

Received: 02.03.2023 / Accepted: 29.06.2023

ARTYKUŁ PRZEGLĄDOWY

## Wczesne zamieranie roślin ziemniaka – sprawcy, przyczyny i objawy

### Potato early dying – agents, causes and symptoms

Jerzy Osowski\* , Janusz Urbanowicz 

#### Streszczenie

Zmiany klimatyczne obserwowane od wielu lat wpływają niekorzystnie na możliwości rozwoju roślin uprawnych, ale także stwarzają warunki do rozwoju pojedynczych chorób lub ich kompleksów, które dotychczas nie znajdowały warunków korzystnych do swojego rozwoju. Jednym z takich kompleksów jest wczesne zamieranie roślin (ang. potato early dying – PED). Za głównego sprawcę tej choroby uważany jest grzyb *Verticillium dahliae*, ale do innych sprawców PED zalicza się także grzyby *Colletotrichum coccodes* (Wallr.) Hughes, *Verticillium albo-atrum* Reinke i Berthold oraz *Fusarium* spp. i bakterie pektynolityczne *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*. Dużą rolę w stymulowaniu choroby oraz zwiększaniu strat odgrywają także nicienie *Paratylenchus penetrans* (Cobb) Sher i Allen. Choroba występuje powszechnie w rejonach uprawy ziemniaków powodując straty sięgające do 50%. Ze względu na dużą ilość materiału infekcyjnego i możliwość długotrwałego przetrwania w glebie oraz szeroki zakres żywicieli zwalczanie jej szkodliwości wymaga wykorzystania wszystkich dostępnych metod.

**Słowa kluczowe:** *Colletotrichum coccodes*, *Pectobacterium* sp., *Verticillium albo-atrum*, *Verticillium dahliae*, wczesne zamieranie roślin

#### Abstract

Climate changes observed for many years adversely affect the development of crops, but also create conditions for the development of individual diseases or their complexes, which so far have not found favorable conditions for their development. One of such complexes is potato early dying (PED). The fungus *Verticillium dahliae* is considered to be the main culprit of this disease, but other culprits of PED include *Colletotrichum coccodes* (Wallr.) Hughes, *Verticillium albo-atrum* Reinke & Berthold and *Fusarium* spp. and pectinolytic bacteria *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*. Nematodes *Paratylenchus penetrans* (Cobb) Sher and Allen play an important role in stimulating the disease and increasing losses. The disease is common in potato-growing areas, causing losses of up to 50%. Due to large amount of infectious material and the possibility of long-term survival in the soil and the wide range of hosts, combating its harmfulness requires the use of all available methods.

**Key words:** *Colletotrichum coccodes*, *Pectobacterium* sp., *Verticillium albo-atrum*, *Verticillium dahliae*, potato early dying

Institut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy  
Zakład Nasiennictwa i Ochrony Ziemniaka  
76-009 Bonin 3

\*corresponding author: j.osowski@ihar.edu.pl

## Wstęp / Introduction

Historia ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.) rozpoczyna się na andyjskich wyżynach Ameryki Południowej, gdzie jak wskazują dowody archeologiczne mógł on być uprawiany już od co najmniej 8000 lat (Salaman i Burton 1985; Li 2021). Do Europy dotarł w połowie XVI wieku i obecnie jest cennym surowcem dla przemysłu oraz źródłem pożywienia. Jest czwartą rośliną uprawną na świecie po pszenicy, kukurydzy i ryżu. Przeciętny mieszkaniec Ziemi spożywa około 32 kilogramów ziemniaków rocznie (swiatrolnika.info). Znaczenie ziemniaków jako surowca dla przemysłu i przetwórstwa oraz jako cennego źródła pożywienia sprawia, że liczne choroby, które atakują rośliny i bulwy zarówno w trakcie wegetacji, jak i przechowywania mają duże znaczenie jako czynniki obniżające możliwość uzyskania wysokich, dobrej jakości plonów.

Obserwowane w ostatnich latach zmiany klimatu powodują nie tylko wzrost znaczenia chorób abiotycznych (nieinfekcyjnych), ale także sprawiają, że uaktywniają się choroby wywoływane przez patogeny (choroby biotyczne), które nie znajdowały dotychczas warunków korzystnych dla swojego rozwoju. Łabędzki i wsp. (2013) przewidują, że do 2050 roku w Polsce temperatura może wzrosnąć od 2 do 4°C. Obserwowane zmiany klimatu wiążą się:

- ze wzrostem stężenia CO<sub>2</sub> i jego wpływem na produktywność upraw i efektywność wykorzystania wody i składników pokarmowych,
- ze zmianami w kierunku wzrostu temperatury, ilości opadów, promieniowania słonecznego i wilgotności i z ich wpływem na rozwój roślin i wysokość plonów,
- ze stratami wywołanymi przez szkodliwe zjawiska pogodowe (np. wysoki długofalowy wzrost temperatur, mrozy, przymrozki, susze, mgły, intensywne opady) (Olesen i wsp. 2011).

Coraz częściej w trakcie wegetacji obserwujemy rośliny ziemniaka, które kończą wegetację wcześniej niż pozostałe uprawiane na plantacjach. Przyczyn tego stanu rzeczy możemy poszukiwać w następstwie wspomnianych wcześniej zmian klimatu, ale także mogą one wynikać z rozwoju chorób, które określa się mianem kompleksu wczesnego zamierania roślin (ang. potato early dying – PED). W ten sposób nazwano zjawisko, w którym rośliny zakażone są kombinacją wielu patogenów, w tym *Colletotrichum coccodes* (Wallr.) Hughes, *Verticillium dahliae* Kleb, *Verticillium albo-atrum* Reinke i Berthold, *Fusarium* spp. oraz występują uszkodzenia korzeni spowodowane przez nicienie *Paratylenchus penetrans* (Cobb) Sher i Allen [Tsrer (Lakhim) i Hazanovsky 2001; Pasche 2012]. Do sprawców wywołujących objawy podobne do PED, Tirado (2016) zalicza także bakterie pektynolityczne *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*.

