

Katedra Roślin Przemysłowych i Leczniczych, Uniwersytet Przyrodniczy,
ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin, e-mail: beata.krol@up.lublin.pl

BEATA KRÓL

Azot i siarka jako czynniki kształtujące plon nasion oraz zawartość i jakość tłuszczu nagietka lekarskiego – potencjalnego surowca olejarskiego

Nitrogen and sulphur as determinants of the seed yield, content, and quality
of fat in pot marigold – a potential oil source

Streszczenie. Celem badania było określenie wpływu nawożenia azotem oraz siarką na plon nasion, zawartość oleju i składu kwasów tłuszczowych w nasionach nagietka lekarskiego. Doświadczenie założono w układzie równoważnych bloków z dwoma czynnikami: czynnikiem I rzędu były dawki azotu: 0, 30, 60, 90, 120 kg N·ha⁻¹, czynnikiem II rzędu – dawki siarki: 0 i 30 kg S·ha⁻¹. Najlepsze efekty produkcyjne nawożenia azotem uzyskano przy dawkach 60–90 kg N·ha⁻¹. Siarka miała korzystny wpływ na plon nasion oraz zawartość tłuszczu (skuteczność siarki wzrastała wraz z dawkami azotu). Nawożenie azotem modyfikowało skład kwasów tłuszczowych, powodując wzrost zawartości kwasu linolowego i redukcję kwasu oleinowego. Siarka nie wpływała na jakość tłuszczu, natomiast cecha ta w znacznym stopniu zależała od warunków pogodowych w czasie wzrostu roślin i dojrzewania nasion.

Słowa kluczowe: *Calendula officinalis* L., efektywność rolnicza azotu, współdziałanie azotu i siarki, plon oleju, skład kwasów tłuszczowych, izomery kwasu linolenowego, kwas nagietkowy

WSTĘP

Nagietek lekarski (*Calendula officinalis* L.) jest od dawna stosowany w lecznictwie (kwiaty języczkowe lub całe kwiatostany) oraz ogrodnictwie jako roślina ozdobna [Muley i in. 2009]. W ostatnich latach wzrasta zainteresowanie tym gatunkiem jako potencjalną rośliną oleistą o specyficznych właściwościach oleju. Tłuszcz z nasion nagietka charakteryzuje się obecnością izomerów kwasu linolenowego (CLNA) reprezentowanych przez kwas α -nagietkowy (8t, 10t, 12c C_{18:3}) oraz β -nagietkowy (8t, 10t, 12t C_{18:3}) [Dulf i in. 2013]. Ten unikatowy skład oleju sprawia, że może on znaleźć zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, począwszy od przemysłu chemicznego – produkcja polimerów oraz wysokiej jakości farb [Biermann i in. 2010] – po przemysł spożywczy, jako bioaktywny składnik żywności funkcjonalnej [Yuan i in. 2014], oraz farmaceutyczny, gdzie może być wykorzystane jego działanie przeciwnowotworowe i obniżające ciśnienie tętnicze krwi [Li i in. 2013, Kompanowska-Jeziarska i in. 2014].

Najbardziej plonotwórczym składnikiem pokarmowym w kształtowaniu plonu roślin jest azot. Dobry efekt plonotwórczy azotu zapewnia dostępność innych składników pokarmowych, w tym siarki, która jest niezbędna do prawidłowego przebiegu wielu procesów fizjologicznych zachodzących w roślinach (synteza białek, węglowodanów, tłuszczów, chlorofilu, udział w fotosyntezie) [Podleśna 2005]. Działanie plonotwórcze siarki wynika głównie z udziału tego pierwiastka w metabolicznych przemianach azotu poprzez zwiększenie szybkości procesów transformacji pobranego przez roślinę azotu w białko [Jamal i in. 2010]. Prawidłowe odżywienie roślin siarką decyduje nie tylko o wysokości uzyskanego plonu, lecz także o jego jakości [Skwierawska i in. 2016].

W ostatnich latach, wskutek znacznego obniżenia emisji związków siarki do atmosfery ze źródeł przemysłowych oraz ograniczenia stosowania nawozów mineralnych i naturalnych zawierających ten składnik, w wielu krajach (w tym w Polsce) pojawił się problem niedostatecznego zaopatrzenia roślin w siarkę. Obecnie deficyt tego pierwiastka stał się poważnym problemem we współczesnym rolnictwie i czynnikiem znacznie ograniczającym produkcję roślinną. W efekcie wyraźnie zwiększyła się rola siarki jako składnika nawozowego, którego nie można pominąć w nawożeniu roślin uprawnych [Klikocka 2011].

