

**JOANNA SZTANGRET-WIŚNIEWSKA**

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Oddział Młochów

## Hodowla odpornościowa ziemniaka na mątwiki *Globodera rostochiensis* Woll. i *Globodera pallida* Stone — przegląd literatury

### Breeding of potato for resistance to potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* Woll. and *Globodera pallida* Stone — a review

W wielu krajach Europy mątwiki stanowią duży problem w uprawach produkcyjnych ziemniaka, a zwłaszcza w uprawie odmian skrobiowych. Występują dwa gatunki mątwika, będące zagrożeniem dla ziemniaka *Globodera rostochiensis* i *Globodera pallida*. Oba gatunki zostały wpisane na światową listę szkodników kwarantannowych. Na obszarach swojego występowania mątwiki powodują duże straty zarówno w liczbie jak i jakości bulw ziemniaka. Całkowite wyeliminowanie mątwików jest trudne. Uważa się, że hodowla odpornościowa na mątwika jest istotnym i efektywnym sposobem ochrony upraw ziemniaka. Dostępnych jest kilka źródeł pojedynczych genów odporności na *G. rostochiensis*, które mogą być wykorzystane przez hodowców ziemniaka. Opisana została również odporność na *G. Pallada*, warunkowana wieloma genami o małych efektach.

**Słowa kluczowe:** *Globodera rostochiensis*, *Globodera pallida*, geny odporności, hodowla, ziemniak

In many European countries potato cyst nematodes (PCN) have become a major problem in potato production, mainly in starch potato cultivars. There are two species of PCN that pose a threat to potato crops, *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. Both species are registered on the world list of quarantine pathogens. In the affected areas PCN cause big losses in quantity and quality of potato tubers. Elimination of these pathogens in ware potato production is very complex. Breeding for resistance to potato cyst nematode is considered as a very important and effective strategy of potato protection. Several sources of monogenic resistance against *G. rostochiensis* are available to potato breeders. Quantitatively inherited resistance to *G. pallida* has also been found.

**Key words:** breeding, *Globodera rostochiensis*, *Globodera pallida*, potato, resistance genes

#### WSTĘP

Mątwik ziemniaczany (*Globodera rostochiensis* Woll.) i mątwik agresywny (*Globodera pallida* Stone) to kwarantannowe szkodniki ziemniaka podlegające obowiązkowi zwalczania. Mątwiki powodują straty bezpośrednie (spadek plonu bulw nawet o 80%) (Anonim, 1994; Urbanowicz i Pawińska, 2001) oraz pośrednie wynikające

z ograniczania produkcji nasiennej i obrotu sadzeniakiem, utrudnień w eksporcie ziemniaka oraz kwarantanny pól.

W zachodniej części Europy występuje szereg patotypów *G. rostochiensis* i *G. pallida*. W Polsce zasadnicze znaczenie posiada patotyp Ro1 mątwika ziemniaczanego. Zidentyfikowano jednak w kraju ogniska patotypu Pa3 mątwika agresywnego (Kuczyńska, 1996; Stefan i in., 2000). W związku z łatwiejszym obrotem ziemniakiem w ramach UE, w Polsce również należy spodziewać się pojawienia innych patotypów mątwika. Ze względu na wysoką szkodliwość, łatwość rozprzestrzeniania się na nowe tereny oraz wieloletnią zdolność przeżywania w glebie mątwiki stanowią one poważne zagrożenie dla produkcji ziemniaka (Kuczyńska i Lutomirska, 1996). Zwalczenie chemiczne mątwików jest uciążliwe i mało efektywne. Do tej pory jedynymi skutecznymi metodami ograniczającymi populację szkodnika w uprawach ziemniaka są zachowanie zasad płodozmianu oraz uprawa odmian mątwikoodpornych.

#### SYSTEMATYKA I BIOLOGIA

Nicienie, mające istotne znaczenie jako szkodniki roślin uprawnych należą do rzędu *Tylenchida*. W rzędzie tym występuje kilka rodzin nicieni uszkadzających ziemniaki m. in. rodzina *Heteroderidae* (mątwikowate) (tab. 1). Pierwotnie opisywano jeden gatunek mątwika tworzącego cysty na ziemniaku (*Heterodera rostochiensis*) następnie zidentyfikowano drugi gatunek (*Heterodera pallida*) ostatecznie oba zaliczono do rodzaju *Globodera* (Anonim, 1994).

Mątwik ziemniaczany — *Globodera rostochiensis* Woll. (yellow potato cyst eelworm, golden nematode, yellow /golden potato cyst nematode). W trakcie rozwoju samice ulegają przekształceniu w cysty, których barwa zmienia się od białej, poprzez „złotożółtą“ do brunatnej. Występuje powszechnie południowych i wschodnich obszarach Europy.

Mątwik agresywny — *Globodera pallida* Stone (white potato cyst eelworm, white/pale potato cyst nematode). Samice zmieniają barwę z białej, ewentualnie poprzez kremową na brunatną, stadium „złotożółte“ nie występuje. *G. pallida* występuje głównie na obszarze zachodniej i środkowej Europy (tab. 1).

Tabela 1

**Nicienie z rzędu *Tylenchida* uszkadzające ziemniaki**  
**The nematodes from the order *Tylenchida* destructive to potato**

Rodzina Family	Gatunek Species
Niszczkowate ( <i>Tylenchidae</i> )	— niszczyk zjadliwy ( <i>Ditylenchus dipsaci</i> Kühn.)
	— niszczyk ziemniaczak ( <i>Ditylenchus destructor</i> Thorne)
Mątwikowate ( <i>Heteroderidae</i> )	— mątwik ziemniaczany ( <i>Globodera rostochiensis</i> Woll.)
	— mątwik agresywny ( <i>Globodera pallida</i> Stone)
Guzakowate ( <i>Meloidogynidae</i> )	— guzak północny ( <i>Meloidogyne hapla</i> Chitw.)

