

MARTA ALEKSANDROWICZ-TRZCIŃSKA, ADAM SZANIAWSKI, JULIO J. DIEZ

Zagrożenie sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce ze strony *Gibberella circinata**Threat to Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Poland from *Gibberella circinata***ABSTRACT**

Aleksandrowicz-Trzcińska M., Szaniawski A., Diez J. J. 2017. Zagrożenie sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce ze strony *Gibberella circinata*. Sylwan 161 (5): 379-384.

Since its initial discovery in 1945, pitch canker caused by *Gibberella circinata* (anamorph *Fusarium circinatum*) has become one of the most important pine diseases in the world. It infests 57 pine species (including *Pinus sylvestris*) and Douglas-fir. *F. circinatum* has been reported in both nurseries and forests on all continents except Australia and Oceania. Both vegetative and reproductive parts of the host plant (i.e. stem, branches, roots, flowers, cones and seeds) can be infected by *F. circinatum*. For mature trees, the main symptoms include bleeding resinous cankers on the stem and branches as well as tree death. In nurseries, *F. circinatum* causes pre- and post-emergence damping off as well as mortality of older seedlings. Dispersal of fungal spores occurs through air, water splash, soil, insect vectors and translocation of the infected plant material. Currently there are no effective means of controlling pitch canker, although there is ongoing research into using chemical, physical and biological methods, quarantine and breeding for resistance to control this disease. The occurrence of the disease depends mainly on the presence and density of the host species, favorable climatic conditions (especially high humidity), presence of suitable vectoring and wounding agents and various stress factors. Taking into account the above-mentioned factors, threat to Scots pine in Poland should be considered marginal, but it cannot be ruled out completely.

KEY WORDS

Fusarium circinatum, invasive alien species, quarantine pests

ADDRESSES

Marta Aleksandrowicz-Trzcińska ⁽¹⁾ – e-mail: marta_aleksandrowicz_trzcinska@sggw.pl

Adam Szaniawski ⁽¹⁾ – e-mail: adamszaniawski89@gmail.com

Julio J. Diez ⁽²⁾ – e-mail: jdcasero@pvs.uva.es

⁽¹⁾ Katedra Ochrony Lasu i Ekologii, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

⁽²⁾ Instituto de Investigación en Manejo Forestal Sostenible, Universidad de Valladolid; Avenida de Madrid 44, 34071 Palencia, Hiszpania

Wstęp

Gibberella circinata Nirenberg & O'Donnell (anamorfa *Fusarium circinatum* Nirenberg & O'Donnell) jest inwazyjnym patogenem grzybowym porażającym 57 gatunków sosen (w tym *Pinus sylvestris* L.) i daglezcę zieloną (*Pseudotsuga menziesii*) [Gibberella... 2005; Wingfield i in. 2008]. Choroba po raz

*Praca w ramach akcji COST FP1406 PINESTRENGTH (Pine pitch canker – strategies for management of *Gibberella circinata* in greenhouses and forests).

pierwszy została stwierdzona w 1945 roku w Północnej Karolinie w USA [Hepting, Roth 1946]. Powstawanie na gałęziach i pniach porażonych drzew raków z obfitymi wyciekami żywicy spowodowało nadanie chorobie nazwy „pitch canker” [Gordon 2011]. Obecnie nie istnieje polska nazwa choroby. W różnych źródłach spotyka się określenia: „zamieranie sosny”, „rak żywiczny sosny” i „rak smołowy sosny”. Gatunek został wpisany na listę agrofagów kwarantannowych EPPO (lista A2, nr 306) w 2002 roku [*Gibberella*... 2005].

Oficjalnie patogen został stwierdzony na wszystkich kontynentach, z wyjątkiem Australii i Oceanii. W Ameryce Północnej występuje w 13 stanach USA i w Meksyku, w Ameryce Środkowej na Haiti, w Ameryce Południowej w Chile, Urugwaju, Kolumbii i Brazylii, w Azji w Iraku, Japonii i Korei. Notowany jest też w Afryce Południowej. Stosunkowo niedawno choroba pojawiła się również w Europie: w Portugalii, Hiszpanii, Francji, Grecji i we Włoszech [Risk... 2010].

Patogen może porażać drzewa we wszystkich klasach wieku, również siewki w szkółkach. Choroba ogranicza przyrost drzew i powoduje spadek jakości drewna, często prowadzi do zamierania (szczególnie sosen w szkółkach, ale również w drzewostanach), obniża plon nasion i ich jakość (szczególnie na plantacjach nasiennych), powodując w efekcie znaczne straty ekonomiczne [Wingfield i in. 2008; Risk... 2010].