## Sprawcy, cykl życia i warunki sprzyjające / Pathogens, life cycle and favorable conditions

Za głównych sprawców PED uznawane są grzyby rodzaju *Verticillium* spp.: *V. dahliae* i *V. albo-atrum* (Davis i Huisman 2001), jednak jak stwierdza Li (2021) *V. dahliae* jest dominującym gatunkiem przyczynowym. Wędnięcie naczyniowe inaczej określane jako verticilioza (nazwa pochodzi od sprawców choroby – grzyby *V. dahliae*, *Verticillium* spp.), to choroba powszechnie występująca wśród upraw na całym świecie, która może powodować straty nie tylko w uprawie ziemniaka, ale także w wielu innych ważnych gospodarczo uprawach, jak np.: uprawy ogrodnicze, warzywa, rośliny bobowate, drzewa leśne, rośliny drzewiaste. Według Kowalskiej (2021) przyczyny tej sytuacji wynikają między innymi ze specjalizacji produkcji roślinnej, która skutkuje kumulacją patogena w glebie, zwłaszcza w uprawie monokulturowej; braku skutecznej i bezpiecznej metody fumigacji gleby; wytwarzania przez sprawcę dużych ilości struktur przetrwania – mikrosklerocjów i melanizowanych strzępek, które są odporne na degradację chemiczną i biologiczną.

Porażone przez grzyby rośliny dojrzewają dwa do trzech tygodni wcześniej (Li 2021), lub jak uważają Rowe i Powelson (2002) od 4 do 6 tygodni wcześniej w porównaniu ze zdrowymi roślinami, co skutkuje zdrobnieniem bulw oraz redukcją plonu. Średnio straty te oceniane są na 10 do 15%, chociaż w przypadku silnie porażonych pól mogą wynosić od 30 do 50% (Cappeart i wsp. 1992; Powelson i Rowe 1993; Rowe i Powelson 2002). Poziom strat może być większy, kiedy obserwowane jest synergistyczne współdziałanie innych agrofagów z grzybem *V. dahliae*. Jednoczesne zasiedlenie uprawy ziemniaka przez *V. dahliae* i nicienia *P. penetrans* (korzeniak szkodliwy) powoduje wcześniejszy rozwój objawów chorobowych, nawet kiedy w glebie obserwuje się niską populację nicienia (1 na cm<sup>3</sup> gleby) (Saeed i wsp. 1998).

Sprawca tej choroby jest grzybem należącym do klasy Sordariomycetes, rzędu Glomerellales, rodziny Plectosphaerellaceae i rodzaju *Verticillium* (Agrios 2005; Inderbitzin i Subbarao 2014).

Taksonomia rodzaju *Verticillium* obejmuje obecnie 10 różnych gatunków, których wyodrębnienie oparto na unikalnych cechach molekularnych i morfologicznych, które obejmują między innymi typ struktury spoczynkowej i zdolność do powodowania wędnięcia roślin (Inderbitzin i wsp. 2011). Do tej grupy zaliczane są: *V. dahliae*, *V. albo-atrum*, *V. longisporum*, *V. tricorpus*, *V. isaacii*, *V. klebahnii*, *V. zaregamsianum*, *V. alfalfae*, *V. nonalfalfae* i *V. nubilium* (Inderbitzin i Subbarao 2014). Spośród wymienionych gatunków, *V. dahliae* jest najbardziej rozpowszechnionym przedstawicielem tego rodzaju i posiada także najszerszy zakres żywicieli (około 200), są to głównie gatunki dwuliścienne, w tym wysokowartościowe rośliny jednoroczne i wieloletnie, jak ziemniak (*S. tuberosum*), pomidor (*Lycopersicon* spp.)

*persicon esculentum* Mill.), bawełna (*Gossypium hirsutum* L.) i truskawka (*Fragaria × ananassa*) (Pegg i Brady 2002; Johnson i Dung 2010).

*Verticillium dahliae* może porażać wiele gatunków roślin na każdym etapie ich rozwoju, może również występować na tych, które nie są jego żywicielami. Infekuje organy i tkanki roślin zaangażowane w gromadzenie i transport wody oraz składników pokarmowych (Klosterman i wsp. 2009). Verticilioza jest jednak chorobą monocykliczną, czyli ma tylko jeden cykl rozwoju choroby i produkcji inokulum (Mace i wsp. 1981). Patogen przeżywa z sezonu na sezon na szczątkach roślinnych lub jako grzybnia w pierścieniu naczyniowym bulwy, albo w postaci mikrosklerocjów, które są główną propagulą zakaźną sprawcy (propagula – jest to każdy materiał, który służy do rozmnażania organizmu do następnego etapu jego cyklu życiowego). Mikrosklerocja mogą przetrwać do 15 lat (Agrios 2005) w różnych glebach, ale tracą najszybciej żywotność w glebach mokrych i ciepłych, gdzie są kolonizowane i degradowane przez różne bakterie i grzyby (Tjamos 2000). W warunkach naturalnych kiełkują i infekują przez rany lub naturalne otwory w korzeniach podatnych roślin żywicielskich i kolonizują tkankę naczyniową (Agrios 2005).

Wydzieliny uwalniane z korzeni rosnących roślin stymulują kiełkowanie mikrosklerocjów znajdujących się w ziemi lub na fragmentach martwych roślin. Po zakażeniu grzyb przenika przez korzenie w kierunku naczyń przewodzących, następnie rozprzestrzenia się wewnątrz rośliny wytwarzając strzępki i zarodniki, które są transportowane w górę rośliny za pomocą transpiracji. Rozwijająca się grzybnia zatyka naczynia przewodzące blokując transport wody i soli mineralnych oraz doprowadzając do zahamowania ich przepływu (Kowalska 2021).

Przetrwanie patogena w glebie zależy od wielu czynników, w tym rodzaju gleby, jej wilgotności, pH i temperatury (Fradin i Thomma 2006). *Verticillium dahliae* korzystniej rozwija się na glebach lekko kwaśnych (pH od 5,3 do 7,2) w odróżnieniu od drugiego z gatunków uważanego za sprawcę verticiliozy *V. albo-atrum*, który preferuje gleby bardziej zasadowe o pH 7,2 do 8,0 (Pasche 2012).

Ważnym czynnikiem mającym duży wpływ na rozwój sprawcy jest temperatura otoczenia. W temperaturach poniżej 20°C grzyb rozwija się bardzo szybko w roślinie. Jeśli w ciągu dnia panują niższe temperatury, a proces transpiracji nie jest zbyt intensywny, choroba może ujawnić się przy pierwszych wyższych temperaturach (Kowalska 2021). Mace i wsp. (1981) stwierdzają, że *V. dahliae* do swojego rozwoju preferuje średnie do wysokich temperatury gleby, ale jego rozwój jest hamowany w temperaturze powyżej 30°C. Rozwojowi choroby sprzyja także okresowe przesuszenie gleby, przy czym może ona wystąpić na wszystkich rodzajach gleby, preferując obszary, gdzie występują niższe temperatury – gleby lekkie, natomiast na terenach o wyższej temperaturze – gleby cięższe (Fradin i Thomma 2006).