W dostępnej literaturze światowej niewiele jest publikacji dotyczących nawożenia nagietka lekarskiego wykorzystywanego jako surowiec olejarski. Stąd też podjęto badania, których celem było określenie wpływu azotu i siarki na plon nasion oraz zawartość oleju i składu kwasów tłuszczowych nagietka.

MATERIAŁ I METODY

Badania polowe przeprowadzono w latach 2012–2014 w gospodarstwie doświadczalnym należącym do Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, na glebie wytworzonej z pyłów pochodzenia lessowego, charakteryzującej się obojętnym odczynem (pH 6,7–7,2 w 1 M KCl), dużą zawartością fosforu (158–177 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ p.s.m. gleby), średnią zawartością potasu (141–154 mg $K_2O \cdot kg^{-1}$ p.s.m. gleby) i magnezu (39–42 mg $Mg \cdot kg^{-1}$ p.s.m. gleby) oraz małą zawartością siarki (8–10 mg $S \cdot SO_4 \cdot kg^{-1}$ p.s.m. gleby).

Eksperyment założono w układzie równoważnych bloków z dwoma czynnikami: czynnikiem I rzędu były dawki azotu: 0, 30, 60, 90, 120 $kg N \cdot ha^{-1}$, czynnikiem II rzędu – dawki siarki: 0 i 30 $kg S \cdot ha^{-1}$. Siarka (w formie nawozu WIGOR S – 90% S) została wniesiona wiosną podczas uprawy gleby, azot zaś (w formie 34% saletry amonowej) w dwóch dawkach: przed siewem nasion oraz po przerywce roślin. We wszystkich obiektach zastosowano jednakowe nawożenie fosforowe (superfosfat pojedynczy) i potasowe (sól potasowa) w ilości 31 $kg P \cdot ha^{-1}$ i 70 $kg K \cdot ha^{-1}$, które wniesiono jesienią.

Do badań użyto nasion nagietka lekarskiego odmiany ‘Orange King’, charakteryzującej się dobrą wydajnością nasion oraz dużą zawartością i jakością oleju [Król i Paszko 2017]. Nasiona wysiewano bezpośrednio na polu w II dekadzie kwietnia, stosując rozstaw rzędów 25 cm i normę wysiewu 8 $kg \cdot ha^{-1}$. Po wschodach wykonano przerywkę, pozostawiając do dalszego wzrostu około 60 roślin na 1 m^2 . Zbiory przeprowadzono, gdy 60–70% nasion było dojrzałych (w pierwszej połowie sierpnia). Ze względu na nierównomierne dojrzewanie nasion na 5–9 dni przed zbiorem rośliny

desykowano zgodnie z zaleceniami Fromenta i in. [2003]. Po omlotach nasiona oczyszczono, dosuszono do 10% wilgotności i określono plon.

Nasiona z każdego obiektu były mielone oddzielnie w młynku ze stali nierdzewnej, po czym tłuszcz z 5-gramowej próbki był ekstrahowany w aparacie Soxhleta przez 8 godzin z użyciem n-heksanu. Estry metylowe kwasów tłuszczowych otrzymywano metodą z $\text{BF}_3\text{-CH}_3\text{OH}$ [AOCS 1997].

Analizy chromatograficzne zostały przeprowadzone z użyciem aparatu Varian GC 3800 (Walnut 123 Creek, CA USA) wyposażonego w autosampler i detektor płomieniowo-jonizacyjny (FID). Rozdział estrów metylowych kwasów tłuszczowych odbył się w kolumnie kapilarnej UltiMetal™ UCP-WAX 52CB (\varnothing 25 μm , długość 60 m) z fazą stacjonarną w postaci glikolu polietylenowego. Gazem nośnym był hel o przepływie 1,4 $\text{cm}^3\cdot\text{min}^{-1}$. Początkowa temperatura kolumny wynosiła 120°C, a maksymalna temperatura 210°C. Czas trwania analizy wynosił 127 min. Temperaturę iniektora i detektora ustawiono na 160°C. Piki estrów kwasów tłuszczowych identyfikowano na podstawie zestawu wzorców Supelco 37 Component FAME Mix oraz wzorców LGC.

Efektywność rolniczą azotu ($\text{kg nasion}\cdot\text{kg}^{-1}\text{N}$) wyliczono według wzoru [Dordas 2010]:

$$E_R = (P_N - P_0) / D_N$$

gdzie: P_N – plon nasion w obiekcie z zastosowaną dawką azotu ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$),

P_0 – plon nasion w obiekcie kontrolnym bez azotu ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$),

D_N – wniesiona dawka azotu w obiekcie P_N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Na podstawie uzyskanych wyników obliczono teoretyczną wydajność tłuszczu z jednostki powierzchni (plon nasion nagietka \times zawartość tłuszczu w nasionach).

