

DONATA KOSICKA, AGNIESZKA WOLNA-MARUWKA, MARTA TRZECIAK

Katedra Mikrobiologii Ogólnej i Środowiskowej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Szydlowska 50, 60-656 Poznań
e-mail: dkosicka@gmail.com
amaruwka@up.poznan.pl
mt.marta.trzeciak@gmail.com

ASPEKTY STOSOWANIA *TRICHODERMA* SP. W OCHRONIE ROŚLIN I ROZKŁADZIE MATERII ORGANICZNEJ

CHARAKTERYSTYKA I WŁAŚCIWOŚCI *TRICHODERMA* SP.

Dynamiczny rozwój rolnictwa oraz zaostrożenia prawne dotyczące ochrony roślin zmuszają do doskonalenia badań nad biologicznymi metodami ochrony roślin, które znajdują oparcie w zjawiskach naturalnie występujących w przyrodzie (KANCELISTA i współaut. 2009). W wyniku przeprowadzenia licznych badań opracowano szereg komercyjnych biopreparatów, zawierających w swoim składzie szczepy *Trichoderma*, które skutecznie ograniczają rozwój patogenów glebowych powodujących rozwój chorób roślin. Biopreparaty takie można stosować w uprawach polowych, jak i pod osłonami (BUTT i COPPING 2000, ELAD 2000, PIETR 2000). Biopreparaty zawierające w swoim składzie szczepy *Trichoderma* sp. znajdują zastosowanie w zaprawianiu nasion, bulw lub cebul, indukowaniu odporności roślin przez opryskiwanie ich części nadziemnych (PIĘTA 1997).

Do literatury mikologicznej nazwa rodzajowa *Trichoderma* została wprowadzona w 1794 r. przez Persoon (SAMUELS 1996). Grzyby te należą do królestwa Fungi, typu Ascomycota, klasy Sordariomycetes, rzędu Hypocreales, rodziny Hypocraceae. Występują zarówno w stadiach konidialnych (niedoskonałych), w których nie są zdolne do rozmnażania płciowego, jak również w stadiach doskonałych *Hypocrea*, w których dochodzi do rozmnażania płciowego. Kielkujące zarod-

niki lub chlamydospory zwykle rozpoczynają rozwój tworząc proste lub rozgałęzione konidiofory, na których zarodniki konidialne przyjmują kształt kulisty lub elipsoidalny. Ich zarodnikowanie jest determinowane dostępnością składników odżywczych, dostępnością światła, temperaturą oraz konkurencją ze strony innych mikroorganizmów (PAPAVIZAS 1985, KREDICS i współaut. 2003).

W Polsce zostało zidentyfikowanych około 20 gatunków grzybów *Trichoderma* (WOJTKOWIAK-GĘBAROWSKA 2006). Cechą charakterystyczną każdego gatunku jest sposób rozmieszczenia fiald, cechy zarodników (fialospor) oraz system rozgałęzień konidioforów. Na podstawie różnic morfologicznych między poszczególnymi gatunkami wyróżnia się np.: *T. harzianum*, *T. atroviride*, *T. hamatum*, *T. viride*, *T. aureoviridae* czy *T. pseudokoningii*. RAFAI (1969) wykazuje, że cechą charakterystyczną *Trichoderma* sp. są okrągłe strefy konidialne, formowane przez kolonie grzybów, zbudowane z pęczków konidioforów, które mogą być zbite lub luźne, cała powierzchnia kolonii wydaje się być zaś „watowata”. Kolor konidii jest zróżnicowany i zależy od gatunku: od białzielonego do ciemnozielonego. Cechą charakterystyczną niektórych kolonii gatunków *Trichoderma* jest zapach orzechów kokosowych (*T. atroviride*). Jednym z czynników mających zasadniczy wpływ na rozwój *Trichoderma* sp.

jest stosunek C:N (SIEROTA 1995). STRZELCZYK (1988) dowodzi, że zbyt niski stosunek C:N przyczynia się do zaniku oddziaływań konkurencyjnych zachodzących między *Trichoderma* sp. a grzybami odpowiedzialnymi za wiele chorób roślin. Z badań przeprowadzonych przez TANAKA i współaut. (1998) wynika, że gleby bardziej zasobne w węgiel i fosfor posiadają korzystniejszy stosunek C:N, który pozytywnie wpływa na wzrost i rozwój grzybów, wykazujących działanie antagonistyczne w stosunku do patogenów roślinnych, w tym grzybów z rodzaju *Trichoderma*.

