

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

BEATA KRÓL

## **Plon i jakość nasion nagietka lekarskiego (*Calendula officinalis* L.) w zależności od zagęszczenia roślin w łanie**

Yield and quality of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) seeds depending on plant density in the field

**Streszczenie.** W doświadczeniu polowym (lata 2011–2013) określano wpływ zróżnicowanego zagęszczenia roślin (20, 40, 60, 80 i 100 szt·m<sup>-2</sup>) oraz rozstawy rzędów (25 i 40 cm) na wysokość i jakość plonu nasion dwóch odmian nagietka lekarskiego. Cechy morfologiczne roślin nagietka lekarskiego i elementy struktury plonu zależały głównie od warunków pogodowych w latach badań, zagęszczenia roślin oraz cech odmianowych, natomiast w niewielkim stopniu od rozstawy rzędów. Największy plon nasion (1895 kg·ha<sup>-1</sup>) oraz największą wydajność tłuszczu surowego (400 kg·ha<sup>-1</sup>) uzyskano w 2013 r., kiedy największe opady wystąpiły podczas intensywnego wzrostu roślin, a najmniejsze te wskaźniki odnotowano w 2012 r. (1515 kg·ha<sup>-1</sup> nasion i 297 kg·ha<sup>-1</sup> tłuszczu), który charakteryzował się najmniejszymi opadami w sezonie wegetacyjnym. Wzrastające zagęszczenie roślin powodowało zwiększenie wysokości roślin, ale jednocześnie zmniejszenie liczby koszyczków kwiatowych na roślinie oraz masy tysiąca nasion. Największe plony nasion obydwu odmian nagietka zapewniło zagęszczenie 60 roślin·m<sup>-2</sup>. Zawartość i jakość tłuszczu w największym stopniu różnicował przebieg pogody podczas formowania nasion. Korzystne warunki wodne w połączeniu z umiarkowanymi temperaturami sprzyjały gromadzeniu tłuszczu surowego oraz izomerów kwasu linolenowego (CLNA). Jakość nasion badanych odmian była zróżnicowana: nasiona ‘Orange King’ charakteryzowały się większą zawartością tłuszczu (21,1%), a odmiany ‘Tokaj’ – większym udziałem CLNA (49,97%). Rozstawa rzędów i zagęszczenie roślin nie miały wpływu na skład chemiczny nasion.

**Słowa kluczowe:** odmiana, rozstawa rzędów, wydajność tłuszczu, kwasy tłuszczowe, kwas nagietkowy

### WSTĘP

Surowcem zielarskim nagietka lekarskiego od dawna wykorzystywanym w różnych gałęziach przemysłu są kwiaty języczkowe lub całe kwiatostany. Unikatowy skład tłuszczu z nasion nagietka sprawia, że w ostatnich latach prowadzone są badania dotyczące wykorzystania jego nasion jako surowca olejarskiego. Obecne w tłuszczu izomery kwasu linolenowego (CLNA) sprawiają, że może on znaleźć zastosowanie w lecznictwie (w profilaktyce

i leczeniu chorób układu krążenia, nowotworów, redukcji tkanki tłuszczowej) [Li i in. 2013, Białek i in. 2014], w przemyśle spożywczym jako bioaktywny składnik żywności funkcjonalnej [Fontes i in. 2015] oraz w przemyśle chemicznym do produkcji polimerów oraz wysokiej jakości farb [Biermann i in. 2010].

Mając na uwadze takie wykorzystanie nagietka, prowadzone są badania nad udoskonaleniem jego agrotechniki w celu uzyskania wysokich i bardziej stabilnych w latach plonów nasion. Ważną częścią agrotechniki jest dobór odpowiedniego zagęszczenia roślin w łanie, które warunkuje nie tylko optymalny rozwój części wegetatywnych i systemu korzeniowego, ale wpływa również na elementy struktury plonu, w tym na plon nasion. Przeprowadzone dotychczas doświadczenia w tym zakresie obejmują głównie charakterystykę i plony koszyczków kwiatowych [Mili i Sable 2003, Crnobarac i in. 2009, Król 2013]. W dostępnej literaturze niewiele jest natomiast danych dotyczących uprawy nagietka na nasiona. Wobec znacznego zróżnicowania pod względem morfologicznym roślin nagietka w ustalaniu najbardziej efektywnego dla plonu nasion zagęszczenia roślin powinno się także uwzględnić zdolności kompensacyjne określonej odmiany nagietka.

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu zróżnicowanego zagęszczenia roślin i rozstawy rzędów na cechy morfologiczne roślin, elementy struktury plonu i wydajność nasion oraz zawartość i jakość tłuszczu dwóch odmian nagietka lekarskiego.

#### MATERIAŁ I METODY

Badania polowe przeprowadzono w latach 2011–2013 w gospodarstwie doświadczalnym Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Pole doświadczalne zlokalizowane było na glebie o składzie granulometrycznym pyłów gliniastych, kategorii ciężkości agronomicznej gleb średnich, zaliczanej do kompleksu pszennego dobrego. Charakteryzuje ją duża zasobność w przyswajalny fosfor ( $6,69\text{--}7,82\text{ mg P}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ), średnia w potas ( $12,6\text{--}13,2\text{ mg K}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ) i magnez ( $4,94\text{--}5,62\text{ mg Mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ) oraz obojętny odczyn ( $\text{pH } 6,8\text{--}7,2$  w  $1\text{ M KCl}$ ).

Doświadczenia założono w układzie split-split-plot w 4 powtórzeniach polowych. Eksperyment obejmował następujące czynniki: I – odmiany: ‘Tokaj’ i ‘Orange King’; II – rozstaw rzędów: 25 i 40 cm; III – zagęszczenie roślin: 20, 40, 60, 80 i 100 szt·m<sup>2</sup>. Wielkość poletek wynosiła 5 m<sup>2</sup>.

Bezpośrednio po zbiorze przedplonu (gorczyca biała) wykonano zespół uprawek pozniwnych i orkę siewną. Nawozy fosforowe (superfosfat pojedynczy) i potasowe (sól potasowa) zastosowano jesienią w dawce: P–31 i K–60 kg·ha<sup>-1</sup>, natomiast azot w ilości 80 kg N·ha<sup>-1</sup> (w formie 34% saletry amonowej) wniesiono wiosną w dwóch dawkach: przed siewem nasion oraz po przerywce roślin.