Jednocześnie na wielkość powodowanych szkód oprócz podatności rośliny żywiciela, temperatury, ilości materii organicznej i wilgotności (Davis i Everson 1986), duży wpływ ma również liczba występującego patogena. Ben-Yephet i Szmulewicz (1985) stwierdzają, że liczba 3,15 propagul *V. dahliae* w 5 gramach gleby była wystarczająca do spowodowania silnych objawów więdnienia w warunkach wysokich temperatur. Davis (1985) jako próg ekonomiczny w warunkach Idaho i Kolorado, uznał obecność propagul odpowiednio 10 jtk/g i 18 do 23 jtk/g. Powelson i Rowe (1993) jako wielkość powodującą straty ekonomiczne przyjęli obecność 5 jtk/cm<sup>3</sup>. Badania Shiraishi i wsp. (2014) na bylinie *Aralia cordata* (aralia sercowata) pokazały dokładnie zależność intensywności choroby od gęstości mikrosklerocjów w glebie. Wykazali oni, że pierwsze objawy wystąpiły już przy obecności 0,1 mikrosklerocjów na gram suchej gleby, przy gęstości 10 mikrosklerocjów na gram gleby porażenie osiągnęło poziom 40%, a dla 1000 mikrosklerocjów porażenie przekraczało 80%. *Verticillium dahliae* pozostaje głównie w górnej warstwie gleby (do 30 cm), a jego gęstość zmniejsza się wraz ze wzrostem głębokości, poniżej 40 cm znajdowano nieliczne mikrosklerocje (Berlanger i Powelson 2000).

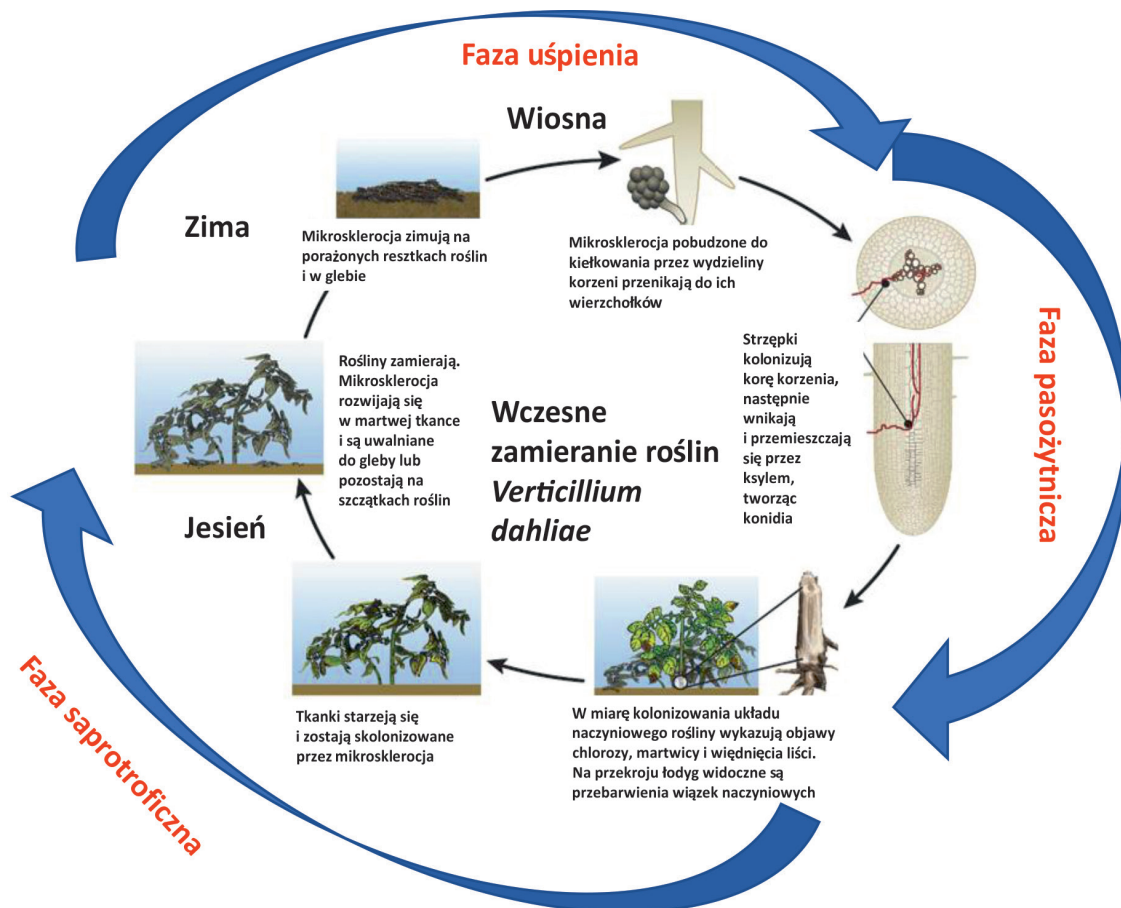
Cykl życiowy *V. dahliae* można podzielić na trzy etapy (fazy): uśpiania, pasożytniczy i saprotroficzny (rys. 1).

Faza uśpiania – jest zasadniczo zdominowana przez mikrosklerocje, które pozostają żywotne i uśpione przy braku nadmiaru węgla i azotu w glebie. Aktywacja kiełkowania następuje wówczas, gdy procesy fungistazy (fungistaza – ograniczenie do pewnego stopnia rozprzestrzeniania się grzybów) lub mikostazy (mikostaza – hamowanie kiełkowania zarodników grzybów w glebie) zostają przerwane, ponieważ wzrasta stężenie składników odżywczych wraz z obecnością wydzielin korzeniowych z roślin żywicielskich lub innych (Mol i Scholte 1995).