Skład gatunkowy *Trichoderma* sp. w danym środowisku, oprócz stosunku C:N, uzależniony jest od czynników fizykochemicznych i biologicznych (KREDICS i współaut. 2003). Do czynników abiotycznych zaliczyć należy: wilgotność, pH gleby oraz temperaturę, a do czynników biotycznych, wzajemne oddziaływanie między mikroorganizmami. W rozwoju grzybów patogennych, jak również antagonistów, ważną rolę odgrywa temperatura, która determinuje rodzaj aktywności grzyba (ORLIKOWSKI i SKRZYPCZAK 1995, HANUSCH i BOLAND 1996, MAŃKA i KACPRZAK 1997). Według KREDICS i współaut. (2003) oraz PAPAVIZAS (1985) w niesprzyjających warunkach środowiska, np. w zbyt wysokiej temperaturze, zarodniki konidialne *Trichoderma* sp., ze względu na cienkie ściany, mogą obumierać. Przeżycie grzybów jest jednakże możliwe dzięki tworzeniu chlamydospor o grubych ścianach komórkowych (*T. virens*, *T. hamatum*, *T. viride*, *T. harzianum*). W przeciwieństwie do patogenów roślinnych, zarodniki *Trichoderma* są mało wrażliwe na ciepło (PAPAVIZAS 1985, KREDICS i współaut. 2003), co zwiększa ich szanse na przetrwanie podczas zabiegów termicznych gleby. Optimum temperaturowe dla wzrostu i rozwoju tych grzybów wynosi ok. 25°C i dlatego zalicza się je do organizmów mezofilnych. Antagonistyczny wpływ *Trichoderma* na inne mikroorganizmy zależy również od czynników, do których należą między innymi zasolenie, promieniowanie słoneczne, rodzaj gleby lub podłoża oraz czynniki biotyczne, a więc obecność w glebie pasożytów, drapież-

ników, jak również rodzaj rośliny. Kolonie grzybów charakteryzuje bardzo szybki wzrost przy pH podłoża wynoszącym 5–5,5. Grzyby *Trichoderma* łatwo ulegają rozkładowi na światło, co jest warunkowane wrażliwością na promieniowanie UV (PAPAVIZAS 1985, KREDICS i współaut. 2003). *Trichoderma* jest organizmem tlenowym i dlatego dobrze rozwija się w powierzchniowych warstwach gleby. Zdaniem DAS i współaut. (2008) innym ważnym czynnikiem warunkującym prawidłowy rozwój *Trichoderma* jest odpowiednia wilgotność środowiska. Przy wilgotności około 80% wykazują one największą aktywność metaboliczną. Według BENITEZ i współaut. (2004), również obecność CO₂ oraz podłoże alkaliczne korzystnie wpływają na ich rozwój. Autorzy ci wykazali ponadto, że szybsze zarodnikowanie *Trichoderma* następuje przy zwiększonym dostępie światła widzialnego. Ponadto, omawiane mikroorganizmy szybciej kolonizują podłoża, które uprzednio poddano dezynfekcji chemicznej lub termicznej. Liczne badania przeprowadzone przez LANZUISE i współaut. (2002) wykazały, że grzyby z rodzaju *Trichoderma* są odporne na antybiotyki, fitoaleksyny terpenoidowe, peroksydazy, fungicydy oraz metale ciężkie. Z doświadczeń RUDAWSKIEJ i współaut. (1991) wynika, że mają one dużą aktywność antagonistyczną w stosunku do patogenów roślinnych oraz zdolność do wytwarzania antybiotyków, co odgrywa istotną rolę w zjawisku mikopasożytnictwa. Według wymienionych autorów za hamowanie wzrostu roślinnych patogenów odpowiadają antybiotyki lotne i nietlotne, których produkcja uzależniona jest nie tylko od gatunku mikroorganizmów, ale również szczepu. WOJTKOWIAK-GĘBAROWSKA (2006) wykazuje, że *Trichoderma* produkuje antybiotyki, do których należą: peptaibole, seskwiterpenoidy, izonitryle, poliektydy, metabolity z grupą izocjanidową oraz alkile pyronowe. Z badań WILIAMSZA (1982) wynika jednak, że antybiotyki wytwarzane przez *Trichoderma* w warunkach *in vitro* są często ujemnie skorelowane z możliwością ochrony roślin w warunkach *in vivo*.

ZDOLNOŚĆ GRZYBÓW Z RODZAJU *TRICHODERMA* DO BIODegradacji MATERII

Obecnie, w krajach rozwiniętych i rozwijających się generowane są duże ilości odpadów. Bezpieczne ich usuwanie, jak i właściwe zarządzanie nimi stało się złożonym

problemem, który może mieć bezpośredni wpływ na środowisko. Prowadzone badania nad szczepami *Trichoderma* wykazały, że produkują one enzymy, takie jak: proteazy,

fosfatazy, celulazy, ksylanazy, lipazy oraz amylazy, i dlatego znalazły zastosowanie jako preparaty mikrobiologiczne, których działanie ma na celu optymalizację procesu kompostowania (BENITEZ i współaut. 2004). Warunkiem prawidłowego przebiegu tego procesu jest stworzenie odpowiednich warunków fizyko-chemicznych. Temperatura w kolejnych fazach kompostowania decyduje, zdaniem BŁASZCZYK (2010), o sukcesji różnych populacji mikroorganizmów, w tym *Trichoderma* sp. Badania przeprowadzone przez CZEKAŁĘ i współaut. (2010) wykazały, że wzrost temperatury oraz wartości pH w trakcie kompostowania odpadów powoduje zmniejszenie ilości grzybów mezofilnych. Bardzo istotny jest moment wprowadzenia preparatu mikrobiologicznego do kompostowanej masy, bowiem wahania temperatur w trakcie tego procesu wywierają duży wpływ na aktywność biologiczną mikroorganizmów. Wysoka wartość temperatury w fazie termofilnej procesu kompostowania przyczynia się do zmniejszenia liczebności mikroorganizmów patogennych, ale również do niszczenia pożytecznej mikroflory, która odpowiada za prawidłowy przebieg tego procesu (STACHOWIAK i współaut. 2006). Badania HOINTINKA i współaut. (1997) wykazują jednak, że po ustaniu fazy termofilnej kompostowana masa powtórnie zasiedlana jest przez mikroorganizmy mezofile, które przyczyniają się do spowolnienia lub zahamowania rozwoju patogenów. Doświadczenia przeprowadzone przez STACHOWIAK i współaut. (2006) wskazały, że najbardziej odpowiednim okresem dla wprowadzenia preparatów mikrobiologicznych, zawierających w swoim składzie pożyteczne drobnoustroje, jest moment po ustaniu fazy termofilnej.