Siew nasion wykonano w poszczególnych latach trwania badań między 16–23 kwietnia, stosując normę siewu 10 kg·ha<sup>-1</sup>. Po wschodach wykonano przerywkę, pozostawiając do dalszego wzrostu określoną liczbę roślin. W późniejszym okresie wegetacji prowadzono zabiegi pielęgnacyjne, polegające na spulchnianiu gleby i ręcznym odchwaszczaniu. Zbiory przeprowadzono, gdy 60–70% nasion było dojrzałych (w pierwszej połowie sierpnia). Ze względu na nierównomierne dojrzewanie nasion, 5–9 dni przed zbiorem rośliny desykowano zgodnie z zaleceniami Fromenta i in. [2003]. Po omłocie i oczyszczeniu nasion określono wielkość ich plonu, który sprowadzono do wilgotności 10%, oraz masę 1000 sztuk powietrznie suchych nasion. Przed desykacją wybrano losowo 20 roślin z każ-

dego obiektu. Zmierzono wysokość roślin i wysokości osadzenia I kwiatostanu oraz określono liczbę koszyczków kwiatowych.

Nasiona z każdego obiektu były mielone oddzielnie w młynku ze stali nierdzewnej, po czym tłuszcz z 5 g 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  $\mu\text{m}$ , 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 zidentyfikowano na podstawie zestawu wzorców Supelco 37 Component FAME Mix oraz wzorców LGC.

Na podstawie uzyskanych wyników obliczono teoretyczną wydajność tłuszczu w przeliczeniu na powierzchnię 1 ha (plon nasion nagietka  $\times$  zawartość tłuszczu w nasionach).

Uzyskane wyniki poddano ocenie statystycznej, stosując analizę wariancji dla doświadczeń czynnikowych ortogonalnych w układzie split-split-plot. Istotność różnic pomiędzy wartościami cech testowano na podstawie półprzedziałów ufności Tukeya, przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

#### WYNIKI I DYSKUSJA

Układ warunków wilgotnościowo-termicznych w latach 2011–2013 był zróżnicowany i wywarł znaczący wpływ na przebieg vegetacji nagietka (tab. 1). W 2011 r. notowano największe opady, przy czym ich rozkład w sezonie vegetacyjnym był nierównomierny. Niedobory wilgoci w kwietniu i maju opóźniły wschody i wzrost roślin, natomiast bardzo duże opady były w lipcu i sierpniu (2-krotnie większe niż przeciętnie), w efekcie czego dojrzewanie nasion i ich zbiór były utrudnione. Sezon vegetacyjny 2012 r. charakteryzował się stosunkowo niewielkimi opadami oraz wysokimi temperaturami, co powodowało zahamowanie wzrostu i skrócenie vegetacji roślin. Najkorzystniejszy dla rozwoju nagietka przebieg pogody (równomiernie rozłożone opady i umiarkowane temperatury) odnotowano w 2013 r.

Zróżnicowane zagęszczenie roślin tylko nieznacznie modyfikowało tempo pojawiania się kolejnych faz rozwojowych nagietka, przy czym najsilniej zmieniało przebieg dojrzewania roślin. Rośliny rosnące w najmniejszym zagęszczeniu (20 szt. $\cdot\text{m}^{-2}$ ) dłużej kwitły, a ich nasiona później dojrzewały. Vegetacja nagietka była natomiast wyraźniej zróżnicowana w latach badań oraz pomiędzy odmianami. Najdłuższy okres vegetacji notowano w 2011 r. (średnio 124 dni), a najkrótszy w 2012 (104 dni). W przypadku nagietka uprawianego jako roślina oleista ważna jest długość kwitnienia. Długie kwitnienie, które jest pożądane u roślin ozdobnych, w uprawie na nasiona powoduje nierównomierne dojrzewanie nasion i problemy z określeniem optymalnego terminu zbioru. Dłuższy okres kwitnienia obserwowano u odmiany 'Tokaj' (o 4–12 dni w porównaniu z 'Orange King'). Szczególnie wyraźnie zjawisko to wystąpiło w obfitującym w opady 2011 r.

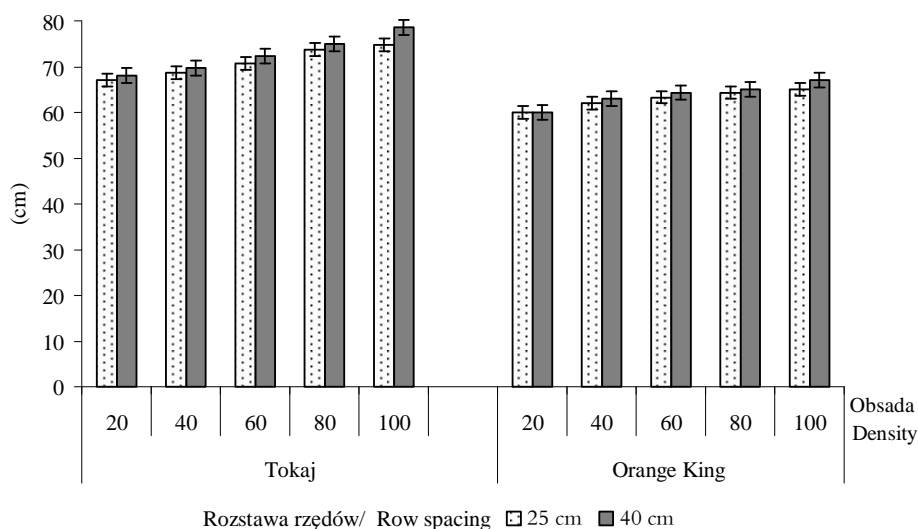
Tabela 1. Warunki pogodowe w latach 2011–2013 i w okresie wieloletnim (1971–2010)  
Table 1. Weather conditions in 2011–2013 and in a multiyear period (1971–2010)

