

12. Najważniejsze fitopatogeny wirusowe, grzybowe i bakteryjne atakujące rośliny rolnicze w klimacie umiarkowanym

The most important viral, fungal and bacterial phytopathogens attacking agricultural plants in the temperate climate

Serbakowska Katarzyna ⁽¹⁾, May Michał ⁽²⁾

⁽¹⁾Katedra Technologii Leków i Biochemii, Wydział Chemiczny Politechniki Gdańskiej

⁽²⁾Katedra Taksonomii Roślin i Ochrony Przyrody, Wydział Biologii Uniwersytetu Gdańskiego

Opiekun naukowy : prof. dr hab. inż. Maciej Bagiński

Katarzyna Serbakowska: k.serbakowska@gmail.com

Słowa kluczowe: patogeny roślin, rolnictwo ekologiczne

Streszczenie

Zakażenia fitopatogenami stanowią poważne zagrożenie dla rolnictwa oraz przemysłu opartego na produktach roślinnych. Często prowadzą do ogromnych strat na rynku wynikających z przymusowego usuwania zakażonych roślin i plonów, mogą mieć negatywny wpływ na środowisko, a nawet powodować zatrucia wśród ludzi, oraz zwierząt. Kluczowym wydaje się więc dogłębne poznanie fitopatogenów i w dalszej perspektywie opracowanie skutecznej ochrony roślin uprawnych. W tej pracy chcemy skupić się na fitopatogenach wirusowych, grzybowych i bakteryjnych infekujących rośliny uprawne klimatu umiarkowanego będących zagrożeniem dla krajowych plantacji. Fitopatogeny wirusowe wnikają głównie do komórek skórki. Tylko wprowadzenie przez wektory (np. owady) umożliwi infekcję głębszych warstw rośliny. Zakażenie grzybami roślin uprawnych powoduje nie tylko utratę plonu, ale również zanieczyszczenie mykotoksynami. Większość gatunków fitopatogenów bakteryjnych w celu umożliwienia i ułatwienia infekcji wydziela enzymy trawiące ścianę komórkową roślin. Efektem jest występowanie różnych rodzajów zgnilizny, która jest materiałem zdolnym do zakażeń następnych roślin.

1. Wstęp

Rośliny stanowią podstawę życia na Ziemi. Biomasa pokrywająca planetę stanowi kluczowy element równowagi ekologicznej. Stanowiąc pierwszy element łańcucha pokarmowego, producenci pozwalają na zamianę energii nieorganicznej w organiczną. Dostarczają tlenu, włókien, drewna, paliw, leków, barwników, żywic, kauczuku oraz papieru. Kształtują ekosystem oddziałując na warunki klimatyczne. Ponadto zmniejszają hałas oraz zanieczyszczenia powietrza (Smith i in. 2009).

Świat roślin jest zagrożony nie tylko przez szeroko ujętą działalność człowieka i katastrofy ekologiczne. Roślinom zagrażają również choroby infekcyjne, które mają ogromny wpływ na życie człowieka i ekosystem. Większość historycznie znaczących przypadków występowania głodu było konsekwencją ograniczenia lub zniszczenia plonów przez katastrofy naturalne lub spowodowane przez pasożyty i choroby (Brown i Ogle 1997).

2. Opis zagadnienia

Rośliny jako organizmy mają ograniczone możliwości obrony przed patogenami. Zakażenia fitopatogenami stanowią więc poważne zagrożenie dla rolnictwa oraz przemysłu opartego na produktach roślinnych. Są powodem ogromnych strat na rynku wynikających z przymusowego usuwania zakażonych roślin i plonów. Zakażenia mogą mieć negatywny wpływ na środowisko, a nawet powodować zatrucia wśród ludzi oraz zwierząt dziko żyjących i hodowlanych. Kluczowym wydaje się więc dogłębne poznanie fitopatogenów i w dalszej perspektywie opracowanie skutecznej ochrony roślin uprawnych (Smith i in. 2009).

Fitopatogeny to czynniki biotyczne wywołujące choroby roślin. Infekcyjne czynniki obejmują wirusy, bakterie, grzyby, nicienie oraz niektóre stawonogi (Brown i Ogle 1997). Zewnętrzne objawy i symptomy chorób roślin powodowane są przez nieprawidłowości wywoływane przez obecność fitopatogenów bądź czynników wirulencji przez nie produkowanych. Głównie wyróżnia się symptomy obejmujące zmniejszenie (lub brak) uzyskiwanego plonu, zmiany w wyglądzie rośliny (przebarwienia na liściach, mozaikowatość, zgrubienia), oraz generalny brak żywotności zakażonej rośliny. Część patogenów roślinnych (grzybowych i bakteryjnych) wydziela enzymy, które doprowadzają do śmierci komórek i tkanek gospodarza, po czym uzyskuje składniki pokarmowe z martwych komórek (Brown i Ogle 1997).

