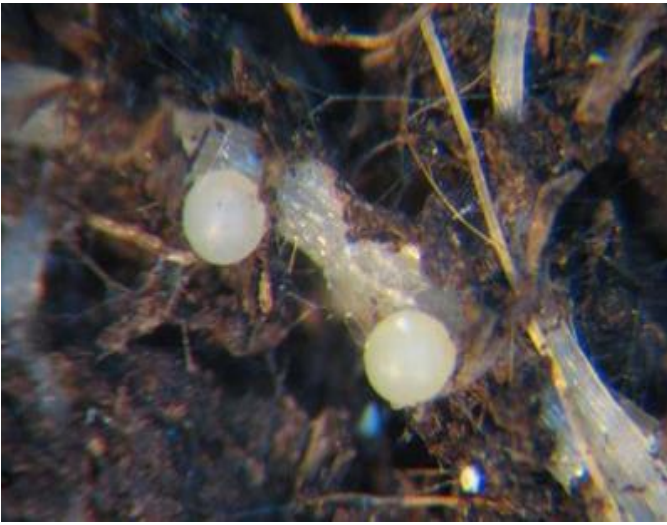


Mątwik ziemniaczany (*Globodera rostochiensis*) i mątwik agresywny (*Globodera pallida*) - występowanie, dystrybucja oraz metody zapobiegania rozprzestrzeniania się patogena i dezynfekcji porażonego nim materiału

Spis treści

1. Charakterystyka *Globodera rostochiensis* i *Globodera pallida*.
 - 1.1. Pochodzenie i występowanie *Globodera rostochiensis* i *Globodera pallida*.
 - 1.2. Biologia mątwika ziemniaczanego i agresywnego.
 - 1.3. Identyfikacja gatunków i patotypów mątwików.
2. Czynniki wpływające na rozprzestrzenianie się mątwika ziemniaczanego i mątwika agresywnego.
 - 2.1. Rozprzestrzenianie w sposób naturalny.
 - 2.2. Rozprzestrzenianie z udziałem człowieka.
3. Metody agrotechniczne stosowane w celu zapobiegania rozprzestrzenianiu się mątwika ziemniaczanego i mątwika agresywnego.
 - 3.1. Płodozmian.
 - 3.2. Rośliny pułapkowe.
 - 3.3. Odmiany odporne.
 - 3.4. Metody chemiczne.
 - 3.5. Metody biologiczne.
 - 3.6. Zalewanie – inundacja.
4. Metody dezynfekcji porażonego podłoża i materiału.
 - 4.1. Solaryzacja gleby.
 - 4.2. Beztlenowa dezynfekcja gleby (ASD).
 - 4.3. Parowanie.
 - 4.4. Podchloryn sodu.
5. Postępowanie z odpadami towarzyszącymi bulwom ziemniaka przeznaczonym do przerobu i sortowania.
6. Podsumowanie.
7. Literatura.



1. CHARAKTERYSTYKA *GLOBODERA ROSTOCHIENSIS* I *GLOBODERA PALLIDA*

1.1. Pochodzenie i występowanie *Globodera rostochiensis* i *Globodera pallida*.

Mątwik ziemniaczany *Globodera rostochiensis* (Wollenweber 1923) i mątwik agresywny *Globodera pallida* (Stone 1973, Behrens 1975) należą do gatunków kosmopolitycznych żyjących zarówno w krajach klimatu umiarkowanego jak i w rejonach tropikalnych. Zakres roślin żywicielskich nicieni, dzięki którym gatunki mątwika przechodzą cykl życiowy ograniczony jest do roślin z rodziny psiankowatych tj. pomidor, ziemniak, bakłażan. Wśród chwastów cysty mątwika mogą się rozwijać na korzeniach psianki słodkogórz oraz na innych dziko żyjących gatunków z rodzaju *Solanum* i *Lycopersicon*.

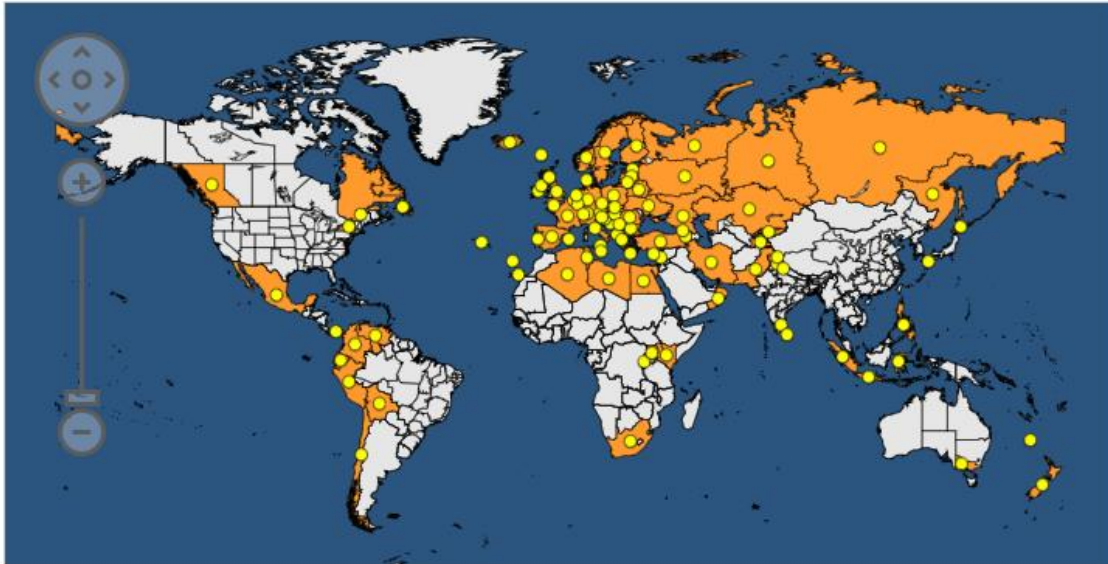
Ojczyzną obydwu gatunków mątwika jest Ameryka Południowa, a w szczególności wyżynne rejony jeziora Titicaca znajdujące się na wysokości 2900 - 3800 m.n.p.m, na których ziemniaki uprawiane przez tysiące lat zostały przewiezione do Europy wraz z wyprawami hiszpańskiej inkwizycji. Do połowy XIX wieku wszystkie odmiany ziemniaka uprawiane w Europie pochodziły z dwóch źródeł – hiszpańskiego z 1570 roku oraz brytyjskiego z ok. 1588 roku (Evans i in. 1975). Te dwie niezależne introdukcje dały początek odmianom ziemniaka na całym świecie (Brodie i in. 1984).

Pomimo pojawienia się odmian ziemniaka w Europie z końcem XVI wieku pierwsze zawleczenie mątwika ziemniaczanego na kontynent odnotowano znacznie później, około roku 1850 (Evans i in. 1975) wraz z ziemią przylegającą do bulw sadzeniaków ziemniaka przywiezionych z Ameryki Południowej w ramach badań prowadzonych w Europie nad epidemią zarazy ziemniaka w latach 1840-tych (Hockland i in. 2012). Na podstawie podobieństw w charakterystyce wirulencji populacji mątwików stwierdzono, że przyczyną ich rozpowszechniania w Europie była niewielka ilość cyst mątwika przywieziona z Ameryki Południowej, natomiast Europa stała się kolejnym centrum dystrybucji patogena przenoszonego w inne części świata wraz z materiałem rozmnożeniowym (Plantard i in. 2008, Grenier i in. 2010). Pierwsze pojawienie się mątwika ziemniaczanego odnotowano w roku 1913 w miejscowości Rostock w byłym NRD, natomiast poza Europą występowanie mątwika zaobserwowano po raz pierwszy na Long Island w USA w roku 1934.

Występowanie mątwika ziemniaczanego odnotowane zostało w 71 krajach świata (OEPP/EPPO, 2016), w tym we wszystkich krajach Unii Europejskiej (CABI, 2021). W obrębie

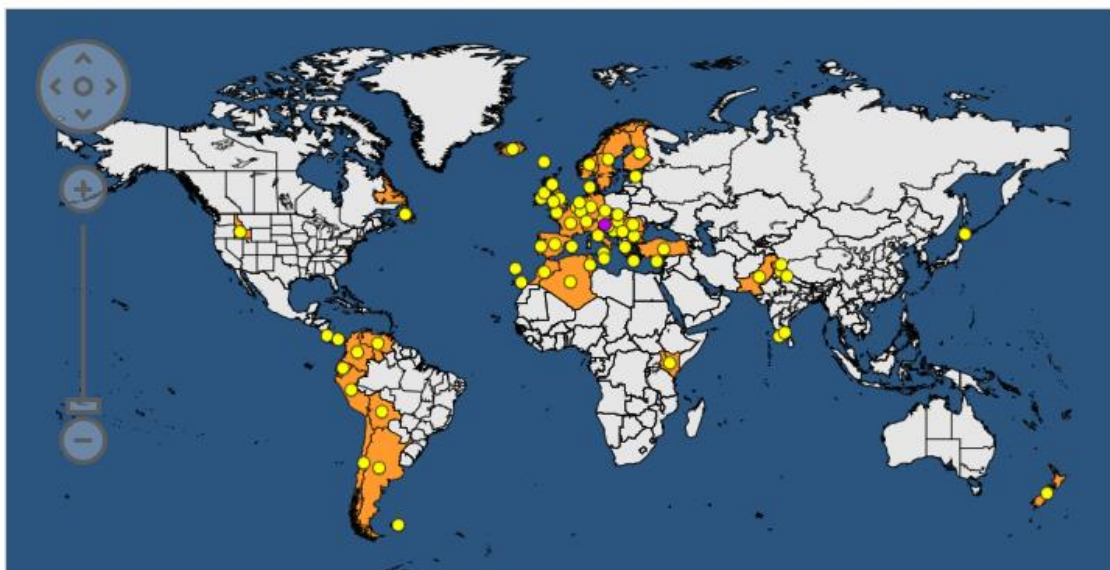
Europy wolne od mątwika ziemniaczanego są jedynie Walia, Czarnogóra i Mołdawia (OEPP/EPPO, 2021).