Ze względu na brak różnic morfologicznych patotypy mątwika rozróżnia się za pomocą roślin testowych w postaci klonów dzikich gatunków ziemniaka (Kuczyńska i Lutomirska, 1996). Podział na pięć patotypów (Ro1-Ro5) w obrębie gatunku *G. rostochiensis* i trzy

patotypy (Pa1-Pa3) w obrębie gatunku *G. pallida* wprowadzili Kort i wsp. (1977), w celu ujednoczenia europejskiej nomenklatury (tab. 2). Początkowo stosowano oznaczenia narodowe patotypów np.: brytyjskie (A, B i E odpowiednio Ro1, Pa1 i Pa3), holenderskie (A, B, C, F, D i E odpowiednio Ro1, Ro2, Ro3, Ro4, Pa1 i Pa3) i niemieckie (Kort i in., 1977; Ross, 1986). Inny podział wywodzi się z Ameryki Południowej (Canto-Saenz i de Scurrah, 1977), wyróżniono w nim cztery patotypy (R1A, R2A, R3A i R1B) *G. rostochiensis* oraz sześć patotypów *G. pallida* (P1A, P4A, P5A, P1B, P3A i P2A) (tab. 2).

Tabela 2

**Schemat identyfikacji patotypów mątwika przy użyciu klonów różnicujących zaproponowany przez Kort i wsp. (1977) (A) i Canto-Saenz i de Scurrah (1977) (B). '+' oznaczono wirulentne patotypy**  
**Identification of pathotypes of potato cyst nematode based on the differential clones as proposed by Kort et al. (1977) (A) and Canto-Saenz and de Scurrah (1977) (B). Virulent pathotypes are indicated by the '+' symbol**

Klon różnicujący Differential clone	Patotypy Pathotypes											
	A	Ro1	Ro2	Ro3	Ro4	Ro5	Pa1	Pa2	Pa3			
	B	R1A	R2A	R3A	R1B		P1A	P4A	P5A	P1B	P3A	P2A
<i>S. tuberosum</i> ssp. <i>tuberosum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>S. tuberosum</i> ssp. <i>andigena</i> CPC 1673	—	+	+	—	+	+	+	+				
<i>S. kurtzianum</i> 60.21.19	—	—	+	+	+	+	+	+	+	—	+	
<i>S. vernei</i> GLKS 58.1642/4	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	—	
<i>S. vernei</i> 62.33.3	—	—	—	—	+	—	—	+	+	—	—	
<i>S. vernei</i> 65.346/19	—	—	—	—	—	+	+	+				
<i>S. multidissectum</i>	+	+	+	+	+	—	+	+	+	—	—	

Obecność wydzielin korzeniowych roślin żywicielskich oraz odpowiednia temperatura stymulują uwalnianie się z jaj larw mątwika. W zależności od czynników zewnętrznych około 1/3 jaj zawartych w cystach wylega się w tym samym sezonie wegetacyjnym stanowiąc źródło zakażenia kolejnych roślin, pozostałe jaja pozostają uśpione i stanowią źródło zakażenia w kolejnych sezonach wegetacyjnych (Anonim, 1994). Larwy żerują w tkance korzenia powodując jej zmiany (powstawanie komórek olbrzymich tzw. syncytii lub komórek transferowych). Dojrzałe samice gromadzą jaja we wnętrzu ciała, na skutek czego powiększają się stopniowo i przybierają kształt kulisty. Oskórek samicy brunatnieje, zasycha i twardnieje tworząc przytwierdzoną do korzenia cystę, wewnątrz której może się znajdować przeciętnie 200–300 jaj (Anonim, 1994). Cysta stanowi ochronę przed wyschnięciem, niską temperaturą i uszkodzeniami mechanicznymi, jest również skuteczną barierą dla nematocydów stosowanych do zwalczania mątwików.

#### SZKODLIWOŚĆ I ZNACZENIE MĄTWIKÓW

Najważniejszą rośliną żywicielską dla mątwików ziemniaczanego i agresywnego jest ziemniak (*Solanum tuberosum*) (Anonim, 1994; Kuczyńska, 1996). Obydwa nicienie rozwijają się też na pomidorze (*Lycopersicon esculentum*), oberżynie (*Solanum melon-*

gena) oraz na pozostałych gatunkach z rodzaju *Solanum* i ich mieszańcach (Anonim, 1994).

Rośliny ziemniaka porażone przez mątwiki rosną wolniej, wytwarzają nieliczne, krótkie i cienkie pędy. Liście, począwszy od dolnych, zaginają się do dołu, skręcają, przedwcześnie żółkną i zasychają. Objawy na polu występują placami. Rośliny silnie porażone (obumierające) zlokalizowane są centralnie, w miarę oddalenia objawy słabną. Zewnętrzne objawy porażenia roślin nie zawsze są widoczne, w sprzyjających warunkach vegetacji i przy słabym porażeniu roślin przez mątwiki mogą nie wystąpić w ogóle. W okresie kwitnienia, na korzeniach porażonych roślin, widoczne są samice, które po przekształceniu w cysty zamierają i opadają do gleby. Cysty mątwików mogą zachować żywotność w glebie, bez rośliny żywicielskiej od 12 do 20 lat (Kuczyńska, 1989; Stefan 2000). Larwy inwazyjne opuszczają cysty stopniowo przez wiele lat. Szkodniki rozprzestrzeniają się łatwo z zainfekowaną glebą przylegającą do bulw, narzędzi i kół maszyn rolniczych, mogą być przenoszone przez zwierzęta, wiatr lub z wodą.

