

## POSTĘP W PRACACH HODOWLANYCH NAD SYSTEMEM MĘSKIEJ STERYLNOŚCI POMIDORA Z GENEM *MS-10*

### PROGRESS IN THE BREEDING OF MALE STERILE TOMATO LINES WITH GENE *MS-10*

**Marzena Nowakowska, Małgorzata Wrześcińska, Ryszard Kosson,  
Urszula Kłosińska, Elżbieta U. Kozik**

Instytut Ogrodnictwa  
ul. Konstytucji 3 Maja 1/3, 96-100 Skierniewice  
elzbieta.kozik@inhort.pl

#### Abstract

The aim of the study conducted in 2012-2014 was to evaluate multi-breeding value of the tomato male-sterile lines (gene *ms-10*). Two (PWS 10, PWS 18) of the five tested lines showed the highest and most stable level of sterility. The good stability of sterility was also found in the two other *ms-10* lines (PWS 12, PWS 21), which displayed a low number of fruits with seeds. In the case of the last tested line (PWS 19), regardless of the research year, partially fertile plants were observed. A large variation among tested lines was demonstrated in terms of most analysed agrobotanical traits, as well as the content of basic chemical components and health-enhancing constituents.

Key words: agrobotanical traits, chemical components, sterility, tomato, breeding

#### WSTĘP

Cecha męskiej sterylności uwarunkowana jądrowymi genami *ms* jest jednym z mechanizmów zabezpieczających rośliny pomidora przed samozapyleniem. Opisano wiele mutantów typu *ms* (*ms-1* do *ms-46*) cechujących się różnym poziomem sterylności, będącej efektem deformacji pylników oraz ograniczeniami w wytwarzaniu pyłku. Za najbardziej przydatne w hodowli pomidora uważa się geny męskiej sterylności *ms-10* i *ms-32* (Michalska 1993). Męska sterylność uwarunkowana recesywnym genem *ms-10* determinuje występowanie anatomiczno-morfologicznych cech kwiatów z pylnikami niewytwarzającymi płodnego pyłku. Ponadto, ze względu na zredukowaną wielkość rurki pylnikowej, kwiaty mutantów typu *ms-10* charakteryzują się słupkami dłuższymi od pręcików, co eliminuje potrzebę usuwania pylników w trakcie zapylenia ręcznego (Shakya

i Scott 1983). Jednak, jak dowodzą liczne badania ekspresja tej cechy zależy od warunków środowiska oraz genotypu (Levin i in. 1994; Atanasova i Georgiev 2007).

Należy podkreślić, że mutanty typu *ms*, podobnie jak inne znane typy męskiej sterility u pomidora (*sl*, *ps*, *ps-2*, *ex*), nie spełniają wszystkich wymagań stawianych mutantom męskosterylnym (Stevens i Rick 1986). Wiele mutantów *ms* wytwarza sporadycznie pyłek, co może doprowadzić do samozapylenia. Ponadto mutanty te muszą być rozmnażane przez krzyżowanie z płodnymi heterozygotami, na skutek czego tylko połowa roślin może być uważana jako genotypy mateczne. Właściwość ta powoduje konieczność poszukiwania markerów, zarówno morfologicznych, jak i molekularnych, umożliwiających wczesną selekcję roślin męskosterylnych. Przeprowadzenie, a szczególnie przyspieszenie selekcji ułatwiają sprzężone z genami *ms* geny modyfikujące wytwarzanie antocyjanu lub blokujące jego syntezę (Michalska 1993). Jednym z takich genów jest gen *aa* warunkujący zielone zabarwienie hypokotylu (Tanksley i Zamir 1988). Gen ten zlokalizowany jest na chromosomie 2 pomidora w odległości 10 cM od genu *ms-10* (Mutchler i in. 1987).

W Zakładzie Genetyki, Hodowli i Biotechnologii Roślin Warzywnych Instytutu Ogrodnictwa w Skierniewicach prace nad wykorzystaniem cechy męskiej sterility, uwarunkowanej genem *ms-10* w hodowli pomidora prowadzone są od 2008 roku. W niniejszej pracy poddano ocenie wieloskładnikową wartość hodowlaną pięciu męskosterylnych linii pomidora *ms-10*, będących efektem końcowym kilkuletnich zabiegów hodowlanych prowadzonych w Instytucie Ogrodnictwa w Skierniewicach.

#### MATERIAŁY I METODY

Materiał badawczy stanowiły rośliny pięciu linii pomidora polowego (PWS 10, PWS 12, PWS 18, PWS 19 i PWS 21) z cechą męskiej sterility determinowaną genem *ms-10*. Linie te pochodzą z dwóch populacji pokolenia F<sub>2</sub> pomidora z genem *ms-10* (North Carolina State University, USA), z których wybrane rośliny sterylne przekrzyżowano z płodnymi liniami pomidora gruntowego o zróżnicowanych, korzystnych cechach użytkowych. Prace hodowlane przeprowadzone w latach 2010-2014 obejmowały coroczną, cykliczną selekcję oraz rozmnażanie wsobne najbardziej wartościowych pod względem użytkowym genotypów.

