PROGRESS IN PLANT PROTECTION
58 (4): 264-269, 2018
ISSN 1427-4337

DOI: 10.14199/ppp-2018-036
Published online: 24.10.2018

Received: 23.03.2018 / Accepted: 27.09.2018

Trichoderma viride strains stimulating the growth and development of winter rapeseed (*Brassica napus* L.)

Szczepy *Trichoderma viride* stymulujące wzrost i rozwój rzepaku ozimego (*Brassica napus* L.)

Zuzanna Znajewska, Grażyna B. Dąbrowska*, Olga Narbutt

Summary

The aim of the study was to examine the potential of *Trichoderma viride* as a factor stimulating the growth of winter rapeseed (*Brassica napus* L.). It was proved that *T. viride* strains that differ in growth rate and represent various antagonism towards plant pathogens, stimulate root growth and inhibit the elongation of hypocotyls of winter rapeseed seedlings. It was found that the presence of *T. viride* in winter rapeseed promoted the intense development of lateral roots. Treating seeds of winter rapeseed with spores of *T. viride* 154 and *T. viride* DAR5 had a positive effect on the growth and development of plants in the pot experiment. It was demonstrated that both *Trichoderma* strains increased fresh and dry biomass. Higher than fourfold increase of the fresh biomass and three and a half increase of dry biomass of winter rapeseed were recorded in the presence of *T. viride* DAR5 in comparison to the control plants. Population density of bacteria was higher while the fungi lower in the rhizosphere of winter rapeseed plants treated with *T. viride* as compare to the control.

Key words: winter rapeseed; *Brassica napus*; seed treatment; *Trichoderma*; plants growth stimulation

Streszczenie

Celem badań było sprawdzenie potencjału *Trichoderma viride* do stymulowania wzrostu rzepaku ozimego. Wykazano, że szczepy *T. viride* różniące się tempem wzrostu i wykazujące różny antagonizm w stosunku do patogenów roślin, stymulują wzrost korzeni, a hamują elongację hypokotyli siewek rzepaku. Stwierdzono, że obecność *T. viride* u rzepaku promowała intensywny rozwój korzeni bocznych. Szczepienie nasion rzepaku sporami grzybów *T. viride* 154 i *T. viride* DAR5 wpływało pozytywnie na wzrost i rozwój roślin w eksperymencie donicowym. Wykazano zwiększenie świeżej i suchej biomasy przez oba szczepy *Trichoderma*. W obecności *T. viride* DAR5 zanotowano ponad czterokrotny wzrost świeżej biomasy oraz ponad trzykrotny suchej masy rzepaku w porównaniu do roślin kontrolnych. W ryzosferze roślin rzepaku szczepionych sporami *T. viride* liczebność populacji bakterii była wyższa, a grzybów niższa w porównaniu do kontroli.

Słowa kluczowe: rzepak ozimy; *Brassica napus*; szczepienie nasion; *Trichoderma*; stymulacja wzrostu roślin

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
Wydział Biologii i Ochrony Środowiska
Zakład Genetyki
Lwowska 1, 87-100 Toruń
*corresponding author: browsk@umk.pl

Wstęp / Introduction

Uprawy rzepaku (*Brassica napus* L. spp. *oleifera*) stanowią 95–97% upraw roślin oleistych w Polsce (Izdebski i wsp. 2014). Polska jest czwartym w Europie producentem, przetwórcą i eksporterem rzepaku. Chiny wytwarzają najwięcej, bo aż ponad 80% światowej produkcji rzepaku. Kolejni producenci to Indie oraz Kanada (Wang i wsp. 2009). Rośliny uprawne są narażone na działanie czynników środowiskowych, takich jak: nadmierne zasolenie gleby, niedobór wody (Fujita i wsp. 2006), obecność metali ciężkich (Dąbrowska i wsp. 2017) czy mikroorganizmów ryzosferowych (Dąbrowska i wsp. 2014), a w tym również patogenów (Mączyńska i wsp. 2001).