Występowanie *Globodera rostochiensis* na świecie (OEPP/EPPO, 2021)

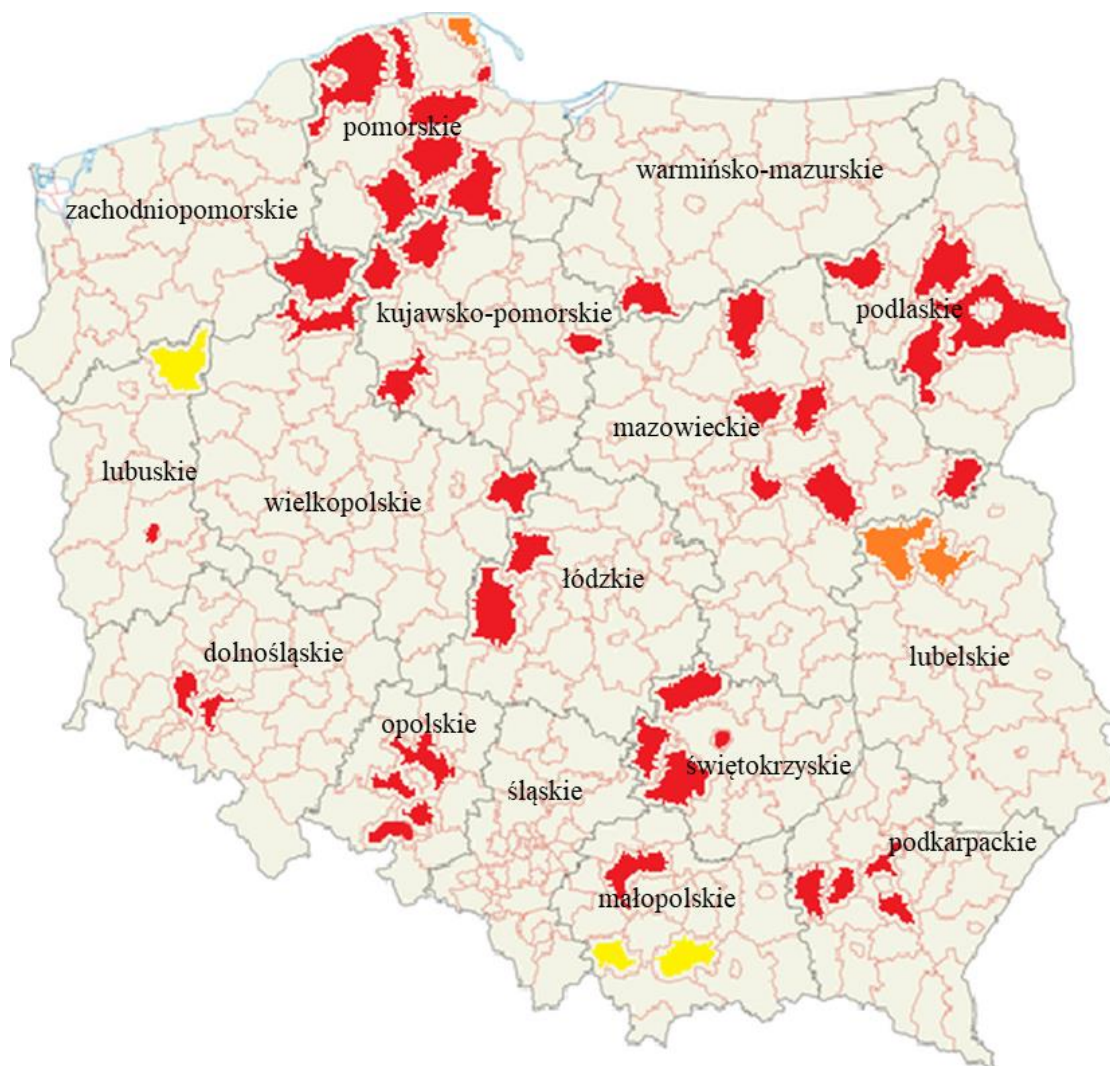


Badania prób gleby prowadzone w celu identyfikacji mątwika agresywnego wykazały obecność patogena w 55 krajach, w tym w 24 krajach unijnych (CABI, 2021) oraz brak występowania gatunku w Polsce, Mołdawii, Rosji, Białorusi i na Ukrainie (OEPP/EPPO, 2021). W pozostałych krajach nasilenie występowania tego gatunku jest zróżnicowane.

Występowanie *Globodera pallida* na świecie (OEPP/EPPO, 2021)



Występowanie poszczególnych patotypów *Globodera rostochiensis* w Polsce, na podstawie badań przeprowadzonych w IHAR-PIB w latach 2018-2021 (Podlewska-Przetakiewicz, 2021)



Legenda:

- kolor czerwony - występowanie patotypu Ro1 *G. rostochiensis*;
- kolor żółty - występowanie patotypu Ro5 *G. rostochiensis*;
- kolor pomarańczowy - występowanie patotypu Ro1 i Ro5 *G. rostochiensis*

W Europie po raz pierwszy występowanie mątwika ziemniaczanego odnotowywano z początkiem XX wieku w Anglii (1905), następnie w Szwecji (1920), Niemczech (1923) oraz w Danii (1928). Jednym z najpóźniej zasiedlonych przez tego mątwika regionów świata są obszary południowej Syberii (1948), gdzie nicien jest obecnie największym problemem w uprawie ziemniaka.

W Polsce występowanie mątwika ziemniaczanego po raz pierwszy stwierdzono w 1946 roku w województwie szczecińskim (Jasińska, 1955) oraz w przydomowym ogrodzie na terenie Gdańska (Wilski, 1955). Przepuszczalnie został on zawleczony z Niemiec i w późniejszych latach pojawił się w uprawie ziemniaka na terenie kraju. Prowadzony w latach 2008-2020 monitoring występowania mątwików w próbach gleby otrzymanych z Wojewódzkich Inspekcji Ochrony Roślin i Nasiennictwa wykazał występowanie na polach uprawnych ziemniaka w kraju głównie mątwika ziemniaczanego. W żadnej badanej próbce gleby nie wykryto obecności patotypu mątwika agresywnego, chociaż dwa jego ogniska, całkowicie zlikwidowane opisywane były w 2010 r. w woj. opolskim i w 2012 w woj. podkarpackim (źródło IOR – „Gatunki obce w Polsce”, Karnkowski i in. 2012, Karnkowski i in. 2011). Obecnie w Polsce nie odnotowuje się występowania mątwika agresywnego.

1.2. Biologia mątwika ziemniaczanego i agresywnego.

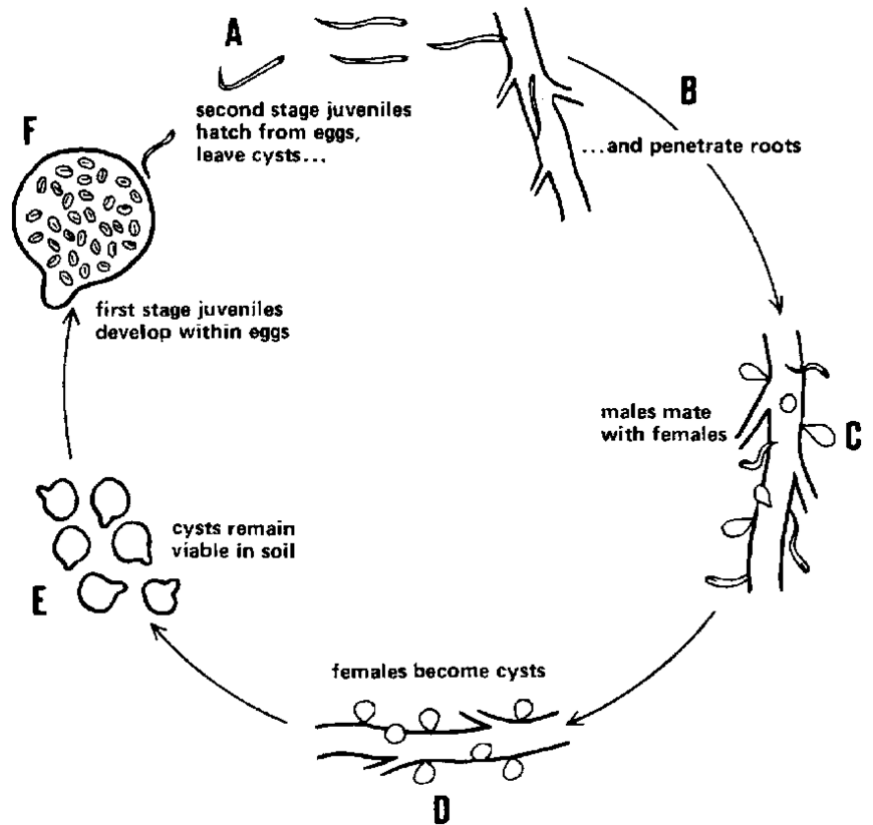
Mątwiki rozmnażają się płciowo (Den Ouden, 1960) i jak wiele innych nicieni tworzących cysty osobniki młodociane wykluwają się z jaj w wyniku stymulacji wydzielinami uwalnianymi przez korzenie roślin psiankowatych. Po wykluciu pojawiają się osobniki młodociane drugiego stadium (J2), które penetrują system korzeniowy rośliny żywiciela tuż za wierzchołkiem korzenia lub korzeniem bocznym poprzez nakłucie ścian komórkowych korzenia tzw. sztyletem. (Evans i Stone, 1977). Nicienie migrują w przestrzeniach międzykomórkowych do perycyklu, gdzie tworzą strukturę nazywaną syncytium dostarczając substancji odżywczych dla rozwijającego się do stadium dorosłego nicieni. Około 7 dni po wnikięciu do rośliny osobniki J2 przekształcają się w osobniki J3 i J4. Płeć u nicieni jest identyfikowana już w trzecim stadium rozwoju (J3) i jest determinowana przez warunki środowiskowe a przede wszystkim przez dostępność pokarmu. Przy ograniczonym rozroście syncytium i braku substancji odżywczych w cyklu życiowym nicieni powstaje więcej samców niż samic (Trudgill, 1967). Samce wydostają się z korzenia w celu zapłodnienia samic, których gonady w wyniku powiększania się rozrywają korę korzenia i ostatecznie wystają poza jego powierzchnię stając się widoczne na zewnątrz. Dalszy rozwój zarodków odbywa się w jajach aż do powstania