Wyniki opracowano statystycznie za pomocą analizy wariancji, a istotność weryfikowano testem Tukeya na poziomie $\alpha = 0,05$.

WYNIKI I DYSKUSJA

Warunki pogodowe były zmienne w latach badań (tab. 1) i wywarły znaczący wpływ na przebieg wegetacji roślin nagietka, a w konsekwencji na wielkość plonu nasion. Najwyższe plony nasion uzyskano w 2013 r., charakteryzującym się korzystnym układem opadów i temperatur, najniższe zaś w suchym i ciepłym 2012 r. (tab. 2).

Z danych literaturowych wynika, że plony nasion nagietka wahają się w szerokich granicach od 500 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ [Jevdović i in. 2013] do ponad 2000 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ [Cromack i Smith 1998]. W prezentowanych badaniach plon nasion kształtował się na wysokim poziomie i wynosił średnio (lata 2012–2014) – 1869 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nawożenie azotem powodowało istotny wzrost plonu nasion, przy czym reakcja roślin na dawki azotu uzależniona była od zastosowania siarki (tab. 2). W obiektach bez nawożenia siarką znaczący wzrost plonu, w porównaniu z kontrolą, uzyskano po zastosowaniu 30 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ i zwiększał się on do dawki 60 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, a większe ilości azotu (90–120 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) powodowały tylko nieznaczny wzrost plonu. Natomiast w obiektach z nawożeniem siarką także w przypadku dawki 90 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ notowano istotny wzrost plonu nasion (rys. 1). Niezależnie od dawki nawożenia azotowego zastosowanie nawożenia siarką istotnie zwiększyło plonowanie nagietka (średnio o 7%), zatem uwzględnienie tego składnika w agrotechnice nagietka może przyczynić się do poprawy efektywności jego uprawy.

Tabela 1. Warunki pogodowe w latach 2012–2014 i w okresie wieloletnim (1971–2010)
Table 1. Weather conditions in the years 2012–2014 in comparison with multi-year period (1971–2010)

Rok/ Year	Miesiąc/ Month						
	IV	V	VI	VII	VIII	IV–VIII	
Temperatura/ Air temperature (°C)							
							średnia/ mean
2012	9,5	15,8	18,9	21,5	19,5	17,0	
2013	8,1	15,5	18,5	19,2	19,1	16,1	
2014	9,7	13,4	15,6	19,8	17,8	15,3	
1971–2010	8,0	13,6	16,1	18,6	18,0	14,9	
Opady/ Rainfall (mm)							
							suma/ total
2012	34	56	53	52	38	233	
2013	51	102	70	86	48	357	
2014	54	110	77	76	80	397	
1971–2010	43	58	68	87	60	316	

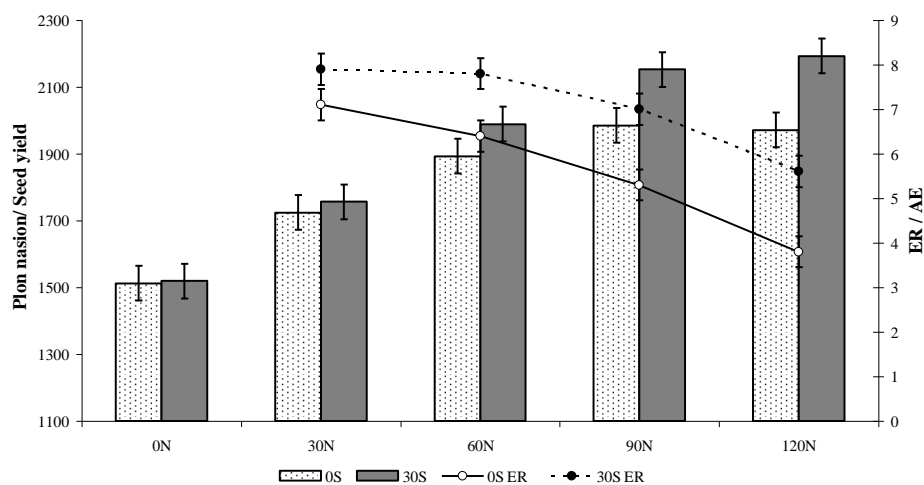
Tabela 2. Plon nasion nagietka w zależności od nawożenia azotem i siarką
Table 2. Seed yield of pot marigold depending on the nitrogen and sulphur fertilization