W latach 2011-2012 opublikowano zestawienia najważniejszych fitopatogenów bakteryjnych, wirusowych i grzybowych (Scholthof i in. 2011; Dean i in. 2012; Mansfield i in. 2012). Podkreślono ich znaczenie pod względem naukowym oraz ekonomicznym. W tej pracy chcemy skupić się na wyróżnionych fitopatogenach infekujących rośliny uprawne klimatu umiarkowanego, będące zagrożeniem dla krajowych plantacji.

3. Przegląd literatury

Diagnoza czynnika etiologicznego (przyczyny choroby) jest niezbędna dla opracowania efektywnej strategii w leczeniu epidemii. Zwykle nie jest możliwe określenie przyczyny choroby rośliny na podstawie jedynie objawów. Poznanie czynnika etiologicznego odbywa się według protokołu wykorzystującego postulaty Kocha. Protokół wymaga ustalenia czy czynnik jest obecny we wszystkich tkankach z objawami chorobowymi i wyizolowanie czystej hodowli zawierającej patogen. Następnie zakaża się roślinę zdrową i obserwuje się, czy pojawiają się objawy chorobowe, takie jak w roślinie pierwotnej. Patogen z zainfekowanej rośliny jest izolowany i porównywany z zakażającym mikroorganizmem. Jeśli wyizolowany z chorej rośliny mikroorganizm jest saprofitem, nie wywoła on objawów chorobowych w zakażonej roślinie. Różnice między mikroorganizmem zakażającym a wyizolowanym z rośliny mogą wskazywać na kontaminację. Brak wyizolowanego czynnika może wskazywać na występowanie choroby powodowanej przez wirusowy patogen roślinny (Brown i Ogle 1997).

Fitopatogeny wirusowe indukują szeroki zakres makroskopowych i mikroskopowych symptomów w trakcie infekcji. Wirusy wnikają głównie do komórek skórki. Wprowadzenie przez wektory (np. owady) umożliwia infekcję głębszych warstw rośliny (Hull 2014).

Wśród wirusów wyróżnia się uznany za najgroźniejszy dla pomidorów hodowanych pod osłonami **wirus brązowej plamistości pomidora (TSWV – ang. *Tomato spotted wilt virus*)**. Pierwsze opisy objawów infekcji na pomidorach pojawiły się w 1915 roku w Australii (Scholthof i in. 2011), jednak szybko zaobserwowano występowanie tego wirusa w wielu innych krajach. Szeroki zakres gospodarzy obejmujący ponad 800 gatunków roślin sprawia, że wciąż jest to wirus rozpowszechniony na całym świecie powodując ogromne szkody w rolnictwie. TSWV powoduje różnorodne symptomy, takie jak nekrotyczne bądź chlorotyczne kręgi, nakrapiane liście, pędy oraz owoce. W etapie wczesnej infekcji powoduje zahamowanie wzrostu części rośliny wraz z opadaniem liści spowodowanym naczyniowym wędnięciem (mechaniczne zablokowanie tkanek przewodzących rośliny). Efektem późnej infekcji jest występowanie owoców z chlorotycznymi lub nekrotycznymi kręgami, które często pojawiają się dopiero kiedy osiągnie on dojrzały kolor. Bezpośrednim skutkiem wystąpienia tych objawów jest ograniczona czy wręcz niemożliwa sprzedaż takiego plonu.

Kolejną wirusową chorobą pomidorów jest **żółta kędzierzawość liści pomidora (TYLCV – ang. *Tomato yellow leaf curl virus*)**. Przenoszona przez mączlika szklarniowego (*Bemisia tabaci*) występuje na wielu obszarach o umiarkowanym lub ciepłym klimacie (Scholthof i in. 2011). Wirus przykuł uwagę naukowców specjalizujących się w poznawaniu chorób wirusowych roślin z powodu błyskawicznego rozprzestrzeniania się oraz skali szkód, które wywołuje. Poważna infekcja może spowodować utratę całego plonu. Ochrona przez

infekcjami opiera się na opryskach insektycydami, które kontrolują populację mączlika oraz krzyżowanie z pomidorami opornymi na wirusa.