Faza pasożytnicza – przebiega wraz z infekcją podatnej rośliny. Patogen penetruje żywiciela przez stożek wzrostu korzenia lub obszar wydłużenia, czyli miejsca, gdzie endoderma nie jest jeszcze w pełni uformowana. Patogen przemieszcza się przez endodermę aż dotrze do tkanek naczyniowych, gdzie wytwarza konidia, które drogą bierną przemieszczają się przez system ksylemu (Pegg i Brady 2002). Naczynia ksylemu są atakowane, następuje dalszy rozwój sprawcy i sporulacja. Rozproszone w ksylemie grzybnia i konidia blokują przepływ i następuje szybka infekcja, a roślina zaczyna więdnąć, widoczne są objawy martwicy, a patogen wchodzi w fazę saprotroficzną, która trwa od jesieni do wiosny.

### **Objawy choroby na roślinach i bulwach ziemniaka / Symptoms of the disease on plants and potato tubers**

Wzrost i rozwój ziemniaków w zależności od ich wczesności trwa około 75 do 150 dni. Okres ten można podzielić na



Berlanger I., Powelson M.L. 2000. Verticillium wilt. The Plant Health Instructor. American Phytopathological Society.

Rys. 1. Cykl życiowy *Verticillium dahliae*  
Fig. 1. Life cycle *Verticillium dahliae*

kilka etapów, w tym rozwój kielków, wzrost wegetatywny (rozwój części nadziemnej), zawiązywanie bulw, pęcznienie bulw i dojrzewanie (Thornton 2020). Po wysadzeniu bulw i przerwaniu okresu ich spoczynku rozpoczyna się kiełkowanie i rozwój roślin do wysokości 20,3 do 25,4 cm, i następuje korzystny okres do rozwoju chorób przenoszonych przez bulwy, ponieważ składniki odżywcze dostarczane są przez sadzeniaki. Po wyrosnięciu liści i rozłogów rośliny wchodzą w fazę szybkiego rozwoju części nadziemnej, na tym etapie rośliny są zagrożone chorobami przenoszonymi przez glebę lub liście (Thornton 2020).

Pierwsze objawy werciliozy pojawiają się po kwitnieniu na dolnych liściach w postaci chlorozy i wędnięcia, przy czym proces ten może obejmować cały liść lub tylko jego jedną stronę (Steere i Kirk 2015) (fot. 1–2).

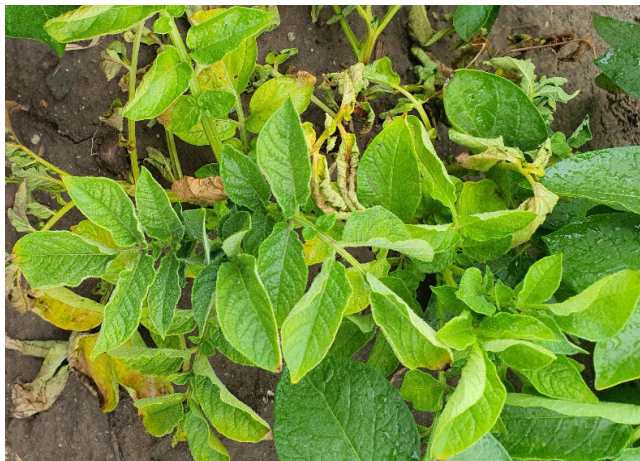
Na skutek blokady przepływu wody i składników mineralnych w ksylemie, objawy z dolnych liści przesuwają się stopniowo w kierunku wierzchołka rośliny lub na nowo rozwinięte pędy, powodując brązowienie układu naczyniowego łądy. W późniejszych stadiach chlorotyczne liście przechodzą w całkowitą nekrozę z powodu narastającej kolonizacji w obrębie rośliny (Berlanger i Powelson 2000) (fot. 3–4).

Zainfekowane lub martwe rośliny na plantacji często pozostają wyprostowane, wyglądem przypominając flagę lub chorągiewkę (ang. flagging symptoms) (fot. 5). Objawy te mogą być mylone z objawami wirusa PVY (fot. 6) i antraknozy ziemniaka (*C. coccodes*) (fot. 7).

Na starzejących się tkankach żywiciela tworzą się mikrosklerocja, które pozostają w tkankach przez okres zimowy (Steere i Kirk 2015). Mikrosklerocja to forma przetrwalnikowa sprawcy. Zbudowane są ze strzępek o barwie od ciemnobrązowej do czarnej, mają zmienny kształt i zmienne rozmiary 50–200 × 20–80 μm. Mogą być kuliste, wydłużone lub nieregularnie kuliste (Rataj-Guranowska i Pukacka 2012). Występowanie mikrosklerocjów jest także jedną z cech charakteryzujących inną z chorób zaliczanych do kompleksu powodującego wczesne zamieranie roślin – antraknozy ziemniaka. Sprawca choroby – grzyb *C. coccodes*, tworzy na łuszczącej się korze, a niekiedy na drewnie oraz powierzchni bulw, czarne sklerocja (Kryczyński 2011) (fot. 8–9).

Objawy werciliozy mogą także pojawiać się na bulwach. Infekcja może następować poprzez uszkodzenia skórki lub stolony. Bulwy z objawami choroby mogą być miękkie, a w miejscu przyczepu do stolonu może wystąpić lekkie

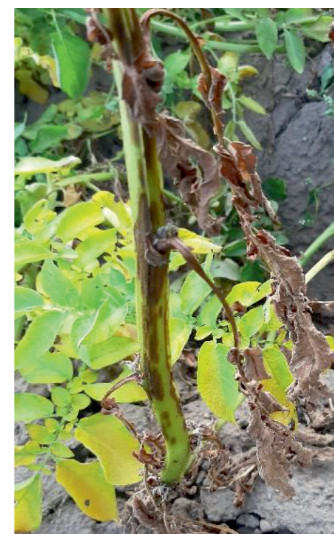
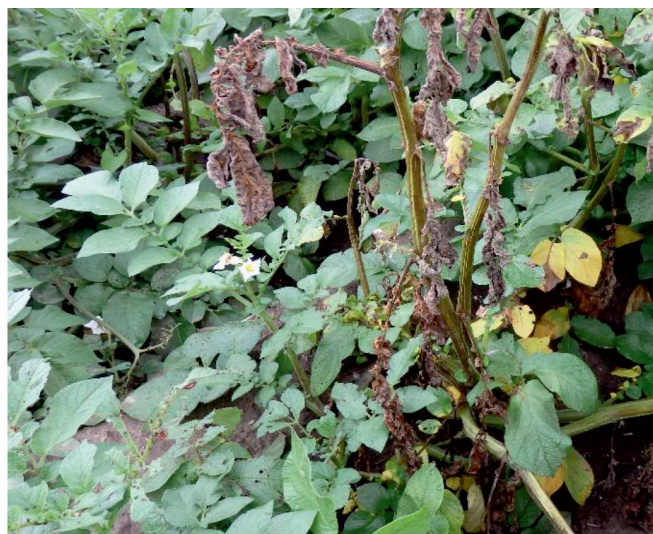