Azot Nitrogen (kg·ha ⁻¹)	Siarka Sulphur (kg·ha ⁻¹)	Plon nasion/ Seed yield (kg·ha ⁻¹)		
		2012	2013	2014
0	0	1327	1623	1587
	30	1333	1632	1593
Średnio/ Mean		1330	1628	1590
30	0	1486	1871	1815
	30	1511	1897	1860
Średnio/ Mean		1499	1884	1838
60	0	1594	2093	1993
	30	1650	2203	2113
Średnio/ Mean		1622	2148	2053
90	0	1661	2183	2110
	30	1779	2384	2293
Średnio/ Mean		1720	2284	2202
120	0	1660	2188	2064
	30	1793	2491	2295
Średnio/ Mean		1727	2340	2180
Średnio dla lat Mean for years		1579	2057	1972

NIR_{0,05}/LSD_{0,05} dla/ for: azotu/ nitrogen (N) – 108,3; siarki/ sulphur (S) – 85,8; lat/ years (Y) – 112,5; N × S – 104,5; N × Y – 124,7; S × Y – 99,2

Efektywność rolnicza (produktywność netto) jest miarą skuteczności nawożenia, wyrażoną jako przyrost plonu na jednostkę (1 kg) składnika zastosowanego w nawozach. Analizując ten wskaźnik, zaobserwowano, że w obiektach z nawożeniem siarką miał on większe wartości niż w obiektach bez takiego nawożenia (różnice te były większe przy większych dawkach azotu) (rys. 1), co świadczy, że dostępność siarki pozwala na lepsze

wykorzystanie azotu, zwłaszcza stosowanego w dużych dawkach, co jest zgodne z badaniami innych autorów [Fotyma 2003, Jamal i in. 2010].



Rys. 1. Plon nasion nagietka lekarskiego ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) i efektywność rolnicza azotu ($\text{kg nasion}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ N}$) średnio w latach 2012–2014; ER – efektywność rolnicza azotu; słupki błędów – najmniejsza istotna różnica ($p = 0,05$)

Fig. 1. Seed yield of pot marigold ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) and agronomic efficiency of nitrogen ($\text{kg seed}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ N}$) average in 2012–2014; AE – agronomic efficiency of nitrogen; error bars – least significant difference ($p = 0.05$)

Na podstawie 3-letnich wyników badań można stwierdzić, że najlepsze efekty produkcyjne nawożenia azotem nagietka uprawianego na nasiona uzyskuje się przy dawkach 60–90 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Podobne nawożenie azotem zaleca Froment i in. [2003], podczas gdy Johnson i Gesch [2013] oraz Samoon i Khirad [2013] podają, że powinno być ono większe (100–150 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$). Trudno skonfrontować otrzymane wyniki dotyczące nawożenia nagietka siarką z danymi w literaturze ze względu na brak informacji dotyczących tej problematyki, niemniej badania dotyczące innych roślin oleistych wskazują na znaczącą rolę siarki w kształtowaniu plonów nasion [Jiang i in. 2013, Ray i in. 2015].

Zawartość tłuszczu w nasionach nagietka kształtowała się w granicach 20,0–23,0% (tab. 3) i była zbliżona do wartości podawanych przez Cromacka i Smitha [1998], Dulfa i in. [2013] oraz Gescha [2013]. Dużo mniejsze zawartości tłuszczu w nasionach nagietka odnotowali natomiast Angelini i in. [1997] (5,1%) oraz Özgül-Yücel [2005] (5,9%). W przypadku roślin oleistych przebieg warunków atmosferycznych w okresie wegetacji w pewnym stopniu wpływa na zawartość tłuszczu w nasionach. Na ogół w chłodniejszych warunkach i przy dużej wilgotności powietrza wzrasta zawartość tego składnika [Canvin 1965]. Znalazło to potwierdzenie także w prezentowanym doświadczeniu z nagietkiem. W 2014 r., kiedy notowano niższe temperatury powietrza, zawartość tłuszczu w nasionach nagietka była większa (o 1,8 punktów procentowych) w porównaniu z suchym i ciepłym 2012 r.

Zawartość tłuszczu w nasionach zmniejszyła się wraz ze wzrostem dawki azotu (różnica między obiektem kontrolnym a największą dawką wynosiła 1,7 punktów

procentowych) (tab. 3). Nawożenie siarką korzystnie wpływało na gromadzenie tłuszczu w nasionach, co może wynikać z faktu, iż jest ona składnikiem acetylo-CoA, który jest wykorzystywany w biosyntezie kwasów tłuszczowych [Fazli i in. 2005]. Analizując współdziałanie azotu i siarki, stwierdzono, że w obiektach z dużymi dawkami azotu (90–120 kg·ha⁻¹) zastosowanie siarki istotnie ograniczyło spadek zawartości tłuszczu (tab. 3).