Jednym ze sposobów ochrony roślin przed stresami biotycznymi i abiotycznymi jest stosowanie biopreparatów zawierających mikroorganizmy (Martyniuk 2011; Dąbrowska i Zdziechowska 2015). Stosowanie środków do ochrony upraw zawierających drobnoustroje jest jednym z elementów zrównoważonej produkcji rolnej, gdyż ogranicza uwalnianie do środowiska zanieczyszczeń powodowanych nadmiernym stosowaniem nawozów mineralnych oraz chemicznych środków ochrony roślin (Mishra i wsp. 2011). Często składnikami biopreparatów są grzyby z rodzaju *Trichoderma* (Martyniuk 2011). Grzyby te charakteryzują się szybkim tempem wzrostu, obfitym zarodnikowaniem, zdolnością do wytwarzania substancji fungitoksycznych (głównie antybiotyków peptydowych) i enzymów hydrolitycznych (Benítez i wsp. 2004; Nawrocka i Małolepsza 2013). Od wielu lat grzyby te stosowane są do ochrony roślin przed patogenami (Druzhinina i wsp. 2011; Kowalska 2014). Grzyby z rodzaju *Trichoderma* charakteryzują się dużymi zdolnościami adaptacyjnymi, co umożliwia kolonizację nisz ekologicznych (Okorski i wsp. 2014), zaliczane są do grzybów stymulujących wzrost roślin (Plant Growth Promoting Fungi – PGPF) (Keswani i wsp. 2014; Oskiera i wsp. 2015). Maag i wsp. (2014) wykazali stymulujący wpływ *Trichoderma atroviride* na wzrost rzepaku. Jednakże w warunkach nadmiernego rozwoju, grzyby z rodzaju *Trichoderma* mogą oddziaływać negatywnie na wzrost i rozwój roślin (Perek i wsp. 2013; Kosicka i wsp. 2014; Liu i wsp. 2017). Znane są mikroorganizmy ryzosferowe stymulujące wzrost rzepaku w zależności od fazy rozwoju czy obecności czynników negatywnie oddziałujących na rośliny (Dąbrowska i wsp. 2012, 2014; Farina i wsp. 2012). Mimo, że w literaturze jest wiele informacji na temat grzybów *Trichoderma* sp. i ich znaczenia w uprawach, to jednak niewiele jest danych dotyczących wpływu szczepów *T. viride* na wzrost i rozwój rzepaku.

Celem pracy była ocena możliwości wykorzystania dwóch szczepów *T. viride* (154 i DAR5) do stymulowania wzrostu i rozwoju rzepaku (*B. napus* spp. *oleifera*) oraz analiza liczebności populacji bakterii i grzybów w glebie szczepionej *T. viride* 153 i *T. viride* DAR5 różniącymi się tempem wzrostu i wykazującymi różny antagonizm w stosunku do patogenów roślin.

Materiały i metody / Materials and methods

Materiał badawczy stanowiły nasiona *B. napus* odmiany ozimej Harry oraz dwa szczepy grzyba saprofitycznego *T. viride*: 154 i DAR5, udostępnione przez prof. Katarzynę Hrynkiewicz z Zakładu Mikrobiologii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Do badań wybrano dwa szczepy różniące się tempem wzrostu. Szczep *T. viride* DAR5 charakteryzuje się szybszym wzrostem w porównaniu ze szczepem *T. viride* 154 (Dąbrowska i wsp. 2016).

Przygotowanie inokulum grzybowego

Szczepy *Trichoderma* hodowano na podłożu stałym PDA (Potato Dextrose Agar) (LabM, UK) w temperaturze 23°C. Dwutygodniową grzybnię *T. viride* przenoszono sterylnym skalpelem na filtr Miracloth (Millipore Corp., USA) i przepłukiwano sterylną wodą. Zawartość spor w przesączu sprawdzano za pomocą hemocytometru. Do doświadczenia przeprowadzonego w warunkach laboratoryjnych przygotowano zawiesiny o gęstości spor: 1×10^7, 1×10^8, $1 \times 10^9/cm^3$. Natomiast zawiesina o gęstości zarodników $1 \times 10^7/cm^3$ została użyta w eksperymencie donicowym.

Wzrost siewek rzepaku w obecności *Trichoderma viride* w warunkach laboratoryjnych

Nasiona rzepaku ozimego odmiany Harry sterylizowano zgodnie z procedurą opisaną w pracy Mierek-Adamska i wsp. (2018). Wysterylizowane nasiona umieszczano na 10 minut w sterylnej wodzie (próba kontrolna) lub w zawiesinach zawierających spory *T. viride* 154 lub *T. viride* DAR5 o gęstościach spor: 1×10^7, 1×10^8, $1 \times 10^9/cm^3$. Następnie wykładano po 30 nasion na płytki Petriego zawierające sterylną bibułę nasączoną 8 ml sterylnej wody i inkubowano przez 6 dni w ciemności w temperaturze 23°C. W ramach każdego wariantu w taki sam sposób przygotowano po trzy powtórzenia. Po zakończeniu hodowli zliczano skiełkowane nasiona, mierzono długość korzeni i hypokotyli siewek oraz ważono świeżą i suchą biomasę. Suchą biomasę oznaczano na podstawie wagi materiału roślinnego suszonego przez 48 godzin w temperaturze 105°C. Doświadczenie wykonano w trzech powtórzeniach technicznych i trzech biologicznych.

Analiza wzrostu rzepaku szczepionego *Trichoderma viride* – eksperyment szklarniowy

W donicach o objętości 2000 dm^3 wypełnionych ziemią ogrodową (K: 250–350 mg/l, N: 150–250 mg/l, P: 100–200 mg/l, pH 6,0–6,5) umieszczano nasiona rzepaku ozimego odmiany Harry, które inkubowano przez 10 mi-

nut w zawiesinie spor *T. viride* 154 lub *T. viride* DAR5 lub w wodzie (próba kontrolna). W każdej donicy umieszczano po sześć nasion, po ich skiełkowaniu w donicy pozostawiono trzy rośliny w tym samym stadium rozwojowym. Dla każdego wariantu przygotowano 10 donic. Rośliny *B. napus* rosły w warunkach szklarniowych przez 16 tygodni, w miesiącach od lutego do czerwca, w temperaturze 23–25°C. Przez cały okres wegetacji, w donicach kontrolowano wilgotność gleby, którą utrzymywano na poziomie 70–75% pełnej pojemności wodnej. Po zakończeniu doświadczenia oceniano długość części nadziemnej roślin i korzeni, liczbę międzywęźli oraz świeżą i suchą biomasę. Dla każdego wariantu analizowano po 30 roślin.