**Fot. 1–2.** Chloroza i wędnięcie dolnych liści spowodowane przez *Verticillium dahliae*  
**Photo 1–2.** Chlorosis and wilting of lower leaves due to infection by *Verticillium dahliae*



**Fot. 3–4.** Żółknięcie łodyg i liści oraz zamieranie liści są powszechnym objawem na roślinach zainfekowanych *Verticillium dahliae*  
**Photo 3–4.** Stem yellowing, leaf chlorosis and leaf necrosis are common symptoms of a plant infected by *Verticillium dahliae*



**Fot. 5.** Objawy przypominające wyglądem chorągiewkę  
**Photo 5.** Flaging symptoms

**Fot. 6.** Liściozwis – objaw charakterystyczny dla porażenia roślin wirusem PVY  
**Photo 6.** Leaf-hanging symptom characteristic of plants infected with PVY virus

**Fot. 7.** Łodygi i liście ziemniaka z objawami antraknozy  
**Photo 7.** Symptoms of stem and leaf infection by potato black dot





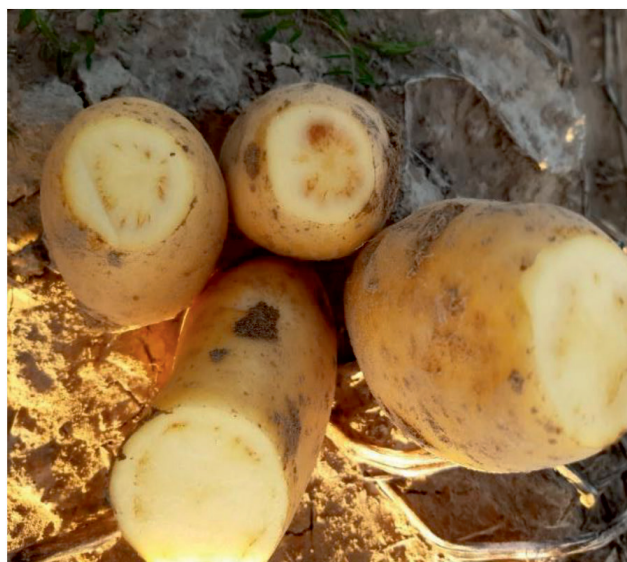
**Fot. 8.** Mikrosklerocja *Colletotrichum coccodes* na łuszczącej się korze

**Photo 8.** *Colletotrichum coccodes* sclerotia on the peeling bark



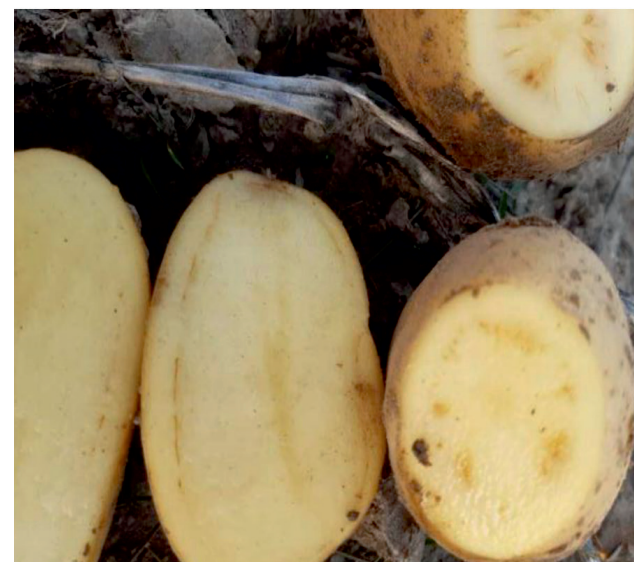
**Fot. 9.** Mikrosklerocja *Colletotrichum coccodes* na powierzchni bulw

**Photo 9.** *Colletotrichum coccodes* sclerotia on the tuber surface



**Fot. 10.** Objawy wercyliozy na przekroju poprzecznym bulwy

**Photo 10.** Symptoms of verticillium wilt on tuber cross-section



**Fot. 11.** Zmiany zabarwienia i wyglądu wiązek naczyniowych – przekrój podłużny bulwy

**Photo 11.** Changes in the color and appearance of vascular bundles – longitudinal section of the tuber

wgłębienie. Na przekroju poprzecznym bulwy widoczne są zmiany w zabarwieniu wiązek naczyniowych (fot. 10), a na przekroju podłużnym można zauważyć, że zmiany te rozpoczynają się od miejsca przyczepu stolonu (fot. 11).

#### Ograniczanie szkodliwości choroby / Limiting the harmfulness of the disease

Skuteczna ochrona przeciwko wercyliozy obejmuje pięć kluczowych obszarów: ograniczanie ilości inokulum przeniesionego przez glebę, nowe środki ochrony roślin, uprawę

ziemniaków na glebach wolnych od patogena, zwiększenie odporności ziemniaków na sprawcę choroby oraz udoskonalanie narzędzi do monitorowania patogenów (Rowe i Powelson 2002).

#### Ochrona chemiczna / Chemical protection

Chemiczna przedwegetacyjna dezynfekcja gleby jest jak najbardziej skuteczną metodą zwalczania patogena poprzez niszczenie mikrosklerocjów i form wegetatywnych