Choroba wywoływana przez **wirusa mozaiki ogórka (CMV – ang. Cucumber mosaic virus)** została opisana po raz pierwszy w 1916 roku. Różnice w materiale genetycznym różnych szczepów wirusa pozwalają na infekcję szerokiego zakresu gospodarzy (ponad 1200 gatunków roślin z ponad 100 rodzin), prowadząc do błędnego oznaczania jako nowe wirusy (Scholthof i in. 2011). Rozprzestrzenia się za pomocą ponad 80 gatunków mszyc oraz z wykorzystaniem bezobjawowych gospodarzy (m. in. chwastów rosnących w pobliżu pól uprawnych). Ograniczanie infekcji CMV poprzez kontrolę występowania mszyc na polach jest mało efektywne, jednak możliwe jest uodpornienie roślin dzięki genom odporności na tego wirusa, poprzez rekombinacje genetyczne (Morrone i in. 2008).

Najbardziej szkodliwym wirusem atakującym ziemniaki jest **wirus Y (wirus smugowatości ziemniaka/PVY, ang. Potato virus Y)** uznawany za najbardziej szkodliwy w produkcji nasiennej. Stanowi duże zagrożenie na plantacjach zarówno w Europie, jak i na świecie. Infekuje gospodarzy roślinnych wielu gatunków, głównie z rodziny psiankowatych. Wektorem wirusa są mszyce (ponad 40 gatunków), które zakażają rośliny mechanicznie uszkodzając ich powierzchnię podczas żerowania. U większości zainfekowanych roślin obserwuje się mozaikowatość lub pomarszczenie liści oraz nekrozy nerwów na spodniej stronie liści. Bulwy ziemniaka stanowią jeden z podstawowych składników codziennej diety Europejczyków. Łączną produkcję ziemniaka w celach konsumpcyjnych i przemysłowych przewyższają tylko zbiory pszenicy, ryżu i kukurydzy. Polska jest siódmym największym producentem ziemniaka na świecie (FAO 2012). Efektem braku wydajnej odporności na wirusy atakujące ziemniaki w przypadku epidemii może być znaczne zmniejszenie ilości żywności na rynku.

Na całym świecie, zwłaszcza w regionach o umiarkowanym klimacie, obserwuje się chorobę roślin z rodziny kapustowatych, której czynnikiem etiologicznym jest **wirus mozaiki kalafiora (CaMV, ang. Cauliflower mosaic virus)**. Objawy ogólnoukładowe obejmują chlorozę nerwów rozpoczynającą się u ich podstawy. W późniejszych etapach infekcji pojawiają się ciemnozielone obszary wzdłuż nerwów, nekrotyczne plamy na liściach oraz w wielu przypadkach – mozaikowatość liści. Główne źródło inokulum do nowych infekcji stanowią zakażone uprawy lub chwasty z rodzin krzyżowych. Wektorem wirusa są liczne gatunki mszyc (mszyca kapuściana, rzekoma mszyca kapuściana, zielona mszyca brzoskwini), które nadgryzając zdrową roślinę wprowadzają wirusa do nowego gospodarza. Wirus ten skupia na sobie zainteresowanie naukowców, ponieważ jest to pierwszy wirus roślinny, którego genom jest replikowany przez odwrotną transkrypcję (Scholthof i in. 2011). Jest to również pierwszy wirus roślinny, którego genom został zsekwencjonowany w całości.

Grzyby fitopatogenne są rozprzestrzenione na całym świecie, występując na wszystkich kontynentach poza Antarktydą (Brown i Ogle 1997). Zakażenie grzybami roślin uprawnych powoduje nie tylko utratę plonu, ale również zanieczyszczenie mykotoksynami, które są toksyczne dla człowieka i zwierząt. Mykotoksyny mogą być przyczyną zatrucia (tak ostrego, jak i przewlekłego), także śmiertelnego. Do mykotoksyn zalicza się między innymi aflatoksyny i ochratoksyny (Smith i in. 2009).