Badania prezentowane w niniejszej pracy wykonano w warunkach szklarniowych w cyklu wiosenno-letnim, w latach 2012-2014. W fazie sie-

wek rośliny oceniano pod względem występowania cechy zielonego hypokotylu (gen *aa*). Z każdej linii wytypowano siewki, które zaklasyfikowano do dwóch grup. Do pierwszej grupy należały rośliny zielono łodyżkowe (*aa*), które ze względu na sprzężenie zaklasyfikowano jako genotypy *ms-10*. W drugiej grupie znalazły się fioletowo łodyżkowe siewki (*Aa*, *AA*), które były dawcami pyłku dla roślin sterylnych. W każdym sezonie wegetacyjnym liczebność siewek w obu grupach wynosiła 15 i 5 z każdej badanej linii. Wybrane siewki wypikowano do doniczek wypełnionych substratem Kronen Mix, które ustawiano na parapetach w szklarni. Trzy tygodnie później rozsadę w fazie 4-5 liścia przeniesiono na miejsce stałe i ustawiono na matach kokosowych (3,2 rośliny na m<sup>2</sup>). Pielęgnację roślin w okresie uprawy prowadzono zgodnie z ogólnie przyjętymi zaleceniami dla pomidora.

### **Ocena poziomu sterylności i stabilności tej cechy u męskosterylnych linii pomidora *ms-10***

W każdym sezonie wegetacyjnym na sześciu kolejnych gronach każdej rośliny z cechą męskiej sterylności (*ms-10/ms-10*, *aa/aa*), w obrębie każdej z pięciu badanych linii notowano liczbę owoców beznasiennych i z nasionami, powstałych w wyniku samozapylenia spontanicznego (samoiestnego), oraz nasion. Poziom sterylności kwiatów poszczególnych linii określono biorąc pod uwagę następujące mierniki:

1. średnia liczba nasion z jednej rośliny,
2. średni procentowy udział owoców z nasionami w stosunku do owoców ogółem z jednej rośliny,
3. procentowy udział roślin powstałych w wyniku samozapylenia, u których obserwowano zawiązywanie owoców z nasionami.

### **Ocena wyrównania wewnątrzliniowego oraz zróżnicowania międzyliniowego męskosterylnych linii *ms-10* pod względem najważniejszych cech agrobotanicznych**

Na podstawie uzyskanych wyników dotyczących poziomu sterylności w obrębie każdej badanej linii *ms-10* przeprowadzono selekcję, wybierając do następnych etapów hodowli po 5 roślin całkowicie sterylnych (bez nasion). Ponadto, przy wyborze roślin zwracano uwagę również na ich pokrój, wigor oraz budowę i długość gron, preferując rośliny o otwartym pokroju, pojedynczych, zwartych i uporządkowanych gronach. Wyselekcjonowane rośliny męskosterylne (*ms-10/ms-10*, *aa/aa*) zapyłano ręcznie pyłkiem pochodzącym z roślin płodnych z cechą fioletowego hypokotyłu. W fazie dojrzałości zbiorczej owoców w laboratorium biometrycznym

oznaczono ich średnicę poziomą i pionową, masę, liczbę komórek nasieniowych, długość białego rdzenia na przekroju podłużnym oraz grubość ściany obwodowej (perykarpu) u 10 najbardziej typowych owoców z każdego wybranego pojedynka w obrębie linii. Dodatkowo przeprowadzono ocenę cech morfologicznych owoców takich jak: wielkość, kształt przekroju podłużnego, twardości po dwóch tygodniach przechowywania oraz wybarwienie zewnętrzne owocu, stosując metodykę CPVO TP/044/4 i wytyczne UPOV dotyczące badania odrębności, wyrównania i trwałości odmian ([www.coboru.pl](http://www.coboru.pl)). Na podstawie ilości zawiązanych nasion dokonano oceny zdolności do rozmnażania generatywnego męskosterylnych linii matecznych.

### **Ocena pod względem cech fizyko-chemicznych owoców linii pomidora z genem *ms-10***

W ostatnim roku badań owoce linii męskosterylnych oceniono pod względem cech fizyko-chemicznych. Do analiz pobierano dziesięć owoców w fazie dojrzałości zbiorczej. W przygotowanych próbkach oznaczano zawartość suchej masy metodą suszarkowo-wagową (suszenie w 104 °C przez 24 h), ekstraktu – metodą refraktometryczną z wykorzystaniem refraktometru HI 96801. Oznaczenie zawartości cukrów ogółem wykonano metodą Luffa-Schoorla (PN-A-75101-07:1990), natomiast witaminy C – metodą Tillmansa (Pijanowski i in. 1964). Kwasowość ogólną oznaczono metodą miareczkowania w obecności wskaźnika, wartość pH natomiast określano przy wykorzystaniu pH-metru CP-501 (PN-EN 1132:1999). Zawartość likopenu oznaczano uproszczoną metodą spektrofotometryczną (Czapski i Saniewski 1995), natomiast zawartość polifenoli rozpuszczalnych – metodą z odczynnikiem Folina-Ciocalteu'a (Lee i in. 1995; Vinson i in. 1998). Wszystkie analizy chemiczne wykonano w dwóch powtórzeniach.

Uzyskane wyniki, zarówno dla produktywności nasiennej, cech agrobotanicznych, jak i cech fizyko-chemicznych opracowano statystycznie metodą analizy wariancji, przy pomocy testu Duncana dla poziomu istotności  $\alpha = 0,05$ . Dla wartości każdej analizowanej cechy obliczono również odchylenie standardowe. Wyniki przedstawione na rys. 1 oraz w tabelach 2 i 3 są średnimi arytmetycznymi obliczonymi dla pięciu roślin z każdej badanej linii w doświadczeniu przeprowadzonym w ostatnim roku badań (2014).

## WYNIKI I DYSKUSJA

### Ocena poziomu sterylności i stabilności tej cechy u linii pomidora z genem *ms-10*

Na podstawie analizowanych mierników fenotypowych stwierdzono, że męskosterylne linie *ms-10* charakteryzowały się zróżnicowanym poziomem sterylności. Na przestrzeni trzech lat badań wykazano brak tendencji do wykształcania owoców z nasionami u dwóch (PWS 10, PWS 18) z pięciu badanych linii męskosterylnych, co wskazuje na ich całkowitą sterylność (tab. 1). Pozytywnie oceniono również dwie inne linie (PWS 12, PWS 21) o wysokiej sterylności kwiatów, u których stwierdzono stosunkowo niską liczbę zarówno nasion (odpowiednio: 2,9 i 19,1 szt./roślinę), jak i owoców nasiennych (odpowiednio: 0,1 i 3,3 szt./roślinę) – średnie wyniki z trzech lat badań. Warto również podkreślić, iż udział roślin z owocami nasiennymi u tych linii kształtował się na relatywnie niskim poziomie, przyjmując wartości od 4,5% (PWS 12) do 4,7% (PWS 21). W przypadku linii PWS 21 zanotowano wyraźny postęp w selekcji w kierunku wysokiego poziomu sterylności. Linia ta charakteryzowała się całkowitą sterylnością kwiatów przez dwa ostatnie lata badań. U linii PWS 12 zaobserwowano odwrotną tendencję: po dwóch latach całkowitej sterylności w ostatnim roku badań (2014) 13,4% roślin tej linii wykształciło owoce z nasionami, powstałe w wyniku samozapylenia spontanicznego. Wprawdzie u linii PWS 12, zarówno liczba owoców nasiennych (0,3 szt./roślinę), jak i nasion (8,8 szt./roślinę) kształtowała się na stosunkowo niskim poziomie, jednak brak stabilności pod względem sterylności u tej linii w 2014 roku nie wyklucza możliwości segregacji również w kolejnych pokoleniach. Najniższą sterylność i jednocześnie najmniejszą stabilność tej cechy zanotowano u linii PWS 19, w obrębie której, w zależności od roku badań, rośliny z owocami nasiennymi stanowiły od 14,3% (2013) do 26,7% (2014) (tab. 1). Z linii tej uzyskano istotnie wyższą liczbę nasion ze spontanicznego samozapylenia w stosunku do pozostałych linii, co świadczy o jej niższej sterylności.

Przeprowadzona w ostatnim roku badań ocena wybarwienia hypokotylu u roślin uzyskanych z nasion wyekstrahowanych ze wszystkich owoców linii PWS 12 i PWS 19 wykazała, że wszystkie rośliny charakteryzowały się zielonym hypokotyłem. Oznacza to, że nasiona te nie pochodziły z niekontrolowanego przekrzyżowania pyłkiem z roślin z fioletowym hypokotyłem (*AA*, *Aa*). Natomiast mogły one być wynikiem samozapylenia lub przepylecia obcym pyłkiem z innych roślin z zielonym hy-

pokotylem. Podobne wyniki otrzymali Radkova i in. (2009), którzy w badaniach na przestrzeni trzech lat w dwóch lokalizacjach, niezależnie od terminu uprawy roślin (wiosenny, letnio-jesienny), stwierdzili tendencję do wykształcania owoców z nasionami u linii *ms-10*. Wykonane przez nich analizy z wykorzystaniem markerów RAPD i SSR wykazały, iż tylko nieznaczny procent roślin (0-9,3%) pochodził z samozapylenia, a reszta z niekontrolowanego zapylenia obcym pyłkiem. Za prawdopodobną przyczynę tego zjawiska autorzy podali łatwiejszy dostęp obcego pyłku do znamienia słupka wystającego ponad rurkę pręcikową w kwiatach linii *ms-10*.

Tabela 1. Poziom sterylności męskosterylnych linii pomidora z genem *ms-10* w latach 2012-2014

Table 1. Sterility level of male sterile tomato lines with gene *ms-10* in 2012-2014

Linia Line	Rok Year	Średnia liczba z rośliny Average number from plant		Liczba roślin zawiązu- jących nasiona Number of plants with seeds (%)
		owoców nasiennych seed fruits (%)	nasion seeds	
PWS 10	2012	0,0	0,0	0,0
	2013	0,0	0,0	0,0
	2014	0,0	0,0	0,0
	Średnia; Mean	0,0	0,0	0,0
PWS 12	2012	0,0	0,0	0,0
	2013	0,0	0,0	0,0
	2014	0,3	8,8	13,4
	Średnia; Mean	0,1	2,9	4,5
PWS 18	2012	0,0	0,0	0,0
	2013	0,0	0,0	0,0
	2014	0,0	0,0	0,0
	Średnia; Mean	0,0	0,0	0,0
PWS 19	2012	5,9	79,8	25,0
	2013	10,6	135,7	14,3
	2014	3,5	49,3	26,7
	Średnia; Mean	6,7	88,3	22,0
PWS 21	2012	10,0	57,4	14,3
	2013	0,0	0,0	0,0
	2014	0,0	0,0	0,0
	Średnia; Mean	3,3	19,1	4,7

Zróznicowanie poziomu sterylności w badanym materiale roślinnym świadczy wyraźnie o wpływie genotypu na ekspresję tej cechy. Potwierdza to również badania Gardnera (2000), który nie odnotował obecności żadnej rośliny pochodzącej z samozapylenia po przebadaniu ponad kilku tysięcy roślin mieszańca  $F_1$ , uzyskanego w oparciu o mateczną męskosterylną linię NC 2C (*ms-10*, *aa*), jednocześnie wykazując wysoką stabilność badanej linii. Natomiast badania innych autorów wskazują na różnice w poziomie sterylności u różnych linii *ms-10* w zależności od warunków środowiska (Bistra Atanassova, Institute of Genetics, Bulgaria; Veronique Lafebvre, INRA, France – kontakt osobisty).

Fakt, iż w badaniach własnych odnotowano obecność roślin częściowo płodnych u niektórych linii męskosterylnych, pomimo corocznie prowadzonej ścisłej selekcji pod kątem zielonego wybarwienia hypokotyłu oraz całkowitej sterylności, może wskazywać również na brak wystarczająco bliskiego sprzężenia genów *ms-10* oraz *aa*. W takim przypadku selekcja oparta tylko na morfologicznym markerze wybarwienia hypokotyłu nie będzie wiarygodna. To wymusza konieczność prowadzenia dalszych badań nad identyfikacją markerów DNA silnie sprzężonych z genem *ms-10*.

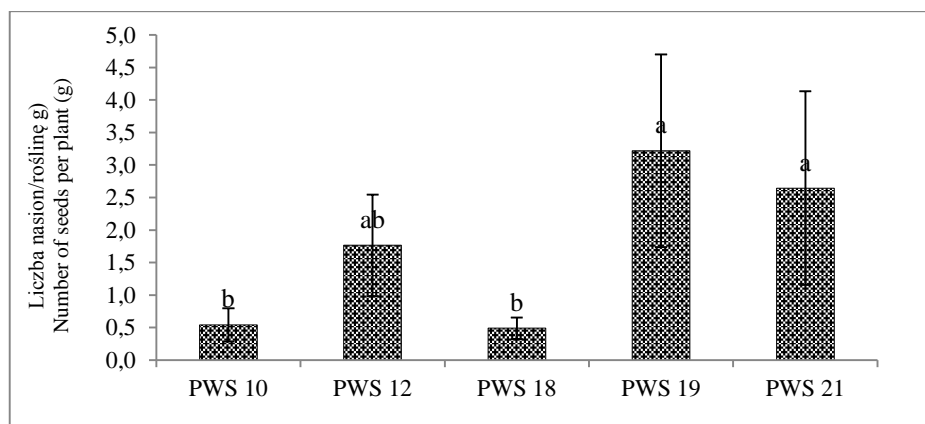
### **Ocena wyrównania wewnątrzliniowego oraz zróżnicowania międzyliniowego badanych linii *ms-10* pod względem najważniejszych cech użytkowych**

Jedną z najważniejszych cech linii/odmian pomidora jest ich wysoka produktywność w rozmnażaniu generatywnym. Rośliny męskosterylne z genem *ms-10*, podobnie jak inne mutanty typu *ms* i *ex*, charakteryzują się niższą niż linie płodne wydajnością nasion przy produkcji odmian heterozyjnych (Atanassova i Georgiev 2007). W pracach hodowlanych prowadzi się więc intensywną selekcję w kierunku większej wydajności nasiennej tych linii.

Analiza produktywności nasiennej pomiędzy liniami *ms-10* wykazała istotne różnice pod względem tej cechy (rys. 1). Najwyższą wydajnością tworzenia nasion charakteryzowały się linie PWS 19 (3,2 g/roślinę) oraz PWS 21 (2,7 g/roślinę). W następnej kolejności należy wymienić linię PWS 12, u której stwierdzono wprawdzie niższą produktywność nasienną (1,8 g/roślinę), ale w porównaniu z wcześniej wymienionymi liniami różnice nie były istotne. Najniższą zdolność do rozmnażania generatywnego (0,5 g/roślinę) wykazały linie PWS 10 i PWS 18, które pod względem tej cechy znacząco ustępowały pozostałym liniom.

Średnia produktywność nasiennej wszystkich linii męskosterylnych wyniosła 1,7 g/roślinę, co stanowi ponad dwukrotnie niższą wydajność

tworzenia nasion w stosunku do linii płodnych (3,8 g/roślinę, dane nieprezentowane). Należy dodać, że w przypadku każdej badanej linii obserwowano zróżnicowanie wewnątrzliniowe w produktywności nasiennej (rys. 1). Konieczne jest dlatego dalsze prowadzenie selekcji w obrębie linii męskosterylnych celem poprawienia tej cechy w następnych pokoleniach hodowlanych. Podjęcie takich prób jest niezwykle ważne w przypadku dwóch linii o najniższej produktywności nasiennej (PWS 10, PWS 18), które jednocześnie wyróżniły się spośród wszystkich badanych linii najwyższym i najbardziej stabilnym poziomem sterylności.



Słupki błędów pokazują odchylenie standardowe.

Vertical bars at each column signify the standard deviation.

Kolumny oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie wg testu Duncana ( $\alpha = 0,05$ ). Columns designated with the same letters do not significantly differ according to Duncan procedure ( $\alpha = 0,05$ ).

Rys. 1. Produktywność nasienna przy zapyleniu krzyżowym męskosterylnych linii pomidora z genem *ms-10*

Fig. 1. Seed productivity of tomato male sterile lines with *ms-10* gene after cross pollination

Porównanie wartości najważniejszych cech agrobotanicznych wykazało, iż badane linie z cechą męskiej sterylności warunkowanej genem *ms-10* charakteryzowały się znacznym, a więc pożądanym szczególnie dla efektu heterozji w mieszańcach  $F_1$ , poziomem zróżnicowania międzyliniowego pod względem większości analizowanych cech morfologicznych roślin i owoców (tab. 2).

Linie męskosterylne wykształciły średniej wielkości owoce o masie handlowej w granicach 66-70 g (PWS 18, PWS 19) bądź owoce drobne



w typie cherry o masie 21-30 g (PWS 10, PWS 12) (tab. 2). Wyjątek stanowiła linia PWS 21, której owoce były znacznie większe, o średniej masie owocu 123 g. Wyraźne różnicowanie między liniami odnotowano również w kształcie owoców. Zarówno linie PWS 10, jak i PWS 12 wykształcały owoce okrągłe, lekko spłaszczone, natomiast pozostałe trzy linie (PWS 18, PWS 19, PWS 21) cechowały się owocem mniej lub bardziej wydłużonym, o kształcie prostokątnym bądź sercowatym. Ocenie poddano również twardość owocu, która jest niezwykle ważną cechą jakościową wpływającą na możliwości transportowe oraz przechowalnicze odmian, na którą zwraca się szczególną uwagę w hodowli heterozyznej. Po dwóch tygodniach przechowywania najwyższą twardością owocu cechowały się linie: PWS 10, PWS 12 i PWS 18, ze wskaźnikiem twardości na poziomie 8,0-8,6. Pozostałe linie wykształciły owoce o średniej twardości (wskaźnik twardości 5,2-7,4). Inną cechą różnicującą linie była grubość ściany owocu, która wahała się od 0,52 cm (PWS 12) do 0,83 cm (PWS 21). Poza tym wszystkie badane linie charakteryzowały się intensywnym, czerwonym wybarwieniem owocu, o gładkiej skórcie pozbawionej drobnych koncentrycznych spękań, z ładnym połyskiem.

Analiza poziomu wyrównania wewnątrzliniowego przeprowadzona w ostatnim roku badań (2014) wykazała stosunkowo wysoki poziom homogeniczności badanych linii męskosterylnych pod względem większości analizowanych cech morfologicznych roślin i owoców. U dwóch linii (PWS 19, PWS 21) odnotowano największą zmienność wewnątrzliniową masy wytwarzanych owoców (tab. 2). Natomiast linia PWS 12 charakteryzowała się dużym zróżnicowaniem kształtu owocu, różnice obejmowały nawet pięć klas bonitacji (od owocu lekko spłaszczonego, przez okrągły do sercowatego). Ponadto u dwóch linii (PWS 12, PWS 19) stwierdzono segregację pod względem wzrostu roślin na samokończące oraz o wzroście ciągłym (dane nieprezentowane). Ze względu na konieczność prowadzenia dalszej homozygotyzacji badanego materiału przeprowadzono selekcję pod względem pożądanых cech użytkowych w obrębie każdej segregującej linii. Do następnych etapów hodowli wytypowano pojedyncze genotypy o najkorzystniejszych cechach użytkowych.

### **Ocena owoców męskosterylnych linii pomidora z genem *ms-10* pod względem cech fizykochemicznych**

Wyniki analizy chemicznej owoców męskosterylnych linii pomidora z genem *ms-10* wskazują na ich wysoką wartość odżywczą i prozdrowotną, a także na znaczne zróżnicowanie międzyliniowe pod względem tych cech (tab. 3).

Tabela 2. Cechy morfologiczne owoców męskosterylnych linii pomidora z genem *ms-10*  
 Table 2. The fruit morphological traits of male sterile tomato lines with gene *ms-10*

Cechy morfologiczne owocu Fruit – morphological traits	Linia; Line					NIR <sub>0,05</sub> LSD <sub>0,05</sub>
	PWS 1	PWS 12	PWS 18	PWS 19	PWS 21	
	Średnia ± odchylenie standardowe; Mean ± S.D.					
Średnia masa owocu (g) Average fruit weight (g)	20,7 ± 9,1	29,6 ± 10,8	65,6 ± 1,4	69,9 ± 28,2	123,0 ± 16,5	
Wielkość owocu <sup>1</sup> Fruit size <sup>1</sup>	2,6 ± 0,8	2,5 ± 0,7	3,4 ± 1,4	3,7 ± 1,2	5,1 ± 0,7	1,80
Kształt przekroju podłużnego <sup>2</sup> Fruit shape in longitudinal section <sup>2</sup>	5,5 ± 0,4	4,6 ± 1,7	3,3 ± 0,3	2,2 ± 0,2	2,6 ± 0,3	1,57
Współczynnik kształtu <sup>3</sup> Shape ratio <sup>3</sup>	0,71 ± 0,05	0,95 ± 0,09	1,06 ± 0,03	1,18 ± 0,03	1,11 ± 0,05	0,10
Barwa owocu <sup>4</sup> Fruit colour <sup>4</sup>	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	ns**
Liczba komór nasiennych Number of locules	2,0 ± 0,0	2,8 ± 0,6	4,6 ± 1,5	4,7 ± 0,2	4,6 ± 0,4	1,24
Twardość owocu <sup>5</sup> Fruit hardness <sup>5</sup>	8,0 ± 0,4	8,6 ± 0,2	8,5 ± 0,4	7,4 ± 2,0	5,2 ± 1,0	1,98
Długość rdzenia (cm) Core length (cm)	1,3 ± 0,2	1,1 ± 0,2	1,1 ± 0,5	1,1 ± 0,4	1,4 ± 0,2	0,61
Grubość perykarpu (cm) Pericarp thickness (cm)	0,53 ± 0,08	0,52 ± 0,09	0,56 ± 0,11	0,62 ± 0,15	0,83 ± 0,02	0,18

<sup>1</sup> wielkość owocu (1 – bardzo mały do 9 – bardzo duży); fruit size (1 – very small to 9 – very large); <sup>2</sup> kształt przekroju podłużnego (1 – spłaszczony do 11 – odwrotnie sercowaty); fruit shape in longitudinal section (1 – flattened to 11 – cordate); <sup>3</sup> współczynnik kształtu (stosunek długości do szerokości); shape ratio (ratio length/width); <sup>4</sup> barwa owocu (1 – kremowa do 6 – brązowa); fruit colour (1 – cream to 6 – brown); <sup>5</sup> twardość owocu (1 – bardzo miękki do 9 – bardzo twardy); fruit hardness (1 – very soft to 9 – very hard),

\*Odchylenie standardowe; \*\*Brak istotnych różnic; \*\*No significant differences

Tabela 3. Zawartość wybranych składników chemicznych owoców męskosterylnych linii pomidora z genem *ms-10*  
 Table 3. Contents of selected chemical components in tomato fruits of male sterile lines with gene *ms-10*

Składniki chemiczne ± odch. std.* Chemical components ± SD*	Linia; Line					NIR <sub>0,05</sub> LSD <sub>0,05</sub>
	PWS 10	PWS 12	PWS 18	PWS 19	PWS 21	
Sucha masa (%) Dry matter (%)	10,48 ± 0,1	9,14 ± 0,2	8,93 ± 0,0	10,87 ± 0,0	7,81 ± 0,1	0,32
Ekstrakt (%) Extract (%)	9,1 ± 0,1	7,3 ± 0,1	7,5 ± 0,0	9,0 ± 0,0	6,5 ± 0,0	0,19
Witamina C (mg·100 g <sup>-1</sup> ś.m.) Vitamin C (mg·100 g <sup>-1</sup> f.w.)	17,30 ± 0,3	22,91 ± 0,3	16,43 ± 0,6	29,20 ± 0,3	20,16 ± 0,4	1,10
Kwasowość czynna (pH) Acidity (pH)	4,40 ± 0,0	4,41 ± 0,0	4,51 ± 0,0	4,40 ± 0,0	4,43 ± 0,0	0,01
Kwasow. miarczkowa (g kw. cytr.·100 g <sup>-1</sup> ) Titratable acidity (g citr. acid·100 g <sup>-1</sup> )	0,48 ± 0,0	0,56 ± 0,0	0,47 ± 0,0	0,50 ± 0,0	0,52 ± 0,0	0,01
Cukry ogółem (%) Total sugars (%)	5,63 ± 0,1	4,06 ± 0,0	4,53 ± 0,0	5,77 ± 0,0	3,69 ± 0,0	0,15
Likopen (mg·100 g <sup>-1</sup> ś.m.) Lycopene (mg·100 g <sup>-1</sup> f.w.)	11,49 ± 0,3	6,59 ± 0,6	6,16 ± 0,0	6,71 ± 0,3	3,32 ± 0,1	8,57
Fenole rozpuszcz. (mg·100 g <sup>-1</sup> ś.m.) Soluble phenols (mg·100 g <sup>-1</sup> f.w.)	35,00 ± 1,1	36,60 ± 1,1	29,88 ± 1,3	35,62 ± 0,5	30,02 ± 0,8	2,65

\*Odchylenie standardowe; \*Standard deviation (SD)

Najważniejszym parametrem chemicznym, decydującym w znacznym stopniu o przydatności danej odmiany do przetwórstwa, jest zawartość suchej masy oraz ekstraktu. Najwyższą zawartością suchej masy w prowadzonych badaniach wyróżniły się linie PWS 10 (10,5%) oraz PWS 19 (10,9%), natomiast zawartość ekstraktu w badanych liniach wahała się w granicach od 6,5 do 9,1%. Według Polskiej Normy (PN-91/R-75368) wartość ekstraktu w owocach przeznaczonych do przetwórstwa powinna wynosić powyżej 5-6%. Z własnych badań wynika, iż wszystkie linie spełniają te wymagania. Zalewska-Korona i in. (2013) w swoich pracach uzyskały niższe wartości suchej masy, w granicach od 5,34 do 6,61% dla ośmiu odmian pomidora gruntowego. Z kolei w badaniach Hallmann i Rembiałkowskiej (2008) średnia zawartość suchej masy dla czterech odmian, w zależności od typu uprawy, wynosiła 5,09% w przypadku uprawy ekologicznej lub 5,0% w uprawie konwencjonalnej.

Wyniki prezentowanych badań wskazują, iż podłoże genetyczne linii istotnie determinuje zawartość karotenoidów, w tym likopenu w owocach pomidora. Najwyższą zawartością likopenu wyróżniły się owoce linii PWS 10 (11,4 mg·100 g<sup>-1</sup>), przewyższając dwukrotnie pod względem tej cechy pozostałe linie. Wynik ten jest zbliżony z zawartością tego związku w trzech odmianach pomidora gruntowego: 'Bohun' (10,63 mg·100 g<sup>-1</sup>), 'Falkorosso' (12 mg·100 g<sup>-1</sup>), 'Golem' (11,91 mg·100 g<sup>-1</sup>) oznaczoną przez innych autorów (Zalewska-Korona i in. 2013). Nieco niższe ilości likopenu podaje Hallmann i Rembiałkowska (2008), najwyższą zawartością likopenu wyróżniły się owoce odmiany 'Kmicic' (10,63 mg·100 g<sup>-1</sup> w uprawie konwencjonalnej, 9,66 mg·100 g<sup>-1</sup> w uprawie ekologicznej).

Najwyższą zawartością witaminy C cechowały się owoce linii PWS 19 (29,2 mg·100 g<sup>-1</sup>), natomiast najniższą zawartość tego składnika odnotowano w linii PWS 18 (16,43 mg·100 g<sup>-1</sup>). W badaniach innych autorów (Zalewska-Korona i in. 2013; Odriozola-Serrano i in. 2008) zawartość tego składnika była znacząco niższa i wahała się odpowiednio: od 12,82 mg·100 g<sup>-1</sup> do 20,51 mg·100 g<sup>-1</sup> oraz od 6,96 mg·100 g<sup>-1</sup> do 21,23 mg·100 g<sup>-1</sup>.

Badane linie istotnie różniły się pod względem zawartości cukrów ogółem, które są niezwykle istotnym składnikiem ekstraktu miąższu owoców pomidora. Im większa ich zawartość, tym smaczniejsze owoce. Największą zawartością tego składnika cechowały się owoce dwóch linii: PWS 10 (5,63%) oraz PWS 19 (5,77%), natomiast najmniej cukrów ogółem zawierała linia PWS 21 (3,69%). Podobne wyniki (4,07-5,07%) uzyskali inni badacze (Gajc-Wolska i in. 2000). Znacznie niższą zawartość

cukrów ogółem w badanych odmianach pomidora (1,37-2,37%) podają Zalewska-Korona i in. (2013) oraz Obuchowicz i Kowalczyk (2006). Podobne wyniki przedstawiają również Hallman i Rembiałkowska (2008), które w zależności od typu uprawy uzyskały następujące wartości cukrów ogółem: 1,50-2,75% w uprawie ekologicznej oraz 0,19-2,82% w uprawie konwencjonalnej.

Na odpowiednio zrównoważony smak owoców oprócz zawartości cukrów wpływa również zawartość kwasów organicznych (głównie kwas cytrynowy), a dokładnie odpowiednia proporcja pomiędzy cukrami a kwasami. Jak podaje Babik (1997) dla potrzeb przetwórczych powinna ona wynosić co najmniej 7 : 1 (cukry : kwasy organiczne). Warto podkreślić, iż wszystkie badane przez nas linie spełniają to kryterium, a u trzech (PWS 10, PWS 18, PWS 19) stosunek ten mieścił się w przedziale od 10 : 1 do 12 : 1.

W badanych liniach kwasowość owoców mieściła się w granicach od 0,47 do 0,56 g kw. cytr. · 100 g<sup>-1</sup> produktu, natomiast odnotowane wartości pH były zbieżne i wynosiły od 4,40 do 4,51. Według Hallmann i Rembiałkowskiej (2008) kwasowość dla pomidorów z uprawy ekologicznej wynosiła od 0,41% do 0,83%, natomiast z uprawy konwencjonalnej od 0,38 do 0,93%. Niższe wartości tej cechy (od 0,21 do 0,4%) w swoich badaniach uzyskali Zalewska-Korona i in. (2013) oraz Jabłońska-Rys i Zalewska-Korona (2009) (od 0,25 do 0,46%). Odriozola-Serrano i in. (2008) podają kwasowość na poziomie 0,34-0,59%.

Zawartość związków biologicznie aktywnych jest zależna od wielu czynników, takich jak: sposób uprawy, warunki klimatyczne i glebowe, stopień dojrzałości owoców (Zalewska-Korona i in. 2013). Ponieważ badania nasze przeprowadzone były w warunkach szklarniowych, należy przypuszczać, że zawartość badanych związków jest cechą genetyczną danej linii.

#### PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Najwyższy i jednocześnie najbardziej stabilny poziom sterylności na przestrzeni trzech lat badań stwierdzono u dwóch z pięciu badanych linii *ms-10*: PWS 10 i PWS 18, u których nie obserwowano tendencji do zawiązywania owoców z nasionami, co świadczy o braku u nich płodnego pyłku. Z tego względu linie te mogą zostać wykorzystane w hodowli nowych odmian populacyjnych lub heterozyjnych pomidora, a także posłużyć jako źródło genu *ms-10* do wyprowadzenia nowych materiałów wyjściowych. Dobrą stabilność cechy męskiej sterylności

stwierdzono również w przypadku dwóch innych linii *ms-10*: PWS 12 i PWS 21, które wykształcały niewielką liczbę nasion (odpowiednio: 2,9 i 19,1 szt./roślinę). W przypadku piątej linii PWS 19, pomimo corocznie prowadzonej intensywnej selekcji pod względem najwyższego poziomu sterylności, obserwowano występowanie roślin z nasionami w każdym roku badań. Ze względu na niską przydatność w hodowli takie niestabilne linie o częściowej płodności należy eliminować z dalszego procesu badań.

2. Ze względu na niską i niezadawalającą produktywność nasienną linii *ms-10* należy prowadzić badania w kierunku podwyższenia zdolności do rozmnażania generatywnego, która jest jednym z najważniejszych czynników decydujących o efektywności i opłacalności produkcji nasiennej odmian/linii.
3. Badane linie z cechą męskiej sterylności warunkowanej genem *ms-10* charakteryzowały się znacznym, a więc pożądanym, szczególnie dla efektu heterozji w mieszańcach  $F_1$ , poziomem zróżnicowania międzyliniowego pod względem większości analizowanych cech morfologicznych roślin i owoców. Jednak, ze względu na stosunkowo dużą zmienność wewnątrzliniową pod względem niektórych badanych cech agrobotanicznych, większość linii wymaga poddania dalszym procesom hodowlanym w celu doprowadzenia do wyższego poziomu homozygotyczności.
4. Wykazano istotne zróżnicowanie pod względem analizowanych cech fizykochemicznych owoców w zależności od tła genetycznego linii. Linie PWS 10 i PWS 19 odznaczały się najkorzystniejszymi parametrami podstawowego składu chemicznego, uwzględniając zawartość suchej masy (powyżej 10,5%), ekstraktu ogółem (powyżej 9,0%) oraz cukrów ogółem (powyżej 5,6%). Ponadto u linii PWS 10 stwierdzono największą zawartość likopenu ( $11,5 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ), natomiast owoce linii PWS 19 okazały się najbardziej zasobne w witaminę C ( $29,2 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ).

## Literatura

- Atanassova B., Georgiev H. 2007. Expression of heterosis by hybridization. Genetic improvement of solanaceous crops. vol. 2: Tomato. Science Publishers, USA, s. 113-152. DOI: 10.1201/b10744-5.
- Babik I. 1997. Pomidory gruntowe. PWRiL, Warszawa.

- Czapski J., Saniewski M. 1995. The effect of methyl jasmonate vapour on some characteristics of fruit ripening, carotenoids and tomatine changes in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Acta Agrobotanica* 48(2): 27-35. DOI: 10.5586/aa.1995.012.
- Gajc-Wolska J., Skąpski H., Szynczak J.A. 2000. Chemical and sensory characteristic of the fruits of eight cultivars of field grown tomato. *Acta Physiologia Plantarum* 22(3): 369-373. DOI: 10.1007/s11738-000-0058-6.
- Gardner R.G. 2000. A male-sterile cherry tomato breeding line, NC 2C *ms-10*, *aa*. *HortScience* 35(5): 964-965.
- Hallmann E. Rembiałkowska E. 2008. Ocena wartości odżywczej i sensorycznej pomidorów oraz soku pomidorowego z produkcji ekologicznej i konwencjonalnej. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 53(3): 88-95.
- Jabłońska-Ryś E., Zalewska-Korona M. 2009. Ocena przydatności do przetworstwa owoców pomidora gruntowego nowych linii hodowlanych. *Mat. Ogólnopol. Konf. Nauk. „Postęp w technologii uprawy warzyw psiankowatych”*, Skierniewice, s. 63-64.
- Lee Y., Howard L.R., Villalón B. 1995. Flavonoids and antioxidant activity of fresh pepper (*Capsicum annuum*) cultivars. *Journal of Food Science* 60(3): 473-476. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1995.tb09806.x.
- Levin I., Cahaner A., Rabinowitch H.D., Elkind Y. 1994. Effects of the *ms10* gene, polygenes and their interaction on pistil and anther-cone lengths in tomato flowers. *Heredity* 73: 72-77. DOI: 10.1038/hdy.1994.100.
- Michalska A. 1993. Hodowla pomidora. W: Niemirowicz-Szczytt K. (red.), *Hodowla roślin warzywnych*. Wydawnictwo SGGW, s. 132-167.
- Obuchowicz A., Kowalczyk K. 2006. Warunki uprawy a plon i jakość pomidorów. *Hasło Ogrodnicze* 2: 102-104.
- Odrizola-Serrano I., Soliva-Fortuny R., Martin-Belloso O. 2008. Effect of minimal processing on bioactive compounds and color attributes of fresh-cut tomatoes. *LWT – Food Science and Technology* 41(2): 217-226. DOI: 10.1016/j.lwt.2007.03.002.
- PN-91/R-75368. Warzywa świeże. Badanie jakości.
- PN-A-75101-07:1990. Przetwory owocowe i warzywne. Oznaczenie zawartości cukrów i ekstraktu bezcukrowego.
- PN-EN 12147:2000. Soki owocowe i warzywne. Oznaczanie kwasowości miarczkowej.
- PN-EN 1132:1999. Soki owocowe i warzywne. Oznaczanie pH.
- Pijanowski E., Mrożewski S., Horubała A. 1964. *Technologia produktów owocowych i warzywnych*; t. 1. PWRiL Warszawa, s. 719.

- Radkova M., Balacheva E., Atanassova B., Iantcheva A., Atanassov A. 2009. Study on the potential of genic male sterility in tomato as a tool for pollen flow restriction. *Biotechnology & Biotechnological Equipment* 23(3): 1303-1308. DOI: 10.1080/13102818.2009.10817658.
- Shakya S.M., Scott J.W. 1983. Influence of flower maturity and environment on hybrid and selfed seed production of several tomato genotypes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 108(5): 875-878.
- Stevens M.A., Rick C.M. 1986. Genetics and breeding. W: Atherton J.G., Rudich J. (red.), *The tomato crop*. Chapman and Hall, New York, s. 35-109.
- Tanksley S.D., Zamir D. 1988. Double tagging of a male-sterile gene in tomato using a morphological and enzymatic marker gene. *HortScience* 23: 387-388.
- Vinson J.A., Hao Y., Su X., Zubik L. 1998. Phenol antioxidant quantity and quality in foods: Vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46(9): 3630-3634. DOI: 10.1021/jf980295o.
- Zalewska-Korona M., Jabłońska-Ryś E., Michalak-Majewska M. 2013. Wartości odżywcze i prozdrowotne owoców pomidora gruntowego. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna* 46(2): 200-205.

Opracowanie wykonano w ramach zadania 6.9 „Ocena wartości użytkowej dwóch systemów męskiej sterylności cytoplazmatycznej i cytoplazmatyczno-jądrowej roślin kapustowatych, marchwi oraz męskiej sterylności pomidora” Programu Wieloletniego „Rozwój zrównoważonych metod produkcji ogrodniczej w celu zapewnienia wysokiej jakości biologicznej i odżywczej produktów ogrodniczych oraz zachowania bioróżnorodności środowiska i ochrony jego zasobów”, finansowanego przez MRiRW.