Objawy

F. circinatum powoduje przed- i powschodową zgorzel siewek. Okrywy nasienne i kiełki są silnie skolonizowane przez patogen. W szyjce korzeniowej występuje typowy objaw przewężenia [Viljoen i in. 1994]. Na starszych sadzonkach obserwuje się przebarwienia i nekrozy dolnej części strzałki i górnych partii korzenia głównego oraz przebarwienie igieł i zamieranie wierzchołka. Drewno w miejscach porażenia jest ciemno zabarwione i przeżywiczone [Enebak i in. 2012]. *F. circinatum* może występować na sadzonkach w szkółkach jako endofit. W takim przypadku nie obserwuje się żadnych objawów w szkółce, pojawiają się one dopiero po wysadzeniu na uprawie [Viljoen i in. 1994; Enebak i in. 2012].

U starszych drzew objawy choroby można obserwować na pniach, gałęziach, korzeniach, kwiatach, szyszkach i nasionach [Garbelotto i in. 2007; Wingfield i in. 2008]. Zwykle pierwszym objawem możliwym do zaobserwowania na porażonym przez *F. circinatum* drzewie jest przebarwienie się i opadanie igieł, będące efektem zamierania pędów. Zamieranie zwykle postępuje od wierzchołka do miejsca infekcji i jest powodowane ograniczeniem dopływu wody wynikającym z rozwoju w miejscu infekcji raka [Wingfield i in. 2008]. Zmiany rakowe są płaskie lub lekko zapadnięte i mogą obejmować czasami duże powierzchnie. W ich obrębie można obserwować nekrozy, tkanki są przeżywiczone, a żywica wypływa również na zewnątrz. Grzyb zasiedla łyko, kambium i drewno [Risk... 2010]. Infekcje mogą występować w dowolnym miejscu na pędach, chociaż tegoroczne, niezdrewniałe odcinki pędów są z reguły porażane intensywniej niż tkanki zdrewniałe [Gordon i in. 2001]. Ekstensywny wyciek żywicy z reguły ma miejsce przy porażeniu grubych gałęzi i pnia [Risk... 2010]. *F. circinatum* może również infekować szyję korzeniową i korzenie, powodując, podobnie jak na pędach, ciemne przebarwienie tkanek i przeżywienie drewna [Garbelotto i in. 2007].

Infekcja *F. circinatum* może dotyczyć kwiatów, co wiąże się z ich zamieraniem. Porażenie szyszek powoduje, że są one mniejsze, zniekształcone i opadają przed osiągnięciem dojrzałości [Correll i in. 1991]. Nasiona mogą być zasiedlone przez patogen wewnątrz i zewnątrz. Obecność patogenu w nasionach stwierdza się tylko w przypadku pozyskania ich z porażonych drzew. Przenoszenie zarodników z prądami powietrza z porażonych drzew jest źródłem infekcji zewnętrznej nasion drzew zdrowych [Gordon 2011].

Biologia i ekologia

G. circinata jest workowcem (*Fungi, Ascomycota, Pezizomycotina, Sordariomycetes, Hypocreomycetidae, Hypocreales, Nectriaceae, Gibberella*), który pierwotnie został opisany jako gatunek anamorficzny *F. circinatum*. W naturze rozmnaża się wyłącznie bezpłciowo, tworząc na porażonych tkankach dwa rodzaje zarodników: makro- i mikrokonidia. W warunkach laboratoryjnych *G. circinata* tworzy perytecja zawierające zarodniki workowe. Dotychczas jednak nie stwierdzono w naturze zarodnikowania płciowego [Risk... 2010]. Inokulum jest dostępne w ciągu całego roku, chociaż np. w USA więcej występuje go w miesiącach jesienno-zimowych [Kratka i in. 1979]. Zarodniki w tym okresie charakteryzują się również dłuższą przeżywalnością w porównaniu z okresem wiosenno-letnim [Blakeslee i in. 1978]. Sporodochia zawierające makrokonidia występują na zainfekowanych gałęziach oraz na martwych igłach pozostających na drzewach. Po opadnięciu igieł ściółka stanowi istotne źródło inokulum [Barrows-Broadus, Dwinell 1984].

Konidia kiełkują w szerokim zakresie temperatury: bardzo wolno w 5°C i progresywnie szybciej, aż do optimum mieszczącego się w przedziale 20-25°C. Grzybnia rośnie dobrze już w temperaturze 10°C, z optimum w około 25°C [Inman i in. 2008].