Szara pleśń, choroba grzybowa roślin, jest wywoływana przez grzyby z gatunku ***Botrytis cinerea***. Zakażenie grzybem jest bardziej wyniszczające w dojrzałych tkankach roślin dwuliściennych. Bezobjawowa inwazja może zachodzić od etapu sadzonki, aż do stadium dojrzewania owoców lub rozkwitania kwiatów. Zbierany plon z rośliny nie wykazującej objawów chorobowych może ulec zepsuciu na krótko po zbiorach uniemożliwiając przetworzenie i sprzedaż (skrócenie trwałości półkowej lub wazonowej towaru) (Dean i in. 2012). Mimo stosowania środków ochrony roślin w postaci fungicydów zwanych borytrycydami, choroba ta wciąż pozostaje jedną z głównych przyczyn spadku jakości żywności w trakcie transportu.

Wśród fitopatogenów grzybowych w klimacie umiarkowanym podkreśla się patogeny infekujące zboża i wywołujące groźne choroby wszystkich zbóż, takie jak **rdza** wywoływana



przez grzyby z rodzaju *Puccinia*. Rozróżnia się 3 rodzaje rdzy występującej na zbożach: czarna rdza, której czynnikiem etiologicznym jest gatunek *Puccinia graminis f. sp. tritici*, żółta rdza powodowana przez gatunek *Puccinia striiformis f. sp. tritici*, oraz brązowa rdza będąca efektem infekcji gatunkiem *Puccinia triticina*. Rozprzestrzeniają się za pomocą urediniospor roznoszonych przez wiatr. Grzyb skutecznie tłumi mechanizmy ochronne infektowanej rośliny i pozyskuje składniki pokarmowe poprzez wyspecjalizowane struktury zwane haustoriami.

Fuzariozy należą do najgroźniejszych chorób grzybowych, które zagrażają plantacjom kukurydzy, pszenicy, żyta i jęczmienia (Dean i in. 2012). Choroba wywoływana przez grzyba *Fusarium graminearum* głównie obniża jakość ziarna, które zostaje skażone mykotoksynami. Dzieje się tak zwłaszcza, gdy plon jest przechowywany i transportowany w warunkach zbyt wysokiej wilgotności. Infekcja gatunku *Fusarium oxysporum* wywołuje objawy wędnięcia naczyniowego, karłowatość, postępujące wędnięcie a nawet śmierć roślin spośród więcej niż 100 różnych gatunków gospodarzy. Grzyb ten stanowi także niebezpieczeństwo dla ludzi, powodując infekcje u pacjentów z niedoborem odporności.

Czynnikiem etiologicznym **septoriozy paskowanej liści pszenicy** jest grzyb *Mycosphaerella graminicola*. Infekcja rozpoczyna się 7-dniowym okresem bezobjawowym w trakcie którego następuje inwazja tkanek liści rośliny. Po tym czasie następuje utworzenie nekrotycznych uszkodzeń na liściach, wewnątrz których grzyb się namnaża. Największym problemem w zapobieganiu infekcjom jest wysoka różnorodność genetyczna grzyba występująca nawet w jednym miejscu zakażenia (Dean i in. 2012). Skutkuje to bardzo szybkim przystosowaniem do stosowanych środków ochrony roślin, oraz uodpornieniem na ich działanie.

Większość gatunków fitopatogenów bakteryjnych w celu umożliwienia i ułatwienia infekcji wydziela enzymy trawiące ścianę komórkową roślin. Efektem jest powstawanie różnych rodzajów zgnilizny i zakażenia następujących roślin (Brown i Ogle 1997).

Rak roślin jest chorobą roślin wywoływaną przez bakterie z gatunku *Pseudomonas syringae*. Infektowane są głównie różne gatunki drzew owocowych, oraz inne rośliny jedno- i wieloletnie. Bakterie rozprzestrzeniają się za pośrednictwem wiatru, deszczu, owadów i narzędzi stosowanych w agrotechnice. Infekcja następuje przez naturalne otwory w roślinie (m. in. aparaty szparkowe) oraz przez uszkodzenia mechaniczne. Niektóre szczepy powodują długoterminowe zakażenia drzew powodując występowanie zniekształceń oraz narośli rakowych. Infekcje corocznych plonów zdarzają się sporadycznie i zwykle związane są z wysiewem zakażonego materiału siewnego. Jedną z zaskakujących cech bakterii tego gatunku jest kolonizowanie niespokrewnionych ze sobą gospodarzy przez szczepy będące w jednym kładzie.

Ralstonia solanacearum prawdopodobnie stanowi największe niebezpieczeństwo dla roślin uprawnych na świecie. Zaraża rośliny poprzez zranienia, szczyty korzeni lub pęknięcia występujące w trakcie wzrostu korzenia na szerokość. Bakteria błyskawicznie się namnaża w tkankach przewodzących powodując wędnięcie i śmierć rośliny. Gospodarzem wykorzystywanym szeroko w rolnictwie jest ziemniak, pomidor, tytoń i bakłażan.