osobników młodocianych drugiego stadium (J2). Na tym etapie pozostają uśpione, dopóki nie otrzymają odpowiedniego bodźca do wyklucia lub gdy warunki nie będą odpowiednie do aktywności. Dojrzałe samice obumierają, przekształcając się tworząc wokół jaj ochronną cystę zawierającą od 200 do 500 jaj i odpadają od korzenia rośliny. W zależności od sprzyjających wylęgowi czynników zewnętrznych 1/3 larw inwazyjnych w cyście może być źródłem porażenia roślin jeszcze w tym samym sezonie wegetacyjnym. Cysty mogą przetrwać w glebie przez 15 lat lub dłużej (Perry, 1989).

Cykle życiowe mątwika ziemniaczanego i mątwika agresywnego są zasadniczo takie same. Różnicą jest jedynie temperatura progowa wykuwania osobników J2 z jaj i wynosi ona 10°C dla mątwika agresywnego i 15°C dla mątwika ziemniaczanego. We wszystkich temperaturach względne tempo wylęgania się *G. rostochiensis* jest wyższe niż w przypadku *G. pallida*, co sprzyja szybszemu „zadomowieniu się” mątwika ziemniaczanego w korzeniach i wykluczeniu mątwika agresywnego w sytuacji, gdy gatunki te konkurują w wyższych zagęszczeniach. W populacjach mieszanych wykluwaniu się osobników juwenilnych *G. pallida* mogą sprzyjać niskie temperatury gleby i początkowe zagęszczenie, które nie ograniczają wczesnego wzrostu korzeni, podczas gdy *G. rostochiensis* może dominować w stosunkowo cieplejszych glebach i przy dużym zagęszczeniu.

Cykl życiowy *Globodera*

(Franco, 1986)



1.3. Identyfikacja gatunków i patotypów mątwika.

Do określania gatunków mątwików wykorzystuje się zarówno cechy morfologiczne gatunku jak i metody molekularne oparte na analizie PCR. Zgodnie z nowym rozporządzeniem wykonawczym Komisji Europejskiej 2022/1192 z dnia 11 lipca 2022 roku w odniesieniu do wykrywania i identyfikacji gatunku mątwików po izolacji cyst agrofaga z gleby wykorzystuje się jedną z następujących metod:

- konwencjonalny test PCR opracowany przez Bulmana i Marshalla (1997). W przypadku wątpliwości dotyczących występowania *Globodera tabacum* dodatkowo można wykonać test PCR według Skantara i in. (2007), którego zespół zastosował metody molekularne połączone z morfologicznym określaniem gatunku w celu identyfikacji gatunków nicieni w miejscach nowych ognisk choroby;
- identyfikacja gatunków na podstawie morfologii poszczególnych cyst i osobników młodocianych w połączeniu z testem Real time- PCR według Gamela i in. z 2017 roku;
- wykrywanie gatunków metodą Real time-PCR według Gamela i in. (2017) poprzedzone izolacją cyst mątwika z pozostałości gleby po ekstrakcji.

W niektórych państwach członkowskich Unii Europejskiej stosuje się metodę wykrywania i identyfikacji gatunku mątwików z wykorzystaniem techniki PCR w czasie rzeczywistym (Real time- PCR) według Beniers i in. z 2014 roku, niemniej metoda ta jest wciąż walidowana.

W obrębie obu gatunków mątwików z rodzaju *Globodera* wyróżnia się tzw. patotypy. Są to grupy mątwików charakteryzujące się wspólnymi genami wirulencji (lub awirulencji) i wyróżnione na podstawie zdolności (lub braku zdolności) namnażania się danej populacji na określonej roślinie żywicielskiej zwanej rośliną różnicującą. Na podstawie interakcji różnych populacji mątwika z różnymi roślinami różnicującymi wyodrębniono pięć patotypów mątwika ziemniaczanego – Ro1, Ro2, Ro3, Ro4 i Ro5 oraz trzy patotypy mątwika agresywnego – Pa1, Pa2 i Pa3.

Identyfikacja patotypów mątwika ziemniaczanego i agresywnego wg Kort i in. (1977).

Genotypy ziemniaka	patotypy <i>G. rostochiensis</i>					patotypy <i>G. pallida</i>	
	Ro1	Ro2	Ro3	Ro4	Ro5	Pa1	Pa2
Desiree	+	+	+	+	+	+	+
Maris Piper	-	+	+	-	+	+	+
<i>Solanum kurtzianum</i> , 60.21.19	-	-	+	+	+	+	+
<i>Solanum vernei</i> , 58.1642.4	-	-	-	+	+	+	+
<i>Solanum vernei</i> ,65.346.19	-	-	-	-	-	+	+
<i>Solanum vernei</i> , 62.33.3	-	-	-	-	-	-	-
<i>Solanum multidissectum</i> , P55/7	+	+	+	+	+	-	+

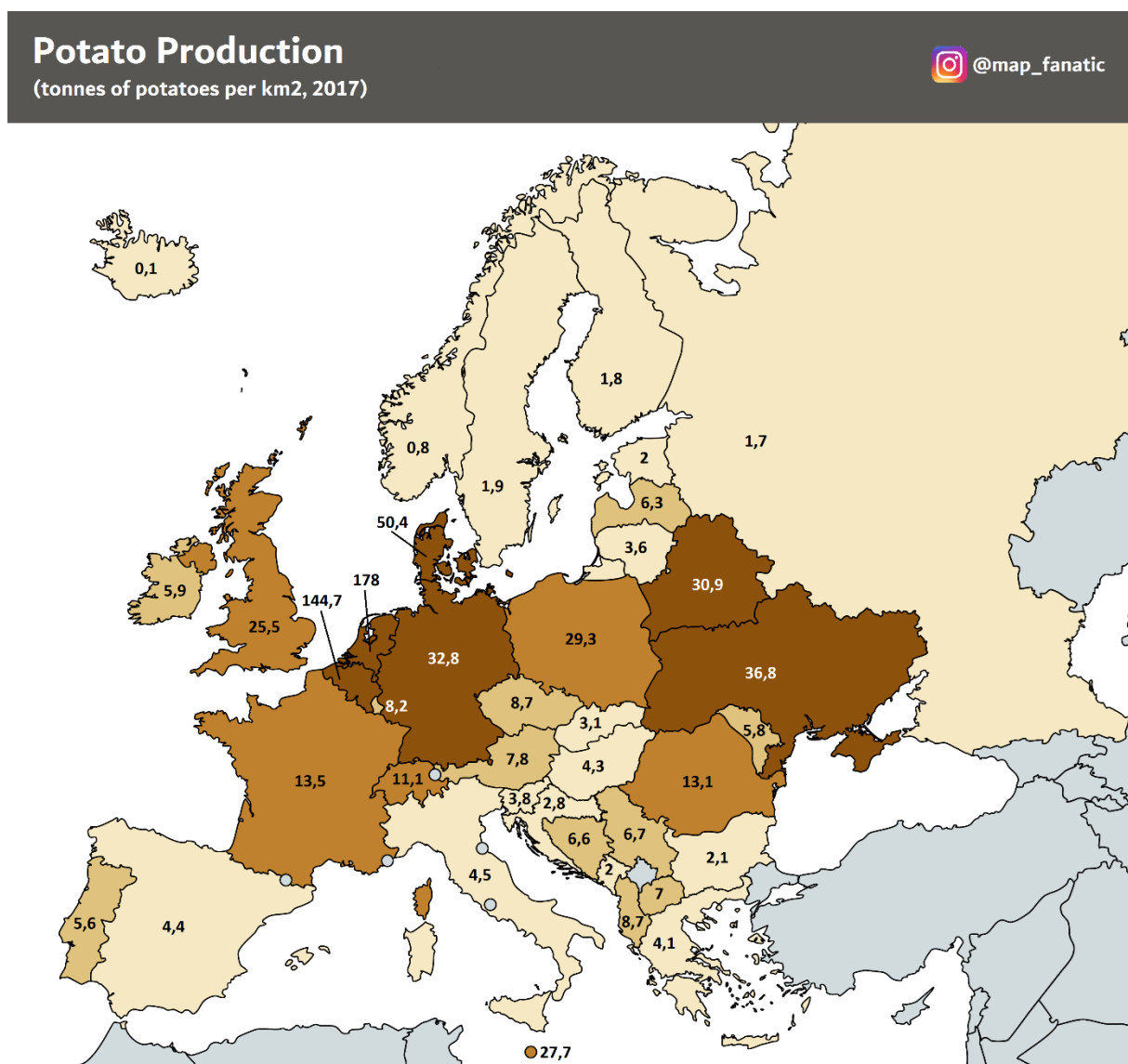
+ oznacza podatność (namnażanie mątwika na danej roślinie różnicującej)

– oznacza odporność (brak namnażania mątwika na danej roślinie różnicującej).