Obecnie, procesowi kompostowania, obok odpadów pochodzenia roślinnego, poddawane są również odpady z przemysłu mięsnego i drobiowego, przykładowo szczecina świńska, która generowana jest rocznie w ilości milionów ton. Duży problem z jej zagospodarowaniem wynika, zdaniem BRANDELLI (2008), z obecności białka włókienkowego z rodziny keratyn, nadającego szczecinie mechaniczną wytrzymałość oraz odporność na działanie enzymów proteolitycznych oraz czynników fizycznych i chemicznych. Keratyny szczeciny, włosów oraz wełny charakteryzują się strukturą alfa, a co za tym idzie, są bardziej odporne na biodegradację, niż keratyny piór (CHOIŃSKA i współaut. 2012). Alternatywną formą ich przetwarzania jest

kompostowanie po wcześniejszym rozdrobnieniu materiału i zmieszaniu z dodatkową masą kompostową w postaci np.: wiórków drzewnych, kurzeńca, słomy. Zdaniem CYBULSKIEGO i współaut. (2012) ważny jest również dobór drobnoustrojów o właściwościach keratynolitycznych, do których zalicza się, obok bakterii, promieniowców, grzyby strzępkowe z rodzaju *Trichoderma*. Zaszczepienie kompostu preparatem mikrobiologicznym zawierającym w swoim składzie drobnoustroje o właściwościach keratynolitycznych (np.: *Trichoderma* sp., *Bacillus* sp., *Streptomyces* sp.) prowadzi do zwiększenia efektywności procesu kompostowania szczeciny świńskiej oraz piór, w porównaniu do kompostu niezaszczepionego. Z badań przeprowadzonych przez CHOIŃSKĄ i współaut. (2012) wynika, że zaindukowanie kompostowanego materiału pochodzenia zwierzęcego szczepionką wieloorganizmową, w skład której wchodzi również izolaty *Trichoderma*, przyczynia się do zapoczątkowania rozkładu głównego składnika budulcowego szczeciny, jakim jest keratyna. Biologiczne zagospodarowanie odpadów keratynowych jest jednym z najbardziej perspektywicznych kierunków ich przetwarzania, mimo że w Polsce w taki sposób utylizuje się zaledwie kilka procent odpadów organicznych (LUPA 2010).

BARI i współaut. (2007) udowodnili, że *T. harzianum* jest mikroorganizmem najliczniejszym i najbardziej efektywnym w degradacji materii organicznej poddanej procesowi kompostowania. Obecność jej w kompostowanej masie powoduje duży i stosunkowo szybki ubytek biomasy. Jak podają OKOTH i współaut. (2007), liczebność grzybów *Trichoderma* maleje wraz ze wzrostem ilości substancji nieorganicznej w kompostowanych odpadach, a dostępność materii organicznej determinuje zagęszczenie omawianych drobnoustrojów. Autorzy stosując w swoich doświadczeniach dodatkowe źródło materii organicznej wykazali zwiększenie liczebności *T. surrotunda* oraz wzrost liczebności szczepów *T. harzianum* i *T. koningii*.

W kompostowanej masie występować mogą zdaniem niektórych autorów czynniki biotyczne, które ograniczają rozwój *Trichoderma*. Według CHEŁKOWSKIEGO (1985) grzyby z rodzaju *Penicillium* produkują mikotoksyny, a także antybiotyki wykazujące antagonistyczne oddziaływanie w stosunku do grzybów z rodzaju *Trichoderma*. AGARWAL i współaut. (2011) w swoich badaniach zaob-

serwowali z kolei, że szczepy *T. harzianum* redukowały wzrost *Penicillium* o 76,31%.

Obecnie prowadzone są również badania dotyczące zastosowania *Trichoderma* w produkcji bioetanolu. Metody biotechnologiczne bazujące na enzymach pochodzenia mikrobiologicznego wykorzystują mikroorganizmy, m. in. *Trichoderma*, do degradacji trudno rozkładalnego surowca roślinnego, jakim jest ligninoceluloza. Według PALOEN (2004) oraz SANCHEZ (2009) bakterie *Cellulomonas*, *Bacillus polomyxa* oraz grzyby strzępkowe, takie jak *Trichoderma* czy *Aspergillus*, są głównymi mikroorganizmami syntetyzującymi celulazę, biorącymi udział w procesie hydrolizy materii organicznej podczas produkcji biogazu. Również zdaniem KŁOSOWSKIEGO i współaut. (2010), do produkcji bioetanolu wykorzystuje się enzymy z grupy celulaz uzyskiwane ze szczepów *Trichoderma reesei*, które charakteryzuje wysoka skuteczność i wydajność.

