpływa na uzyskaną wielkość plonu nasion [Bocianowski i Praczyk 2013a, Zajac i Kulig 2001, Zajac i in. 2001]. Czynniki genetyczne determinuje skład chemiczny nasion lnu, a w szczególności zawartość między innymi białka, tłuszczu i ich wartość odżywcza [Zajac i in. 2001]. W hodowli nowych odmian dąży się do uzyskania coraz to wyższych plonów i większej odporności roślin na choroby, głównie rdzę i fuzariozę oraz wyleganie [Wielgusz i Heller 2011, Praczyk i Silska 2013]. Metoda tradycyjna, mutacyjna i z wykorzystaniem kultur *in vitro* w hodowli lnu oleistego zmierza do zmian typowego składu kwasów tłuszczowych i koncentruje się na obniżeniu zawartości kwasu linolenowego [Walkowiak 2007]. Rowland i Bhatti [1990] oraz Rowland [1991] w badaniach nad odmianą McGregor, o standardowym składzie kwasów tłuszczowych, tj.: palmitynowy 6,8%, stearynowy 3,7%, oleinowy 17,9%, linolowy 15,8% i linolenowy 54,5%, otrzymali mutanty o zmienionych proporcjach kwasów tłuszczowych. Uzyskali podwyższoną do 28,4% zawartość kwasu palmitynowego, do 34,7% kwasu oleinowego i do 30,1% zawartości linolowego, a obniżoną do 25,2% zawartość kwasu linolenowego u różnych osobników. Jeden z mutantów charakteryzujący się największymi zmianami posiadał zawartość kwasu linolowego około 70,3%, a zawartość kwasu linolenowego określono u niego na poziomie nieprzekraczającym 2%. Pożądane efekty z niską zawartością kwasu linolenowego uzyskano także poprzez hodowlę mutacyjną [Green i Marshall 1984]. W konsekwencji otrzymano pierwszą niskolinolenową odmianę lnu [Dribnenki i Green 1995, Grant i in. 1999].

Obecnie w Polsce prowadzone są badania zajmujące się porównywaniem produktywności odmian jasno- i ciemnonasiennych. Ocenia się je między innymi na podstawie wartości plonotwórczej, zawartości oleju oraz składu i udziału kwasów tłuszczowych. Badania Gambus i in. [2003] nad lnem wykazują, że skład chemiczny nasion jasnych i ciemnych różni się wskazując na korzystniejszy u odmian jasnonasiennych. Odmiany jasnonasienne gromadzą większą ilość tłuszczu w nasionach (42,15%) niż brązowo-nasienne (41,47%), ale odmiany o brązowej barwie nasion uzyskują wyższy plon nasion o około 113 kg z 1 ha, co stanowi dodatkową przesłankę do porównywania takich odmian [Piotrowska i Furowicz 1998, Saeidi i Rowland 1999, Zajac i in. 2001].

Len wykazuje bardzo wysoką zmienność plonowania, w ogromnym stopniu uwarunkowaną przebiegiem warunków meteorologicznych oraz czynnikami środowiska. Zróżnicowanie wielkości plonu może wynikać z nierównomiernego rozkładu opadów i temperatury [Antoniewicz i Zajac 2005]. Niedobory wilgoci przed siewem oraz deszczowa i chłodna pogoda w czasie wegetacji lnu sprzyjają bardzo wysokiemu zachwaszczeniu, które wywiera negatywny wpływ na plon [Heller i Adamczewski 2010]. Wysokie temperatury powietrza sprzyjają występowaniu fuzaryjnego wędnięcia roślin lnu [Andruszewska i Byczyńska 2005]. Badania wielu autorów wykazały duże wahania plonu w latach wynoszące od 0,31 Mg·ha⁻¹ do ponad 3 Mg·ha⁻¹, natomiast różnica między minimalnym a maksymalnym plonem w roku badań może wynosić nawet 1,95 Mg·ha⁻¹ [Diepenbrock i in. 1995, Zubal 2001, D'Antuono i Rossini 2006, Klimont i in. 2014]. W badaniach Bocianowskiego i Praczyka [2013b] uzyskany plon

nasion lnu oleistego był zmienny, a różnica w plonie była dwukrotna, uzyskując średnią jego wartość w jednym roku 646 kg, a w kolejnym 120 kg z 1 ha [Stražil i Vorlíček 2004, Bocianowski i Praczyk 2013b].

Wielu autorów wykazuje, niezależnie od badanych czynników, różnice w składzie kwasów tłuszczowych u odmian [Zajac i in. 2010, Klimek-Kopyra i in. 2013]. Skład kwasów tłuszczowych w oleju z nasion jest modyfikowany w dużym stopniu przez warunki środowiska [Spasibionek 2002]. Także sposób uprawy wpływa na profil kwasów tłuszczowych. Nasiona lnu z upraw konwencjonalnych mogą mieć wyższą o około 6%, zawartość kwasu linolowego, natomiast z ekologicznych – wyższą zawartość kwasów: linolenowego o około 4% i oleinowego o blisko 3% [Heller i in. 2010]. Natomiast Zajac i in. [2002] twierdzą, że warunki miejsca uprawy różnicują w nikłym stopniu zawartość tłuszczu i skład kwasów tłuszczowych oleju odmian lnu oleistego.

Wielkość plonów, zawartość tłuszczu i jego jakość zależą od nawożenia. Len oleisty pod względem nawożenia jest średnio wymagający. Na pierwszym miejscu jest nawożenie potasowe i fosforowe, dopiero potem azotowe. Istotne jest również nawożenie mikroelementami [Andruszewska i in. 2001, Tsyganov i in. 2000, Tsyganov i Kukresh 2002]. Według Andruszewskiej i in. [2001] stosowanie nawozów z mikroelementami, Chelat Zn, Chelat Cu i Tytanit, poprawia opłacalność uprawy lnu. Nawożenie potasem i fosforem przynosi korzystne efekty w postaci poprawnego wykształcenia nasion i ich szybszego dojrzewania oraz zwiększonego plonu o około 6,2% [Zajac 2005]. Fosfor dodatkowo odpowiada za zwiększenie w nich zawartości tłuszczu. Dembiński [1975], Grant i in. [1999], Antoniewicz i Zajac [2005] wskazują na pozytywny efekt łącznego stosowania makro- i mikroelementów w uprawie lnu.

Zarówno siarka, bor, jak i azot mają wpływ na gromadzenie się składników pokarmowych w nasionach, modyfikują zawartość poszczególnych związków, w tym zwiększają zawartość białek, węglowodanów, tłuszczów, enzymów oraz witamin i innych substancji w nasionach [Czuba i Mazur 1988, Czuba i in. 1999].

Nawożenie azotem jest niezbędnym zabiegiem w uprawie lnu oleistego. Jego niedobór powoduje karłowacenie roślin. Pierwiastek ten występuje w roślinie głównie w postaci związków organicznych. Wchodzi w skład białek budujących łańcuchy DNA i RNA. Jest makroelementem, który najbardziej przyczynia się do wyżki plonów. Jednak jego nadmiar jest sprawcą zbyt dużego wzrostu tkanek miękkich w stosunku do tkanek mechanicznych, co w konsekwencji powoduje wyleganie. Zbyt duże dawki azotu prowadzą także do nadmiernego rozgałęziania się roślin, ograniczenia plonowania nasion, wydłużenia okresu wegetacyjnego i dojrzewania, oraz obniżenia zawartości tłuszczu w nasionach [Izsaki 1998, Grant i in. 1999, Aufhammer i in. 2000, Zajac i in. 2001, Kadar i in. 2004, Zajac 2004a]. W badaniach [Zajac i Kulig 2001] stwierdzono, że zwiększanie udziału azotu w dawce nawozowej NPK wynoszącej 90, 180, 270 kg·ha⁻¹ nie prowadziło do wzrostu plonu nasion, który wahał się od 2,11 do 2,18 t·ha⁻¹. Wzrost dawki nawożenia azotem powoduje zwiększenie procentowej zawartości nienasyconych kwasów tłuszczowych z jednoczesnym zmniejszeniem kwasów nasyconych w oleju lnianym [Yalcin i in. 2011]. Stosowanie zróżnicowanych dawek N (0, 60, 80 i 100 kg·ha⁻¹) pozwoliło na wskazanie dawki (60 kg N·ha⁻¹), która przyczyniła się do najwyższej koncentracji węgla w łodygach i torebkach [Poiša i Adamovičs 2012].

Siarka wpływa na zawartość i jakość białka, cukrów i tłuszczu oraz ogranicza nadmierne gromadzenie się azotanów w roślinie. Niewątpliwie może spowodować wzrost plonów w sposób pośredni, wpływając na metabolizm azotu w roślinie. Siarka występuje w aminokwasach (metionina, cystyna, cysteina) niezbędnych do syntezy białka, uczestniczy w procesach bu-

dulcowych. Jest niezbędna w procesie fotosyntezy, a także bierze udział w syntezie chlorofilu i ligniny. W wyniku niedoboru dochodzi do zahamowania wzrostu, rośliny są sztywne i kruche, a liście mają skłonność do blaknięcia. Przy dobrym zaopatrzeniu w siarkę maleje stosunek N : S, wzrasta zawartość białka, a maleje ilość N-niebiałkowego i N-NO³, zwiększa się ilość tłuszczu w nasionach i wzrasta plon. Siarka wpływa na wzrost efektywności i skuteczności nawozów azotowych w nawożeniu roślin lnu [Kozłowska- Strawska i Kaczor 2003].

Jednym z najważniejszych mikroelementów dla roślin jest bor. Pierwiastek ten słabo przemieszcza się w roślinie, dlatego jego niedobór w glebie powoduje niską zawartość już w najmłodszych częściach rośliny [Szukalski 1979]. Bor pomimo tego że nie wchodzi w skład enzymów i nie jest ich aktywatorem, bierze udział w tworzeniu struktur ścian komórkowych, odgrywa ważną rolę w procesie kiełkowania pyłku i we wzroście łagiewki pyłkowej oraz wpływa na biosyntezę giberelin, metabolizm węglowodanów i równowagę hormonalną. Tym samym dodatkowo wpływa na kiełkowanie nasion, przyczynia do wzrostu oraz zdrowotności roślin, co w konsekwencji ogranicza nakłady finansowe na ich ochronę. Niedobór tego pierwiastka powoduje zaburzenia w rozwoju generatywnym (nie powstają słupki i pręciki, pyłek się nie tworzy lub nie wykazuje witalności) i następuje wyraźne zahamowanie procesów rozwoju roślin. Brak boru wpływa na spadek zawartości kompleksów boru z cukrami, niedostępnych dla działania oksydazy *o*-dwufenolowej, akumulacji chinonów i w dalszej konsekwencji – brązowienie tkanek i hamowanie wzrostu [Szkolnik 1980]. Z kolei wzrost zawartości fenoli powoduje uszkodzenie struktury ścian komórkowych, hamowanie aktywności oksydazy IAA przez akumulujące się inhibitory fenolowe, hamowanie syntezy auksyn i giberelin oraz wzrostu roślin, a także zmiany w strukturze chromatyny. Następstwem zmian w budowie chromatyny są zakłócenia w syntezie białek i podziałów mitotycznych, które powodują zmiany zwyrodnieniowe. Wysoki poziom fenoli powoduje również uszkodzenie błon komórkowych i uwalnianie enzymów oraz:

- zakłócenia przepuszczalności błon,
- uszkodzenie struktury chloroplastów i jąderka,
- stymulację rybonukleazy → rozpad tRNA → rozpad polisomów → rRNA,
- stymulację β glukozydazy → uwalnianie aglikonów → hamowanie wzrostu → indukcję sterylności kwiatów.

Już we wczesnym okresie np. u słonecznika powoduje zahamowanie wzrostu korzeni, u innych dwuliściennych – zamieranie stożków wzrostu (w wyniku kumulacji związków fenolowych) i kwiatów, brak zawiązywania owoców lub owoce są niewyrośnięte oraz pojawiają się u roślin zmiany zwyrodnieniowe. Silne zmiany strukturalne wywołane niedoborem boru pojawiają się na długo przed pojawieniem się u nich zewnętrznych objawów braku tego pierwiastka. Brak boru, w wyniku zakłóceń procesów metabolicznych, hamowanie syntezy białka, powoduje kumulację w komórkach pewnych substancji toksycznych, uszkodzenia struktury chloroplastów, zmianę fizykochemicznych właściwości RNA, zaburzenia w procesie fotosyntezy i dojrzewania nasion oraz między innymi spadek zawartości galaktolipidów i ligniny. Zapotrzebowanie na ten mikroelement wzrasta u roślin przy podwyższonej temperaturze otoczenia oraz przy długim dniu [Szkolnik 1980]. Po dostarczeniu boru zwiększa się zawartość chlorofilu w liściach lnu, co wskazuje na jego duże znaczenie w jego tworzeniu. Zwiększone nawożenie borem redukuje toksyczne oddziaływanie glinu (Al) na system korzeniowy roślin lnu i jego akumulację w korzeniu [Heidarabadi i in. 2011]. Bor powoduje zwiększenie plonu (o 11,3% [Szkolnik 1980]) oraz poprawia jego jakość, w połączeniu z azotem modyfikuje zawartość tłuszczu i białka. Uważa się, że łączne nawożenie tymi składnikami wpływa pozytywnie

nie na zawartość oleju w nasionach lnu oraz skład kwasów tłuszczowych [Czuba 1986, Blevins i Lukaszewski 1998].

Zdaniem Pióreckiej i in. [2007] modyfikacja i racjonalizacja udziału nasyconych, jednonienasyconych, wielonienasyconych kwasów tłuszczowych w całodziennej racji pokarmowej ma większe znaczenie w prewencji CHUK (chorób układu krążenia = ChUK) niż tylko redukcja tłuszczu ogólnego w diecie, dlatego że zawartość poszczególnych kwasów tłuszczowych decyduje o koncentracji cholesterolu w surowicy krwi.

Z tego też względu ważnym jest podejmowanie badań mających na celu wykorzystanie rodzimych roślin do produkcji oleju najwyższej jakości i najkorzystniejszym składzie chemicznym oraz optymalnym składzie kwasów tłuszczowych.

2

ZAŁOŻENIA I CEL BADAŃ

W hipotezie badawczej zakłada się, że zróżnicowane nawożenie azotem przy jednoczesnym zastosowaniu nawożenia borem i siarką, u odmian o ciemnym i jasnym zabarwieniu nasion, spowoduje korzystny wpływ na ich plon oraz jakość, że uzyska się, do pewnego poziomu nawożenia azotem, nasiona o wyższej zawartości białka i oleju, a zbilansowane nawożenie mikro- i makroskładników, towarzyszące zwłaszcza wysokim dawkom azotu, wpłynie korzystnie na przyswajalność azotu z gleby oraz na biosyntezę białkowych związków azotowych.

Przy założeniu, że:

- siarka wpływa na wzrost efektywności i skuteczności nawozów azotowych,
- bor w połączeniu z azotem modyfikuje zawartość tłuszczu i białka,
- łączne nawożenie S i B modyfikuje zawartość oleju w nasionach lnu i skład kwasów tłuszczowych,

przypuszcza się, że zwiększone dawki azotu spowodują wzrost zawartości kwasu linolenowego i linolowego w oleju lnianym, a ich wzajemna (pożądana) proporcja będzie korzystna. Oczekuje się także, że nawożenie poprawi proporcje w zawartości kwasów tłuszczowych nienasyconych do nasyconych na korzyść tych pierwszych.

Wykaże się również, która z porównywanych typów odmian ma najkorzystniejszy skład niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych – ważnych dla człowieka z fizjologicznego punktu widzenia, a której nasiona gromadzą najmniej składników odżywczych.

Celem badań jest wykazanie wpływu nawożenia zróżnicowanymi dawkami azotu, boru i siarki na zawartość tłuszczu i białka oraz proporcje kwasów tłuszczowych w nasionach dwóch typów odmian lnu oleistego.

3

MATERIAŁ I METODY

W latach 2009–2011 przeprowadzono 3-letnie doświadczenia polowe, w układzie split-plot na dwa czynniki zmienne, w czterech powtórzeniach, na polach doświadczalno-produkcyjnych Katedry Szczegółowej Uprawy Roślin (KSUR) w Pawłowicach (długość geograficzna wschodnia 17°12', szerokość geograficzna północna 51°31', wysokość n.p.m. 147 m). Pierwszym badanym czynnikiem były dwie odmiany lnu oleistego: Oliwin – jasnonasienna i Opal – ciemnonasienna. Drugim badanym czynnikiem było zróżnicowane nawożenie azotem, siarką i borem w następujących wariantach:

$$\begin{array}{cccc} N_0+S_1+B_1, & N_1+S_1+B_1, & N_2+S_1+B_1, & N_3+S_1+B_1, \\ N_0+S_2+B_2, & N_1+S_2+B_2, & N_2+S_2+B_2, & N_3+S_2+B_2, \\ N_0+S_3+B_3, & N_1+S_3+B_3, & N_2+S_3+B_3, & N_3+S_3+B_3, \end{array}$$

gdzie $N_0 - 0$, $N_1 - 20$, $N_2 - 40$, $N_3 - 60$ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{N}$; $S_1 - 30$, $S_2 - 50$, $S_3 - 70$ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{S}$; $B_1 - 5$, $B_2 - 10$ i $B_3 - 15$ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{B}$.

W nawożeniu przedsiwonym lnu oleistego zastosowano 40 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{P}_2\text{O}_5$ w formie 46% superfosfatu potrójnego, 70 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{K}_2\text{O}$ w formie 60% soli potasowej i 20 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{N}$ w formie mocznika. Nawożenie pogłównie azotem (w formie 34,4% saletry amonowej) wykonano w fazie jodełki, zgodnie ze schematem doświadczenia. Nawożenie siarką, nawozem Super S-450 i borem, w formie nawozu Solubor DF, wykonano dwukrotnie – w fazie jodełki i pąkowania.

Po wschodach i przed zbiorem określono zagęszczenie roślin na 1 m^2 , we wszystkich kombinacjach, w czterech powtórzeniach. Bezpośrednio przed zbiorem na 20 roślinach, zebranych z każdego poletka, określono cechy biometryczne: wysokość roślin, długość techniczną, liczbę rozgałęzień i średnicę łodyg, składniki struktury plonu nasion: liczbę torebek na roślinie, liczbę nasion w torebce, masę 1000 nasion, a ponadto masę nasion, plew i słomy odziarnionej z jednej rośliny. Długość techniczną łodygi mierzono od nasady liścieni (górnej krawędzi szyjki korzeniowej) do nasady najniższego rozgałęzienia, natomiast średnicę łodyg mierzono w połowie długości technicznej łodygi.

Powierzchnia poletek do zbioru wynosiła 15,0 m^2 . Uzyskany plon nasion z poletka przeliczono na 1 ha, natomiast plon biologiczny obliczono, mnożąc masę nasion z 1 rośliny [g] (jako wynik średniej z 20 roślin) przez liczbę roślin z 1 m^2 [szt.] i przeliczono na 1 hektar. Wielkość plonów podano przy 13% wilgotności.

Parametry wartości siewnej nasion, masę 1000 nasion określono na podstawie próby zbiorczej 4x100 szt. powietrznie suchych nasion według PN-R-65950 z 1994 roku.

Analiza botaniczno-rolnicza cech użytkowych nasion lnu obejmowała oznaczenie energii i zdolności kiełkowania. Parametry wartości siewnej nasion – laboratoryjną energię i zdolność kiełkowania – określono jako średnią z czterech powtórzeń po 100 nasion, wysianych w szalkach Petriego na podkładzie z bibuły filtracyjnej, w temperaturze 20°C.

Uzyskany materiał roślinny (nasiona) z 3-letnich badań, na podstawie średniej z 4 powtórzeń, oceniono na podstawie analiz chemicznych. Zawartość podstawowych składników oraz makroelementów w nasionach określano w każdym roku badań, na próbach zbiorczych pobranych z powtórzeń, następującymi metodami:

- sucha masa – metodą suszarkową w temperaturze $105 \pm 2^\circ\text{C}$ w czasie 5 h;
- azot ogólny – zmodyfikowaną metodą Kjeldahla (analyzer Kjeltak 2200 Auto Distillation Unit) według PN 75 a – 04018;
- białko ogółem – zmodyfikowaną metodą Kjeldahla – oznaczono azot ogólny i przeliczono na białko, stosując współczynnik 6,25 – według PN 75 a – 04018;
- tłuszcz surowy – metodą odtłuszczonej reszty w aparacie Soxhleta – według PN a 79011-4;
- włókno surowe – metodą Henneberga-Stohmanna w rozcieńczonych roztworach H_2SO_4 i NaOH (aparatus Fibertac);
- popiół surowy – przez spalanie materiału roślinnego w piecu elektrycznym w temp. 600°C – metodą wagową;
- bezazotowe związki wyciągowe (BAW) – obliczono, odejmując od 100 sumaryczną zawartość białka ogółem, tłuszczu surowego, włókna i popiołu surowego;
- fosfor (P) i magnez (Mg) – metodą kolorymetryczną; (P – metodą wanadomolibdenu, Mg – metodą z żółcią tytanową) na spektrofotometrze Spekol;
- potas (K), wapń (Ca) – metodą fotometrii płomieniowej przy użyciu aparatu Flawo.

Określono także wartość energetyczną 1 kg nasion (We) według następującego równania:

$$\text{We} = (\text{A} + \text{B} + \text{C} + \text{D}) \times \text{współczynnik wartościowości paszy [\%]} \times 0,6 / 100 \times 9,92 \text{ MJ, gdzie:}$$

$$\text{A} = \text{białko ogółem [\%]} \times \text{współczynnik strawności białka [\%]} \times \text{równoważnik skrobiowy dla białka [\%]},$$

$$\text{B} = \text{tłuszcz surowy [\%]} \times \text{współczynnik strawności tłuszczu [\%]} \times \text{równoważnik skrobiowy dla tłuszczu [\%]},$$

$$\text{C} = \text{BAW [\%]} \times \text{współczynnik strawności BAW [\%]} \times \text{równoważnik skrobiowy dla BAW [\%]},$$

$$\text{D} = \text{tłuszcz surowy [\%]} \times \text{współczynnik strawności tłuszczu [\%]} \times \text{równoważnik skrobiowy dla tłuszczu [\%]}.$$

Obliczono wydajność białka, tłuszczu oraz wartość energetyczną z jednostki powierzchni, mnożąc wartość zebranego plonu nasion z 1 ha przez zawartość białka i tłuszczu w nasionach oraz wartość energetyczną 1 kg nasion lnu.

Profil kwasów tłuszczowych oznaczono metodą chromatografii gazowej z detekcją płomieniowo-jonizacyjną FID, stosując kolumnę ZB-WAX (30 m \times 0,25 mm i.d., 0,25 μm grubość filmu) i hel jako gaz nośny, przepływający z prędkością 20 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, temperatura komory nasrzykowej – 250°C , temperatura detektora – 270°C , program temperaturowy pracy kolumny – 80°C przez 1 min, przyrost temperatury do 140°C z szybkością $45^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ utrzymywany

przez 4 minuty, przyrost temperatury do 220°C z szybkością 45°C·min⁻¹ utrzymywany przez 7,5 minuty, przyrost temperatury do 250°C z szybkością 45°C·min⁻¹ utrzymywany przez 8,5 minuty. Całkowity czas analizy – 25 min.

Interpretację jakościową chromatogramów przeprowadzono, porównując czasy retencji estrów metylowych kwasów tłuszczowych badanej próbki z czasami retencji wzorców estrów metylowych kwasów tłuszczowych Supelco Component FAME Mix C8-C24.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej za pomocą programu Statistica 10.0 PL (StatSoft Polska) według modelu zgodnego z układem doświadczeń, wykorzystując do oceny istotności różnic test Fishera (NIR) oraz liniowy współczynnik korelacji Pearsona, a także regresję wieloraką krokową i wsteczną.

3.1.1. Charakterystyka odmian

Oliwin – odmiana polska, żółtonasienna, wyhodowana w Spółce Hodowla Roślin Strzelce – Grupa IHAR, Oddział w Borowie, zarejestrowana w 2004 roku. Roślina niezbyt wysoka, odporna na wyleganie. Osiąga mały plon nasion, masa 1000 nasion mała. Charakteryzuje się ciemnofioletowymi płatkami korony, jest to odmiana średnio wczesna, o wysokiej zawartości tłuszczu w suchej masie beztłuszczowej, zawiera dużo białka i włókna, odporna na wyleganie, dość odporna na *Fusarium* sp. i mączniaka. Uzyskuje się z niej mały plon słomy. Odmiana Oliwin w latach badań 2009–2011, charakteryzowała się następującymi wartościami MTN: 7,5; 6,7 i 5,2g oraz siłą kiełkowania: 47, 48 i 40%;

Opal – ciemnonasienna, odmiana polska, została wyhodowana w Borowie, obecnym Oddziale Hodowli Roślin Strzelce – Grupa IHAR, zarejestrowana w 1994 roku. Jest odmianą średnio wczesną, plenną, charakteryzująca się fioletowymi płatkami korony, od średniej do dużej zawartością tłuszczu i białka, włókna poniżej średniej. Masa tysiąca nasion i plon słomy jest duży. Rośliny są niezbyt wysokie, odporne na wyleganie i choroby. Odmiana Opal w kolejnych latach badań miała siłę kiełkowania odpowiednio 77%, 80% i 89% i masę 1000 nasion 7,2; 6,9 oraz 6,1 g.

3.1.2. Warunki agrotechniczne doświadczeń

Przedplonem dla lnu oleistego corocznie była pszenica ozima. Jesienią w październiku, roku poprzedzającego zakładanie doświadczeń, wykonywano orkę przedzimową. Wczesną wiosną stosowano wielokrotne zabiegi za pomocą bronowania i agregatu uprawowego. Przed założeniem doświadczenia wykonywano zespół uprawek wiosennych: kultywatorowanie oraz bronowanie, a następnie wykonano nawożenie standardowe azotem, fosforem i potasem. Siewu dokonywano siewnikiem samobieżnym, przy wysiewie 700 nasion·m⁻² w terminach: 3.04.2009 r., 9.04.2010 r. i 11.04.2011 roku. Bezpośrednio po siewie stosowano środek chwastobójczy Afalon dyspersyjny 450 SC w dawce 1,5 dm³·ha⁻¹ lub Afalon 0,7 dm³·ha⁻¹ + Wenzar 0,7 dm³·ha⁻¹, natomiast w czasie wegetacji wykonywano oprysk przeciwko chwastom środkiem Lontrel 300 SC w dawce 0,7 dm³·ha⁻¹ lub Targa Super 05EC 2,0 dm³·ha⁻¹.

W fazie jodełki i pąkowania stosowano nawożenie siarką i borem w formie oprysku. Przed zbiorem, w ostatnim tygodniu sierpnia w 2009 r. oraz 3 sierpnia w roku 2011, wykonano desykację preparatem Reglone 200 SC w dawce 3 l·ha⁻¹.

Zbiór lnu oleistego przeprowadzono jednoetapowo, w fazie pełnej dojrzałości nasion, kombajnem Wintersteiger 5.09.2009 r., 12.08.2010 r. i 17.08.2011 roku. Zebrane nasiona poddano doczyszczaniu. Plon nasion oraz masę 1000 nasion lnu określono przy 13% wilgotności.

3.1.3. Warunki glebowe

Doświadczenie zostało założone na glebie autogenicznej należącej do rzędu gleb brunatno-ziemnych, typu płowego wytworzonej z gliny lekkiej podścielonej gliną średnią. Zaliczana jest do kompleksu przydatności rolniczej pszennego dobrego, klasy bonitacyjnej IIIb [Do-brzański i Zawadzki 1995].

Zasobność gleby w składniki mineralne oraz odczyn gleby oznaczono w Katedrze Żywnienia Roślin Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, stosując następujące metody: zawartość fosforu i potasu według Egnera-Riehma, magnez – metodą Schachtschabela, siarki – metodą Bradsleya – Lancastera, a pH – potencjometrycznie w 1 M KCl. Zasobność boru została oznaczona metodą spektrofotometryczną.

Odczyn gleby w 1 nKCl był w latach badań lekko kwaśny (tab. 1). Gleba charakteryzowała się zawartością magnezu od wysokiej do bardzo wysokiej oraz od średniej do bardzo wysokiej z zawartością fosforu i potasu. Zawartość poszczególnych składników została wyrażona w mg na 1000 g gleby.

3.1.4. Warunki klimatyczne

Pola doświadczalne KSUR znajdują się w najcieplejszym regionie Dolnego Śląska, który jest najcieplejszym regionem Polski. Klimat okolic Wrocławia posiada cechy typowe dla klimatu przejściowego strefy szerokości umiarkowanej. Położenie regionu w dolinie Odry i na przedpolu Sudetów sprawia, że występują tu bardzo dogodne warunki klimatyczne, które charakteryzują się następującymi cechami:

- ✓ pokrywa śnieżna jest obecna przez około 35 dni w roku;
- ✓ opady atmosferyczne występują przez 167 dni w roku, a roczna suma opadów waha się w granicach 500–600 mm, w okresie wegetacyjnym wynosi ok. 350 mm (region ten należy do umiarkowanie wilgotnego o wskaźniku opadowym 100–300);
- ✓ roczna amplituda temperatur wynosi 19,2°C;
- ✓ średnia roczna temperatura powietrza wynosi 9,0°C, miesiąca najzimniejszego (stycznia) -0,4°C, a najcieplejszego (lipca) 18,8°C;
- ✓ liczba dni z temperaturą > 5°C – 227, z temperaturą > 10°C – 167, a z temperaturą > 15°C – 104;
- ✓ dni pogodne obserwuje się przez 27 dni w roku, natomiast pochmurne przez 203 dni;
- ✓ roczna suma usłonecznienia (czas w którym do powierzchni ziemi dociera promieniowanie bezpośrednie) wynosi 1500 godzin;
- ✓ przymrozki pojawiają się przeciętnie do końca drugiej dekady kwietnia;
- ✓ prace polowe rozpoczynają się w II dekadzie marca;
- ✓ okres wegetacyjny trwa zazwyczaj 220–225 dni i jest jednym z najdłuższych w Polsce [Gumiński 1951, 1954, Schmuck 1959, 1960, Kaczorowska 1977].

Przebieg warunków meteorologicznych w latach doświadczeń na tle wielolecia zawarto w tabeli 2. Dane meteorologiczne pochodzą ze stacji Wrocław–Pawłowice.

Tabela 1
Table 1

Zasobność gleby w P, K, B, Mg i $S_{org}/S-SO_4$ [mg·kg⁻¹] oraz odczyn gleby pH [w 1 n KCl]
Soil fertility in P, K, B, Mg i $S_{org}/S-SO_4$ [mg·kg⁻¹] and pH [in 1 n KCl]

Lata Years	pH		Mg		P		K		$S_{org}/S-SO_4$		B	
	2009	5,74a	lekko kwaśny slightly acidic	80,8b	wysoka high	69,3b	wysoka high	113b	średnia medium	196/54,3	bardzo wysoka very high	8,80
2010	6,22a	lekko kwaśny slightly acidic	150a	bardzo wysoka very high	60,5b	średnia medium	173a	wysoka high	172/63,9	bardzo wysoka very high	11,0	niska low
2011	5,87a	lekko kwaśny slightly acidic	75,3b	wysoka high	88,8a	bardzo wysoka very high	208a	bardzo wysoka very high	241/76,0	bardzo wysoka very high	20,2	średnia medium

Średnie wartości parametrów w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie
Means in the same column and parameter followed by the same letter do not differ significantly

Tabela 2
Table 2

Warunki meteorologiczne w latach 2009–2010 (dane meteorologiczne ze stacji Wrocław–Pawłowice)
Weather conditions in the years 2009–2010 (according to meteorological station in Wrocław–Pawłowice)

Lata /Miesiące Years/Months	Średnie miesięczne temperatury powietrza [°C] Mean monthly air temperatures											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2009	-2,3	0,2	4,6	12,0	14,2	15,8	19,5	19,3	15,4	7,9	6,8	-0,4
2010	-5,9	-1,1	4,2	9,3	12,7	17,9	21,4	18,9	12,5	7,0	6,5	-5,2
2011	0,62	-1,62	4,39	11,91	14,81	19,1	18,19	19,27	15,49	9,34	3,81	3,89
Średnie z lat 1979–2008) Mean values of the years (1979–2008)	-0,5	0,1	3,4	8,7	14,2	17,1	18,9	18,4	13,8	9,3	3,9	0,8
Years	Miesięczne sumy opadów [mm] Monthly precipitation											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2009	34,6	46,8	48,3	30,9	67,6	141,7	134,2	53,5	12	76	32,5	51,9
2010	40,6	11	44,9	45,4	140,7	32,9	78,6	109,1	134,1	5,7	66,4	63,2
2011	35,6	10,5	45,2	27	49,4	95,7	170,9	78,9	30,4	42,6	0	48,7
Średnie z lat 1979–2008 Mean values of the years 1979–2008	29,2	26,4	34,6	35,4	53,4	67,1	85,9	69,6	47,5	35,7	41,1	36,0

W celu scharakteryzowania warunków pogodowych w okresie wegetacji lnu oleistego, w latach badań, posłużono się wskaźnikiem opracowanym przez Sieliana (współczynnik hydrotermiczny) $K=10P/\Sigma t$ [Molga 1980, 1986, Radomski 1987], przyjmując 11 przedziałów dla tego wskaźnika K: $<0,3$ – skrajnie suchy, $0,31\div 0,5$ – bardzo suchy, $0,51\div 0,7$ – suchy, $0,71\div 0,9$ – dość suchy, $0,91\div 1,0$ – umiarkowanie suchy, $1,01\div 1,2$ – przeciętny, $1,21\div 1,5$ – optymalny, $1,51\div 1,9$ – dość wilgotny, $1,91\div 2,4$ – wilgotny, $2,41\div 3,0$ – bardzo wilgotny, $>3,1$ skrajnie wilgotny (tab. 3). Ponadto warunki agroklimatyczne opisywano, stosując wskaźniki (opady atmosferyczne wyrażone w % średniej wieloletniej) zaproponowane przez Kaczorowską [1962], przyjmując skalę: poniżej 25 – okres skrajnie suchy, 26–49 – bardzo suchy, 50–74 – suchy, 75–124 – normalny, 125–149 – wilgotny, 150–174 – bardzo wilgotny, powyżej 175 – okres skrajnie wilgotny. Z kolei przebieg temperatur charakteryzowano na podstawie ich odchylenia od średniej z wielolecia, wyrażonych w stopniach: powyżej $+2,0$ – okres bardzo ciepły, od $+2,0$ do $+0,6$ – okres ciepły, od $+0,5$ do $-0,5$ – normalny, od $-0,6$ do $-2,0$ – okres chłodny, poniżej $-2,0$ – okres bardzo chłodny. Ponadto na diagramie klimatycznym wykreślono krzywe przedstawiające średnie miesięczne wartości temperatur i sumy opadów (rys. 2–5). Układ krzywej temperatur do krzywej opadów pozwala wskazać aridową, tj. suchą porę roku (krzywa temperatur przebiega powyżej krzywej opadów) oraz humidową, tj. wilgotną (krzywa temperatur przebiega poniżej krzywej opadów). Na tej podstawie w suchej porze roku można wyróżnić: okres suszy, gdy 10°C odpowiada 20 mm opadów i okres posuchy, gdy 10°C odpowiada 30 mm opadów.

Warunki meteorologiczne w latach 2009–2011 były bardzo zróżnicowane. W 2009 roku średnie miesięczne temperatury powietrza w czasie wegetacji lnu były wyższe przez cały okres od średnich wieloletnich, z wyjątkiem maja i w czerwcu. Największa różnica wystąpiła w kwietniu. Średnia miesięczna temperatura powietrza osiągnęła wtedy $12,0^{\circ}\text{C}$ i tym samym była wyższa od średniej dla wielolecia blisko o $3,3^{\circ}\text{C}$. W maju średnie wartości temperatur dla miesiąca i wielolecia były zbliżone, a ich różnica wyniosła $0,11^{\circ}\text{C}$. W czerwcu średnia miesięczna temperatura powietrza była niższa od średniej z wielolecia o $1,1^{\circ}\text{C}$ i wynosiła $15,7^{\circ}\text{C}$. W lipcu i sierpniu średnie miesięczne temperatury ukształtowały się na poziomie $19,6$ i $19,3^{\circ}\text{C}$, a ich różnica w porównaniu z wieloleciem wynosiła odpowiednio $0,8$ i $1,4^{\circ}\text{C}$.

Najwyższa temperatura powietrza wystąpiła w I dekadzie sierpnia, osiągając $19,9^{\circ}\text{C}$. Jednak najcieplejszym miesiącem, z najwyższą średnią temperaturą powietrza na poziomie $19,5^{\circ}\text{C}$, był lipiec. Najniższą temperaturę, która wyniosła $11,0^{\circ}\text{C}$ odnotowano w kwietniu.

Miesięczna suma opadów w kwietniu wynosiła 30,9 mm i była minimalnie wyższa od średniej dla wielolecia o 0,4 mm. W maju różnica w opadach wyniosła 16,3 mm, a w czerwcu osiągnęła najwyższą wartość 82,2 mm. W lipcu miesięczne opady były wyższe od średnich dla wielolecia o 55,3 mm, natomiast w sierpniu oraz wrześniu niższe odpowiednio o 8,0 i 33,3 mm. Najwyższe opady wystąpiły w czerwcu i lipcu, osiągając odpowiednio 141,7 oraz 134,2 mm.

