

LESZEK DOMAŃSKI
EWA ZIMNOCH-GUZOWSKA
MARIA DOMAŃSKA
HENRYKA JAKUCZUN

Zakład Genetyki i Materiałów Wyjściowych Ziemniaka
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Oddział Młochów

Efekt heterozji diploidalnego rodu ziemniaka DG.97-943 typu „cold-chipping” tworzącego gamety $2n$

The effect of heterosis of diploid potato clone DG.97-943 of cold chipping type and producing $2n$ gametes

W 2004 roku, w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Oddział Młochów, oceniono przydatność diploidalnego rodu DG.97-943 do tworzenia wartościowych tetraploidalnych materiałów hodowlanych typu „cold chipping” w drodze krzyżowań interploidalnych $4x-2x$. Przedmiotem badań było potomstwo dwóch rodzin, pochodzących z krzyżowań diploidalnego rodu DG.97-943 z tetraploidalnymi rodami M-62741 i M-62805. Każdą rodzinę, reprezentowaną przez 15 rodów, porównano do rodziców i dwóch odmian Saturna i Snowden, stanowiących wzorzec dobrej przydatności do przetwórstwa na chipsy. Ocenianymi cechami bulw były: ogólny i handlowy plon bulw, zawartość skrobi, głębokość oczek, barwa chipsów wytwarzanych bezpośrednio z bulw przechowywanych w $4-6^{\circ}\text{C}$ przez trzy miesiące. W badanych potomstwach stwierdzono heterozję ogólnego i handlowego plonu bulw. Średni ogólny plon bulw potomnych mieszańców przekraczał plon o 8,8% w porównaniu do wyżej plonującego rodzica oraz o 29,1% w odniesieniu do tetraploidalnego wzorca. Frekwencja klonów typu „cold chipping”, tj. klonów o jasnej barwie chipsów po przechowaniu bulw w niskich temperaturach $4-6^{\circ}\text{C}$ (oceny $\geq 6,4$, odm. Snowden) i jednocześnie o poziomie cech użytkowych i odpornościowych (PVY, PLRV) przekraczającym wartości progowe w półrodzeństwie $4x-2x$ rodu DG.97-943 wynosiła 12,6%, podczas gdy w potomstwach $4x-4x$ równolegle ocenianych innych rodziców $4x$ wynosiła przeciętnie 3,6%.

Słowa kluczowe: barwa chipsów, gamety $2n$, heterozja, hodowla ziemniaka

In 2004, at the Młochów Research Centre of Plant Breeding and Acclimatization Institute, the ability of the diploid parental line DG.97-943 was assessed to generate valuable tetraploid breeding material of cold chipping type using interploid hybridization $4x-2x$. The progeny of two families originated from crosses of the parental line DG.97-943 with tetraploid clones M-62741 and M-62805 was used for the study. Each family, represented by 15 clones was compared to the parents and two cultivars Saturna and Snowden, being the standards of good suitability for processing into chips. The following traits of tubers tested were: total and marketable yield, starch content, depth of eyes, colour

of chips produced directly from tubers stored at 4–6°C for three months. The heterosis was found for total and marketable tuber yield in the tested progenies. Mean total yield of tetraploid hybrids from the 4x–2x crosses exceeded that for better parent by 8.8 per cent and that for tetraploid standard by 29.1 per cent. The frequency of cold chipping clones having light chip colour after cold storage at 4–6°C (scores ≥ 6.4 , cv. Snowden) and the level of agronomic and resistance (PVY, PLRV) traits above target values in 4x–2x half sib family of the clone DG.97-943 was 12.6 per cent, while in the 4x-4x progenies of other 4x parents tested at the same time was 3.6 per cent on average.