*V. dahliae* (Kowalska 2021). Rowe i Powelson (2002) za skuteczny sposób ograniczania szkodliwości PED uważają fumigację gleby przy użyciu fumigantów o szerokim spektrum działania aktywności biologicznej. Najdłużej stosowanym środkiem do fumigacji gleby jest metam sodowy, chociaż koszty jego stosowania są wysokie i w zależności od dawki oraz rodzaju zastosowania mogą wynosić nawet 750 USD/ha (Rowe i Powelson 2002). Jednak według innych badań, skutki fumigacji gleby mogą być tymczasowe i populacje *Verticillium* szybko się regenerują po uprawie rośliny żywicielskiej, jaką są ziemniaki. Dlatego wymagana jest kontynuacja fumigacji przed uprawą ziemniaków (Tenuta 2018). Li (2021) stwierdza, że stosowane obecnie fungicydy syntetyczne są nadal główną i zwykle skuteczną strategią ograniczania PED. Do tych fungicydów zalicza azoksystrobinę będącą inhibitorem zewnętrznych chinonów (QoI) i benzowindylflupyr – inhibitor dehydrogenazy bursztynianowej (SDHI), chociaż zwraca także uwagę na możliwość tworzenia się odporności w populacjach patogenów. Spektrum fungicydów zarejestrowanych do zwalczania werciliozy powiększyło się w ostatnim czasie o nowy, jeszcze niezarejestrowany w Polsce fungicyd Aprovia TM (solatenol), który oprócz werciliozy ogranicza także rizoktoniozę i parcha srebrzystego. Pewnym wsparciem w walce z tą chorobą może być także nowy nematocyd Velum®Prime (fluopyram), który zarejestrowany jest do zwalczania nicieni uszkadzających korzenie (Tenuta 2018). Ze względu na straty ekonomiczne wywołane przez sprawców wędnięcia naczyniowego, w wielu uprawach powinno się poważnie rozważyć opracowanie doglebowego, ogólnoustrojowego środka grzybobójczego specjalnie ukierunkowanego na zwalczanie *Verticillium* o działaniu układowym. Zadaniem takiego fungicydu byłoby zmniejszenie zasięgu kolonizacji naczyń do poziomu, w którym zostałyby zminimalizowany jakikolwiek wpływ na plon. W produkcji ziemniaków produkt ten mógłby być stosowany jako zaprawa w trakcie sadzenia, gdzie następnie zostałyby wchłonięty do tkanek we wczesnym etapie rozwoju rośliny (Rowe i Powelson 2002).

### Zmianowanie / Rotation

Różnorodne badania wskazują, że mikrosklerocja sprawcy werciliozy mogą przetrwać w glebie nawet do 15 lat zachowując zdolność do infekowania (Agrios 2005), dlatego uprawa ziemniaków na tym samym polu powinna być prowadzona po co najmniej 4–5-letniej przerwie, co korzystnie wpływa nie tylko na plon handlowy, ale także zmniejsza w glebie ilość populacji grzybów rodzaju *Verticillium* oraz innych agrofagów sprzyjających rozwojowi choroby. Uprawa w krótszej rotacji (dwa lata) może wpływać na 2–4-krotne zwiększenie ilości propagul *V. dahliae* w glebie (Taylor i wsp. 2005). Chociaż populacja mikrosklerocjów w glebie może zostać zmniejszona poprzez rotację z uprawą

roślin innych niż żywicielskie, to nie jest ona uważana za praktyczną taktykę ograniczania *V. dahliae*. Grzyb kolonizuje korzenie wielu gatunków roślin zarówno tych odpornych, jak i podatnych na infekcję (Busch i wsp. 1978). Przeprowadzone badania określenia tzw. specyficzności zakresu żywicieli i spektrum wirulencji szczepów *Verticillium* wykazały, że izolaty *V. dahliae* z karczochów, sałaty, truskawki, pomidorów i arbuza wywoływały silne odbarwienie i wędnięcie naczyń na ziemniaku (Rowe i Powelson 2002). Czynnikiem komplikującym wykorzystanie płodozmianu jako elementu ograniczania choroby jest to, że korzenie niektórych roślin, które nie są żywicielami, w tym zbóż (jęczmień, gryka, kukurydza, owies, pszenica), roślin bobowatych (lucerna, groch ozimy, koniczyna, wyka) oraz roślin kapustowatych (rzepak, rzodkiewka i rzepa) mogą zostać skolonizowane przez *V. dahliae*, gdy rośliny uprawiane są na glebie silnie zasiedlonej patogenem (Davis i wsp. 2000). Możliwość pełnienia przez liczne gatunki roślin funkcji gospodarza pomostowego zmniejsza możliwość stosowania płodozmianu jako skutecznego elementu ochrony przed chorobą.

### Nawozy zielone / Green fertilizers

Stosowanie nawozów organicznych ma bardzo korzystny wpływ na zawartość materii organicznej w glebie, która poprawia właściwości gleby i stanowi bufor przed niekorzystnym wpływem czynników stresowych, w tym stresu wywołanego przez patogeny. Zwiększona zawartość materii organicznej w glebie skutkuje m.in. zwiększoną aktywnością mikrobiologiczną, a także zwiększa supresyjność gleby, czyli zdolność do tworzenia niekorzystnych warunków do rozwoju patogenów wywołujących choroby oraz wspomaganie roślin w rozwoju (Kowalska 2021). Obserwowany jest wzrost zainteresowania alternatywnymi sposobami zwalczania choroby, które mogłyby przyczynić się do zmniejszenia ilości pestycydów stosowanych w produkcji oraz ostatecznego obniżenia jej kosztów. Badano możliwość wykorzystania różnych nawozów organicznych (gnójowica świńska, mączka kostna) i zielonych oraz kompostu. Spośród stosowanych dodatków kompost wykazał się największym zakresem ograniczania choroby (Tirado 2016). Kompost może opóźniać spadek fotosyntezy w liściach oraz może zmienić skład mineralny korzeni i liści, aby wzmocnić reakcję na *V. dahliae*. Można także wprowadzić ryzobakterie sprzyjające wzrostowi roślin, ograniczające rozwój objawów wędnięcia, czy wspomagać utrzymywanie niskiego zagęszczenia propagul w glebie (Molina i wsp. 2014). Wyrażany jest także pogląd, że skuteczność w ograniczaniu werciliozy przez zastosowanie kompostu na bazie nawozów zwierzęcych można również przypisać zdolności organizmów pożytecznych obecnych w tym kompoście, takich jak *Pseudomonas fluorescens* i niepatogenicznego w stosunku do ziemniaka *Fusarium oxysporum* do osiedla-



nia się w ryzosferze i zmniejszania nasilenia choroby (Tirado 2016).

Jednak pomimo obserwowanych zalet stosowania kompostu, zauważono również efekty niepożądane, jak wprowadzanie chwastów i patogenów do gleby. Jak ocenia Tirado (2016) mogło to wynikać ze stosowania niedojrzałego kompostu, który nie przeszedł odpowiedniego biologicznego rozkładu materiałów organicznych odpowiedzialnych za stabilizację chemiczną i sanitację patogenów roślin i nasion chwastów.