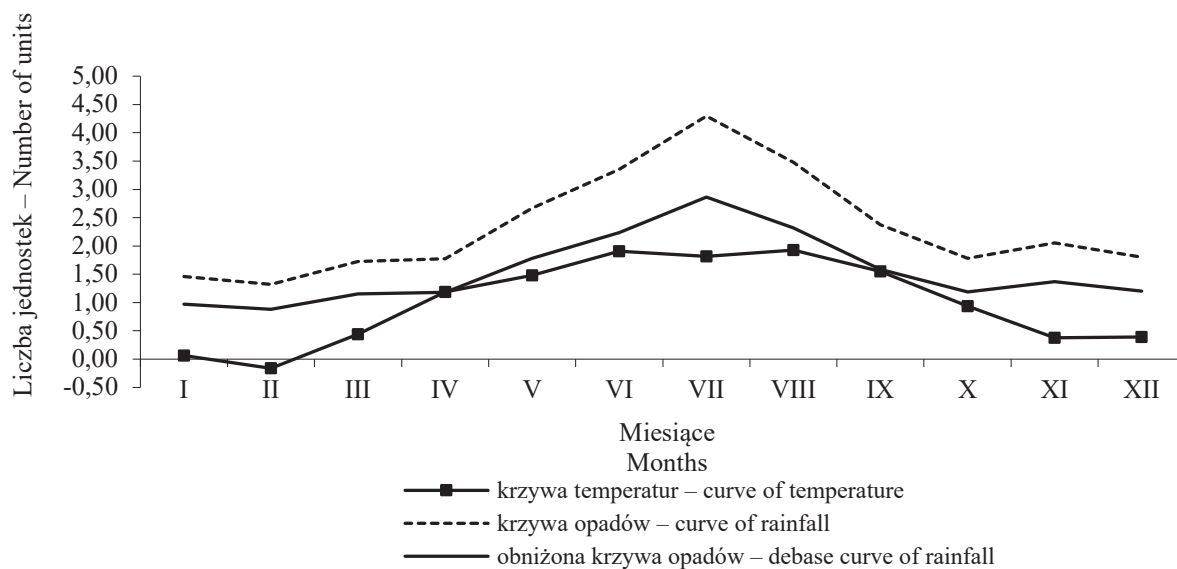
Tabela 3
Table 3Warunki meteorologiczne w okresach wegetacyjnych w latach 2009–2011
Meteorological conditions during growth periods in 2009–2011

Miesiąc Month	Średnia temperatura z wielolecia [°C] Multiyear mean temperature*	Odchylenie temperatury od średniej z wielolecia** [°C] Deviation from multi-year mean temperature		Suma opadów z wielolecia [mm] Sum of multiyear precipitation*	Sumy opadów [mm] w miesiącach okresu wegetacyjnego 2009–2011 r. i procent wieloletniej średniej sumy opadów Sums of rainfall [mm] in the months of the vegetation period of 2009–2011 and percentage of multiyear precipitation sum				Wskaźnik Sielianinowa K*** Sielianinov coefficient				
		2009	2010		2011	2009	2010	2011		2009	2010	2011	
III	3.4	1.2 (oc)	0.8 (oc)	1.0 (oc)	48,3 (140%)	44,9 (130%)	45,2 (131%)	48,3 (140%)	44,9 (130%)	45,2 (131%)	3.4 (sw)	2.9 (bw)	3.2 (sw)
IV	8.7	3.3 (obc)	0.6 (oc)	3.2 (obc)	30,9 (87%)	45,4 (128%)	27,0 (76%)	30,9 (87%)	45,4 (128%)	27,0 (76%)	0.9 (ds)	1.6 (dw)	0.8 (ds)
V	14.2	0.0 (n)	-1.5 (och)	0.6 (oc)	67,6 (127%)	140,7 (264%)	95,7 (143%)	67,6 (127%)	140,7 (264%)	95,7 (143%)	1.5 (o)	3.6 (sw)	1.1 (p)
VI	17.1	-1.3 (och)	0.8 (oc)	2.1 (obc)	141,7 (211%)	32,9 (49%)	170,9 (199%)	141,7 (211%)	32,9 (49%)	170,9 (199%)	3.0 (bw)	0.6 (s)	1.7 (dw)
VII	18.9	0.7 (oc)	2.5 (obc)	-0.7 (och)	134,2 (156%)	78,6 (91%)	109,1 (157%)	134,2 (156%)	78,6 (91%)	109,1 (157%)	2.2 (w)	1.2 (p)	3.0 (bw)
VIII	18.4	0.9 (oc)	0.6 (oc)	0.9 (oc)	53,5 (77%)	134,1 (252%)	30,4 (64%)	53,5 (77%)	134,1 (252%)	30,4 (64%)	0.9 (ds)	1.9 (dw)	1.3 (o)
IX	13.8	1.5 (oc)	-1.3 (och)	1.7 (oc)	12,0 (25%)	488,2 (124%)	585,7 (149%)	12,0 (25%)	488,2 (124%)	585,7 (149%)	0.3 (ss)	3.6 (sw)	0.7 (s)
Średnia/suma Mean/sum	13.5	0.9 ciepły	0.3 normalny	1.2 ciepły	488,2 (124%)	585,7 (149%)	497,5 (126%)	488,2 (124%)	585,7 (149%)	497,5 (126%)	1.7 (dw)	2.2 (w)	1.7 (dw)

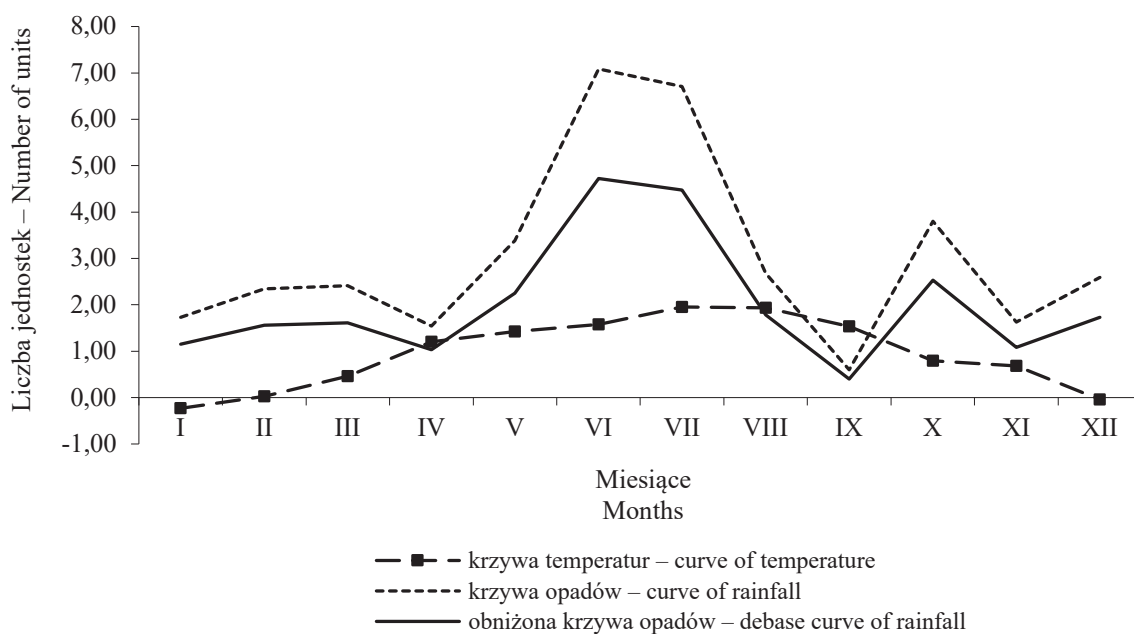
*Pawłowiec średnia lub suma z lat – means or sum for years 1979–2008

** Objasnienie – explanation: (obc) – okres bardzo ciepły, (oc) – okres ciepły, (n) – normalny, (och) – okres chłodny, (obch) – okres bardzo chłodny;

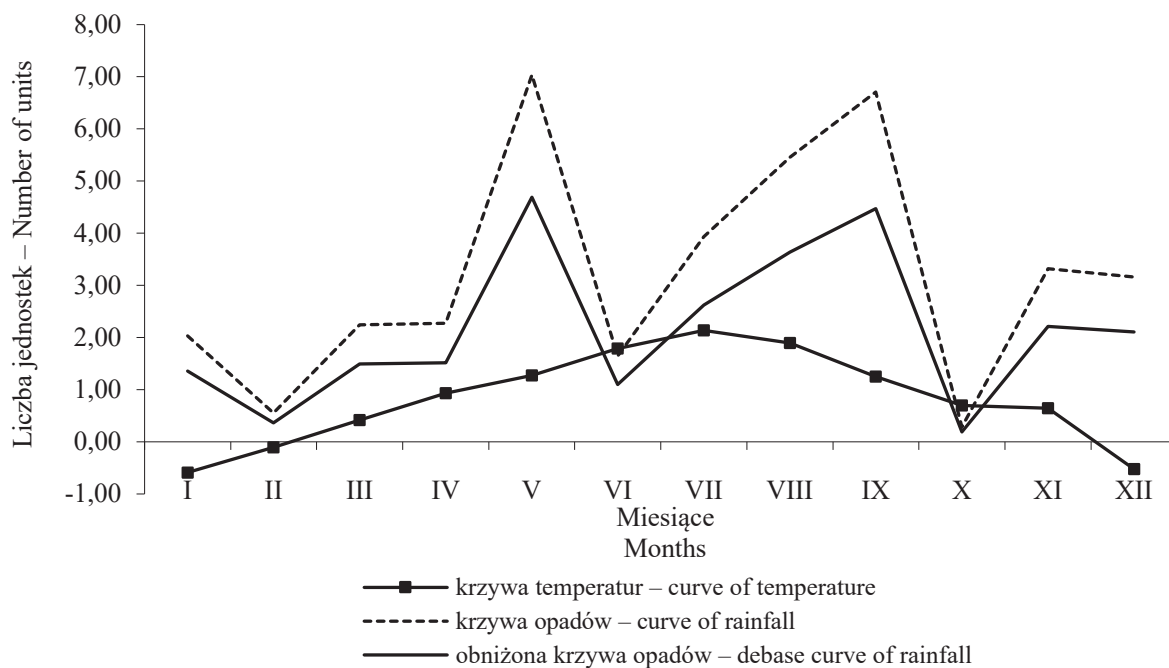
*** Objasnienie – explanation: (ss) – skrajnie suchy (susza), (bs) – bardzo suchy (susza), (s) – suchy (posucha), (ds) – dość suchy (posucha), (us) – umiarkowanie suchy, (posucha), (p) – przeciętny, (o) – optymalny, (dw) – dość wilgotny, (w) – wilgotny, (bw) – bardzo wilgotny, (sw) – skrajnie wilgotny



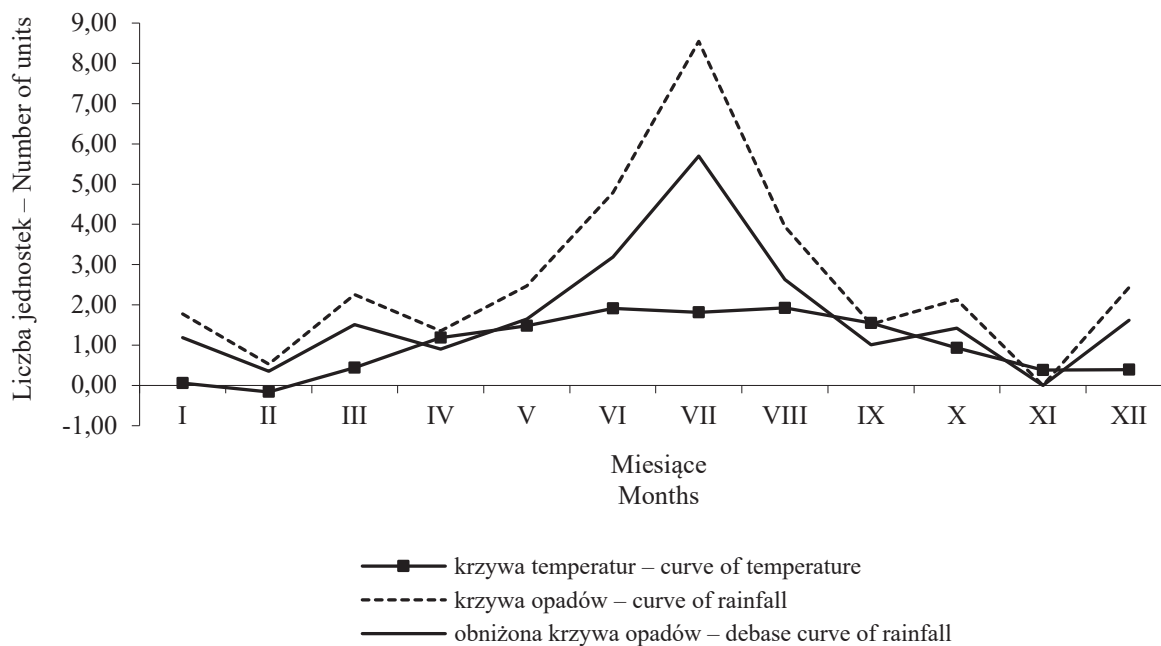
Rys.1. Diagram przebiegu pogody w Pawłowicach w latach 1979-2008
 Fig. 1. Graph of the weather course in Pawłowice in 1979-2008



Rys. 2. Diagram przebiegu pogody w Pawłowicach w roku 2009
 Fig. 2. Graph of the weather course in Pawłowice in 2009



Rys. 3. Diagram przebiegu pogody w Pawłowicach w roku 2010
 Fig. 3. Graph of the weather course in Pawłowice in 2010



Rys. 4. Diagram przebiegu pogody w Pawłowicach w roku 2011
 Fig. 4. Graph of the weather course in Pawłowice in 2011

W drugim roku doświadczeń – 2010, średnie miesięczne temperatury powietrza były wyższe od średnich z wielolecia przez cały okres wegetacji lnu z wyjątkiem maja (12,7°C). Najwyższą temperaturę odnotowano w lipcu i była ona wyższa od średniej wieloletniej o 2,5°C. Marzec, kwiecień, sierpień i wrzesień były wilgotne, a w maju odnotowano wysoką sumę opadów, ponad 87,3 mm powyżej średniej wieloletniej (140,7 mm). W czerwcu notowano o połowę niższą ilość opadów, w porównaniu z wartością wieloletnią i wynosiła ona 32,9 mm. Czerwiec charakteryzował się najniższą, w trzyletnim okresie prowadzenia doświadczeń, sumą opadów na przełomie marca–sierpnia.

W roku 2011 średnie miesięczne temperatury powietrza w czasie wegetacji lnu były wyższe od średnich z wielolecia przez cały okres z wyjątkiem lipca. Największa różnica temperatur wystąpiła w kwietniu. Średnia miesięczna temperatura powietrza osiągnęła wtedy 11,9°C i była wyższa od średniej dla wielolecia o około 2,9°C. W maju średnie wartości temperatur dla miesiąca i wielolecia były zbliżone, a ich różnica wyniosła 0,5°C. W czerwcu średnia miesięczna temperatura powietrza była wyższa od średniej z wielolecia o 2,1°C i wyniosła 19,1°C, a w sierpniu o 0,74°C i wyniosła 19,3°C. W lipcu średnia miesięczna temperatura była niższa od średniej z wielolecia o 0,98°C i wynosiła 18,2°C. Znacząca różnica miała miejsce we wrześniu i wyniosła 1,6°C, przy średniej miesięcznej temperaturze 15,5°C. Najwyższa temperatura powietrza wystąpiła w I dekadzie czerwca, osiągając temperaturę 23,8°C. Jednak najcieplejszym miesiącem, z najwyższą średnią temperaturą powietrza na poziomie 19,3°C, był sierpień. Najniższą temperaturę powietrza odnotowano w kwietniu.

Średnie wieloletnie sumy opadów w kwietniu i maju były wyższe od miesięcznych odpowiednio o 10 mm i o 3,6 mm. W tym czasie wystąpiły nieznaczne okresy posuchy. Najwyższe opady nastąpiły w czerwcu i lipcu, wynosząc odpowiednio 95,7 mm i 170,9 mm i były wyższe od średnich z wielolecia odpowiednio o 25,9 mm i 83,3 mm. W sierpniu miesięczne sumy opadów wyniosły 78,9 mm i były wyższe od średnich z wielolecia o 9,5 mm. Rok 2011 charakteryzował się dość wysokimi średnimi dobowymi temperaturami oraz dużą wilgotnością spowodowaną nadmiernymi opadami.

Suma opadów oraz dobowych temperatur powietrza w okresie wegetacji (siew–zbiór) była najwyższa w sezonie 2009 (229,0 mm, 2542°C), a najniższa przypadła na sezon 2010 (125,0 mm, 2047,6°C) (tab. 3a).

Tabela 3a
Table 3a

Warunki meteorologiczne w latach 2009–2010 (dane meteorologiczne ze stacji Wrocław–Swojec)
Weather conditions in the years 2009–2010 (according to meteorological station in Wrocław–Swojec)

Wyszczególnienie Specification		2009			2010			2011		
		Średnia Mean	Oliwin	Opal	Średnia Mean	Oliwin	Opal	Średnia Mean	Oliwin	Opal
Temperatura [°C] – Temperature [°C]										
Suma Sum of	temperatur – temperatures	2491.3	2475.4	2483.4	1983.9	1993.8	1884.0	1845.6	1864.8	
	dni – days	152.0	151.0	151.5	123.0	122.5	114.0	112.0	113.0	
Średnia dobowa temperatura powietrza [°C] Mean of day air temperature [°C]		16.4	16.4	16.4	16.3	16.3	16.5	16.5	16.5	
				2542.0		2047.6			2155.2	
Suma Sum of	temperatur – temperatures			155.0		125.0			128.0	
	dni – days			16.4		16.4			16.8	
Średnia dobowa temperatura powietrza [°C] Mean of day air temperature [°C]				3453.7		3001.5			3650.4	
				365.0		365.0			365.0	
Suma Sum of	temperatur – temperatures			9.5		8.2			10.0	
	dni – days									
Opady [mm] – Rainfall [mm]										
Suma Sum of	opadów [mm] – rainfall [mm]	427.9	427.9	427.9	307.1	307.1	333.3	333.3	333.3	
	dni – days	150.0	149.0	149.5	123.0	122.0	114.0	112.0	113.0	
Liczba dni z opadami Number of days with precipitation			76.0	76.0	61.0	61.0	50.0	49.0	49.5	
				431.0		307.1			377.0	
Suma Sum of	opadów [mm] – rainfall [mm]			155.0		125.0			128.0	
	dni – days			79.0		61.0			58.0	
Liczba dni z opadami Number of days with precipitation				730.0		772.6			634.9	
				365.0		365.0			365.0	
Suma Sum of	opadów [mm] – rainfall [mm]			229.0		215.0			156.0	
	dni – days									
Liczba dni z opadami Number of days with precipitation										

4

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

4.1. Przebieg wegetacji na tle warunków meteorologicznych

Wzrost i rozwój lnu jest modyfikowany przebiegiem warunków meteorologicznych [Bravi i Sommovigo 1997, Zajac i in. 2002, Stražil i Vorlíček 2004]. Dlatego długość okresu wegetacyjnego lnu jest zróżnicowana, zależy między innymi od strefy klimatycznej, z której pochodzi odmiana i dla odmian wczesnych może wynosić około 70–74 dni, a dla odmian późnych około 89–90 dni [Pavlov i in. 2014].

Len oleisty od formy włóknistej różni się mocniejszym systemem korzeniowym, który pozwala łatwiej przetrwać okresowe niedobory wody i sprawia, że len oleisty ma mniejsze wymagania wilgotnościowe. Dlatego do jego uprawy rekomenduje się mniej korzystne warunki siedliskowe terenów podgórskich i górskich [Zajac i in. 2002]. Jednak niezbędne minimum opadów w ciągu roku, jakie jest potrzebne do prawidłowego wzrostu i rozwoju, wynosi około 500 mm, ale najważniejszy do prawidłowego wzrostu i rozwoju jest ich rozkład. W czasie wegetacji ilość opadów powinna wynosić od 150 do 200 mm, z czego w maju i czerwcu minimum 100 mm.

W 2009 roku korzystne uwilgotnienie gleby na przedwiośniu i wysoka temperatura powietrza w kwietniu spowodowały, że odnotowano najkrótszy w trzyleciu, 9- i 7-dniowy, okres od siewów do wschodów dla roślin odmiany Oliwin i Opal (tab. 4). Długość okresu od siewu do wschodów, dla lnu oleistego, nie zależy od właściwości odmian, ale jest wynikiem przebiegu warunków meteorologicznych mogących opóźniać, jak i przyspieszać wzrost i rozwój [D'Antuono i Rossini 1995].

Okres wiosenny w 2011 roku charakteryzował się najniższą sumą opadów, w porównaniu z pozostałymi latami badań, co nie sprzyjało dobremu uwilgotnieniu gleby. Niska suma opadów w kwietniu przyczyniła się do opóźnienia wschodów, które pojawiły się najpóźniej, w trzyletnim doświadczeniu, średnio dla odmian, po około 16 dniach od siewu. W badaniach Zajaca i in. [2002] na opóźnione wschody miały wpływ obfite opady deszczu (147,7 mm). W roku 2010 określonym na podstawie odchylenia temperatury od średniej z wielolecia jako normalny i według wskaźnika Sielianinowa jako wilgotny – wschody roślin odnotowano

średnio po około 11 dniach. Niższe temperatury powietrza mogą spowodować przedłużenie okresu wegetacji prawie o miesiąc [Zajac i in. 2002].

Optymalny pod względem wilgotnościowym i normalnym rozkładzie temperatur maj 2009 r. sprzyjał osiągnięciu przez rośliny fazy jodełki, którą odnotowano już po około trzech tygodniach. Skrajnie wilgotny maj w 2010 i przeciętny w 2011 r. wpłynęły na wydłużenie okresu wejścia lnu w fazę jodełki, która miała miejsce po 30–32 dniach od daty siewu.

W okresach krytycznego zapotrzebowania na wodę – maj, czerwiec przypadające na fazę kwitnienia i zawiązywania torebek suma opadów wynosiła w roku 2009–209,3 mm w 2010 – 145,1 mm, natomiast w 2011 157,3 mm i nie zaspokajała w pełni potrzeb wodnych roślin.

Wysoka suma opadów przypadająca na czerwiec i lipiec w 2009 r., wydłużyła okres kwitnienia i dojrzewania roślin. Także w doświadczeniach Zajaca i in. [2002] wysokie opady w lipcu spowodowały wydłużenie fazy dojrzewania roślin, ale również wyleganie roślin. Odmiana Opal osiągnęła dojrzałość zieloną i kolejne fazy dojrzałości generatywnej kilka dni wcześniej od odmiany Oliwin. Wysoka wilgotność powietrza w sierpniu uniemożliwiła zbiór lnu. Rośliny zawiązywały pąki kwiatowe na pędach bocznych i zakwitły powtórnie. W ostatnim tygodniu sierpnia przeprowadzono desykację roślin i zbioru ostatecznie dokonano w I dekadzie września.

W 2010 roku początek zawiązywania pąków, fazy kwitnienia i zawiązywania torebek przypadła na okres suchy (posuchy) o ograniczonym uwilgotnieniu i wysokich, wyższych od średniej wieloletniej, średnich temperaturach powietrza w czerwcu i lipcu. Przyczyniło się to do znacznego wydłużenia poszczególnych faz rozwojowych roślin. Wysokie opady w sierpniu spowodowały wydłużenie poszczególnych faz dojrzewania nasion. Fazę dojrzałości pełnej badane odmiany osiągnęły średnio po około 122 dniach, licząc od dnia siewu.

Warunki pogodowe w 2011 roku wywarły korzystny wpływ na rozwój generatywny roślin. Odnotowano najkrótszy, 78-dniowy okres od siewu do początku dojrzałości żółtej, osiągając dojrzałość pełną nasion po upływie 112–114 dni.

Dominującym chwastem w uprawie lnu jest najczęściej komosa biała *Chenopodium album* L. oraz tasznik pospolity *Capsella bursa pastoris* L., których liczebność może być zmienna i wahać się w granicach od około 16 do 90 szt.·m⁻²) [Pudełko i in. 2014]. W warunkach deszczowej pogody w czasie wegetacji można stwierdzić wyższą liczebność m.in.: *Chenopodium album* L., *Viola arvensis* Murr., *Polygonum* spp., *Glechoma hederacea* L. [Heller i Adamczewski 2010]. W trzyletnim doświadczeniu w okresie wegetacji lnu, pomimo stosowania środków ochrony roślin, pojawiały się następujące gatunki chwastów: chwastnica jednostronna (*Echinochloa crus-galli* L.), ostrożeń polny (*Cirsium arvense* L.), przytulia czepna (*Galium aparine* L.), rdest powojowaty (*Fallopia convolvulus* L.), tasznik pospolity (*Capsella bursa pastoris* L.), tobołki polne (*Thlaspi arvense* L.).

Tabela 4
Table 4

Przebieg faz rozwojowych lnu oleistego w latach 2009–2011
Starting dates of flax oil growth stages in 2009–2011

Rozwój roślin Development of plants	Daty występowania początku faz Starting dates of stages						Liczba dni od siewu Number of days after sowing					
	Oliwin			Opal			Oliwin			Opal		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011
Siew Sowing	3.04	9.04	11.04	3.04	9.04	11.04	-	-	-	-	-	-
Wschody Emergence	12.04	21.04	27.04	10.04	19.04	26.04	9	12	16	7	10	15
Faza jodełki Herringbone phase	26.04	10.05	13.05	23.04	6.05	11.05	23	31	32	20	27	30
Początek kwitnienia Beginning of flowering	6.06	9.06	2.06	4.06	5.06	1.06	64	61	52	62	57	51
Pełnia kwitnienia Full flowering	18.06	23.06	8.06	15.06	21.06	7.06	76	75	58	73	73	57
Koniec kwitnienia, za- wiązywanie torebek End of flowering, cap- sules formation	22.06	30.06	15.06	18.06	27.06	13.06	80	82	65	76	79	63
Dojrzałość zielona Green maturity	12.07	13.07	30.06	9.07	12.07	28.06	100	95	80	97	94	78
Dojrzałość żółta Yellow maturity	12.08	26.07	12.07	8.08	23.07	8.07	131	108	92	127	105	88
Dojrzałość pełna Full maturity	2.09	10.08	3.08	30.08	9.08	1.08	152	123	114	149	122	112
Zbiór Harvest	5.09	12.08	17.08	5.09	12.08	17.08	155	125	128	155	125	128

Wszystkie wymienione gatunki chwastów występują w uprawach lnu włóknistego [Heller i Praczyk 2007] i jak wykazują 40-letnie obserwacje, średnie z 315 doświadczeń, dominują: *Chenopodium album* L. (42,3 szt. \cdot m⁻²), *Viola arvensis* Murr. (25,9 szt. \cdot m⁻²), *Thlaspi arvense* L. (14,2 szt. \cdot m⁻²) i *Stellaria media* Vill. (12,2 szt. \cdot m⁻²). Z obserwacji Hellera i Praczyka [2007] wynika, że po wschodach rośliny uprawnej najliczniej występują gatunki chwastów dwuliściennych (156,3 szt. \cdot m⁻²), a trawy w ilości 39,2 szt. \cdot m⁻². Zachwaszczenie doświadczeń własnych nie było zbyt duże.

Porażenie przez choroby i szkodniki w uprawie lnu nie przekroczyło progów szkodliwości.

4.1.1. Obsada roślin

W roku 2011 odnotowano wyższą, udowodnioną statystycznie, obsadę roślin po wschodach i przed zbiorem na jednostce powierzchni w porównaniu z 2009 i 2010 rokiem, która wynosiła, kolejno 518 i 430 szt. \cdot m² (tab. 5 i 6).

Udział wyjaśnionej zmienności regresyjnej plonu nasion, formy oleistej lnu, w zmienności całkowitej wynosi około 68%, z czego na udział elementu składowego, jakim jest obsada roślin na 1 m², przypada 24% [Witkiewicz i in. 2005]. Flénet i in. [2006] wykazali, że w warunkach Francji zachowanie właściwej obsady roślin jest trudne ze względu na niską i niezależną od odmiany połowę zdolność wschodów nasion formy oleistej lnu. W ich badaniach weszła tylko połowa wysianych nasion. Lepszą zdolność wschodów lnu oleistego w Niemczech uzyskali Aufhammer i in. [2000], ponieważ z 500 wysianych nasion weszło odpowiednio: 476 i 395 szt. Niska obsada pędów lnu na jednostce powierzchni, w małym stopniu nawiązująca do faktycznej liczby wysianych nasion, determinuje niższe plonowanie. Z tych powodów w warunkach Słowacji stwierdzono, że gęstość siewu w ilości: 6, 8, 10 i 12 mln kielkujących nasion na hektar nie wpłynęła istotnie na plonowanie dwóch odmian lnu. Wobec tego należy wnioskować, że warunki siedliska silnie korygują obsadę roślin w roku uprawy, a ilość wysiewu ma małą siłę oddziaływania na kreowanie zagęszczenia łąnu [Zubal 2001]. Podobne zależności pomiędzy ilością wysiewu a plonowaniem lnu oleistego uzyskali D'Antuono i Rossini [2006] z Włoch oraz Diepenbrock i in. [1995] z Niemiec i Szwajcarii. Odmienne wyniki otrzymał Zajac [2005]. Stwierdził, że ilość wysiewu nasion lnu wpływa na wielkość plonu nasion i jego elementy składowe. Wysiew 600 nasion lnu na 1 m² zapewnił najwyższy plon – 1,89 t z hektara i był on wyższy o 7,4% w stosunku do plonu uzyskanego po wysianiu tylko 300 nasion na 1 m². W badaniach Strašila i Vorlicka [2004] zwiększenie obsady z 250 do 500 na 1 m² skutkowało wzrostem plonu o 30%, czyli o 0,42 t \cdot ha⁻¹. Diepenbrock i in. [1995] stwierdzili, że najlepsze efekty produkcyjne daje wysiew 400–600 nasion na m². Turner [1991] uważa, że optymalne zagęszczenie roślin lnu oleistego wynosi 400 szt. \cdot m⁻², gdyż przy tej obsadzie występuje minimalna skłonność do wylegania.

W doświadczeniu Zajaca i in. [2002], porównującym 5 odmian lnu oleistego, nie wykazano istotnych różnic w liczbie pędów z 1 m². Odmienne wyniki otrzymano w doświadczeniu, gdzie czynnik odmianowy wywarł istotny wpływ na liczbę roślin po wschodach i przed zbiorem. Odnotowano o około 29,6% wyższą liczbę roślin po wschodach i 28% przed zbiorem na powierzchni 1 m² u odmiany Opal, w porównaniu z odmianą Oliwin. Można to tłumaczyć lepszą połową zdolnością wschodów ciemnonasiennej odmiany Opal lub jej zdolnością do kompensacji poprzez rozgałęzianie się. Najpełniej proces rozgałęziania się roślin lnu oleiste-

go, ale na przykładzie żółtonasiennej odmiany Linola™ 947, opisał Hocking [1995], wykazując, że od 44. do 72. dnia, licząc od dnia siewu, rośliny wytwarzały pędy boczne. W latach o pogodzie sprzyjającej wegetacji lnu oleistego w łanie może się rozgałęziać od 23 do 40% roślin, co skutkuje wymiernym efektem produkcyjnym [Zajac 2004b].

Tabela 5

Table 5

Liczba roślin lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) na 1 m² i ubytki roślin podczas wegetacji [%] (średnie dla czynników)

Number of linseed plants (*Linum usitatissimum* L.) per 1 m² and plant losses during plant growing period [%](mean values for factors)

Wyszczególnienie Specification	Liczba roślin na 1m ² po wschodach [szt.] Number of plants per 1 m ² after emergence [units]	Liczba roślin na 1m ² przed zbiorem [szt.] Number of plants per 1 m ² before harvest [units]	Ubytki roślin podczas wegetacji [%] Plants losses during growing period
Lata – Years			
2009	457b	386b	15,7
2010	452b	384b	14,9
2011	518a	430a	16,9
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	*	r.n. NS
Odmiana – Cultivar			
Oliwin	393b	335b	15,2
Opal	558a	465a	16,5
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	***	r.n. NS
Nawożenie – Fertilization			
N ₀ +S ₁ +B ₁	464	409	13,1
N ₀ +S ₂ +B ₂	461	402	11,8
N ₀ +S ₃ +B ₃	494	413	14,6
N ₁ +S ₁ +B ₁	462	394	14,4
N ₁ +S ₂ +B ₂	488	403	18,1
N ₁ +S ₃ +B ₃	462	374	19,9
N ₂ +S ₁ +B ₁	485	423	12,7
N ₂ +S ₂ +B ₂	483	403	16,6
N ₂ +S ₃ +B ₃	459	382	17,7
N ₃ +S ₁ +B ₁	513	412	21,0
N ₃ +S ₂ +B ₂	479	411	16,6
N ₃ +S ₃ +B ₃	440	374	13,8
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS

Średnie wartości parametrów w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie

Means in the same column and parameter followed by the same letter do not differ significantly

NIR_{0,05} – LSD_{0,05}

r.n. – różnica nieistotna – NS – nonsignificant

* Różnica istotna na poziomie 0,05 – Significant at the 0,05 level of probability

*** Różnica istotna na poziomie 0,001 – Significant at the 0,001 level of probability

Tabela 6

Table 6

Liczba roślin lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) na 1 m² i ubytki roślin podczas wegetacji [%] (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x lata)
 Number of linseed plants (*Linum usitatissimum* L.) per 1 m² and plants losses during plants growing period [%] (mean values for factors interaction – cultivar x years)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Lata Years		
		2009	2010	2011
Liczba roślin na 1 m ² [szt.] po wschodach Number of plants per 1 m ² after emergence [units]	Oliwin Opal	487b 428c	447bc 456bc	245d 791a
Liczba roślin na 1 m ² przed zbiorem [szt.] Num- ber of plants per 1 m ² before harvest [units]	Oliwin Opal	430b 343d	381d 387bc	193e 666a
Ubytki roślin podczas wegetacji [%] Plants losses during growing period	Oliwin Opal	11,7c 19,7a	15,1abc 14,8bc	18,9ab 14,9bc

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie
 The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

Poziomy nawożenia nie miały wpływu na zagęszczenie roślin na jednostce powierzchni przed zbiorem. Inne wyniki uzyskał Zajac [2005], wykazując, że podwojenie dawki azotu spowodowało wzrost zagęszczenia pędów łanu. Badane czynniki nie modyfikowały procentowego ubytku roślin, a ich współdziałanie wykazało najwyższą obsadę roślin przed zbiorem w 2011 r. u odmiany Opal oraz przy nawożeniu najwyższą dawką azotową, w połączeniu z najniższym nawożeniem siarką i borem – N₃+S₁+B₁ (tab. 7, 8). Najniższe wypadanie roślin odnotowano u odmiany Oliwin w 2009 roku. W przeprowadzonych badaniach różnica w obsadzie roślin pomiędzy wartością maksymalną i minimalną wynosiła 10,2%, natomiast różnica w plonie nasion ponad 30%. Ponadto wyższy plon nasion uzyskano w 2009 r., gdy obsada była najniższa.

Współdziałanie badanych czynników (lata x odmiana) nie wpłynęło istotnie na wartość badanych cech (tab. 6).

4.2. Cechy morfologiczne roślin

Nie korensponduje to z wynikami doświadczenia (tab. 9). W 2010 roku rośliny były najwyższe w porównaniu z latami 2009 i 2011. W tym samym roku odnotowano najwyższą wartość długości technicznej i średnicy łodyg. Według Bocianowskiego i Praczyka [2013b] średnica łodyg i liczba rozgałęzień są cechami, których wartości nie zależą od warunków środowiskowych.

Rośliny odmiany Opal były wyższe o 0,7 cm w porównaniu ze średnią wysokością roślin z doświadczeń wynoszącą 55,5 cm. Wysokość roślin odmiany Oliwin wynosiła 54,9 cm, natomiast w doświadczeniu Klimonta i in. [2014] była ona o 3 cm niższa.

Tabela 7
Table 7

Liczba roślin lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) na 1 m² i ubytki roślin podczas wegetacji [%] (średnie dla współdziałania czynników – lata x nawożenie) – Number of linseed plants (*Linum usitatissimum* L.) per 1 m² and plants losses during plants growing period [%] (mean values for factors interaction – years x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Nawożenie – Fertilization											
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₁ +B ₂	N ₀ +S ₁ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₁ +B ₂	N ₁ +S ₁ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₁ +B ₂	N ₂ +S ₁ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₁ +B ₂	N ₃ +S ₁ +B ₃
Liczba roślin na 1 m ² po wschodach [szt.] Number of plants per 1 m ² after emergence [units]	2009	493	431	416	449	496	436	448	406	437	438	513	524
	2010	bcdefg	efg	efg	defg	bcdef	efg	defg	fg	efg	efg	bcdef	abcdef
	2011	489	460	469	451	489	483	474	459	419	456	408	371
Liczba roślin na 1 m ² przed zbiorem [szt.] Number of plants per 1 m ² before harvest [units]	2009	440	384	365	390	390	363	386	321	354	368	412	465
	2010	abcdefg	cdefghi	defghi	bcdefghi	bcdefghi	defghi	cdefghi	hi	efghi	defghi	bcdefghi	abcd
	2011	427	397	425	375	419	412	424	403	353	340	324	312
Ubytki roślin podczas wegetacji [%] Plants losses during growing period	2009	359	426	450	416	402	348	458	487	439	529	497	344
	2010	abcdefgh	bcdefghi	abcdefgh	defghi	bcdefghi	bcdefghi	abcdefgh	bcdefghi	efghi	ghi	hi	i
	2011	defghi	abcdefgh	abcdef	bcdefghi	bcdefghi	fghi	abcde	abc	abcdefg	a	ab	fghi
Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą lub ich brak nie różnią się istotnie The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter or without letter do not differ significantly	2009	10,9	11,0	12,0	12,0	22,6	17,6	14,4	21,3	19,0	16,9	19,3	11,0
	2010	10,6	12,8	9,7	15,9	15,1	15,3	10,9	11,6	16,5	24,2	20,0	16,8
	2011	17,7	11,5	22,1	15,4	16,4	26,7	12,9	16,8	17,5	21,8	10,4	13,7

Tabela 8
Table 8

Liczba roślin lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) na 1 m² i ubytki roślin podczas wegetacji [%] (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x nawożenie)
Number of linseed plants (*Linum usitatissimum* L.) per 1 m² and plants losses during growing period [%] (mean values for factors interaction – cultivar x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Nawożenie – Fertilization											
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃
Liczba roślin na 1 m ² po wschodach [szt.] Number of plants per 1 m ² after emergence [units]	Oliwin	427	377	409	405	422	398	395	351	378	394	383	374
	Opal	502	543	578	519	554	526	575	614	540	632	611	505
Liczba roślin na 1 m ² przed zbiorem [szt.] Number of plants per 1 m ² before harvest [units]	Oliwin	366	332	357	342	375	321	353	299	300	312	333	328
	Opal	451	472	470	445	432	427	492	508	465	512	489	419
Ubytki roślin pod- czas wegetacji [%] Plants losses during growing period	Oliwin	16,0	11,7	13,5	15,0	12,3	21,8	10,8	15,4	20,5	20,9	11,9	12,9
	Opal	10,2	11,8	15,6	13,8	23,8	17,9	14,6	17,8	14,9	21,1	21,3	14,7

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą lub ich brak nie różnią się istotnie
The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter or without letter do not differ significantly

Tabela 9

Table 9

Cechy morfologiczne roślin przed zbiorem lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.)
(średnie dla czynników)

Morphological properties of plants before linseed (*Linum usitatissimum* L.) harvest
(mean values for factors)

Wyszczególnienie Specification	Wysokość ro- śliny [cm] Plant height	Długość techniczna [cm] Technological length of straw	Liczba rozgałęzień [szt.] Number of branches [units]	Średnica łodygi [mm] Stem diameter
Lata Years				
2009	60,1b	38,0b	6,25a	1,71b
2010	61,4a	47,0a	5,83b	1,85a
2011	45,0c	36,0c	5,95ab	1,67b
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	***	*	***
Odmiana Cultivar				
Oliwin	54,9b	39,9b	6,19a	1,85a
Opal	56,2a	40,7a	5,83b	1,64b
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	**	*	**	***
Nawożenie Fertilization				
N ₀ +S ₁ +B ₁	55,3	40,3	5,84	1,66ef
N ₀ +S ₂ +B ₂	54,3	40,0	6,03	1,67def
N ₀ +S ₃ +B ₃	55,7	40,2	5,65	1,66def
N ₁ +S ₁ +B ₁	54,7	40,2	5,84	1,81abc
N ₁ +S ₂ +B ₂	54,7	39,5	5,98	1,65f
N ₁ +S ₃ +B ₃	55,7	40,7	5,84	1,70cdef
N ₂ +S ₁ +B ₁	54,4	39,7	6,05	1,71bcdef
N ₂ +S ₂ +B ₂	57,1	40,6	6,02	1,83abc
N ₂ +S ₃ +B ₃	56,5	41,0	6,29	1,78abcde
N ₃ +S ₁ +B ₁	55,4	40,2	5,99	1,79abcd
N ₃ +S ₂ +B ₂	56,0	40,7	6,00	1,83ab
N ₃ +S ₃ +B ₃	56,6	40,9	6,59	1,84a
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS	** NS

Średnie wartości parametrów w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie

Means in the same column and parameter followed by the same letter do not differ significantly

NIR_{0,05} – LSD_{0,05}

r.n. – różnica nieistotna – NS – nonsignificant

* Różnica istotna na poziomie 0,05 – Significant at the 0,05 level of probability

** Różnica istotna na poziomie 0,01 – Significant at the 0,01 level of probability

*** Różnica istotna na poziomie 0,001 – Significant at the 0,001 level of probability

Odmiana Oliwin miała grubsze łodygi, więcej rozgałęzień, natomiast mniejszą długość techniczną w porównaniu z odmianą Opal. Nawożenie $N_3+S_3+B_3$ sprzyjało przyrostowi łodyg na grubość, a dawka $N_1+S_2+B_2$ pozwalała na uzyskanie najsmuklejszych roślin.