Ekonomiczne znaczenie mątwików jest duże. Straty w plonach wynikają ze zmniejszenia liczby bulw i z dominującego udziału bulw małych w plonie (Anonim, 1994; Urbanowicz i Pawińska, 2001). Ograniczanie produkcji nasiennej i obrotu sadzeniakiem, utrudnienia w eksporcie ziemniaka oraz kwarantanna pól to szkody pośrednie powodowane przez mątwiki.

W Europie Zachodniej występuje szereg patotypów *G. rostochiensis* i *G. pallida*, dlatego należy spodziewać się ich pojawienia również na terenie naszego kraju (Kuczyńska, 1996). W Polsce do tej pory nie stwierdzono występowania innego patotypu niż Ro1, poza ogniskami patotypu Pa3, które zlikwidowano (Kuczyńska, 1996; Malinowska i in., 2002; Stefan i in., 2000).

#### METODY ZWALCZANIA MĄTWIKA

Można wyróżnić trzy metody zwalczania mątwika ziemniaczanego: agrotechniczną, chemiczną i biologiczną (Kuczyńska i Lutomińska, 1996).

Metoda agrotechniczna, wykorzystuje naturalną redukcję populacji szkodnika w glebie. Obejmuje stosowanie: płodozmianu odmątwiczającego (brak uprawy roślin żywicielskich), maksymalnie wydłużonego cyklu zmianowania oraz przerwanie naturalnego cyklu rozwoju szkodnika w glebie (uprawa odmian podatnych, bardzo wczesnych na wczesny zbiór).

Metoda chemiczna polega na zastosowaniu środków ochrony roślin, nematocydów selektywnych (insektycydy systemiczne) lub nieselektywnych (fumiganty glebowe). Fumiganty glebowe działają totalnie, niszcząc wszystkie żywe organizmy. Do zwalczania mątwika ziemniaczanego stosuje się: Basami, Diafuran, Furadan i Vydate (wg Rejestru środków ochrony roślin dopuszczonych do obrotu i stosowania zezwoleniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi w roku 2005). Ekologicznymi środkami stosowanymi do zwalczania nicieni są Sincocin i Agrispon, produkowane na bazie wyciągów roślinnych pochodzących z sumaka (*Rhus aromatica*), dębu (*Quercus falcata*), opuncji (*Opuntia lindheimeri*) i korzeniawy (*Rhizophora mangle*) (Kuczyńska, 1999).

Cysty mątwika są bardzo odporne na działanie środków chemicznych (Kuczyńska i Lutomirska, 1996; Sosnowska, 2004), dlatego zwalczanie chemiczne zaleca się jedynie w wyjątkowych przypadkach: w razie pojawienia się mątwika agresywnego lub innego niż Ro1 patotypu mątwika ziemniaczanego, na małych powierzchniach w pojedynczych ogniskach. Dodatkową przyczyną ograniczenia stosowania środków chemicznych do zwalczania mątwika jest ich wysoka cena.

Biologiczna metoda zwalczania mątwików polega na uprawie mątwikoodpornych odmian ziemniaka. Mątwik atakuje system korzeniowy odmian zarówno podatnych, jak i odpornych. W wyniku żerowania larw mątwików w korzeniach odmian podatnych powstają komórki olbrzymie, które są nieodzowne dla dalszego rozwoju szkodnika. W przypadku żerowania larw w korzeniach odmian odpornych obserwuje się dodatkowo silną reakcję nekrotyczną (nadwrażliwość). Nekroza otacza tworzące się komórki olbrzymie oraz larwy, które giną w wyniku zagłodzenia. W korzeniach roślin odmian odpornych mątwiki nie kończą swojego cyklu życiowego, nie dochodzi do ich reprodukcji, co przyczynia się do redukcji populacji szkodnika w glebie. Przy dużej liczebności mątwika w glebie system korzeniowy odmiany odpornej, reagującej nekrozami na inwazję larw, ulega nieco silniejszemu uszkodzeniu niż odmiany podatnej, dlatego mogą wystąpić istotne straty w plonie. W celu osiągnięcia jak największej skuteczności zwalczania mątwika za pomocą odmian odpornych należy zapewnić maksymalny rozwój systemu korzeniowego roślin. Wcześniej uformowany, dobrze przerastający glebę system korzeniowy sprzyja lepszemu wywabieniu larw z cyst i zapewnia mniejsze straty w plonie bulw.

Wybór odmian mątwikoodpornych stanowi element w ograniczaniu populacji mątwika w glebie, przy zachowaniu zasad płodozmianowych, gdzie ziemniak powinien być uprawiany na tym samym polu, co 4–5 lat (Urbanowicz i Pawińska, 2001). Prawidłowa uprawa odmiany odpornej może zredukować populację nicienia o 70–95% w ciągu jednego sezonu wegetacyjnego (Malec, 1978; Fedorko, 1987; Kuczyńska i Lutomirska, 1996).

Metodą walki biologicznej jest również wykorzystanie wrogów naturalnych nicieni takich jak pasożytnicze grzyby oraz bakterie (Wronkowska, 1990; Haskygunter i in., 1998; Sosnowska, 2004). Istnieje kilka biopreparatów opartych na grzybach nicieniobójczych, jednakże często obserwuje się niepowodzenia w ich stosowaniu (Sosnowska, 2004).

Prowadzone są również badania nad zastosowaniem dzikiego gatunku *Solanum sisymbriifolium* jako rośliny pułapkowej do zwalczania nicieni (Timmermans i in., 2005).