Tabela 3. Zawartość tłuszczu w nasionach nagietka oraz wydajność tłuszczu w zależności od dawki azotu i siarki (średnio w latach 2012–2014)

Table 3. Fat content in pot marigold seeds and fat yield depending on the nitrogen and sulphur dose (average in 2012–2014)

Azot (N) Nitrogen (kg·ha ⁻¹)	Zawartość tłuszczu Fat content (%)			Wydajność tłuszczu Fat yield (kg·ha ⁻¹)		
	siarka/ sulphur (S) (kg·ha ⁻¹)					
	0	30	średnio mean	0	30	średnio mean
0	22,6	23,0	22,8	342	349	346
30	22,4	22,9	22,7	386	402	394
60	21,9	22,7	22,3	415	452	434
90	21,1	22,3	21,7	419	480	450
120	20,2	22,0	21,1	402	484	443
Średnio/ Mean	21,6	22,6	22,1	393	433	413
NIR _{0,05} dla: LSD _{0,05} for:	N – 0,91; S – 0,87; N × S – 0,98			N – 35,1; S – 25,7; N × S – 27,8		

W dostępnym piśmiennictwie dotyczącym nagietka brak jest badań odnośnie wpływu nawożenia azotem i siarką na skład chemiczny nasion. Badania dotyczące innych roślin oleistych wykazały, że intensywne nawożenie azotowe powoduje na ogół zmniejszenie zawartości tłuszczu w nasionach [Dordas 2010, Jiang i in. 2013], natomiast siarka wpływa korzystnie, zwiększając jego udział [Podleśna 2005].

Wydajność tłuszczu jest funkcją plonu nasion i procentowej zawartości w nich lipidów, przy czym na ogół decydujący wpływ na tę cechę ma plon nasion. W omawianych badaniach zróżnicowanie wydajności tłuszczu, w zależności od nawożenia azotem i siarką, było analogiczne do wielkości plonów nasion (tab. 3). Różnice w wydajności tłuszczu stwierdzono także pod wpływem warunków pogodowych w okresie wegetacji. Największe plony tłuszczu uzyskano w 2013 r. (456 kg·ha⁻¹), a najmniejsze w 2012 r. (333 kg·ha⁻¹).

Spośród kwasów tłuszczowych zawartych w oleju nagietka o jego przydatności i wykorzystaniu decydują izomery kwasu linolenowego (CLNA), których zawartość w omawianych badaniach wahała się od 46,50% do 50,24% (tab. 4.) i była zbliżona do wartości uzyskiwanych przez innych autorów prowadzących badania w podobnych do naszych warunkach klimatycznych [Cromack i Smith 1998, Walisiewicz-Niedbalska i in. 2012, Dulf i in. 2013]. Niemniej Angelini i in. [1997] oraz Özgül-Yücel [2005] stwierdzili niższy udział CLNA (29,5%–36,7%) w oleju nagietka rosnącego w klimacie śródziemnomorskim. Spowodowane jest to hamowaniem w wysokich temperaturach aktywności enzymu FAD2, który bierze udział w przemianie kwasu linolenowego do kwasu nagietkowego [Cahoon i in. 2001]. Także w prezentowanym doświadczeniu najmniejszą zawartość CLNA stwierdzono w 2012 r., w którym w okresie tworzenia się i dojrzewania nasion notowano wysokie temperatury powietrza. Zależność między warunkami

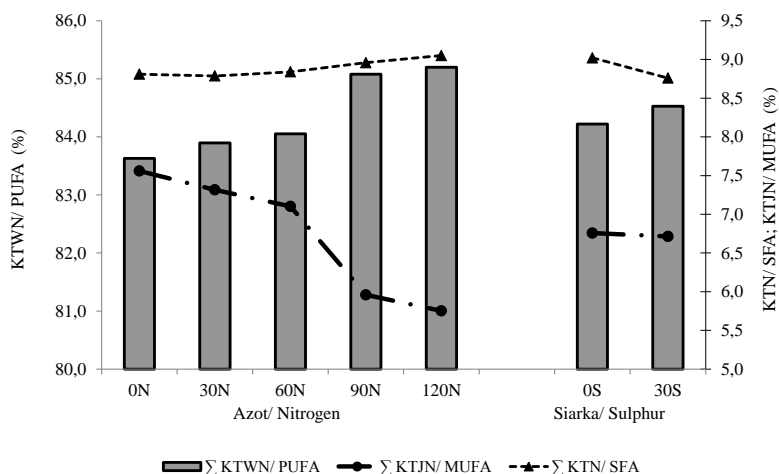
pogodowymi a udziałem CLNA w oleju nagietka została wykazana także w innych badaniach autorki [Król i in. 2016, Król i Paszko 2017].