Badania Tenuty (2018) wykazały, że rośliny uprawiane na glebach o wyższym poziomie materii organicznej są mniej podatne na występowanie choroby w porównaniu do uprawy na glebach ubogich. Także uprawy biofumigujące, jak gorczyca brunatna lub biała mają korzystny wpływ na zmniejszenie populacji *Verticillium* i nicieni w glebie. Efekt ten jest osiągnięty na skutek rozpadu glukozynolanów do gazów podobnych do fumigantów chemicznych. Optymalny efekt można osiągnąć, gdy biomasa osiągnie największą objętość (45 do 60 dni po sadzeniu).

### Inne zabiegi agrotechniczne / Other agricultural practices

Za zabieg wspomagający zmniejszenie poziomu ilości propagul w glebie Ben-Yephet i Szmulewicz (1985) oraz Taylor i wsp. (2005) uznali odwracanie gleby i zakopywanie resztek poźniwnych. Jak uważają Berlinger i Powelson (2000), umieszczanie mikrosklerocjów na głębokości

powyżej 30 cm zmniejszało poziom zagrożenia chorobą. Gospodarka wodna może także przyczynić się do zmniejszenia negatywnych skutków choroby. Lekkie przesuszenie gleby przed kiełkowaniem bulw może ograniczyć kiełkowanie mikrosklerocjów, a w okresie rozwoju bulw dostarczenie wilgotności w odpowiedniej ilości może wpłynąć na zmniejszenie wędnięcia roślin (Davis i wsp. 1990). Oprócz ilości nawadniania także jego rodzaj może wpływać na nasilenie choroby. Przeprowadzone badania wskazują, że nasilenie choroby jest większe w przypadku nawadniania w bruzdę w porównaniu do nawadniania zraszającego, co prawdopodobnie związane jest z dystrybucją i dostępnością azotu w całej strefie korzeniowej. Zaopatrzenie roślin w główne składniki, takie jak azot, potas i fosfor również pozwala na ograniczenie kolonizacji roślin przez *V. dahliae* (Pasche 2012).

### Odporność odmian / Variety resistance

Przenoszenie *V. dahliae* na zakażonych bulwach jest oczywistym mechanizmem rozprzestrzeniania się sprawcy na duże odległości i porażania gleb wolnych od grzyba, dlatego główną długoterminową strategią ograniczania strat wynikających z rozwoju wertyciliozy powinna być hodowla odpornościowa i rozwój odmian odpornych. Nie jest to jednak łatwy proces, bo w trakcie długoletniego (20 lat) prowadzenia programu hodowlanego uzyskano tylko jedną odmianę odporną (Rowe i Powelson 2002).

### Literatura / References

- Agrios G. 2005. Plant Pathology. 5th Edition. Elsevier Academic Press, Burlington, MA, 952 ss. ISBN 9780120445653. eBook ISBN 9780080473789.
- Ben-Yephet Y., Szmulewicz Y. 1985. Inoculum levels of *Verticillium dahliae* in the soils of the hot semi-arid negev region of Israel. *Phytoparasitica* 13: 193–200. DOI: 10.1007/BF02980668
- Berlinger I., Powelson M.L. 2000. Verticillium wilt. The Plant Health Instructor. American Phytopathological Society. Publication on-line. DOI: 10.1094/PHI-I-2000-0801-01
- Busch L.V., Smith E.A., Njoh-Elango F. 1978. The effect of weeds on the value of rotation as a practical control for Verticillium wilt of potato. *Canadian Plant Disease Survey* 58 (3): 61–64.
- Cappeart M.R., Powelson M.L., Christensen N.W., Crowe F.J. 1992. Influence of irrigation on severity of potato early dying and tuber yield. *Phytopathology* 82 (12): 1448–1453.
- Davis J.R. 1985. Approaches to control of potato early dying caused by *Verticillium dahliae*. *American Potato Journal* 62: 177–185. DOI: 10.1007/BF02852975
- Davis J.R., Everson D.O. 1986. Relationship of *Verticillium dahliae* in soil and potato tissue, irrigation method, and N-fertility to Verticillium wilt of potato. *Phytopathology* 76: 730–736.
- Davis J.R., Huisman O.C. 2001. Verticillium Wilt. s. 45–46. W: Compendium of Potato Diseases. Second edition (W.R. Stevenson, R. Loria, G.D. Franc, D.P. Weingartner, red.). American Phytopathological Society, St. Paul, MN, 106 ss. ISBN 978-0890542750.
- Davis J.R., Huisman O.C., Sorensen L.H., Schneider A.T. 2000. Field studies comparing the susceptibility of various crops to colonization by *Verticillium dahliae*. s. 311–314. W: Advances in Verticillium Research and Disease Management (E.C. Tjamos, R.C. Rowe, J.B. Heale, D.R. Fravel, red.). American Phytopathological Society, St. Paul, MN, 376 ss. ISBN 9780890542477.
- Davis J.R., Sorensen L.H., Stark J.C., Westermann D.T. 1990. Fertility and management practices to control Verticillium wilt of the russet burbank potato. *American Potato Journal* 67: 55–65. DOI: 10.1007/BF02986912
- Fradin E.F., Thomma B.P.H.J. 2006. Physiology and molecular aspects of Verticillium wilt diseases caused by *V. dahliae* and *V. alboatrium*. *Molecular Plant Pathology* 7 (2): 71–86. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2006.00323.x