#### ODMIANY ZIEMNIAKA ODPORNE NA MĄTWIKI

W 1998 roku w Krajowym Rejestrze Odmian 44% stanowiły odmiany odporne na patotyp Ro1 mątwika ziemniaczanego. Odporność na inne patotypy mątwika ziemniaczanego i/lub agresywnego posiadały odmiany Drop (Pa3), Panda (Ro4) i Sante (Ro2, Ro3, Pa2) (Kuczyńska, 1998). W 2006 roku w Krajowym Rejestrze znajdują się 132 odmiany, z których 82% wykazuje odporność na patotyp Ro1 *G. rostochiensis* (tab. 3) (COBORU, 2006). Odporność na inne patotypy *G. rostochiensis* lub *G. pallida* posiadają

pojedyncze odmiany, głównie pochodzenia zagranicznego. Odporność na patotyp Pa2 posiadają odmiany: Panda, Sante (dodatkowo Ro2, Ro3) i Cycloon; na patotyp Ro4: Fianna, Karatop, Velox, Vitara, Molli; na patotypy Pa3 odmiany Drop i Innovator (dodatkowo Pa2).

Tabela 3

**Procentowy udział odmian odpornych na mątwiki oraz na poszczególne patotypy mątwików w puli odmian zarejestrowanych w Polsce i wybranych krajach UE**  
**Percentage of potato cultivars resistant to different pathotypes of potato cyst nematode in the group of cultivars registered in Poland and some EU countries**

Kraj — Rok Country — Year	Odmiany odporne Resistant cultivars (%)	Odmiany odporne na <i>G. rostochiensis</i> (%) Cultivars resistant to <i>G. rostochiensis</i> (%)					Odmiany odporne na <i>G. pallida</i> (%) Cultivars resistant to <i>G. pallida</i> (%)		
		Ro <sub>1</sub>	Ro <sub>2</sub>	Ro <sub>3</sub>	Ro <sub>4</sub>	Ro <sub>5</sub>	Pa <sub>1</sub>	Pa <sub>2</sub>	Pa <sub>3</sub>
Czechy — 2000 Czech Republic	74	74	—	—	—	—	—	—	—
Francja — 2002 France	44		44			—	—	0,6	
Holandia — 2003 The Netherlands	73	73	13		—	—	—	16	11
Niemcy — 2002 Germany	89	88	13	13	51	8	4	3	15
Polska — 2006 Poland	83	82	0,7	0,7	3,8	—	—	3,8	0,7

Wśród odmian zarejestrowanych w innych krajach, w Niemczech w roku 2002 zarejestrowano 89% odmian odpornych na mątwiki (tab. 2). Odporność tych odmian obejmowała wszystkie patotypy mątwika ziemniaczanego i agresywnego, a 15% z ogólnej liczby odmian łączyło w sobie odporności na więcej niż cztery patotypy. Wśród odmian czeskich w 2000 roku 74% było odpornych, ale jedynie na patotyp Ro1 mątwika ziemniaczanego. Odpornością na patotypy Ro1–Ro4 charakteryzowało się 44% odmian francuskich (2002 rok), z czego 0,6% było również odpornych na Pa2 i Pa3. Wśród odmian holenderskich (2003 rok) 73% odmiany były odporne na patotyp Ro1, a część tych odmian charakteryzowała się też odpornością na patotypy Ro2, Ro3, Pa2 i Pa3.

#### GENETYCZNA ODPORNOŚĆ ZIEMNIAKA NA MĄTWIKI

Źródło odporności na mątwiki stanowią dzikie gatunki *Solanum* (Rousselle-Bourgeois i Mugniery, 1995, Ruiz De Galareta, 1998; Strick i Wirsema, 1999; Castelli i in., 2003). Główne źródła odporności (Bradshaw i Mackay, 1994) przedstawiono w tabeli 4.

Odporność na *G. rostochiensis* i *G. pallida*, pochodząca z gatunków *S. vernei* i *S. tuberosum* subsp. *andigena* została włączona do materiałów hodowlanych (Ross, 1986; Rousselle-Bourgeois i Mugniery, 1995). Pierwszą odmianę odporną na *G. rostochiensis*, Maris Piper, zarejestrowano w 1967 roku (Castelli i in., 2003).

Prace dotyczące dziedziczenia odporności ziemniaka na mątwiki rozpoczęli w 1953 roku Toxopeus i Huijsman (Howard, 1969; Ross, 1986; Bradshaw i Mackay, 1994). Stwierdzili oni, że odporność na patotyp Ro1 *G. rostochiensis* klonów *S. tuberosum* subsp. *andigena* CPC1673 i CPC 1985 warunkowana jest allelem dominującym jednego genu —

*H. Gen ten*, warunkujący odporność na patotypy Ro1 i Ro4 *G. rostochiensis*, oznaczono później jako *H1* (Kort i in., 1977; Bradshaw i Mackay, 1994). Korzenie roślin odpornych posiadających gen *H1*, podobnie jak u form podatnych, są porażane przez mątwika jednakże larwy żeńskie nie przekształcają się w cysty (Howard, 1969). Gen *H1* jest genem odporności, dla którego potwierdzono model odporności gen na gen (Janssen i in., 1991).

Tabela 4

**Główne źródła odporności ziemniaka na mątwiki (wg Bradshaw i Mackay 1994)**  
**The main sources of resistance to potato cyst nematodes (according to Bradshaw and Mackay 1994)**

Źródło odporności Source of resistance	Geny Genes	Autor References
<i>S. tuberosum</i> subsp. <i>andigena</i> CPC 1673	<i>H1</i>	Ellenby (1952); Toxopeus i Huijsman (1953); Dunnett (1963)
<i>S. tuberosum</i> subsp. <i>andigena</i> CPC 2802	poligeny polygenes	Dale i Philips (1982)
<i>S. multidissectum</i>	<i>H2</i>	Dunnett (1963)
<i>S. kurtzianum</i>	<i>A (K1), B</i>	Huijsman (1960); Kort i in. (1977)
<i>S. spgazzini</i>	<i>Fa, Fb</i>	Ross (1962)
<i>S. vernei</i>	poligeny polygenes	Ellenby (1948); Goffari i Ross (1954); Rothacker (1958); Dale i Philips (1982)

Gen *K1*, warunkujący odporność na patotypy Ro1 i Ro4 *G. rostochiensis*, zidentyfikowano w potomstwie otrzymanym z krzyżowania *S. kurtzianum* z *S. tuberosum* (Bradshaw i Mackay 1994). Dwa niezależne geny odporności na mątwika ziemniaczanego *Fa* i *Fb*, pochodzące z *S. spgazzini* opisał w 1962 roku Ross (Bradshaw i Mackay, 1994). Gen *Fa* okazał się być identyczny z genem *H1* (Bradshaw i Mackay 1994), natomiast odpowiednikiem genu *Fb* jest dominujący allel *Gro1*, warunkujący odporność na patotyp Ro1 i Ro5 *G. rostochiensis* (Barone i in., 1990).