2. Czynniki wpływające na rozprzestrzenianie się mątwika ziemniaczanego i agresywnego

Jednym z głównych gospodarzy roślinnych mątwika ziemniaczanego i agresywnego jest ziemniak, który uprawiany jest we wszystkich krajach Unii Europejskiej (rys.1). Straty w plonie wywołane porażeniem mątwikiem ziemniaczanym mogą sięgać od 50% (Seenivasan, 2017) do 80% (Turner, 1996). W przypadku roślin pomidora jak i bakłażana uprawianych głównie w szklarniach nicienie nie stanowią tak dużego zagrożenia a ponadto mogą one być łatwiej zwalczane niż w przypadku polowych upraw ziemniaka. Podobnie w przypadku pozostałych chwastów z rodziny *Solanaceae*.

Rys. 1. Produkcja ziemniaka w Europie (ton/km²).



Formą przetrwalnikową mątwików są cysty zawierające od 200 do 500 jaj. Jaja zawierają roztwór trehalozy, który chroni inwazyjne stadium J2 mątwika w ekstremalnych

warunkach otoczenia, co oznacza, że mątwiki mogą przetrwać zarówno mroźne zimy jak i długotrwałe susze.

Cykl życiowy nicieni z rodzaju *Globodera* jest dopasowany do cyklu wegetacyjnego gospodarza roślinnego. Wczesną wiosną, gdy temperatura gleby osiąga 8-10°C i rozpoczyna się kiełkowanie bulw ziemniaka, następuje wykluwanie się osobników młodocianych mątwika i inwazja systemu korzeniowego gospodarza. Krótki cykl życiowy nicienia wynoszący ok. 6 tygodni pozwala całej populacji mątwika wyprodukować potomstwo w okresie wegetacji ziemniaka. Mątwik ziemniaczany i mątwik agresywny przechodzą jedno pokolenie w ciągu roku, jednak współczynnik namnażania się jest bardzo wysoki w porównaniu np. do guzaków (*Meloidogyne*), które przechodzą kilka pokoleń rocznie. W literaturze można znaleźć wyniki badań wykazujące, że w sprzyjających warunkach pogodowych mątwiki mogą przejść dwa pokolenia generatywne w ciągu jednego sezonu wegetacyjnego ziemniaka (Evans i Stone, 1977; Greco i in. 1988, Perez i in. 2009).

2.1. Rozprzestrzenianie się w sposób naturalny.

W krajach Unii Europejskiej, w których odnotowuje się obecność *G. rostochiensis* i *G. pallida* rozprzestrzenianie się cyst mątwików za pomocą naturalnych czynników środowiska tj. wiatr, woda i zwierzęta jest znikome, natomiast samoistne przemieszczanie się osobników młodocianych w glebie ograniczone jest do ok. 1 metra.

2.2. Rozprzestrzeniania się z udziałem człowieka.

Główną przyczyną rozprzestrzeniania się nicieni i powstawania nowych ognisk choroby jest tzw. transport pasywny, w którym porażona cystami gleba, przylegająca do sadzeniaków, cebulek lub innych roślin szkółkarskich przemieszczana jest na pola niezainfekowane, na których wcześniej nie stwierdzono obecności patogena. W celu ograniczenia rozprzestrzeniania się cyst prowadzi się badania gleby na polach przeznaczonych pod uprawę sadzeniaków ziemniaków oraz innych roślin wymienionych w rozporządzeniu wykonawczym Komisji (UE) 2022/1192, załącznik I, a monitoringowo w uprawach innych niż sadzeniaki, natomiast aby zminimalizować roznoszenie cyst, w łańcuchu dostaw ziemniaka można dodatkowo poddać badaniu glebę zebraną podczas sortowania i pakowania bulw ziemniaka.

Drugim bardzo istotnym „wektorem” dyspersji nicieni o średnim i dużym zasięgu są maszyny i narzędzia rolnicze używane w gospodarstwie, gdzie wraz z transportem, w resztkach gleby i na opakowaniach (np. workach) cysty mątwików mogą być zawleczone w miejsca nie porażone. Ze względu na znaczące ilości gleby przylegającej do maszyn i narzędzi rolniczych często używanych na oddalonych od siebie polach, rośnie tempo rozprzestrzeniania się nicieni. Ważne jest zatem dokładne czyszczenia i mycie oraz odkażaniem narzędzi i maszyn rolniczych.

Kolejną przyczyną przemieszczania się populacji mątwika jest ponowne wykorzystywanie w pracach polowych porażonej ziemi oraz stosowanie nawozów naturalnych pochodzących od zwierząt hodowlanych karmionych zainfekowanymi ziemniakami. Są to jednak drugorzędowe drogi porażenia nie wpływające w znaczący sposób na rozprzestrzenianie się cyst mątwika.

3. Metody agrotechniczne stosowane w celu zapobiegania rozprzestrzenianiu się mątwika ziemniaczanego i mątwika agresywnego

Szczegółowe zasady dotyczące zwalczania i zapobiegania rozprzestrzenianiu się ww. mątwików zostały określone w rozporządzeniu wykonawczym Komisji (UE) 2022/1992. Zasady te określają sposób przeprowadzenia urzędowych kontroli występowania nicieni oraz kontroli monitoringowych, sposobu pobierania prób gleby i przeprowadzenia testów na potrzeby ww. kontroli, uznania punktów produkcji i określonych roślin za porażone oraz przedstawiono środki stosowane do zwalczania nicieni. Dodatkowo w celu ograniczenia rozprzestrzeniania się mątwików każde państwo członkowskie jest zobowiązane do udzielania informacji o potwierdzonym przełamaniu odporności danej odmiany ziemniaka przez określonego agrofaga oraz przedstawieniu wykazu wszystkich nowych i odpornych odmian ziemniaków dopuszczonych do obrotu.

Poniżej opisane zostały inne metody mające wpływ na ograniczanie liczebności populacji mątwików.

3.1. Płodozmian

Jedną z najczęściej stosowanych metod agrotechnicznych mających na celu zredukowanie liczebności cyst nicieni w glebie jest właściwy dobór gatunków uprawianych

na zamątwiczonym polu. Mątwiki żerują głównie na roślinach ziemniaka, który uprawiany w monokulturze przez wiele lat przyczynia się do znaczącego wzrostu zagęszczenia patogena w glebie. Pomimo tego, że dzięki formie przetrwalnikowej mątwik przeżywa w glebie wiele lat, część nicieni wykluwa się samoistnie każdego roku a pod nieobecność gospodarza roślinnego obumiera (Den Ouden, 1960). Wskaźnik spadku zagęszczenia populacji może corocznie wynieść do 33 % i jest zależny od typu gleby oraz terminu ostatniej uprawy ziemniaka na polu (Turner, 1996). Większość autorów badających ten temat zaobserwowało znaczący spadek zagęszczenia populacji mątwika w glebie rok po zbiorach ziemniaka od ok. 65% (Schomaker i Been, 1999) do 80% (Andersson, 1989). Trudgill i in. (2003) na podstawie prowadzonych doświadczeń stwierdzili, że uprawa odpornych roślin ziemniaka we właściwym płodozmianie przez okres przynajmniej 15 lat umożliwi utrzymanie wskaźnika spadku zagęszczenia populacji mątwika do poziomu 20% i poniżej 5 jaj na gram gleby (czyli tzw. poziomu infekcyjności nicienia).

Niszczanie samosiewów ziemniaka i innych psiankowatych oraz wyeliminowanie ich z płodozmiannu powoduje naturalne ograniczanie liczebności populacji nicienia w glebie. Do płodozmiannu zastosowane mogą być gatunki z rodzaju kapustowatych, które przyczyniają się do redukcji populacji nicieni w glebie nawet do 50% (Ngała i in., 2014, Zambouri i Fatemy 2014; Fatemy i Sepideh, 2016). Istotne znaczenie mogą mieć również uprawy międzyplonów ścierniskowych (Pastuszewska i in., 2013; Nowakowski i Franke, 2013). Bardzo istotny w zabiegach agronomicznych jest również maksymalnie wydłużony cykl zmianowania z wykorzystaniem bardzo wczesnych odmian ziemniaka, o krótkim okresie wegetacji. Kontrolowanie cyklu rozwojowego nicieni pozwala na usunięcie z pola roślin ziemniaka zanim na korzeniach wykształcą się dojrzałe cysty.