Czarna zgnilizna na roślinach kapustowatych jest efektem zakażenia przez bakterie gatunku *Xanthomonas campestris*. Infekcja jest szczególnie niebezpieczna w regionach z ciepłym i wilgotnym klimatem, jednak również powoduje znaczne ekonomiczne straty w klimacie umiarkowanym. Jako pierwsze symptomy pojawiają się żółte zmiany w kształcie litery V na liściach. Wraz z rozwojem infekcji liść brązowieje, a nerwy zabarwiają się na czarno.

Czynnikiem etiologicznym **zarazy ogniowej** zarażającej rośliny głównie z rodziny różowatych jest bakteria *Erwinia amylovora*. Choroba występuje sporadycznie, jednak jej skutki są niszczyielskie, zwłaszcza dla młodych drzew owocowych. Infekcja powoduje porażenie liści, kwiatów, owoców oraz pędów. Zakażenie zachodzi poprzez znamiona słupka kwiatów, aparaty szparkowe, przetchlinki oraz uszkodzenia powierzchni tkanek rośliny. Pęd znajdujący się ponad miejscem infekcji stopniowo zamiera, liście brązowieją a następnie czernieją i zwijają się. Patogen zimuje w żywych pędach zakażonych drzew. Czynnikiem ograniczającym rozwój choroby jest bezpośrednie promieniowanie słoneczne, co sprawia, że bardziej narażone są plantacje o wysokim zagęszczeniu roślin. Jednoznacznym sygnałem porażenia są mlecznobiałe

wycieki na porażonych organach rośliny. Kontrola zarazy ogniowej opiera się głównie na ograniczaniu transportowania roślin z rodziny różowatych, utrzymywaniu higieny oraz stosowaniu ograniczonej ilości bakteriocydów i środków ochrony roślin (Mansfield i in. 2012). Najbardziej efektywnym sposobem kontroli zakażeń jest stosowanie streptomycyny. Dotyczy to jednak tylko szczepów bakterii, które są wrażliwe na ten antybiotyk.

Przykładem choroby roślin będącej skutkiem intensywnej międzynarodowej wymiany materiału roślinnego jest infekcja wywołwana przez bakterię *Xylella fastidiosa*. Po raz pierwszy bakteria została wyizolowana w 1987 roku w Stanach Zjednoczonych jako czynnik sprawczy **choroby Pierc'a (PD)** winorośli oraz chorobę brzoskwini zwaną „**phony peach disease**” (**PPD**). Wraz z upływem lat jej występowanie potwierdzano w kolejnych krajach. Objawy chorobowe obejmują chlorozy, więdnienia, zasychanie liści i ich oparzeliny oraz zamieranie całych roślin. Liczne gatunki roślin mogą być zasiedlane bezobjawowo, będąc wektorem bakterii. Z rośliny na roślinę patogen przenoszony jest przez żywiące się sokami roślinnymi owady.

Czynnikiem etiologicznym **czarnej nóżki i mokrej zgnilizny** ziemniaka są bakterie pektynolityczne z rodzajów *Pectobacterium* i *Dickeya* (oba zaliczano wcześniej do rodziny *Erwinia*). Objawami czarnej nóżki u ziemniaka są więdnące liście, czerniejąca podstawa pędu i brak bulw potomnych. Mokra zgnilizna może pojawić się na polu, w trakcie transportowania i przechowywania plonów. Jej objawami jest postępująca maceracja miąższu bulw ziemniaka. Zmacerowana tkanka może stanowić materiał do zakażenia kolejnych bulw. Wśród wielu gatunków będących niebezpiecznymi dla produkcji roślin wyróżnia się *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* (Pcc) jako gatunek z najszerszym zasięgiem występowania i największą liczbą gatunków zakażanych gospodarzy. Duże straty na plantacjach ziemniaków w klimacie umiarkowanym powoduje gatunek *Pectobacterium atrosepticum* (Pba). Objawy chorobowe w regionach tropikalnych i subtropikalnych częściej powodowane są przez *Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasiliense* (Pcbr). Bakterie z rodzaju *Dickeya* początkowo były opisywane jako patogeny roślin ozdobnych regionów subtropikalnych i tropikalnych, jednak od roku 2000 obserwuje się zwiększenie ilości przypadków infekcji na plantacjach europejskich. Do gatunków zakażających ziemniaki w klimacie umiarkowanym zalicza się między innymi: *Dickeya dianthicola*, *Dickeya dadantii*, *Dickeya zea* oraz *Dickeya solani* (Czajkowski i in. 2015).