Key words: chip colour, 2n gametes, heterosis, potato breeding

WSTĘP

Prace hodowlane na diploidalnym poziomie doprowadziły do uzyskania złożonych mieszańców międzygatunkowych ziemniaka, które łączą odporność na podstawowe patogeny z wysoką przydatnością bulw do przetwórstwa na chipsy bezpośrednio po przechowaniu bulw w niskich temperaturach i jednocześnie posiadają zdolność do tworzenia męskich gamet (2n) o niezredukowanej liczbie chromosomów (McHale i Lauer, 1981; Zimnoch-Guzowska, 2003; Jakuczun i Wasilewicz-Flis, 2004). Tego typu diploidalne rody stanowią nową generację materiałów wyjściowych do hodowli odmian. Wygodnym i bardzo efektywnym narzędziem do przeniesienia potencjału genetycznego diploidalnych komponentów rodzicielskich na potomstwo tetraploidalne z ograniczoną rekombinacją jest krzyżowanie interploidalne 4x-2x (Zimnoch-Guzowska i Dzięwońska, 1989; Thill i Peloquin, 1995; Hayes i Thill, 2002; Zimnoch-Guzowska, 2003).

Celem prezentowanych badań była wstępna ocena przydatności diploidalnego rodu DG.97-943 do tworzenia wartościowych materiałów hodowlanych typu „cold chipping” tj., takich, z których można produkować chipsy o jasnej barwie bezpośrednio z bulw przechowywanych w niskiej temperaturze 4-6°C.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono na potomstwie uzyskanym z przekrzyżowania diploidalnego rodu DG.97-943 typu „cold chipping” o funkcjonalnych męskich gametach 2n z dwoma tetraploidalnymi formami męcznymi M-62741, M-62805. Diploidalna forma ojcowska DG.97-943 powstała w efekcie 6 cykli hodowli rekombinacyjnej i teoretycznie zawiera w swoim rodowodzie około 69,5% *Solanum tuberosum*, 9,4% *S. phureja*, 9,3% *S. gourlayi*, 9,0% *S. chacoense*, 2,8% *S. yungasense*. Ród ten charakteryzuje się wysoką zawartością skrobi, jasną barwą chipsów zarówno po przechowaniu bulw w 4–6°C, jak i po zabiegu rekondycjonowania, poprawną morfologią bulw oraz niską skłonnością bulw do zielenienia w ekspozycji świetlnej. Ród DG.97-943 wykazuje wysoką odporność na: wirus X ziemniaka, *Phytophthora infestans*, *Synchytrium endobioticum*, *Globodera rostochiensis* (patotyp Ro1) oraz podwyższoną odporność na zgnilizny mieszane (*Erwinia* spp. i *Fusarium* sp.).

Formy męczne M-62741 i M-62805 charakteryzują się średnią zawartością skrobi (15,7–15,9%) oraz jasną barwą chipsów po zabiegu rekondycjonowania. Zestaw cech

odpornościowych obydwu rodów obejmuje odporność na: wirusy ziemniaka Y i X, *S. endobioticum* oraz *G. rostochiensis* (patotyp Ro1) (Domański i in., 2004 a).

Każda rodzina reprezentowana była w doświadczeniu polowym przez 15 nieselekcjonowanych rodów i została porównana do rodziców oraz dwóch odmian wzorcowych Saturna i Snowden. Odmiany te są uznanym międzynarodowym wzorcem dobrej przydatności do przetwórstwa na chipsy. W 2004 roku porównywane obiekty wysadzono na polu doświadczalnym Oddziału IHAR Młochów na 3-krzakowych poletkach, w dwóch powtórzeniach, w układzie bloków losowych kompletnych. W sąsiedztwie doświadczenia z mieszańcami krzyżowań 4x-2x wysadzono również jako materiał porównawczy ramsz z krzyżowań 4x-4x, w skład którego wchodziły półrodzeństwa tetraploidalnych rodów PS-1750 i H-33 oraz odmian Jupiter i Snowden. Osobniki w liczbie 455 z krzyżowań 4x-4x pochodziły z następujących krzyżówek: PS-1750 × Tokaj (60 klonów); PS-1750 × M-16 (100 klonów); Jupiter × PS-1742 (30 klonów); Jupiter × M-16 (90 klonów); Snowden × M-16 (55 klonów); Snowden × M-62805 (20 klonów); H-23 × Tokaj (25 klonów); H-73 × M-16 (75 klonów). Zastosowano typowy dla plantacji produkcyjnych ziemniaka jadalnego program nawożenia i ochrony przed agrofagami. Ocenianymi cechami bulw były: ogólny i handlowy plon bulw, zawartość skrobi, głębokość oczek, barwa chipsów wytwarzanych bezpośrednio z bulw przechowywanych w 4-6°C przez trzy miesiące. Chipsy produkowano laboratoryjnie, wycinając z 4 bulw / poletko po cztery plasterki o grubości 1,6 mm, które smażyono w frytownicy (wyposażonej w termoregulator) w oleju roślinnym do głębokiego smażenia, w temperaturze 180°. Barwę chipsów oceniano wizualnie w skali 1–9 wg kart barwnych IBVL (Wageningen), gdzie: 9 = ocena najlepsza.