Współdziałanie czynników (odmiana x lata) wskazuje, że normalny (zbliżony do średniej z wielolecia pod względem średniej temperatury powietrza) 2010 r., z najwyższą sumą opadów w okresie wegetacji, pozwolił obu odmianom uzyskać rośliny najwyższe, o największej długości technicznej łodyg (tab. 10). Odmiana Oliwin uzyskała najgrubsze łodygi z najliczniejszymi rozgałęzieniami w 2011 roku. Nie wykazano istotnego współdziałania badanych czynników lata x nawożenie oraz odmiana x nawożenie (tab. 11–12).

Tabela 10

Table 10

Cechy morfologiczne roślin przed zbiorem lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.)

(średnie dla współdziałania czynników – odmiana x lata)

Morphological properties of plants before linseed (*Linum usitatissimum* L.) harvest (mean values for factors interaction – cultivar x years)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Lata Years		
		2009	2010	2011
Wysokość rośliny [cm] Plant height	Oliwin Opal	59,4b 60,9ab	61,3a 61,4a	43,9c 46,1d
Długość techniczna [cm] Technological length of straw	Oliwin Opal	38,1b 37,9b	47,6a 46,4a	34,0c 37,9b
Liczba rozgałęzień [szt.] Number of branches [units]	Oliwin Opal	5,81b 6,70a	5,81b 5,86b	6,97a 4,92c
Średnica łodygi [mm] Stem diameter	Oliwin Opal	1,67c 1,74c	1,87b 1,84b	2,00a 1,34d

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie

The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

Tabela 11
Table 11

Cechy morfologiczne roślin przed zbiorem Inu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – lata x nawożenie)
Morphological properties of plants before linseed (*Linum usitatissimum* L.) harvest (mean values for factors interaction – years x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Nawożenie – Fertilization														
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃			
Wysokość rośliny [cm] Plant height	2009	58,5	57,8	61,2	58,8	57,9	60,3	59,7	64,3	62,1	60,9	59,9	60,6			
	2010	61,8	59,6	61,2	60,6	61,2	60,9	59,3	63,1	62,2	61,6	62,5	62,7			
	2011	45,5	45,4	44,7	44,7	44,9	45,8	44,2	44,1	45,0	43,9	45,6	46,5			
Długość techniczna [cm] Technological length of straw	2009	36,5	36,8	37,7	38,1	36,5	37,7	38,4	38,7	39,4	38,7	38,9	38,7			
	2010	48,1	46,4	46,7	46,7	47,4	47,6	45,8	47,7	47,4	46,1	46,8	47,3			
	2011	36,5	36,7	36,2	35,7	34,7	36,8	35,0	35,4	36,2	35,8	36,4	36,6			
Liczba rozgałęzień [szt.] Number of branches [units]	2009	5,66	6,17	5,90	5,99	6,33	6,19	6,63	6,98	6,59	6,15	6,05	6,40			
	2010	5,53	5,49	5,58	5,76	5,71	5,26	5,59	6,11	6,30	6,24	5,89	6,54			
	2011	6,34	6,44	5,49	5,76	5,91	6,06	5,94	4,98	5,96	5,59	6,06	6,82			
Średnica łodygi [mm] Stem diameter	2009	1,55	1,71	1,73	1,70	1,65	1,71	1,63	1,92	1,77	1,76	1,65	1,72			
	2010	1,84	1,64	1,71	1,93	1,71	1,71	1,87	1,93	1,90	1,96	1,98	2,08			
	2011	1,58	1,67	1,55	1,80	1,57	1,69	1,63	1,62	1,68	1,65	1,88	1,73			

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie
The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

Tabela 12
Table 12

Cechy morfologiczne roślin przed zbiorem lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x nawożenie)
Morphological properties of plants before harvest of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – cultivar x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Nawożenie – Fertilization											
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃
Wysokość rośliny [cm] Plant height	Oliwin	54,6	54,5	57,3	54,0	54,0	54,0	53,7	56,2	54,7	55,0	54,7	55,5
	Opal	55,9	54,0	54,2	55,3	55,4	56,8	55,1	58,1	58,2	55,8	57,3	57,7
Długość techniczna [cm] Technological length of straw	Oliwin	39,8	39,6	41,5	38,8	40,0	40,0	39,3	39,8	40,1	39,5	39,9	40,9
	Opal	40,9	40,3	38,9	40,3	40,4	41,4	40,2	41,4	41,8	40,9	41,5	40,9
Liczba rozgałęzień [szt.] Number of branches [units]	Oliwin	6,07	6,45	5,70	5,76	5,77	6,18	6,06	6,30	6,53	6,56	6,35	6,59
	Opal	5,61	5,62	5,60	6,20	5,90	5,49	6,05	5,74	6,04	5,43	5,65	6,58
Średnica łodygi [mm] Stem diameter	Oliwin	1,77	1,77	1,81	1,72	1,93	1,80	1,82	1,93	1,81	1,91	2,00	1,91
	Opal	1,55	1,57	1,51	1,57	1,69	1,60	1,59	1,73	1,75	1,66	1,66	1,78

4.3. Elementy struktury plonu nasion

W przeprowadzonym doświadczeniu istotny wpływ na liczbę torebek z 1 rośliny, liczbę nasion w torebce i masę 1000 nasion miał przebieg warunków pogodowych oraz odmiana (tab. 13). Najwięcej torebek rośliny zawiązywały w ciepłym 2009 r. (12,5 szt.), a najmniejsza liczba nasion w torebce wystąpiła w wilgotnym 2010 roku. Rośliny odmiany Oliwin zawiązywały o 2,6 szt. (tj. o 20,3%) więcej torebek i więcej o 0,82 szt. (13,4%) nasion w torebce. Nie koresponduje to z wynikami doświadczeń Zająca i in. [2002], gdzie porównywano 5 odmian lnu oleistego i nie wykazano istotnych różnic w liczbie torebek z rośliny (9,0–11,3 szt.) i liczbie nasion w torebce (5,2–5,8 szt.). Witkowicz i in. [2005] wykazali, że o plonie nasion (w zmienności całkowitej 68%) decyduje w 15% liczba torebek na pędzie, w 3% liczba nasion w torebce i w 26% masa 1000 nasion. W badaniach nad lnem zauważono, że zróżnicowanie genetyczne form uprawnych lnu pod względem najważniejszych cech jest niewielkie [Praczyk i in. 2010].

Według Hocking [1995] średnie dawki azotu zapewniły co najmniej 50% udział torebek z pędów bocznych w łącznej liczbie owoców uzyskiwanych z pojedynczej rośliny. W doświadczeniu własnym nawożenie w wariancie $N_2+S_2+B_2$ wpływało korzystnie na liczbę torebek na roślinie (tab. 13). Wykazano, że odmiana Oliwin w 2011 r. zawiązała najwięcej torebek na roślinie (15,1 szt.) (tab. 14). Interakcja (lata x nawożenie) nie miała wpływu na badane elementy kształtujące plon nasion (tab. 15).

Według Bocianowskiego i Praczyka [2013b] masa 1000 nasion, obok średnicy łodyg i liczby rozgałęzień, to cecha której wartość nie zależy od warunków środowiskowych, ale od czynnika genetycznego.

W trzyletnim doświadczeniu brązowonasienna odmiana Opal uzyskała masę 1000 nasion około 7,32 g, a jasnonasienna odmiana Oliwin o 0,71 g (tj. 9,7%), niższą wartość. Nie koresponduje to z wynikami Pavlova i in. [2014], gdzie nasiona o brązowym zabarwieniu, w ocenie 18 linii, posiadały masę 1000 nasion niższą (4,4–7,2 g), a żółtonasienne wyższą (6,4–8,8g). Porównanie kilku odmian lnu oleistego przez Zająca i in. [2002] wskazuje także na istotne różnice w wielkości tego elementu kształtującego wielkość plonu nasion. Przy czym wartość masy 1000 nasion u odmiany Opal występowała na podobnym poziomie, a różnica między nimi nie przekraczała 0,08 g i była wyższa w doświadczeniu Zająca [2002], wynosiła 7,4 g. W badaniach własnych odmiana Opal, w ciepłym 2009 r., uzyskała najwyższą wartość masy 1000 nasion (8,08 g) (tab. 14), a nawożenie $N_0+S_1+B_1$, $N_1+S_3+B_3$ oraz $N_2+S_2+B_2$ korzystnie wpłynęło na wartość tej cechy u tej odmiany (tab. 16).

Tabela 13

Table 13

Elementy kształtujące plon nasion lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla czynników)
Elements of linseed (*Linum usitatissimum* L.) yield structure (mean values for factors)

Wyszczególnienie Specification	Liczba torebek z rośliny [szt.] Number of capsules per plant [units]	Liczba nasion w torebce [szt.] Number of seeds in capsules [units]	Masa 1000 nasion [g] Thousand seed weight
1	2	3	4
Lata – Years			
2009	12,5a	5,52b	7,59a
2010	11,6b	6,92a	6,12c
2011	10,4c	4,75c	7,17b
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	***	***

Tabela 13 c.d.
Table 13 cont.

1	2	3	4
Odmiana – Cultivar			
Oliwin	12,8a	6,14a	6,61b
Opal	10,2b	5,32b	7,32a
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	***	***
Nawożenie – Fertilization			
N ₀ +S ₁ +B ₁	10,4cd	5,85	6,95
N ₀ +S ₂ +B ₂	11,0bcd	5,83	6,97
N ₀ +S ₃ +B ₃	10,2d	5,51	6,91
N ₁ +S ₁ +B ₁	11,1bcd	5,82	7,09
N ₁ +S ₂ +B ₂	11,4abcd	5,68	6,90
N ₁ +S ₃ +B ₃	11,4abcd	6,07	6,92
N ₂ +S ₁ +B ₁	11,0bcd	5,74	7,04
N ₂ +S ₂ +B ₂	12,9a	5,44	6,97
N ₂ +S ₃ +B ₃	12,0abc	5,69	6,98
N ₃ +S ₁ +B ₁	11,7abcd	5,62	6,98
N ₃ +S ₂ +B ₂	12,2ab	5,69	6,89
N ₃ +S ₃ +B ₃	12,6ab	5,82	6,91
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	*	r.n. NS	r.n. NS

* Różnica istotna na poziomie 0,05 – Significant at the 0,05 level of probability

** Różnica istotna na poziomie 0,01 – Significant at the 0,01 level of probability

*** Różnica istotna na poziomie 0,001 – Significant at the 0,001 level of probability

Tabela 14

Table 14

Elementy kształtujące plon nasion lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x lata)

Elements of linseed (*Linum usitatissimum* L.) yield structure (mean values for factors interaction – cultivar x years)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Lata Years		
		2009	2010	2011
Liczba torebek z rośliny [szt.] Number of capsules [units]	Oliwin	11,6c	11,7c	15,1a
	Opal	13,5b	11,4c	5,70d
Liczba nasion w torebce [szt.] Number of seeds in capsules [units]	Oliwin	6,16a	7,24a	5,02a
	Opal	4,88a	6,59a	4,48a
Masa 1000 nasion [g] Thousand seed weight	Oliwin	7,11b	5,54d	7,18b
	Opal	8,08a	6,71c	7,16b

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie

The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

Tabela 15
Table 15

Elementy kształtujące plon nasion lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – lata x nawożenie)
Elements of linseed (*Linum usitatissimum* L.) yield structure (mean values for factors interaction – years x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Nawożenie – Fertilization														
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃			
Liczba torebekz rośliny [szt.] Number of capsules [units]	2009	11,0	11,8	11,4	12,1	12,6	12,6	12,2	16,7	13,6	12,5	11,1	12,8			
	2010	10,5	10,2	10,8	11,6	10,5	11,3	11,3	12,3	12,2	12,9	13,0	13,7			
	2011	9,68	11,1	8,40	9,64	11,0	9,71	9,71	9,68	10,3	9,76	12,4	11,4			
Liczba nasion w torebce [szt.] Number of seeds in capsules [units]	2009	4,98	5,89	5,46	5,41	5,17	6,01	6,01	4,49	5,40	5,81	6,16	5,38			
	2010	7,00	6,84	6,73	6,82	7,40	6,47	6,47	6,78	7,27	6,31	6,89	7,52			
	2011	5,57	4,76	4,34	5,22	4,47	4,74	4,74	5,05	4,39	4,74	4,02	4,57			
Masa 1000 nasion [g] Thousand seed weight	2009	7,69	7,56	7,57	7,76	7,55	7,60	7,60	7,65	7,1	7,63	7,50	7,58			
	2010	6,13	6,24	6,06	6,34	6,00	6,15	6,15	6,10	6,12	6,18	6,09	6,04			
	2011	7,03	7,12	7,12	7,19	7,16	7,40	7,40	7,16	7,11	7,14	7,11	7,12			

Tabela 16
Table 16

Elementy kształtujące plon nasion lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x nawożenie)
Elements of linseed (*Linum usitatissimum* L.) yield structure (mean values for factors interaction – cultivar x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Nawożenie Fertilization											
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃
Liczba torebek z rośliny [szt.] Number of capsules per plant [units]	Oliwin	11,3	12,9	11,1	11,8	12,1	13,0	12,6	14,6	12,8	13,3	14,6	13,4
	Opal	9,45	9,13	9,22	10,4	10,6	9,78	9,48	11,3	11,2	10,1	9,78	11,9
Liczba nasion w torebce [szt.] Number of seeds in capsules [units]	Oliwin	6,24	5,97	5,91	6,27	6,16	6,12	6,00	6,39	6,31	6,36	5,93	6,06
	Opal	5,46	5,68	5,11	5,36	5,20	6,03	5,48	4,50	5,07	4,88	5,45	5,59
Masa 1000 nasion [g] Thousand seed weight	Oliwin	6,52de	6,59cde	6,59cde	6,80c	6,63cde	6,42e	6,76	6,52de	6,70cd	6,66cd	6,53de	6,58cde
	Opal	7,38ab	7,35ab	7,24ab	7,40ab	7,18b	7,43a	7,34ab	7,41a	7,26ab	7,30ab	7,26ab	7,24ab

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie
The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

4.4. Energia i zdolność kiełkowania

Czynniki klimatyczny i odmianowy wywarły istotny wpływ na energię i zdolność kiełkowania nasion (tab. 17). Energia i zdolność kiełkowania były wyższe u odmiany Opal w porównaniu z odmianą Oliwin, kolejno o około 18,7 i 19,6% oraz najwyższe w 2010 roku w porównaniu z latami 2009 i 2011. Wykazano również wysoką zdolność kiełkowania odmiany Opal w 2010 roku, na poziomie 96,0% (tab. 18). Było to wynikiem optymalnego przebiegu warunków pogodowych do rozwoju roślin z sumą opadów w wysokości 585,7 mm w miesiącach III–IX i średnią dobową temperaturą powietrza różniącą się od średniej wieloletniej zaledwie o 0,3°C. Nawożenie oraz interakcje badanych czynników nie wywierały istotnego wpływu na wartość badanych parametrów (tab. 19–20).

Tabela 17

Table 17

Energia i zdolność kiełkowania nasion lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla czynników)
Germination energy and capacity of linseed seeds (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors)

Wyszczególnienie Specification	Energia kiełkowania [%] Germination energy	Zdolność kiełkowania [%] Germination capacity
1	2	3
Lata Years		
2009	75,7b	76,8b
2010	88,4a	88,9a
2011	48,4c	51,8c
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	***
Odmiana Cultivar		
Oliwin	61,5b	62,7b
Opal	80,2a	82,3a
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	***

Tabela 17 c.d.
Table 17 cont.

1	2	3
Nawożenie Fertilization		
$N_0+S_1+B_1$	72,4	73,9
$N_0+S_2+B_2$	69,0	71,8
$N_0+S_3+B_3$	69,3	70,3
$N_1+S_1+B_1$	70,0	71,5
$N_1+S_2+B_2$	71,0	73,5
$N_1+S_3+B_3$	68,5	68,9
$N_2+S_1+B_1$	72,6	73,8
$N_2+S_2+B_2$	72,3	73,9
$N_2+S_3+B_3$	72,3	73,2
$N_3+S_1+B_1$	68,2	71,5
$N_3+S_2+B_2$	71,7	73,4
$N_3+S_3+B_3$	73,0	74,1
$NIR_{0,05} - LSD_{0,05}$	r.n. NS	r.n. NS

*** Różnica istotna na poziomie 0,001 – Significant at the 0,001 level of probability

Tabela 18
Table 18

Energia i zdolność kiełkowania nasion lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.)
(średnie dla współdziałania czynników – odmiana x lata)
Germination energy and capacity of linseed seeds (*Linum usitatissimum* L.)
(mean values for factors interaction – cultivar x years)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Lata Years		
		2009	2010	2011
Energia kiełkowania [%] Germination energy	Oliwin Opal	65,1 86,4	81,2 95,6	38,2 58,7
Zdolność kiełkowania [%] Germination capacity	Oliwin Opal	65,4d 88,1b	81,8c 96,0a	40,8e 62,7d

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie
The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

Tabela 19
Table 19

Energia i zdolność kiełkowania nasion lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – lata x nawożenie)
Germination energy and capacity of linseed seeds (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction –years x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Nawożenie – Fertilization												
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃	
Energia kiełkowania [%] Germination energy	2009	73,6	79,9	75,6	70,5	71,9	73,6	75,8	76,4	76,8	79,4	77,5	75,5	78,8
	2010	87,8	87,5	89,6	91,3	82,9	86,8	88,8	88,1	88,8	88,8	90,0	90,1	89,5
	2011	55,9	39,5	42,5	48,4	58,4	57,4	41,0	51,9	48,9	48,9	37,1	49,5	50,8
Zdolność kiełkowania [%] Germination capacity	2009	74,8	80,5	76,4	71,9	72,9	74,4	76,4	78,4	80,1	80,1	78,8	77,0	79,9
	2010	89,1	87,9	90,3	92,0	84,4	86,9	88,8	88,5	89,0	89,0	90,0	90,4	90,0
	2011	57,8	47,0	44,1	50,8	63,3	60,3	41,5	54,9	50,4	50,4	45,9	52,9	52,5

Tabela 20
Table 20

Energia i zdolność kiełkowania nasion lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x nawożenie)
Germination energy and capacity of linseed seeds (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – cultivar x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Nawożenie – Fertilization											
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃
Energia kiełkowania [%] Germination energy	Oliwin	63,3	60,8	61,2	58,3	59,3	62,8	60,7	61,6	63,1	57,2	68,2	61,3
	Opal	81,5	77,1	77,3	81,8	82,8	82,3	76,3	82,9	81,6	79,3	75,3	84,7
Zdolność kiełkowania [%] Germination capacity	Oliwin	65,2	62,7	62,0	59,2	62,4	64,3	60,8	62,8	63,7	58,1	69,1	62,1
	Opal	82,6	80,9	78,5	83,9	84,6	83,4	76,9	85,1	82,7	85,0	77,8	86,2

4.5. Struktura plonu

4.5.1. Masa słomy odziarnionej, nasion i plew z jednej rośliny

Na masę słomy odziarnionej istotny wpływ wywierały warunki klimatyczne, czynnik genetyczny i nawozowy (tab. 21). W latach 2009, 2010 masa słomy odziarnionej i nasion z 1 rośliny była wyższa średnio o 16,4 i 27,4%, natomiast niższa o 19,3% była masa plew, w porównaniu z ostatnim rokiem badań – 2011. Średnia masa słomy odziarnionej, przy zastosowaniu różnych dawek nawozowych, oscylowała w granicach od 598 do 785 mg i była najwyższa przy zastosowaniu najwyższej dawki azotu, siarki i boru. Wysoka masa nasion z 1 rośliny lnu oleistego występowała przy nawożeniu wysokimi dawkami azotu i zróżnicowanymi dawkami boru i siarki.

Masa słomy odziarnionej, nasion i plew z 1 rośliny lnu oleistego zależała od współdziałania czynnika odmianowego i klimatycznego (tab. 22). Wysokie wartości tych cech odnotowano u odmiany Oliwin w 2011 roku. Także interakcja (lata x nawożenie) wskazuje na istotne, chociaż nieukładające się w ciąg logiczny, różnice w masie nasion i plew z 1 rośliny lnu oleistego pod wpływem zróżnicowanego nawożenia (tab. 23). Nie wykazano wpływu interakcji odmiana x nawożenie na masę słomy odziarnionej, nasion i plew z 1 rośliny lnu oleistego (tab. 24).

Tabela 21

Table 21

Powietrznie sucha masa [mg] słomy odziarnionej, nasion i plew z 1 rośliny lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla czynników)

Weight of ginned straw, seeds and husks [mg] per one plant of linseed (*Linum usitatissimum* L.) mean values for factors)

Wyszczególnienie Specification	Masa [mg] słomy odziarnionej z 1 rośliny lnu oleistego Weight of ginned straw [mg] per one plant of linseed	Masa [mg] nasion z 1 rośliny lnu oleistego Weight seeds [mg] per one plant of linseed	Masa [mg] plew z 1 rośliny lnu oleistego Weight of husks [mg] per one plant of linseed
1	2	3	4
Lata Years			
2009	744a	490a	258b
2010	749a	476a	249b
2011	624b	351b	314a
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	***	*
Odmiana Cultivar			
Oliwin	769a	491a	336a
Opal	642b	387b	211b
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	***	***

Tabela 21 c.d.
Table 21 cont.

1	2	3	4
Nawożenie Fertilization			
N ₀ +S ₁ +B ₁	611cd	397cd	206cd
N ₀ +S ₂ +B ₂	707ab	433abc	312a
N ₀ +S ₃ +B ₃	598d	371d	195d
N ₁ +S ₁ +B ₁	695bc	442abc	247bcd
N ₁ +S ₂ +B ₂	689bc	416bcd	291ab
N ₁ +S ₃ +B ₃	733ab	442abc	289ab
N ₂ +S ₁ +B ₁	682bcd	433abc	268abc
N ₂ +S ₂ +B ₂	757ab	470ab	296ab
N ₂ +S ₃ +B ₃	730ab	467ab	276ab
N ₃ +S ₁ +B ₁	744ab	457ab	314a
N ₃ +S ₂ +B ₂	738ab	456ab	277ab
N ₃ +S ₃ +B ₃	785a	483a	314a
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	**	***

* Różnica istotna na poziomie 0,05 – Significant at the 0,05 level of probability

** Różnica istotna na poziomie 0,01 – Significant at the 0,01 level of probability

*** Różnica istotna na poziomie 0,001 – Significant at the 0,001 level of probability

Tabela 22

Table 22

Powietrznie sucha masa [mg] słomy odziarnionej, nasion i plew z 1 rośliny lnu oleistego
(*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x lata)

Weight of ginned straw, seeds and husks [mg] per one plant of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – cultivar x years)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Lata Years		
		2009	2010	2011
Masa [mg] słomy odziarnionej z 1 rośliny lnu oleistego Weight of ginned straw [mg] per one plant of linseed	Oliwin Opal	682c 805b	718c 781b	908a 341d
Masa [mg] nasion z 1 rośliny lnu oleistego Weight seeds [mg] per one plant of linseed	Oliwin Opal	484b 496ab	463b 489ab	525a 177c
Masa [mg] plew z 1 rośliny lnu oleistego Weight of husks [mg] per one plant of linseed	Oliwin Opal	269b 248b	242b 256b	498a 130c

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie

The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

Tabela 23
Table 23

Powietrznie sucha masa [mg] słomy odziarnionej, nasion i plew z 1 rośliny lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – lata x nawożenie)

Weight of ginned straw, seeds and husks [mg] per one plant of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – years x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Nawożenie – Fertilization											
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃
Masa [mg] słomy odziarnionej z 1 rośliny lnu oleistego Weight of ginned straw [mg] per one plant of linseed	2009	542	757	662	734	702	797	765	836	808	804	761	756
	2010	706	670	686	745	717	665	693	781	815	783	843	887
	2011	586	695	446	607	648	738	590	654	564	643	611	713
Masa [mg] nasion z 1 rośliny lnu oleistego Weight seeds [mg] per one plant of linseed	2009	384	517	440	483	446	510	523	532	541	528	500	478
	2010	443	423	422	484	450	408	438	499	532	483	538	597
	2011	364	361	252	359	352	409	338	380	328	360	331	374
Masa [mg] plew z 1 rośliny lnu oleistego Weight of husks [mg] per one plant of linseed	2009	179	225	229	262	284	276	273	296	281	323	229	244
	2010	228	221	225	248	239	210	220	258	272	258	294	316
	2011	211	490	131	231	351	380	311	333	275	362	307	382
		hij	a	j	fghij	bcde	bc	bcdefgh	bcdef	bcdefghi	bcd	bcdefgh	b

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie

The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

Tabela 24
Table 24

Powietrznie sucha masa [mg] słomy odziarnionej, nasion i plew z 1 rośliny lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x nawożenie)

Weight of ginned straw, seeds and husks [mg] per one plant of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – cultivar x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Nawożenie – Fertilization											
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃
Masa [mg] słomy odziarnionej z 1 rośliny lnu oleistego Weight of ginned straw [mg] per one plant of linseed	Oliwin	621	779	646	735	718	801	754	894	788	861	803	832
	Opal	602	636	550	656	660	666	611	620	671	626	673	739
Masa [mg] nasion z 1 rośliny lnu oleistego Weight seeds [mg] per one plant of linseed	Oliwin	424	481	418	483	457	483	487	582	521	545	505	502
	Opal	370	386	324	401	375	402	379	358	413	369	407	463
Masa [mg] plew z 1 rośliny lnu oleistego Weight of husks [mg] per one plant of linseed	Oliwin	223	414	206	299	341	348	346	386	341	414	345	373
	Opal	189	210	184	195	242	229	190	206	211	215	208	255

4.5.2. Udział słomy odziarnionej, nasion i plew w jednej roślinie lnu oleistego

W trzyletnim doświadczeniu średni procentowy udział słomy, nasion i plew w 1 roślinie lnu oleistego wyniósł: 50,4, 30,8 oraz 18,8%. Odmiana Opal w porównaniu z odmianą Oliwin miała wyższy udział słomy odziarnionej o 3,8 punktów procentowych, niższy nasion o 1 punkt procentowy i plew o 2,8 punktów procentowych (tab. 25). W 2011 roku udział nasion w strukturze rośliny był najniższy i niższy o 3,4 punktów procentowych w porównaniu ze średnią z doświadczeń. Udział nasion i plew w 1 roślinie modyfikowany był również nawożeniem, jednak nie wykazano logicznych zależności pomiędzy dawkami nawozowymi a wartością procentową struktury plonu. Odmiana Opal uzyskała wysoki procentowy udział słomy odziarnionej, a odmiana Oliwin udział plew w 2011 roku (tab. 26). Wykazano wpływ interakcji pomiędzy latami badań a poziomem nawożenia na kształtowanie się tych cech (tab. 27). Także wcześniejsze badania pokazały, że warunki pogodowe w istotny sposób modyfikowały masę plew i słomy odziarnionej z 1 rośliny lnu oleistego [Wondołowska-Grabowska 2011a]. Natomiast nie wykazano istotnego wpływu na kształtowanie badanych cech współdziałania odmian z poziomem nawożenia (tab. 28).

Tabela 25

Table 25

Udział [%] słomy odziarnionej, nasion i plew w 1 roślinie lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.)
(średnie dla czynników)

Structure of ginned straw, seeds and husky per one plant of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors)

Wyszczególnienie Specification	Udział [%] słomy odziarnionej w 1 roślinie lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of ginned straw per one plant of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Udział [%] nasion w 1 roślinie lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of seeds per one plant of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Udział [%] plew w 1 roślinie lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of husky per one plant of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)
1	2	3	4
Lata Years			
2009	49,4	33,0a	17,6b
2010	50,9	32,5a	16,9b
2011	50,5	27,4b	22,1a
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	r.n. NS	***	***
Odmiana Cultivar			
Oliwin	48,5b	31,4a	20,3a
Opal	52,3a	30,4b	17,5b
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	**	***

Tabela 25 c.d.
Table 25 cont.

1	2	3	4
Nawożenie – Fertilization			
$N_0+S_1+B_1$	50,4	32,6a	17,0b
$N_0+S_2+B_2$	49,3	30,4bc	20,3a
$N_0+S_3+B_3$	51,7	31,4abc	16,9b
$N_1+S_1+B_1$	51,0	31,9ab	17,1b
$N_1+S_2+B_2$	49,6	29,9c	20,5a
$N_1+S_3+B_3$	50,4	30,2c	19,4a
$N_2+S_1+B_1$	49,7	31,2abc	19,1ab
$N_2+S_2+B_2$	50,7	30,3c	19,0ab
$N_2+S_3+B_3$	50,2	31,2abc	18,6ab
$N_3+S_1+B_1$	50,3	29,9c	19,7a
$N_3+S_2+B_2$	50,6	30,6bc	19,6a
$N_3+S_3+B_3$	49,5	30,4bc	19,4a
$NIR_{0,05}$ – $LSD_{0,05}$	r.n. NS	**	*

Średnie wartości parametrów w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie
Means in the same column and parameter followed by the same letter do not differ significantly

$NIR_{0,05}$ – $LSD_{0,05}$

r.n. – różnica nieistotna – NS – nonsignificant

* Różnica istotna na poziomie 0,05 – Significant at the 0,05 level of probability

** Różnica istotna na poziomie 0,01 – Significant at the 0,01 level of probability

*** Różnica istotna na poziomie 0,001 – Significant at the 0,001 level of probability

Tabela 26

Table 26

Udział [%] słomy odziarnionej, nasion i plew w 1 roślinie lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.)
(średnie dla współdziałania czynników – odmiana x lata)

Structure of ginned straw, seeds and husky per one plant of linseed (*Linum usitatissimum* L.)
(mean values for factors interaction – cultivar x years)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Lata – Years		
		2009	2010	2011
Udział [%] słomy odziarnionej w 1 roślinie lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of ginned straw per one plant of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin Opal	47,4d 52,1ab	50,5c 51,3bc	47,5d 53,4a
Udział [%] nasion w 1 roślinie lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of seeds per one plant of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin Opal	33,9 32,1	32,5 32,0	27,7 27,0
Udział [%] plew w 1 roślinie lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of husky per one plant of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin Opal	19,1b 16,1c	17,0c 16,7c	24,7a 19,6b

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie
The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

Tabela 27
Table 27

Udział [%] słomy odziarnionej, nasion i plew w 1 roślinie lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – lata x nawożenie)
Structure of ginned straw, seeds and husky per one plant of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction –years x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Nawożenie – Fertilization											
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃
Udział [%] słomy odziarnionej w 1 roślinie lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of ginned straw per one plant of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	2009	49,1	50,4	49,5	49,4	48,8	50,3	48,8	50,3	49,7	49,4	50,6	50,7
	2010	51,3	50,7	51,8	50,7	51,3	52,1	51,3	50,9	50,3	51,1	50,6	49,5
	2011	50,7	48,7	53,9	52,8	49,1	48,7	50,9	50,9	50,8	50,5	50,6	49,5
Udział [%] nasion w 1 roślinie lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of seeds per one plant of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	2009	34,8	34,6	33,3	32,9	33,6	32,1	33,6	31,9	33,1	32,0	33,3	32,6
	2010	32,1	32,3	31,5	32,5	32,4	31,6	32,4	32,5	32,9	31,7	32,0	33,0
	2011	31,0	24,4	29,5	30,4	27,6	26,9	26,5	26,5	27,6	26,0	26,3	26,2
Udział [%] plew w 1 roślinie lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of husky per one plant of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	2009	16,1f	17,1f	17,3f	17,8ef	17,6f	17,6f	17,6f	17,8ef	17,2f	18,7def	18,1ef	16,8f
	2010	16,6f	16,9f	16,8f	16,8f	16,4f	16,3f	16,4f	16,7f	16,9f	17,1f	17,4f	17,5f
	2011	18,3ef	26,9a	16,6f	16,7f	23,3abc	24,4ab	23,3abc	22,6bcd	21,7bcde	23,4abc	23,1ab	24,3ab

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie
The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

Tabela 28
Table 28

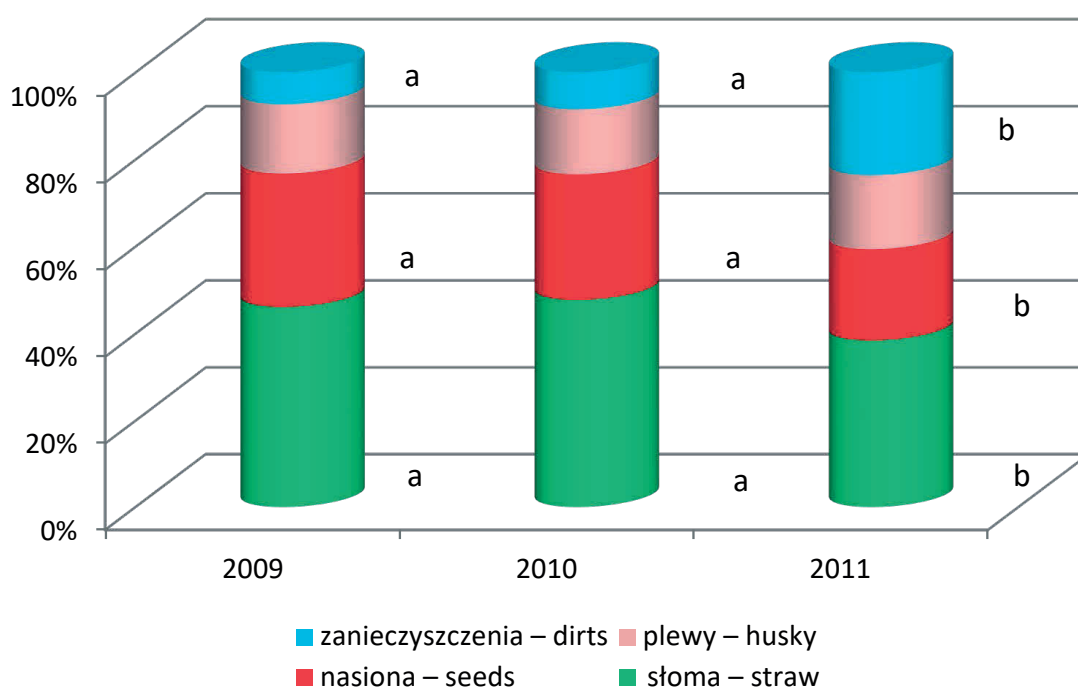
Udział [%] słomy odziarnionej, nasion i plew w 1 roślinie lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x nawożenie)
Structure of ginned straw, seeds and husky per one plant of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – cultivar x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Nawożenie – Fertilization											
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃
Udział [%] słomy odziarnionej w 1 roślinie lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of ginned straw per one plant of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin	48,8	47,8	51,0	48,6	47,3	49,6	47,6	48,1	47,8	47,9	48,4	48,9
	Opal	52,0	52,1	52,5	53,3	51,9	51,2	51,8	53,4	52,7	52,8	52,8	50,9
Udział [%] nasion w 1 roślinie lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of seeds per one plant of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin	33,7	30,7	32,7	31,9	31,1	30,1	31,0	31,7	31,6	30,5	30,9	30,5
	Opal	31,6	30,2	30,1	32,0	28,8	30,3	31,4	28,9	30,7	29,3	30,2	30,7
Udział [%] plew w 1 roślinie lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of husky per one plant of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin	17,6	22,9	16,4	19,5	21,6	20,3	21,4	20,3	20,6	21,6	20,7	20,6
	Opal	16,4	17,8	17,4	14,7	19,3	18,6	16,8	17,7	16,5	17,8	18,4	18,4

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie
The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

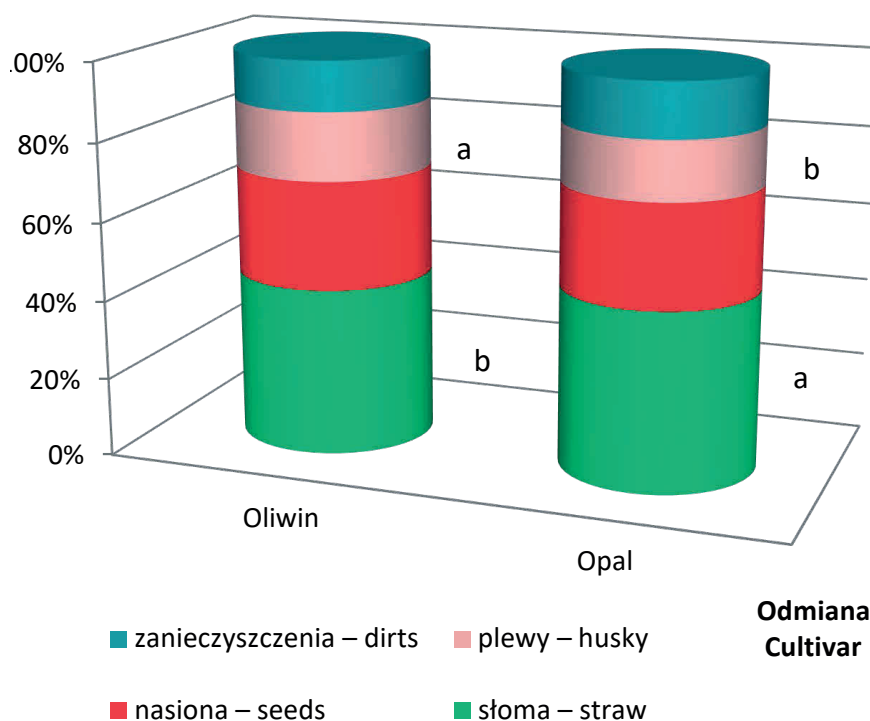
4.5.3. Udział słomy odziarnionej, nasion, plew i zanieczyszczeń w plonie ogólnym

W strukturze plonu ogólnego, poza jego podstawowymi elementami (słoma, nasiona, plewy), znajdują się zanieczyszczenia, które zawyżają wartość plonu rzeczywistego (rys. 5). Najniższy udział słomy odziarnionej i nasion uzyskano w 2011 r., na poziomie 38,6% i najwyższy procent zanieczyszczeń – ponad 23%. Odmiana Opal miała w strukturze plonu udział słomy odziarnionej, wyższy o 3,1 punktów procentowych i niższy o 2,5 punktów procentowych plew w porównaniu z odmianą Oliwin (rys. 6). Nawożenie nie wpływało na strukturę zanieczyszczeń i plonu ogólnego (rys. 7).