Patogen może być rozprzestrzeniany wraz z zainfekowanym materiałem roślinnym: nasionami, siewkami, zrzesami i drewnem oraz przez zarodniki konidialne. Zarodniki przenoszone są z prądami powietrza, z wodą, glebą oraz przez wektory – głównie owady będące szkodnikami sosny, ale również ptaki i ssaki [Risk... 2010; Gordon 2011].

Źródłem infekcji w szkółce mogą być zainfekowane nasiona, gleba lub zarodniki przeniesione z sąsiadujących porażonych drzewostanów z prądami powietrza lub przez owady [Enebak i in. 2012]. W starszych drzewostanach *F. circinatum* jest najczęściej patogenem ranowym [Wingfield i in. 2008].

Owady uważane są za najważniejszy czynnik wpływający na rozprzestrzenianie się choroby, jako sprawcy zranień i wektory przenoszące inokulum (zarodniki konidialne i strzępki grzybni) z drzew porażonych na zdrowe [Brockerhoff i in. 2016]. Zespół owadów związanych z rozprzestrzenianiem się choroby może różnić się ze względu na gatunek sosny i warunki środowiska występujące na poszczególnych kontynentach czy też w różnych krajach [Wingfield i in. 2008]. Liczba gatunków owadów związanych z rozprzestrzenianiem choroby jest bardzo duża. Brockerhoff i in. [2016] podają, że w Ameryce Północnej jest to 1100 gatunków. Wśród gatunków owadów wymienianych najczęściej jako wektory *F. circinatum* znajdują się: chrząszcze żerujące w koronach drzew na gałęziach i szyszkach – smoliki (*Pissodes* spp.), bruzdkowce (*Pityophthorus* spp.), stukacze (*Ernobius* spp.) oraz gatunki z rodzaju *Conophthorus*, foliofagi – igłówki (*Contarinia* spp.), a także zwójki (*Rhyacionia* spp.), zakorki (*Hylastes* spp.) i korniki (*Ips* spp.) związane z sosną [Risk... 2010; Gordon 2011; Brockerhoff i in. 2016].

Najważniejszymi czynnikami decydującymi o przebiegu infekcji i rozwoju choroby są temperatura i wilgotność. Grzyb jest w stanie przeżyć w bardzo szerokim zakresie temperatury: od -70°C do +50°C [Leslie i in. 2006; Liao i in. 2008]. Optymalna temperatura zarówno do kiełkowania zarodników, jak i rozwoju grzybni wynosi 25°C [Inman i in. 2008]. Temperatura jednak, w przeciwieństwie do wilgotności, ma wpływ jedynie na rozmiar porażenia drzew i drzewostanów. Gdy wilgotność jest niewystarczająca, nawet w optymalnej temperaturze nie dochodzi do infekcji. Stąd choroba występuje epifityzycznie głównie w regionach nadmorskich, gdzie pojawiająca się często i w długich okresach mgła zapewnia dogodne warunki do kiełkowania zarodników i rozwoju grzybni [Wingfield i in. 2008].

Rozwojowi choroby sprzyja wysoka zawartość substancji pokarmowych zarówno w glebie, jak i aparacie asymilacyjnym oraz wszelkiego rodzaju stresy, jak susza, nadmiar wody czy zanieczyszczenia powietrza [Dwinell i in. 1985; Lopez-Zamora 2007].

Sposoby ograniczania choroby

Do chwili obecnej nie opracowano skutecznej metody ochrony sosny przed *F. circinatum* [Martínez-Álvarez i in. 2016]. Są prowadzone szeroko zakrojone badania z zastosowaniem metod: kwarantanny, hodowli odpornościowej, chemicznej, fizycznej i biologicznej.

Kwarantanna jest jedyną skuteczną metodą zapobiegania rozprzestrzenieniu się choroby na obszary, na których dotychczas nie występowała, oraz przeciwdziałaniu powstawania nowych szczepów *F. circinatum* na terenach, gdzie patogen jest już obecny [Wingfield i in. 2008].

Duże nadzieje wiąże się z wyhodowaniem odmian sosen odpornych na chorobę. Tym bardziej że obserwuje się znaczne zróżnicowanie w naturalnej odporności różnych gatunków sosen w drzewostanach już porażonych [Roux i in. 2007].