Tabela 4. Skład kwasów tłuszczowych oleju z nasion nagietka lekarskiego
Table 4. Fatty acid composition of pot marigold seed oil

Czynnik Factor	Kwasy tłuszczowe/ Fatty acid (%)				
	16:0	18:0	18:1 (n9)	18:2 (n6)	CLNA
Azot/ Nitrogen (kg·ha ⁻¹)					
0	3,71	2,81	5,97 ^a	33,81 ^b	47,94
30	3,63	2,62	5,54 ^{ab}	34,61 ^{ab}	48,48
60	3,83	2,63	5,17 ^b	34,42 ^{ab}	48,22
90	3,86	2,66	4,28 ^c	35,49 ^a	48,70
120	3,81	2,72	4,04 ^c	35,52 ^a	48,89
Siarka/ Sulphur (kg·ha ⁻¹)					
0	3,81	2,66	5,03	34,98	47,92
30	3,72	2,71	4,96	34,55	48,95
Rok/ Year					
2012	4,56 ^a	2,98 ^a	5,58 ^a	35,97 ^a	46,50 ^b
2013	3,37 ^b	2,75 ^a	5,02 ^{ab}	34,58 ^{ab}	48,51 ^a
2014	3,38 ^b	2,32 ^b	4,41 ^b	33,75 ^b	50,24 ^a

a, b, c – wartości oznaczone tymi samymi małymi literami w obrębie kolumn nie różnią się istotnie ($p = 0,05$)/ values designated with the same letters within column do not differ significantly ($p = 0,05$);

16:0 – kwas palmitynowy/ palmitic acid; 18:0 – kwas stearynowy/ stearic acid; 18:1 (n9) – kwas oleinowy/ oleic acid; 18:2 (n6) – kwas linolowy/ linoleic acid; CLNA – \sum kwas α -nagietkowy i β -nagietkowy/ \sum α -calendic and β -calendic acid



NIR_{0,05}/ LSD_{0,05}, azot/ nitrogen: KTN/ SFA – r.n./ ns.; KTJN/ MUFA – 0,76; KTWN/ PUFA – 1,12; siarka/ sulphur: KTN/ SFA – r.n./ n.s.; KTJN/ MUFA – r.n./ n.s.; KTWN/ PUFA – r.n./ n.s.; r.n./ n.s. – różnica nieistotna/ not significant difference

Rys. 2. Zawartość kwasów tłuszczowych nasyconych (KTN), jednonienasyconych (KTJN) i wielonienasyconych (KTWN) w oleju nagietka (średnie z lat 2012–2014)

Fig. 2. Content of saturated (SFA), monounsaturated (MUFA), and polyunsaturated (PUFA) acids in calendula seed oil (average in 2012–2014)

Z innych kwasów wielonienasyconych stwierdzono największą zawartość kwasu linolowego (średnio 34,77%). Spośród kwasów jednonienasyconych największy udział miał kwas oleinowy (5,13%), a z nasyconych – kwasy palmitynowy (3,77%) i stearynowy (2,69%) (tab. 4).

Nawożenie azotem wpływało na udział kwasów tłuszczowych w oleju nagietka, powodując istotne zwiększenie zawartości kwasu linolowego (w konsekwencji także kwasów wielonienasyconych), a zmniejszenie zawartości jednonienasyconych (głównie kwasu oleinowego) (tab. 4., rys. 2). Modyfikację składu kwasów tłuszczowych pod wpływem nawożenia azotem notowano także w badaniach dotyczących innych roślin oleistych [Ahmad i Abdin 2000, Wielebski 2011, Jiang i in. 2013].

Nie stwierdzono istotnego wpływu nawożenia siarką na zawartość analizowanych kwasów tłuszczowych. Odnotowany niewielki wzrost zawartości CLNA okazał się statystycznie nieistotny. Również suma kwasów nasyconych, jednonienasyconych oraz wielonienasyconych nie zmieniały się istotnie pod wpływem nawożenia siarką (rys. 2). Stwierdzono natomiast zróżnicowanie składu kwasów tłuszczowych zależnie od warunków pogodowych (tab. 4). W suchym i ciepłym 2012 r. notowano zwiększenie udziału kwasów tłuszczowych nasyconych, a zmniejszenie wielonienasyconych.