Rok/ Year	Miesiąc/ Month					Średnia/ Mean
	IV	V	VI	VII	VIII	
Temperatura/ Air temperature (°C)						
2011	10,8	14,3	18,0	18,1	19,0	16,0
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
1971–2010	8,0	13,6	16,1	18,6	18,0	14,9
Opady/ Rainfall (mm)						Suma/ Total
2011	30	42	68	179	85	404
2012	34	56	53	52	38	233
2013	51	102	70	86	48	357
1971–2010	43	58	68	87	60	316

Tabela 2. Cechy morfologiczne nagietka lekarskiego przed zbiorem (średnie dla czynników doświadczenia i lat)  
Table 2. Pre-harvest morphological traits of the pot marigold (means of the experimental factors and years)

Czynnik Factor	Wysokość roślin Height of plants (cm)	Wysokość do I kwiatostanu Height to 1 <sup>st</sup> inflorescence (cm)	Długość strefy kwitnienia Length of florescence area (cm)
Odmiana/ Cultivar			
Tokaj	72	42	30
Orange King	63	39	24
NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	3,4	2,5	1,7
Rozstawa rzędów/ Row spacing (cm)			
25	67	40	27
40	68	41	28
NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	n.s.	n.s.	n.s.
Zagęszczenie roślin (szt.·m <sup>-2</sup> )/ Plant density (per 1 m <sup>2</sup> )			
20	64	34	30
40	65	36	29
60	68	40	28
80	70	45	25
100	73	50	23
NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	3,8	2,9	1,9
Lata/ Years			
2011	71	41	30
2012	61	38	23
2013	72	43	29
NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	3,9	2,2	1,8

n.s. – nieistotne statystycznie/ not significant difference



Rys. 1. Wysokość roślin nagietka lekarskiego (współdziałanie odmian, obsady i rozstawy rzędów); słupki błędów – najmniejsza istotna różnica ( $p = 0,05$ )

Fig. 1. Height of pot marigold plants (interactions between the cultivars, plant density, and row spacing); error bars – least significant difference ( $p = 0.05$ )

Czynnikami znacząco różnicującymi cechy morfologiczne, obok uwarunkowań pogodowych, były zagęszczenie roślin oraz genotyp. W mniejszym stopniu cechy te zależały od rozstawy rzędów (tab. 2). Stwierdzono, że wraz ze wzrostem obsady zwiększała się wysokość roślin i osadzenie I kwiatostanu, co prowadziło do zmniejszania się strefy kwitnienia (owocowania). Im większa jest długość strefy kwitnienia, tym bardziej nierównomiernie dojrzewają nasiona na roślinie, co powoduje większe straty plonu związane z osypywaniem się nasion. Dłuższą strefą kwitnienia charakteryzowały się rośliny 'Tokaj' (30 cm wobec 24 cm u 'Orange King'). Rośliny obydwu odmian rosnące w szerszej rozstawie rzędów (40 cm), przy tej samej obsadzie roślin na 1 m<sup>2</sup>, wykazywały tendencję do zwiększania wysokości, co było skutkiem większej konkurencji roślin w rzędzie o światło. Omawiane różnice okazały się jednak statystycznie istotne jedynie w przypadku odmiany 'Tokaj' w kombinacji z największą obsadą roślin, tj. 100 szt.·m<sup>-2</sup> (rys. 1).

Liczba koszyczków kwiatowych oraz dorodność nasion są elementami struktury plonu w znacznym stopniu determinującymi wydajność nasion nagietka [Król i Paszko 2017]. Wraz ze wzrostem zagęszczenia rośliny tworzyły mniej rozgałęzień, a w konsekwencji także mniej koszyczków kwiatowych (tab. 3). W przeliczeniu na jednostkę powierzchni (1 m<sup>2</sup>) najwięcej koszyczków zanotowano w obiektach o zagęszczeniu 60 roślin na 1 m<sup>2</sup> (tab. 3). Dalsze zwiększenie zagęszczenia (do 80 i 100 szt.·m<sup>-2</sup>) skutkowało u obydwu odmian mniejszą liczbą koszyczków na 1 m<sup>2</sup> na skutek redukcji ich liczby na roślinie. W przypadku odmiany 'Tokaj' uzyskane różnice były niewielkie i mieściły się w granicach błędu statystycznego, a u odmiany 'Orange King' stwierdzono istotnie mniejszą liczbę koszyczków przy obsadzie 100 szt.·m<sup>-2</sup> niż przy 60 szt.·m<sup>-2</sup> (rys.

2). Także w doświadczeniach Martina i Deo [2000] oraz Mili i Sable [2003] wraz ze zwiększaniem obsady roślin zmniejszała się liczba koszyczków kwiatowych na roślinie, przy czym wzrastała ich masa z jednostki powierzchni.

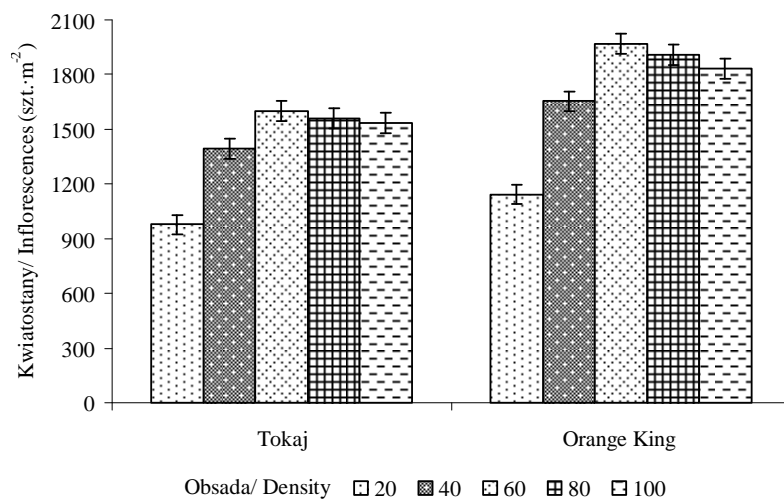
Zwiększenie rozstawy rzędów z 25 do 40 cm przy zachowaniu tej samej obsady roślin na 1 m<sup>2</sup> prowadziło do ograniczenia tworzenia pędów bocznych zakończonych kwiatostanami (na skutek zwiększonej obsady roślin w rzędach) (tab. 3). Siła oddziaływania odległości między rzędami zwiększała się w miarę wzrostu zagęszczenia roślin, przy czym statystycznie istotne różnice u obydwu odmian stwierdzono jedynie na obiektach, gdzie nagietek rósł w największym zagęszczeniu, tj. 100 roślin na 1 m<sup>2</sup> (rys. 3).