4. Podsumowanie

Celem współczesnej nauki z zakresu patologii roślin jest poznanie mechanizmów i przyczyn chorób roślinnych. Głęboka wiedza na temat czynników powodujących infekcje oraz świadome użytkowanie tej wiedzy pozwolą w przyszłości na zredukowanie występowania chorób roślin (Smith i in. 2009).

Najważniejsze w ochronie przed fitopatogenami jest zapobieganie introdukcji patogenu do nowego środowiska poprzez kwarantannę terenów skażonych oraz certyfikację materiału siewnego. W przypadku, kiedy już nastąpiło wprowadzenie fitopatogenu do środowiska należy przestrzegać protokołów ustalonych prawnie na terenie kraju (ustawowe zwalczanie zakażeń) oraz wspomóc rośliny w zwalczaniu patogenu. Natychmiast po zbiorach należy zaościć resztki pożywnie, eliminować chwasty będące gospodarzem pośrednim oraz rośliny rosnące dziko. Wszystkie objawy patogenicznych chorób są efektem interakcji między organizmem gospodarza, patogenem oraz środowiskiem, w którym się znajdują. Ta interakcja tworzy tzw. „trójkąt choroby”. Choroba nie rozwija się, kiedy któryś z elementów interakcji zostanie usunięty. Wynika z tego, że chorobą można zarządzać wykorzystując trzy strategie: wykluczenie lub zmniejszenie inokulum patogenu, zwiększenie odporności gospodarza lub modyfikację środowiska, aby rozwój infekcji nie był możliwy. W niektórych sytuacjach możliwe jest zmodyfikowanie środowiska w taki sposób, aby było optymalne do wzrostu gospodarza a nieodpowiednie dla rozwoju epidemii. Do takich modyfikacji zalicza się odprowadzenie



nadmiaru wody z gleby, hodowlę roślin w większym rozstawieniu, przycinanie i zmiana czasu sadzenia (Brown i Ogle 1997).

W celach ograniczenia masowych epidemii fitopatogenami wydaje się logicznym zadbanie o większą różnorodność w hodowli roślin. Plantacje produkują głównie rośliny jednego bądź kilku gatunków na dużych powierzchniach, co tworzy niebezpieczeństwo błyskawicznego przenoszenia się infekcji oraz gromadzenia się dużej ilości zakażonych pozostałości po roślinach. Współcześnie większym zainteresowaniem przemysłu cieszą się odmiany mające większy plon niż te o podwyższonej odporności na patogeny. Użycie nadmiernej ilości środków ochrony roślin doprowadza do powstawania patogenów opornych (Brown i Ogle 1997).

5. Literatura

- Brown JF, Ogle HJ (red.) (1997) *Plant Pathogens and Plant Diseases*, Australasian Plant Pathology Society, s. 3-20, DOI: 10.1046/j.1365-3059.1998.0223e.x;
- Czajkowski R, Pérombelon MCM, Jafra S, et al., (2015) Detection, identification and differentiation of *Pectobacterium* and *Dickeya* species causing potato blackleg and tuber soft rot: a review, *Annals of Applied Biology* DOI: 10.1111/aab.12166;
- Dean R, van Kan JAL, Pretorius ZA et al., (2012) The top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 13, 414–430;
- Hull R (2014) *Plant Virology* (Fifth Edition), Elsevier Inc., ISBN: 978-0-12-384871-0;
- Mansfield J, Genin S, Magori S et al. (2012) Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology, *Molecular Plant Pathology*, DOI: 10.1111/J.1364-3703.2012.00804.X;
- Morrone M, Thompson JR, Tepfer M (2008) Twenty years of transgenic plants resistant to Cucumber mosaic virus, *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 21(6):675-84. doi: 10.1094/MPMI-21-6-0675;
- Scholthof KG, Adkins S, Czosnek H, et al. (2011) Top 10 plant viruses in molecular plant pathology, *Molecular Plant Pathology*, 12(9), 938-954, DOI: 10.1111/J.1364-3703.2011.00752.X;
- Smith IM, Dunez J, Phillops DH, et al. (2009) *European Handbook of Plant Diseases.*, Oxford: Blackwell Scientific Publications.