Statystyczne opracowanie wyników obejmowało analizę wariancji oraz oszacowanie efektu heterozji w stosunku do średniej wartości rodziców ($\bar{SR}$), a także do lepszego rodzica (LR) i do średniej wartości tetraploidalnego wzorca (Saturna, Snowden). Frekwencję klonów typu „cold chipping”, tj. klonów o jasnej barwie chipsów po przechowaniu bulw w niskich temperaturach 4°–6°C (oceny $\geq$ oceny odm. Snowden) i jednocześnie o poziomie cech użytkowych i odpornościowych (PVY, PLRV) przekraczającym wartości progowe w półrodzeństwie 4x-2x rodu DG.97-943 oraz w potomstwie, równolegle ocenianych tetraploidalnych rodziców porównano za pomocą testu χ -kwadrat.

WYNIKI I DYSKUSJA

Analiza wariancji wykazała istotne zróżnicowanie badanych obiektów, zarówno rodów, jak i rodziców w obydwu ocenianych rodzinach pod względem pięciu cech (tab. 1). Zmienność „rodzice a rody” była istotna w przypadku ogólnego i handlowego plonu bulw, co świadczy o wystąpieniu heterozji tych cech. Pod względem ogólnego plonu bulw potomstwo kombinacji rodzicielskiej M-62741 × DG.97-943 przewyższało lepszego rodzica o 5,2%, natomiast potomstwo kombinacji M-62805 × DG.97.943 o 12,1% (tab. 2). Przewaga potomstwa pod względem tej cechy w porównaniu do średniej odmian wzorcowych Saturna i Snowden była znacząca i wyniosła odpowiednio 18,5% i 39,7%.

Tabela 1

Analiza wariancji (średnie kwadraty) dla plonu bulw, zawartości skrobi, głębokości oczek i barwy chipsów rodów ziemniaka uzyskanych z krzyżowań 4x-2x
Analysis of variance (mean squares) for tuber yield, starch content, depth of eyes and chip colour of potato clones derived from 4x-2x crosses

Źródło zmienności Source of variation	Stopnie swobody Degrees of freedom	Ogólny plon bulw Total tuber yield	Plon handlowy bulw Marketable tuber yield	Zawartość skrobi Starch content	Głębokość oczek Depth of eyes	Barwa chipsów 4°-6°C Chip colour
kombinacja rodzicielska: M-62741 × DG.97-943 parental combination: M-62741 × DG.97-943						
Obiekty Entries	18	1,09**	1,40**	8,65**	0,40**	2,42**
Rody Clones	14	0,83**	0,94**	10,20**	0,49**	2,92**
Rodzice Parents	1	3,05**	4,75**	9,61**	0,25	1,82*
Wzorce Standard cvs	1	0,16	0,28	0,09	0,00	0,20
Rodzice a rody Parents vs clones	1	4,01**	6,42**	3,21*	0,03	0,72
Wzorce a rody Standard cvs vs clones	1	1,27*	0,97*	0,15	0,01	0,00
Błąd Error	18	0,14	0,14	0,64	0,09	0,36
kombinacja rodzicielska: M-62805 × DG.97-943 parental combination: M-62805 × DG.97-943						
Obiekty Entries	18	2,98**	2,91**	2,54**	2,97**	0,68**
Rody Clones	14	2,55**	2,42**	2,13*	0,17**	0,44**
Rodzice Parents	1	4,58**	7,08**	10,56**	0,49**	3,42**
Wzorce Standard cvs	1	0,16	0,28	0,09	0,00	0,20
Rodzice a rody Parents vs clones	1	8,63**	9,16**	0,75	0,10	0,04
Wzorce a rody Standard cvs vs clones	1	5,90**	3,72**	4,56*	0,03	0,01
Błąd Error	18	0,46	0,37	0,71	0,05	0,13