Gen główny (*H2*) warunkujący odporność na patotyp Pa1 *G. pallida* pochodzi z dzikiego gatunku *S. multidissectum* (Bradshaw i Mackay, 1994). Dodatkowe, poligeniczne uwarunkowanie tej odporności sugerował Dunnett (Bradshaw i Mackay, 1994), który obserwował umiarkowany poziom odporności na patotyp Pa1 *G. pallida* w liniach nieposiadających genu głównego.

Howard i wsp. (1970) zidentyfikowali w uprawnych formach *S. tuberosum* subsp. *andigena* odporność na *G. pallida* (Pa2 i Pa3), a gen oznaczyli *H3*. Według niektórych odporność oznaczona jako *H3* może być poligeniczna (Franco i Evans, 1978; Dale i Philips, 1982).

Intensywne prace nad mapowaniem genomu ziemniaka pozwoliły zidentyfikować wiele loci odporności na różne patogeny i nicienie (Gebhardt i Valkonen, 2001). Najważniejsze geny dominujące, warunkujące odporność ziemniaka na nicienie oraz markery sprzężone z nimi zestawiono w tabeli 5.

**Markery molekularne związane z genami odporności ziemniaka na nicienie**  
**Molecular markers related to potato cyst nematode resistance in potato**

Gatunek Species	Gen (chromosom) Gene (chromosom)	Metoda Method	Marker do MAS Marker for MAS	Autor References
<i>Globodera rostochiensis</i>	<i>H1</i> (V)	RFLP	<i>CD78</i> <i>CP113</i>	Pineda i in. (1993) Gebhardt i in. (1993)
	QTL (III, X, XI)	RFLP	—	Kreike i in. (1993, 1996)
	<i>GroVI</i> (V)	RFLP	—	Jacobs i in. (1993)
	<i>GroI</i> (VII)	RFLP	<i>CP51</i> <i>CP56, GP516(c), CP51(c)</i>	Barone i in. (1990)
		RAPD AFLP	<i>OPR10<sub>700</sub></i> <i>AFLP1, AFLP2</i>	Ballvora i in. (1995)
<i>Globodera pallida</i>	<i>Gpa</i> (QTL) (IV, V, VII)	RFLP	—	Kreike i in. (1994)
	<i>Gpa 2</i> (XII)	RFLP	<i>GP34, CT100</i>	Roupe van der Voort i in. (1997, 1999)
		AFLP CAPS	<i>E + ATG/M + CTA-148</i> <i>77 L, PM4c, 77R</i>	
	<i>Gpa4</i> (QTL) (IV)	AFLP, SSR	—	Bradshaw i in. (1998)
		QTL (V, IX)	AFLP CAPS	—
QTL (V, IX)			AFLP	—
QTL (V, VI, XI, XII)	RFLP, AFLP	—	Caromel i in. (2003, 2005)	
<i>Globodera spp.</i>	<i>Grp1</i> (V)	CAPS	<i>GP21, GP179</i>	Roupe van der Voort i in. (1998)

Pierwszym genem odporności na mątwiki umieszczonym na mapie ziemniaka był gen *GroI*, warunkujący odporność na patotyp Ro1 *G. rostochiensis*, zmapowany na chromosomie VII (Barone i in. 1990). Kolejny locus *H1* został zmapowany w pozycji nie sprzężonej z locus *GroI*, na chromosomie V (Gebhardt i in., 1993; Pineda i in., 1993). W tym samym regionie chromosomalnym zmapowano kolejny gen (*GroVI*) odporności na patotyp Ro1 *G. rostochiensis*, który może być alleliczny w stosunku do genu *H1* (Jacobs i in. 1996). Analiza QTL pozwoliła na identyfikację trzech loci: *Gro1.4*, *Gro1.2* i *Gro 1.3* związanych z odpornością na patotyp Ro1 *G. rostochiensis* zlokalizowanych odpowiednio na chromosomach: III, X i XI (Kreike i in., 1993, 1996).

Locus *Gpa2* warunkujący odporność na patotyp Pa2 *G. pallida* zmapowano na chromosomie XII (Roupe van der Voort i in., 1997, 1998). Kreike i wsp. (1994) zmapowali QTL warunkujące odporność na patotypy Pa2 i Pa3 *G. pallida*, gen główny (*Gpa*) zmapowano na chromosomie V, dwa geny o mniejszych efektach na chromosomach IV i VII. Kolejne trzy QTL: *GpaM1*, *GpaM2* i *GpaM3*, warunkujące odporność na patotypy Pa2 i Pa 3, zmapowano na chromosomach V, VI i XII odpowiednio (Caromel i in., 2003). Locus o największym efekcie (*GpaM1*) należy do grupy genów odporności zlokalizowanych na chromosomie V i może być tożsamy z opisanym wcześniej loci *Gpa*. Locus *Gpa 4* (QTL) został zmapowany, przy użyciu technik AFLP i SSR, przez Bradshaw



i wsp. (1998) na chromosomie IV. Loci *Gpa 5* i *Gpa 6* zmapowano na chromosomach V i IX odpowiednio (Roupe van der Voort i in., 2000). Dwa kolejne QTL, *Gpa VSspl* oraz *Gpa XISspl*, związane z odpornością na *G. pallida* zmapowano na chromosomach odpowiednio V i XI (Caromel i in., 2005).