WNIOSKI

1. Najlepsze efekty produkcyjne nawożenia azotem nagietka lekarskiego uprawianego jako surowiec olejarski uzyskano przy dawkach 60–90 kg N·ha⁻¹.
2. Zastosowanie nawożenia siarką (przy niskiej zawartości tego składnika w glebie) korzystnie wpłynęło na plon nasion i oleju.
3. Nawożenie azotem i siarką istotnie wpływało na zawartość tłuszczu w nasionach nagietka. Większe dawki azotu obniżały zawartość tłuszczu, a dodatkowe zastosowanie siarki ograniczyło ten niekorzystny efekt.
4. Jakość oleju nagietka zależała od nawożenia azotowego oraz warunków pogodowych w okresie wegetacji. Wraz ze zwiększaniem dawek azotu zwiększał się udział kwasu linolowego, a zmniejszał kwasu oleinowego. Najbardziej sprzyjający gromadzeniu tłuszczu i CLNA okazał się chłodniejszy i wilgotniejszy sezon wegetacyjny w 2014 r.

PIŚMIENNICTWO

- Ahmad A., Abdin M.Z., 2000. Interactive effect of sulphur and nitrogen on the oil and protein contents and on the fatty acid profiles of oil in the seeds of rapeseed (*Brassica campestris* L.) and mustard (*Brassica juncea* L. Czern. and Coss.). J. Agron. Crop Sci. 185(1), 49–54.
- Angelini L.G., Moscheni E., Colonna G., Belloni P., Bonari E., 1997. Variation in agronomic characteristics and seed oil composition of new oilseed crops in central Italy. Ind. Crop. Prod. 6, 313–323.
- AOCS (American Oil Chemists Society), 1997. Preparation of methyl esters of fatty acids. 452 Official Method Ce 2–66. AOCS Press, Champaign.
- Biermann U., Butte W., Holtgreffe R., Feder W., Metzger J.O., 2010. Esters of calendula oil and tung oil as reactive diluents for alkyd resins. Eur. J. Lipid. Sci. Tech. 112, 103–109.

- Cahoon E.B., Ripp K.G., Hall S.E., Kinney A.J., 2001. Formation of conjugated Δ^8 , Δ^{10} -double bonds by Δ^{12} -oleic-acid desaturase-related enzymes. Biosynthetic origin of calendic acid. *J. Biol. Chem.* 276, 2637–2643.
- Canvin T., 1965. The effect of temperature on the oil content and fatty acid composition of the oils from several oil seed crops. *Can. J. Bot.* 43, 63–69.
- Cromack H.T.H., Smith J.M., 1998. *Calendula officinalis* – production potential and crop agronomy in southern England. *Ind. Crop. Prod.* 7, 223–229.
- Dordas C.A., 2010. Variation of physiological determinants of yield in linseed in response to nitrogen fertilization. *Ind. Crop. Prod.* 31(3), 455–465.
- Dulf F.V., Pamfil D., Baciú A.D., Pintea A., 2013. Fatty acid composition of lipids in pot marigold (*Calendula officinalis* L.) seed genotypes. *Chem. Cent. J.* 7, 8.
- Fazli I.S., Abdin M.Z., Jamal A., Ahmad S., 2005. Interactive effect of sulphur and nitrogen on lipid accumulation, acetyl-CoA concentration and acetyl-CoA carboxylase activity in developing seeds of oilseed crops (*Brassica campestris* L. and *Eruca sativa* Mill.). *Plant Sci.* 168(1), 29–36.
- Fotyma M., 2003. Wpływ nawożenia siarką na wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez rośliny uprawy polowej. *Naw. Nawoż.* 4(17), 117–136.
- Froment M., Mastebroek D., van Gorp K., 2003. A growers manual for *Calendula officinalis* L. Plant Research International, Wageningen, 11.
- Gesch R.W., 2013. Growth and yield response of calendula (*Calendula officinalis*) to sowing date in the northern US. *Ind. Crop. Prod.* 45, 248–252.
- Jamal A., Moon Y., Abdin M.Z., 2010. Sulphur – a general overview and interaction with nitrogen. *Aust. J. Crop Sci.* 4, 523–529.
- Jiang Y., Caldwell C.D., Falk K.C., Lada R.R., MacDonald D., 2013. Camelina yield and quality response to combined nitrogen and sulfur. *Agron. J.* 105, 1847–1852.
- Jevdović R., Todorović G., Kostić M., Protić R., Lekić S., Zivanović T., Secanski M., 2013. The effects of location and the application of different mineral fertilizers on seed yield and quality of pot marigold (*Calendula officinalis* L.). *Turk. J. Field Crops* 18(1), 1–7.
- Johnson J.M., Gesch, R.W., 2013. Calendula and camelina response to nitrogen fertility. *Ind. Crop. Prod.* 43, 684–691.
- Klikocka H., 2011. Zasoby siarki w Polsce oraz jej znaczenie w przemyśle i rolnictwie. *Przem. Chem.* 90, 1728–1737.
- Kompanowska-Jeziarska E., Sokoła-Wysoczańska E., Czyż K., Walisiewicz-Niedbalska W., Bodkowski R., Patkowska-Sokoła B., Olszyński K.H., 2014. Właściwości biochemiczne sprzężonych kwasów trienowych. *Przem. Chem.* 93(7), 1174–1177.
- Król B., Paszko T., Król A., 2016. Conjugated linolenic acid content in seeds of some pot marigold (*Calendula officinalis* L.) cultivars grown in Poland. *Farmacia* 64(6), 881–886.
- Król B., Paszko T., 2017. Harvest date as a factor affecting crop yield, oil content and fatty acid composition of the seeds of calendula (*Calendula officinalis* L.) cultivars. *Ind. Crop. Prod.*, 97, 242–251.
- Li Q., Wang H., Ye S.H., Xiao S., Xie Y.P., Liu X., Wang J.H., 2013. Induction of apoptosis and inhibition of invasion in choriocarcinoma JEG-3 cells by α -calendic acid and β -calendic acid. *Prostag. Leukotr. Ess.*, 89, 367–376.
- Muley B.P., Khadabadi S.S., Banarase N.B., 2009. Phytochemical constituents and pharmacological activities of *Calendula officinalis* Linn (Asteraceae). *Trop. J. Pharm. Res.* 8, 455–465.
- Özgül-Yücel S., 2005. Determination of conjugated linolenic acid content of selected oil seeds grown in Turkey. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 82, 893–897.
- Podleśna A., 2005. Nawożenie siarką jako czynnik kształtujący metabolizm roślin uprawnych i jakość płodów rolnych. *Pam. Puł.* 139, 161–174.
- Ray K., Sengupta K., Pal A.K., Banerjee H., 2015. Effects of sulphur fertilization on yield, S uptake and quality of Indian mustard under varied irrigation regimes. *Plant Soil Env.* 61(1), 6–10.
- Samoon S.A., Kirad K.S., 2013. Effect of nitrogen and phosphorus on seed yield parameters of calendula (*Calendula officinalis* L.) var. Touch of Red Mixture. *Prog. Hortic.* 45(1), 149–151.

- Skwierawska M., Benedycka Z., Jankowski K., Skwierawski A., 2016. Sulphur as a fertiliser component determining crop yield and quality. *J. Elem.* 21(2), 609–623.
- Walisiewicz-Niedbalska W., Patkowska-Sokoła B., Gwardiak H., Szulc T., Bodkowski R., Różycki K., 2012. Potencjalne surowce do otrzymywania bioaktywnych pochodnych tłuszczowych. *Przem. Chem.* 91(5), 1058–1063.
- Wielebski F., 2011. Wpływ nawożenia siarką w warunkach stosowania zróżnicowanych dawek azotu na skład chemiczny nasion różnych typów odmian rzepaku ozimego. *Rośl. Oleiste* 32(1), 81–95.
- Yuan G.F., Chen X.E., Li D., 2014. Conjugated linolenic acids and their bioactivities: a review. *Food Funct.* 5(7), 1360–1368.

Summary. The aim of the study was to evaluate the effect of nitrogen and sulphur fertilization on the seed yield, oil content, and fatty acid composition of calendula. The experiment was set up as a split-block design with two factors: the first factor was the nitrogen dose: 0, 30, 60, 90 and 120 kg N·ha⁻¹, and the second was the sulphur dose: 0, 30 kg S·ha⁻¹. The best effects of the nitrogen fertilization on productivity were achieved with the doses in the range of 60–90 kg N·ha⁻¹. Sulphur showed a favourable effect on the seed yield and fat content (effectiveness of sulphur increased along with the increasing nitrogen fertilization). Nitrogen fertilization modified the fatty acid composition, causing an increase in the percentage of linolenic acids and a reduction of oleic acid contents in oils. Sulphur did not affect the quality of fat. However, this feature was markedly influenced by meteorological conditions prevailing during growth and ripening of plants.

Key words: *Calendula officinalis* L., agronomic efficiency of nitrogen, nitrogen and sulphur interaction, fat yield, fatty acid composition, conjugated linolenic acids, calendic acid