3.2. Rośliny pułapkowe

Prostą metodą do ograniczenia zagęszczenia populacji mątwika w glebie są rośliny pułapkowe (Halford i in. 1999). Osobniki młodociane J2 nicienia wnikają do korzeni roślin pułapkowych lecz nie mają wystarczająco dużo czasu do formowania jaj. Zastosowanie *Solanum sisibriifolium* – psianki stuliszolistnej, roślinnego gospodarza mątwika - niewytwarzającego bulw i o krótszym okresie wegetacji, niemniej stymulującego wylęganie się osobników młodocianych z jaj umożliwiło redukcję *G. pallida* o ok. 80% (Scholte i in. 2000, Szymczak i in. 2007). Intensywne badania nad efektywnością zastosowania psianki

przewodzone w Holandii wykazały średni spadek zagęszczenia populacji mątwika w glebie wynoszący 52% (Hartsema i in. 2005).

3.3. Odmiany odporne

Dotychczas najefektywniejszą metodą zmniejszenia liczebności populacji mątwików w glebie jest uprawa odpornych na dany patotyp mątwika odmian ziemniaka. Dominującym w Europie jest patotyp Ro1 mątwika ziemniaczanego. Obecność genu H1 pochodzącego z *Solanum tuberosum* subsp. *andigena* stanowi źródło odporności odmian na ten patotyp a zastosowanie w uprawie odmian zawierających ten gen spowodowało znaczące obniżenie liczebności populacji Ro1 *G. rostochiensis*. W przeciwieństwie do odporności na patotyp Ro1, warunkowanego pojedynczym i głównym genem H1, odporność odmian ziemniaka na patotypy mątwika agresywnego jest ilościowa i wielogenowa. Obecnie odporność odmian ziemniaka na patotypy mątwika agresywnego pochodzi z *Solanum vernei*, *S. andigena* i *S. spigazinii* (tab.1).

Tab.1. Identyfikacja genów odporności na *Globodera rostochiensis* i *G. pallida*.

LG	Gene/ Allele	SD/QTL	Species	Origin	Cloned	Reference
III	<i>Gro1.4</i>	QTL	<i>G. rostochiensis</i>	<i>S. spegazzinii</i>	No	Kreike et al. 1996
IV	<i>Gpa4</i>	QTL	<i>G. pallida</i>	<i>S. tuberosum</i> <i>spp. tuberosum</i>	No	Bradshaw et al. 1998
V	<i>Gpa</i>	QTL	<i>G. pallida</i>	<i>S. spegazzinii</i>	No	Kreike et al. 1994
V	<i>Gpa5</i>	QTL	<i>G. pallida</i>	<i>Solanum spp.</i>	No	Roupe van der Voort et al. 2000
V	<i>Grp1</i>	QTL	<i>G. pallida</i> / <i>G. rostochiensis</i>	<i>Solanum spp.</i>	No	Roupe van der Voort et al. 2000
V	<i>H1</i>	SD	<i>G. rostochiensis</i>	<i>S. tuberosum</i> <i>spp. andigena</i>	No	Gebhardt et al. 1993, Pineda et al. 1993
V	<i>GroVI</i>	SD	<i>G. rostochiensis</i>	<i>S. vernei</i>	No	Jacobs et al. 1996
VII	<i>Gro1-4</i>	SD	<i>G. rostochiensis</i>	<i>S. spegazzinii</i>	Yes	Paal et al. 2004
IX	<i>Gpa6</i>	QTL	<i>G. pallida</i>	<i>Solanum spp.</i>	No	Roupe van der Voort et al. 2000
X	<i>Gro1.2</i>	QTL	<i>G. rostochiensis</i>	<i>S. spegazzinii</i>	No	Kreike et al. 1993
XI	<i>Gro1.3</i>	QTL	<i>G. rostochiensis</i>	<i>S. spegazzinii</i>	No	Kreike et al. 1993
XII	<i>Gpa2</i>	SD	<i>G. pallida</i>	<i>S. tuberosum</i> <i>spp. andigena</i>	Yes	Roupe van der Voort et al. 1997, Van der Vossen et al. 2000

LG: Linkage group; SD: Single dominant locus; QTL: Quantitative trait locus (after Grube et al. 2000).

Wykorzystanie w hodowli odpornych odmian ziemniaka powoduje spadek liczebności populacji mątwika o ok. 90 (Brzeski i Rogala, 1989, Malec, 1985). Pod koniec 2018 roku w Krajowym Rejestrze Odmian znajdowało się zaledwie 6% odmian ziemniaka podatnych na dominujący w kraju patotyp Ro1 mątwika ziemniaczanego, niemniej jedynie 25% wszystkich odmian zostało przebadanych na pozostałe siedem patotypów nicieni z rodzaju *Globodera* (http://www.coboru.gov.pl/pl/kr/kr_odm?kodgatunku=ZIK) (Franke i in. 2019).

Ocenę odporności odmian ziemniaka na wszystkie patotypy mątwika ziemniaczanego i agresywnego prowadzi się zgodnie rozporządzeniem wykonawczym Komisji (UE) 2022/1192 (załącznik V).

Skala oceny odporności jest 9-cio stopniowa a porażenie każdej bulwy porównywane jest do skrajnie podatnej kontrolnej odmiany ziemniaka. Desiree (tab.2).

Tab. 2. Skala stopni odporności (Rozporządzenie Komisji (UE) 2022/1992, zał. V).

Względna podatność (%) (RS)	Stopień odporności
≤ 1	9 (bardzo wysoki)
$1,1 < RS \leq 3$	8 (wysoki do bardzo wysoki)
$3,1 < RS \leq 5$	7 (wysoki)
$5,1 < RS \leq 10$	6 (umiarkowany do wysoki)
$10,1 < RS \leq 15$	5 (umiarkowany)
$15,1 < RS \leq 25$	4 (niski do umiarkowany)
$25,1 < RS \leq 50$	3 (niski)
$50,1 < RS \leq 100$	2 (bardzo niski do niski)
> 100	1 (bardzo niski)

Względna podatność (RS) = (liczba cyst na korzeniach rośliny testowanej/liczba cyst na korzeniach odmiany Desiree) x 100%.

3.4. Metody chemiczne

W przeszłości do kontrolowania liczebności populacji nicieni w glebie stosowano fumiganty tj. izotiocjanian metylu, bromek metylu i 1,3-dichloropropen oraz nematocydy. Zaniechano jednak stosowania tych substancji ze względu na ich szkodliwy wpływ na środowisko, w szczególności na wody gruntowe oraz karcynogeny wpływ na zdrowie człowieka.

Obecnie w celu chemicznego ograniczenia zagęszczenia populacji nicieni w glebie wykorzystuje się dostępne na rynku środki ochrony roślin. Wyróżnia się wśród nich nematocydy selektywne (Vydate 10 G) oraz nieselektywne w postaci fumigantów glebowych, których aktualna lista dostępna jest na stronie <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/rejestr-rodkow-ochrony-roslin>.

3.5. Metody biologiczne

Metoda biologiczna bazuje na antagonistycznych oddziaływaniach grzybów i bakterii występujących w glebie na larwy nicienia. W literaturze dostępne są wyniki badań nad nicieniobójczym działaniem grzybów z rodzaju *Pochomia* (Tobin i in., 2008) i *Trichoderma* (Contina i in., 2017).

3.6. Zalewanie

Zgodnie z przepisami Unii Europejskiej pola przeznaczone pod uprawę sadzeniaków ziemniaka muszą być wolne od mątwika ziemniaczanego i mątwika agresywnego. Jedną z metod ograniczania rozprzestrzeniania się nicieni i eliminację cyst z pól przeznaczonych pod uprawę roślin cebulowych i bulwowych jest zalewanie. Eliminację cyst agrofaga przeprowadza się poprzez zalewanie wodą porażonej powierzchni pola na wysokość co najmniej 5 cm powyżej poziomu gruntu przez okres 12 tygodni i przy temperaturze wynoszącej co najmniej 16°C na głębokości 15 cm. W przypadku tej metody konieczne jest wykluczenie odpływu wody z zalewanego obszaru związane z ukształtowaniem terenu. Zalewanie jest niedozwolone w punktach produkcji, w których zidentyfikowano występowanie *Synchytrium endobioticum* – sprawcę raka ziemniaka. Roślin z gatunku *Solanum tuberosum* oraz *Solanum lycopersicum* nie można wysadzać na polach uprawnych w pierwszym sezonie wegetacyjnym następującym po zalaniu jeżeli wykorzystuje się w tym celu wody powierzchniowe, w których nie można wykluczyć obecności bakterii kwarantannowej *Ralstonia solanacearum*.

Metoda eliminacji mątwika poprzez zalewanie jest szeroko stosowana w Holandii przy uprawie tulipanów a wyniki badań prowadzonych nad przeżywalnością cyst *Globodera* po 16 tygodniach od zalania badanej powierzchni pola wykazały eliminację 99,9% sztucznie zasiedlonych w glebie cyst. Podobne wyniki (84%) uzyskano poprzez eliminację mikrosklerocji *Verticilium dahliae*, regulowanego agrofaga niekwarantannowego (RAN) na karczochu hiszpańskim, chmielu i niektórych roślinach sadowniczych, lecz nie na ziemniaku, grzyba wywołującego więdnienie roślin ziemniaka. Dotychczas nie ma prac naukowych opisujących wpływ zalewania pól na przeżywalność i rozprzestrzenianie się innych agrofagów kwarantannowych atakujących bulwy ziemniaka takich jak np. *Ralstonia solanacearum* (śluzak) i *Clavibacter sepedonicus* (bakterioza pierścieniowa). Badania mające

na celu eliminację kwarantannowych bakterii prowadzone były z dużym powodzeniem poprzez zalewanie lub poddanie warunkom beztlenowym (ASD) jedynie prób gleby przylegającej do bulw ziemniaka pochodzących z porażonych mątwikiem pól (van Overbeek, i in. 2014).