Stosowanie metody chemicznej zalecane jest w szkółkach. Polega ona na dezynfekcji gleby, zaprawianiu nasion oraz opryskiwaniu siewek i sadzonek [Enebak 2012]. Skutecznym środkiem do dezynfekcji gleby jest dazomet. Jego zaletą jest selektywność działania w stosunku do bakterii glebowych [Gordon 2011]. Zaprawianie materiału siewnego jest zabiegiem bardziej skutecznym w odniesieniu do nasion porażonych zewnętrznie (czyli pochodzących ze zdrowych drzew z terenów, na których choroba występuje) w porównaniu z nasionami porażonymi wewnętrznie. Problemem jest również ograniczona liczba fungicydów dopuszczonych do stosowania w szkółkach leśnych. Thiabendazol zawieszony w 10-procentowym dimetylosulfotlenku okazał się skuteczny w eliminowaniu patogenu z powierzchni okryw nasiennych [Runion, Bruck 1988]. Częściową redukcję osiągnięto również w wyniku aplikacji podchlorynu sodu, nadtlenu sodu i etanolu [Wingfield i in. 2008]. Dotychczasowe wyniki badań nie pozwalają na wskazanie skutecznego środka eliminującego patogen z wnętrza nasienia [Storer i in. 1998]. Zabiegi opryskiwania fungicydami zawierającymi thiabendazol i jego pochodne oraz benomyl dały zróżnicowane wyniki. Ponadto wysokie ryzyko wystąpienia odporności patogenu na te substancje czynne powoduje, że nie mogą być one rekomendowane w ochronie sosen w szkółkach przed *F. circinatum* [Wingfield i in. 2008].

Alternatywą dla zabiegów chemicznych może być traktowanie nasion gorącą wodą. Badania wskazują, że zabieg taki istotnie ogranicza występowanie *F. circinatum* na ich powierzchni. Zakres skutecznej temperatury i czas trwania zabiegu wskazywany przez poszczególnych autorów jest różny: od 60°C przez 2 minuty lub 55,5°C przez 90 sekund (w kuchence mikrofalowej) do 51-52°C przez 30 minut [Augustí-Brisach i in. 2012].

Próby wykorzystania bakterii (*Arthrobacter* spp.) i grzybów (*Trichoderma* spp.) w ograniczaniu porażenia sosny przez *F. circinatum* nie przyniosły oczekiwanych efektów [Barrows-Broadus, Dwinell 1985; Mitchell i in. 2004]. Obiecujące wyniki uzyskano w badaniach grzybów endofitycznych. Z 546 testowanych izolatów 138 charakteryzowało się antagonistyczną aktywnością w stosunku do *F. circinatum*. Dwa wybrane szczepy: *Chaetomium aureum* i *Alternaria* sp. okazały się skuteczne w ograniczaniu choroby w warunkach polowych [Martínez-Álvarez i in. 2016].

Możliwości przedostania się patogenu do Polski i rozwoju choroby

Istnieje szereg dróg, którymi *F. circinatum* może zostać zawleczony do Polski [Risk... 2010]. Pierwsza z możliwości to przedostanie się wraz z materiałem roślinnym takim jak nasiona, sadzonki czy zręzy. Jak dotychczas jest to najczęstsza droga rozprzestrzeniania się patogenu na duże odle-

głości (np. między kontynentami). Dodatkowo sprzyjać może jej utajona infekcja sadzonek czy też wewnętrzne zainfekowanie nasion, uniemożliwiające przy dzisiejszym stanie wiedzy ich dezynfekcję [Gordon 2011]. Patogen może również przedostać się wraz z zainfekowanym drewnem. Jest on w stanie przeżyć co najmniej 18 miesięcy w drewnie okrągłym, gałęziach (wykazujących objawy porażenia lub ich niewykazujących) i opakowaniach drewnianych. W takim przypadku źródłem infekcji mogą być trociny lub kora używane jako substrat szkółkarski. Badania Gordona i in. [2000] wykazały, że wyeliminowanie patogenu z rozdrobnionego drewna lub kory jest możliwe dzięki co najmniej 10-dniowej ekspozycji na temperaturę 50-55°C [Risk... 2010]. Patogen może zostać przeniesiony również z materiałem roślinnym przeznaczonym do celów dekoracyjnych, takim jak choinki, stroisz, szyszki, lub z zainfekowaną glebą. *F. circinatum* jest w stanie przeżyć w wilgotnej glebie około 6 miesięcy, w glebie suchej do 1 roku, ale w warunkach chłodniczych dłużej niż 3 lata [Barrows-Broadbudd, Kerr 1981; Wingfield i in. 2008]. Choroba może być też przeniesiona przez ludzi: turystów lub osoby pracujące w lesie [Risk... 2010].