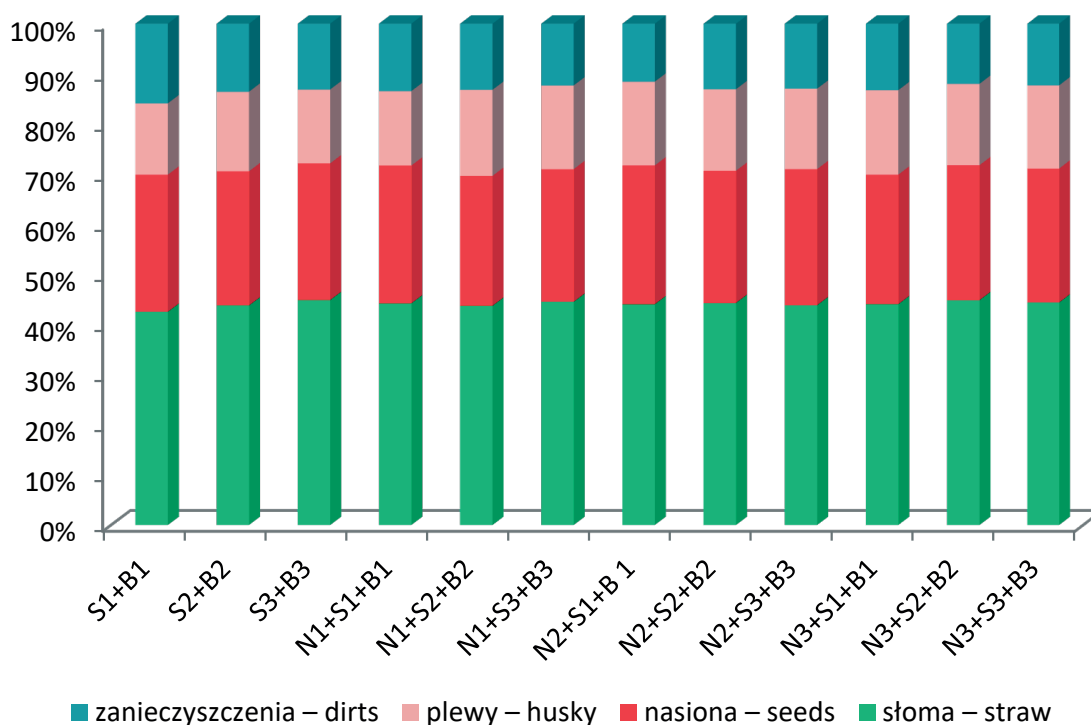


Rys. 5. Struktura masy [%] słomy odziarnionej, nasion i plew oraz zanieczyszczeń w plonie ogólnym lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla lat)

Fig. 5. Structure of ginned straw, seeds, husky and dirt in total yield of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for years)



Rys. 6. Struktura masy [%] słomy odziarnionej, nasion i plew oraz zanieczyszczeń w plonie ogólnym lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla odmian)
 Fig. 6. Structure of ginned straw, seeds, husky and dirt in total yield of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for cultivars)



Rys. 7. Struktura masy [%] słomy odziarnionej, nasion i plew oraz zanieczyszczeń w plonie ogólnym lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla nawożenia)
 Fig. 7. Structure of ginned straw, seeds, husky and dirt in total yield of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for fertilization)

4.5.4. Udział słomy odziarnionej, nasion i plew w plonie ogólnym

Wysoki udział w strukturze plonu ogólnego (słoma + nasiona + plewy) w 2011 r. stanowiły plewy (tab. 29). Udział plew w plonie wynosił 22,2% i był wyższy o 3,5 punktów procentowych w porównaniu ze średnią. Najwyższy udział nasion, w wysokości 33,0%, odnotowano w 2009 roku. Odmiana Opal charakteryzowała się wyższym udziałem słomy odziarnionej i niższym – nasion i plew w trzyletnim doświadczeniu. Podobne wyniki uzyskał Zajęc [2005], wskazując na odmianę Opal, która wśród 8 porównywanych odmian posiadała najniższy udział nasion w plonie biomasy nadziemnej.

W trzyletnim doświadczeniu nawożenie azotem, borem i siarką różnicowało udział nasion i plew w plonie ogólnym, ale nie wykazano logicznej zależności przy zróżnicowanym nawożeniu N+S+B (tab. 29).

Nie stwierdzono istotnych różnic w udziale słomy odziarnionej, nasion i plew w plonie ogólnym, biorąc pod uwagę współdziałanie lat i odmian (tab. 30), natomiast interakcja lata x nawożenie wykazała korzystny wpływ czynnika klimatycznego w 2009 r. przy zastosowaniu wszystkich kombinacji nawozowych na wysoki udział nasion i niski plew w plonie ogólnym. Zależności te jednak nie tworzą logicznego układu (tab. 31).

Tabela 29

Table 29

Udział [%] słomy odziarnionej, nasion i plew w plonie ogólnym lnu (*Linum usitatissimum* L.)
(średnie dla czynników)

Structure of ginned straw, seeds and husky in total yield of linseed (*Linum usitatissimum* L.)
(mean values for factors)

Wyszczególnienie Specification	Udział [%] słomy odziarnionej w plonie ogólnym lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of ginned straw in total yield of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Udział [%] nasion w plonie ogólnym lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of seeds in total yield of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Udział [%] plew w plonie ogólnym lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of husky in total yield of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)
1	2	3	4
Lata – Years			
2009	49,7	33,0a	17,3b
2010	51,9	31,5b	16,5b
2011	50,1	27,4c	22,2a
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	r.n. NS	***	***
Odmiana – Cultivar			
Oliwin Opal	48,7b 52,7a	31,2 30,1	20,1a 17,2b
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	1,7	r.n. NS	**

Tabela 29 c.d.
Table 29 cont.

1	2	3	4
Nawożenie – Fertilization			
$N_0+S_1+B_1$	50,6	32,5a	16,9de
$N_0+S_2+B_2$	50,3	30,2efgh	19,5abc
$N_0+S_3+B_3$	51,9	31,3abcde	16,8e
$N_1+S_1+B_1$	51,3	31,7abc	17,0cde
$N_1+S_2+B_2$	49,8	29,8gh	20,4a
$N_1+S_3+B_3$	50,6	30,1fgh	19,3abcd
$N_2+S_1+B_1$	49,9	31,1bcdef	19,0abcde
$N_2+S_2+B_2$	51,1	30,1fgh	18,9abcde
$N_2+S_3+B_3$	50,6	30,9cdefg	18,4bcde
$N_3+S_1+B_1$	50,9	29,6h	19,5ab
$N_3+S_2+B_2$	51,0	30,3defgh	18,7abcd
$N_3+S_3+B_3$	51,0	30,1fgh	19,3abcde
NIR _{0,05} –	r.n.	***	*
LSD _{0,05}	NS		

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie
The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

* Różnica istotna na poziomie 0,05 – Significant at the 0,05 level of probability

** Różnica istotna na poziomie 0,01 – Significant at the 0,01 level of probability

*** Różnica istotna na poziomie 0,001 – Significant at the 0,001 level of probability

Tabela 30

Table 30

Udział [%] słomy odziarnionej, nasion i plew w plonie ogólnym lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.)
(średnie dla współdziałania czynników – odmiana x lata)

Structure of ginned straw, seeds and husky in total yield of linseed (*Linum usitatissimum* L.)
(mean values for factors interaction – cultivar x years)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Lata Years		
		2009	2010	2011
Udział [%] słomy odziarnionej w plonie ogólnym lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of ginned straw in total yield of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin Opal	47,4 52,1	51,2 52,7	47,5 53,4
Udział [%] nasion w plonie ogólnym lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of seeds in total yield of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin Opal	33,9 32,1	32,0 31,1	27,7 27,0
Udział [%] plew w plonie ogólnym lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of husky in total yield of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin Opal	18,8 15,8	16,8 16,3	24,7 19,6

Tabela 31
Table 31

Udział [%] słomy odziarnionej, nasion i plew w plonie ogólnym lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – lata x nawożenie)
Structure of ginned straw, seeds and husky in total yield of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – years x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Nawożenie – Fertilization											
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃
Udział [%] słomy odziarnionej w plonie ogólnym lnu oleiste- go (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of ginned straw in total yield of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	2009	49,1	50,4	49,5	49,4	48,8	50,3	48,8	50,3	49,7	49,3	50,6	50,7
	2010	52,1	51,8	52,3	51,7	51,1	52,8	519	51,8	51,4	52,9	51,8	51,6
	2011	50,7	48,7	53,9	52,8	49,4	48,7	49,1	50,9	50,8	50,5	50,8	49,5
Udział [%] nasion w plonie ogólnym lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of seeds in total yield of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	2009	34,8	34,6	33,3	32,9	31,5	32,1	33,6	31,9	33,1	32,0	33,4	32,6
	2010	31,6	31,6	31,1	31,9	31,9	31,1	32,0	31,8	32,1	30,6	31,2	31,7
	2011	31,0	24,4	29,5	30,4	26,1	26,9	27,6	26,5	27,6	26,0	26,3	26,2
Udział [%] plew w plonie ogólnym lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of husky in total yield of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	2009	16,1	14,9	17,3	17,8	19,7	17,6	17,6	17,8	17,2	18,7	16,1	16,8
	2010	16,4	16,6	16,6	16,5	17,0	16,1	16,2	16,3	16,5	16,5	17,0	16,8
	2011	18,3	26,9	16,6	16,7	24,5	24,4	23,3	22,6	21,7	23,4	23,1	24,3
		efgh	a	gh	gh	ab	ab	abc	bcde	bcdeff	abc	abcd	ab

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie
The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

Tabela 32
Table 32

Udział [%] słomy odziarnionej, nasion i plew w plonie ogólnym lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.)
(średnie dla współdziałania czynników – odmiana x nawożenie)
Structure of ginned straw, seeds and husky in total yield of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – cultivar x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Nawożenie – Fertilization											
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃
Udział [%] słomy odziarnionej w plonie ogólnym lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of ginned straw in total yield of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin	52,1 gh	54,8 efg	53,7 fgh	53,7 fgh	54,4 h	55,2 efg	54,3 fgh	55,5 defg	55,6 defg	54,9 efg	54,6 fg	56,0 def
	Opal	55,5 dfg	57,4 cdef	56,1 def	56,1 def	58,4 bcde	61,3 ab	59,0 bcd	63,9 a	60,9 abc	61, lab	61, 9 ab	60,6 abc
Udział [%] nasion w plonie ogólnym lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of seeds in total yield of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin	33,5	30,4	31,7	31,7	30,8	30,0	31,1	31,5	31,3	30,3	30,8	30,3
	Opal	31,4	30,0	29,9	29,9	28,8	30,0	31,1	28,7	30,5	28,8	29,8	30,0
Udział [%] plew w plonie ogólnym lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Structure of husky in total yield of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin	17,5	21,3	19,4	19,4	21,5	20,3	21,4	20,2	20,5	21,5	20,6	20,5
	Opal	16,3	17,6	14,6	14,6	19,3	18,5	16,6	17,6	16,4	17,6	16,8	18,0

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie
The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

4.6. Plon biologiczny słomy, nasion i plew

Najwyższy plon nasion uzyskano w latach 2009 i 2010 u odmiany Opal. Obliczony plon biologiczny nasion jest porównywalny z wynikami Pavlova i in. [2014], gdzie w zestawieniu kilkunastu linii rozpiętość wyników dla linii brązowych jest znaczna i wynosi od 0,7 do 1,6 Mg·ha⁻¹, a linie o nasionach jasnych osiągają wartość 1,3–1,4 Mg·ha⁻¹. Plon biologiczny słomy odziarnionej, nasion i plew w przeprowadzonym doświadczeniu był najniższy w 2011 roku (tab. 33). Odmiana Opal osiągnęła wyższy plon słomy odziarnionej o 0,41 Mg·ha⁻¹ w porównaniu z odmianą Oliwin. Nawożenie modyfikowało plon biologiczny słomy, nasion i plew. W 2010 roku odmiana Opal uzyskała najwyższy plon słomy odziarnionej 7,35 Mg·ha⁻¹.

Najwyższy plon biologiczny słomy nieodziarnionej uzyskała odmiana Opal w 2010 r., a wysoki plon biologiczny plew – odmiana Opal w 2009 roku (tab. 34). Nie wykazano wpływu współdziałania czynników lata x nawożenie oraz odmiana x nawożenie na wielkość plonu biologicznego słomy nieodziarnionej i odziarnionej, nasion i plew. Jedynie współdziałanie lata x nawożenie wpływało na plon biologiczny słomy odziarnionej, dla którego jednak nie wykazano logicznej zależności stosowanych dawek nawozowych w latach badań (tab. 35, 36). Jest to nieco inny wynik niż przedstawione rezultaty badań uzyskane przez innych autorów. Lata badań, czynnik odmianowy, nawozowy oraz współdziałanie czynników (lata x odmiana) według Pavlova i in. [2014] różnicowały istotnie plon biologiczny ogólny słomy nieodziarnionej. Stwierdzono dodatnią współzależność pomiędzy plonem słomy a plonem nasion [Bocianowski i Praczyk 2013b].

Tabela 33

Table 33

Plon biologiczny [Mg·ha⁻¹] słomy nieodziarnionej, odziarnionej, nasion i plew lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla czynników)
Biological yield [Mg·ha⁻¹] of seeded and ginned straw, seeds and husks of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors)

Wyszczególnienie Specification	Plon biologiczny słomy nieodziarnionej lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) [Mg·ha ⁻¹] Biological yield of seeded straw of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Plon biologiczny słomy odziarnionej lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) [Mg·ha ⁻¹] Biological yield of ginned straw of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Plon biologiczny nasion lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) [Mg·ha ⁻¹] Biological yield of seeds of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Plon biologiczny plew lnu oleistego [Mg·ha ⁻¹] (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Biological yield of husks of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)
1	2	3	4	5
Lata – Years				
2009	6,79a	3,14a	2,08a	1,09a
2010	6,87a	3,27a	1,98b	1,03a
2011	5,09b	1,94b	1,05c	0,87b
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	***	***	***
Odmiana – Cultivar				
Oliwin	5,95b	2,56b	1,66	1,03
Opal	6,55a	3,01a	1,74	0,97
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	***	r.n. NS	r.n. NS

Tabela 33 c.d. – Table 33 cont.

1	2	3	4	5
Nawożenie – Fertilization				
N ₀ +S ₁ +B ₁	5,90bc	2,54cd	1,63bc	0,86cd
N ₀ +S ₂ +B ₂	6,19abc	2,61cd	1,60bc	1,01abc
N ₀ +S ₃ +B ₃	5,48c	2,49d	1,51c	0,81d
N ₁ +S ₁ +B ₁	6,16abc	2,76abcd	1,71ab	0,92bcd
N ₁ +S ₂ +B ₂	6,50ab	2,89ab	1,73ab	1,14a
N ₁ +S ₃ +B ₃	6,06bc	2,73bcd	1,64bc	1,01abc
N ₂ +S ₁ +B ₁	6,32ab	2,81abc	1,76ab	1,04ab
N ₂ +S ₂ +B ₂	6,50ab	2,92ab	1,74ab	1,05ab
N ₂ +S ₃ +B ₃	6,26ab	2,80abc	1,74ab	1,00abc
N ₃ +S ₁ +B ₁	6,53ab	2,92ab	1,72ab	1,08ab
N ₃ +S ₂ +B ₂	6,74a	3,02a	1,85a	1,07ab
N ₃ +S ₃ +B ₃	6,38ab	2,90ab	1,76ab	1,04abc
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	*	**	*	**

Średnie wartości parametrów w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie

Means in the same column and parameter followed by the same letter do not differ significantly

NIR_{0,05} – LSD_{0,05}

r.n. – różnica nieistotna – NS – nonsignificant

* Różnica istotna na poziomie 0,05 – Significant at the 0,05 level of probability

** Różnica istotna na poziomie 0,01 – Significant at the 0,01 level of probability

*** Różnica istotna na poziomie 0,001 – Significant at the 0,001 level of probability

Tabela 34

Table 34

Plon biologiczny [Mg·ha⁻¹] słomy nieodziarnionej, odziarnionej, nasion i plew lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x lata)

Biological yield [Mg·ha⁻¹] of seeded and ginned straw, seeds and husks of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – cultivar x years)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Lata – Years		
		2009	2010	2011
Plon biologiczny [Mg·ha ⁻¹] słomy nieodziarnionej lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Biological yield of seeded straw of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin Opal	6,71bc 6,87b	6,38c 7,35a	4,75e 5,44d
Plon biologiczny [Mg·ha ⁻¹] słomy odziarnionej lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Yield of ginned straw of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin Opal	2,94 3,34	3,06 3,48	1,67 2,20
Plon biologiczny [Mg·ha ⁻¹] nasion lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Biological yield of seeds of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin Opal	2,10 2,05	1,90 2,05	0,98 1,11
Plon biologiczny [Mg·ha ⁻¹] plew lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Biological yield of husks of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin Opal	1,17a 1,02bc	1,00bc 1,07ab	0,92cd 0,83d

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie

The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

Tabela 35 – Table 35

Plon biologiczny [Mg·ha⁻¹] słomy nieodziarnionej, odziarnionej, nasion i plew lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – lata x nawożenie)

Biological yield [Mg·ha⁻¹] of seeded and ginned straw, seeds and husks of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – years x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Nawożenie – Fertilization											
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃
Plon biologiczny [Mg·ha ⁻¹] słomy nie- odziarnionej lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Biological yield of seeded straw of linseed (<i>Linum</i> <i>usitatissimum</i> L.)	2009	5,84	6,09	5,59	6,63	7,22	6,99	7,13	6,98	6,93	6,90	7,71	7,52
	2010	6,93	6,23	6,47	6,89	6,97	6,41	6,49	7,28	7,13	7,30	7,32	6,91
	2011	6,17	4,92	4,38	4,97	5,30	4,77	5,33	5,22	4,72	5,40	5,20	4,72
Plon biologiczny [Mg·ha ⁻¹] słomy odziar- nionej lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Biological yield of ginned straw of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	2009	2,49	2,93	2,58	3,01	3,37	3,26	3,24	3,20	3,18	3,14	3,64	3,64
	2010	3,32	2,99	3,15	3,28	3,30	3,07	3,14	3,48	3,38	3,48	3,41	a
	2011	abcde	def	cde	abcde	abcde	cde	cde	abcd	abcde	abc	abcd	3,25
Plon biologiczny [Mg·ha ⁻¹] nasion lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Biological yield of seeds of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	2009	1,78	2,01	1,72	1,99	2,16	2,09	2,22	2,03	2,12	2,07	2,40	2,33
	2010	2,02	1,82	1,86	2,00	1,99	1,81	1,92	2,11	2,10	2,01	2,08	1,99
	2011	1,10	0,98	0,96	1,14	1,05	1,02	1,15	1,08	1,08	1,08	1,06	0,95
Plon biologiczny [Mg·ha ⁻¹] plew lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Biological yield of husks of linseed (<i>Linum</i> <i>usitatissimum</i> L.)	2009	0,83	0,85	0,90	1,08	1,36	1,16	1,18	1,14	1,10	1,19	1,14	1,19
	2010	1,04	0,96	0,99	1,03	1,10	0,93	0,96	1,06	1,08	1,08	1,15	1,04
	2011	0,70	1,21	0,54	0,65	0,97	0,93	0,98	0,92	0,81	0,97	0,93	0,87

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie

The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

Tabela 36 – Table 36

Plon biologiczny [Mg·ha⁻¹] słomy nieodziarnionej, nasion i plew lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – o
dmiana x nawożenie)

Biological yield [Mg·ha⁻¹] of seeded and ginned straw, seeds and husks of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – cultivar x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Odmi- ana Cultivar	Nawożenie – Fertilization											
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃
Plon biologiczny [Mg·ha ⁻¹] słomy nie- odziarnionej lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Biological yield of seeded straw of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin	5,56	6,35	5,43	5,79	5,95	5,61	6,19	6,19	5,95	6,22	6,32	5,84
	Opal	6,24	6,02	5,53	6,53	7,05	6,51	6,44	6,81	6,57	6,85	7,17	6,93
Plon biologiczny [Mg·ha ⁻¹] słomy odziar- nionej lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Biological yield of ginned straw of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin	2,28	2,47	2,42	2,50	2,55	2,43	2,62	2,73	2,60	2,76	2,71	2,59
	Opal	2,79	2,75	2,57	3,01	3,22	3,03	3,00	3,11	3,01	3,08	3,33	3,21
Plon biologiczny [Mg·ha ⁻¹] nasion lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Biological yield of seeds of linseed (<i>Linum</i> <i>usitatissimum</i> L.)	Oliwin	1,59	1,60	1,57	1,64	1,65	1,50	1,73	1,79	1,70	1,76	1,76	1,65
	Opal	1,68	1,61	1,45	1,78	1,82	1,77	1,79	1,69	1,78	1,67	1,94	1,87
Plon biologiczny [Mg·ha ⁻¹] plew lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Biological yield of husks of linseed (<i>Linum</i> <i>usitatissimum</i> L.)	Oliwin	0,84	1,10	0,79	0,98	1,12	0,98	1,14	1,08	1,04	1,16	1,12	1,02
	Opal	0,87	0,92	0,83	0,85	1,17	1,04	0,94	1,01	0,95	1,00	1,02	1,05

4.7. Zawartość składników mineralnych w nasionach

Średnia zawartość magnezu w nasionach badanych odmian lnu oleistego wynosiła $358 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Czynniki nawozowy i genetyczny oraz interakcje odmiana x nawożenie, lata x nawożenie i odmiana x lata nie wpłynęły na różnicowanie się zawartości magnezu w nasionach lnu oleistego (tab. 37). Jedynie warunki klimatyczne wpływały na jego zawartość i największej magnezu w trzyletnim doświadczeniu gromadziły nasiona w 2009 roku.

Wszystkie badane czynniki i współdziałanie (lata x odmiana) istotnie wpłynęły na zawartość fosforu i potasu w nasionach. Najwyższą wartość fosforu w nasionach ($569 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) odnotowano w 2009 r., natomiast potasu ($634 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) w roku 2010. Według Singh i in. [2012] zawartość Ca w nasionach może występować na poziomie $129 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. W przeprowadzonym doświadczeniu akumulacja wapnia w nasionach wahała się w szerokim zakresie od 102 do $160 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. W roku 2010 stwierdzono wyższą zawartość wapnia i sodu w nasionach lnu oleistego. Nasiona jasnonasiennej odmiany gromadziły mniej fosforu o 12, a potasu o $17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, natomiast więcej wapnia ($153 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) i sodu ($95,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) w porównaniu z odmianą o ciemnym zabarwieniu nasion.

Odmiana Opal gromadziła w nasionach największą zawartość fosforu w 2009 r., potasu w 2009 i 2010 oraz wapnia w 2010 r., natomiast w nasionach odmiany Oliwin odnotowano wysoką zawartość wapnia i sodu w 2010 roku (tab. 38). Nie wykazano współdziałania badanych czynników w gromadzeniu składników mineralnych w nasionach lnu oleistego (tab. 39, 40).

Tabela 37

Table 37

Zawartość składników mineralnych [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$] w nasionach lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.)
(średnie dla czynników)

Content of mineral nutrients [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$] in seeds of linseed (*Linum usitatissimum* L.)
(mean values for factors)

Wyszczególnienie Specification	Mg	P	K	Ca	Na
1	2	3	4	5	6
Lata Years					
2009	404a	569a	617b	113c	39,8b
2010	348b	551b	634a	153a	95,4a
2011	322b	403c	344c	127b	25,2c
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	***	***	***	***
Odmiana Cultivar					
Oliwin	370	502b	523b	134a	60,1a
Opal	346	514a	540a	128b	46,9b
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	r.n. NS	***	**	**	***

Tabela 37 c.d.
Table 37 cont.

1	2	3	4	5	6
Nawożenie Fertilization					
N ₀ +S ₁ +B ₁	385	515a	504g	129	55,7
N ₀ +S ₂ +B ₂	347	512ab	525def	132	55,8
N ₀ +S ₃ +B ₃	319	511ab	547a	133	59,7
N ₁ +S ₁ +B ₁	365	511ab	517f	133	54,5
N ₁ +S ₂ +B ₂	371	516a	535bcd	131	54,0
N ₁ +S ₃ +B ₃	401	514a	346h	132	53,3
N ₂ +S ₁ +B ₁	328	504abc	528cdef	129	49,8
N ₂ +S ₂ +B ₂	368	505abc	533bcde	131	54,2
N ₂ +S ₃ +B ₃	337	513ab	547a	139	52,5
N ₃ +S ₁ +B ₁	350	498b	523ef	128	52,2
N ₃ +S ₂ +B ₂	370	501bc	539bc	130	50,3
N ₃ +S ₃ +B ₃	355	496b	540b	125	49,5
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	r.n. NS	*	*	r.n. NS	r.n. NS

* Różnica istotna na poziomie 0,05 – Significant at the 0,05 level of probability

** Różnica istotna na poziomie 0,01 – Significant at the 0,01 level of probability

*** Różnica istotna na poziomie 0,001 – Significant at the 0,001 level of probability

Tabela 38

Table 38

Zawartość składników mineralnych [mg·kg⁻¹] w nasionach lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.)
(średnie dla współdziałania czynników – odmiana x lata)

Content of mineral nutrients [mg·kg⁻¹] in seeds of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for
factors interaction – cultivar x years)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Lata Years		
		2009	2010	2011
Mg	Oliwin	419	353	338
	Opal	389	343	306
P	Oliwin	537c	533d	437e
	Opal	602a	569b	370f
K	Oliwin	593c	615b	362d
	Opal	642a	653a	326e
Ca	Oliwin	110ef	156a	136b
	Opal	115de	150a	118cd
Na	Oliwin	50,5c	102a	28,0ef
	Opal	29,1de	89,2b	22,3f

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie

The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

Tabela 39
Table 39

Zawartość składników mineralnych [mg·kg⁻¹] w nasionach lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – lata x nawożenie)

Content of mineral nutrients [mg·kg⁻¹] in seeds of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – years x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Nawożenie – Fertilization											
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃
Mg	2009	435	433	393	403	405	400	385	398	401	414	395	387
	2010	365	355	340	360	360	360	340	330	335	340	365	325
	2011	354	252	224	333	348	444	259	376	275	297	350	354
P	2009	576	569	573	562	572	572	563	571	572	571	572	563
	2010	555	560	555	555	560	560	545	545	560	535	545	535
	2011	413	408	406	415	415	410	403	400	407	388	387	391
K	2009	592	615	637	608	623	632	622	622	610	615	625	613
	2010	590	620	650	600	630	645	620	635	665	625	650	675
	2011	330	341	353	343	352	362	342	342	366	331	341	332
Ca	2009	107	112	115	121	106	112	120	116	132	110	102	102
	2010	150	155	155	150	160	150	150	160	155	145	160	145
	2011	128	128	128	129	128	134	118	118	129	128	128	129
Na	2009	52,5	50,0	51,5	47,5	46,5	44,5	30,0	32,0	27,5	30,5	31,5	33,5
	2010	90,0	95,0	100	90,0	90,0	90,0	95,0	105	105	100	95,0	90,0
	2011	24,5	22,5	27,5	26,0	25,5	25,5	24,5	25,5	25,0	26,0	24,5	25,0

Tabela 40
Table 40

Zawartość składników mineralnych [mg·kg⁻¹] w nasionach lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x nawożenie)

Content of mineral nutrients [mg·kg⁻¹] in seeds of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – cultivar x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Nawożenie – Fertilization											
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃
Mg	Oliwin	395	388	351	380	371	375	318	375	384	355	375	372
	Opal	374	305	286	350	371	427	337	427	289	346	365	339
P	Oliwin	515	509	509	501	508	506	494	502	502	492	496	490
	Opal	514	515	514	521	523	521	513	508	523	504	506	502
K	Oliwin	497	522	531	508	530	540	524	527	540	515	526	520
	Opal	511	528	562	526	539	552	532	539	553	532	551	560
Ca	Oliwin	132	135	138	142	138	135	125	131	144	125	138	125
	Opal	125	128	128	124	124	128	133	131	133	130	121	125
Na	Oliwin	64,7	62,0	69,3	59,7	61,0	62,0	55,0	58,7	55,7	57,7	58,3	56,7
	Opal	46,7	49,7	50,0	49,3	47,0	44,7	44,7	49,7	49,3	46,7	42,3	42,3

4.8. Zawartość składników organicznych w nasionach oraz wartość energetyczna nasion

Średnia zawartość białka w nasionach lnu w trzyletnim doświadczeniu wynosiła $261 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Różnice w zawartości tego składnika były modyfikowane czynnikami klimatycznym, odmianowym i współdziałaniem badanych czynników (lata \times odmiana) (tab. 41, 42). Rok 2011, z najniższą sumą dobowych temperatur o wartości $1864,8^\circ\text{C}$ i najmniejszą liczbą dni z opadami w okresie od siewu do dojrzałości pełnej (61 dni), sprzyjał gromadzeniu białka ogólnego, którego było $275 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ nasion. Odmiana Opal odznaczała się wyższą zawartością białka w nasionach w porównaniu z odmianą Oliwin, różnica ta wyniosła $23 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. W ocenie innych autorów, ze względu na różnice odmianowe, zawartość białka może mieścić się w granicach od 239 do $291 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ [Wondołowska-Grabowska i in. 2015] lub może być niższa i kształtować się na poziomie zaledwie $218 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ [Singh i in. 2012].

Niezależnie od badanych czynników średnia zawartość tłuszczu surowego w nasionach lnu oleistego może wynosić od 414 do $424 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ [Singh i in. 2012]. Podobne rezultaty uzyskano w doświadczeniu własnym, gdzie zawartość tłuszczu w nasionach dla różnych kombinacji badanych czynników wahała się w granicach od 382 do $450 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 42–44). W 2010 roku w porównaniu z latami 2009 i 2011 stwierdzono najniższą zawartość tłuszczu w nasionach badanych odmian lnu oleistego, na poziomie $404 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Czynniki odmianowy nie różnicował istotnie tej cechy, natomiast zaobserwowano istotnie najkorzystniejszą do gromadzenia się tłuszczu surowego kombinację nawożenia $\text{N}_0 + \text{S}_1 + \text{B}_1$. W badaniach Wielebskiego i in. [2017] wzrost dawki nawożenia azotem oraz dodatek siarki nie różnicował zawartości tłuszczu w nasionach badanych odmian lnu, natomiast badania Zająca i Oleksego [2010] udokumentowały obniżenie zawartości tłuszczu pod wpływem zwiększenia dawek azotu.

Easson i Molloy [2000] wykazali, że wzrost ilości wysiewu może spowodować wzrost plonu włókna surowego nawet o 25%. Wyższe zagęszczenie roślin, z powodu konkurencji wewnątrzgatunkowej, wpływa nie tylko na wzrost wysokości łodyg, ale także na zawartość włókna surowego. Zagęszczenie roślin w trzyletnim doświadczeniu było istotnie wyższe w 2011 r., jednak w tym roku zawartość włókna surowego nie osiągnęła wartości najwyższej. Zauważono zależność pomiędzy zawartością włókna surowego i długością techniczną, które uzyskały wartości istotnie najwyższe w 2010 r., tj. średnio $67,8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 41) włókna surowego przy długości technicznej 47 cm (tab. 9). Procentowa zawartość włókna w nasionach obu badanych odmian nie różniła się istotnie i średnio wynosiła $61,3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 41). Odnotowano szczególnie wysoką wartość tego składnika u odmiany Oliwin w 2010 roku (tab. 42).

Zawartość popiołu w nasionach lnu oleistego wahała się od 30,2 do $43,6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 41–44). Różnice w zawartości popiołu były wynikiem różnorodnych warunków klimatycznych w latach doświadczeń (tab. 41). Zawartość tego składnika w nasionach w roku 2009 – z najwyższą sumą dobowych temperatur ($2483,4^\circ\text{C}$) i najwyższą sumą opadów (431 mm) w okresie od siewu do dojrzałości pełnej była w porównaniu z 2010 i 2011 rokiem, najwyższa i wynosiła $39,7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Według Singh i in. [2012] zmienność odmianowa w zawartości popiołu może wahać się od 3 do $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Nie koresponduje to z doświadczeniem własnym, gdzie czynniki nawozowy i genetyczny oraz ich współdziałanie nie wywarły istotnych różnic w zawartości popiołu w nasionach (tab. 44). Wykazano średnią zawartość tego składnika w nasionach badanych odmian na poziomie $36,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 42–44). Jedynie w interakcji odmiana

x lata wskazano wysoką zawartość popiołu w nasionach odmiany Opal w 2009 r. i uzyskano wartości 41,7 g·kg⁻¹ (tab. 42).

W przeprowadzonych badaniach odmiana Opal charakteryzowała się wysoką, o 20 g·kg⁻¹ wyższą, zawartością związków bezazotowych wyciągowych w porównaniu z odmianą Oliwin (tab. 41). Również wysokie wartości BAW odnotowano w 2009 i 2010 r. (tab. 41) oraz u ciemnonasiennej odmiany w roku 2010 (tab. 42). Nie udowodniono statystycznie wpływu czynnika nawozowego oraz jego interakcji z badanymi czynnikami na zawartość bezazotowych związków wyciągowych w nasionach lnu oleistego.

Nasiona lnu kumulują N w ilości 36–42 g·kg⁻¹ [Singh i in. 2012]. W przeprowadzonym doświadczeniu zmienna ilość azotu w nasionach wahała się w granicach od 37,8 do 44,7 g·kg⁻¹, ale nie było to wynikiem istotnego wpływu badanych czynników lub ich interakcji.

W doświadczeniu średnia wartość energetyczna 1 kg nasion wynosiła 12,1 MJ. Czynniki odmianowy różnicował istotnie ten parametr, wskazując różnicę między odmianami na poziomie 0,5MJ na korzyść odmiany Oliwin. W 2011 roku nasiona uzyskiwały wyższą wartość energetyczną w porównaniu z pierwszym i drugim rokiem badań. Czynniki nawozowy oraz interakcja badanych czynników nie wpłynęła na różnicowanie się wartości energetycznej nasion (tab. 41–44).

Singh i in. [2012] wykazali, że średnia wartość energetyczna 1 kg nasion lnu zależy między innymi od ich uwilgotnienia. Nasiona suche, z zawartością około 4% wody, uzyskały wartość energetyczną na poziomie 12,85 MJ, natomiast przy wzroście udziału wody w nasionach do wysokości 17,21% wartość energetyczna obniżyła się do poziomu 9,96 MJ.