Jak wykazali PALOEN (2004) oraz SANCHEZ (2009) grzyby z rodzaju *Trichoderma* znajdują zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, m.in. obok produkcji bioetanolu, w przemyśle paszowym, spożywczym, winiarskim, piwowarskim, papierniczym, tekstylnym. Produkcja bioetanolu przy udziale *Trichoderma* może mieć korzystny wpływ na zahamowanie gwałtownego wzrostu cen paliw (CALVALHEIRO i współaut. 2008). Ponadto, bioetanol emituje mniejsze ilości CO₂ do środowiska, w stosunku do paliw konwencjonalnych, co stwarza ogromne perspektywy w ochronie środowiska. Biogaz pozyskiwany z beztlenowej fermentacji przeciwdziała zmianom klimatycznym oraz jest alternatywą dla wykorzystania odpadów pochodzenia rolniczego. Masa pofermentacyjna może być ponadto cennym źródłem nawozu dla rolnictwa (CURIKOWSKI i współaut. 2009).

WŁAŚCIWOŚCI FITOSANITARNE GRZYBÓW Z RODZAJU *TRICHODERMA* W OCHRONIE I STYMULACJI ROZWOJU ROŚLIN

W krajach Unii Europejskiej od 1 stycznia 2014 r. wprowadzona została obowiązkowa, integrowana ochrona roślin. W naszym kraju wprowadzono ją w formie Rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Zgodnie z zasadami integrowanej ochrony roślin określonymi w załączniku III do dyrektywy 2009/128/WE: „Nad metody chemiczne przedkładać należy zrównoważone metody biologiczne, fizyczne i inne metody niechemiczne, jeżeli zapewniają one zadowalającą ochronę przed organizmami szkodliwymi” (PRUSZYŃSKI i współaut. 2012).

Za biologiczne czynniki kontroli (ang. biological control agents, BCAs) uznaje się grzyby z rodzaju *Trichoderma*, które zdaniem BENITEZ i współaut. (2004), różnią się pod względem stopnia antagonizmu w stosunku do patogenów roślinnych. Według TEWARI i BHANU (2004), biologiczna kontrola stosowana w rolnictwie, z zastosowaniem *Trichoderma*, jest naturalną i przyjazną dla środowiska alternatywą dla chemicznych środków ochrony roślin, przyczyniających się do zanieczyszczenia środowiska i akumulacji substancji toksycznych. BIESZAK (2010) oraz GALANTE i współaut. (1998) w swoich doświadczeniach wykazują, że *Trichoderma* wspomaga wzrost i rozwój roślin oraz wzmacnia ich odporność na czynniki stre-

sowe oraz na organizmy chorobotwórcze. HOWELL (2006), BENITEZ i współaut. (2004) oraz VEY i współaut. (2001) podają, że antagonistyczne oddziaływanie *Trichoderma* w stosunku do patogenów związane jest z produkcją przez te grzyby antybiotyków (kwas harzianowy, tricholin, kwas heptelidowy, wiridin, peptaibole, gliowirin, massoilacton, giotoksyn, alamentycyny, 6-pentyl- α -pyrol, glisopreniny). Ponadto BENITEZ i współaut. (2004) podkreślają, że antagonistyczne oddziaływanie grzybów z rodzaju *Trichoderma* w stosunku do patogenów roślinnych polega na agresywnej konkurencji o przestrzeń i składniki pokarmowe. *Trichoderma* konkuruje z innymi mikroorganizmami o nisze ekologiczne, w szczególności o miejsce infekcji na korzeniach oraz o składniki pokarmowe, do których należą wydzieliny korzeniowe przyczyniające się do stymulacji wzrostu fitopatogenów grzybowych (HARMAN i współaut. 2004). Charakterystyczną cechą *Trichoderma* jest również zdolność do szybkiego pobierania pierwiastków występujących w ryzosferze w ilościach śladowych. Przykładem takiego pierwiastka może być żelazo, które jest chelatowane przez *Trichoderma* na skutek produkcji sideroforów. Siderofory chelatują żelazo i w konsekwencji doprowadzają do zahamowania wzrostu i rozwoju

innych grzybów (BENITEZ i współaut. 2004). Kolejnym mechanizmem antagonistycznego oddziaływania *Trichoderma* wobec patogenów jest mikopasożytnictwo, podczas którego dochodzi do bezpośredniego kontaktu patogenu z czynnikiem biokontroli (WIEST i współaut. 2002). Podczas tego procesu włączana jest dodatkowo synteza antybiotyków przez *Trichoderma*, które mogą oddziaływać synergistycznie z enzymami litycznymi również produkowanymi przez ten grzyb. Mikopasożytnictwo przez *Trichoderma* polega na wzroście i silnym skręcaniu strzępek wzdłuż komórek patogenu, które stają się nieregularne lub ulegają procesowi wakuolizacji. W ostatnim etapie mikopasożytnictwa ściana komórkowa żywiciela ulega całkowitej degradacji pod wpływem działania enzymów litycznych. Przewagę konkurencyjną w środowisku glebowym *Trichoderma* osiąga więc w skutek wykorzystania rozłożonych składników ściany komórkowej żywiciela, jako dodatkowych źródeł pokarmu (MARKOVICH i KONONOVA 2003). KOWALSKA (2012) wykazała, że niektóre gatunki *Trichoderma* mają wpływ na stymulację wzrostu roślin oraz na zwiększenie ich tolerancji na stresy wywołane czynnikami abiotycznymi. KIM i współaut. (1997) zaobserwowali, że występowanie w podłożu chityny oraz chitozanu skutecznie hamuje natężenie chorób roślin, co jest rezultatem reakcji ochronnej rośliny. Produkcja i akumulacja przez rośliny wielu enzymów takich jak: peroksydazy, oksydazy, chitynazy i glukonazy, przyczynia się do rozpadu błon komórkowych patogenów. Proces lizy komórek patogenu przez enzymy produkowane przez *Trichoderma* ma kluczowe znaczenie w indukowaniu oporności w roślinie. SADOWSKI i współaut. (2005) podają, że zaprawianie nasion roślin warzywnych grzybami z rodzaju *Trichoderma* przyczynia się do znacznego wzrostu liczebności zdrowych siewek oraz zwiększenia masy ogólnej młodych roślin. Z doświadczeń przeprowadzonych przez SOBOLEWSKIEGO i współaut. (2013) wynika, że zarodniki *Trichoderma* sp. mają istotny wpływ na zwiększenie masy i wysokości młodych roślin. Autorzy ci, podczas prowadzenia doświadczeń mających na celu zapobieganie zgorzelom siewek roślin warzywnych, stwierdzili, że stosowanie izolatów *Trichoderma* przyczynia się do ochrony siewek marchwi przed porażeniem przez *Pythium* sp. oraz, że izolaty *Trichoderma* nie miały fitotoksycznego działania na nasiona i kiełkujące rośliny marchwi. Jednak HARMAN (2000) wykazał, że

zaprawianie nasion *Trichoderma* jest zabiegiem krótkoterminowym, ze względu na niepoznany jeszcze mechanizm działania zapraw nasiennych w dalszych etapach rozwoju rośliny. Autor stwierdza, że nasiona reagują w sposób pozytywny na zaprawę zawierającą *Trichoderma harzianum*.

Z badań przeprowadzonych przez CIESIELSKĄ i współaut. (2011) wynika, że najodpowiedniejszymi szczepami *Trichoderma* do walki z patogenami roślinnymi są: *T. harzianum*, *T. asperellum*, *T. viride*, *T. gamsii* oraz *T. polysporum*. Antagonistyczne oddziaływanie szczepów *Trichoderma* na patogeny roślinne polega na produkcji hydrolaz (chitynazy, celulazy, pektynazy, proteazy, -1,3-glukanazy) oraz produkcji związków fenolowych, które indukują odporność roślin, a gatunkiem o najsilniejszych właściwościach fitosanitarnych jest *T. harzianum*, która wchodzi w skład preparatów stosowanych do dezynfekcji biologicznej gleby i zaprawiania nasion (SZCZECZAK 2010, CIESIELSKA i współaut. 2011). HARMAN i współaut. (2004) wykazują, że rośliny, które uległy infekcji produkują i wydzielają przez korzenie związki toksyczne, do których należą: fenole, terpenoidy, fitoaleksyny oraz flawonoidy, a kolonizacja korzeni przez *Trichoderma* jest uzależniona od ich stopnia tolerancji na te toksyczne związki. Odporność systemiczna roślin jest zależna od szybkości kolonizacji korzeni przez *Trichoderma*. Grzyby kolonizujące ryzosferę chronią rośliny przed wirusami, patogenami bakteryjnymi oraz wirusowymi odpowiadającymi za występowanie chorób na częściach nadziemnych roślin (BENITEZ i współaut. 2004). Czynniki wskazującymi na wzbudzenie odporności roślin jest wzrost metabolitów i enzymów: fitoaleksyny, glukonazy, chitynazy, fenylo-alaninyaminolizy (SHORESH i współaut. 2005).

Kompleksowa aktywność grzybów z rodzaju *Trichoderma* zależy w znacznym stopniu od mechanizmów synergistycznych działających w różnych warunkach. Na świecie stworzone zostały komercyjne szczepionki stosowane w ochronie roślin, zawierające te grzyby. Na polskim rynku dostępny jest tylko jeden taki preparat, który zalecany jest do upraw roślin ozdobnych, truskawek oraz krzewów (PIETR i ŚLUSARSKI 2007). Preparaty zawierające w swoim składzie *Trichoderma* są używane także w ochronie upraw soi, fasoli, bawełny, tytoniu, pomidorów oraz cebuli, a traktowanie nimi upraw obniża koszty produkcji o około 40% (BETTIOL i MORANDI 2008).

PODSUMOWANIE

Silna dewastacja naturalnego środowiska, drastyczny wzrost liczby ludności, powiększenie arealów pól uprawnych oraz postępująca urbanizacja zmuszają do właściwego zagospodarowania powstających odpadów. Możliwość biologicznego przetwarzania odpadów pochodzących z różnych gałęzi przemysłu w znacznym stopniu przyczynia się do ochrony środowiska. Zastosowanie izolatów *Trichoderma* sp. stwarza ogromne perspektywy w ochronie środowiska, jest bowiem alternatywą dla chemicznych środ-

ków ochrony roślin Wykorzystanie preparatu mikrobiologicznego zawierającego szczepy *Trichoderma* umożliwia oraz optymalizuje proces kompostowania nie tylko odpadów roślinnych, ale również szczeciny oraz piór, których głównym składnikiem budulcowym są trudno rozkładalne keratyny. Szczepy *Trichoderma* znajdują również zastosowanie w produkcji bioetanolu, w ochronie roślin oraz stymulują wzrost roślin przez produkcję witamin i fitohormonów.

ASPEKTY STOSOWANIA *TRICHODERMA* SP. W OCHRONIE ROŚLIN I ROZKŁADZIE MATERII ORGANICZNEJ

Streszczenie

Jedynym z globalnych zagrożeń dla środowiska są odpady pochodzące z przemysłu rolno-spożywczego. W celu przezwyciężenia tego problemu uwagę koncentruje się na przyjaznych dla środowiska i zrównoważonych technikach obejmujących biologiczną utylizację odpadów. W procesie ich biodegradacji zasadniczą rolę odgrywają mikroorganizmy. Przyjmuje się, że biodegradacja odpadów może być potencjalnie skutecznym środkiem dla prawidłowego zarządzania nimi. Jedną z najbezpieczniejszych metod zagospodarowania odpadów organicznych jest proces kompostowania, podczas którego dużą rolę odgrywają grzyby pleśniowe. Odpowiadają one za jego prawidłowy przebieg, a ponadto warunkują powstawanie produktu o bardzo cennych właściwościach próchnicotwórczych, który wykorzystany może być jako nawóz organiczny. Przeprowadzono

liczne badania mające na celu wyizolowanie, identyfikację, a następnie określenie właściwości grzybów z rodzaju *Trichoderma*. Przeprowadzone badania wykazały, że właściwości biochemiczne poszczególnych szczepów *Trichoderma* zależą od środowiska, z którego są izolowane i dodatnio korelują z jego właściwościami fizykochemicznymi. Rodzaj *Trichoderma* dzięki swoim właściwościom wchodzi w skład preparatów mikrobiologicznych stosowanych w celu optymalizacji kompostowania surowców różnego pochodzenia. Skuteczną degradację odpadów zawdzięcza się wytwarzaniu przez wyżej wymienione grzyby wielu enzymów, takich jak: celulazy, proteazy, fosfatazy, lipazy, ksylanazy oraz amylazy. Ponadto *Trichoderma* sp. wykorzystuje się w rolnictwie z uwagi na jej właściwości fitosanitarne, jak również indukowanie wzrostu i rozwoju roślin.

ASPECTS OF THE USE OF *TRICHODERMA* SP IN CROP PROTECTION AND DISTRIBUTION OF ORGANIC MATTER

Summary

Global environmental threats include wastes from the agro-food industry. In order to overcome this problem, attention is focused on environmentally friendly and sustainable techniques including biological waste treatment. In the process of biodegradation an essential role is played by microorganisms. It is assumed that biodegradation may be a potentially effective means for proper management. One of the safest methods of managing organic waste is composting. Of importance in the process are moulds, which are responsible for its proper course, and allow the formation of a product with very valuable properties, which can be used as an organic fertilizer. To date, there have been numerous studies to isolate, identify, and then determine

the properties of *Trichoderma* isolates. The study showed that the biochemical properties of the different *Trichoderma* strains depend on the environment from which they are isolated and positively correlated with their physicochemical properties. *Trichoderma* due to its characteristics is included in the microbiological preparations used in order to optimize the composting of raw materials of vegetable origin. Effective waste degradation is mainly due to the above-mentioned production by moulds of numerous enzymes, such as cellulases, proteases, phosphatases, lipases, xylanase and amylase. In addition, *Trichoderma* sp. is used in agriculture because of its phytosanitary properties, as well as the ability to induce plant's growth and development.

LITERATURA

- BARI M., BEGUM M., SARKER K., RAHMAN M., KABIR A., ALAM M., 2007. *Mode of action of Trichoderma spp. on organic waste for bioconversion*. Plant Environ. Dev. 1, 61-66.
- BENITEZ T., RINCÓN A. M., LIMÓN M. C., CODÓN A. C., 2004. *Biocontrol mechanism of Trichoderma strains*. Int. Microbiol. 7, 249-260.
- BETTIOL W., MORANDI M. A. B., 2008. *Trichoderma in Brazil: history, research, commercialization and perspectives*. [W:] *Molecular tools for understanding and improving biocontrol*. DUFFY B., MAURHOFFER M., KELL C., GESSLER C. i współaut. (red.). Meeting of the Working Group "Biological control of fungal and bacterial plant pathogens", Interlaken, 49.
- BIESZK H., 2010. *Urządzenia do realizacji procesów mechanicznych w technologii chemicznej*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
- BLASZCZYK M. K., 2010. *Mikroorganizmy w ochronie środowiska*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 195.
- BRANDELLI A., 2008. *Bacterial keratinases: useful enzymes for bioprocessing agroindustrial wastes and beyond*. Food Bioproc. Technol. 1, 105-116.
- BUTT T. M., COPPING L. G., 2000. *Fungal biological control agents*. Pesticide Outlook.
- CALVALHEIRO F., DUARTE L. C., MIGRIO F. M., 2008. *Hemicellulose biorafinerias: a review on biomass pretreatments*. J. Scient. Indrust. Res. 67, 849-864.
- CHEŁKOWSKI J., 1985. *Mikotoksyny, grzyby toksynotwórcze, mikotoksykozy*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 95.
- CHOIŃSKA A., RODZIEWICZ A., CYBULSKI K., 2012. *Opracowanie wieloorganizmowej szczepionki do kompostowania szczeciny*. Inż. Ap. Chem. 51, 103-105.
- CIESIELSKA J., MALUSA E., SAS-PASZT L., 2011. *Środki ochrony roślin stosowane w rolnictwie ekologicznym*. Skierniewice.
- CURKOWSKI A., MROCZKOWSKI P., ONISZK-POPLAWSKA A., WIŚNIEWSKI G., 2009. *Biogaz rolniczy - produkcja i wykorzystanie*. Mazowiecka Agencja Energetyczna, Warszawa, <http://www.ico.pl/pl/raporty.html>.
- CYBULSKI K., RODZIEWICZ A., CHOIŃSKA A., 2012. *Dobór warunków kompostowania szczeciny przy udziale szczepionki drobnoustrojowej*. Inż. Ap. Chem. 51, 108-111.
- CZEKAŁA J., DACH J., WOLNA-MARUWKA A., 2006. *Wykorzystanie bioreaktora do badań modelowych kompostowania osadu ściekowego*. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie 6, 29-40.
- DAS M., BANERJEE R., BAL S., 2008. *Multivariable parameter optimization for the endoglucanase production by Trichoderma reesei Rut C30 from Ocimum gratissimum seed*. Braz. Arch. Biol. Technol. 51, 35-41.
- ELAD Y., 2000. *Trichoderma harzianum T39 preparation for biocontrol of plant disease-control of Botritis cinerea, Sclerotinia sclerotiorum and Cladosporium fulvum*. Biocont. Scien. Technol. 10, 499-507.
- GALANTE Y. M., DE CONTI A., MONTEVERDI R., 1998. *Application of Trichoderma enzymes in the textile industry*. [W:] *Trichoderma & Gliocladium*. HARMAN G. E., KUBICEK C. P. (red.). Taylor & Francis, Padstow, 311-326.
- HANNUSCH D. J., BOLAND G. J., 1996. *Influence of air temperature and relative humidity on biological control of with mold of bean (Sclerotinia sclerotiorum)*. Phytopathology 82, 156-162.
- HARMAN G. E., 2000. *Myths and dogmas of biocontrol: changes in perception derived from research on Trichoderma harzianum T-22*. Plant Dis. 84, 377-393.
- HARMAN G. E., HOWELL C. R., VITERBO A., CHET I., LORITO M., 2004. *Trichoderma species-opportunistic, avirulent plant symbionts*. Nat. Rev. Microbiol. 2, 43-56.
- HOITINK H. A. J., STONE A. G., HAN D. Y., 1997. *Suppression of plant diseases by composts*. Hort. Sci. 32, 184-187.
- HOWELL C. R., 2006. *Understanding the mechanisms employed by Trichoderma virens to effect biological control of cotton diseases*. Phytopathology 96, 178-180.
- KANCELISTA A., PIEGZA M., STOLAŚ J., WITKOWSKA D., 2009. *Wpływ grzybów rodzaju Trichoderma na wzrost patogennych grzybów strzępkowych w testach biotycznych na nietypowych źródłach węgla*. Acta Scientiarum Polonorum, Biotechnologia 8, 3-14.
- KIM K. D., NEMEC S., MUSSON G., 1997. *Effects of composts and soil amendments on soil microflora and Phytophthora root and crown rot of bell pepper*. Crop. Protect. 16, 165-172.
- KŁOSOWSKI G., MACKO D., MIKULSKI D., 2010. *Rozwój metod biotechnologicznych produkcji biopaliw ze źródeł odnawialnych*. Ochrona środowiska i zasobów naturalnych 45, 118-135.
- KOWALSKA J., REMLEIN-TAROSTA D., DROŻDŻYŃSKI D., 2012. *Wykorzystanie Trichoderma asperellum w ekologicznej uprawie truskawek*. Post. Ochr. Roślin 52, 351-353.
- KREDICS L., ANTAL Z., MANCZIGER L., SZEKERES A., KEVEI F., NAGY E., 2003. *Influence of environmental parameters on Trichoderma strains with biocontrol potential*. Food Technol. Biotechnol. 4, 37-42.
- LANZIUSE S., RUOCO M., SCALA V., WOO S. L., VINALE F., DEL SORBO G., LORITO M., 2002. *Cloning of ABC transporter-encoding genes in Trichoderma spp., to determine their involvement in biocontrol*. J. Plant Pathol. 84, 184.
- LUPA P., 2010. *Kompostowanie odpadów komunalnych w świetle koncepcji świadczeń i ekosystemów*. Ekonomia i środowisko 1, 237-251.
- MAŃKA M., KACPRZAK M., 1997. *Effect of incubation temperature and medium pH on biotic relations between soil fungi communities and Rhizoctonia solani Kuhn*. Mat. VIII Conf. of the Section for Biological Control of Plant Diseases of the Polish Phytopath. Soc., Skierniewice, 42-47.
- MARKOVICH N. A., KONONOVA G. L., 2003. *Lytic enzymes of Trichoderma and their role in plant disease from fungal disease: a review*. Appl. Biochem. Microbiol. 39, 341-351.
- OKOTH S., ROIMEN H., MUTSOTSO B., MUYA E., KAHINDI J., OWINO J., OKOTH P., 2007. *Land use systems and distribution of Trichoderma species in Emburegion, Kenya*. Trop. Subtrop. Agroecosyst. 7, 105-112.
- ORLIKOWSKI L. B., SKRZYPCZAK Cz., 1995. *Occurrence and control of Rhizoctonia rot on Ficus pumila*. Phytopathol. Pol. 9, 29-35.
- PALONEN H., 2004. *Role of lignin in the enzymatic hydrolysis of lignocelluloses*. VTT Publications 520, 11-19.
- PAPAVIZAS G. C., 1985. *Trichoderma and Gliocladium. Biology ecology, and potential for biocontrol*. Ann. Rev. Phytopathol. 23, 23-54.
- PIĘTA D., 1997. *Niektóre aspekty wykorzystania mikroorganizmów antagonistycznych do zwal-*

- czania chorób roślin. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Sect. EEE, Horticultura V, 1-8.
- PIETR S., 2000. *Możliwości i ograniczenia biologicznego zwalczania chorób systemu korzeniowego roślin*. Wieś jutra 2, 6-8.
- PIETR S., ŚLUSARSKI C., 2007. *Możliwości wykorzystania grzybów z rodzaju Trichoderma*. Hasło ogrodnicze 4, 24-27.
- PRUSZYŃSKI S., BARTKOWIAK J., PRUSZYŃSKI G., 2012. *Integrowana ochrona roślin w zarysie*. Centrum doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Poznaniu, 5-8.
- RAFAI M. A., 1969. *A revision of the genus Trichoderma*. Mycolog. Papers, 116.
- RUDAWSKA M., PRZYBYŁ K., BOJARCZUK K., 1991. *Antagonizm grzybów z rodzaju Trichoderma w stosunku do patogena Phytophthora cinnamomi Rands wywołującego zgorzel korzeniową na sadzonkach roślin wrzosowatych*. Arboretum Kórnickie 36, 81-95.
- SADOWSKI CZ., PAŃKA D., LENC L., DOMORADZKI M., 2005. *Badania nad możliwością wykorzystania biopreparatów do otaczania nasion warzyw ekologicznych*. Post. Ochr. Roślin 45, 1055-1057.
- SAMUELS G., 1996. *Trichoderma: a review of biology and systematic of the genus*. Mycol. Res. 100, 923-935.
- SANCHEZ C., 2009. *Lignocellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi*. Biotechnol. Adv. 27, 185-194.
- SHORESH M., YEDIDIA I., CHET I., 2005. *Involvement of jasmonic acid/ethylene signaling pathway in the systemic resistance induced in cucumber by Trichoderma asperellum T203*. Phytopathology 95, 76-84.
- SIEROTA Z., 1995. *Rola grzyba Phlebiopsis gigantea (Fr.:Fr) Julich w ograniczeniu huby korzeni w drzewostanach sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) na gruntach porolnych*. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Seria A 810, 1-180.
- SOBOLEWSKI J., GIDELSKA A., SZCZECZ M., ROBAK J., 2013. *Trichoderma ssp. jako zaprawa nasenna przeciwko zgorzelom siewek roślin warzywnych*. Postęp w ochronie roślin 53, 340-344.
- STACHOWIAK B., CZARNECKI Z., TROJANOWSKA K., GULEWICZ K., 2006. *Komposty i możliwość ich wykorzystania w biologicznej ochronie roślin*. J. Res. Applicat. Agricult. Engin. 51, 171-177.
- STRZELCZYK E., 1988. *Biologiczne zwalczanie roślinnych patogenów glebowych*. Postęp mikrobiologii 23, 255-272.
- SZCZECZ M., 2010. *Grzyby Trichoderma-dlaczego warto się nimi zainteresować?* http://trichoderma.iwarz.pl/?d=informacje_o_trichoderma&id=117.
- TANAKA S., FUNAKAWA S., KAEWKHONGKHA T., YONEBAYASHI K., 1998. *Labile pools of organic matter and microbial biomass in the surface soil under shifting cultivation in northern Thailand*. Soil Sci. Plant Nutrit. 44, 527-537.
- TEWARI L., BHANU C., 2004. *Evaluation of agro-industrial wastes for conidia based inoculums production of bio-control agent: Trichoderma harzianum*. J. Sci. Ind. Res. 63, 807.
- AGARWAL T., MALHOTRA A., BIYANI M., TRIVED P. C., 2011. *In vitro interaction of Trichoderma isolates against Aspergillus niger, Chaetomium sp. and Penicillium sp.* Ind. J. Fundam. Appl. Life Sci. 1, 125-128.
- VEY A., HOAGLAND R. E., BUTT T. M., 2001. *Toxic metabolites of fungal biocontrols agents*. [W:] *Fungi as biocontrol agents: Progress, problems and potential*. BUTT T. M., JACKSON C., MAGAN N. (red.). CAB International, Bristol, 311-346.
- WIEŚ A., GRZEGORSKI D., XU B.-W., GOULARD CH., REBUFFAT S., EBBOLE D., BODO B., KENERLEY CH., 2002. *Identification of peptaibols from Trichoderma virens and cloning of a peptaibol synthetase*. J. Biol. Chem. 277, 20862-20868.
- WILLIAMS S. T., 1982. *Are antibiotics produced in soil?* Pedobiology 23, 427-435.
- WOJTKOWIAK-GĘBAROWSKA E., 2006. *Mechanizmy zwalczania fitopatogenów glebowych przez grzyby z rodzaju Trichoderma*. Postępy Mikrobiologii 45, 261-273.