- Inderbitzin P., Bostock R.M., Davis R.M., Usami T., Platt H.W., Subbarao K.V. 2011. Phylogenetics and taxonomy of the fungal vascular wilt pathogen *Verticillium*, with the descriptions of five new species. PLOS ONE 6 (12): e28341. DOI: 10.1371/journal.pone.0028341
- Inderbitzin P., Subbarao K.V. 2014. *Verticillium* systematics and evolution: how confusion impedes *Verticillium* wilt management and how to resolve it. Phytopathology 104 (6): 564–574. DOI: 10.1094/PHYTO-11-13-0315-IA
- Johnson D.A., Dung J.K.S. 2010. *Verticillium* wilt of potato – the pathogen, disease and management. Canadian Journal of Plant Pathology 32 (1): 58–67. DOI: 10.1080/07060661003621134
- Klosterman S.J., Atallah Z.K., Vallad G.E., Subbarao K.V. 2009. Diversity, pathogenicity, and management of *Verticillium* species. Annual Review of Phytopathology 47: 39–62. DOI: 10.1146/annurev-phyto-080508-081748
- Kowalska B. 2021. Management of the soil-borne fungal pathogen – *Verticillium dahliae* Kleb. causing vascular wilt diseases. Journal of Plant Pathology 103: 1185–1194. DOI: 10.1007/s42161-021-00937-8
- Kryczyński S. 2011. Choroby powodowane przez grzyby z typu *Ascomycota* (workowce). s. 260–396. W: Fitopatologia Tom 2. Choroby roślin uprawnych (S. Kryczyński, Z. Weber, red.). Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań, 488 ss. ISBN 978-83-09-01-077-7.
- Li K. 2021. Determining effects of management practices on potato early dying and soil microbiome and assessing risk of fungicide resistance in *Verticillium dahliae*. <https://digitalcommons.library.umaine.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4496&context=etd> [dostęp: 13.02.2023].
- Łabędzki L., Bąk B., Liszewska M. 2013. Wpływ przewidywanej zmiany klimatu na zapotrzebowanie ziemniaka późnego na wodę. [Impact of climate change on water demand of late potato]. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich – Infrastructure and Ecology of Rural Areas 2/1: 155–165.
- Mace M.E., Bell A.A., Beckman C.H. 1981. Fungal Wilt Diseases of Plants. Academic Press, New York, 654 ss. eBook ISBN 9780323143912.
- Mol L., Scholte K. 1995. Formation of microsclerotia of *Verticillium dahliae* Kleb. on various plant parts of two potato cultivars. Potato Research 38: 143–150. DOI: 10.1007/BF02357927
- Molina O.I., Tenuta M., El Hadram A., Buckley K., Cavers C., Daayf F. 2014. Potato early dying and yield responses to compost, green manures, seed meal and chemical treatments. American Journal of Potato Research 91: 414–428. DOI: 10.1007/s12230-014-9365-0
- Olesen J.E., Trnka M., Kersebaum K.C., Skjelvåg A.O., Seguin B., Peltonen-Sainio P., Rossi F., Kozyra J., Micale F. 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. European Journal of Agronomy 34 (2): 96–112. DOI: 10.1016/j.eja.2010.11.003
- Pasche J.S. 2012. Biology and development of two wilt fungi of potato: *Verticillium dahliae* and *Colletotrichum coccodes*. <https://library.ndsu.edu> [dostęp: 13.02.2023].
- Pegg G.F., Brady B.L. 2002. *Verticillium* Wilts. CABI Publishing, Wallingford, UK, New York, USA, 552 ss. ISBN 0-85199-529-2.
- Powelson M.L., Rowe R.C. 1993. Biology and management of early dying of potatoes. Annual Review of Phytopathology 31: 111–126. DOI: 10.1146/annurev.py.31.090193.000551
- Rataj-Guranowska M., Pukacka A. (red.). 2012. *Verticillium dahliae*. s. 174–178. W: Kompendium symptomów chorób roślin i morfologii ich sprawców. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 178 ss. ISBN 978-83-63400-35-4.
- Rowe R.C., Powelson M.L. 2002. Potato early dying: management challenges in a changing production environment. Plant Disease 86 (11): 1184–1193. DOI: 10.1094/PDIS.2002.86.11.1184
- Saeed I.A.M., MacGuidwin A.E., Rouse D.I. 1998. Effect of initial nematode population density on the interaction of *Pratylenchus penetrans* and *Verticillium dahliae* on ‘Russet Burbank’ potato. Journal of Nematology 30 (1): 100–107.
- Salaman R.N., Burton W.G. 1985. The History and Social Influence of the Potato. Cambridge University Press, 685 ss. ISBN 0521316235, 9780521316231.
- Shiraishi T., Sakai H., Ikeda K., Urushibara T. 2014. A useful method for preparing microsclerotial inoculums of *Verticillium dahliae*. Journal of General Plant Pathology 80 (6): 475–478. DOI: 10.1007/s10327-014-0549-8
- Steere L., Kirk W. 2015. Potato early die complex (*Verticillium* wilt). Michigan State University. Extension Bulletin E-3207. [https://www.canr.msu.edu/uploads/resources/pdfs/potato\\_early\\_die\\_complex\\_\(e3207\).pdf](https://www.canr.msu.edu/uploads/resources/pdfs/potato_early_die_complex_(e3207).pdf) [dostęp: 13.02.2023].
- swiatrolnika.info. Ziemniaki – kto spożywa ich najwięcej? <https://swiatrolnika.info/informacje/ziemniaki-ranking.html> [dostęp: 13.02.2023].
- Taylor R.J., Pasche J.S., Gudmestad N.C. 2005. Influence of tillage and method of metam sodium application on distribution and survival of *Verticillium dahliae* in the soil and the development of *Verticillium* wilt of potato. American Journal of Potato Research 82: 451–461. DOI: 10.1007/BF02872223
- Tenuta M. 2018. Potato early dying complex. Understanding biology and symptoms of early dying and control options for growers. [http://peipotatoagronomy.com/wp-content/uploads/2018/02/EarlyDyingComplexFactsheet\\_Feb18.pdf](http://peipotatoagronomy.com/wp-content/uploads/2018/02/EarlyDyingComplexFactsheet_Feb18.pdf) [dostęp: 13.02.2023].
- Thornton M. 2020. Potato Growth and Development. s. 19–33. W: Potato Production Systems (J.C. Stark, M. Thornton, P. Nolte, red.). Springer Cham, 635 ss. ISBN 978-3-030-39156-0. eBook ISBN 978-3-030-39157-7. DOI: 10.1007/978-3-030-39157-7
- Tirado O.I.M. 2016. Identification of *Verticillium* species and control methods for *Verticillium* wilt of potato in manitoba. University of Manitoba Winnipeg, Manitoba Canada, 216 ss. <https://mspace.lib.umanitoba.ca> [dostęp: 12.01.2023].
- Tjamos E.C. 2000. Strategies in developing methods and applying techniques for the biological control of *Verticillium dahliae* – Short review. s. 227–231. W: Advances in *Verticillium* Research and Disease Management (E.C. Tjamos, R.C. Rowe, J.B. Heale, D.R. Fravel, red.). American Phytopathological Society, St. Paul, MN, 376 ss. ISBN 9780890542477.
- Tsrer (Lahkim) L., Hazanovsky M. 2001. Effect of coinfection by *Verticillium dahliae* and *Colletotrichum coccodes* on disease symptoms and fungal colonization in four potato cultivars. Plant Pathology 50 (4): 483–488. DOI: 10.1046/j.1365-3059.2001.00585.x