Trwają badania nad wpływem długoterminowego zalania gleby na jej właściwości biologiczne, fizyczne i chemiczne.

3.7. Metody ugorowania gleby i usuwanie roślin psiankowatych.

W krajach o wysoko rozwiniętym rolnictwie, grunt ugorowany, czyli czasowo wyłączony z produkcji, jest poddawany odpowiednim zabiegom umożliwiającym utrzymanie go w stanie sprawności agrotechnicznej (Adamczewski i in. 1994). Metoda ugorowania pola jest jednocześnie sposobem na zmniejszenie liczebności populacji nicieni w okresie obowiązuje na tym polu 6 -letniej kwarantanny przy jednoczesnej eliminacji roślin żywicielskich mątwika w tym chwastów psiankowatych. Zabiegi agrotechniczne polegające na niszczeniu samosiewów ziemniaka, uprawie roślin zbożowych przez okres kwarantanny lub ewentualne dopuszczenie do uprawy odmian ziemniaka z przeznaczeniem na konsumpcję lub przerób przemysłowy w 8 i 9 stopniu odporności na dany patotyp mątwika są metodami umożliwiającymi zapobieganie dalszego rozprzestrzeniania się i namnażania patogena na polach uprawnych. Ten sposób eliminacji cyst mątwika w glebie jest szczególnie powszechny w przypadku gruntów o małym areale.

4. Metody dezynfekcji porażonego podłoża i bulw

4.1. Solaryzacja gleby

Metoda podgrzewania powierzchni gleby do temperatury, w której żywotność mątwika, a w szczególności infekcyjnego stadium młodocianego drastycznie spada stosowana jest powszechnie w krajach klimatu tropikalnego. Polega ona po obłożeniu powierzchni pola kilkoma warstwami siatki polietylenowej tak, aby podnieść temperaturę gleby pod nią do 60 lub więcej stopni. W krajach klimatu umiarkowanego metoda ta daje dużo mniejsze efekty.

4.2. Beztlenowa dezynfekcja gleby (ASD)

Biologiczna dezynfekcja gleby polega na rozproszaniu na polu zielonego nawozu, jako grubej warstwy materii organicznej, a następnie stworzenia warunków beztlenowych poprzez nawodnienie i pokrycie pola hermetyczną folią plastikową. Po okresie 6 tygodni sztucznie wywołane warunki beztlenowe odpowiadają za eliminację zarówno patogenów grzybowych i bakteryjnych jak i pasożytniczych mątwików. Metoda ta oparta jest na przekształcaniu materiału organicznego w inne związki organiczne, które w warunkach braku tlenu (spadek do wartości ok. 1% w ciągu kilku godzin) są śmiertelne dla patogenów glebowych (Blok i in. 2000). Wraz ze spadkiem stężenia tlenu, zredukowane są azotany, jony manganu i żelaza oraz siarczany, natomiast warunki beztlenowe sprzyjają powstawaniu produktom fermentacji tj. kwasy tłuszczowe. Nicieniobójcze działanie kwasów tłuszczowych zostało ostatnio opisywane przez kilka grup badawczych (Xiao i in. 2008; Mahran i in. 2008; Abdel-Rahman i in. 2008).

Skuteczność eliminacji cyst mątwika agresywnego przy użyciu tej metody wahała się od 25 do 95% (Meijer i Lamers, 2004) i wzrastała wraz ze wzrostem temperatury w zakresie od 5 do 20 °C (Spaull i in. 1992).

4.3. Czyszczenie porażonych roślin.

Zgodnie z nowym Rozporządzeniem Wykonawczym Komisji (UE) 2022/1192 z dnia 11 lipca 2022 roku urzędowo zatwierdzonymi środkami wyeliminowania ryzyka rozprzestrzeniania się określonego agrofaga w przypadku roślin cebulowych, bulw i posiadających kłącza oraz przeznaczonych do ponownego sadzenia jest oczyszczanie ich z resztek przylegającej gleby poprzez mycie lub szcztokowanie aż do praktycznego usunięcia gleby tak, aby nie istniało ryzyko przeniesienia nicieni. Metoda ta nie gwarantuje całkowitego usunięcia agrofaga niemniej w znaczący sposób przyczynia się do ograniczenia liczebności cyst mątwika możliwych do przeniesienia. Do roślin, w przypadku których stosuje się powyższą metodę należą *Allium cepa* (cebula zwyczajna), *Allium ascalonicum* L. (cebula szalotka), *Gladiolus* Tourn. Ex L. (mieczyk), *Narcissus* L. (narcyz), *Tulipa* L. (tulipan) oraz rośliny z rodzaju *Dahlia* (dalia), *Hyacinthus* (hiacynty) i *Iris* (irysy).

4.4. Parowanie porażonego materiału.

Już w 1962 roku Baker stwierdził, że większość patogennych dla roślin mikroorganizmów, wirusów, owadów i nasion chwastów może zostać zniszczona w glebie w

temperaturze ok. 60°C przez 30 minut. Wyniki intensywne badań prowadzonych w latach późniejszych zoptymalizowały temperaturę potrzebną do całkowitej eliminacji cyst mątwika i wynoszącą 70°C stosowanej przez pół godziny (Bollen, 1985, Runia, 2000). W warunkach laboratoryjnych lub szklarniowych parowanie skażonego podłoża, bulw lub pozostałości roślinnych, które miały styczność z cystami mątwika można przeprowadzić w temperaturze 100°C przez ok. 60 minut w celu całkowitej eliminacji nicienia (Podlewska-Przetakiewicz, informacja słowna).

4.4.1. Podchloryn sodu.

Jedną z metod mających na celu odkażenie materiału biologicznego z zachowaniem jego zdolności do dalszego kiełkowania i wzrostu jest wykorzystanie podchlorynu sodu. W 2020 roku badacze z Indii stosowali trzy różne stężenia NaOCl – 0,5; 1 i 2 % w doświadczeniach nad eliminacją i całkowitym rozpadem cyst z gleby przylegającej do bulw świeżo wykopanych z silnie zamątwiczzonego pola. Czas ekspozycji (zanurzenia) bulw w podchlorynie wynosił 30, 60 i 120 minut. Równolegle prowadzono doświadczenie *in-vitro* stosując te same stężenia i czas oddziaływania podchlorynu na cysty. Uzyskane wyniki wykazały 100% rozpad cyst mątwika w 2% NaOCl przez 60 minut w warunkach *in-vivo* oraz 100% eliminację patogena w 1% podchlorynie w czasie 30 minut w warunkach *in-vitro*. Nie zaobserwowano negatywnego wpływu podchlorynu na kiełkowanie bulw ziemniaka (Bairwa A, 2020).

5. Postępowanie z odpadami towarzyszącymi bulwom ziemniaka przeznaczonym do przerobu i sortowania.

Środki i zasady dotyczące postępowania z porażonymi roślinami oraz z odpadami towarzyszącymi bulwom ziemniaka przeznaczonym do przemysłowego przetwarzania lub do sortowania określone zostały w art. 9 lit. b. oraz w załączniku II pkt. 2 rozporządzenia Komisji (UE) 2022/1992. Obejmują one przygotowanie i dostarczenie do zakładów przetwórstwa ziemniaka właściwych i urzędowo zatwierdzonych procedur utylizacji odpadów, w tym pozostałości gleby, w odniesieniu do których stwierdzono, że nie istnieje ryzyko rozprzestrzeniania się nicieni.

Zasady dotyczące usuwania porażonych mątwikiem odpadów towarzyszących bulwom ziemniaka przeznaczonym do przerobu i sortowania powinny być zgodne z ogólnymi zasadami postępowania z odpadami w gospodarstwach rolnych, przy czym szczególną uwagę powinno się zwrócić na to, aby jak najwięcej porażonej gleby pozostawić na polu, gdzie wyprodukowano porażoną partię ziemniaków. Gleba obsypana z bulw oraz odpady z sortowania i przetwarzania nie mogą być zwracane na żadne inne grunty rolne. Mogą one być składowane na gruntach nie użytkowanych rolniczo, Zainfekowany materiał może być również zakopywany w głębokich składowiskach. Dodatkowo odpady ziemniaczane z porażonych gruntów nie mogą być wykorzystywane jako pasza dla zwierząt.