Możliwość wystąpienia choroby w danym kraju jest zależna przede wszystkim od obecności i udziału roślin gospodarzy, czyli różnych gatunków sosny. Przy takim kryterium zagrożenie lasów w Polsce wystąpieniem *F. circinatum* jest bardzo wysokie [Risk... 2010]. Drugą grupą czynników są te związane z klimatem. W celu oceny ryzyka wystąpienia choroby w poszczególnych krajach na różnych kontynentach użyto modelu CLIMEX. Analizuje on dane dotyczące miejsc, gdzie choroba występuje obecnie, oraz dane odnoszące się do temperatury powietrza, wilgotności gleby, stresu związanego z wysoką i niską temperaturą, a także suszą i nadmierną wilgotnością. Model ten wskazuje Polskę jako obszar o klimacie niesprzyjającym wystąpieniu choroby [Ganley i in. 2009]. Należy jednak zaznaczyć, że model zakwalifikował klimat w Kalifornii, gdzie choroba występuje epifitozyjnie, jako marginalnie odpowiedni do rozwoju choroby [Risk... 2010]. Zagrożenie sosny w Polsce ze strony *F. circinatum* przy obecnych warunkach klimatycznych jest więc minimalne, nie można go jednak całkowicie wykluczyć.

Podsumowanie

Gibberella circinata, gatunek występujący w naturze w stadium anamorficznym *Fusarium circinatum*, jest czynnikiem sprawczym jednej z najgroźniejszych chorób sosen na świecie. Wystąpienie choroby zależy głównie od: obecności i udziału gospodarza – sosny, sprzyjających patogenowi warunków klimatycznych, przede wszystkim wysokiej wilgotności, obecności wektorów – głównie owadów oraz czynników powodujących zranienia drzew i innych czynników stresowych. Biorąc pod uwagę powyższe czynniki, decydujące o wystąpieniu choroby, zagrożenie sosny w Polsce należy uznać za niewielkie, nie można go jednak całkowicie wykluczyć.

Literatura

- Augustí-Brisach C., Pérez-Sierra A., Armengol J., Gracia-Jiménez J., Berbegal M. 2012. Efficacy of hot water treatment to reduce the incidence of *Fusarium circinatum* on *Pinus radiata* seeds. *Forestry* 85: 629-635.
- Barrows-Broadbudd J., Dwinell L. D. 1984. Variation in susceptibility to the pitch canker fungus among half-sib families of Virginia pine. *Phytopathology* 74: 438-444.
- Barrows-Broadbudd J., Dwinell L. D. 1985. Evaluation of *Arthrobacter* sp. for control of pitch canker fungus (*Fusarium moniliforme* var. *subglutinans*) on slash pines. *Canadian Journal of Microbiology* 31: 888-892.
- Barrows-Broadbudd J., Kerr T. J. 1981. Inhibition of *Fusarium moniliforme* var. *subglutinans*, the causal agent of pine pitch canker, by the soil bacterium *Arthrobacter* sp. *Canadian Journal of Microbiology* 27: 20-27.
- Blakeslee G. M., Oak S. W., Gregory W., Moses C. S. 1978. Natural associations of *Fusarium moniliforme* var. *subglutinans* with *Pissodes nemorensis*. *Phytopathology News* 12: 208.
- Brockerhoff E. G., Dick M., Ganley R., Roques A., Srorer A. J. 2016. Role of insect vectors in epidemiology and invasion risk of *Fusarium circinatum*, and risk assessment of biological control of invasive *Pinus contorta*. *Biological Invasions* 18: 1177-1190.