Tabela 41

Table 41

Zawartość suchej masy, składników organicznych [g·kg⁻¹] oraz wartość energetyczna [MJ] nasion lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla czynników)
Content of dry matter, organic nutrients [g·kg⁻¹] and energy value [MJ] in seeds of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors)

Wyszczególnienie Specification	Sucha masa Dry matter	Białko ogółem Crude protein	Tłuszcz surowy Crude fat	Włókno surowe Crude fibre	Popiół surowy Crude ash	BAW N-free extractives	N Nitrogen	Wartość energetyczna 1 kg nasion Energy value 1 kg of seeds
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lata Years								
2009	933c	245c	435a	59,7b	39,7a	221a	39,1c	12,2b
2010	949a	262b	404b	67,8a	38,4b	227a	41,9b	11,8c
2011	937b	275a	435a	56,5b	31,6c	203b	44,1a	12,4a
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	***	***	**	***	***	***	***
Odmiana Cultivar								
Oliwin	942a	249b	444	63,5	36,7	207b	39,9b	12,4a
Opal	937b	272a	405	59,1	36,4	227a	43,5a	11,9b
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	***	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS	***	***	***

Tabela 41 c.d. – Table 41 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nawożenie – Fertilization								
N ₀ +S ₁ +B ₁	941	257	424a	64,8	36,6	218	41,1	12,1
N ₀ +S ₂ +B ₂	940	256	418b	70,6	37,0	219	40,9	12,1
N ₀ +S ₃ +B ₃	940	257	419ab	70,3	36,8	216	41,2	12,1
N ₁ +S ₁ +B ₁	939	263	426ab	61,1	36,5	215	41,9	12,2
N ₁ +S ₂ +B ₂	939	259	427ab	61,4	38,1	214	41,4	12,2
N ₁ +S ₃ +B ₃	940	258	426ab	58,6	37,3	220	41,3	12,2
N ₂ +S ₁ +B ₁	940	266	425ab	60,0	35,6	214	42,5	12,2
N ₂ +S ₂ +B ₂	939	263	427ab	59,4	36,7	213	42,1	12,2
N ₂ +S ₃ +B ₃	937	262	424ab	58,9	36,7	220	41,9	12,2
N ₃ +S ₁ +B ₁	940	263	428ab	57,0	35,7	217	42,0	12,2
N ₃ +S ₂ +B ₂	941	263	427ab	56,0	35,9	220	42,1	12,2
N ₃ +S ₃ +B ₃	939	263	425ab	57,8	35,8	218	42,1	12,2
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS

Średnie wartości parametrów w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie

Means in the same column and parameter followed by the same letter do not differ significantly

NIR_{0,05} – LSD_{0,05}

r.n. – różnica nieistotna – NS – nonsignificant

** Różnica istotna na poziomie 0,01 – Significant at the 0,01 level of probability

*** Różnica istotna na poziomie 0,001 – Significant at the 0,001 level of probability

Tabela 42 – Table 42

Zawartość suchej masy, składników organicznych [g·kg⁻¹] oraz wartość energetyczna [MJ] nasion lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x lata)

Content of dry matter, organic nutrients [g·kg⁻¹] and energy value [MJ] in seeds of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – cultivar x years)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Lata – Years		
		2009	2010	2011
Sucha masa [g·kg ⁻¹] Dry matter	Oliwin Opal	936 930	950 947	938 935
Białko ogółem [g·kg ⁻¹] Crude protein	Oliwin Opal	231f 258de	255e 270b	262cd 289a
Tłuszcz surowy [g·kg ⁻¹] Crude fat	Oliwin Opal	462a 409e	421c 389f	451b 418d
Włókno surowe [g·kg ⁻¹] Crude fibre	Oliwin Opal	60,0bc 59,4bc	78,9a 56,6bc	51,7c 61,3b
Popiół surowy [g·kg ⁻¹] Crude ash	Oliwin Opal	37,7b 41,7a	38,1b 38,7b	34,2c 28,9d
BAW [g·kg ⁻¹] N-free extractives	Oliwin Opal	210c 232b	207c 246a	203c 204c
N [g·kg ⁻¹] Nitrogen	Oliwin Opal	36,9d 41,3c	40,9c 43,0b	41,9c 46,3a
Wartość energetyczna 1 kg nasion [MJ] Energy value 1 kg of seeds	Oliwin Opal	12,6a 11,9c	12,1b 11,6c	12,5a 12,2b

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie

The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

Tabela 43
Table 43

Zawartość suchej masy, składników organicznych [g·kg⁻¹] oraz wartość energetyczna [MJ] nasion lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.)
(średnie dla współdziałania czynników – lata x nawożenie)

Content of dry matter, organic nutrients [g·kg⁻¹] and energy value [MJ] in seeds of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – years x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Nawożenie – Fertilization												
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃	
Sucha masa Dry matter	2009	933	933	934	941	932	934	933	932	932	931	934	937	933
	2010	949	949	950	948	948	949	949	948	948	948	949	950	949
	2011	940	938	936	934	938	938	938	937	931	931	937	938	935
Białko ogółem Crude protein	2009	243	242	238	252	242	236	248	243	243	243	250	250	249
	2010	263	259	259	264	260	262	271	268	264	264	263	260	258
	2011	264	266	276	274	275	276	278	279	279	279	276	279	283
Tłuszcz surowy Crude fat	2009	438	436	438	433	435	437	435	439	433	433	436	432	433
	2010	399	382	383	411	415	410	408	409	406	412	412	413	408
	2011	436	438	438	434	432	432	432	435	434	436	436	434	434
Włókno surowe Crude fibre	2009	60,3	61,1	59,7	62,9	63,8	55,0	57,5	60,3	60,2	60,2	56,6	58,0	60,9
	2010	75,7	96,7	93,6	63,8	61,6	61,5	66,0	63,9	60,4	60,4	59,7	54,1	56,7
	2011	58,5	53,9	57,6	56,7	58,8	59,5	56,6	54,2	56,1	56,1	54,7	55,9	55,8
Popiół surowy Crude ash	2009	39,4	39,6	38,2	38,8	43,6	40,0	38,9	39,4	40,1	40,1	39,9	39,7	39,0
	2010	38,1	39,1	39,2	38,5	39,1	39,1	37,3	39,3	38,5	38,5	36,9	37,9	38,3
	2011	32,3	32,4	33,0	32,4	31,7	32,8	30,5	30,5	31,4	31,6	30,5	30,2	30,2
BAW N-free extractives	2009	220	222	227	213	216	232	221	219	223	223	218	220	219
	2010	225	223	226	223	224	228	219	220	232	232	229	236	239
	2011	209	210	195	208	203	200	202	201	204	204	205	204	198
N Nitrogen	2009	38,9	38,7	38,0	40,4	38,7	37,8	39,7	38,8	39,0	39,0	39,9	40,1	39,8
	2010	42,1	41,5	41,5	41,4	41,7	41,9	43,3	42,9	42,2	42,0	42,0	41,2	41,4
	2011	42,3	42,6	44,2	43,9	44,0	44,2	44,6	44,7	44,7	44,2	44,2	44,6	45,3
Wartość energetyczna 1 kg nasion Energy value 1 kg of seeds	2009	12,3	12,3	12,3	12,3	12,2	12,3	12,3	12,3	12,2	12,2	12,3	12,2	12,2
	2010	11,8	11,5	11,5	12,0	12,0	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	12,0	11,9
	2011	12,4	12,4	12,4	12,4	12,3	12,3	12,3	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4

Tabela 44

Table 44

Zawartość suchej masy, składników organicznych [g·kg⁻¹] oraz wartość energetyczna [MJ] nasion lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x nawożenie)

Content of dry matter, organic nutrients [g·kg⁻¹] and energy value [MJ] in seeds of linseed (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – cultivar x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Nawożenie – Fertilization													
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃		
Sucha masa Dry matter	Oliwin Opal	942 939	942 937	943 937	941 936	943 936	942 938	941 937	943 938	942 938	942 938	937 936	942 941	942 941	942 936
Białko ogółem Crude protein	Oliwin Opal	247 267	245 267	246 269	251 276	245 272	254 277	241 275	241 275	241 277	241 275	246 278	251 276	252 273	259 273
Tłuszcz surowy Crude fat	Oliwin Opal	439 410	432 405	431 408	446 406	449 405	447 403	450 402	450 402	447 403	447 408	449 400	447 408	448 408	445 405
Włókno surowe Crude fibre	Oliwin Opal	70,9 58,7	80,3 60,8	79,4 61,2	60,0 62,3	60,9 61,9	61,2 58,8	60,2 57,1	60,2 57,1	61,2 58,8	61,1 57,8	57,4 60,3	58,4 55,6	55,0 56,9	57,8 57,8
Popiół surowy Crude ash	Oliwin Opal	37,3 35,9	37,6 36,4	36,1 37,4	36,9 36,1	36,8 39,4	35,8 35,3	37,3 37,3	37,3 37,3	35,8 35,3	37,2 36,1	36,8 36,5	35,8 35,7	36,0 35,9	36,3 35,4
BAW N-free extractives	Oliwin Opal	207 229	206 231	207 225	208 222	208 221	202 226	211 229	211 229	202 226	205 222	214 226	206 229	199 240	208 229
N Nitrogen	Oliwin Opal	39,4 42,7	39,2 42,7	39,4 43,0	40,1 43,6	39,3 43,6	40,7 44,3	38,6 44,0	38,6 44,0	40,7 44,3	40,1 44,1	39,3 44,5	40,4 43,7	41,4 42,7	40,6 43,7
Wartość energetyczna 1 kg nasion Energy value 1 kg of seeds	Oliwin Opal	12,3 11,9	12,2 11,9	12,2 11,9	12,4 11,9	12,5 11,9	12,5 11,9	12,4 11,9	12,4 11,9	12,5 11,9	12,4 11,9	12,5 11,8	12,5 11,9	12,5 11,8	12,4 11,9

4.9. Plon nasion, wydajność tłuszczu i białka oraz wartość energetyczna plonu nasion

Wielu autorów podkreśla, że plon nasion lnu oleistego w krajach europejskich jest bardzo zmienny [Diepenbrock i in. 1995, Bravi i Sommovigo 1997, Cremaschi 1997, Zubal 2001, Stražil i Vorlíček 2004, D'Antuono i Rossini 2006]. Wskaźnik plonowania dla formy oleistej lnu zależy głównie od sezonu wegetacyjnego [Zajac i in. 2010] i może wahać się od 0,31 do 0,51 [Zajac i in. 2005]. Bravi i Sommovigo [1997] udowodnili, że na wielkość plonu nasion lnu wpływają warunki klimatyczne w okresie siewu i wschodów oraz w fazie dojrzewania roślin. Zajac i in. [2005] ustalili, że wskaźnik plonowania dla formy oleistej lnu zależy głównie od sezonu wegetacyjnego i odmiany.

Stražil i Vorlíček [2004] podkreślają, że zróżnicowanie plonu nasion lnu oleistego w Czechach wynikało zarówno z przebiegu pogody w poszczególnych latach, jak i warunków siedliska. W wyniku tego plony nasion z doświadczeń w jednej miejscowości wahały się od 0,823 do 2,757 t·ha⁻¹, a jeszcze większe zróżnicowanie produktywności lnu oleistego odnotowano w innym miejscu, gdzie wartość minimalna i maksymalna plonu nasion kształtowała się od 0,431 do 2,383 t·ha⁻¹.

Uzyskane plony nasion odmian oleistych lnu w przeprowadzonych doświadczeniach w ciągu trzech sezonów wegetacyjnych wahały się od 1,59 do 2,25 t·ha⁻¹ (tab. 45). Najcieplejszy 2009 rok, z najwyższą sumą opadów, sprzyjał osiągnięciu najwyższego (2,25 t·ha⁻¹) plonu nasion w trzyletnim doświadczeniu. Niskie plony uzyskano przy nawożeniu bez udziału azotu, a wyższe odnotowano w kombinacji nawożenia N₃+S₁+B₁ oraz N₂+S₂+B₂ (tab. 45). Główny czynnik limitujący dobre plonowanie lnu uprawianego na nasiona to dawka azotu w wysokości nie mniejszej niż 60 kg·ha⁻¹N [Bramm i Dambroth 1992]. Zastosowanie takiej dawki azotu przez Stražil i Vorlíček [2004] podniosło plon nasion lnu o 5,8% w porównaniu z obiektem bez nawożenia. Podwojenie dawki przez Zajac [2005] z 90 do 180 kg·ha⁻¹N spowodowało przyrost plonu o 6,2%, a badanie Granta i in. [1999] nad efektywnością nawożenia azotowego wskazało na optymalną dawkę w wysokości 40 kg·ha⁻¹N.

Diepenbrock i Pörksen [1992] podkreślają, że plony nasion lnu oleistego zależą w znacznym stopniu od doboru odmian. Czynnik genetyczny oraz współdziałanie badanych czynników nie różnicuje istotnie wysokości plonu nasion lnu oleistego. Klimont i in. [2014] porównując plonowanie między innymi trzema odmianami lnu oleistego (Oliwin, Jantarol, Szafir), wykazali istotne różnice w wielkości ich plonów, wskazując na odmianę Jantarol jako najlepiej plonującą (2,12 t·ha⁻¹). Odmiana Oliwin w doświadczeniu tych autorów uzyskała średni plon w wysokości 1,75 t·ha⁻¹, a w doświadczeniu własnym wartość ta była wyższa o 6,4%. Inne doświadczenie porównujące odmiany Oliwin, Szafir, Opal wykazało, że odmiana Oliwin plonowała najniżej, uzyskała plon nasion na poziomie około 1,19 t·ha⁻¹ [Wondolowska-Grabowska 2011b].

Lata badań, odmiana oraz nawożenie istotnie różnicowały wydajność tłuszczu z 1 ha (tab. 45). Wartość tej cechy dla odmiany Oliwin wyniosła 833 kg·ha⁻¹, a dla odmiany Opal, o 11% mniej – 741 kg·ha⁻¹. Zauważono, że wzrost dawki nawożenia azotowego sprzyjał wydajności tłuszczu z 1 ha. Przy zastosowaniu nawożenia dawką N₃ i najniższej dawki siarki (30 kg·ha⁻¹) oraz boru (5 kg·ha⁻¹) uzyskano wysoką wydajność tłuszczu.

W 2009 roku w badaniach własnych odnotowano istotnie wyższą wydajność tłuszczu (981 kg·ha⁻¹) i białka (549 kg·ha⁻¹) z 1 ha oraz uzyskano nasiona o wyższej wartości energetycznej (275 MJ) niż w latach 2010 i 2011 (tab. 45). Ciemnonasienna odmiana Opal charakteryzowała się wyższą wydajnością białka (o 34 kg·ha⁻¹) i wartością energetyczną (o 85 MJ) w porównaniu z jasnonasienną odmianą Oliwin.

Zastosowanie zróżnicowanych dawek łącznego nawożenia azotem, siarką i borem pozwoliło na uzyskanie, przy porównaniu najniższej z najwyższą wartością cechy, kolejno o 11,5, 11,8 oraz 10,5% wyższej wydajności tłuszczu, białka i wartości energetycznej nasion.

Odmiana Oliwin, w ciepłym i wilgotnym 2009 roku, osiągnęła najwyższą wydajność tłuszczu i była to wartość wyższa od średniej z doświadczenia o 294 kg z 1 ha (tab. 46). Nie wykazano wpływu czynników pogodowych ani czynnika odmianowego przy różnych wariantach nawożenia na plon ogólny, wydajność tłuszczu, białka oraz wartość energetyczną nasion lnu oleistego (tab. 47, 48).

Tabela 45

Table 45

Plon ogólny, wydajność tłuszczu, białka oraz wartość energetyczna plonu nasion lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla czynników)

The yield of crude fat and total protein and energetic value of grain yield (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors)

Wyszczególnienie Specification	Plon [Mg·ha ⁻¹] nasion lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Yield of seeds of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Wydajność tłuszczu [kg·ha ⁻¹] Yield of crude fat	Wydajność białka [kg·ha ⁻¹] Yield of total protein	Wartość energetyczna [MJ ha ⁻¹] Energy value [MJ ha ⁻¹]
1	2	3	4	5
Lata Years				
2009	2,25a	981a	549a	275a
2010	1,71b	690b	449b	202b
2011	1,59c	690b	437b	196b
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	***	***	***
Odmiana Cultivar				
Oliwin	1,87	833a	461b	232b
Opal	1,83	741b	495a	317a
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	r.n.	***	***	***

Tabela 45 c.d.
Table 45 cont.

1	2	3	4	5
Nawożenie Fertilization				
N ₀ +S ₁ +B ₁	1,82bc	775bcd	466cd	221bcd
N ₀ +S ₂ +B ₂	1,76c	739d	447d	212d
N ₀ +S ₃ +B ₃	1,77c	746cd	451d	213cd
N ₁ +S ₁ +B ₁	1,87abc	798ab	489abc	227abc
N ₁ +S ₂ +B ₂	1,82bc	779bcd	469cd	221bcd
N ₁ +S ₃ +B ₃	1,82bc	775bcd	463cd	220bcd
N ₂ +S ₁ +B ₁	1,86abc	794abc	490abc	227abc
N ₂ +S ₂ +B ₂	1,92ab	825ab	502ab	235ab
N ₂ +S ₃ +B ₃	1,82bc	776bcd	472bcd	221bcd
N ₃ +S ₁ +B ₁	1,95a	835a	507a	237a
N ₃ +S ₂ +B ₂	1,91ab	815ab	498ab	233ab
N ₃ +S ₃ +B ₃	1,86abc	790abc	484abc	226abcd
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	*	**	***	**

* Różnica istotna na poziomie 0,05 – Significant at the 0,05 level of probability

** Różnica istotna na poziomie 0,01 – Significant at the 0,01 level of probability

*** Różnica istotna na poziomie 0,001 – Significant at the 0,001 level of probability

Tabela 46

Table 46

Plon ogólny, wydajność tłuszczu, białka oraz wartość energetyczna nasion lnu oleistego
(*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x lata)

The yield of crude fat and total protein and energetic value of grain yield (*Linum usitatissimum* L.)
(mean values for factors interaction – cultivar x years)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Lata – Years			Średnia Mean
		2009	2010	2011	
Plon [Mg·ha ⁻¹] nasion lnu oleistego (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin	2,34	1,66	1,60	1,87
Yield of seeds of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Opal	2,15	1,76	1,57	1,83
Średnia – Mean		2,25	1,71	1,59	1,85
Wydajność tłuszczu [kg·ha ⁻¹]	Oliwin	1081a	697c	722c	833
Yield of crude fat	Opal	880b	684c	659c	741
Średnia – Mean		981	690	690	787
Wydajność białka [kg·ha ⁻¹]	Oliwin	540	423	419	461
Yield of total protein	Opal	557	475	455	495
Średnia – Mean		549	449	437	478
Wartość energetyczna [MJ ha ⁻¹]	Oliwin	295	200	201	232
Energy value	Opal	255	204	192	317
Średnia – Mean		275	202	196	224

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie

The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

Tabela 47
Table 47

Plon ogólny, wydajność tłuszczu, białka oraz wartość energetyczna nasion lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – lata x nawożenie)
The yield of crude fat and total protein and energetic value of grain yield (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – years x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Nawożenie – Fertilization											
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃
Plon [Mg·ha ⁻¹] nasion lnu oleistego (pol) (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Yield of seeds of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	2009	2,10	2,13	2,19	2,29	2,15	2,24	2,28	2,35	2,22	2,40	2,31	2,34
	2010	1,78	1,60	1,57	1,68	1,70	1,69	1,66	1,80	1,72	1,82	1,78	1,70
	2011	1,60	1,55	1,55	1,64	1,61	1,51	1,64	1,62	1,53	1,63	1,64	1,53
Wydajność tłuszczu [kg·ha ⁻¹] Yield of crude fat	2009	918	926	960	992	938	980	995	1030	964	1049	1002	1016
	2010	709	611	602	689	701	691	676	737	697	745	732	694
	2011	696	679	676	711	697	654	711	707	667	711	713	661
Wydajność białka [kg·ha ⁻¹] Yield of total protein	2009	507	513	520	575	518	527	563	568	537	597	577	581
	2010	469	416	407	443	445	445	449	483	453	477	461	440
	2011	422	413	426	450	443	418	458	454	426	447	457	432
Wartość energetyczna [MJ ha ⁻¹] Energy value	2009	257	260	269	280	263	274	279	288	271	295	282	286
	2010	209	184	181	200	203	201	197	215	204	216	212	202
	2011	197	192	191	203	198	186	203	201	190	202	203	188

Tabela 48
Table 48

Plon ogólny, wydajność tłuszczu, białka oraz wartość energetyczna nasion lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x nawożenie)

The yield of crude fat and total protein and energetic value of grain yield (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – cultivar x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Nawożenie – Fertilization											
		S ₁ +B ₁	S ₂ +B ₂	S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃
Plon [Mg·ha ⁻¹] nasion lnu oleistego (pol) (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Yield of seeds of linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.)	Oliwin	1,83	1,76	1,84	1,88	1,82	1,80	1,91	1,93	1,89	1,98	1,91	1,85
	Opal	1,82	1,77	1,70	1,86	1,82	1,83	1,81	1,92	1,75	1,91	1,90	1,86
Wydajność tłuszczu [kg·ha ⁻¹] Yield of crude fat	Oliwin	804	763	797	843	821	812	859	866	853	891	864	828
	Opal	745	715	695	752	736	738	729	784	699	779	767	753
Wydajność białka [kg·ha ⁻¹] Yield of total protein	Oliwin	447	426	448	469	443	427	483	480	461	495	491	462
	Opal	485	468	453	510	494	500	497	524	483	519	506	507
Wartość energetyczna [MJ ha ⁻¹] Energy value	Oliwin	225	215	225	234	227	224	239	241	236	247	240	230
	Opal	217	209	202	221	215	217	214	229	206	228	225	221

4.10. Skład kwasów tłuszczowych w oleju lnianym

W badaniach Zająca i in. [2002] nad lnem oleistym prowadzonych w różnych warunkach siedliska wykazano, że zawartości tłuszczu oraz kwasu oleinowego w nasionach niektórych odmian są stabilne i niezmiennające się pod wpływem czynników środowiska i miejsca uprawy. Nie znalazło to potwierdzenia w badaniach własnych. Zawartość kwasów tłuszczowych w oleju lnianym uwarunkowana była przebiegiem pogody w latach badań oraz czynnikiem genetycznym. Kwas kaprylowy (C8:0), kaprynowy (C10:0), palmitynowy (C16:0), arachinowy (C20:0), behenowy (C22:0) i lignocerynowy (C24:0) z grupy kwasów nasyconych oraz oleinowy (C18:1), palmitooleinowy (C16:1) i erukowy (C22:1) z grupy kwasów nienasyconych wykazywały wysokie zawartości w 2009 r., natomiast w 2011 r. wyższymi zawartościami w oleju charakteryzowały się kwasy: laurynowy (C12:0), stearynowy (C18:0) i z grupy kwasów nienasyconych – linolenowy (C18:3) i erukowy (C22:1). Kwas linolowy (C18:2) i kwas palmitooleinowy (C16:1) uzyskiwały wyższe wartości w 2010 roku (tab. 49, 49a). Potwierdzają to również badania Wielebskiego i in. [2017], gdzie wykazano, że w warunkach niższych temperatur (rok 2011) stwierdzono w oleju badanych odmian lnu oleistego istotnie więcej wielonienasyconych – kwasu linolowego i linolenowego, natomiast przy wyższych temperaturach (rok 2012) obserwowano istotnie wyższą zawartość jednonienasyconego kwasu oleinowego.

Spośród kwasów tłuszczowych zawartych w nasionach lnu oleistego najwięcej jest kwasu linolenowego, co potwierdzają wyniki Zająca i in. [2002]. Podobne dane, dla odmian lnu oleistego, podają inni autorzy: Froment i Smith [1998], Piotrowska i Furowicz [1998], Borowiec i in. [2001]. Według Zająca [2001] wszystkie porównywane odmiany odznaczały się bardzo stabilnym udziałem nienasyconych kwasów tłuszczowych (UFA). Znajduje to potwierdzenie w przeprowadzonych badaniach jedynie w odniesieniu do kwasu palmitynowego ($C_{16:0}$), natomiast w zawartości kwasu stearynowego ($C_{18:0}$) wystąpiły różnice istotne na korzyść ciemnonasiennej odmiany Opal (rys. 8 i 9). Średnia zawartość kwasu linolenowego i oleinowego w sumie kwasów ogółem, w trzyletnim doświadczeniu, wynosiła odpowiednio 60,1 i 16,7%. Odmiana Opal osiągnęła wyższy poziom o 1,83% kwasu oleinowego i niższy o 11,4 punktu procentowego kwasu linolenowego w odniesieniu do odmiany Oliwin. Jasnonasienna odmiana Oliwin gromadziła więcej kwasu behenowego, erukowego, kaprynowego i palmitooleinowego, kolejno o 0,082, 0,041, 0,026, 0,034 punktów procentowych (tab. 49).

Nie wykazano wpływu nawożenia na skład kwasów tłuszczowych w nasionach lnu oleistego. Natomiast w badaniach innych autorów [Wielebski i in. 2017] zauważono, że nawożenie azotem i siarką w niewielkim stopniu różnicowało udział kwasów tłuszczowych w oleju badanych odmian lnu oleistego.

Tabela 49

Table 49

Kwasy tłuszczowe [% sumy kwasów] w oleju lnianym (*Linum usitatissimum* L.)
(średnie dla czynników)
Fatty acids content of linseed seeds (*Linum usitatissimum* L.), % of total fatty acids
(mean values for factors)

Wyszczególnienie Specification	Kwas oleinowy Oleic acid	Kwas linolowy Linoleic acid	Kwas linolenowy Linolenic acid	Kwas arachinowy Arachidic acid	Kwas behenowy Behenic acid	Kwas erukowy Erucic acid	Kwas lignocerynowy Lignoceric acid
Lata – Years							
2009	19,94a	12,50c	59,19b	0,074a	0,152a	0,069a	0,760a
2010	16,93b	17,77a	56,79c	0,038b	0,057b	0,013b	0,039b
2011	13,21c	14,24b	64,30a	0,037b	0,154b	0,097a	0,031b
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	***	***	*	*	**	***
Odmiana – Cultivar							
Oliwin	14,86b	14,84	61,78a	0,046	0,162a	0,080a	0,209
Opal	18,53a	14,83	50,40b	0,053	0,080b	0,039b	0,263
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	r.n. NS	***	r.n. NS	*	*	r.n. NS
Nawożenie – Fertilization							
N ₀ +S ₁ +B ₁	15,27	15,73	60,69	0,027	0,149	0,043	0,399
N ₀ +S ₂ +B ₂	16,24	14,21	61,16	0,069	0,086	0,066	0,289
N ₀ +S ₃ +B ₃	16,50	14,71	60,91	0,070	0,142	0,038	0,236
N ₁ +S ₁ +B ₁	17,09	15,93	59,13	0,054	0,186	0,032	0,244
N ₁ +S ₂ +B ₂	16,95	13,58	61,16	0,030	0,146	0,075	0,329
N ₁ +S ₃ +B ₃	16,79	14,90	60,05	0,052	0,052	0,040	0,230
N ₂ +S ₁ +B ₁	16,25	14,47	60,37	0,039	0,036	0,048	0,446
N ₂ +S ₂ +B ₂	15,90	15,22	59,83	0,036	0,207	0,109	0,372
N ₂ +S ₃ +B ₃	17,00	14,89	59,91	0,050	0,143	0,115	0,164
N ₃ +S ₁ +B ₁	17,35	15,03	59,08	0,077	0,143	0,057	0,181
N ₃ +S ₂ +B ₂	17,51	14,75	59,18	0,033	0,082	0,044	0,311
N ₃ +S ₃ +B ₃	17,49	14,61	59,64	0,059	0,081	0,050	0,116
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS

Średnie wartości parametrów w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie

Means in the same column and parameter followed by the same letter do not differ significantly

NIR_{0,05} – LSD_{0,05}

r.n. – różnica nieistotna – NS – nonsignificant

* Różnica istotna na poziomie 0,05 – Significant at the 0,05 level of probability

** Różnica istotna na poziomie 0,01 – Significant at the 0,01 level of probability

*** Różnica istotna na poziomie 0,001 – Significant at the 0,001 level of probability

Tabela 49a

Table 49a

Kwasy tłuszczowe [% sumy kwasów] w oleju lnianym (*Linum usitatissimum* L.)
(średnie dla czynników)

Fatty acids content of linseed seeds (*Linum usitatissimum* L.), % of total fatty acids
(mean values for factors)

Wyszczególnienie Specification	Kwas kaprylowy Caprylic acid	Kwas kaprynowy Capric acid	Kwas laurynowy Lauric acid	Kwas mirystynowy Myristic acid	Kwas palmitynowy Palmitic acid	Kwas palmitoleinowy Palmitoleic acid	Kwas stearynowy Stearic acid
Lata – Years							
2009	0,324a	0,036a	0,013b	0,084	6,627a	0,091ab	0,131b
2010	0,008b	0,026b	0,032ab	0,077	6,055b	0,118a	2,052a
2011	0,005b	0,034a	0,043a	0,112	5,405b	0,035b	2,300a
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	***	***	*	r.n.	***	***	***
Odmiana – Cultivar							
Oliwin	0,089	0,045a	0,031	0,099	6,24	0,098a	1,33b
Opal	0,014	0,019b	0,028	0,082	5,82	0,064b	1,66a
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	r.n.	***	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS	**	*
Nawożenie – Fertilization							
N ₀ +S ₁ +B ₁	0,224	0,034	0,049	0,058	6,019	0,131	1,174
N ₀ +S ₂ +B ₂	0,057	0,036	0,031	0,096	6,039	0,091	1,532
N ₀ +S ₃ +B ₃	0,016	0,029	0,036	0,111	5,719	0,068	1,397
N ₁ +S ₁ +B ₁	0,019	0,028	0,021	0,067	6,464	0,036	0,701
N ₁ +S ₂ +B ₂	0,019	0,031	0,047	0,118	6,065	0,066	1,382
N ₁ +S ₃ +B ₃	0,153	0,027	0,020	0,112	6,084	0,058	1,432
N ₂ +S ₁ +B ₁	0,040	0,035	0,020	0,094	6,181	0,069	1,900
N ₂ +S ₂ +B ₂	0,178	0,032	0,023	0,042	6,157	0,076	1,821
N ₂ +S ₃ +B ₃	0,139	0,033	0,027	0,106	5,446	0,109	1,871
N ₃ +S ₁ +B ₁	0,253	0,038	0,021	0,082	6,099	0,086	1,511
N ₃ +S ₂ +B ₂	0,183	0,028	0,028	0,083	6,065	0,080	1,621
N ₃ +S ₃ +B ₃	0,067	0,032	0,032	0,122	6,014	0,087	1,593
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS

Średnie wartości parametrów w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie

Means in the same column and parameter followed by the same letter do not differ significantly

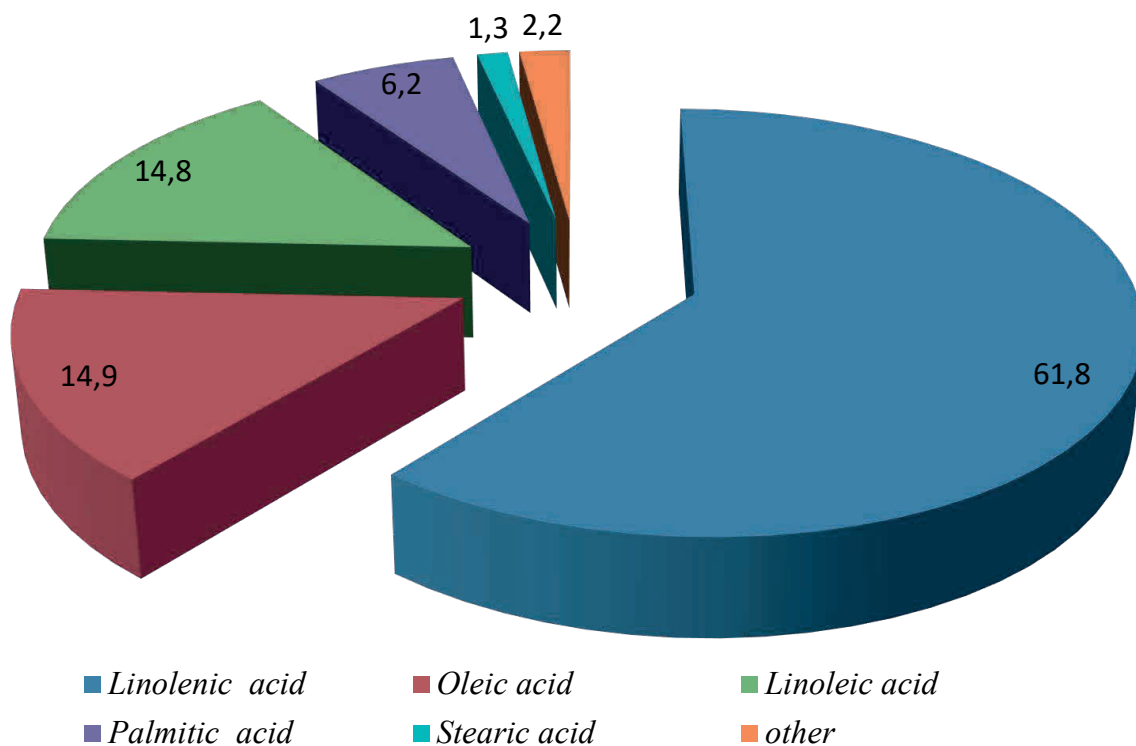
NIR_{0,05} – LSD_{0,05}

r.n. – różnica nieistotna; NS, nonsignificant

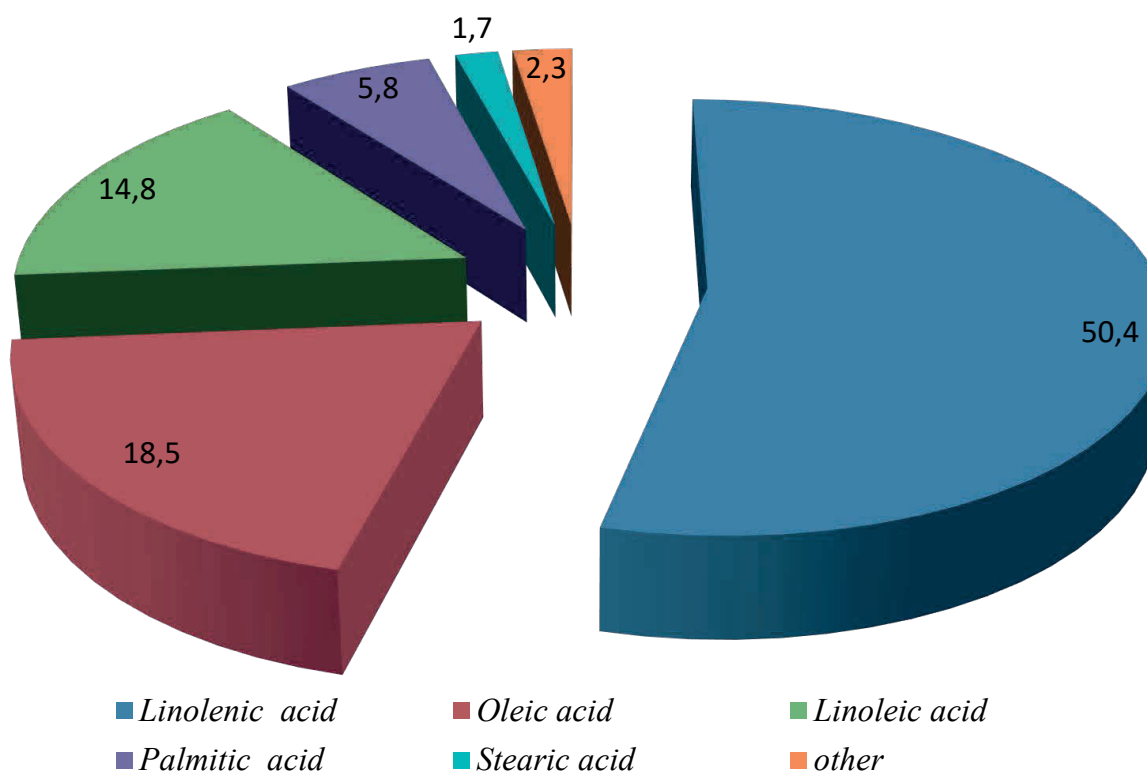
* Różnica istotna na poziomie 0,05 – Significant at the 0,05 level of probability

** Różnica istotna na poziomie 0,01 – Significant at the 0,01 level of probability

*** Różnica istotna na poziomie 0,001 – Significant at the 0,001 level of probability



Rys. 8. Kwasy tłuszczowe [% sumy kwasów] w oleju lnianym (*Linum usitatissimum* L.) odmiany Oliwin
 Fig. 8. Fatty acids content of oil flax seeds (*Linum usitatissimum* L.) on Oliwin cultivar, % of total fatty acids

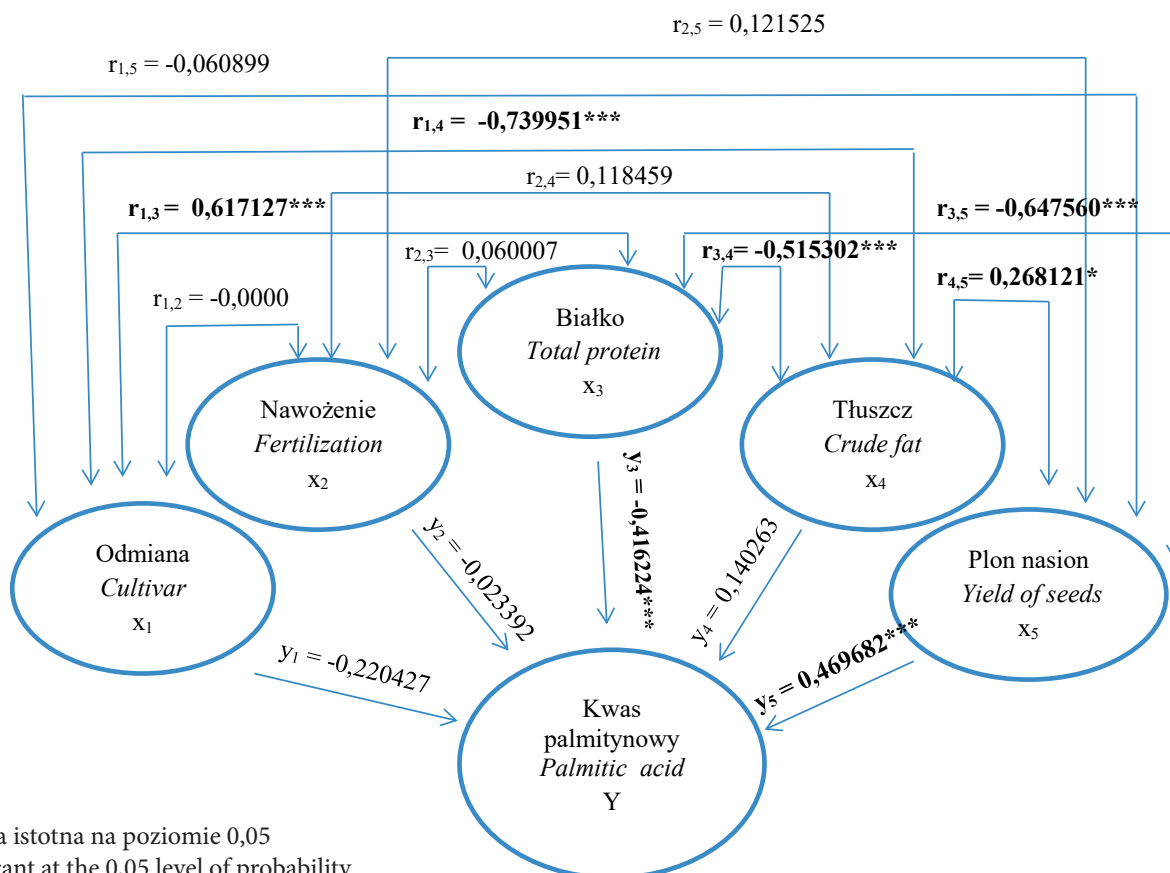


Rys. 9. Kwasy tłuszczowe [% sumy kwasów] w oleju lnianym (*Linum usitatissimum* L.) odmiany Opal
 Fig. 9. Fatty acids content of oil flax seeds (*Linum usitatissimum* L.) on Opal cultivar, % of total fatty acids

Wykazano istotną dodatnią korelację pomiędzy zawartością tłuszczu a zawartością kwasu linolenowego (rys. 11) i ujemną – z zawartością kwasu linolowego (rys. 12), oleinowego (rys. 13), stearynowego (rys. 14), natomiast nie wykazano zależności w odniesieniu do kwasu palmitynowego (rys. 10).