6. Podsumowanie

- a) Zmniejszenie i ograniczenie liczebności populacji mątwika ziemniaczanego i agresywnego w glebie możliwe jest jedynie poprzez stosowanie w uprawie odmian w najwyższym 9-tym stopniu odporności.
- b) Eliminacja cyst z porażonego materiału biologicznego tj. bulwy ziemniaka lub cebulki kwiatów, z przeznaczeniem do dalszej uprawy, jest możliwa dzięki zastosowaniu podchlorynu sodu (NaOCl) w stężeniu 2% przez 60 minut. W przypadku ziemniaka zastosowanie podchlorynu sodu nie miało wpływu na późniejsze kiełkowanie bulw, w przypadku cebulek kwiatów nie prowadzono takich doświadczeń (metoda nieuwzględniona w rozporządzeniu Komisji (UE) 2022/1192).
- c) Skuteczną metodą utylizacji cyst mątwika w porażonym materiale tj. gleba i odpady towarzyszące porażonym roślinom i bulwom ziemniaka, jest parowanie w temp. 60-100°C przez 30-60 minut (metoda nie uwzględniona w rozporządzeniu Komisji (UE) 2022/1992).
- d) Ze względu na obecność w kraju jedynie patotypów mątwika ziemniaczanego, w tym dominującego patotypu Ro1, konieczny jest stały monitoring zmian w strukturze populacji mątwika na polach uprawnych ziemniaka oraz dodatkowo badanie prób gleby w łańcuchu dostaw bulw ziemniaka z zagranicy.
- e) W przypadku zniesienia obostrzeń kwarantannowych dla obydwu gatunków mątwika niemożliwe będzie ograniczenia rozprzestrzeniania się gatunków oraz kontrola zagęszczenia populacji ze względu na stały obrót materiału biologicznego pomiędzy państwami Unii Europejskiej. Dodatkowe ryzyko niesie zawleczenie w rejony i kraje Unijne populacji nie-europejskich, pochodzących z Ameryki Północnej i jednocześnie kolebki *Globodera*

rostochiensis i *Globodera pallida*. Ryzyko to jest ograniczone poprzez wymagania importowe UE. Obecnie status *Globodera rostochiensis* i *Globodera pallida* w Europie jest stabilny. Znane są odmiany odporne na dany gatunek oraz często na dany patotyp mątwika występującego obecnie w Europie. W sytuacji pojawienia się innej niż europejska grupa mątwików, firmy/spółki/hodowla odpornościowa krajów Unijnych będą stały przez wyzwaniem tworzenia nowej gamy odmian ziemniaka odpornych na nowe populacje patogena.

f) Molekularna identyfikacja gatunków mątwika z rodzaju *Globodera* za pomocą zestawu gatunkowo specyficznych starterów umożliwi precyzyjną charakterystykę gatunku w badanych próbach gleby.

7. Literatura

1. Abdel-Rahman F.H., Clark S., Saleh M.A. 2008. Natural organic compounds as alternative to methyl bromide for nematodes control. J. Envir. Sci and Health Part B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes 43: 680-685.
2. Adamczewski K., Rola J., Pochitonow Z. 1994. Postępowanie z terenami czasowo wyłączonymi z produkcji roślinnej w krajach europejskich. Mat. 34 Sesji Nauk . IOR, Cz. I: 44-51.
3. Andersson S.1989. Annual population decline of *Globodera rostochiensis* in the absence of host plants. Nematologica, 34, 254.
4. Bairwa A., Sharma S., Venkatasalam E.P., Sharma A.K., Mhatre P.H., Sigh R.K., Chakrabarti S.K. 2020. Decontamination of cyst (*Globodera* spp.) infected potato seed tubers with sodium hyperchlorite (NaOCl). Indian Journal of Agricultural Sciences 90(7): 1345-1347.
5. Baker, K.F. 1962. Principles of heat treatment of soil and planting material. J. Aust. Inst. Agr. Sci. 28: 118-126.
6. Bendezu I.F., Evans K., Burrows P.R., De Pomerai D., Canto-Saenz M. 1998. Inter and intra- specific genomic variability of the potato cyst nematodes *Globodera pallida* and *G. rostochiensis* from Europe and South America using RAPD-PCR. Nematologica 44: 49-61.
7. Beniers JE, Been TH, Mendes O, van Gent-Pelzer MPE & van der Lee TAJ (2014) Quantification of viable eggs of the potato cyst nematodes (*Globodera* spp.) using either trehalose or RNA-specific Real-Time PCR. *Nematology*, **16**, 1219– 1232.

8. Blok W.J., Lamers J.G., Termorshuizen A.J., Bollen, G.J. 2000. Control of soilborne plant pathogens by incorporating fresh organic amendments followed by tarping. *Phytopathology* 90: 253-259.
9. Bollen G.J. 1985. Lethal temperatures of soil fungi. In *Ecology and management of soilborne plant pathogens*. Amer. Phytopathol. Soc. St. Paul, USA p: 191-193.
10. Bradshaw J. E., Meyer R. C., Milbourne D., McNicol J. W., Phillips M. S., Waugh R. 1998. Identification of AFLP and SSR markers associated with quantitative resistance to *Globodera pallida* (Stone) in tetraploid potato (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*) with a view to marker-assisted selection. *Theor. Appl. Genet.* 97: 202–210.
11. Brodie B.B. 1984. Nematode parasites of potato. In: *Plant and insects nematodes*. Ed. Nickle WR. Marcel Dekker, New York, USA, 167-212.
12. Brzeski M.W., Rogala Z. 1984. Removal of nematode cyst from potato tubers. *Ochrona Roślin* 28(6): 12-13.
13. Bulmann S.R., Marshall J.W. 1997. Differentiation of Australasian potato cyst nematode (PCN) populations using the polymerase chain reaction (PCR). *N.Z.J. Crop Hortic.Sci.* 25(2):123-129.
14. CABI, 2021. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/27034>.
15. Contina J.B., Dandurand L.M., Knudsen G.R. 2017. Use of GFP-tagged *Trichoderma harzianum* as a tool to study the biological control of the potato cyst nematode *Globodera pallida*. *Applied Soil Ecology* 115: 31-37.
16. Den Ouden H. 1960. Periodicity in spontaneous hatching of *Heterodera rostochiensis* in the soil. Report of the Fifth International Symposium in Plant Nematology. *Nematologica*, Supplement II, 101-105.
17. Evans K., Franco J., Descurrah M. M. 1975. Distribution of species of potato cyst nematodes in South America. *Nematologica* 21: 365–369.
18. Evans K., Stone A.R. 1977. A review of the distribution and biology of the potato cyst-nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *International Journal of Pest Management* 23: 178-189.
19. Fatemy S., Sepideh A. 2016. Adverse effects of brassica green manures on encysted eggs, infective second-stage juveniles and the reproduction of *Globodera rostochiensis*. *J. Plant Dis. Prot.* 123: 225-233.

20. Fleming C.C, Rao J, Moreland B, Craig D., Turner S.J. 2000. Diagnostics of cyst nematodes and tephritid fruit flies using mitochondrial and ribosomal DNA. Bulletin OEPP/EPPPO Bulletin 30: 585– 590.
21. Folkertsma R.T., van der Voort JNAMR, de Groot K.E., van Zandvoort P.M., Schots A., Gommers F.J., Helder J., Bakker J. 1996. Gene pool similarities of potato cyst nematode populations assessed by AFLP analysis. Molecular Plant-Microbe Interactions 9: 47-54.
22. Franco J. 1986. Potato cyst nematode, *Globodera* spp. Technical information bulletin 9, International Potato Centre (CIP), 21 pp.
23. Franke K., Gryń G., Michałowska L., Nowakowski M. 2019. Metody badawcze stosowane w pracach dotyczących ograniczenia występowania populacji *Globodera rostochiensis* w glebie. Biuletyn IHAR 287: 15-18.
24. Gamel, S., Letort A., Fouville D., Folcher L., Grenier E. 2017, Development and validation of real-time PCR assays based on novel molecular markers for the simultaneous detection and identification of *Globodera pallida*, *G. rostochiensis* and *Heterodera schachtii*, *Nematology*, 19 (7), s. 789–804.
25. Gebhardt C., Mugniery D., Ritter E., Salamini F., Bonnel E. 1993. Identification of RFLP markers closely linked to the *H1* gene conferring resistance to *Globodera rostochiensis* in potato. *Theor. Appl. Genet.* 85: 541–544.
26. Greco N., Inserra R.N., Brandonisio A., Tirro A., De Marinis G. 1988. Life-cycle of *Globodera rostochiensis* on potato in Italy. *Nematologica Mediterranea* 16: 69-73.
27. Grenier E., Fournet S., Petit E., Anthoine G. 2010 A cyst nematode „species factory” called the Andes. *Nematology* 12: 163-169.
28. Halford P.D., Russell M.D., Evans K. 1999. Use of resistant and susceptible potato cultivars in the trap cropping of potato cyst nematodes, *Globodera pallida* and *Globodera rostochiensis*. *Ann. Appl. Biol.* 134: 321-327.
29. Hartsema O., van der Mheen H., van Gastel W., Molendijk L., Hoek H. 2005. Raketblad (*Solanum sisymbriifolium*) Teeltaspecten en sanerende werking op aardappelcystealtjes (*Globodera* sp.) 2001-2004. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen, the Netherlands.
30. Hockland S., Niere B., Grenier E., Blok V., Phillips M., Den Nijs L., Anthoine G., Pickup G., Viaene N. 2012. An evaluation of the implications of virence in non-

European population of *Globodera pallida* and *G. rostochiensis* for potato cultivation in Europe. *Nematology* 14(1): 1-13.