- Correll J. C., Gordon T. R., McCain A. H., Fox J. W., Kochler C. S., Wood D. L., Schultz M. E. 1991. Pitch canker disease in California: pathogenicity, distribution, and canker development on Monterey pine (*Pinus radiata*). *Plant Disease* 75: 676-682.
- Dwinell L. D., Barrows-Broadus J., Kuhlman E. G. 1985. Pitch canker: a disease complex of southern pines. *Plant Disease* 69: 270-276.
- Enebak S. A., Starkey T., Gordon T. 2012. Pitch canker of pines. W: Cram M. M., Frank M. S., Mallams K. M. [red.]. *Forest nursery pests*. USDA Forest Service Agriculture Handbook 680: 60-63.
- European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO). 2009. Diagnostic protocol for *Gibberella circinata*. OEPP/EPPO Bull. 39: 298-309.
- Ganley R. J., Watt M. S., Manning L., Iturrirxa E. 2009. A global climatic risk assessment of pitch canker disease. *Canadian Journal of Forest Research* 39: 2246-2256.
- Garbelotto M., Schweigkofler W., Shaw D. 2007. First report of *Fusarium circinatum*, causal agent of pitch canker disease, from the roots of mature Aleppo pines in California. *Plant Health Progress* 1-2.
- Gibberella circinata*. 2005. Bulletin OEPP/EPPO 35: 383-386.
- Gordon T. R. 2011. Biology and management of *Gibberella circinata*, the cause of pitch canker in pines. W: Alves-Santos F. M., Diez J. J. [red.]. *Control of Fusarium diseases*. Research Signpost, Kerala, India. 195-207.
- Gordon T. R., Storer A. J., Wood D. L. 2001. The pitch canker epidemic in California. *Plant Disease* 85: 1128-1139.
- Gordon T. R., Wood D. L., Storer A. J. 2000. Survival of *Fusarium circinatum* and its insect vectors in recently cut pitch canker infected trees. Final report to California Department of Forestry, June 2000.
- Hepting G. H., Roth E. R. 1946. Pitch canker, a new disease of some southern pines. *Journal of Forestry* 44 (10): 742-744.
- Inman A. R., Kirkpatrick S. C., Gordon T. R., Shaw A. V. 2008. Limiting effects of low temperature on growth and spore germination in *Gibberella circinata*, the cause of pitch canker in pine species. *Plant Disease* 92: 542-545.
- Kratka S. H., Blakeslee G. M., Dorset R. D., Oak S. W. 1979. Seasonal development of sporodochia of the pitch canker fungus, *Fusarium moniliforme* var. *subglutinans*, on diseased slash pines in Florida. *Phytopathology* 69: 1034-1035.
- Leslie J. F., Summerell B. A., Bullock S. 2006. *The Fusarium laboratory manual*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford.
- Liao T., Ye J., Chen J., Han Y., Wu C., An Y. 2008. Biological characteristics of *Fusarium circinatum*. *Journal of Nanjing Forestry University, Natural Sciences Edition* 32: 83-86.
- Lopez-Zamora I., Bliss C., Jokela E. J., Comerford N. B., Grunwald S., Barnard E. L., Vasquez G. M. 2007. Spatial relationships between nitrogen status and pitch canker in slash pine planted adjacent to a poultry operation. *Environmental Pollution* 147: 101-111.
- Martínez-Álvarez P., Fernández-González R. A., Sanz-Ros A. V., Pando V., Diez J. J. 2016. Two fungal endophytes reduce the severity of pitch canker disease in *Pinus radiata* seedlings. *Biological Control* 94: 1-10.
- Mitchell R. G., Zwolinski J. J., Jones J., Coutinho T. A. 2004. The effects of applying prophylactic measures on the post-planting survival of *Pinus patula* in South Africa. *Southern African Forestry Journal* 200: 51-58.
- Risk assessment of *Gibberella circinata* for the EU territory and identification and evaluation of risk management options. 2010. *EFSA Journal* 8 (6): 1620.
- Roux J., Eisenberg B., Kanzler A., Nel A., Coetzee V., Kietzka E., Wingfield M. J. 2007. Testing of selected South African *Pinus* hybrids and families for tolerance to the pitch canker pathogen, *Fusarium circinatum*. *New Forests* 33: 109-123.
- Runion G. B., Bruck R. I. 1988. Effects of thiabendazole-DMSO treatment of longleaf pine seed contaminated with *Fusarium subglutinans* on germination and seedling survival. *Plant Disease* 72: 872-874.
- Storer A. J., Gordon T. R., Clark S. L. 1998. Association of the pitch canker fungus, *Fusarium subglutinans* f. sp. *pini* with Monterey pine seeds, and seedlings in California. *Plant Pathology* 47: 649-656.
- Viljoen A., Wingfield M. J., Marasas W. F. O. 1994. First report of *Fusarium subglutinans* f. sp. *pini* on seedlings in South Africa. *Plant Disease* 78: 309-312.
- Wingfield M. J., Hammerbacher A., Ganley R. J., Steenkamp E. T., Gorgon T. T., Wingfield B. D., Coutinho T. A. 2008. Pitch canker caused by *Fusarium circinatum* – a growing threat to pine plantations and forest worldwide. *Australasian Plant Pathology* 37: 319-334.