Zawartość kwasów tłuszczowych nasyconych nie różnicowała się pod wpływem badanych czynników (tab. 53) i ich współdziałania (tab. 54–56). Ponad 78,5% niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych nagromadziło się w 2011 r., a blisko 20% jednonienasyconych kwasów tłuszczowych w roku 2009. Odmiana o jasnych nasionach charakteryzowała się wyższą zawartością NNKT, natomiast ciemnonasienna – wyższą zawartością MUFA (tab. 53). Wpływ nawożenia na zawartość kwasów tłuszczowych nasyconych, jednonienasyconych i NNKT był nieistotny, natomiast wykazano współdziałanie odmiana x lata, gdzie wykazano, że odmiana Opal w 2009 r. gromadziła najwięcej kwasów tłuszczowych jednonienasyconych o 5,89 punktów % od średniej z doświadczenia (tab. 54).

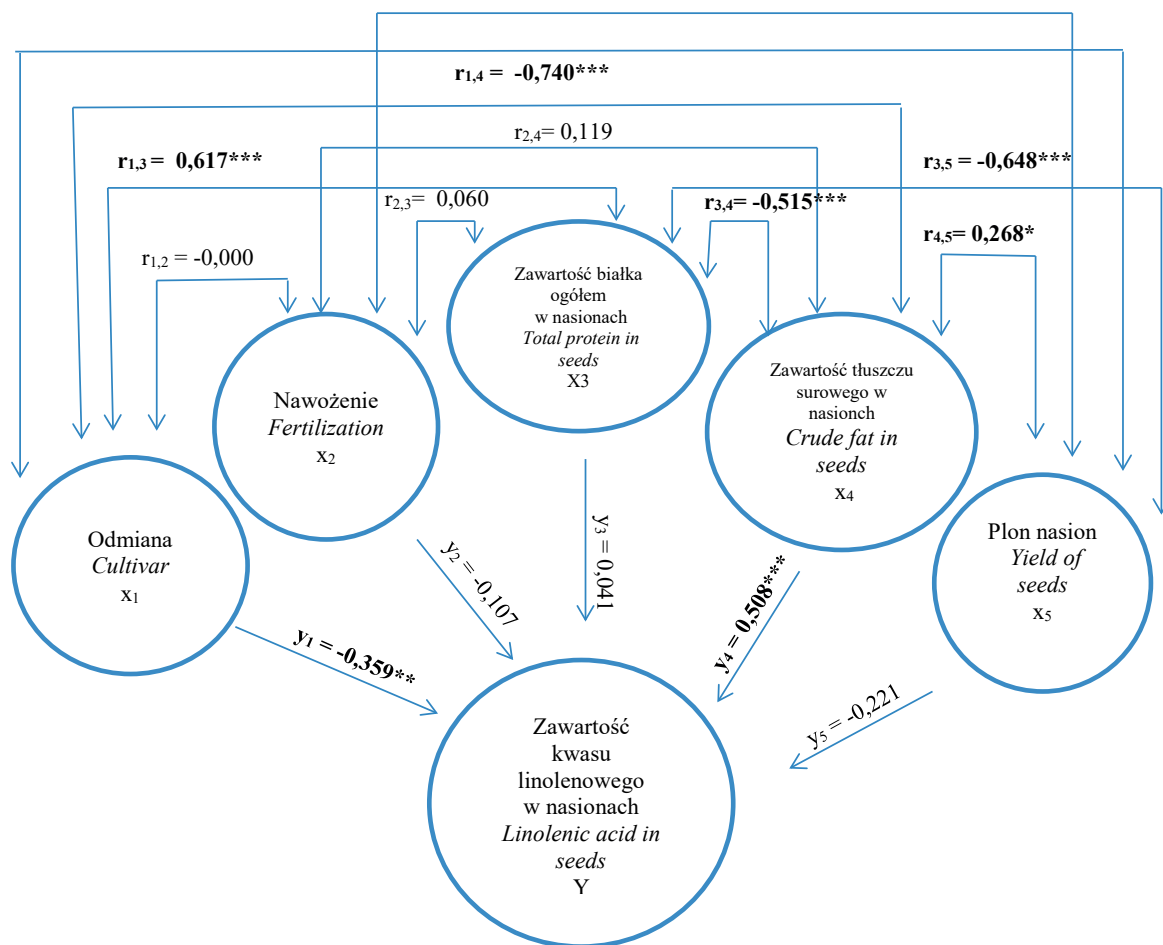
Suma kwasów nienasyconych osiągnęła średnią wartość około 91,8%, a stosunek kwasów nasyconych do nienasyconych wynosił 1: 11,3. Czynniki klimatyczny modyfikował proporcje $C_{18:2} (n-6) : C_{18:3} (n-3)$, które były mniej korzystne w 2010 r. (tab. 57), także mniej korzystne proporcje wystąpiły w tym samym roku dla odmiany Opal (tab. 58). Również wykazano istotne różnice, ale nie wykazano logicznych zależności w sumie kwasów tłuszczowych nienasyconych i wzajemnych proporcjach kwasów nasyconych do nienasyconych pod wpływem współdziałania czynnika odmianowego i nawozowego (tab. 60).



- * Różnica istotna na poziomie 0,05
Significant at the 0,05 level of probability
- ** Różnica istotna na poziomie 0,01
Significant at the 0,01 level of probability
- *** Różnica istotna na poziomie 0,001
Significant at the 0,001 level of probability

Rys. 10. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona pomiędzy zawartością kwasu palmitynowego w nasionach a wybranymi cechami

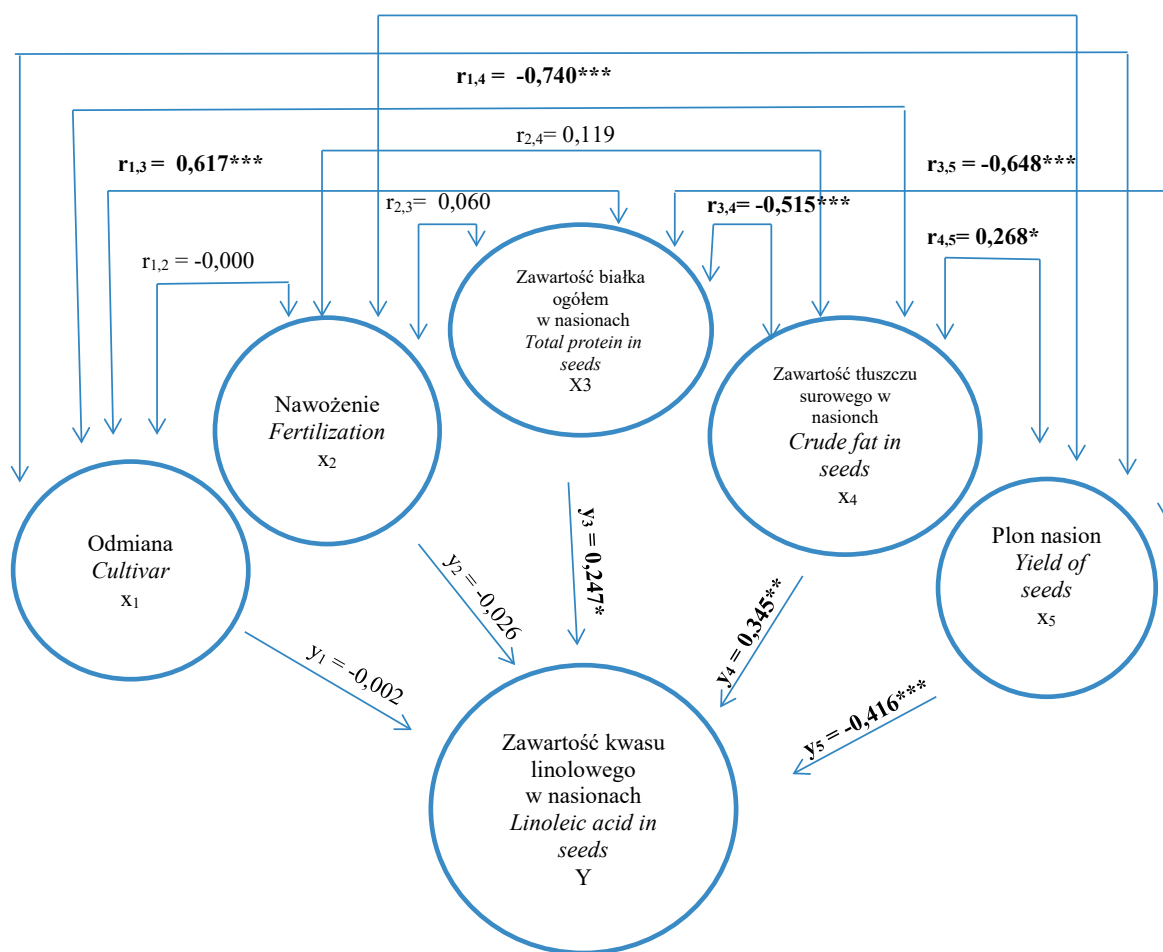
Fig. 10. Pearson's linear correlation coefficient between palmitic acid and another selected traits



- * Różnica istotna na poziomie 0,05 – Significant at the 0,05 level of probability
- ** Różnica istotna na poziomie 0,01 – Significant at the 0,01 level of probability
- *** Różnica istotna na poziomie 0,001 – Significant at the 0,001 level of probability

Rys. 11. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona pomiędzy zawartością kwasu linolenowego w nasionach a wybranymi cechami.

Fig.11. Pearson's linear correlation coefficient between linolenic acid and another selected traits



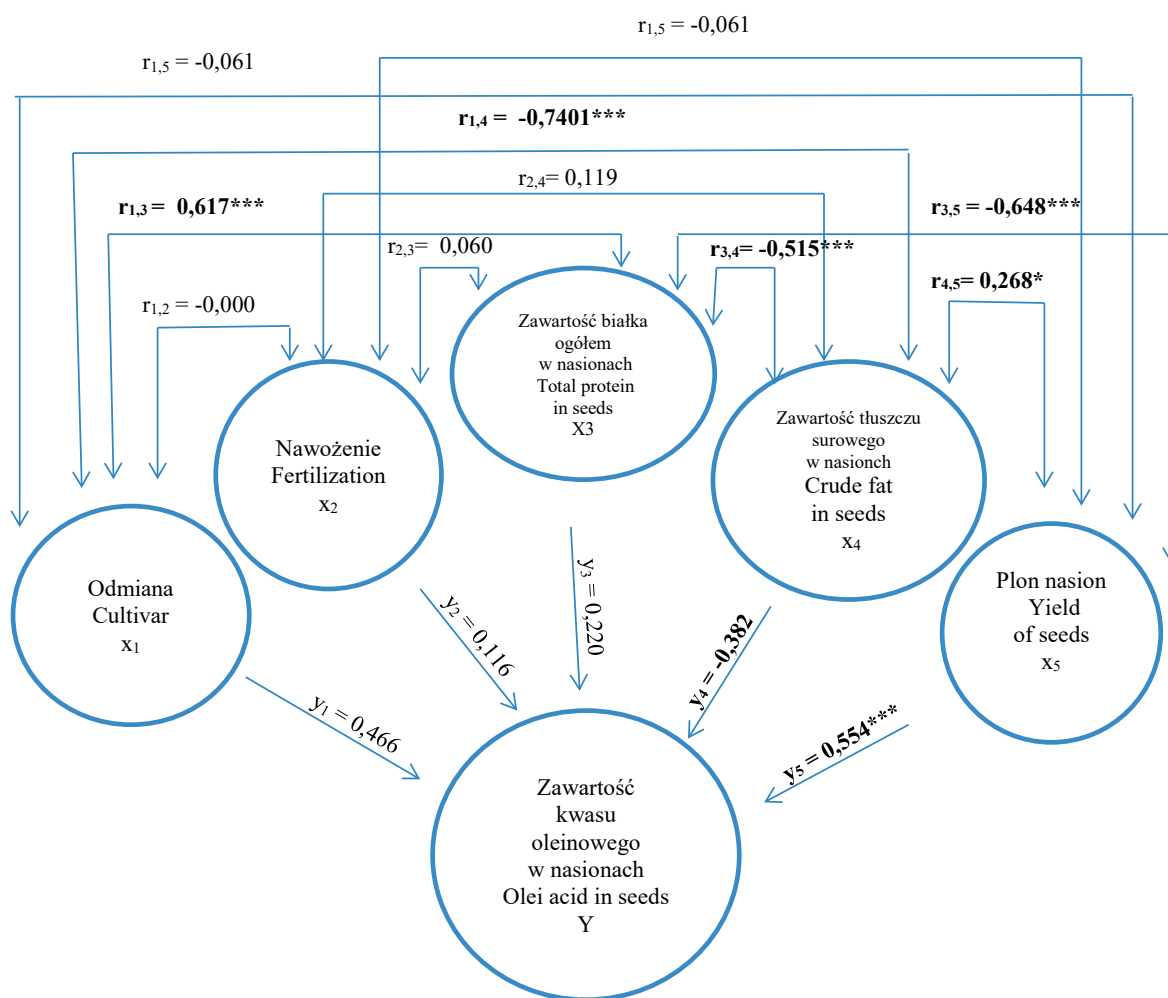
* Różnica istotna na poziomie 0,05 – Significant at the 0,05 level of probability

** Różnica istotna na poziomie 0,01 – Significant at the 0,01 level of probability

*** Różnica istotna na poziomie 0,001 – Significant at the 0,001 level of probability

Rys. 12. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona pomiędzy zawartością kwasu linolowego w nasionach a wybranymi cechami

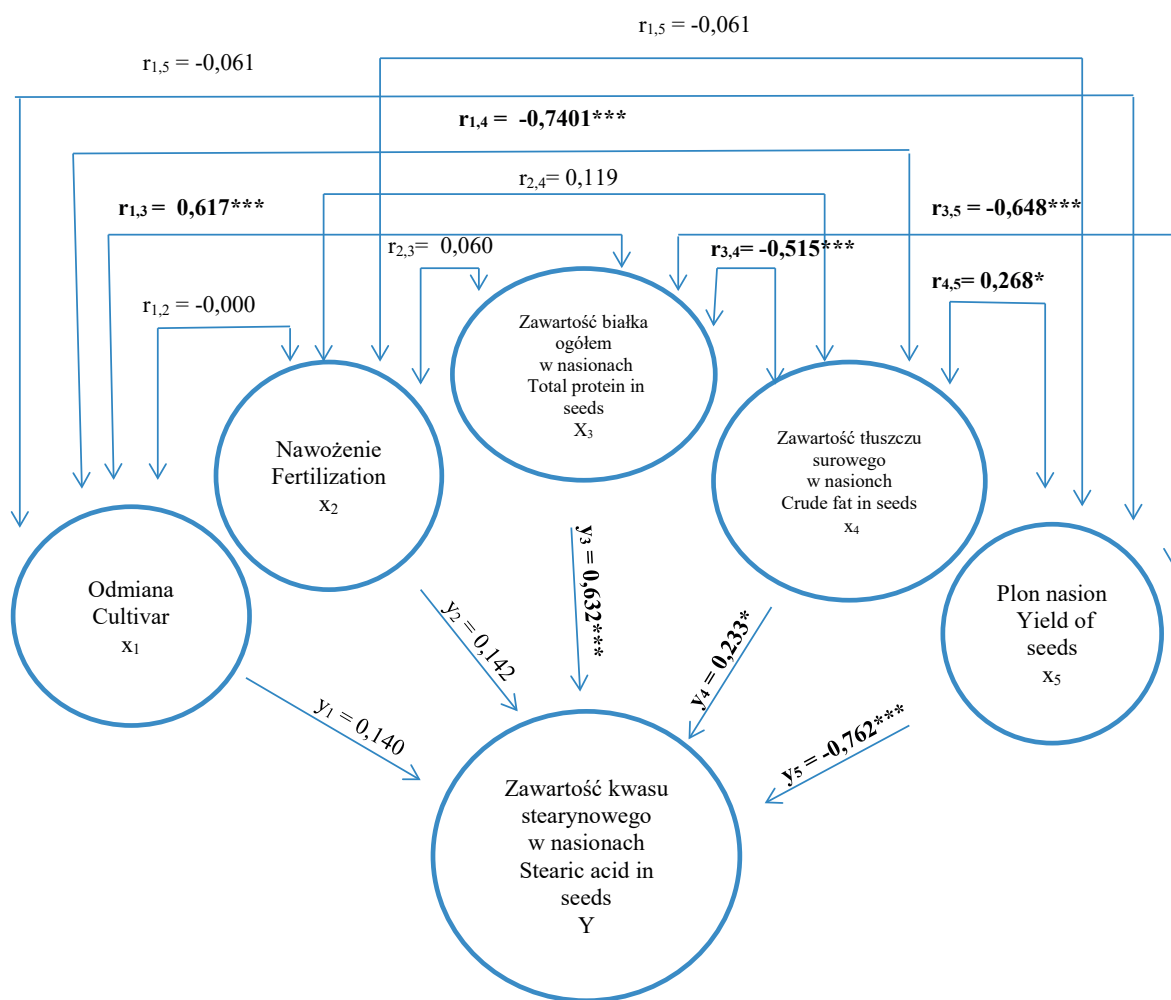
Fig.12. Pearson's linear correlation coefficient between linoleic acid and another selected traits



- * Różnica istotna na poziomie 0,05 – Significant at the 0,05 level of probability
- ** Różnica istotna na poziomie 0,01 – Significant at the 0,01 level of probability
- *** Różnica istotna na poziomie 0,001 – Significant at the 0,001 level of probability

Rys. 13. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona pomiędzy zawartością kwasu oleinowego w nasionach a wybranymi cechami

Fig.13. Pearson's linear correlation coefficient between oleic acid and another selected traits



- * Różnica istotna na poziomie 0,05 – Significant at the 0,05 level of probability
- ** Różnica istotna na poziomie 0,01 – Significant at the 0,01 level of probability
- *** Różnica istotna na poziomie 0,001 – Significant at the 0,001 level of probability

Rys. 14. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona pomiędzy zawartością kwasu stearynowego w nasionach a wybranymi cechami

Fig.14. Pearson's linear correlation coefficient between stearic acid and another selected traits

Tabela 50

Table 50

Kwasy tłuszczowe [% sumy kwasów] w oleju lnianym (*Linum usitatissimum* L.)
 (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x lata)
 Fatty acids content in linseed seeds (*Linum usitatissimum* L.), % of total fatty acids
 (mean values for factors interaction – cultivar x years)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Lata Years		
		2009	2010	2011
Kwas oleinowy Oleic acid	Oliwin Opal	17,32c 22,57a	14,28d 19,58b	12,99d 13,43d
Kwas linolowy Linoleic acid	Oliwin Opal	12,17b 12,84b	17,02a 18,52a	13,34b 13,14b
Kwas linolenowy Linolenic acid	Oliwin Opal	61,99a 56,40d	59,95c 53,63d	63,41ab 65,19a
Kwas arachinowy Arachidic acid	Oliwin Opal	0,068 0,079	0,033 0,043	0,040 0,036
Kwas behenowy Behenic acid	Oliwin Opal	0,218 0,085	0,073 0,042	0,196 0,113
Kwas erukowy Erucic acid	Oliwin Opal	0,067bc 0,072b	0,012bc 0,014bc	0,163ca 0,032bc
Kwas lignocerynowy Lignoceric acid	Oliwin Opal	0,779 0,740	0,059 0,018	0,032 0,029
Kwas kaprylowy Caprylic acid	Oliwin Opal	0,252 0,396	0,008 0,008	0,006 0,004
Kwas kaprynowy Capric acid	Oliwin Opal	0,051a 0,021c	0,033b 0,018d	0,050a 0,018d
Kwas laurynowy Lauric acid	Oliwin Opal	0,009 0,017	0,038 0,026	0,046 0,041
Kwas mirystynowy Myristic acid	Oliwin Opal	0,089 0,079	0,094 0,060	0,116 0,108
Kwas palmitynowy Palmitic acid	Oliwin Opal	6,75 6,51	6,60 5,51	5,38 5,43
Kwas palmitooleinowy Palmitoleic acid	Oliwin Opal	0,092ab 0,089ab	0,160a 0,072bc	0,038cd 0,032d
Kwas stearynowy Stearic acid	Oliwin Opal	0,150 0,112	1,64 2,46	2,20 2,40

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie
 The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

Tabela 51
Table 51

Kwasy tłuszczowe [% sumy kwasów] w oleju lnianym (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – lata x nawożenie)
Fatty acids content in linseed seeds (*Linum usitatissimum* L.), % of total fatty acids (mean values for factors interaction – years x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Nawożenie – Fertilization											
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃
Kwas oleinowy Oleic acid	2009	19,70	18,58	18,10	18,67	20,15	19,98	20,53	20,97	20,79	20,52	20,69	20,64
	2010	12,94	17,15	18,13	19,61	17,71	17,29	14,74	13,51	17,01	18,11	18,30	18,65
	2011	13,18	12,98	13,27	12,98	12,98	13,11	13,48	13,21	13,22	13,41	13,55	13,18
Kwas linolowy Linoleic acid	2009	12,53	12,63	12,45	12,67	12,27	12,40	12,56	12,53	12,81	12,70	12,25	12,24
	2010	20,77	15,99	15,99	20,89	14,63	18,33	16,71	19,24	17,80	18,51	18,04	16,34
	2011	13,89	12,01	15,70	14,24	13,85	13,98	14,13	13,90	14,06	13,87	13,96	15,26
Kwas linolenowy Linolenic acid	2009	58,74	60,20	61,80	60,88	59,57	59,50	57,75	57,59	59,17	57,79	58,61	58,72
	2010	58,86	58,49	58,56	50,56	58,94	55,88	58,91	57,63	56,83	55,05	54,76	56,97
	2011	64,47	64,79	62,36	65,95	64,97	64,77	64,46	64,28	63,72	64,40	64,18	63,25
Kwas arachidonowy Arachidic acid	2009	0,018	0,129	0,130	0,117	0,037	0,073	0,075	0,047	0,080	0,091	0,014	0,073
	2010	0,041	0,045	0,036	0,028	0,038	0,034	0,032	0,034	0,035	0,039	0,036	0,061
	2011	0,020	0,033	0,044	0,016	0,015	0,050	0,010	0,026	0,034	0,100	0,048	0,043
Kwas behenowy Behenic acid	2009	0,190	0,112	0,151	0,164	0,172	0,076	0,037	0,186	0,135	0,309	0,149	0,137
	2010	0,047	0,022	0,049	0,101	0,126	0,054	0,062	0,062	0,027	0,066	0,042	0,031
	2011	0,209	0,124	0,227	0,292	0,141	0,026	0,009	0,373	0,267	0,055	0,055	0,075
Kwas erukowy Erucic acid	2009	0,036	0,052	0,051	0,045	0,071	0,079	0,088	0,059	0,109	0,104	0,064	0,059
	2010	0,001	0,002	0,013	0,022	0,009	0,025	0,023	0,014	0,011	0,004	0,008	0,014
	2011	0,087	0,142	0,051	0,029	0,144	0,022	0,034	0,254	0,004	0,063	0,061	0,056
Kwas lignocerynowy Lignoceric acid	2009	1,126	0,839	0,650	0,668	0,858	0,600	1,269	1,022	0,448	0,467	0,864	0,307
	2010	0,062	0,003	0,005	0,053	0,105	0,074	0,047	0,055	0,009	0,030	0,016	0,006
	2011	0,010	0,025	0,052	0,013	0,022	0,017	0,021	0,040	0,035	0,045	0,052	0,035

Tabela 51a
Table 51a

Kwasy tłuszczowe [% sumy kwasów] w oleju lnianym (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – lata x nawożenie)
Fatty acids content in linseed seeds (*Linum usitatissimum* L.), % of total fatty acids (mean values for factors interaction – years x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Nawożenie – Fertilization											
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃
Kwas kaprylowy Caprylic acid	2009	0,659	0,163	0,030	0,046	0,047	0,448	0,108	0,518	0,403	0,748	0,535	0,183
	2010	0,006	0,004	0,007	0,007	0,006	0,009	0,009	0,013	0,009	0,008	0,007	0,008
	2011	0,006	0,004	0,011	0,003	0,006	0,003	0,004	0,004	0,004	0,003	0,007	0,009
Kwas kaprynowy Capric acid	2009	0,039	0,042	0,027	0,027	0,035	0,029	0,046	0,039	0,030	0,048	0,034	0,037
	2010	0,020	0,028	0,029	0,027	0,022	0,020	0,023	0,023	0,035	0,035	0,035	0,034
	2011	0,044	0,037	0,032	0,028	0,035	0,032	0,035	0,034	0,032	0,031	0,025	0,039
Kwas laurynowy Lauric acid	2009	0,006	0,045	0,010	0,026	0,011	0,005	0,020	0,008	0,006	0,007	0,005	0,008
	2010	0,033	0,026	0,020	0,030	0,093	0,032	0,022	0,038	0,025	0,023	0,020	0,023
	2011	0,108	0,021	0,078	0,008	0,035	0,024	0,018	0,022	0,050	0,032	0,060	0,066
Kwas mirystynowy Myristic acid	2009	0,023	0,177	0,069	0,068	0,069	0,072	0,114	0,037	0,047	0,116	0,042	0,170
	2010	0,099	0,069	0,079	0,093	0,108	0,066	0,069	0,061	0,082	0,064	0,066	0,068
	2011	0,049	0,042	0,184	0,040	0,177	0,197	0,100	0,028	0,187	0,065	0,142	0,127
Kwas palmitynowy Palmitic acid	2009	6,746	6,552	6,459	6,533	6,595	5,518	7,152	6,797	5,426	6,867	6,628	6,956
	2010	5,928	6,242	5,125	7,666	6,322	6,251	6,068	6,293	5,003	5,980	6,149	5,634
	2011	5,381	5,323	5,572	5,193	5,278	5,483	5,324	5,382	5,608	5,450	5,418	5,451
Kwas palmitoleinowy Palmitoleic acid	2009	0,083	0,140	0,041	0,034	0,061	0,068	0,041	0,096	0,091	0,116	0,073	0,153
	2010	0,274	0,111	0,172	0,060	0,112	0,083	0,061	0,106	0,139	0,099	0,126	0,077
	2011	0,036	0,022	0,045	0,014	0,024	0,022	0,015	0,027	0,097	0,041	0,040	0,032
Kwas stearynowy Stearic acid	2009	0,093	0,341	0,027	0,057	0,045	0,165	0,118	0,111	0,158	0,121	0,042	0,296
	2010	0,915	1,815	1,780	0,851	1,782	1,858	3,231	2,928	2,986	1,977	2,406	2,097
	2011	2,515	2,439	2,383	1,194	2,318	2,272	2,353	2,425	2,470	2,436	2,414	2,385

Tabela 52

Table 52

Kwasy tłuszczowe [% sumy kwasów] w oleju lnianym (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników –odmiana x nawożenie)
 Fatty acids content in linseed seeds (*Linum usitatissimum* L.), % of total fatty acids (mean values for factors interaction –years x fertiization)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Nawożenie – Fertiization											
		$N_0+S_1+B_1$	$N_0+S_2+B_2$	$N_0+S_3+B_3$	$N_1+S_1+B_1$	$N_1+S_2+B_2$	$N_1+S_3+B_3$	$N_2+S_1+B_1$	$N_2+S_2+B_2$	$N_2+S_3+B_3$	$N_3+S_1+B_1$	$N_3+S_2+B_2$	$N_3+S_3+B_3$
Kwas oleinowy Oleic acid	Oliwin	14,68	14,67	14,72	14,93	15,09	14,86	15,04	14,93	14,21	15,05	15,09	15,06
	Opal	15,87	17,80	18,28	19,24	18,81	18,72	17,46	16,86	19,79	19,65	19,93	19,92
Kwas linolowy Linoleic acid	Oliwin	14,33	14,02	13,80	15,48	13,17	15,40	15,40	15,50	15,10	15,34	15,21	15,39
	Opal	17,13	14,40	15,63	16,39	14,00	14,40	13,53	14,98	14,68	14,71	14,29	13,83
Kwas linolenowy Linolenic acid	Oliwin	61,80	62,30	63,75	62,54	63,77	61,66	60,68	60,63	60,93	60,77	61,34	61,22
	Opal	59,58	60,02	58,06	55,72	58,56	58,44	60,07	59,03	58,88	57,38	57,02	58,07
Kwas arachinowy Arachidic acid	Oliwin	0,034	0,060	0,021	0,030	0,021	0,038	0,068	0,059	0,076	0,057	0,022	0,070
	Opal	0,019	0,078	0,119	0,078	0,040	0,067	0,010	0,012	0,024	0,097	0,044	0,049
Kwas behenowy Behenic acid	Oliwin	0,274	0,160	0,078	0,144	0,224	0,082	0,043	0,390	0,257	0,132	0,098	0,064
	Opal	0,024	0,012	0,205	0,227	0,069	0,021	0,029	0,024	0,029	0,155	0,066	0,098
Kwas erukowy Erucic acid	Oliwin	0,067	0,103	0,049	0,031	0,123	0,047	0,053	0,186	0,184	0,032	0,043	0,048
	Opal	0,019	0,028	0,028	0,033	0,026	0,032	0,044	0,031	0,045	0,082	0,046	0,053
Kwas ligno- cerynowy Lignoceric acid	Oliwin	0,486	0,260	0,175	0,196	0,193	0,194	0,500	0,373	0,319	0,325	0,248	0,214
	Opal	0,312	0,318	0,298	0,293	0,464	0,267	0,392	0,371	0,010	0,036	0,373	0,018

Tabela 52a
Table 52a

Kwasy tłuszczowe [% sumy kwasów] w oleju lnianym (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x nawożenie)
Fatty acids content in linseed seeds (*Linum usitatissimum* L.), % of total fatty acids (mean values for factors interaction – years x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Nawożenie – Fertilization														
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃			
Kwas kaprylowy Caprylic acid	Oliwin	0,281	0,081	0,017	0,018	0,020	0,117	0,043	0,068	0,014	0,254	0,040	0,110			
	Opal	0,167	0,033	0,014	0,019	0,018	0,190	0,038	0,289	0,263	0,252	0,327	0,024			
Kwas kaprynowy Capric acid	Oliwin	0,044	0,051	0,051	0,041	0,039	0,034	0,050	0,043	0,054	0,052	0,039	0,040			
	Opal	0,025	0,020	0,008	0,014	0,023	0,019	0,019	0,021	0,013	0,024	0,017	0,024			
Kwas laurynowy Lauric acid	Oliwin	0,023	0,025	0,031	0,022	0,067	0,028	0,028	0,020	0,040	0,029	0,046	0,014			
	Opal	0,075	0,037	0,041	0,021	0,026	0,013	0,012	0,025	0,013	0,013	0,011	0,051			
Kwas mirystynowy Myristic acid	Oliwin	0,055	0,123	0,102	0,068	0,149	0,099	0,120	0,047	0,156	0,112	0,106	0,056			
	Opal	0,060	0,070	0,120	0,067	0,088	0,124	0,069	0,036	0,055	0,051	0,060	0,187			
Kwas palmi- tynowy Palmitic acid	Oliwin	6,707	6,316	6,323	6,042	6,288	6,160	6,127	5,981	6,465	6,155	6,074	6,262			
	Opal	5,330	5,761	5,115	6,886	5,841	6,008	6,235	6,334	4,426	6,043	6,056	5,766			
Kwas palmi- toleinowy Palmitoleic acid	Oliwin	0,141	0,177	0,097	0,059	0,093	0,060	0,091	0,066	0,149	0,097	0,077	0,074			
	Opal	0,121	0,005	0,076	0,014	0,038	0,056	0,045	0,087	0,069	0,074	0,083	0,100			
Kwas stearynowy Stearic acid	Oliwin	1,079	1,650	0,784	0,403	0,760	1,214	1,755	1,750	2,040	1,595	1,563	1,374			
	Opal	1,270	1,413	2,010	0,998	2,002	1,649	2,046	1,892	1,703	1,428	1,678	1,811			

Tabela 53

Table 53

Kwasy tłuszczowe jednonienasycone, nasycone i niezbędne nienasycone [% sumy kwasów]
w oleju lnianym (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla czynników)
Monounsaturated, saturated, polyunsaturated and essential fatty acids content in linseed seeds
(*Linum usitatissimum* L.) , % of total fatty acids (mean values for factors interaction –
cultivar x years)

Wyszczególnienie Specification	Kwasy nasycone Saturated acids	Jednonienasycone kwasy tłuszczowe Monounsaturated fatty acids (MUFA)	Niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe (NNKT) Polyunsaturated fatty acids (PUFA = Essen- tial Fatty Acids- EFA)
Lata Years			
2009	8,20	20,10a	71,70c
2010	8,38	17,06b	74,56b
2011	8,12	13,34c	78,54a
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	r.n. NS	***	***
Odmiana Cultivar			
Oliwin	8,33	15,04b	76,62a
Opal	8,14	18,63a	73,24b
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	r.n. NS	***	***
Nawożenie Fertilization			
N ₀ +S ₁ +B ₁	8,13	15,45	76,42
N ₀ +S ₂ +B ₂	8,24	16,39	75,37
N ₀ +S ₃ +B ₃	7,76	16,63	75,62
N ₁ +S ₁ +B ₁	7,78	17,16	75,06
N ₁ +S ₂ +B ₂	8,17	17,09	74,75
N ₁ +S ₃ +B ₃	8,16	16,89	74,95
N ₂ +S ₁ +B ₁	8,79	16,37	74,84
N ₂ +S ₂ +B ₂	8,87	16,08	75,05
N ₂ +S ₃ +B ₃	7,98	17,23	74,80
N ₃ +S ₁ +B ₁	8,40	17,49	74,11
N ₃ +S ₂ +B ₂	8,43	17,64	73,93
N ₃ +S ₃ +B ₃	8,12	17,63	74,26
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS

Średnie wartości parametrów w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie
Means in the same column and parameter followed by the same letter do not differ significantly

NIR_{0,05} – LSD_{0,05}

r.n. – różnica nieistotna – NS – nonsignificant

*** Różnica istotna na poziomie 0,001 – Significant at the 0,001 level of probability

Tabela 54

Table 54

Kwasy tłuszczowe jednonienasycone, nasycone i niezbędne nienasycone [% sumy kwasów]
w oleju lnianym (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x lata)
Monounsaturated, saturated, polyunsaturated and essential fatty acids content in linseed seeds
(*Linum usitatissimum* L.), % of total fatty acids (mean values for factors interaction –
cultivar x years)

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Lata Years			Średnia Mean
		2009	2010	2011	
Kwasy nasycone Saturated acids	Oliwin	8,36	8,58	8,06	8,33
	Opal	8,04	8,19	8,18	8,14
Średnia Mean		8,20	8,38	8,12	8,24
Jednonienasycone kwasy tłuszczowe Monounsaturated fatty acids (MUFA)	Oliwin	17,48c	14,45d	13,19d	15,04
	Opal	22,73a	19,67b	13,50d	18,63
Średnia Mean		20,10	17,06	13,34	16,84
Niezbędne nienasycone kwa- sy tłuszczowe (NNKT) Polyunsaturated fatty acids (PUFA = essential fatty acids – EFA)	Oliwin	74,16	76,97	78,75	76,62
	Opal	69,23	72,15	78,32	73,24
Średnia Mean		71,70	75,56	78,54	74,93

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie
The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

Tabela 55
Table 55

Kwasy tłuszczowe jednonienasycone, nasycone i niezbędne nienasycone [% sumy kwasów] w oleju lnianym (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – lata x nawożenie)

Monounsaturated, saturated, polyunsaturated and essential fatty acids content in linseed seeds (*Linum usitatissimum* L.), % of total fatty acids (mean values for factors interaction – cultivar x years)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Nawożenie – Fertilization												Średnia Mean
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃	
Kwasy nasycone Saturated acids	2009	8,90	8,40	7,56	7,71	7,87	7,99	8,94	8,77	7,03	8,78	8,32	8,17	8,20
	2010	7,15	8,26	7,14	8,86	8,61	8,40	9,57	9,51	8,22	8,22	8,77	7,95	8,38
	2011	8,35	8,05	8,59	6,79	8,03	8,11	7,88	8,34	8,69	8,22	8,22	8,23	8,12
Średnia Mean	8,13	8,24	7,76	7,78	8,17	8,16	8,79	8,87	7,98	8,40	8,43	8,12	8,24	
Jednonienasycone kwasy tłuszczowe Monounsaturated fatty acids (MUFA)	2009	19,82	18,77	18,20	18,75	20,29	20,12	20,75	21,12	20,99	20,74	20,82	20,88	20,10
	2010	13,22	17,27	18,32	19,70	17,83	17,40	14,82	13,63	17,16	18,22	18,44	18,74	17,06
	2011	13,30	13,15	13,37	13,02	13,15	13,16	13,53	13,49	13,54	13,52	13,65	13,27	13,34
Średnia Mean	15,45	16,39	16,63	17,16	17,09	16,89	16,37	16,08	17,23	17,49	17,64	17,63	16,84	
Niezbędne nie- nasycone kwasy tłuszczowe (NNKT) Polyunsaturated fatty acids (PUFA = essential fatty acids – EFA)	2009	71,28	72,83	74,25	73,55	71,84	71,90	70,32	70,11	71,99	70,49	70,87	70,96	71,70
	2010	79,63	74,48	74,56	71,45	73,57	74,21	75,62	76,87	74,63	73,57	72,80	73,31	74,56
	2011	78,36	78,81	78,06	80,19	78,83	78,74	78,60	78,18	77,78	78,27	78,14	78,51	78,54
Średnia Mean	76,42	75,37	75,62	75,06	74,75	74,95	74,84	75,05	74,80	74,11	73,93	74,26	74,93	