31. Jacobs J. M. E., van Eck H. J., Horsman K., Arens P. F. P., Verkerk-Bakker B., Jacobsen E. 1996. Mapping of resistance to the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* from the wild potato species *Solanum vernei*. *Mol. Breed.* 2: 51–60.
32. Jasińska A. 1955. Mątwik ziemniaczany. *Przegląd ogrodniczy* (32): 15-16.
33. Karnkowski W., Dobosz R., Kaczmarek A., Obrępańska-Stęplowska A., Kierzek D. 2011. Wystąpienie mątwika agresywnego *Globodera pallida* (Stone, 1973) Behrens, 1975 (Nematoda: Heteroderidae) w dwóch przesyłkach ziemniaków jadalnych sprowadzonych do Polski z Cypru. *Progress in Plant Protection* 51(4): 1545-1549.
34. Karnkowski W., Kaczmarek A., Dobosz R., Wieczorek P. 2012. Occurrence of the white nematode *Globodera pallida* (Stone, 1973) Behrens, 1975 (Nematoda: Heteroderidae) on territory of Poland. *Progress in Plant Protection* 52(4): 1087-1092.
35. Kort J., Ross H., Rumpfenhorst H.J., Stone A.R. 1977. An international scheme for the identification of pathotypes of potato cyst nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Nematologica* 23: 333-339.
36. Kreike C. M., Dekoning J. R. A., Vinke J. H., Vanooijen 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.
37. 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.
38. Kreike C. M., Dekoning J. R. A., Vinke J. H., Vanooijen J. W., Stiekema W. J. 1994. Quantitatively-inherited resistance to *Globodera pallida* is dominated by one major locus in *Solanum spgazzinii*. *Theor. Appl. Genet.* 88: 764–769.
39. Madani M., Ward L.J., De Boer S.H. 2008. Multiplex real-time polymerase chain reaction for identifying potato cyst nematodes *Globodera pallida* and *Globodera rostochiensis*, and the tobacco cyst nematode, *Globodera tabacum*. *Canadian Journal of Plant Pathology* 30:554-564.
40. Mahran A., Tenuta M., Hanson M.L., Daayf, F. 2008. Mortality of *Pratylenchus penetrans* by volatile fatty acids from liquid hog manure. *J. of Nematology* 40:119-126.

41. Malec K. 1985. Mątwik ziemniaczany (*Globodera rostochiensis* Woll.) i Mątwik agresywny (*Globodera pallida* Stone). Wyd. Inst. Ziem. Bonin. 32 ss.
42. Meijer B., Lamers, J. 2004. Biologische grondontsmetting: bestrijding van bodemziekten voor een gezonde bodem. PPO, Lelystad, the Netherlands, Publication 415: 26.
43. Ngala M.B., Haydock P.P., Woods S., Back M.A. 2014. Biofumigation with *Brassica juncea*, *Raphanus sativus* and *Eruca sativa* for the management of field populations of the potato cyst nematode *Globodera pallida*. *Pest Manag. Sci.* 71: 759-769.
44. Nowakowski M., Franke K. 2013. Struktura plonu i oddziaływanie na populację mątwika ziemniaczanego (*Globodera rostochiensis*) wybranych odmian gorczycy białej uprawianej w plonie głównym II. Plony biomasy nadziemnej i korzeni oraz zagęszczenie mątwika ziemniaczanego w glebie. *Rośliny Oleiste-Oilseed Crops*: 34(1): 85-94.
45. OEPP/EPPO. 2006. Diagnostic protocol PM3/68(1). Testing of potato varieties to assess resistance to *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. *Bulletin OEPP/EPPO* 36: 419-420.
46. OEPP/EPPO. 2021. <https://gd.eppo.int/taxon/HETDPA/distribution>
47. OEPP/EPPO. 2021. <https://gd.eppo.int/taxon/HETDRO/distribution>
48. Paal J., Henselewski H., Muth J., Meksem K., Menendez C. M., Salamini F. 2004. Molecular cloning of the potato *Gro1-4* gene conferring resistance to pathotype Ro1 of the root cyst nematode *Globodera rostochiensis*, based on a candidate gene approach. *Plant J.* 38: 285–297.
49. Pastuszewska T., Franke K., Nowakowski M. 2013. Badanie wpływu gorczycy białej na zagęszczenie populacji mątwika ziemniaczanego (*Globodera rostochiensis*) w glebie. *Biuletyn IHAR* 269: 141-148.
50. Perez J., Crozzoli R., Greco N. 2009. The biology of *Globodera rostochiensis* in cultivated potato in Venezuela. *Nematol. Mediterr.* 37: 155-160.
51. Perry R.N. 1989. Dormancy and hatching of nematode eggs. *Parasitol. Today* 5: 377-383.
52. Pineda O., Bonierbale M.W., Plaisted R.L., Brodie B.B. 1993. Identification of RFLP markers linked to the H1 gene conferring resistance to the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis*. *Genome* 36(1): 152-156.
53. Plantard O., Picard D., Valette S., Scurrah M., Grenier E., Mugniery D. 2008. Origin and genetic diversity of Western European populations of the potato cyst nematode

- (*Globodera pallida*) inferred from mitochondrial sequences and microsatellite loci. *Molecular Ecology* 17: 2208-2218.
54. Podlewska-Przetakiewicz A. 2021. <https://ihar.edu.pl/pl/instytut/dzialalnosc-naukowa/dotacja-celowa-mrirw/dotacja-celowa-na-rok-2022/zadanie-5-1>.
 55. Rouppe van der Voort J.R., Wolters P., Folkertsma, R., Hutte, R., van Zandvoort P., Vinke H. 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.
 56. Rouppe van der Voort J., van der Vossen E., Bakker E., Overmars H., van Zandvoort P., Hutten R. 2000. Two additive QTLs conferring broad-spectrum resistance in potato to *Globodera pallida* are localized on resistance gene clusters. *Theor. Appl. Genet.* 101: 1122–1130.
 57. Runia W.T. 2000. Steaming methods for soils and substrates. *Acta Hort.* 532: 115-124.
 58. Scholte K. 2000. Effect of potato used as a trap crop on potato cyst nematodes and other soil pathogens and on the growth of a subsequent main potato crop. *Ann. Appl. Biol.* 136: 229-238.
 59. Schomaker C.H., Been T.H. 1999. A model for infestation foci of potato cyst nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Phytopathology* 89: 583-590.
 60. Seenivasan N. 2017. Status of potato cyst nematodes, *Globodera* spp. infection on potato at Kadaikanal hills of Tamil Nadu, India and yield loss estimation. *Journal of Entomology and Zoology Studies*: 5(5): 268-272.
 61. Skantar A.M., Handoo Z.A., Carta L.K., Chitwood D.J. 2007. Morphological and molecular identification of *Globodera pallida* associated with potato in Idaho. *Journal of Nematology* 39: 133-144.
 62. Spaul A.M., Trudgill D.L., Batey T. 1992. Effects of anaerobiosis on the survival of *Globodera pallida* and possibilities for control. *Nematologica* 38: 88-97.
 63. Stone A.R. 1973. *Heterodera pallida* n. sp. (Nematoda: Heteroderidae) a second species of potato cyst nematode. *Nematologica* 18: 591-606.
 64. Szymczak-Nowak J., Malinowska E., Tyburski J., Rychcik B. 2007. Wpływ *Solanum sisibriifolium* na ograniczanie populacji mątwika ziemniaczanego. *Progress in Plant Protection* 47(4): 224-226.
 65. Thiery M., Mugniery D. 1996. Interspecific rDNA restriction fragment length polymorphism in *Globodera* species, parasites of solanaceous plants. *Fund. Appl. Nematol.* 19:471-479.

66. Tobin J.D., Haydock P.P.J., Hare M.C., Woods S.R., Crump D.H. 2008. Effect of the fungus *Pochonia chlamydosporia* and fosthiazate on the multiplication rate of potato cyst nematodes (*Globodera pallida* and *G. rostochiensis*) in potato crops grown under UK field conditions. *Biological Control* 46: 194-201.
67. Trudgill D.L., Elliot M.J., Evans K., Phillips M.S. 2003. The white potato cyst nematode (*Globodera pallida*) – critical analysis of the threat in Britain. *Annals of Applied Biology* 143: 73-80.
68. Trudgill, D. L. 1987. Effects of rates of a nematicide and of fertiliser on the growth and yield of cultivars of potato which differ in their tolerance of damage by potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis* and *G. pallida*). *Plant Soil* 104: 235–243.
69. Turner S. 1996. Population decline of potato cyst nematodes (*Globodera rostochiensis*, *G. pallida*) in field soils in Northern Ireland. *Ann. Appl. Biol.* 129: 315-322.
70. van der Vossen E. A., van der Voort J. N., Kanyuka K., Bendahmane A., Sandbrink H., Baulcombe D. C. 2000. Homologues of a single resistance-gene cluster in potato confer resistance to distinct pathogens: a virus and a nematode. *Plant J.* 23: 567–576.
71. van Overbeek L.S., Runia W., Kastelein P., Molendijk L. 2014. Anaerobic disinfestation of tare soils contaminated with *Ralstonia solanacearum* biovar 2 and *Globodera pallida*. *European Journal of Plant Pathology* 138(2): 323-330.
72. Grube R. C., Radwanski E.R., Jahn M. 2000. Comparative genetics of disease resistance within the *Solanaceae*. *Genetics* 155(2): 873-887.
73. Wilski A. 1955. Prace naukowo-badawcze przeprowadzone w Instytucie Ochrony Roślin nad mątwikiem ziemniaczanym (*Heterodera rostochiensis* Woll.) oraz obecny stan badań. *Postępy Nauk Rolniczych* 71, A-2: 337-341.
74. Wollenweber H.W. 1923. Krankheit und Beschädigungen der Kartoffel. *Arbeiten des Forschungsinstitutes für Kartoffelbau* 7: 52.
75. Xiao J., Chen S, Zhu, J., Ruan, W. 2008. Effect of liquid swine manure on hatch and viability of *Heterodera glycines*. *J. of Nematology* 40: 152-160.
76. Zambouri B.P., Fatemy S. 2014. Two methods of evaluating bionematicide effects of *Mentha pulegium* and *Lepidium sativum* on hatching of *Globodera rostochiensis*. *Aspects of Applied Biology*: 133-137.