Tabela 3. Elementy struktury plonu nagietka lekarskiego (średnie dla czynników doświadczenia i lat)

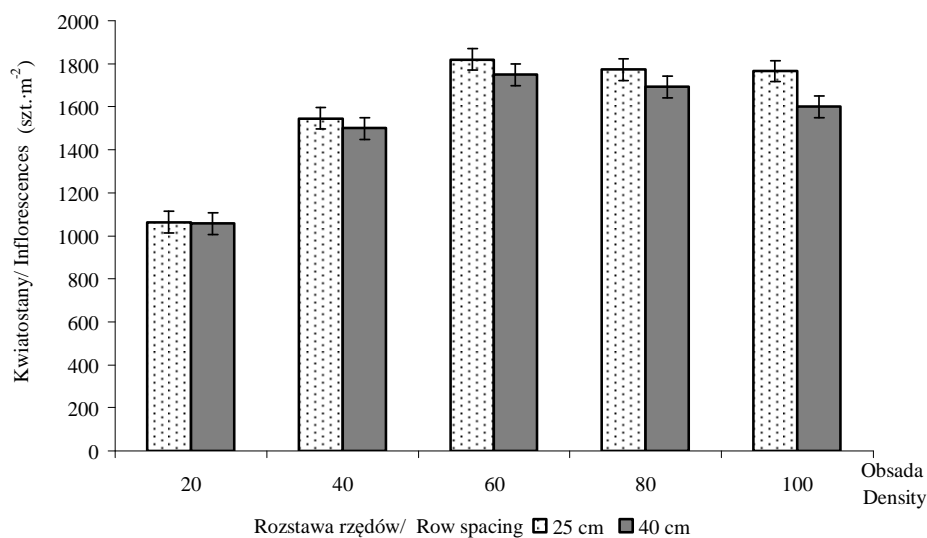
Table 3. Elements of the yield structure in the pot marigold (means of the experimental factors and years)

Czynnik Factor	Liczba koszyczków kwiatowych Number of flower heads		Masa 1000 nasion Weight of 1000 seeds (g)
	na roślinie per plant	na 1 m <sup>2</sup> per 1 m <sup>2</sup>	
Odmiana/ Cultivar			
Tokaj	29	1413	12,24
Orange King	35	1701	10,60
NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	4,1	100,2	0,82
Rozstawa rzędów/ Row spacing (cm)			
25	33	1594	11,49
40	31	1520	11,35
NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	n.s.	n.s.	n.s.
Zagęszczenie roślin/ Plant density (per 1 m <sup>2</sup> )			
20	53	1060	11,89
40	38	1523	11,75
60	30	1785	11,46
80	22	1733	11,16
100	17	1683	10,84
NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	5,8	119,6	0,603
Lata/ Years			
2011	34	1700	11,80
2012	26	1172	10,28
2013	36	1799	12,18
NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	4,9	113,7	0,91

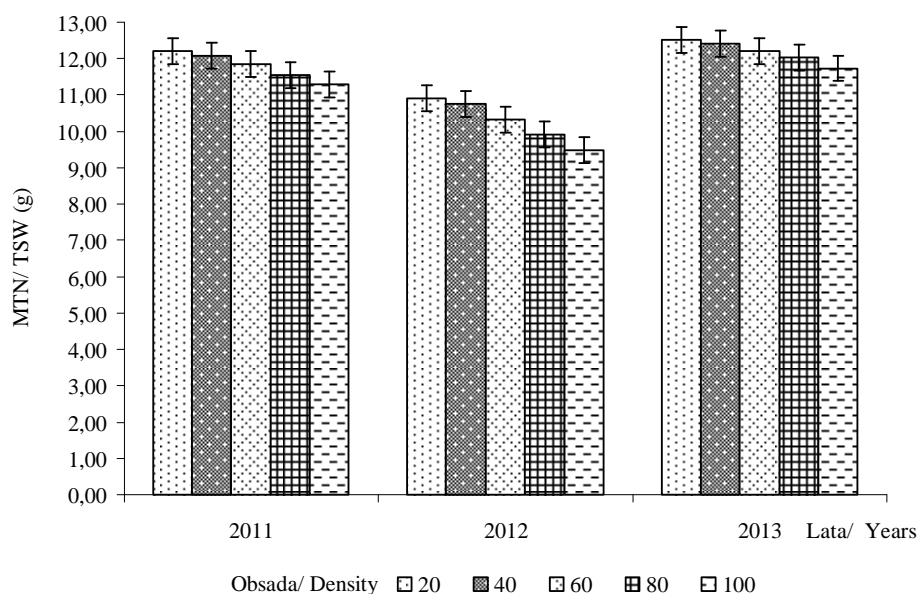
n.s. – nieistotne statystycznie/ not significant difference



Rys. 2. Liczba koszyczków kwiatowych nagietka na 1 m<sup>2</sup> – średnio z lat 2011–2013 (współdziałanie odmian i obsady roślin); słupki błędów – najmniejsza istotna różnica ( $p = 0,05$ )  
 Fig. 2. Number of flower heads of pot marigold per 1 m<sup>2</sup> – mean in 2011–2013 (interaction between the cultivars and plant density); error bars – least significant difference ( $p = 0.05$ )



Rys. 3. Liczba koszyczków kwiatowych na 1 m<sup>2</sup> w zależności od zagęszczenia i rozstawy rzędów (średnio dla odmian i lat); słupki błędów – najmniejsza istotna różnica ( $p = 0,05$ )  
 Fig. 3. Number of flower heads of pot marigold per 1 m<sup>2</sup> depending of plant density and row spacing (mean for cultivars and years); error bars – least significant difference ( $p = 0.05$ )



Rys. 4. Masa tysiąca nasion (MTN) nagietka lekarskiego (współdziałanie lat i obsady roślin); słupki błędów – najmniejsza istotna różnica ( $p = 0,05$ )  
 Fig. 4. Thousand-seed weight (TSW) of pot marigold (interactions between the years and plant density); error bars – least significant difference ( $p = 0.05$ )

Zróznicowana obsada roślin wywarła także wpływ na masę 1000 nasion. Rośliny tworzyły najbardziej dorodne nasiona przy najmniejszej obsadzie (20 szt. $\cdot$ m<sup>-2</sup>), a zwiększanie zagęszczenia roślin powodowało stopniowy spadek tej wartości (tab. 3). Warto podkreślić, iż ujemny wpływ zwiększonej obsady roślin na masę 1000 nasion był modyfikowany warunkami pogodowymi. W drugim roku badań, o najmniejszych opadach w okresie wegetacji, stwierdzono silniejszy związek pomiędzy zagęszczeniem roślin a dorodnością nasion (rys. 4). Wartość tej cechy nie zależała natomiast od rozstawy rzędów (tab. 3).

Udowodniono odmianowe zróżnicowanie cech morfologicznych nagietka. Rośliny odmiany 'Tokaj' były wyższe oraz wykształcały większe nasiona, natomiast odmiany 'Orange King' miały więcej rozgałęzień bocznych i koszyczków kwiatowych (tab. 2 i 3). Istotne zróżnicowanie wzrostu i rozwoju nagietka w zależności od genotypu obserwowali także Angelini i in. [1997], Cromack i Smith [1998], Król i Paszko [2017].

W prezentowanym doświadczeniu obsada roślin różnicowała istotnie plony nasion obydwu badanych odmian. Zdecydowanie najmniejsze plony otrzymano z poletek, na których nagietek rósł w zagęszczeniu 20 szt. $\cdot$ m<sup>-2</sup>. Średnio z 3 lat badań największe plony uzyskano przy obsadzie 60 roślin na m<sup>2</sup> (tab. 4). Zwiększenie zagęszczenia z 60 do 80 i 100 roślin na m<sup>2</sup> powodowało spadek plonu nasion, różnice te były jednak statystycznie istotne jedynie pomiędzy obsadą 60 i 100 szt. $\cdot$ m<sup>-2</sup>. Wykazano również interakcje obsady roślin  $\times$  lat  $\times$  odmiany, którą opisuje rysunek 5. W 2012 r., w którym ilość i rozkład opadów nie pokrywały wodnego zapotrzebowania nagietka, najbardziej plonotwórcza dla obydwu odmian była obsada 40 roślin na m<sup>2</sup>. W przypadku odmiany 'Tokaj' w 2011 r.



notowano istotny spadek plonu w kombinacji z obsadą 80 i 100 szt. $\cdot$ m<sup>-2</sup> w porównaniu z zagęszczeniem 60 roślin na m<sup>2</sup>, co było spowodowane wyleganiem roślin i stratami związanymi z osypywaniem się nasion.

Tabela 4. Plon nasion, zawartość oraz wydajność tłuszczu surowego (średnie dla czynników doświadczenia i lat)

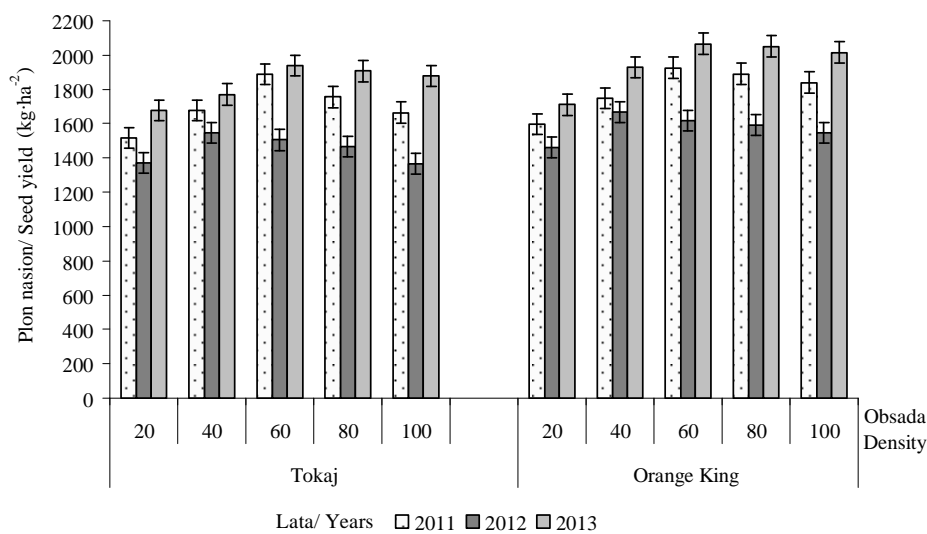
Table 4. Seed yield and the content and yield of crude fat (means of the experimental factors and years)

Czynnik Factor	Plon nasion Seed yield (kg $\cdot$ ha <sup>-1</sup> )	Zawartość tłuszczu Fat content (%)	Wydajność tłuszczu Fat yield (kg $\cdot$ ha <sup>-1</sup> )
Odmiana/ Cultivar			
Tokaj	1662	20,2	338
Orange King	1777	21,1	376
NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	98,4	0,81	27,8
Rozstawa rzędów/ Row spacing (cm)			
25	1741	20,6	360
40	1699	20,7	357
NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	n.s.	n.s.	n.s.
Zagęszczenie roślin/ Plant density (per 1 m <sup>2</sup> )			
20	1556	21,2	324
40	1723	21,1	359
60	1823	20,9	378
80	1777	21,0	368
100	1719	20,8	355
NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	103,2	n.s.	21,6
Lata/ Years			
2011	1750	21,4	374
2012	1515	19,6	297
2013	1895	21,1	400
NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	105,4	0,97	30,2

n.s. – nieistotne statystycznie/ not significant difference

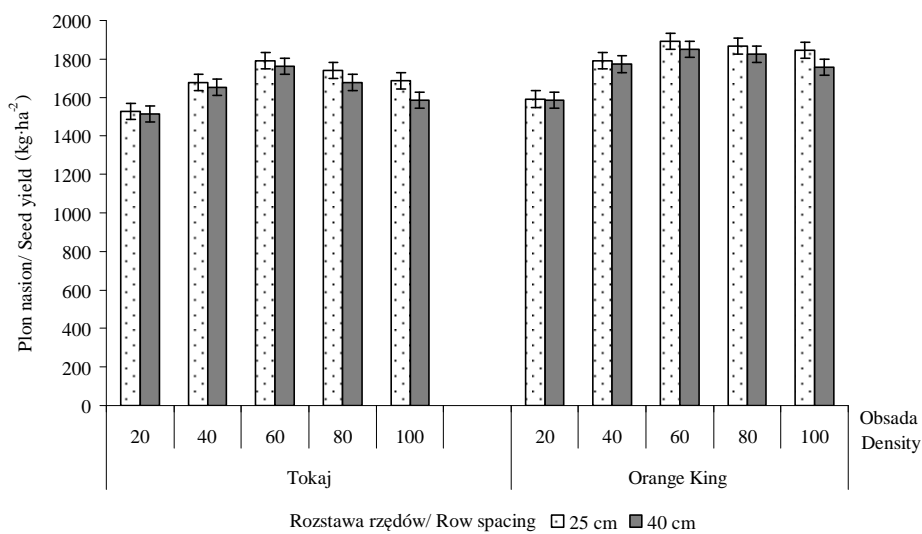
W dostępnym piśmiennictwie informacje dotyczące zagęszczenia roślin nagietka w uprawie na nasiona nie są jednoznaczne. Cromack i Smith [1998] oraz Froment i in. [2003] zalecają obsadę 40 roślin na 1 m<sup>2</sup>. W badaniach Martina i Deo [2000] największe plony koszyczków kwiatowych i nasion uzyskano przy zagęszczeniu 100 roślin na 1 m<sup>2</sup>, Seghatoleslami i Mousavi [2009] zaś jako optymalną podają obsadę 25 roślin na 1 m<sup>2</sup>.

W omawianym badaniu plon nasion był nieco większy w kombinacjach z węższymi międzyrzędziami, jednak uzyskane różnice mieściły się w granicach błędu statystycznego (tab. 4). Stwierdzono również interakcję pomiędzy obsadą roślin a szerokością międzyrzędzi. Uprawa w szerszych międzyrzędziach i przy dużym zagęszczeniu roślin (100 szt. $\cdot$ m<sup>-2</sup>) znacznie ograniczyła tworzenie koszyczków kwiatowych, co spowodowało istotny spadek plonów w porównaniu z węższymi międzyrzędziami (rys. 6).



Rys. 5. Plon nasion odmian nagietka w zależności od lat i obsady roślin (niezależnie od rozstawy rzędów); słupki błędów – najmniejsza istotna różnica ( $p = 0,05$ )

Fig. 5. Seed yield from the marigold cultivars depending on the years and plant density (irrespective of the row spacing); error bars – least significant difference ( $p = 0.05$ )



Rys. 6. Plon nasion badanych odmian nagietka w zależności od rozstawy rzędów i obsady roślin (średnio dla 3 lat); słupki błędów – najmniejsza istotna różnica ( $p = 0,05$ )

Fig. 6. Seed yield from the marigold cultivars depending on row spacing and plant density (mean for 3 years); error bars – least significant difference ( $p = 0.05$ )

W dostępnym piśmiennictwie niewiele jest doniesień na temat omawianej problematyki. Jak podaje Froment i in. [2003] nagietek w uprawie na nasiona można wysiewać w rozstawie rzędów od 12 do 50 cm w zależności od planowanego sposobu odchwaszczania plantacji.

Plonowanie nagietka lekarskiego w silnym stopniu zależało od przebiegu warunków pogodowych w poszczególnych sezonach wegetacyjnych (tab. 4, rys. 5). Największe plony nasion notowano w 2013 r, kiedy umiarkowane opady były korzystnie dla nagietka rozłożone w czasie, najmniejsze zaś w suchym i ciepłym 2012 r. Nagietek lekarski jest rośliną entomofilną [Ruiz de Clavijo 2005] i przebieg warunków pogodowych podczas kwitnienia i zapylania kwiatów może wpływać na plony nasion [Joly i in. 2013]. W lipcu 2011 r. wystąpiły bardzo duże opady deszczu (179 mm), które utrudniły obloty owadów zapylających, co mogło ograniczyć zapylanie kwiatów i przyczynić się do zmniejszenia produkcji nasion.

Zawartość tłuszczu surowego w dużym stopniu zależała od przebiegu pogody w latach badań oraz od odmiany. Obfite opady w latach 2011 i 2013 przy umiarkowanych temperaturach sprzyjały gromadzeniu tłuszczu. Znacznie mniej tłuszczu zawierała nasiona w suchym i upalnym 2012 r. (tab. 4). Podobne zależności wykazali również Król i Paszko [2017].

Ogólnie większą zawartością tłuszczu surowego charakteryzowała się odmiana 'Orange King' (21,1% wobec 20,2% u odmiany 'Tokaj'). Zróżnicowanie zawartości tłuszczu u poszczególnych odmian nagietka lekarskiego notowali także inni autorzy [Cromack i Smith 1998, Dulf i in. 2013, Król i in. 2016].

Zagęszczenie roślin na poletkach nie miało istotnego wpływu na zawartość tłuszczu w nasionach, co jest zgodne w wynikami Cromacka i Smitha [1998] oraz Shakiba i in. [2010]. Także wpływ rozstawy rzędów na badaną cechę był niewielki i nieistotny.

Wydajność tłuszczu w przeliczeniu na 1 ha była istotnie zróżnicowana pod wpływem zagęszczenia roślin i wynikała głównie z różnic w plonie nasion. Średnio z 3 lat badań najmniejszy plon tłuszczu stwierdzono w kombinacji z obsadą 20 roślin na 1 m<sup>2</sup>, a największy przy zagęszczeniu 60 roślin na 1 m<sup>2</sup> (tab. 4). Pod względem wydajności tłuszczu korzystniej prezentowała się odmiana 'Orange King', która charakteryzowała się zarówno większą plennością, jak i zawartością tłuszczu w nasionach. Nie udowodniono natomiast istotnych zależności pomiędzy rozstawami rzędów.

Wśród kwasów tłuszczowych oleju z nasion nagietka dominowały nienasycone kwasy szeregu C18 (tab. 5). Przebieg pogody i genotyp miały istotny wpływ na kształtowanie zawartości kwasów tłuszczowych. Analizując ważniejsze kwasy tłuszczowe, istotne różnice międzyodmianowe wykazano w odniesieniu do kwasu oleinowego, linolowego oraz izomerów kwasu linolenowego. Więcej CLNA i kwasu oleinowego zawierała odmiana 'Tokaj', a kwasu linolowego odmiana 'Orange King' (tab. 5). W 2012 r., w którym w okresie tworzenia i dojrzewania nasion notowano wysokie temperatury, stwierdzono najmniejszą zawartość CLNA (46,81% wobec 50,79% w 2011 r. i 49,04% w 2013 r.) (tab. 6). Taka reakcja może być spowodowana ograniczeniem (w warunkach wyższej temperatury) aktywności enzymu FAD2, biorącego udział w przemianie kwasu linolowego do kwasu nagietkowego [Cahoon i in. 2001]. Skład kwasów tłuszczowych oleju nagietka nie zależał natomiast od zagęszczenia roślin i rozstawy rzędów (tab. 6).

Tabela 5. Skład kwasów tłuszczowych oleju z nasion badanych odmian nagietka lekarskiego  
Table 5. Fatty acid composition of oil in pot marigold seed cultivars

Kwasy tłuszczowe Fatty acids (%)	Odmiana/ Cultivar	
	Tokaj	Orange King
$\sum$ 6:0 + 8:0 + 10:0 + 12:0	0,09	0,05
14:0 mirystynowy/ myristic	0,34	0,59
15:0 pentadekanowy/ pentadecylic	0,02	0,05
16:0 palmitynowy/ palmitic	4,14	3,93
17:0 margarynowy/ margaric	0,04	0,06
$\sum$ 15:1 + 16:1 + 17:1	0,06	0,13
18:0 stearynowy/ stearic	2,74	2,76
18:1n9c oleinowy/ oleic	6,63	5,88
18:1n7t wakcenyowy/ vaccenic	0,39	0,51
18:2n6 linolowy/ linoleic	33,56	35,77
18:3n3 $\alpha$ -linolenowy/ $\alpha$ -linolenic	0,55	0,26
18:3n6 $\alpha$ -nagietkowy/ $\alpha$ -calendic	45,72	42,94
18:3n6 $\beta$ -nagietkowy/ $\beta$ -calendic	4,25	4,85
$\sum$ CLNA <sup>a</sup>	49,97	47,79
20:0 arachinowy/ arachic	0,42	0,61
20:1 n9 gondoinowy/ gondoic	0,28	0,48
20:2n6 eikozadienowy/ eicosadienoic	0,06	0,04
20:3 n6 DGLA <sup>b</sup>	0,25	0,13
20:4n6 arachidonowy/ arachidonic	0,03	0,04
22:0 behenowy/ behenic	0,14	0,41
24:0 lignocerynowy/ lignoceric	0,29	0,51

<sup>a</sup> kwas  $\alpha$ -nagietkowy i  $\beta$ -nagietkowy/  $\alpha$ -calendic and  $\beta$ -calendic acid;

<sup>b</sup> kwas dihomog $\gamma$ -linolenowy/ dihomog $\gamma$ -linolenic acid

Z danych literaturowych wynika, że zawartość CLNA w oleju nagietka waha się w szerokich granicach od 29% [Özgül-Yücel 2005] do 59% [Janssens i Vernooij 2001]. Tak duże zróżnicowanie wynika przede wszystkim z cech odmianowych i warunków klimatycznych [Król i in. 2016]. W prezentowanych badaniach udział CLNA kształtował się na wysokim poziomie i wynosił średnio 48,88%, i był zbliżony 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].

Tabela 6. Skład kwasów tłuszczowych oleju z nasion nagietka lekarskiego (średnie dla rozstawy rzędów, zagęszczenia roślin i lat)

Table 6. Fatty acid composition in marigold seed oil (means for row spacing, plant density and years)

Czynnik Factor	Kwasy tłuszczowe/ Fatty acids (%)				
	16:0	18:0	18:1	18:2	CLNA
Rozstawa rzędów/ Row spacing (cm)					
25	4,09	2,69	6,15	34,84	48,74
40	3,98	2,80	6,36	34,39	49,02
NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Zagęszczenie roślin/ Plant density (per 1 m <sup>2</sup> )					
20	3,95	2,61	6,33	34,47	49,07
40	3,99	2,70	6,36	34,63	48,82
60	4,14	2,72	6,40	34,49	49,06
80	4,06	2,91	6,19	34,95	48,60
100	4,03	2,79	6,00	34,77	48,83
NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Lata/ Years					
2011	3,78	2,39	5,65	33,75	50,79
2012	4,49	3,10	6,92	35,71	46,81
2013	3,81	2,74	6,18	34,52	49,04
NIR <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	0,42	0,34	0,51	1,09	1,96

16:0 – kwas palmitynowy/ palmitic acid; 18:0 – kwas stearynowy/ stearic acid;

18:1 – kwas oleinowy/ oleic acid; 18:2 – kwas linolowy/ linoleic acid; CLNA –  $\sum$  kwas  $\alpha$ -nagietkowy i  $\beta$ -nagietkowy/  $\sum$   $\alpha$ -calendic and  $\beta$ -calendic acid;

n.s. – nieistotne statystycznie/ not significant difference

## WNIOSKI

1. Zagęszczenie roślin istotnie modyfikowało cechy morfologiczne nagietka. W miarę zwiększania obsady roślin istotnie malała liczba koszyczków kwiatowych na roślinie i masa tysiąca nasion, a zwiększała się wysokość roślin i osadzenie I kwiatostanu.

2. Zróżnicowany przebieg pogody w latach badań wpływał na wzrost i rozwój roślin oraz plon nasion. Największe plony uzyskano w trzecim roku badań, kiedy w czasie wegetacji roślin opady były równomiernie rozłożone, a temperatury powietrza – umiarkowane.

3. Plon nasion i wydajność tłuszczu obydwu odmian nagietka lekarskiego zależały od zagęszczenia roślin na m<sup>2</sup>, przy czym rozstawa rzędów nie miała wyraźnego wpływu na plon i jakość nasion.

4. Zawartość i jakość oleju (oceniana na podstawie składu kwasów tłuszczowych) nie zależała od zagęszczenia roślin w łanie, znaczący wpływ miał natomiast przebieg

pogody w sezonie wegetacyjnym i różnice odmianowe. Największą zawartość tłuszczu w nasionach oraz pożądanego kwasu nagietkowego (CLNA) stwierdzono w warunkach wilgotnej i chłodnej pogody 2011 r. Odmiana 'Orange King' odznaczała się większym plonem nasion i większą wydajnością tłuszczu, 'Tokaj' zaś wyższą jakością oleju.

#### PIŚMIEMMICTWO

- 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. Champaign (IL): AOCS Press.
- Białek A., Teryks M., Tokarz A., 2014. Sprzężone trieny kwasu linolenowego (conjugated linolenic acid – CLnA, super CLA) – źródła i działanie biologiczne. *Post. Hig. Med. Dosw.* 68, 1238–1250.
- 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  $\Delta^8$ ,  $\Delta^{10}$ -double bonds by  $\Delta^{12}$ -oleic-acid desaturase-related enzymes. Biosynthetic origin of calendic acid. *J. Biol. Chem.* 276, 2637–2643.
- Crnobarac J., Jaćimović G., Marinković B., Mircov V.D., Mrda J., Babić M., 2009. Dynamics of pot marigold yield formation depended by varieties and row distance. *Nat. Prod. Commun.* 4(1), 35–38.
- Cromack H.T.H., Smith J.M., 1998. *Calendula officinalis* – production potential and crop agronomy in southern England. *Ind. Crop. Prod.* 7, 223–229.
- Dulf F.V., Pamfil D., Baciú A.D., Pinteá A., 2013. Fatty acid composition of lipids in pot marigold (*Calendula officinalis* L.) seed genotypes. *Chem. Cent. J.* 7, 8.
- Fontes A.L., Pimentel L.L., Simões C.D., Gomes A.M., Rodríguez-Alcalá L.M., 2015. Evidences and perspectives in the utilization of CLNA isomers as bioactive compound in foods. *Critical Rev. Food Sci. Nutr.* DOI: 10.1080/10408398.2015.1063478.
- Froment M., Mastebroek D., van Gorp K., 2003. A growers manual for *Calendula officinalis* L. Plant Research International, Wageningen, 11.
- Janssens R.J., Vernooij W.P., 2001. *Calendula officinalis*: A natural source for pharmaceutical, oleochemical, and functional compounds. *Inform.* 12, 468–477.
- Joly R., Forcella F., Peterson D., Eklund J., 2013. Planting depth for oilseed calendula. *Ind. Crop. Prod.* 42, 133–136.
- Król B., 2013. Wpływ zagęszczenia roślin na plonowanie i jakość surowca nagietka lekarskiego (*Calendula officinalis* L.). *Annales UMCS, sec. E, Agricultura* 68(2), 42–49.
- 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.
- 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.
- 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  $\alpha$ -calendic acid and  $\beta$ -calendic acid. *Prostag. Leukotr. Ess.* 89, 367–376.
- Martin R.J., Deo B., 2000. Effect of plant population on calendula (*Calendula officinalis* L.) flower production. *N. Z. J. Crop Hortic. Sci.* 28, 37–44.

- Mili R., Sable A.S., 2003. Effect of planting density and nitrogen levels on growth and flower production of calendula (*Calendula officinalis* L.). *Ind. J. Hortic.* 60(4), 339–403.
- 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.
- Ruiz de Clavijo E., 2005. The reproductive strategies of the heterocarpic annual *Calendula arvensis* (Asteraceae). *Acta Oecol.* 28, 119–126.
- Seghatoleslami M.J., Mousavi G.R., 2009. The effects of sowing date and plant density on seed and flower yield of pot marigold (*Calendula officinalis* L.). *Acta Hortic.* 826, 371–376.
- Shakib A., Nejad A.R., Khalighi A.H.M., 2010. Changes in seed and oil yield of *Calendula officinalis* L. as affected by different levels of nitrogen and plant density. *Res. Crops* 11(3), 728–732.
- Walisiewicz-Niedbalska W., Patkowska-Sokoła B., Gwardiak H., Szulc T., Bodkowski R., Różyc-ki K., 2012. Potencjalne surowce do otrzymywania bioaktywnych pochodnych tłuszczowych. *Przem. Chem.* 91(5), 1058–1063.

**Summary.** The field experiment (2011–2013) was focused on the assessment of the impact of varied plant density (20, 40, 60, 80, and 100 plants·m<sup>-2</sup>) and row spacing (25 and 40 cm) on the size and quality of seed yields in two pot marigold cultivars. The morphological traits of pot marigold plants and elements of the yield structure were correlated primarily with the weather conditions prevailing over the study years, plant density, and varietal properties, but they only slightly depended on row spacing. The highest seed yield (1895 kg·ha<sup>-1</sup>) and crude fat yield (400 kg·ha<sup>-1</sup>) were obtained in 2013 characterised by the highest precipitation rates during the period of intensive plant growth, while the lowest values were noted in 2012 (1515 kg·ha<sup>-1</sup> seeds and 297 kg·ha<sup>-1</sup> fat), in which the lowest precipitation values during the vegetation season were reported. Increasing plant density contributed to an increase in the plant height and a simultaneous decline in the number of floral heads per plant and in the thousand-seed weight. The highest seed yields from both pot marigold cultivars were achieved at a density of 60 plants·m<sup>-2</sup>. The content and quality of fat were mainly determined by the weather conditions during the seed formation period. Favourable water conditions combined with moderate temperatures promoted the accumulation of crude fat and linolenic acid isomers (CLNA). The quality of the seeds differed between the studied cultivars: ‘Orange King’ seeds were characterised by a higher level of fat (21.1%), whereas the oil from the ‘Tokaj’ cultivar had a higher proportion of CLNA (49.97%). Row spacing and plant density did not affect the chemical composition of the seeds.

**Key words:** cultivar, row spacing, fat yield, fatty acids, calendic acid

Otrzymano/ Received: 17.05.2017  
Zaakceptowano/ Accepted: 7.07.2017