Tabela 56

Table 56

Kwasy tłuszczowe jednonienasycone, nasycone i niezbędne nienasycone [% sumy kwasów] w oleju lnianym (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x nawożenie)
 Monounsaturated, saturated, polyunsaturated and essential fatty acids content in linseed seeds (*Linum usitatissimum* L.), % of total fatty acids (mean values for factors interaction – cultivar x years)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Nawożenie – Fertilization												Średnia Mean	
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃		
Kwasy nasycone Saturated acids	Oliwin	8,98	8,73	7,58	6,96	7,76	7,96	8,73	8,73	8,73	9,42	8,71	8,23	8,20	8,33
	Opal	7,28	7,74	7,93	8,60	8,57	8,36	8,85	9,00	8,85	6,53	8,10	8,63	8,03	8,14
Średnia Mean		8,13	8,24	7,76	7,78	8,17	8,16	8,79	8,87	7,98	8,40	8,43	8,12	8,24	8,24
Jednonienasycone kwasy tłuszczowe Monounsaturated fatty acids (MUFA)	Oliwin	14,89	14,96	14,87	15,02	15,30	14,97	15,18	15,18	14,55	15,18	15,21	15,18	15,04	
	Opal	16,00	17,83	18,38	19,29	18,87	18,81	17,55	16,98	19,91	19,81	20,06	20,07	18,63	
Średnia Mean		15,45	16,39	16,63	17,16	17,09	16,89	16,37	16,08	17,23	17,49	17,64	17,63	16,84	
Niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe (NNKT) Polyunsaturated fatty acids (PUFA = essential fatty acids – EFA)	Oliwin	76,13	76,32	77,55	78,02	76,93	77,07	76,09	76,09	76,03	76,11	76,55	76,61	76,62	
	Opal	76,72	74,43	73,69	72,11	72,56	72,83	73,60	74,02	73,56	72,10	71,31	71,90	73,24	
Średnia Mean		76,42	75,37	75,62	75,06	74,75	74,95	74,84	75,05	74,80	74,11	73,93	74,26	74,93	

Tabela 57

Table 57

Suma kwasów nienasyconych i stosunek nasyconych do nienasyconych [% sumy kwasów]
w oleju lnianym (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla czynników)

Fatty acids content of linseed seeds (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors),
% of total fatty acids

Wyszczególnienie Specification	Suma kwasów nienasyconych Sum of unsaturated fatty acids	Kwasy nasycone : kwasy nienasycone Saturated fatty acids : un- saturated fatty acids	C _{18:2} (n-6) : C _{18:3} (n-3)
Lata Years			
2009	91,8	1 : 11,3	0,21: 1b
2010	91,6	1 : 11,3	0,32: 1a
2011	91,9	1 : 11,4	0,22: 1 b
NIR _{0,05} - LSD _{,05}	r.n. NS	r.n. NS	***
Odmiana Cultivar			
Oliwin	91,7	1 : 11,1	0,24: 1
Opal	91,9	1 : 11,6	0,26: 1
NIR _{0,05} - LSD _{,05}	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS
Nawożenie Fertilization			
N ₀ +S ₁ +B ₁	91,9	1 : 11,8	0,26: 1
N ₀ +S ₂ +B ₂	91,8	1 : 11,2	0,23: 1
N ₀ +S ₃ +B ₃	92,3	1 : 12,0	0,24: 1
N ₁ +S ₁ +B ₁	92,2	1 : 12,3	0,29: 1
N ₁ +S ₂ +B ₂	91,8	1 : 11,3	0,23: 1
N ₁ +S ₃ +B ₃	91,8	1 : 11,3	0,25: 1
N ₂ +S ₁ +B ₁	91,2	1 : 10,5	0,24 : 1
N ₂ +S ₂ +B ₂	91,1	1 : 10,3	0,26 : 1
N ₂ +S ₃ +B ₃	92,0	1 : 12,2	0,25 : 1
N ₃ +S ₁ +B ₁	91,6	1 : 10,9	0,26 : 1
N ₃ +S ₂ +B ₂	91,6	1 : 10,9	0,25 : 1
N ₃ +S ₃ +B ₃	91,9	1 : 11,3	0,25 : 1
NIR _{0,05} - LSD _{,05}	r.n. NS	r.n. NS	r.n. NS

Średnie wartości parametrów w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie
Means in the same column and parameter followed by the same letter do not differ significantly

NIR_{0,05} - LSD_{,05}

r.n. - różnica nieistotna - NS - nonsignificant

*** Różnica istotna na poziomie 0,001 - Significant at the 0,001 level of probability

Tabela 58

Table 58

Suma kwasów nienasyconych i stosunek nasyconych do nienasyconych [% sumy kwasów] w oleju lnianym (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x lata)

Fatty acids content of linseed seeds (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – cultivar x years), % of total fatty acids

Wyszczególnienie Specification	Odmiana Cultivar	Lata Years			Średnia Mean
		2009	2010	2011	
Suma kwasów nienasyconych Sum of unsaturated fatty acids	Oliwin	91,6	91,4	91,9	91,7
	Opal	92,0	91,8	91,8	91,9
Średnia Mean		91,8	91,6	91,9	91,8
Kwasy nasycone : kwasy nienasycone Saturated fatty acids: un- saturated fatty acids	Oliwin	1 : 11,0	1 : 10,8	1 : 11,5	1 : 11,1
	Opal	1 : 11,6	1 : 11,8	1 : 11,3	1 : 11,5
Średnia Mean		1 : 11,3	1 : 11,3	1 : 11,4	1 : 11,3
C _{18:2} (n-6) : C _{18:3} (n-3)	Oliwin	0,19 : 1f	0,28 : 1bc	0,24 : 1cd	0,24 : 1
	Opal	0,23 : 1de	0,35 : 1a	0,20 : 1ef	0,26 : 1
Średnia Mean		0,21 : 1	0,32 : 1	0,22 : 1	0,25 : 1

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie

The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

Tabela 59
Table 59

Skład kwasów tłuszczowych w oleju lnianym (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – lata x nawożenie)
Fatty acids content of linseed seeds (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – years x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Nawożenie – Fertilization												Średnia Mean
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃	
Suma kwasów nienasyconych Sum of unsaturated fatty acids	2009	91,1	91,6	92,4	92,3	92,1	92,0	91,1	91,2	93,0	91,2	91,7	91,8	91,8
	2010	92,8	91,7	92,9	91,1	91,4	91,6	90,4	90,5	91,8	90,5	91,2	92,1	91,6
	2011	91,7	91,9	91,4	93,2	92,0	91,9	92,1	91,7	91,3	91,7	91,8	91,8	91,9
Średnia Mean	91,9	91,8	92,2	92,2	91,8	91,8	91,2	91,1	91,1	92,0	91,6	91,6	91,9	91,8
Kwasy nasycone : kwasy nienasycone Saturated fatty acids: unsaturated fatty acids	2009	1 : 10,3	1 : 11,0	1 : 12,2	1 : 12,0	1 : 11,7	1 : 11,5	1 : 10,2	1 : 10,5	1 : 13,7	1 : 10,5	1 : 11,1	1 : 11,2	1 : 11,3
	2010	1 : 14,2	1 : 11,2	1 : 13,0	1 : 11,1	1 : 10,8	1 : 10,9	1 : 9,48	1 : 9,52	1 : 12,3	1 : 11,2	1 : 10,4	1 : 11,6	1 : 11,3
	2011	1 : 11,0	1 : 11,4	1 : 10,7	1 : 13,8	1 : 11,5	1 : 11,4	1 : 11,7	1 : 11,0	1 : 10,6	1 : 11,2	1 : 11,2	1 : 11,1	1 : 11,4
Średnia Mean	1 : 11,8	1 : 11,2	1 : 12,0	1 : 12,3	1 : 11,3	1 : 11,3	1 : 10,5	1 : 10,3	1 : 10,3	1 : 12,2	1 : 10,9	1 : 10,9	1 : 11,3	1 : 11,3
C _{18:2} (n-6) : C _{18:3} (n-3)	2009	0,21 : 1	0,21 : 1	0,20 : 1	0,21 : 1	0,21 : 1	0,21 : 1	0,22 : 1	0,22 : 1	0,22 : 1	0,22 : 1	0,21 : 1	0,21 : 1	0,21 : 1
	2010	0,36 : 1	0,28 : 1	0,28 : 1	0,44 : 1	0,26 : 1	0,33 : 1	0,28 : 1	0,33 : 1	0,31 : 1	0,33 : 1	0,33 : 1	0,29 : 1	0,32 : 1
	2011	0,22 : 1	0,22 : 1	0,25 : 1	0,22 : 1	0,21 : 1	0,22 : 1	0,22 : 1	0,22 : 1	0,22 : 1	0,22 : 1	0,22 : 1	0,24 : 1	0,22 : 1
Średnia Mean	0,26 : 1	0,23 : 1	0,24 : 1	0,29 : 1	0,23 : 1	0,25 : 1	0,24 : 1	0,26 : 1	0,26 : 1	0,25 : 1	0,26 : 1	0,25 : 1	0,25 : 1	0,25 : 1

Tabela 60
Table 60

Skład kwasów tłuszczowych w oleju lnianym (*Linum usitatissimum* L.) (średnie dla współdziałania czynników – odmiana x nawożenie)
Fatty acids content of linseed seeds (*Linum usitatissimum* L.) (mean values for factors interaction – cultivar x fertilization)

Wyszczególnienie Specification	Lata Years	Nawożenie – Fertilization												Średnia Mean
		N ₀ +S ₁ +B ₁	N ₀ +S ₂ +B ₂	N ₀ +S ₃ +B ₃	N ₁ +S ₁ +B ₁	N ₁ +S ₂ +B ₂	N ₁ +S ₃ +B ₃	N ₂ +S ₁ +B ₁	N ₂ +S ₂ +B ₂	N ₂ +S ₃ +B ₃	N ₃ +S ₁ +B ₁	N ₃ +S ₂ +B ₂	N ₃ +S ₃ +B ₃	
Suma kwasów nienasyconych Sum of unsaturated fatty acids	91,0 de 92,7 abc	91,3 cde 92,3 abcd	92,4 abcd 92,1 abcde	93,0 ab 91,4 bcde	92,2 abcde 91,4 bcde	92,0 abcde 91,6 bcde	91,3 cde 91,2 cde	91,3 cde 91,0 de	91,3 cde 91,0 de	90,6 e 93,5 a	91,3 cde 91,9 abcde	91,8 bcde 91,4 bcde	91,8 bcde 92,0 abcde	91,7 91,9
Średnia Mean	91,9	91,8	92,2	92,2	91,8	91,8	91,2	91,1	92,0	91,6	91,6	91,6	91,9	91,8
Kwasy nasycone : kwasy nienasycone Saturated fatty acids: unsaturated fatty acids	1 : 10,2 c 1 : 13,5 b	1 : 10,5 c 1 : 11,9 bc	1 : 12,2 abc 1 : 11,8 bc	1 : 13,5 ab 1 : 11,1 bc	1 : 11,9 bc 1 : 10,7 c	1 : 11,6 bc 1 : 11,0 bc	1 : 10,5 c 1 : 10,4 c	1 : 10,5 c 1 : 10,1 c	1 : 9,72 c 1 : 14,7 a	1 : 10,5 c 1 : 11,4 bc	1 : 11,2 bc 1 : 10,6 c	1 : 11,2 bc 1 : 11,5 bc	1 : 11,2 bc 1 : 11,5 bc	1 : 11,1 1 : 11,6
Średnia Mean	1 : 11,8	1 : 11,2	1 : 12,0	1 : 12,3	1 : 11,3	1 : 11,3	1 : 10,5	1 : 10,3	1 : 12,2	1 : 10,9	1 : 10,9	1 : 11,3	1 : 11,3	1 : 11,3
C _{18:2} (n-6) : C _{18:3} (n-3)	0,23 : 1 0,29 : 1	0,22 : 1 0,24 : 1	0,22 : 1 0,27 : 1	0,25 : 1 0,33 : 1	0,21 : 1 0,24 : 1	0,25 : 1 0,25 : 1	0,26 : 1 0,23 : 1	0,26 : 1 0,26 : 1	0,25 : 1 0,25 : 1	0,25 : 1 0,26 : 1	0,25 : 1 0,25 : 1	0,25 : 1 0,24 : 1	0,25 : 1 0,24 : 1	0,24 : 1 0,26 : 1
Średnia Mean	0,26 : 1	0,23 : 1	0,24 : 1	0,29 : 1	0,23 : 1	0,25 : 1	0,24 : 1	0,26 : 1	0,25 : 1	0,26 : 1	0,25 : 1	0,25 : 1	0,25 : 1	0,25 : 1

Średnie wartości parametru w kolumnach i wierszach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie
The average values of parameter in columns and lines marked with the same letter do not differ significantly

Za pomocą współczynników korelacji wykazano również zależności pomiędzy zawartością kwasów tłuszczowych oznaczonych w oleju z nasion lnu (tab. 61). Zawartość kwasu linolowego jest dodatnio skorelowana z zawartością kwasu stearynowego (0,45), natomiast ujemnie z zawartością kwasu kaprylowego (-0,34), linolenowego(-0,51) oraz lignocerynowego (-0,49). Wykazano istotną ujemną korelację kwasu oleinowego względem kwasu linolenowego (-0,77). Taką samą zależność pomiędzy kwasem oleinowym i linolenowym wykazali inni autorzy, Wójtowicz [2013] w badaniach nad rzepakiem oraz Wielebski in. [2017] nad lnem oleistym.

Tabela 61

Table 61

Macierz korelacji dla zawartości kwasów tłuszczowych występujących w oleju z nasion ocenianych odmian lnu oleistego

Correlation matrix for the content of fatty acids present in seed oil of evaluated oilseed varieties

Kwas Acid	kaprylowy C8:0	kaprylowy C8:0	kaprylowy C8:0	kaprylowy C8:0	kaprylowy C8:0	kaprylowy C8:0	kaprylowy C8:0	kaprylowy C8:0	kaprylowy C8:0	kaprylowy C8:0	kaprylowy C8:0	kaprylowy C8:0	kaprylowy C8:0	kaprylowy C8:0
Kaprylowy C8:0	1.00	0.07	-0.29	-0.14	0.25	0.11	-0.52	0.51	-0.34	-0.23	-0.01	0.07	0.04	0.53
Kaprynowy C10:0	0.07	1.00	-0.04	0.14	0.15	0.11	-0.16	-0.28	-0.14	0.29	-0.01	0.29	0.39	0.24
Laurynowy C12:0	-0.29	-0.04	1.00	0.45	-0.14	0.02	0.21	-0.33	0.10	0.21	-0.07	0.00	0.04	-0.23
Mirystynowy C14:0	-0.14	0.14	0.45	1.00	0.06	0.25	0.05	-0.20	-0.03	0.15	0.07	0.12	0.18	-0.08
Palmitynowy C16:0	0.25	0.15	-0.14	0.06	1.00	0.32	-0.50	0.28	-0.18	-0.26	0.08	0.07	-0.05	0.43
Palmitooleinowy C16:1	0.11	0.11	0.02	0.25	0.32	1.00	-0.22	0.05	0.15	-0.17	-0.01	0.04	-0.04	0.07
Stearynowy C18:0	-0.52	-0.16	0.21	0.05	-0.50	-0.22	1.00	-0.45	0.45	0.05	-0.25	-0.16	-0.01	-0.71
Oleinowy C18:1	0.51	-0.28	-0.33	-0.20	0.28	0.05	-0.45	1.00	-0.12	-0.77	0.20	-0.14	-0.09	0.45
Linolowy (LA) C18:2	-0.34	-0.14	0.10	-0.03	-0.18	0.15	0.45	-0.12	1.00	-0.51	-0.21	-0.20	-0.14	-0.49
Linolenowy C18:3	-0.23	0.29	0.21	0.15	-0.26	-0.17	0.05	-0.77	-0.51	1.00	-0.04	0.21	0.13	-0.11
Arachinowy C20:0	-0.01	-0.01	-0.07	0.07	0.08	-0.01	-0.25	0.20	-0.21	-0.04	1.00	0.06	0.06	0.37
Behenowy C22:0	0.07	0.29	0.00	0.12	0.07	0.04	-0.16	-0.14	-0.20	0.21	0.06	1.00	0.64	0.09
Erukowy C22:1	0.04	0.39	0.04	0.18	-0.05	-0.04	-0.01	-0.09	-0.14	0.13	0.06	0.64	1.00	0.00
Lignocerynowy C24:0	0.53	0.24	-0.23	-0.08	0.43	0.07	-0.71	0.45	-0.49	-0.11	0.37	0.09	0.00	1.00

Wartości wytłuszczone – korelacja istotna – Bold values – significant correlation

Do oceny wzajemnych zależności cech posłużono się również regresją wieloraką krokową i wsteczną. Wyniki regresji wielorakiej wykazują, że zmienne niezależne, których współczynniki korelacji liniowej z kwasem palmitynowym są istotne, objaśniają tę zależność w 53% (R^2 popraw. = 0,5297), a równanie przyjmuje postać (wartości wytłuszczone – zależności istotne):

$$\text{kwas palmitynowy} = 7,32 \text{ białko ogółem} + 0,34 \text{ włókno surowe} + 0,33 \text{ popiół surowy} + 0,24 \text{ wysokość roślin} + 0,44 \text{ plon nasion} - 7,4 \text{ N} + 0,52 \text{ Mg} + 0,54 \text{ P} + -0,05 \text{ K} + 2,56.$$

Możliwość eliminacji zmiennych nieistotnych w obliczeniach krokowej regresji wielorakiej pozwala na zawężenie liczby zmiennych niezależnych i uzyskanie równania:

$$\text{kwas palmitynowy} = 6,88 \text{ białko ogółem} + 0,37 \text{ włókno surowe} + 0,43 \text{ plon nasion} - 7,0 \text{ N} + 3,79, \text{ przy } R^2 \text{popraw.} = 0,5472.$$

Pozwala to wnioskować, że w znacznym stopniu na zawartość kwasu palmitynowego ma wpływ ilość gromadzonego białka w nasionach lnu.

W ocenie oddziaływania tylko kwasów na kwas palmitynowy należy zauważyć, że wzrost ich zawartości powoduje spadek zawartości kwasu palmitynowego, przy czym w dużym stopniu ma udział kwas linolenowy:

$$\text{kwas palmitynowy} = -0,81 \text{ stearynowy} - 3,2 \text{ oleinowy} - 2,2 \text{ linolowy} - 3,7 \text{ linolenowy} - 0,20 \text{ Ca} + 75,98 \text{ (} R^2 \text{popraw.} = 0,8659).$$

W interpretacji zmiennej zależnej – kwasu stearynowego wykorzystano zmienne o istotnym współczynniku korelacji liniowej; zawartość kwasu mirystynowego, oleinowego, linolowego, lignocerynowego, masę 1000 nasion, suchą masę, zawartość białka ogółem, tłuszczu i popiołu surowego, wysokość roślin oraz zawartości N, P, K, Ca i Mg w nasionach. W analizie regresji wielorakiej wykazano zależność istotną jedynie dla kwasu kaprynowego, wysokości roślin oraz zawartości K (R^2 popraw. = 0,7084). W kolejnym kroku eliminacji zmiennych nieistotnych spowodowało to zmianę zależności zgodnie z równaniem:

$$\text{kwas stearynowy} = -0,76 \text{ wysokość roślin} + 0,42 \text{ N} - 0,85 \text{ P} + 1,25 \text{ K} - 1,69, \text{ przy } R^2 \text{popraw.} = 0,6750.$$

Uwzględnienie w analizie jedynie kwasów tłuszczowych o istotnym współczynniku korelacji Pearsona otrzymujemy zależność:

$$\text{kwas stearynowy} = -0,14 \text{ kaprylowy} - 0,24 \text{ palmitynowy} - 0,11 \text{ oleinowy} - 0,14 \text{ linolowy} - 0,03 \text{ arachinowy} - 0,40 \text{ lignocerynowy} + 3,35, \text{ (dla } R^2 \text{popraw.} = 0,5591).$$

W dalszym postępowaniu eliminowania zmiennych nieistotnych, w obliczeniach krokowej regresji wielorakiej, uzyskujemy postać równania:

$$\text{kwas stearynowy} = -0,71 \text{ lignocerynowy} + 2,06 \text{ (dla } R^2 \text{popraw.} = 0,4950).$$

Ze ścisłej interpretacji zależności wynika, że wzrost zawartości kwasu lignocerynowego o 1% spowoduje spadek zawartości kwasu stearynowego o 0,71 jednostki.

Wyniki regresji wielorakiej dla kwasu oleinowego przy uwzględnieniu istotnych współczynników korelacji liniowej dla zmiennych niezależnych – wysokości roślin, liczby torebek na roślinie, masy 1000 nasion, tłuszczu i popiołu surowego, BAW, zawartości azotu, magnezu, fosforu i potasu w nasionach, kwasu linolenowego, kwasu lignocerynowego, kwasu kaprynowego i kaprylowego, kwasu laurynowego, palmitynowego oraz stearynowego – wykazały istotne zależności jedynie dla kwasu linolenowego, zawartości azotu, fosforu, potasu i magnezu oraz dla masy 1000 nasion:

$$\begin{aligned} \text{kwas oleinowy} = & -\mathbf{0,65 \text{ linolenowy}} - 0,04 \text{ lignocerynowy} - 0,24 \text{ tłuszcz surowy} \\ & + 0,06 \text{ popiół surowy} - \mathbf{0,31 N} - 0,19 \text{ wysokość roślin} - 0,04 \text{ liczba torebek} + \\ & 0,25 \text{ Mg} - \mathbf{0,66 P} + \mathbf{0,78 K} - 0,09 \text{ kaprynowy} + 0,11 \text{ kaprylowy} - 0,05 \text{ lauryno-} \\ & \text{wy} - 0,06 \text{ palmitynowy} - 0,18 \text{ stearynowy} + \mathbf{0,47 MTZ} - 0,09 \text{ BAW} + 79,6 \text{ dla} \\ & R^2 \text{popraw.} = 0,8732. \end{aligned}$$

Analiza regresji wielorakiej wstecznej eliminująca zmienne nieistotne ograniczyła w konsekwencji liczbę zmiennych niezależnych do kwasu linolenowego, masy 1000 nasion oraz zawartości potasu. Wartość równania dla zmiennej zależnej kwasu oleinowego przyjmie postać:

$$\begin{aligned} \text{kwas oleinowy} = & -\mathbf{0,46 \text{ linolenowy}} + \mathbf{0,43 K} + \mathbf{0,49 MTZ} + 15,8 \text{ dla } R^2 \text{popraw.} \\ & = 0,8484. \end{aligned}$$

Wzrost masy 1000 nasion oraz zawartości potasu w nasionach wpływa na wzrost zawartość kwasu oleinowego, natomiast jego zawartość maleje 0,46 punktów %, kiedy udział kwasu linolenowego wzrasta o 1%.

Przy ocenie oddziaływania pozostałych kwasów tłuszczowych na kwas oleinowy wykazano, że jedynie kwas linolenowy, lignocerynowy, kaprylowy, palmitynowy oraz kwas stearynowy mają wpływ na zawartość kwasu oleinowego. Natomiast wyniki regresji wielorakiej krokowej zawężają zależność kwasu oleinowego od kwasu linolenowego oraz stearynowego:

$$\begin{aligned} \text{kwas oleinowy} = & -\mathbf{0,74 \text{ linolenowy}} + \mathbf{0,41 \text{ stearynowy}} + 56,1 \text{ dla } R^2 \text{popraw.} = \\ & 0,7450. \end{aligned}$$

Oddziaływanie kwasu linolenowego na kwas oleinowy jest ujemne, bo wzrost jego zawartości o jedną jednostkę powoduje spadek o 0,41% kwasu oleinowego.

W ocenie kwasu linolenowego uwzględniono szereg zmiennych niezależnych: kwas stearynowy, kwas kaprynowy, linolenowy, lignocerynowy, masę 1000 nasion, suchą masę tłuszcz surowy, białko ogółem, BAW, średnicę łodyg, liczbę nasion w torebce, obsadę roślin przed zbiorem oraz zawartość wapnia i sodu. Spośród wymienionych zmiennych niezależnych, w wyniku analizy regresji wielorakiej, jedynie kwas linolenowy, tłuszcz surowy białko ogółem oraz obsada przed zbiorem, jak również zawartość sodu w nasionach miały istotny wpływ na objaśnienie zmiennej zależnej – kwasu linolenowego.

$$\begin{aligned} \text{kwas linolowy} = & 0,21 \text{ sucha masa} - \mathbf{0,53 \text{ tłuszcz surowy}} + \mathbf{0,87 \text{ białko ogółem}} \\ & - 0,10 \text{ średnica łodyg} - 0,08 \text{ liczba nasion w torebce} - \mathbf{0,34 \text{ obsada roślin}} + 0,29 \end{aligned}$$

Ca + **0,41 Na - 0,39 linolenowy** - 0,13 lignocerynowy + 0,13 kaprynowy - 0,22 stearynowy - 0,22 MTZ + 0,30 BAW - 107,7 dla R²popraw. = 0,7352.

Eliminacja zmiennych nieistotnych wykazuje oddziaływanie na zmienną zależną jedynie kwasu linolenowego, tłuszczu surowego i białka ogółem, obsady roślin oraz zawartość sodu:

kwas linolowy = **0,39 tłuszcz surowy + 0,7387 białko ogółem - 0,33 obsada roślin + 0,41 Na + 0,39 linolenowy** - 19,9 dla R²popraw. = 0,7263.

Kwas kaprylowy, stearynowy, linolenowy oraz lignocerynowy opisują zmienną - kwas linolowy w 60%, przy czym wyniki regresji wielorakiej wskazują, że jedynie kwas stearynowy nie oddziałuje istotnie na kwas linolowy:

kwas linolowy = **-0,25 kaprylowy - 0,62 linolenowy** + 0,10 stearynowy - **0,36 lignocerynowy** + 37,8 dla R²popraw. = 0,6005.

Eliminacja zmiennych niezależnych doprowadza do postaci równania, w którym jedynie istotne znaczenie ma kwas linolenowy oraz lignocerynowy i obydwa te kwasy w równym stopniu opisują zależność z kwasem linolowym:

kwas linolowy = **-0,57 linolenowy - 0,56 lignocerynowy** + 36,7 dla R²popraw. = 0,5568.

W ocenie kwasu linolenowego wykorzystano wszystkie zmienne niezależne, które w macierzy korelacji posiadały istotny współczynnik Pearsona: kwas kaprylowy, kaprynowy, palmitynowy, oleinowy, linolowy, behenowy, tłuszcz i popiół surowy, BAW, wysokość roślin, długość techniczna, liczba nasion w torebce, średnica łodyg, liczba torebek, obsada roślin, zawartość fosforu, potasu, wapnia i sodu w nasionach.

W analizie regresji wielorakiej jedynie kwas kaprylowy, kaprynowy, palmitynowy, oleinowy, linolowy oraz wysokość roślin, średnica łodyg, liczba torebek i zawartość potasu okazały się istotne:

kwas linolenowy = **-0,07 kaprylowy - 0,07 kaprynowy - 0,20 palmitynowy - 0,82 oleinowy - 0,65 linolowy** - 0,04 behenowy + 0,04 tłuszcz surowy - 0,03 BAW + 0,08 popiół surowy + **0,37 wysokość roślin** - 0,16 długość techniczna + 0,05 liczba nasion w torebce + **0,11 średnica łodyg - 0,15 liczba torebek** - 0,03 obsada roślin + 0,15 P - **0,40 K** - 0,01 Ca + 0,02 sól + 89,1 (R²popraw. = 0,9791)

Działania regresji wielorakiej krokowej ograniczyły istotność zmiennych niezależnych do kwasu palmitynowego, oleinowego oraz linolowego:

kwas linolenowy = **-0,15 palmitynowy - 0,80 oleinowy - 0,63 linolowy** + 96,0 (R²popraw. = 0,9731).

Oznacza to, że spośród wszystkich zmiennych – w największym stopniu kwas palmitynowy, kwas oleinowy oraz kwas linolowy opisują zależność z kwasem linolenowym i w każdym z tych przypadków wzrost ich zawartości będzie wiązał się ze spadkiem kwasu linolenowego.

Przy ocenie oddziaływania kwasów tłuszczowych na kwas linolenowy równanie regresji wielorakiej przyjmuje postać:

$$\text{kwas linolenowy} = -0,01 \text{ kaprylowy} - 0,00 \text{ kaprynowy} - \mathbf{0,15 \text{ palmitynowy}} - \mathbf{0,80 \text{ oleinowy}} - \mathbf{0,64 \text{ linolowy}} - 0,02 \text{ behenowy} + 96,3 \text{ (R}^2\text{popraw.} = 0,9726\text{)}.$$

Natomiast działania regresji wielorakiej krokowej wstecznej doprowadzają do postaci równania tożsamego:

$$\text{kwas linolenowy} = \mathbf{-0,15 \text{ palmitynowy}} - \mathbf{0,80 \text{ oleinowy}} - \mathbf{0,63 \text{ linolowy}} + 96,0 \text{ (R}^2\text{popraw.} = 0,9731\text{)},$$

które uzyskano przy ocenie wpływu nie tylko samych kwasów tłuszczowych, ale wielu różnorodnych zmiennych.

5

WNIOSKI

1. Odmiana jasnonasienna Oliwin charakteryzowała się w porównaniu z odmianą ciemnonasienną Opal większą liczbą rozgałęzień I rzędu, liczbą torebek na roślinie i nasion w torebce oraz większą średnicą łodyg. Odmiana jasnonasienna odznaczała się jednocześnie wyższą wartością energetyczną nasion i wydajnością tłuszczu surowego z 1 ha.

2. Z kolei odmiana Opal wykształciła nasiona o większej masie 1000 sztuk oraz nagromadziła więcej białka ogółem, bezazotowych związków wyciągowych, fosforu i potasu. Odmiana Opal charakteryzowała się większą wydajnością białka ogółem i wartości energetycznej z jednostki powierzchni oraz posiadała wyższe wartości energii i zdolności kiełkowania.

3. Odmiana Opal osiągnęła w nasionach wyższą zawartość kwasu oleinowego i jednocześnie niższą kwasu linolenowego w porównaniu z odmianą Oliwin, której nasiona zawierały więcej kwasu behenowego, erukowego, kaprynowego i palmitooleinowego.

4. Zawartość kwasów nasyconych o liczbie atomów węgla C8, C10, C12, C16, C18, C20, C22, C24 oraz nienasyconych C_{16:1}, C18 o 1,2 i 3 wiązaniach oraz C_{22:1} była w szczególności modyfikowana przebiegiem warunków pogodowych. Czynniki nawozowe nie różnicowały zawartości kwasów tłuszczowych w oleju.

5. Zwiększeniu zawartość NNKT – niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (*EFA – essential fatty acids = PUFA – polyunsaturated fatty acids*) w nasionach odmiany Opal sprzyjał okres wegetacyjny charakteryzujący się wyższymi temperaturami powietrza przy jednocześnie większej sumie opadów.

6. W trzyletnim doświadczeniu średni stosunek kwasów nasyconych do nienasyconych wynosił 1:11,3 i nie był on modyfikowany żadnym badanym czynnikiem.

7. Zawartość kwasu palmitynowego była dodatnio zależna od zawartości białka ogółem, włókna surowego, ale ujemnie od zawartości N i Ca w nasionach. Wzrost masy 1000 nasion i zawartości K w nasionach wpływał na wzrost zawartości kwasu oleinowego, przy jednoczesnym spadku kwasu linolenowego. Poziom kwasu linolenowego w nasionach lnu oleistego był ujemnie skorelowany z zawartościami kwasów palmitynowego, oleinowego oraz linolowego.

8. Najwyższa zastosowana dawka azotu w połączeniu z najniższymi dawkami siarki i boru (60 kg·ha⁻¹ N + 30 kg·ha⁻¹ S + 5 kg·ha⁻¹ B) pozwoliły na uzyskanie wysokiego plonu nasion i wysokiej wydajności białka ogółem, tłuszczu surowego i wartości energetycznej z 1 hektara.

PIŚMIENNICTWO

- Amin T., Thakur M., 2014. *Linum usitatissimum* L. (flaxseed) – a multifarious functional food. Online Int. Interdiscip. Res. J., IV, 220–238.
- Andruszewska A., Byczyńska M., 2005. Odporność odmian lnu oleistego z kolekcji Instytutu Włókien Naturalnych na wędnięcie fuzaryjne. Rośl. Oleiste – Oilseed Crop., XXVI, 185–192.
- Andruszewska A., Langner K., Byczyńska M., 2001. Zwiększenie opłacalności i uprawiania lnu w Polsce przez zastosowanie wybranych fungicydów i nawozów mineralnych. Prog. Plant Prot., 41, 791–794.
- Antoniewicz J., Zając T., 2005. Zawartość i pobranie makroelementów przez len oleisty (*Linum usitatissimum* L.) w zależności od fazy rozwojowej i części rośliny. J. Elem., 10, 5–15. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Aufhammer W., Wagner W., Kaul H., Kubler E., 2000. Strahlungsnutzung durch Bestände olreicher Kornerfruchtarten – Winterraps, ollein und Sonnenblume in Vergleich. J. Agron. Crop Sci., 184, 277–286.
- Aziza A.E., Panda A.K., Quezada N., Cherian G., 2013. Nutrient digestibility, egg quality, and fatty acid composition of brown laying hens fed camelina or flaxseed meal. J. Appl. Poult. Res., 22, 832–841.
- Barowicz T., Brejta W., 2000. Modyfikowanie walorów dietetycznych mięsa wołowego czynnikami żywieniowymi. Roczn. Nauk Zootech., 6, 15–19.
- Barowicz T., Brzóška F., Pietras M., Gąsior R., 1997. Hypocholesterolemic effect of linseeds added to fattened pig diet. Med. Wet., 53, 164–167.
- Barowicz T., Brzóška F., Pietras M., Gąsior R., 1997. Skład kwasów tłuszczowych w mięśniu najdłuższym tuczników żywionych dawkami z udziałem pełnych nasion lnu. Roczn. Nauk Zootech., 2, 84–87.
- Barteczko J., Borowiec F., Migdał W., 2001. Efektywność żywienia brojlerów mieszankami z udziałem nasion różnych genotypów lnu oleistego. Rośl. Oleiste – Oilseed Crop., 22, 173–181.
- Barylski M., Banach M.K.J., 2009. Wielonienasycone kwasy tłuszczowe omega-3 w profilaktyce choroby niedokrwiennej serca, czyli dlaczego Eskimosi rzadko mają zawał. Kardioprofil, 5(32), 295–308.
- Bhathena S., Ali A., Haudenschild C., Latham P., Ranich T., Mohamed A.T., Hansen C., Velasquez M., 2003. Dietary flaxseed meal is more protective than soy protein concentrate against

- hypertriglyceridemia and steatosis of the liver in an animal model of obesity. *J. Am. Coll. Nutr.*, 17, 789–810.
- Bhattacharya A., Banu J., Rahman M., Causey J., Fernandes G., 2006. Biological effects of conjugated Linoleic acids in health and disease. *J. Nutr. Biochem.*, 17, 789–810.
- Białek A., Tokarz A., Wiśniowska A., 2009. Wpływ różnorodnych czynników dietetycznych na zawartość kwasu żwaczowego (cis-9, trans-11 CLA) i profil kwasów tłuszczowych w surowicy szczurów. *Bromat. Chem. Toksykol.*, XLII, 945–949.
- Blevins D.G., Lukaszewski K.M., 1998. Boron in plant structure and function. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 49, 36–41.
- Bocianowski J., Praczyk M., 2013a. Badanie zmienności fenotypowej genotypów lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) za pomocą statystycznych metod wielowymiarowych. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crop.*, 34, 279–287. doi:10.5604/12338273.1101409
- Bocianowski J., Praczyk M., 2013b. Analiza współzależności między plonem nasion a cechami ilościowymi lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.). *Rośl. Oleiste – Oilseed Crop.*, 34, 267–278. doi:10.5604/12338273.1101407
- Borkowska T., 2011. Wpływ dodatku nasion lnu do paszy zwierząt rzeźnych na zawartość cholesterolu w mięsie. *Postępy Nauk. i Technol. Przem. Rolno-Spożywcze*, 66, 44–52.
- Borowiec F., Zajac T., Kowalski Z.M., Miek P., Marciński M., 2001. Comparison of nutritive value of new commercial linseed oily cultivars for ruminants. *J. Anim. Feed Sci.*, 10, 301–308.
- Bramm A., Dambroth M., 1992. Influence of genotype, crop density and nitrogen fertilization on the yield capacity of linseed. *Landbauforschung-Voelkenrode*, 42, 193–198.
- Bravi R., Sommovigo A., 1997. Seed production and certification of flax linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Sementi-Elette*, 43, 5–8.
- Breja W., Brzóska F., Barowicz T., 1998. Skład kwasów tłuszczowych w mięśniu najdłuższym buhajków żywionych dawkami z udziałem nasion lnu. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crop.*, 19, 337–342.
- Cantwell M.M., 2000. Assessment of individual fatty acid intake. *Proc. Nutr. Soc.*, 59, 187.
- Chin S.F., Liu W., Storkson J.M., Ha Y.L. P.M.W., 1992. Dietary sources of conjugated dienoic isomers of linoleic acid, a new recognized class of anticarcinogens. *J. Food Comp. Anal.*, 5, 185–197.
- Choo W.S., Birch J., Dufour J.P., 2007. Physiochemical and quality characteristics of cold-pressed flaxseed oils. *J. Food Comp. Anal.*, 20, 202–211.
- Connor W. E., 1999. α -Linolenic acid in health and disease. *Am. J. Clin. Nutr.*, 69, 827–828.
- Cremaschi D., 1997. Flax and linseed (*Linum usitatissimum* L.). Introduction to the crop and main agronomic aspects of the seed productivity. *Sementi-Elette*, 43, 25–31.
- Czuba R., 1986. Nawozy mikroelementowe w produkcji roślinnej. PWR, Warszawa.
- Czuba R., Mazur T., 1988. Wpływ nawożenia na jakość plonów. PWN, Warszawa.
- Czuba R., Sztuder H., Świerczewska M., 1999. Efekty dolistnego dokarmiania roślin uprawnych cz. IV. Reakcja roślin na dolistne stosowanie magnezu łącznie z mikroelementami oraz magnezu, azotu i mikroelementów w zabiegu łączonym. *Rocz. Gleb.*, 50, 47–59.
- D'Antuono L.F., Rossini F., 1995. Experimental estimation of linseed (*Linum usitatissimum* L.) crop parameters. *Ind. Crops Prod.*, 3, 261–271.
- D'Antuono L.F., Rossini F., 2006. Yield potential and ecophysiological traits of the Altamurano linseed (*Linum usitatissimum* L.), a landrace of southern Italy. *Genet. Resour. Crop Evol.*, 53, 65–75.
- Da Silva W.A., Elias A.H.N., Aricetti J., A., Sakamoto M.I., Murakami A.E., Gomes S.T.M., Visentainer J.V., do Souza N.E. M.M., 2009. Quail egg yolk (*Coturnix coturnix* Japonia) enriched with-omega-3 fatty acid. *Food Sci. Technol.*, 42, 660–663.