*, ** — Istotne odpowiednio przy $\alpha = 0,05$ i $0,01$

*, ** — Significant at $\alpha = 0.05$ and 0.01 , respectively

Doniesienia o heterozji plonu względem wyżej plonującego rodzica, jakie uzyskano dzięki wykorzystaniu gamet $2n$ są dość liczne (Hanneman i Peloquin, 1969; De Jong i Tai, 1977, Mendinburu i Peloquin, 1977; De Jong i Tai, 1991; Buso i in., 1999). W badaniach naszych stwierdzono także niewielką heterozję plonu handlowego w odniesieniu do wyżej plonującego rodzica. Heterozja plonu tłumaczona jest przeniesieniem heterozygotyczności diploidalnego rodzica przez gamety $2n$. Wskazuje się również na komplementarny efekt dwu właściwości, dużej liczby bulw, wnoszonej przez diploidalnego rodzica oraz dużej wielkości bulwy, którą wnosi rodzic tetraploidalny (De Jong i Tai, 1977). Tetraploidalne

formy rodzicielskie zastosowane w prezentowanych badaniach charakteryzowały się dużą wielkością bulw (Domański i in., 2004 a, b).

Tabela 2

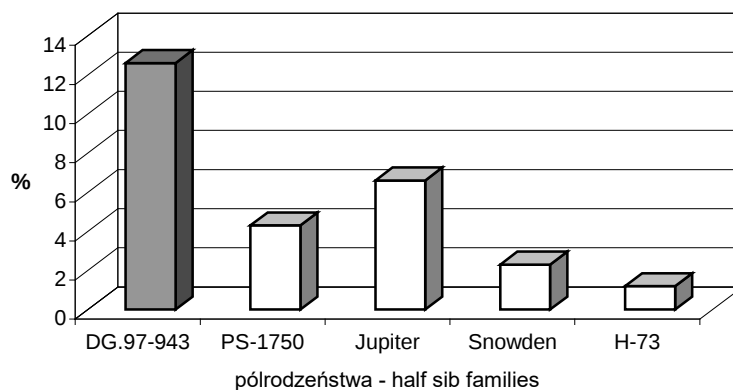
Obecność efektu heterozji potomstwa 4x-2x w stosunku do średniej rodziców (ŚR), lepszego rodzica (LR) i do tetraploidalnego wzorca (WZ) w odniesieniu do plonu bulw, zawartości skrobi, głębokości oczek i barwy chipsów (4°–6°C)

The presence of heterosis of 4x-2x progenies in relation to: mid-parent (MP), better parent (BP) and tetraploid standard cvs (CVS) for: tuber yield, starch content, depth of eyes and chip colour (4°–6°C)

Kombinacja rodzicielska Parental combination	Matka Female	Ojciec Male	F ₁	% ŚR % MP	% LR % BP	% WZ % CVS
ogólny plon bulw — total tuber yield						
M-62741 × DG.97-943	3,66	1,91	3,85	138,0	105,2	118,5
M-62805 × DG.97-943	4,05	1,91	4,54	152,3	112,1	139,7
handlowy plon bulw — marketable tuber yield						
M-62741 × DG.97-943	3,40	1,22	3,66	158,4	107,6	116,6
M-62805 × DG.97-943	3,88	1,22	4,16	163,1	107,2	132,5
zawartość skrobi — starch content						
M-62741 × DG.97-943	15,85	18,95	16,45	94,5	86,8	98,8
M-62805 × DG.97-943	15,70	18,95	17,79	102,7	93,9	106,8
głębokość oczek — depth of eyes						
M-62741 × DG.97-943	6,80	6,30	6,46	98,6	95,0	100,9
M-62805 × DG.97-943	7,00	6,30	6,48	97,4	92,6	101,3
barwa chipsów (4°–6°C) — chip colour (4°–6°C)						
M-62741 × DG.97-943	5,95	7,30	6,17	93,1	84,5	99,8
M-62805 × DG.97-943	5,20	7,30	6,15	98,4	84,2	99,5

W przypadku pozostałych analizowanych cech nie obserwowano heterozji ani w stosunku do średniej rodziców, ani do lepszego rodzica. Średnie wartości tych cech dla potomstwa z obu rodzin były na poziomie odmian wzorcowych. Frekwencja rodów „cold chipping”, o poziomie cech użytkowych i odpornościowych powyżej wartości progowych, w półrocznym diploidalnej linii rodzicielskiej DG.97-943 wyniosła 12,6%, podczas gdy w ramszu z krzyżowań 4x-4x wahała się od 1,2% do 6,6% wyjściowej liczby siewek (rys. 1). Uzyskane przez nas wyniki, jak również wyniki wcześniejszych prac (Hayes i Thill, 2002; Esplin i Thill, 2004) wskazują na udany transfer cechy jaką jest „cold chipping” do tetraploidalnych materiałów hodowlanych za pomocą gamet 2n w krzyżowaniach 4x-2x.

Linia rodzicielska DG.97-943 wykazała dobrą przydatność do tworzenia perspektywicznych materiałów hodowlanych. Przy zastosowanych kryteriach selekcji, uwzględniających jakość bulw, wysokość plonu ogólnego i handlowego oraz co najmniej średni poziom odporności na wirusy liściozwoju i Y ziemniaka wyselekcjonowano z 95 siewek 7 wartościowych rodów (tab. 3). Zidentyfikowane w tych badaniach genotypy „cold chipping”, po przeprowadzeniu dalszej waloryzacji cech użytkowych i odpornościowych, przyczynią się do poszerzenia puli tetraploidalnych materiałów wyjściowych do hodowli nowych udoskonalonych odmian ziemniaka przydatnych w przetwórstwie spożywczym. W potomstwie tego typu form rodzicielskich Thill i Peloquin (1999) stwierdzili wyższą frekwencję osobników o jasnej barwie chipsów zarówno bezpośrednio po przechowaniu bulw w temperaturze 4°C, jak i po zabiegu rekondycjonowania.



Rys. 1. Frekwencja rodów „cold chipping” w półrodzeństwie 2x linii rodzicielskiej DG.97-943 na tle półrodzeństw kilku tetraploidalnych rodziców
Fig. 1. Frequency of cold chipping clones in the half sib tetraploid family of the 2x parental line DG.97-943 compared to half sib families of several tetraploid parents

Tabela 3

Charakterystyka wyróżniających się rodów uzyskanych z krzyżowań 4x-2x
Characteristics of the outstanding selections derived from 4x-2x crosses

Ród Clone	Plon bulw (kg / 3 rośliny) Tuber yield (kg / 3 plants)		Zawartość skrobi (%) Starch content (%)	Głębokość oczek (sk. 1-9, 9 = b. płytkie) Depth of eyes (sc. 1-9, 9 = v. shallow)	Barwa chipsów (sk. 1-9, 9 = jasne) po przechowaniu bulw przez 3 miesiące w temperaturze Chip colour (sc. 1-9, 9 = light) after three months storage at temperature	
	ogólny total	handlowy marketable			4-6°C	
					bez rekondycjonowania without reconditioning	z rekondycjonowaniem with reconditioning
M-4	6,17	5,78	19,2	6,4	6,1	6,9
M-9	5,78	5,07	18,2	6,3	6,0	6,6
M-13	4,17	4,08	18,7	7,0	6,7	7,4
M-19	3,84	3,57	16,9	6,3	6,9	7,4
M-25	4,68	4,53	18,2	6,5	6,3	7,1
M-28	3,75	3,56	15,0	7,0	7,4	7,8
M-29	4,28	4,10	18,7	7,3	6,4	6,7
Saturna	3,05	2,87	16,8	6,4	6,0	6,6
Snowden	3,45	3,40	16,5	6,4	6,4	6,9
NIR _{0,05}	0,31	0,28	0,44	0,18	0,26	0,23
LSD _{0,05}						

WNIOSKI

Diploidalna forma ojcowska DG.97-943, produkująca gamety męskie 2n, będąca efektywnym zapylaczem w krzyżowaniach 4x-2x, wykazała dobrą przydatność do tworzenia wartościowego tetraploidalnego potomstwa. Przydatność ta wyrażała się poprzez:
 — heterozję ogólnego i handlowego plonu bulw,

- wysoką frekwencję osobników o jasnej barwie chipsów, uzyskiwanych z bulw przechowywanych w niskich temperaturach 4–6°C,
- podwyższoną frekwencję rodów spełniających kryteria selekcji zarówno pod względem jakości bulw, jak i plonu.

LITERATURA

- Buso J. A., Boiteux L. S., Peloquin S. J. 1999. Multitrait selection system using populations with a small number of interploid ($4x \times 2x$) hybrid seedlings in potato: degree of high-parent heterosis for yield and frequency of clones combining quantitative agronomic traits. *Theor. Appl. Genet.* 99: 81 — 91.
- De Jong H., Tai G. C. C. 1977. Analysis of $4x-2x$ hybrids in cultivated potatoes. *Potato Res.* 20: 111 — 121.
- De Jong H., Tai G. C. C. 1991. Evaluation of potato hybrids obtained from tetraploid-diploid crosses. I. Parent-offspring relationships. *Plant Breed.* 107: 177 — 182.
- Domański L., Zimnoch-Guzowska E., Domańska M., Jakuczun H., Zgórska K., Frydecka-Mazurczyk A. 2004a. The development of cold chipping potato parental lines for breeding cultivars suitable for processing. *Plant Breeding and Seed Science* 49: 91 — 100.
- Domański L., Zimnoch-Guzowska E., Domańska M., Zgórska K., Paczkowska M. 2004 b. The germplasm release of M-62774 and M-62805, two potato clones with cold-sweetening resistance. *Folia Horticulturae* 16/2: 33 — 40.
- Esplin D. L., Thill C. A. 2004. Selection for cold chipping genotypes in populations derived by sexual polyploidization. *Amer. J. Potato Res.* 81: 58 (Abstr.).
- Hanneman R. E., Peloquin S. J. 1969. Use of Phureja and haploids to enhance the yield of cultivated tetraploid potatoes. *Amer. Potato J.* 46: 436 (Abstr.).
- Hayes R. J., Thill C. A. 2002. Introgression of cold (4C) chipping from $2x$ (2 Endosperm Balance Number) potato species into $4x$ (4 EBN) cultivated potato using sexual polyploidization. *Amer. J. Potato Res.* 79: 421 — 431.
- Jakuczun H., Wasilewicz-Flis I. 2004. Ziemniak diploidalny źródłem cech jakościowych w hodowli. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.* 500: 127 — 136.
- McHale N.A., Lauer F.I. 1981. Breeding value of $2n$ pollen diploid from hybrids and Phureja in $4x-2x$ crosses in potatoes. *Amer. Potato J.* 58: 365 — 374.
- Mendinburu A. O., Peloquin S. J. 1977. The significance of $2n$ gametes on potato breeding. *Theor. Appl. Genet.* 49: 53 — 61.
- Thill C. A., Peloquin S. J. 1995. A breeding method for accelerated development of cold chipping clones in potato. *Euphytica* 84: 73 — 80.
- Thill C. A., Peloquin S. J. 1999. The identification of superior parents having 25% *Solanum tarijense* and used to develop cold chipping progeny. In: 14th Triennial Conference of the European Association for Potato Research. Abstracts of Conference Papers, Posters and Demonstrations. Sorrento, Italy, 2–7 May 1999. Assessorato Regione Campania, Italy: 327 — 328.
- Zimnoch-Guzowska E., Dziewońska M. A. 1989. Breeding potatoes at the diploid level. In: Parental line breeding and selection in potato breeding. Proceedings of the joint Conf. of the EARR Breeding and EUCARPIA Potato Sect., Wageningen. The Netherlands 11–16 Dec. 1988: 163 — 171.
- Zimnoch-Guzowska E. 2003. Wykorzystanie form diploidalnych ziemniaka w pracach hodowlanych i genetycznych. *Post. Nauk Roln.* 1/2003: 47 — 66.