Locus *Grp1*, warunkujący odporność na patotypy Ro5 *G. rostochiensis* i Pa2 *G. pallida*, zmapowano na chromosomie V w regionie, w którym zlokalizowano odporności na wirusy, grzyby i nicienie (Roupe van der Voort i in., 1998). Szerokie spektrum odporności na *G. rostochiensis* i *G. pallida*, przypisywane poligenom może być wynikiem działania loci *Grp1*. (Bradshaw i in., 1998; Roupe van der Voort i in., 1998).

Wykorzystując opisane wcześniej markery opracowano markery PCR (CAPS i SCAR), które mogą mieć praktyczne zastosowanie w hodowli do selekcji przy użyciu markerów (MAS) (Niewöhner i in., 1995; Ballvora i in., 1995; Barone, 2004). MAS jest szybką i obiektywną metodą wykrywania głównych genów odporności. Skuteczność działania tej techniki potwierdza obserwowana wysoka korelacja między stwierdzoną molekularnie obecnością genu *Gpa2* a odpornością na mątwika agresywnego badanych genotypów (Tan i in., 2005). Kolejnym przykładem udanego zastosowania markerów w selekcji jest potwierdzona oporność na patotyp Ro1 mątwika ziemniaczanego form wyselekcjonowanych przy użyciu markerów specyficznych dla genów *Gro1* (Gebhardt i in., 2006) i *HI* (Skupinova i in., 2002).

#### HODOWLA ZIEMNIAKA ODPORNEGO NA MĄTWIKI W POLSCE

Zakład Genetyki i Materiałów Wyjściowych Ziemniaka od ponad 30 lat zajmuje się hodowlą materiałów wyjściowych ziemniaka. Charakteryzują się one dobrymi cechami jakości oraz odpornością na różne patogeny w tym również, na patotyp Ro1 mątwika ziemniaczanego. Materiały te były i są z powodzeniem wykorzystywane do tworzenia nowych, wartościowych odmian ziemniaka. W roku 2004 w Pracowni Materiałów Wyjściowych i Metodyki Hodowli rozpoczęto prace nad uzyskaniem materiałów odpornych na szersze spektrum patotypów mątwika ziemniaczanego, a także na drugi gatunek mątwika, mątwika agresywnego. W tym celu zgromadzono kolekcję kilkunastu odmian uprawnych ziemniaka, głównie pochodzenia niemieckiego i holenderskiego, charakteryzujących się wysokim stopniem odporności na różne patotypy mątwika. Kolekcja ta jest nie tylko źródłem odporności na wszystkie patotypy mątwika. W przeciwieństwie do dzikich gatunków, stosowanych zwykle w tego typu pracach, zgromadzone odmiany posiadają również inne korzystne cechy jakości i odporności, co przyspieszy postęp w hodowli. Odmiany zostały włączone do prowadzonego programu krzyżowań, a w otrzymanym materiale prowadzona będzie selekcja w celu wybrania form o wysokiej odporności na jeden bądź kilka patotypów mątwika.

W Katedrze Hodowli Roślin i Nasiennictwa (Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław) prowadzone są prace nad wykorzystaniem markerów molekularnych sprzężonych z odpornością na mątwika ziemniaczanego do identyfikacji odpornych genotypów ziemniaka (Galek i in., 2005). Analiza markerów PCR, zlokalizowany na chromosomie V i sprzężonych z genem *HI*, wykazała wysoką korelację między odpornością na patotyp

Ro1 badanego materiału a obecnością w nim jednego z markerów PCR (141pz). Otrzymane wyniki wskazują na możliwość zastosowania tego markera w praktyce.

#### LITERATURA

- Anonim 1994. Kwarantannowe agrofagi Europy. Inspektorat Kwarantanny Roślin, Warszawa 1994: 383 — 389.
- Ballvora A., Hesselbach J., Niewöhner J., Leister D., Salamini F., Gebhardt C. 1995. Marker enrichment and high-resolution map of the segment of potato chromosome VII harbouring the nematode resistance gene *Gro1*. *Mol. Gen. Genet.* 249: 82 — 90.
- Barone A., Ritter E., Schachtschabel U., Debener T., Salamini F., Gebhardt C. 1990. Localization by restriction fragment length polymorphism mapping in potato of a major dominant gene conferring resistance to the potato cyst nematode *G. rostochiensis*. *Mol. Gen. Genet.* 224: 17 — 182.
- Barone A. 2004. Molecular marker-assisted selection for potato breeding. *Am. J. Potato Res.* 81: 111 — 117.
- Bradshaw J. E., Hacket C. A., Meyer R.C., Milbourne D., McNicol J. W., Philips M. S., Waugh R. 1998. Identification of AFLP and SSR markers associated with quantitative resistance to *Globodera pallida* (Stone) with a view to marker-assisted selection. *Theor. Appl. Genet.* 97: 202 — 210.
- Bradshaw J. E., Mackay G. R. 1994. Inheritance of resistance to nematodes. *Potato Genetics*, CAB International, Wallingford, UK: 319 — 337.
- Bryan G. J., Mc Lean K., Bradshaw J. E., De Jong W.S., Philips M., Castelli L., Waugh R. 2002. Mapping QTL for resistance to the cyst nematode *Globodera pallida* derived from the wild potato species *Solanum vernei*. *Theor. Appl. Genet.* 105: 68 — 77.
- Canto-Saenz M., de Scurrah M.M. 1977. Races of potato cyst nematode in the Andean region and a new system of classification. *Nematologica* 23: 340 — 349.
- Caromel B., Mugniery D., Lefebvre V., Andrzejewski S., Ellisseche D., Kerlan M. C., Rousselle P., Rousselle-Bourgeois F. 2003. Mapping QLTs for resistance against *Globodera pallida* (Stone) Pa2/3 in a diploid potato progeny originated from *Solanum spegazzinii*. *Theor. Appl. Genet.* 106: 1211 — 1216.
- Caromel B., Mugniery D., Kerlan M.C., Andrzejewski S., Palloix A., Ellisseche D., Rousselle-Bourgeois F., Lefebvre V. 2005. Resistance quantitative trait loci originating from *Solanum sparsisilum* act independently on the sex ratio of *Globodera pallida* and together for developing a necrotic reaction. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 11: 1186 — 1194.
- Castelli L., Ramsay G., Bryan G., Nielson S., Phillips M. 2003. New sources of resistance to the potato cyst nematodes *Globodera pallida* and *G. rostochiensis* in the Commonwealth Potato Collection. *Euphytica* 129: 377 — 386.
- COBORU 2006. Lista odmian roślin rolniczych i warzywnych wpisanych do rejestru w Polsce. COBORU Słupia Wielka, 2006.
- Dale M.F., Philips M.S. 1982. An investigation of resistance to the white potato cyst-nematode. *Journal of Agricultural Science* 99: 325 — 328.
- Fedorko J. 1987. Zwalczenie mątwika ziemniaczanego. Instrukcja wdrożeniowa Instytutu Ziemniaka 2/87.
- Franco J., Evans K., 1978. Multiplication of some South American and European populations of potato cyst nematodes on potatoes possessing the resistance genes *H1*, *H2* and *H3*. *Plant Pathology* 27: 1 — 6.
- Galek R., Rurek M., Pietkiewicz G., Augustyniak H., Sawicka-Sienkiewicz E. 2005. Application of DNA markers linked to the *H1* gene conferring potato resistance to pathotype Ro1 of *Globodera rostochiensis*. *Biological Lett.* 42: 115.
- Gebhardt C., Mugniery D., Ritter E., Salamini F., Bonnel E. 1993. Identification of RFLP markers closely linked to the *H1* gene conferring resistance to *G. rostochiensis* in potato. *Theor. Appl. Genet.* 85: 541 — 544.
- Gebhardt C., Valkonen J. 2001. Organization of genes controlling disease resistance in the potato genome. *Annu. Review Phytopatology* 39: 79 — 102.
- Gebhardt C., Bellin D., Henselewski H., Lehmann W., Schwarzfischer J., Valkonen J. 2006. Marker-assisted combination of major genes for pathogen resistance in potato. *Theor. Appl. Genet.* 112: 1458 — 1464.

- Haskygunter K., Hoffmannhergarten S., Sikora R.A. 1998. Resistance against the potato cyst nematode *Globodera pallida* systemically induced by the rhizobacteria *Agrobacterium radiobacter* (G12) and *Bacillus sphaericus* (B43). *Fundamental and Applied Nematology* 21, 5: 511 — 517.
- Howard H. 1969. Genetics of Potato *Solanum tuberosum*. Logos Press Ltd., London 1969: 53 — 57.
- Howard H. J., Cole C.S., Fuller J. M. 1970. Further sources of resistance to *Heterodera rostochiensis* Woll. in the Andigena potato. *Euphytica* 19: 210-216.
- Jacobs J., van Eck H., Horsman K., Arens P., Verkerk-Bakker B., Jacobsen E., Pereira A., Stiekema W. 1993. Mapping of resistance to the potato cyst nematode *G. rostochiensis* from the wild potato species *Solanum vernei*. *Molecular Breeding* 2: 51 — 60.
- Janssen R., Bakker J., Gommers F. J., 1991. Mendelian proof for a gene-for-gene relationship between virulence of *Globodera rostochiensis* and the *H1* resistance gene in *Solanum tuberosum* ssp *andigena* CPC 1763. *Rev. Nematol.* 14: 213 — 219.
- Kort J., Ross H., Rumpfenhorst H. J., Stone A. R. 1977. An international scheme to identifying and classifying pathotypes of potato cyst-nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Nematologica* 23: 333 — 339.
- Kreike C. M., Kok-Westeneng A. A., Vinke J. H., Stiekema W. J. 1996. Mapping of QTLs involved in nematode resistance, tuber yield and root development in *Solanum* sp. *Theor. Appl. Genet.* 92: 463 — 470.
- Kreike C. M., De-Koning J. R., Vinke J. H., Van Ooijen J. W., Gebhardt C., Stiekema W. J. 1993. Mapping of loci involved in quantitatively inherited resistance to the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* pathotype Ro1. *Theor. Appl. Genet.* 87: 464 — 470.
- Kuczyńska J. 1996. Praktyczne aspekty stosowania odmian odpornych na mątwika ziemniaczanego. W: Materiały konferencyjne „Ochrona ziemniaka”, Bonin 1996: 55 — 64
- Kuczyńska J. 1998. Zwalczenie mątwika ziemniaczanego poprzez uprawę odmian odpornych. W: Materiały konferencyjne „Ochrona ziemniaka”, Bonin 1998: 69 — 87.
- Kuczyńska J. 1999. Wstępna ocena biologicznej skuteczności biopreparatów Sincocin i Agrispon w zwalczaniu mątwika ziemniaczanego. W: Materiały konferencyjne „Ochrona ziemniaka”, Bonin 1999: 89 — 92.
- Kuczyńska J., Lutomirska B. 1996. Zwalczenie mątwika ziemniaczanego poprzez uprawę odmian odpornych. W: Instrukcja upowszechnieniowa nr 1/95. Bonin 1995: 3 — 23.
- Malec K. 1978. Wpływ nieprzerwanej uprawy dwóch mątwikoodpornych odmian ziemniaka na redukcję populacji mątwika ziemniaczanego (*Globodera rostochiensis* Woll.). *Biul. Inst. Ziem.* 22: 125 — 129.
- Malinowska E., Lubiewska E., Kowalska M. 2002. Mątwik ziemniaczany (*Globodera rostochiensis* Woll.) i mątwik agresywny (*Globodera pallida* Stone), organizmy kwarantannowe tworzące cysty na ziemniaku. W: Materiały konferencyjne „Ochrona ziemniaka”, Bonin 2002: 53 — 55.
- Niewöhner J., Salamini F., Gebhardt C. 1995. Development of PCR assay diagnostic for RFLP marker alleles closely linked to alleles *Gro1* and *H1*, conferring resistance to the root cyst nematode *G. rostochiensis* in potato. *Molecular Breeding* 1: 65 — 78.
- Pineda O., Bonierbale M., Plaisted R., Brodie B., Tanksly S. 1993. Identification of RFLP markers linked to the *H1* gene conferring resistance to the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis*. *Genome* 36: 152 — 156.
- Ross H. 1986. Potato breeding-problems and perspectives. *Advances in plant breeding*. Verlag Paul Parey, Berlin and Hamburg 1986: 76 — 82.
- Roupe van der Voort J., Lindeman W., Folkertsma R., Hutten R., Overmars H., van der Vossen E., Jacobsen E., Bakker J. 1998. A QTL of broad-spectrum resistance to cyst nematode species (*Globodera* spp.) maps to a resistance gene cluster in potato. *Theor. Appl. Genet.* 96: 654 — 661.
- Roupe van der Voort J., van der Vossen E., Bakker E., Overmars H., van Zandvoort P., Hutten R., Klein-Lankhorst R., Bakker J. 2000. Two additive QTLs conferring broad spectrum resistance in potato *Globodera pallida* are localized on resistance gene cluster. *Theor. Appl. Genet.* 101: 1122 — 1130.
- Roupe van der Voort J., Kanyuka K., van der Vossen E., Bendahmane A., Mooijman P., Klein-Lankhorst R., Stiekema W., Baulcombe D., Bakker J. 1999. Tightly physical linkage of the nematode resistance gene *Gpa2* and virus resistance gene *Rx* on a single segment introgressed from the wild species *Solanum tuberosum* subsp. *andigena* CPC 1673 into cultivated potato. *Mol Plant-Microbe Interact.* 12: 197 — 206.

- Roupe van der Voort J., Lindeman W., Flokertsma R., Hutten R., Overmars H., van der Vossen E., Bakker J. 1998. A QTL for broad-spectrum resistance to cyst nematode species (*Globodera* spp.) maps to a resistance gene cluster in potato. *Theor. Appl. Genet.* 96: 654 — 661.
- Roupe van der Voort J., Wolters P., Flokertsma R., Hutten R., van Zandvoort P., Vinke H., Kanyuka K., Bendahmane A., Jacobsen E., Janssen., Bakker J. 1997. Mapping of the cyst nematode resistance locus *Gpa2* in potato using a strategy based on comigrating AFLP markers. *Theor. Appl. Genet.* 95: 874 — 880.
- Rousselle-Bourgeois F., Mugniery D. 1995. Screening tuber-bearing *Solanum* spp. For resistance to *Globodera rostochiensis* Ro1 Woll. and *Globodera pallida* Pa2/3 Stone. *Potato Research* 38: 241 — 249.
- Rozdan M.K. i Mattoo A.K. 2005. Genetic improvement of solanaceous crops. Molecular markers in identification of genotypic variation. Science Publishers Inc., USA 2005: 115 — 139.
- Ruiz De Galareta J., Carrasco A., Salazar A., Barrena I., Iturriza E., Marquinez R., Legorburu F., Ritter E. 1998. Wild *Solanum* species as resistance sources against different pathogens of potato. *Potato Research* 41: 57 — 68.
- Skupinova S., Vejl P., Sedlak P., Damkarova J. 2002. Segregation of DNA markers of potato (*Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum* L.) resistance against Ro1 pathotype *Globodera rostochiensis* in selected F<sub>1</sub> progeny. *Rostlinna Vyroba* 48: 480 — 485.
- Sosnowska D. 2004. Trój-troficzne interakcje pomiędzy roślinami, grzybami nicieniobójczymi i nicieniami. *Kosmos* 53, 262: 51 — 58.
- Stefan K., Pastuszewska T., Malinowska E., Janosza-Kusielewska I. Lubiewska E. 2000. Problematyka agrofagów kwarantannowych w uprawie ziemniaka. W: Materiały konferencyjne „Ochrona ziemniaka”, Bonin 2000: 51 — 53.
- Strick P. C., Wiersema S. G. 1999. Seed potato technology. Wageningen Press 1999: 61.
- Tan A., Hutten R., Visser R., van Eck H. 2005. Development of Marker Assisted Selection for potato breeding. In: 16<sup>th</sup> Triennial Conference of the EAPR. 17–22 lipca 2005, Bilbao, Basque Country: 660 — 662.
- Timmermans B., Vos J., Putten P., Nieuwburg L., van Stomph T. 2005. The development of *Solanum sisymbriifolium* (Lam.) as a trap crop for potato cyst nematode. In: 16<sup>th</sup> Triennial Conference of the EAPR. 17–22 lipca 2005, Bilbao, Spain: 290 — 293.
- Urbanowicz J., Pawińska M. 2001. Odmiany matwikoodporne w strukturze upraw ziemniaka w latach 1995–2000. W: Materiały konferencyjne, IHAR Oddział w Boninie: 130 — 133.
- Wronkowska H. 1990. Z badań nad zasiedlaniem cyst *Globodera rostochiensis* przez grzyby. *Phytopathologia Polonica* XI: 205 — 209.