- Dembiński F., 1975. Rośliny oleiste., PWRiL, Warszawa.
- Diepenbrock W., Leon J., Clasen K., 1995. Yielding ability and yield stability of linseed in Central Europe. *Agron. J.*, 87, 84–88.
- Diepenbrock W., Pörksen N., 1992. Effect of stand establishment and nitrogen fertilization on yield and yield physiology of linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Ind. Crops Prod.*, 1, 165–173.
- Dobrzański H., Zawadzki S., 1995. Gleboznawstwo, PWRiL, Warszawa.
- Dribnenki J.C.P., Green A.G., 1995. LinolarM “947” low linolenic acid flax. *Can. J. Plant Sci.*, 201–202.
- Easson D.L., Molloy R.M., 2000. A study of the plant, fibre and seed development in flax and linseed (*Linum usitatissimum* L.) grown at a range of seed rates. *J. Agric. Sci.*, 135, 361–369.
- Engler M.M., Engler M.B., 2006. Omega-3 fatty acids: role in cardiovascular health and disease. *Title. J. Cardiovasc. Nurs.*, 21, 17–24.
- FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/30.10.2018/>.
- Flénet F., Guérif M., Boiffin J., Dorvillez D., Champolivier L., 2006. The critical N dilution curve for linseed (*Linum usitatissimum* L.) is different from other C3 species. *Eur. J. Agron.*, 24, 367–373.
- Froment M.A., Smith J.M. T.D., 1998. Fatty acids profiles in the seed oil of linseed and fibre flax cultivars (*Linum usitatissimum* L.) grown in England and Scotland. *Tests of Agrochemicals and Cultivars. Ann. Appl. Biol.*, 132, 60–61.
- Gambuś H., 2005. Nasiona lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) jako źródło składników odżywczych w chlebie bezglutenowym. *Żywn. Nauk. Technol. Jakość*, 4, 61–74.
- Gambuś H., 2005. Nasiona lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) jako źródło składników odżywczych w chlebie bezglutenowym. *Żywn. Nauk. Technol. Jakość*, 4, 61–74.
- Gambuś H., Borowiec F., Zając T., 2003. Chemical composition of linseed with different colour of bran layer. *Polish J. Food Nutr. Sci.*, 12/53, 67–70.
- Gambuś H., Mikulec A., Gambuś F., Pisulewski P., 2004. Perspectives of linseed utilisation in baking. *Polish J. Food Nutr. Sci.*, 13/54, 21–27.
- Gambuś H., Mikulec A., Pisulewski P., Borowiec F., Zając T., Kopeć A., 2001. Hipocholesterolemiczne właściwości chleba z nasionami lnu oleistego. *Żywn. Nauk. Technol. Jakość*, 3, 54–65.
- Ganorkar P.M., Jain R.K., 2013. Flaxseed – A nutritional punch. *Int. Food Res. J.*, 20, 519–525.
- Ganorkar P.M., Jain R.K., 2013. Flaxseed – A nutritional punch. *Inter*, 20, 519–525.
- Gertig H., Przysławski J., 1994. Rola tłuszczów w żywieniu człowieka. *Żyw. Człow. Metab.*, 21, 375–388.
- Givens D.I., Cottrill B.R., Davies M., Lee P.A., Mansbridge R.J., Moss A.R., 2000. Sources of n-3 polyunsaturated fatty acids additional to fish oil for livestock diets – a review. *Nutr. Abstr. Rev.*, 70, 1–19.
- Gomez-Alonso S., Fregapane G., Salvador M.D., Gordon M.H., 2003. Changes in phenolic composition and antioxidant activity of virgin olive oil during frying. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 667–672.
- 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.
- Green A.G., Marshall D.R., 1984. Isolation of induced mutants in linseed (*Linum usitatissimum*) having reduced linolenic acid content. *Euphytica*, 33, 321–328.
- Gumiński R., 1951. Meteorologia i klimatologia dla rolników., PWRiL, Warszawa.
- GUS <http://stat.gov.pl/12.02.2019/>.

- Heidarabadi M.D., Ghanati F., Fujiwara T., 2011. Interaction between boron and aluminum and their effects on phenolic metabolism of *Linum usitatissimum* L. roots. *Plant Physiol. Biochem.*, 49, 1377–1383.
- Heller K., Adamczewski K., 2010. Wpływ wybranych warunków pogodowych na stan i stopień zachwaszczenia łąn lnu włóknistego. *Fragm. Agron.*, 27, 63–69.
- Heller K., Andruszewska A., Wielgusz K., 2010. The cultivation of linseed by ecological methods. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 55, 112–116.
- Heller K., Praczyk M., 2007. Ocena rozwoju osobniczego (ontogenezy) chwastów w łąnie lnu włóknistego. *Ann. Univ. Mariae Curie -Skłodowska Lublin - Pol.*, LXII, 70–81.
- Hocking P.J., 1995. Effects of nitrogen supply on the growth, yields components and distribution of nitrogen in Linola. *J. Plant Nutr.*, 18, 257–275.
- Izsaki Z., 1998. Nitrogen requirement of linseed with special regard to yield quantity and quality. *Bibl. Fragm. Agron.*, 3, 171–175.
- Jelińska M., 2005. Kwasy tłuszczowe – czynniki modyfikujące procesy nowotworowe. *Biul. Wydz. Farm. AMW*, 1, 1–14.
- Jelińska M.S., Tokarz A., Olędzka R., Czorniuk-Śliwa A., 2003. Effects of dietary linseed, evening primrose or fish oils on fatty acid and prostaglandin E2 contents in the rat livers and 7,12-dimethylbenz[a]anthracene-induced tumours. *Biochim. Biophys. Acta - Mol. Basis Dis.*, 1637, 193–199.
- Jhala A.J., Hall L.M., 2010. Flax (*Linum usitatissimum* L.): Current Uses and Future Applications. *Aust. J. Basic Appl. Sci.*, 4, 4304–4312.
- Jimenez-Colmenero F., Carball J., Cofrades S., 2001. Healthier meat and meat products: their role as functional foods, 59, 5–13. *Meat Sci.*, 59, 5–13.
- Kaczorowska Z., 1977. *Pogoda i klimat.*, WSiP, Warszawa.
- Kadar I., Lukach D., Laszlo S., 2004. Effects of nutrient supplies on the yield, quality and element uptake of flaxseed oil. *Agrokem. Talajtan.*, 53, 55–74.
- Kasote D.M., 2013. Flaxseed phenolics as natural antioxidants. *Int. Food Res. J.*, 20, 27–34.
- Klimek-Kopyra A., Zajac T., Micek P., Borowiec F., 2013. Effect of mineral fertilization and sowing rate on chemical composition of two linseed cultivars. *J. Agric. Sci.*, 5, 224–229.
- Klimont K., Bulińska-Radomska Z., Górka J., Woś H., 2014. Ocena przydatności wybranych gatunków jarych roślin oleistych do uprawy na rekultywowanym gruncie wapna poflotacyjnego. *Biul. Instytutu Hod. i Aklim. Roślin*, 153–164.
- Kolanowski W., 1998. Czy deficyt kwasów tłuszczowych omega-3 w diecie wpływa na zachowanie? *Żywność. Żywnienie a Zdr.*, 1, 56–59.
- Kolanowski W., Świdorski F., 1997. Wielonienasycone kwasy tłuszczowe z grupy n-3 (n-3 PUFA). Korzystne działanie zdrowotne, zalecenia spożycia, wzbogacanie żywności. *Żywnienie i Metab.*, XXIV, 2.
- Kozłowska- Strawska J., Kaczor A., 2003. Zawartość siarki całkowitej i siarczanowej w roślinach nawożonych różnymi formami azotu i potasu. *Nawozy i Nawożenie*, 4, 216.
- Kris-Etherton P.M., 1999. AHA science advisory: monounsaturated fatty acids and risk of cardiovascular disease. *J. Nutr.*, 129, 2284–2284.
- Kritchevsky D., 2000. Antimutagenic and some other effects of conjugated linoleic acid. *Brit. J. Nutr.*, 83, 459.
- Lawson R.E., Moss A.R. G.D.I., 2001. The role of dairy products in supplying conjugated linoleic acid to man's diet: a review. *Nutr. Res. Rev.*, 14, 153–172.
- Lemcke-Noröjärvi M., Kamal-Eldin A., Appelqvist L.A., Dimberg L.H., Öhrvall M., Vessby B., 2001. Corn and sesame oils increase serum γ -tocopherol concentrations in healthy Swedish women. *J. Nutr.*, 131, 1195–1201.

- Logan A. C., 2004. Omega-3 fatty acids and major depression: a primer for the mental health professional. *Lipids Heal. Dis.*, 9(3), 25.
- Lorenc-Kukuła K., Amarowicz R., Oszmiański J., Doermann P., Starzycki M., Skała J., Żuk M., Szopa J., Kulma A., 2005. Pleiotropic effect of phenolic compounds content increases in transgenic flax plant. *J. Agr. Food Chem.*, 53, 3685–3692.
- Łukaszewicz M., Szopa J., Krasowska A., 2004. Susceptibility of lipids from different flax cultivars to peroxidation and its lowering by added antioxidants. *Food Chem.*, 88, 225–231.
- Mantzioris E., Cleland L.G., Gibson R.A., Neumann M.A., Demasi M., James M.J., 2000. Bichemical effects of a diet containing foods enriched with n-3 fatty acids. *Am. J. Clin. Nutr.*, 72, 42–48.
- Manukumar H.M., Prathima V.R., Lokesh S., Goutham G., Suresha S., 2014. Impact of partial defatting on nutritional, mineral, functional properties and effect of solvents to evaluate in-vitro antioxidant, anti-diabetic potentiality from flaxseed (*Linum usitatissimum*). *World J. Pharm. Pharm. Sci.*, 3, 1406–1427.
- Marciniak-Łukasiak K., 2011. Rola i znaczenie kwasów tłuszczowych omega-3. *Żywn. Nauk. Technol. Jakosc/Food. Sci. Technol. Qual. Nauk. Technol. Jakosc/Food. Sci. Technol. Qual.*, 6(79), 24–35.
- Materac E., Marczyński Z. B.K.H., 2013. Rola kwasów tłuszczowych omega-3 i omega-6 w organizmie człowieka. *Bromat. Chem. Toksykol., XLCVI (2)*, 225–233.
- Matras J.A.N., Klebaniuk R., Kowalczyk-Vasilev E., Kowski M., 2013. Effect of the variety of linseed and its form (rolled or extruded) in dairy cow diets on nutrient digestibility. *Ann. Univ. Mariae Curie -Skłodowska Lublin - Pol.*, XXXI, 30–38.
- Michalec-Dobija J., Pietras M., Barowicz T., 1999. Wpływ dodatku pełnotłustych nasion lnu na skład kwasów tłuszczowych oraz walory smakowe mięsa jagnięcego. *Zesz. Nauk. PTZ Prz. Hod.*, 43, 389–391.
- Mińkowski K., Kalinowski A., Krupska A., 2014. Effect of seed preparation method and seed mass chocking in expeller press on pressing parameters and quality characteristics of flax oil. *Food. Science. Technology. Quality*, 4(95), 75–87.
- Mohamed D.A., El-Hariri D.M., Al-okbi S.Y., 2005. Impact of feeding bread enriched with flaxseed on plasma profile of hyperlipidemic rats. *Polish J. Food Nutr. Sci.*, 14/55, 431–436.
- Molga M., 1980. *Meteorologia rolnicza*. PWRiL, Warszawa, 26–56.
- Molga M., 1986. *Podstawy klimatologii rolniczej*. PWRiL, Warszawa, 34–543.
- Murawa D., Adomas B., Rotkiewicz D., 1997. Olej i białko nasion rzepaku jarego ze zbioru 1996 w zależności od stosowanych herbicydów. *Rośl. Oleiste - Oilseed Crop.*, XVIII(2), 408–413.
- Nettleton J. A., 1995. *Omega-3 fatty acids and health*. Chapman & Hall, New York.
- Noguchi M., Rose D.P., Earashi M.M.I., 1995. The role of fatty acids and eicosanoid synthesis inhibitors in breast carcinoma. *Rev. Oncol.*, 52, 265–271.
- Nowak Z.J., 2009. Wielonienasycone kwasy tłuszczowe omega-3 w siatkówce i praktyce medycznej – blaski i cienie. *Mag. Lek. Okulisty*, 3(4), 208–220.
- Olejnik D., Gogolewski M., Nogala-Kałużka M., 1997. Isolation and some properties of plasto-chromanol-8. *Nahrung/Food*, 2, 101–104.
- Ostasz L., Kondratowicz-Pietruszka E., 2011. Charakterystyka kwasów tłuszczowych omega-3 oraz ocena poziomu wiedzy o ich działaniu zdrowotnym. *Zesz. Nauk. Towarozn. Uniw. Ekon. w Krakowie*, 874, 139–161.
- Ostasz L., Kondratowicz-Pietruszka E., 2011. Charakterystyka kwasów tłuszczowych omega-3 oraz ocena poziomu wiedzy o ich działaniu zdrowotnym. *Zesz. Nauk. Towarozn. Uniw. Ekon. w Krakowie*, 874, 139–161.

- Pavlov A., Paynel F., Rihouey C., Porokhvinova E., Brutch N., Morvan C., 2014. Variability of seed traits and properties of soluble mucilages in lines of the flax genetic collection of Vavilov Institute. *Plant Physiol. Biochem.*, 80, 348–61.
- Pieńkowska H., Smyk B., Zadernowski R., 1999. Spektralne właściwości bioolejów otrzymanych z nasion wybranych roślin alternatywnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 468, 405–413. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Pieńkowska H., Smyk B., Zadernowski R., 1999. Spektralne właściwości bioolejów otrzymanych z nasion wybranych roślin alternatywnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 468, 405–413. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Piotrowska A., Furowicz B., 1998. Postęp w hodowli jasnonasiennego lnu oleistego. Progress in breeding of yellowseed linseed. *Rośl. Oleiste*, XIX, 641–643.
- Piotrowska A., Furowicz B., 1998. Postęp w hodowli jasnonasiennego lnu oleistego. Progress in breeding of yellowseed linseed. *Rośl. Oleiste*, XIX, 641–643.
- Poiša L., Adamovičs A., 2012. The assessment of linseed variety “Scorpion” for suitability for bio-fuel production. *Renew. Energy Energy Effic.*, 73–78.
- Praczyk M., Bocianowski J., Silska G., 2010. Analiza zmienności wybranych cech ilościowych w kolekcji lnu włóknistego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 555, 339–345.
- Praczyk M., Silska G., 2013. Analiza zmienności i sposobu dziedziczenia komponentów struktury plonu lnu włóknistego (*Linum usitatissimum* L.). *Biul. Instytutu Hod. i Aklim. Roślin*, 173–182.
- Pudełko K., Mańkowski J., Kołodziej J., 2014. Cultivation of fiber and flaxseed oil (*Linum usitatissimum* L.) In no-tillage and conventional systems. Part II. Influence of no-tillage and use of herbicides on yield and weed infestation of flaxseed oil and the physical and biological properties of the soil. *J. Nat. Fibers*, 12, 72–83. doi:10.1080/15440478.2014.897669
- Radomski C., 1987. *Agrometeorologia.*, PWN, Warszawa.
- Ramsden C.E., Hibbeln J.R., Majchrzak S.F., Davis J.M., 2010. n-6 fatty acid-specific and mixed polyunsaturate dietary interventions have different effects on CHD risk: a meta-analysis of randomised controlled trials. *Br. J. Nutr.*, 104, 1586–1600. doi:10.1017/S0007114510004010
- Roche H.M., 1999. Unsaturated fatty acids. *Proc. Nutr. Soc.*, 58, 397.
- Rose D.P., Connolly J.M., 1991. Effects of fatty acids and eicosanoid synthesis inhibitors on the growth of two human prostate cancer cell lines. *Prostate*, 18, 243–54.
- Rosochacki S.J., Baranowski A., Klewicz J., Juszczuk-Kubiak E., Połoszynowicz J., Wicińska K., 2006. A note on the protein metabolism in lambs fed the diet supplemented with bioplex and linseed or linseed oil. *Animmal Sci. Rap.*, 24, 27–37.
- Rowland G.G., 1991. An EMS-induced low-linolenic-acid mutant in McGregor flax (*Linum usitatissimum* L.). *Can. J. Plant Sci.*, 71, 393–396.
- Rowland G.G., Bhatly R.S., 1990. Ethyl Methanesulphonate Induced Fatty Acid Mutations in Flax 67, 213–214.
- Saeidi G., Rowland G.G., 1999. Seed colour and linolenic acid effects on agronomic traits in flax. *Can. J. Plant Sci.*, 79, 521–526. doi:10.1016/j.gene.2012.10.040
- Schmuck A., 1959. *Zarys klimatologii Polski.* Warszawa.
- Schmuck A., 1960. Rejonizacja pluwiometryczna Dolnego Śląska. *Zesz. Nauk. WSR we Wrocławiu*, 5, 3–13.
- Siger A., Nogala-Kałużka M., Lampart-Szczapa E., Hoffman A., 2005. Antioxidant activity of phenolic compounds of selected cold-pressed and refined plant oils. *Oilseed Crop.*, XXVI, 549–560.
- Silska G., Parczyk M., 2013. Deskryptory charakterystyki i waloryzacji Międzynarodowej Bazy Danych Lnu. *Biul. Instytutu Hod. i Aklim. Roślin*, 268, 161–171.

- Siminska E., Borys B., Bernacka H., 2011. Wpływ żywienia jagniąt makuchem słonecznikowym i nasionami lnu bez lub z dodatkiem witaminy E na profil kwasów tłuszczowych mięsa, wątroby i serca. *Żywn. Nauk. Technol. Jakość*, 1, 39–51.
- Simopoulos A.P., 1994. Fatty acids [in:] Goldberg I. (Ed.), *Goldberg Functional Foods: Designer Foods, Pharmafoods, Nutraceuticals*. New York.
- Simopoulos A.P., 1999. Essential fatty acids in health and chronic disease. *Am. J. Clin. Nutr.*, 70, 560S–569S.
- Simopoulos A.P., 2001. Evolutionary aspects of diet, essential fatty acids and cardiovascular disease. *Suppl.*, 3, 8 – 21. *Eur. Hear. J.*, 3, 8–21.
- Singh K.K., Mridula D., Barnwal P., Rehal J., 2012. Physical and chemical properties of flaxseed. *Int. Agrophysics*, 26, 423–426. doi:10.2478/v10247-012-0060-4
- Skwierawska M., 2011. Effect of different sulfur doses and forms on the content of sulfur and available potassium in soil. *J. Elem.*, 261–274. doi:DOI: 10. 1560 /jelem.2011.16.2.10
- Skwierawska M., Zawartka L., Skwierawski A., Nogalska A., 2012. The effect of different sulfur doses and forms on changes of soil heavy metals. *Plant Soil Environ.*, 58, 135–140.
- Spasibionek S., 2002. Znaczenie mutagenyzy w tworzeniu nowych genotypów roślin oleistych o zmienionym składzie kwasów tłuszczowych. *Rośl. Oleiste*, XXIII, 533–545.
- Stanley J. H.K., 2001. The wonder nutrient. *Chem. Ind.*, 19th Nov, 729–731.
- Strączyński J., Andruszczak E., 1996. Wpływ stopni zanieczyszczenia gleb miedzią i ołowiem na zawartość pierwiastków śladowych w wybranych gatunkach roślin uprawnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 434, 901–907.
- Strączyński S., Strączyńska S., 2007. Zawartość ołowiu w wybranych gatunkach roślin uprawianych w rejonie oddziaływania hutnictwa miedzi. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 520, 257–263.
- Stražil Z., Vorlíček Z., 2004. Effect of soil and weather conditions and some agricultural practices on yield and yield components in linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Sci. Agric. Bohem.*, 35, 52–56.
- Szkolnik M., 1980. *Mikroelementy w życiu roślin*. PWRiL, Warszawa.
- Szukalski H., 1979. *Mikroelementy w produkcji roślinnej*. PWRiL, Warszawa.
- Tsai W.S., Nagawa H., Kaizaki S., Tsuruo T. M.T., 1998. Inhibitory effects of n-3 polyunsaturated fatty acids on sigmoid colon cancer transformants. *J. Gastroenterol.*, 33, 206–212.
- Tsyganov A., Kukresh S., 2002. Efficacy of microelement applied to fibre flax. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 484, 719–724.
- Tsyganov A., Vildflush I., Kukresh S., Khodyankova S., 2000. Effects of macro- and microfertilizers soil reaction and fertility on yields and quality of long-fibre flax in rotation. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 456, 101–108.
- Tuberoso I.G., Kowalczyk A., Sarritzu E., Cabras P., 2007. Determination of antioxidant compounds and antioxidant activity in commercial oilseeds for food use. *Food Chem.*, 103, 1494–1501.
- Turley E., Strain J.J., 1993. Fish oil, eicosanoid biosynthesis and cardiovascular disease, an overview. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 2, 145.
- Turner J.A., 1991. Linseed plant populations relative to cultivar and fertility. *Asp. Appl. Biol. Prod. Prot. Linsed*, 28, 41–48.
- Turner T.D., Aalhus J.L., Mapiye C., Rolland D.C., Larsen I.L., Basarab J.A., Baron V.S., McAllister T.A., Block H.C., Uttaro B., Dugan M.E.R., 2015. Effects of diets supplemented with sunflower or flax seeds on quality and fatty acid profile of hamburgers made with perirenal or subcutaneous fat. *Meat Sci.*, 99, 123–131. doi:10.1016/j.meatsci.2014.08.006
- Ulbricht, T.L.V., Southgate, D.A.T., 1991. Coronary heart disease: Seven dietary factors. *Lancet*, 338, 985–992.

- Villeneuve S., Des Marchais L.P., Gauvreau V., Mercier S., Do C.B., Arcand Y., 2013. Effect of flaxseed processing on engineering properties and fatty acids profiles of pasta. *Food Bioprod. Process.*, 91, 183–191. doi:10.1016/j.fbp.2012.09.002
- Voss A., Reinhart M., Sankarappa S. S.H., 1991. The metabolism of 7,10,13,16,19- docosapentaenoic acid to 4,7,10,16,19-docosahexaenoic acid in rat liver is independent of 4- desaturase. *J Biol Chem.*, 266, 19 995-20 000.
- Walkowiak M., 2007. Zastosowanie hodowli rekombinacyjnej, mutacyjnej oraz androgenezy in vitro w badaniach nad lnem oleistym (*Linum usitatissimum* L.). *Rośl. Oleiste*, XXVIII, 151–157.
- Wei C., Xi W., Nie X., Liu W., Wang Q., Yang B., Cao D., 2013. Aroma characterization of flaxseed oils using headspace solid-phase microextraction and gas chromatography-olfactometry. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 115, 1032–1042. doi:10.1002/ejlt.201200397
- Wielebski F., 2009. Reakcja różnych typów hodowlanych odmian rzepaku ozimego na poziom stosowanej agrotechniki I. Charakterystyka dojrzewających roślin rzepaku oraz jego plonowanie i układ elementów plonotwórczych. Response of different types of winter oilseed rape varietie. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crop.*, XXX, 75–90.
- Wielebski F., 2011. Wpływ nawożenia siarką w warunkach stosowania zróżnicowanych dawek azotu na skład chemiczny nasion różnych typów odmian rzepaku ozimego. The effect of sulphur fertilization on chemical composition of seeds of different breeding forms of winter oilseed rap. *Rośl. Oleiste – Oilseed Crop.*, XXXII, 78–95.
- Wielebski F., Wójtowicz M., Spasibionek 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. Agronom.*, 34, 103–114.
- Wielgusz K., Heller K., 2011. The influence of flax seed organic dressing on fungus flora diversity in the soil. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 56, 198–202.
- Wiślicki B., Krzyżanowski R., Pągowski Z., 1995. Oleje roślinne – surowcem dla proekologicznych paliw silnikowych i olejów smarowych. *Rośl. Oleiste*, 16, 323–331.
- Witkiewicz R., Zajac T., Kryńska B., Zajac T., Klima K., 2005. Zmienność i współzależność komponentów struktury plonu nasion lnu oleistego. *Acta Agr. Silv., ser. Agrar.*, XLV, 11–17.
- Wondolowska-Grabowska A., 2011a. Modyfikacja parametrów morfologicznych i strukturotwórczych roślin lnu oleistego nawożonych makro- i mikroelementami. Modification of morphological and structure forming parameters of oil flax plants of fertilization with macro- and microelements. *Zesz. Nauk. U.P. we Wrocławiu, ser. Rol.*, 582, 143–173.
- Wondolowska-Grabowska A., 2011b. Wysokość i jakość plonu lnu oleistego nawożonego makro- i mikroelementami. Yield and quality of oil flax fertilization of macro- and microelements. *Zesz. Nauk. U.P. we Wrocławiu, ser. Rol.*, 582, 159–173.
- Wondolowska-Grabowska A., Skrzyńska E., Kowalska-Górska M., Senze M., Butorac J., 2015. E.C.O., n.d. Comparative analysis of registered flaxseed cultivars in terms of mineral and nutritional composition and harvest efficiency [in:] VI International Scientific Agriculture Symposium “Agrosym 2015.” Jahorina, 15–18 October 2015, Bosnia and Herzegovina.
- Wójtowicz M., 2013. Rola czynników środowiskowych i agrotechnicznych w kształtowaniu wielkości i jakości plonu rzepaku ozimego (*Brassica napus* L.). *Monogr. Rozpr. Nauk.*, 45, Wyd. IHAR-PIB, 111.
- Wright T., McBride B., Holub B., 1998. Docosahexaenoic acid-enriched milk [in:] Simopoulos A.P. (ed.), *The Return of n3 Fatty Acids into the Food Supply. I. Land-Based Animal Food Products and their Health Effects.* World Rev. Nutr. Diet. Karger, Basel, Switzerland, 83, 160–165.

- Wróbel-Kwiatkowska M., Lorenc-Kukuła K., Starzycki M., Oszmiański J., Kepczyńska E., Szopa J., 2004. Expression of β -1,3-glucanase in flax causes increased resistance to fungi. *Physiol. Mol. Plant Pathol.*, 65, 245–256. doi:10.1016/j.pmpp.2005.02.008
- Yalcin H., Öztürk I., Tulukcu E., Sagdic O., 2011. Influence of the harvesting year and fertilizer on the fatty acid composition and some physicochemical properties of linseed (*Linum usitatissimum* L.). *J. für Verbraucherschutz und Leb.*, 6, 197–202.
- Zajac T., 2004a. Współczesne uwarunkowania uprawy i wykorzystania lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.). *Post. Nauk Rol.*, 2, 78–91.
- Zajac T., 2004b. Analiza rozgałęziania się roślin lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) z uwzględnieniem wkładu tego procesu w zmienność i współzależność cech. *Acta Agrobot.*, 57, 187–205.
- Zajac T., 2005. Powierzchnia asymilacyjna i plonowanie odmian lnu oleistego w zależności od gęstości siewu i nawożenia mineralnego. *Acta Agr. Silv., ser. Agrar.*, XLV, 65–76.
- Zajac T., Borowiec F., Micek P., 2001. Porównanie produktywności, składu chemicznego i profilu kwasów tłuszczowych żółtych i brązowych nasion lnu oleistego. *Rośl. Oleiste*, XXII, 441–454.
- Zajac T., Grzesiak S., Kulig B., Polacek M., 2005. The estimation of productivity and yield of linseed (*Linum usitatissimum* L.) using the growth analysis. *Acta Physiol. Plant.*, 27(4A), 549–558.
- Zajac T., Klima K., Borowiec F., Witkowicz R., Barteczko J., 2002. Plonowanie odmian lnu oleistego w różnych warunkach siedliska. *Rośl. Oleiste*, XXIII, 275–286.
- Zajac T., Kulig B., 2001. Oszacowanie wpływu wybranych czynników agrotechnicznych na plonowanie lnu oleistego w doświadczeniu 3 4-1. *Rośl. Oleiste*, XXII, 597–608.
- 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. *A. Sci. Agric.*, 9, 47–63.
- Żbikowska A., Rutkowska J., 2008. Skład kwasów tłuszczowych a jakość i przydatność technologiczna tłuszczów do pieczenia. *Żywn. Nauk. Technol. Jakość*, 4, 90–95.
- Ziemiński S. B.-T.J., 1991. *Tłuszcze pożywienia i lipidy ustrojowe*, PWN, Warszawa.
- Zubal P., 2001. The effects of sowing date, seeding rate and nutrition on yields of the oilseed flax cultivars (*Linum usitatissimum* L.). *Ved. Pr. Vysk. Ust. Rastl. Vyr.*, 30, 33–38.
- Zymon M., Strzetelski J., 2010. Sposoby [Haase i in. 2008] poprawy właściwości prozdrowotnych mięsa bydłęcego *Wiadomości Zootechniczne*, 4, 53–63.

Skład kwasów tłuszczowych oraz wartość i jakość plonu nasion jasno- i ciemnonasiennych odmian lnu oleistego (*Linum usitatissimum* L.) od wpływem nawożenia azotem, borem i siarką

Streszczenie

W latach 2009–2011 przeprowadzono 3-letnie doświadczenia polowe, w układzie „split-plot” na dwa czynniki zmienne, na polach doświadczalnych Katedry Szczegółowej Uprawy Roślin w Pawłowicach. Pierwszym badanym czynnikiem były dwie odmiany lnu oleistego: Oliwin – jasnonasienna i Opal – ciemnonasienna. Drugim badanym czynnikiem było nawożenie w następujących kombinacjach: $N_0+S_1+B_1$, $N_0+S_2+B_2$, $N_0+S_3+B_3$, $N_1+S_1+B_1$, $N_1+S_2+B_2$, $N_1+S_3+B_3$, $N_2+S_1+B_1$, $N_2+S_2+B_2$, $N_2+S_3+B_3$, $N_3+S_1+B_1$, $N_3+S_2+B_2$, $N_3+S_3+B_3$, w dawkach: $N_1 - 20$, $N_2 - 40$, $N_3 - 60$ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N, $S_1 - 30$, $S_2 - 50$, $S_3 - 70$ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ S oraz $B_1 - 5$, $B_2 - 10$ i $B_3 - 15$ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ B.

W badaniach polowych określono zagęszczenie roślin na 1 m^2 , ważniejsze cechy morfologiczne roślin oraz parametry wartości siewnej energii i zdolność kiełkowania, a także plon słomy, nasion i plew.

W nasionach lnu oleistego oznaczono zawartość podstawowych składników organicznych – białko ogółem, tłuszcz surowy, włókno i popiół surowy oraz zawartość makroelementów – azot ogólny, fosfor, potas, magnez i wapń.

Określono także wartość energetyczną nasion. Obliczono wydajność białka, tłuszczu i wartość energetyczną nasion z jednostki powierzchni.

Profil kwasów tłuszczowych oznaczono metodą chromatografii gazowej z detekcją płomieniowo-jonizacyjną FID, stosując kolumnę ZB-WAX (30 m \times 0,25 mm i.d., 0,25 μm grubość filmu).

Przebieg wzrostu i rozwoju lnu oleistego zależał od zmiennych warunków pogodowych w latach. W warunkach Niżu Dolnośląskiego, na kompleksie pszennym dobrym w stanowisku po pszenicy ozimej, najwyższy plon ziarna lnu oleistego stwierdzono w ciepłym i dość wilgotnym 2009 r. z najwyższą sumą opadów (431 mm) i sumą średnich dobowych temperatur (2483°C) w okresie wegetacji roślin.

Zdolność uzyskiwania wyższego plonu biologicznego słomy odziarnionej i nieodziarnionej posiadała odmiana Opal o ciemnym zabarwieniu nasion.

Wyższe wartości elementów struktury plonu, wyższą liczbę rozgałęzień, liczbę torebek na roślinie i nasion w torebce osiągnęła odmiana Oliwin o jasnym zabarwieniu nasion. Ciemnonasienna odmiana Opal charakteryzowała się wyższą wydajnością białka i wartości energetycznej plonu nasion z jednostki powierzchni.

Największy wpływ na zawartość składników pokarmowych w nasionach lnu oleistego miał przebieg pogody w latach badań, a w mniejszym stopniu odmiana i kombinacje nawozowe.

Zawartość makroelementów w suchej masie nasion lnu oleistego, średnio z 3 lat badań, malała w następującej kolejności: N > K > P > Mg > Ca. Najwięcej stwierdzono azotu 41,7 g·kg⁻¹, potasu 5,32 g·kg⁻¹, fosforu 5,08 g·kg⁻¹, magnezu 3,58 g·kg⁻¹ i Ca 1,31 g·kg⁻¹.

W nizinym rejonie Dolnego Śląska za racjonalną kombinację nawozową można uznać dawkę 60 kgN·ha⁻¹ + 30 kgS·ha⁻¹ + 5 kg·ha⁻¹B pozwalającą na uzyskanie wysokiego plonu nasion i wysokiej wydajności tłuszczu, białka i wartości energetycznej z jednostki powierzchni.

Przeprowadzone badania nad warunkami uprawy lnu oleistego wykazały, że zawartość wszystkich wyszczególnionych kwasów tłuszczowych, z wyjątkiem C_{14:0}, modyfikowana była przebiegiem warunków pogodowych w latach badań. Lata ciepłe i dość wilgotne – 2009 i 2011 – wpłynęły korzystnie na proporcje C_{18:2} (n-6) : C_{18:3} (n-3).

Zastosowane kombinacje nawozowe modyfikowały zawartość tłuszczu w nasionach, ale nie wywarły istotnego wpływu na skład kwasów tłuszczowych w oleju. Zmiany garnituru kwasów są widoczne w interakcjach lata x odmiana i odmiana x nawożenie oraz pod działaniem czynnika odmianowego.

Żaden z badanych czynników nie determinował zawartości nasyconych kwasów tłuszczowych SFA (*saturated fatty acids*) i nie modyfikował stosunku kwasów nasyconych do nienasyconych w oleju.

Odmiana Oliwin o jasnych nasionach gromadziła więcej kwasu palmitooleinowego oraz niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (NNKT – PUFA), szczególnie kwasu linołenowego, natomiast w ciemnych nasionach odmiany Opal była wyższa zawartość kwasu stearynowego oraz kwasów jednonienasyconych (MUFA), szczególnie kwasu oleinowego.

Słowa kluczowe:

tyt. ang.

Summary

In the years 2009–2011, two-factorial field experiments according to ``Split-plot`` method were conducted on the experimental fields belonging to Department of Plant Cultivation in w Pawłowice. The first factor involved two cultivars of linseed: Oliwin – bright – colored seeds and Opal – dark – colored seeds. The second factor was fertilization according to the following combinations: $N_0+S_1+B_1$, $N_0+S_2+B_2$, $N_0+S_3+B_3$, $N_1+S_2+B_2$, $N_1+S_3+B_3$, $N_2+S_1+B_1$, $N_2+S_2+B_2$, $N_2+S_3+B_3$, $N_3+S_1+B_1$, $N_3+S_2+B_2$, $N_3+S_3+B_3$, in the doses: $N_1 - 20$, $N_2 - 40$, $N_3 - 60$ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N, $S_1 - 30$, $S_2 - 50$, $S_3 - 70$ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ S, $B_1 - 5$, $B_2 - 10$ and $B_3 - 15$ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ B.

Field studies determined the density of plants per 1 m^2 , the most important morphological characteristics of plants and the parameters of sowing value of energy and germination capacity, as well as straw, and yield of seeds, straw, and husky.

The content of basic organic components was determined in the seeds of linseed; total protein, crude fat, crude fiber and ash and macroelements content – total nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium and calcium.

Energetic value of seeds was also determined, as well as protein, fat and energetic value yield of seeds per area unit was calculated.

Fatty acids profile was determined due to the method of gas chromatography with flame ionization detector FID, using ZB-WAX column (30 m \times 0,25 mm i.d., 0,25 μm film thickness).

The course of linseed growth and development depended on changing weather conditions in the years of the experiment. In the conditions of Lower Silesian lowland, on good wheat soil complex, at good stand after winter wheat, the highest seed yield of linseed was recorded for warm and relatively wet year, with the highest summary precipitation (431 mm) and summary daily mean temperatures (2483°C) in the courses of plant growing period.

The cultivar Opal of dark – colored seeds characterized enabled obtaining higher biological yield of grinded and not grinded straw.

Higher values of yield elements structure obtained the bright – colored seed cultivar the dark – colored seed cultivar characterized higher yield of protein and energetic value from area unit.

Higher values of yield structure elements, higher number of branches, number of capsules on the plant and seeds in the capsules reached the Oliwin variety with a bright color of the seeds. Dark seeds variety Opal was characterized by higher protein yield and energy value of the seed yield per unit area.

The most considerable influence on nutrients content in linseed seeds belonged to the course of weather conditions in the years of research, while the type of cultivar, as well as fertilization combination had lesser effect.

The content of macroelements in dry matter of iol flax seeds, obtained as mean value for three years, decreased in the following order: $N > K > P > Mg > Ca$. The highest recorded content of nitrogen ranged $41,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, potassium $5,32 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, phosphorus $5,08 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, magnesium $3,58 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ and Ca $1,31 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$.

In the region of Lower Silesian lowland, although it was not possible to prove univocal relations between fertilization doses and the results obtained, reasonable fertilization combination seems to be the dose of $60 \text{ kgN}\cdot\text{ha}^{-1} + 30 \text{ kgS}\cdot\text{ha}^{-1} + 5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{B}$, which allowed to obtain high seed yield and high yield of fat, protein and energetic value per area unit.

The research involving the conditions of linseed cultivation proved that the content of all the mentioned fatty acids, except for $C_{14:0}$, was modified by the course of weather conditions in the years of the experiment. Warm and relatively wet summers – 2009 and 2011 – advantageously affected the proportions $C_{18:2} (n-6) : C_{18:3} (n-3)$.

Applied fertilization combinations did modify the content of FAT in seeds, but they did not significantly influence the composition of fatty acids in the oil. The changes in the types of fatty acids could be observed in interactions: years x cultivar and cultivar x fertilization, as well as under the influence of a cultivar factor.

None of the examined factors determined the content of SFA (*saturated fatty acids*), nor it modified the relation of saturated to unsaturated fatty acids in the oil.

The cultivar of bright – colored seeds did accumulate more palmitic acid and essential unsaturated fatty acids (NNKT – *PUFA*) in seeds especially, linolenic acid, while dark – colored seeds featured higher content of stearic acid and mono – saturated acids (MUFA), especially oleic acid.

Key words: