

Wpływ nawożenia potasem na plon nasion oraz zawartość i jakość tłuszczu nagietka lekarskiego (*Calendula officinalis* L.)

Beata Król

Katedra Roślin Przemysłowych i Leczniczych, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin, Polska

Abstrakt. Olej nasion nagietka lekarskiego zawiera izomery kwasu linolenowego, tj. kwas α - i β -nagietkowy, i może być wykorzystywany w przemyśle farmaceutycznym oraz chemicznym. W latach 2012–2013 przeprowadzono doświadczenie polowe, którego celem było określenie wpływu zróżnicowanych dawek potasu (0, 30, 60, 90, 120 kg K·ha⁻¹) na plon nasion, zawartość oleju i skład kwasów tłuszczowych trzech odmian nagietka lekarskiego: ‘Tokaj’, ‘Orange King’ i ‘Persimmon Beauty’. Nawożenie potasem dodatkowo wpłynęło na liczbę wytwarzanych przez roślinę koszyczków kwiatowych oraz na plon nasion, przy czym badane odmiany różniły się wymaganiami w stosunku do potasu. U odmiany ‘Persimmon Beauty’ istotny wzrost plonu w porównaniu z obiektem kontrolnym uzyskano stosując dawki 30 i 60 kg K·ha⁻¹, zaś ‘Tokaj’ i ‘Orange King’ wymagały większych dawek: 60 i 90 kg K·ha⁻¹. Na dalsze zwiększanie ilości potasu rośliny nagietka nie reagowały istotną zmianą plonu. W dwuletnim okresie najwyższy średni plon nasion wydała odmiana ‘Orange King’ (1,83 t·ha⁻¹), a najniższy – ‘Persimmon Beauty’ (1,58 t·ha⁻¹). Jakość nasion poszczególnych odmian była zróżnicowana: wysoką zawartością tłuszczu charakteryzowały się nasiona ‘Orange King’ i ‘Tokaj’ (średnio 20,7 i 19,9%), zaś olej ‘Persimmon Beauty’ miał najwyższy udział kwasów α - i β -nagietkowego (53,36%). Nawożenie potasem nie miało wpływu na zawartość tłuszczu w nasionach i skład kwasów tłuszczowych, natomiast cechy te w znacznym stopniu zależały od warunków pogodowych w czasie wzrostu roślin i dojrzewania nasion.

słowa kluczowe: odmiana, efektywność rolnicza, zawartość oleju, skład kwasów tłuszczowych, izomery kwasu linolenowego, kwas nagietkowy

WSTĘP

Nagietek lekarski jest powszechnie uprawianą jednoroczną rośliną ozdobną, od dawna stosowaną także w lecznictwie. Surowiec zielarski nagietka (kwiaty jęczyczkowe

lub całe kwiatostany) ma bogaty skład chemiczny i wykazuje szerokie działanie farmakologiczne (m.in. antyseptyczne, przeciwzapalne, rozkurczowe) (Al-Snafi, 2015). Badania przeprowadzone w ostatnich latach wskazują na możliwość wykorzystania w fitoterapii także nasion nagietka, które zawierają około 20% tłuszczu, charakteryzującego się obecnością izomerów kwasu linolenowego (ang. Conjugated Linolenic Acid, 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). Kwasy te wykazują wielokierunkową aktywność biologiczną, m.in. działają przeciwnowotworowo, ułatwiają redukcję tkanki tłuszczowej oraz obniżają ciśnienie tętnicze krwi (Li i in., 2013; Białek i in., 2014). Oleje zawierające CLNA znajdują także zastosowanie w przemyśle chemicznym do produkcji polimerów oraz wysokiej jakości farb (Biermann i in., 2010), a także w przemyśle spożywczym jako bioaktywne składniki żywności funkcjonalnej (Yuan i in., 2014).

Potas pełni ważną rolę w odżywianiu mineralnym roślin, gdyż odpowiada za przebieg wielu ważnych procesów, m.in. bierze udział w gospodarce azotowej i wodnej, stymuluje asymilację, aktywuje liczne enzymy oraz zwiększa odporność rośliny na stres. Racjonalne nawożenie tym składnikiem jest ważne, ponieważ spełnia on istotną rolę w zwiększaniu plonowania i wpływa na parametry jakościowe roślin (Fotyma, 2011).

Przeprowadzone dotychczas doświadczenia z nawożeniem nagietka lekarskiego potasem dotyczą głównie wpływu tego pierwiastka na charakterystykę kwiatostanów i kwiatów jako surowca farmaceutycznego (Mohamed, Hassan 2006; Hashemabadi i in., 2012; Rahmani i in., 2014). W dostępnej literaturze światowej niewiele jest publikacji odnoszących się do nawożenia potasem nagietka lekarskiego wykorzystywanego jako surowiec olejarski. Zapotrzebowanie na potas należy rozpatrywać w odniesieniu do poszczególnych odmian, gdyż mogą one różnić się w tym zakresie (Cheema i in., 2012, Ahmed i in., 2015).

Autor do kontaktu

Beata Król
e-mail: beata.krol@up.lublin.pl
tel. +48 81 445 67 75

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu zróżnicowanego nawożenia potasem na plon nasion, zawartość oleju oraz skład kwasów tłuszczowych trzech odmian nagietka lekarskiego.

MATERIAŁ I METODY

Badania polowe przeprowadzono w latach 2012–2013 w Gospodarstwie Doświadczalnym należącym do Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie (51°13'35.2"N 22°38'28.4"E), na glebie wytworzonej z pyłów pochodzenia lessowego, charakteryzującej się obojętnym odczynem (pH w 1 M KCl = 6,9), średnią zawartością próchnicy (17,5 g·kg⁻¹) oraz średnią zawartością składników pokarmowych (41,3 mg P·kg⁻¹ p.s.m. gleby; 128,5 mg K ·kg⁻¹ p.s.m. gleby (metoda Egnera-Riehma); 42,1 mg Mg·kg⁻¹ p.s.m. gleby (metoda atomowej spektrofotometrii absorpcyjnej AAS)).

Eksperyment założono metodą bloków losowanych w 4 powtórzeniach, na poletkach o powierzchni 5 m². Do badań użyto nasion nagietka lekarskiego trzech odmian: 'Tokaj', 'Orange King' i 'Persimmon Beauty', które charakteryzują się dobrą wydajnością nasion oraz wysoką zawartością i jakością oleju (Król i in., 2016).

W doświadczeniu zastosowano 5 poziomów nawożenia potasem: 0, 30, 60, 90, 120 kg K w przeliczeniu na 1 ha. We wszystkich obiektach zastosowano jednakowe nawożenie azotowe (saletra amonowa) i fosforowe (superfosfat pojedynczy) w ilości 80 kg N i 31 kg P·ha⁻¹. Nawozy fosforowe i potasowe (sól potasowa 49,8% K) zostały wniesione w całości wczesną wiosną podczas uprawy gleby, zaś azotowe w dwóch dawkach: przed siewem nasion oraz po przerywce roślin.

Nasiona wysiewano bezpośrednio do gruntu w II dekadzie kwietnia w rozstawie rzędów 25 cm, w ilości 8 kg·ha⁻¹. Po wschodach wykonano przerywkę, pozostawiając do dalszego wzrostu około 60 roślin na 1 m². W późniejszym okresie wegetacji prowadzono zabiegi pielęgnacyjne, polegające na spulchnianiu gleby i ręcznym odchwaszczaniu. Zbiory przeprowadzono, gdy około 60–70% nasion było

dojrzałych (w pierwszej połowie sierpnia). Ze względu na nierównomierne dojrzewanie nasion, 5–9 dni przed zbiorom rośliny desykowano (Reglone), zgodnie z zaleceniami Fromenta i in. (2003). Następnie rośliny ścięto (kosą spalinową), zebrano do płóciennych worków i suszono w tunelu foliowym. Nasiona wymłócono, oczyszczono i dosuszano do około 10% wilgotności oraz określono plon i masę tysiąca nasion. Przed desykacją na 20 losowo wybranych roślinach z każdego obiektu zmierzono wysokość roślin (od szyjki korzeniowej do najwyższego kwiatostanu) i określono liczbę koszyczków kwiatowych.

W próbkach nasion z każdego obiektu oznaczono zawartość tłuszczu surowego (metodą ekstrakcyjno-wagową w aparacie Soxhleta) oraz skład kwasów tłuszczowych (metodą chromatografii gazowej estrów metylowych kwasów tłuszczowych – FAME) (AOCS, 1997). Warunki rozdziału: kolumna UltiMetal™ CP WAX 52CB 0,25 μm, 60 m długości, gaz nośny – hel, przepływ 1,4 ml min⁻¹, temperatura kolumny 120°C ze stopniowym wzrostem 2°C min⁻¹ do 210°C, czas oznaczenia 127 min, temp. dozownika i detektora – 160°C. Identyfikację pików kwasów tłuszczowych prowadzono przez porównanie z czasem retencji wzorców estrów metylowych kwasów tłuszczowych firmy Supelco (Supelco 37 Component FAME Mix).

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

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

Efektywność rolniczą potasu wyliczono według wzoru (Fotyma, Mercik, 1995):

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

gdzie: E_R – efektywność rolnicza (produktywność netto), P_N – plon nasion w obiekcie z zastosowaną dawką potasu, P_0 – plon nasion w obiekcie kontrolnym bez potasu, D_K – wniesiona dawka potasu w obiekcie P_N .

Warunki pogodowe podczas wegetacji roślin (temperatura powietrza i opady) przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Warunki pogodowe w latach 2012–2013 i w okresie wieloletnim (1950–2010)

Table 1. Weather conditions in the years 2012–2013 in comparison with multi-year period (1950–2010).

Miesiąc Month	Temperatura Air temperature [°C]			Opady Rainfalls [mm]		
	2012	2013	1950–2010	2012	2013	1950–2010
Kwiecień; April	9,5	8,1	7,4	34,0	51,1	39,0
Maj; May	15,8	15,5	13,0	56,3	101,6	60,7
Czerwiec; June	18,9	18,5	16,3	52,8	70,2	65,9
Lipiec; July	21,5	19,2	18,0	52,3	86,1	82,0
Sierpień; August	19,5	19,1	17,2	37,6	47,8	70,7
Średnia; Mean	17,0	16,1	14,4	-	-	-
Suma; Total	-	-	-	233,0	356,8	318,3

WYNIKI I DYSKUSJA

Warunki pogodowe były zmienne w latach badań i wywarły znaczący wpływ na przebieg wegetacji nagietka. Znaczne niedobory opadów w sezonie wegetacyjnym w 2012 roku ujemnie wpłynęły na wzrost oraz rozwój roślin i omawiane cechy morfologiczne nagietka miały niższe wartości niż w 2013 roku (tab. 1 i 2).

Nawożenie potasem istotnie stymulowało wzrost roślin oraz tworzenie rozgałęzień bocznych, wpływając tym samym na liczbę kwiatostanów. Stwierdzono także dodatnie oddziaływanie potasu na masę 1000 nasion (tab. 2).

Plony nasion nagietka wahały się od 1,08 t·ha⁻¹ do 2,29 t·ha⁻¹ (tab. 3). Wysokimi plonami wyróżniała się odmiana 'Orange King' (średnio 1,83 t·ha⁻¹), która tworzyła najwięcej koszyczków kwiatowych, oraz 'Tokaj' (1,77 t·ha⁻¹) charakteryzująca się największą masą tysiąca nasion (tab. 2 i 3). Informacje w piśmiennictwie dotyczące plonu nasion nagietka są bardzo zróżnicowane w zależności od warunków agroklimatycznych oraz uprawianej odmiany. Podobne wydajności jak w naszym doświadczeniu uzyskali Cromack i Smith (1998) w Anglii (1,16–2,41 t·ha⁻¹), Breemhaar i Bouman (1995) w Holandii (1,73–2,30 t·ha⁻¹) oraz Gesch (2013) w USA (1,17–1,84 t·ha⁻¹). Natomiast w badaniach przeprowadzonych w Kanadzie (Wilén i in., 2004) oraz w Serbii (Jevdović i in., 2013) plony były znacznie niższe i nie przekraczały 1 t·ha⁻¹.

Nawożenie potasem w obu latach zwiększyło plon nasion, przy czym reakcja badanych odmian na dawki potasu była zróżnicowana (tab. 3). Rośliny odmiany 'Orange King' i 'Tokaj' plonowały istotnie wyżej w obiektach z nawożeniem 60 kg K·ha⁻¹ w stosunku do kontroli, a zwiększenie ilości potasu do 90 kg·ha⁻¹ powodowało dalszy istotny wzrost plonu nasion. Różnice w plonach między najwyższymi dawkami (90–120 kg·ha⁻¹) były natomiast niewielkie i statystycznie nieistotne. W przypadku odmiany 'Persimmon Beauty' znaczący wzrost plonu w porównaniu z kontrolą uzyskano już po zastosowaniu 30 kg K·ha⁻¹ i zwiększał się on do dawki 60 kg K·ha⁻¹, a większe ilości potasu (90–120 kg·ha⁻¹) powodowały tylko nieznaczny wzrost plonu. Różna reakcja badanych odmian nagietka na nawożenie potasem może wynikać z ich specyficznych, uwarunkowanych genetycznie potrzeb pokarmowych.

W dostępnym piśmiennictwie niewiele jest informacji dotyczących nawożenia potasem nagietka lekarskiego uprawianego na nasiona. W badaniach Sedghi i in. (2011) najwyższe plony nasion uzyskano po zastosowaniu 120 kg K·ha⁻¹, natomiast Froment i in. (2003) zalecają nawożenie w ilości 40–80 kg K·ha⁻¹.

W omawianych badaniach plony nasion w dużym stopniu modyfikowane były przebiegiem warunków pogodowych w okresie wegetacji. W 2012 roku charakteryzującym się mniejszymi niż w 2013 r. opadami, uzyskano niższe plony (średnio o 22% w porównaniu z 2013 rokiem).

Tabela 2. Wysokość roślin, liczba koszyczków kwiatowych oraz masa tysiąca nasion nagietka lekarskiego
Table 2. Height of pot marigold plants, number of flower heads and weight of 1000 seeds.

Czynnik Factor	Wysokość roślin Height of plants [cm]	Liczba koszyczków kwiatowych na roślinie Flower heads [number·plant ⁻¹]	Masa tysiąca nasion 1000 seed weight [g]
Dawka potasu; Dose of potassium [kg K·ha ⁻¹] (A)			
0	56,2	37,7	8,97
30	59,9	40,5	9,72
60	66,5	43,1	10,62
90	69,0	44,9	11,08
120	69,1	45,2	11,29

NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}	6,35	2,64	0,71
Rok; Year (B)			
2012	61,4	37,7	9,64
2013	66,8	46,8	11,03

NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}	4,98	3,59	0,86
Odmiana; Cultivar (C)			
Tokaj	68,7	36,3	11,99
Orange King	61,5	47,0	10,09
Persimmon Beauty	62,3	44,4	8,94

NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}	5,74	2,82	0,95
A x B	3,47	2,57	0,78
A x C	7,83	2,41	0,89
B x C	3,72	6,54	1,03

Tabela 3. Plon nasion [$t \cdot ha^{-1}$] nagietka lekarskiego i efektywności rolnicza potasu [$kg \text{ nasion} \cdot kg^{-1} K$]
 Table 3. Seeds yield [$t \cdot ha^{-1}$] of pot marigold and agronomic efficiency of potassium [$kg \text{ seed} \cdot kg^{-1} K$].

Odmiana Cultivar (C)	Dawka potasu Dose of potassium (A) [$kg K \cdot ha^{-1}$]	Rok; Year (B)		Średnio Mean	LW ^a	Efektywność rolnicza potasu Agronomic efficiency of potassium
		2012	2013			
Tokaj	0	1,25	1,75	1,50	100	-
	30	1,35	1,84	1,59	106	3,1
	60	1,56	2,04	1,80	120	5,1
	90	1,72	2,21	1,96	131	5,2
	120	1,77	2,25	2,01	134	4,3
Średnio; Mean		1,53	2,02	1,77	-	-
NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}		A – 0,151; B – 0,190; A×B – 0,161				
Orange King	0	1,29	1,81	1,55	100	-
	30	1,39	1,91	1,65	106	3,2
	60	1,63	2,08	1,86	119	5,0
	90	1,80	2,25	2,03	130	5,3
	120	1,82	2,29	2,05	132	4,2
Średnio; Mean		1,59	2,07	1,83	-	-
NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}		A – 0,145 ; B – 0,180; A×B – 0,153				
Persimmon Beauty	0	1,08	1,56	1,32	100	-
	30	1,29	1,70	1,49	113	5,6
	60	1,54	1,84	1,69	128	6,2
	90	1,57	1,84	1,70	129	4,2
	120	1,59	1,83	1,71	129	3,2
Średnio; Mean		1,41	1,75	1,58	-	-
NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}		A – 0,139; B – 0,162; A×B – 0,141; C – 0,147				

^a LW – w liczbach względnych; in relative numbers

Największą obniżkę plonów odnotowano w obiektach kontrolnych (bez nawożenia potasem), a w miarę wzrostu dawek potasu spadek plonów zmniejszał się (tab. 3). Świadczy to, że dobre zaopatrzenie roślin w potas pozwala na oszczędniejszą gospodarkę wodą i łagodzi niekorzystne oddziaływanie stresu wodnego, co jest zgodne z doniesieniami Cakmaka (2005).

Efektywność rolnicza (produktywność netto) jest miarą skuteczności nawożenia, wyrażoną jako przyrost plonu na jednostkę (1 kg) składnika zastosowanego w nawozach (Fotyma, Mercik, 1995). W przypadku odmian 'Tokaj' i 'Orange King' najwyższą efektywność rolniczą potasu notowano przy dawce 90 $kg K \cdot ha^{-1}$ (odpowiednio 5,2 i 5,3 $kg \text{ nasion}$ na 1 $kg K$), zaś u 'Persimmon Beauty' – w obiekcie nawożonym 60 $kg K \cdot ha^{-1}$ (6,2 $kg \text{ nasion}$ na 1 $kg K$) (tab. 3). Większe dawki potasu nie powodowały już tak dużych przyrostów plonu, a nawet zaobserwowano zmniejszenie jego produktywności. Ponadto w suchym 2012 roku wartości omawianego miernika były większe (średnio dla odmian i dawek potasu - 5,09 $kg \text{ nasion}$ na 1 $kg K$) niż w 2013 (3,96 $kg \text{ nasion}$ na 1 $kg K$), co potwierdza opinie o pozytywnej roli potasu w łagodzeniu negatywnych skutków niedoboru wody (Bandurska i in., 2004).

Średnia zawartość tłuszczu w nasionach badanych odmian wahała się od 18,5% ('Persimmon Beauty') do 20,7% ('Orange King') (tab. 4). Podobną zawartość tłuszczu

stwierdzili Dulf i in. (2013) (18,1%) i Gesch (2013) (19,4%). Dużo niższe zawartości odnotowali natomiast Angelini i in. (1997) (w zakresie 2–12%) 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 2013 roku, kiedy notowano niższą temperaturę powietrza w okresie tworzenia i dojrzewania nasion (lipiec–sierpień), zawartość tłuszczu w nasionach nagietka była wyższa (średnio o 1,5 punktów procentowych) w porównaniu z 2012 rokiem (tab. 4).

W omawianych badaniach nie wykazano istotnego wpływu nawożenia potasem na zawartość tłuszczu w nasionach nagietka (nieznacznie zwiększenie w obiektach, gdzie zastosowano potas, okazało się statystycznie nieistotne) (tab. 4). W dostępnym piśmiennictwie o nagietku brak jest danych w tym zakresie. Badania dotyczące innych roślin oleistych (Abbadi i in., 2008; Mozaffari i in., 2012; Santos i in., 2013; Ahmed i in., 2015) wykazały, że w większości przypadków nawożenie potasowe wpływało dodatnio nie tylko na wysokość plonu, ale także na zawartość tłuszczu.

Tabela 4. Zawartość tłuszczu surowego w nasionach nagietka lekarskiego [%] oraz wydajność tłuszczu [kg·ha⁻¹]
 Table 4. Crude fat content in seeds of pot marigold [%] and yield of fat [kg·ha⁻¹].

Odmiana Cultivar (C)	Dawka potasu Dose of potassium (A) [kg K·ha ⁻¹]	Zawartość tłuszczu Crude fat content			Wydajność tłuszczu Fat yield		
		rok; year (B)		średnio mean	rok; year (B)		średnio mean
		2012	2013		2012	2013	
Tokaj	0	18,1	20,6	19,3	226	361	293
	30	19,0	21,4	20,2	257	393	325
	60	19,2	21,0	20,1	300	429	365
	90	19,1	20,5	19,8	329	453	391
	120	18,9	21,5	20,2	335	484	410
Średnio; Mean		18,9	21,0	19,9	289	424	357
NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}		A – n.s.; B – 1,93; A×B – 1,41			A – 71,5; B – 96,5; A×B – 75,9		
Orange King	0	19,7	20,6	20,1	255	373	314
	30	19,9	21,5	20,7	277	410	344
	60	20,4	21,6	21,0	332	450	391
	90	20,6	21,7	21,1	371	488	430
	120	20,1	21,1	20,6	365	483	424
Średnio; Mean		20,1	21,3	20,7	320	441	380
NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}		A – n.s.; B – 1,12; A×B – 1,34			A – 73,4; B – 96,5; A×B – 66,4		
Persimmon Beauty	0	17,1	18,5	17,8	185	289	237
	30	17,9	19,1	18,5	230	324	277
	60	18,1	19,3	18,7	279	356	318
	90	18,4	19,4	18,9	289	356	323
	120	18,2	19,2	18,7	289	352	321
Średnio; Mean		17,9	19,1	18,5	254	335	295
NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}		A – n.s.; B – 1,04; A×B – 1,16; C – 1,35			A – 44,1; B – 74,2; A×B – 52,6; C – 59,7		

n.s. – różnica nieistotna; difference not significant

Wydajność tłuszczu jest funkcją plonu nasion i procentowej zawartości w nich lipidów. Ponieważ nawożenie potasem nie wpływało na zawartość tłuszczu, zróżnicowanie jego wydajności w zależności od dawki potasu było analogiczne do wielkości plonów nasion (tab. 4). Duże różnice omawianej wartości stwierdzono także między odmianami oraz latami badań. W korzystniejszym 2013 roku u wszystkich odmian uzyskiwano znacznie większą wydajność tłuszczu (średnio o 39%) niż w 2012 roku (tab. 4). Spośród odmian pod tym względem wyróżniała się ‘Orange King’ (charakteryzująca się najwyższymi plonami nasion oraz największą zawartością tłuszczu), która średnio z 2 lat miała o 29% wyższą wydajność tłuszczu niż ‘Persimmon Beauty’.

Spośród kwasów tłuszczowych o przydatności i wykorzystaniu oleju nagietka decydują izomery kwasu linołowego, tj. kwas α -nagietkowy oraz β -nagietkowy, których zawartość (określona jako suma CLNA) wahała się od 46,83% do 53,36% (tab. 5) i była zbliżona do wartości uzyskiwanych w podobnych do naszych warunkach klimatycznych przez Cromacka i Smitha (1998) (46,8%), Štolcovą (2004) (45,1%), Walisiewicz-Niezbalską i in. (2012) (53,4%) oraz Dulfa i in. (2013) (55,4%). Niższe zawartości tych kwasów podawane są przez Angelini i in. (1997) (36,7%) oraz Özgül-Yücel (2005) (29,5%), którzy prowa-

dził badania w warunkach klimatu śródziemnomorskiego. Z innych kwasów wielonienasyconych najwięcej było kwasu linołowego (średnio 33,90%). Spośród kwasów jednonienasyconych największy udział miał kwas oleinowy (5,91%), a z nasyconych – kwasy palmitynowy (4,06%) i stearynowy (2,67%) (tab. 5).

W naszym doświadczeniu nie stwierdzono wyraźnego wpływu nawożenia potasem na udział analizowanych kwasów tłuszczowych. Odnotowany niewielki wzrost zawartości CLNA okazał się statystycznie nieistotny (tab. 5). Większe zróżnicowanie pod względem tej zawartości odnotowano pomiędzy odmianami oraz w zależności od warunków meteorologicznych. Najwięcej pożądaných kwasów tłuszczowych gromadziła odmiana ‘Persimmon Beauty’ (53,36%). Wpływ warunków pogodowych na omawianą cechę był wyraźny na korzyść chłodniejszego sezonu wegetacyjnego w 2013 roku, co jest zgodne z wcześniejszymi badaniami autorki (Król i in., 2016).

WNIOSKI

1. Nawożenie potasem nagietka lekarskiego dodatnio wpływało na wysokość roślin oraz tworzenie koszyczków kwiatowych, a w konsekwencji także na plon nasion.

Tabela 5. Skład kwasów tłuszczowych [%] oleju z nasion nagietka lekarskiego
Table 5. Fatty acid composition [%] of pot marigold seed oil.

Czynnik Factor	Kwasy tłuszczowe; Fatty acids				ΣCLNA ^a
	kwas palmitynowy palmitic acid 16:0	kwas stearynowy stearic acid 18:0	kwas oleinowy oleic acid 18:1n9	kwas linolowy linoleic acid 18:2n6	
Dawka potasu; Dose of potassium [kg K·ha ⁻¹] (A)					
0	4,21	2,95	6,46	33,75	49,24
30	4,16	2,52	5,97	34,00	49,77
60	4,13	2,73	5,90	33,95	50,01
90	4,07	2,61	5,72	33,86	50,04
120	3,74	2,53	5,51	33,93	50,41
NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Rok; Year (B)					
2012	4,61	2,90	6,25	33,98	48,30
2013	3,56	2,37	5,57	33,68	51,48
NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}	0,86	0,58	0,51	n.s.	3,06
Odmiana; Cultivar (C)					
Tokaj	4,02	2,78	6,98	34,10	49,49
O. King	4,10	2,60	5,88	34,83	46,83
P. Beauty	4,06	2,53	4,87	32,52	53,36
NIR _{0,05} ; LSD _{0,05}	n.s.	n.s.	0,92	1,35	2,47
A × B	0,76	0,45	0,62	0,84	2,14
A × C	n.s.	0,38	0,54	0,97	2,75
B × C	0,62	0,56	0,73	1,43	2,61

^a Σ kwas α-nagietkowy i β-nagietkowy; Σ α-calendic and β-calendic
n.s. – różnica nieistotna; difference not significant

2. Najlepsze efekty produkcyjne nawożenia potasem nagietka lekarskiego uprawianego jako surowiec olejarski uzyskano przy dawkach 60–90 kg K·ha⁻¹ Nawożenie potasem nie miało wpływu na zawartość tłuszczu w nasionach i skład kwasów tłuszczowych. Cechy te w znacznym stopniu zależały od warunków pogodowych i odmiany.

3. Spośród porównywanych odmian, ‘Orange King’ i ‘Tokaj’ charakteryzowały się dobrymi plonami nasion oraz stosunkowo wysoką zawartością tłuszczu, zaś odmiana ‘Persimmon Beauty’ – najkorzystniejszym składem oleju.

PIŚMIENNICTWO

- Abadi J., Gerendás J., Sattelmacher B., 2008.** Effects of potassium supply on growth and yield of safflower as compared to sunflower. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(2): 272-280.
- Ahmed A., Ali F., Ali A., Ullah A., Naz R., Mahar A., Kalhor S.A., 2015.** Optimizing yield and quality of canola cultivars using various potash levels. *American Journal of Plant Sciences*, 6(8): 1233-1242.
- Al-Snafi A.E., 2015.** The chemical constituents and pharmacological effects of *Calendula officinalis* - A review. *Indian Journal of Pharmaceutical Science & Research*, 5(3): 172-185.
- 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. *Industrial Crops and Products*, 6: 313-323.
- AOCS, (American Oil Chemists' Society) 1997.** Preparation of methyl esters of fatty acids. Official Method Ce 2-66. Champaign (IL): AOCS Press.
- Bandurska H., Grzebisz W., Farat R., 2004.** Pierwiastki w środowisku. Potas. 4. Potas a stresy abiotyczne: susza. *Journal of Elementology*, 4(09): 37-48.
- Białek A., Teryks M., Tokarz A., 2014.** Sprzężone trieny kwasu linolenowego (conjugated linolenic acid-CLnA, super CLA) – źródła i działanie biologiczne. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 68: 1238-1250.
- Biermann U., Butte W., Holtgreffe R., Feder W., Metzger JO., 2010.** Esters of calendula oil and tung oil as reactive diluents for alkyd resins. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112: 103-109.
- Breemhaar H.G., Bouman A., 1995.** Harvesting and cleaning *Calendula officinalis*, a new arable oilseed crop for industrial application. *Industrial Crops and Products*, 4(4): 255-260.
- Cakmak I., 2005.** The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4): 521-530.
- Canvin T., 1965.** The effect of temperature on the oil content and fatty acid composition of the oils from several oil seed crops. *Canadian Journal of Botany*, 43: 63-69.
- Cheema M.A., Wahid M.A., Sattar A., Rasul F., Saleem M.F. 2012.** Influence of different levels of potassium on growth, yield and quality of canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Pakistan Journal of Agricultural Science*, 49(2): 163-168.
- Cromack H.T.H., Smith J.M., 1998.** *Calendula officinalis* - production potential and crop agronomy in southern England. *Industrial Crops and Products*, 7: 223-229.

- Dulf F.V., Pamfil D., Baciu A.D., Pinteau A., 2013.** Fatty acid composition of lipids in pot marigold (*Calendula officinalis* L.) seed genotypes. *Chemistry Central Journal*, 7: 8.
- Fotyma M., Mercik S., 1995.** Nawożenie a technologie uprawy roślin. ss. 233-295. W: *Chemia rolna*, PWN, Warszawa.
- Fotyma M., 2011.** Potas w agrosystemach. *Nawozy i Nawożenie*, 45: 5-78.
- Froment M., Mastebroek D., van Gorp K., 2003.** A growers manual for *Calendula officinalis* L. Plant Research International, Wageningen, The Netherlands, 11.
- Gesch R.W., 2013.** Growth and yield response of calendula (*Calendula officinalis*) to sowing date in the northern US. *Industrial Crops and Products*, 45: 248-252.
- Hashemabadi D., Mostofipour A.A., Berimavandi A.R., Kaviani B., Zarchini M., 2012.** Improvement of the yield and essential oils quantitative in calendula (*Calendula officinalis* L.) by using different planting arrangement and potassium fertilizer. *Journal of Ornamental and Horticultural Plants*, 2(3): 147-154.
- 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.). *Turkish Journal of Field Crops*, 18(1): 1-7.
- Król B., Paszko T., Król A., 2016.** Conjugated linolenic acid content in seeds of some pot marigold (*Calendula officinalis*, L.) cultivars grown in Poland. *Farmacja*, 64(6): 881-886.
- 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. *Prostaglandins, Leukotrienes & Essential Fatty Acids*, 89: 367-376.
- Mohamed M.A.H., Hassan H.A., 2006.** Effect of applying different levels of potassium fertilizer on growth, flower production, quality, and nutrients concentration of pot marigold plants grown under water stress conditions. *Minia Journal of Agricultural Research and Development*, 26(4): 717-749.
- Mozaffari S.N., Delkosh B., Rad A.S., 2012.** Effect of nitrogen and potassium levels on yield and some of the agronomical characteristics in Mustard (*Brassica juncea*). *Indian Journal of Science and Technology*, 5(2): 2051-2054.
- Özgül-Yücel S., 2005.** Determination of conjugated linolenic acid content of selected oil seeds grown in Turkey. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 82: 893-897.
- Rahmani H., Kalat S.M.N., Sinaki J.M., 2014.** Effect of sowing date and various potassium levels on quantitative yield of pot marigold medicinal plant (*Calendula officinalis* L.). *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 3(1): 112-115.
- Santos J.I., Silva T.R.B., Rogerio F., Santos R.F. Secco D., 2013.** Yield response in crambe to potassium fertilizer. *Industrial Crops and Products*, 43: 297-300.
- Sedghi M., Pirzad A., Amanpour-Balaneji B. 2011.** Light absorption and carotenoid synthesis of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) in response to phosphorous and potassium varying levels. *Notulae Scientia Biologicae*, 3(1): 46-50.
- Štolcová M., 2004.** *Calendula officinalis* as an oilseed crop for industrial use. 3rd Conference on medicinal, aromatic plants of southeast european countries. SPU Nitra, Slovenská Republika, Sep 5: 119-120.
- Walisiwicz-Niezbalska W., Patkowska-Sokoła B., Gwardiak H., Szulc T., Bodkowski R., Rózycki K., 2012.** Potencjalne surowce do otrzymywania bioaktywnych pochodnych tłuszczowych. *Przemysł Chemiczny*, 91(5): 1058-1063.
- Wilén R.W., Barl B., Slinkard A.E., Bandara M.S., 2004.** Feasibility of cultivation calendula as a dual purpose industrial oilseed and medicinal crop. *Acta Horticulturae*, 629: 199-206.
- Yuan G.F., Chen X.E., Li D., 2014.** Conjugated linolenic acids and their bioactivities: a review. *Food & Function*, 5(7): 1360-1368.

B. Król

EFFECT OF POTASSIUM FERTILIZATION ON YIELD, CONTENT AND FAT QUALITY OF POT MARIGOLD (*CALENDULA OFFICINALIS* L.) SEEDS

Summary

Pot marigold seed oil contains conjugated linolenic acids (CLNA) i.e. α - and β -calendic acid that may be utilized by pharmaceutical and chemical industries. The aim of our experiment with pot marigold was to determine how potassium fertilization affects seed yield, oil content and fatty acid composition. In a 2-year field experiment the effect of increasing doses of potassium (0, 30, 60, 90, 120 kg K ha⁻¹) on 3 pot marigold cultivars (Tokaj, Orange King, Persimmon Beauty) was compared. Potassium fertilization had a positive effect on plant growth and resulted in a marked increase of seed yields. Nevertheless, response to potassium fertilization varied from cultivar to cultivar: Persimmon Beauty gave a significant yield increase at doses of 30 and 60 kg K ha⁻¹, while Tokaj and Orange King needed more potassium (60 and 90 kg K ha⁻¹). Further increase in potassium application did not bring about any significant improvement of yields. Averaged across 2 years, cv. Orange King gave the highest yield (1.83 t ha⁻¹) and Persimmon Beauty (1.58 t ha⁻¹) the lowest. Cvs. Orange King and Tokaj had a high crude fat content (20.7% and 19.9%), while Persimmon Beauty yielded oil that was rich in desirable conjugated linolenic acids (i.e. α - and β -calendic acid) 53,36%. Fertilization with potassium did not affect either fat content or fatty acids composition. However, both traits markedly depended upon weather conditions during growth (especially during flowering and seed set).

key words: cultivar, agronomic efficiency, oil content, fatty acid composition, conjugated linolenic acids, calendic acid