Liczebność mikroorganizmów w glebie z ryzosfery rzepaku z eksperymentu donicowego

W celu sprawdzenia liczebności mikroorganizmów w glebie z ryzosfery rzepaku, z poszczególnych donic pobierano po 10 g gleby ze strefy korzeniowej, którą przenoszono do 90 cm^3 sterylnej wody, a następnie wytrząsano przez 10 minut. Zawiesinę glebową, metodą seryjnych rozcieńczeń doprowadzono do rozcieńczenia 10^7. Posiewy lane wykonano dla bakterii na podłożu R2A (Difco, USA) z nystatyną o końcowym stężeniu 100 µM, a dla grzybów na podłożu stałym PDA (LabM, UK) z tetracykliną o końcowym stężeniu 100 µM. Do zliczenia kolonii bakteryjnych wybrano rozcieńczenia: 10^5, 10^6, 10^7, a grzybów 10^3, 10^4 oraz 10^5. Testowano różne rozcieńczenia, aby zoptymalizować metodę tak, aby możliwe było uzyskanie na poszczególnych płytkach kolonii. Płytki inkubowano w temperaturze 23°C, a kolonie bakterii i grzybów zliczano w 3, 7 i 10 dniu wzrostu.

Analiza statystyczna

Analizę statystyczną uzyskanych wyników wykonano przy użyciu oprogramowania PAST (Hammer i wsp. 2001). Istotność statystyczną uzyskanych wyników sprawdzono za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji (one-way ANOVA) oraz testu post-hoc Tukeya. Za próg istotności przyjęto wartość $p \leq 0,05$.

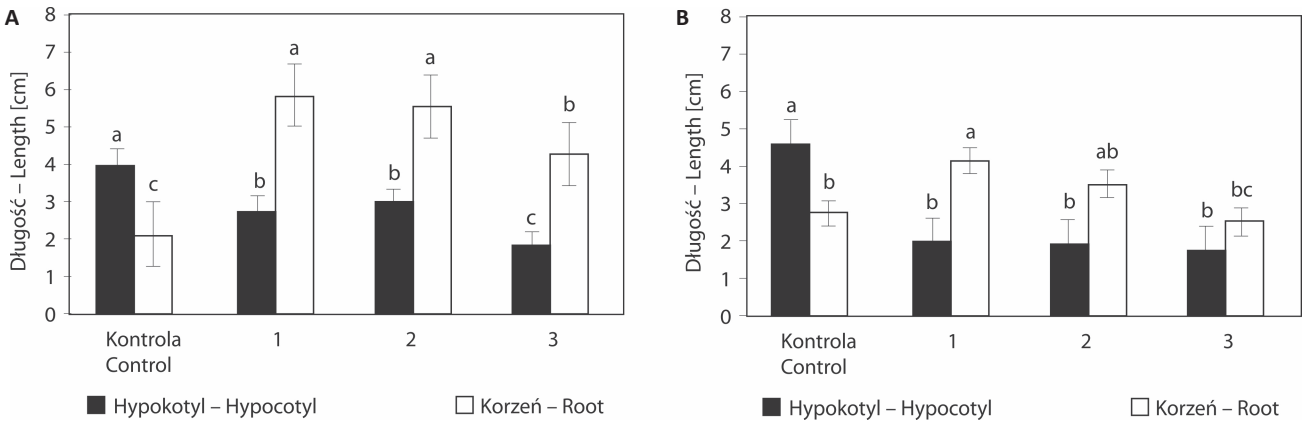
Wyniki i dyskusja / Results and discussion

Wzrost i rozwój siewek rzepaku w obecności grzybów *Trichoderma* w warunkach laboratoryjnych i w eksperymencie donicowym

W eksperymencie laboratoryjnym sprawdzono wpływ szczepienia nasion zawiesinami spor *T. viride* 154 i *T. viride* DAR5 o gęstościach: 1×10^7, 1×10^8, $1 \times 10^9/cm^3$ na wzrost i rozwój siewek rzepaku ozimego. Oba szczepy charakteryzują się antagonizmem w stosunku do patogenów roślin (Thiem i wsp. 2014; Dąbrowska i wsp. 2016). Wykazano, że obecność *T. viride* DAR5 powodowała zwiększenie liczby skiełkowanych nasion niemal o 20% w porównaniu do nasion nieszczepionych (dane nieprezentowane). Wszystkie zastosowane rozcieńczenia zawiesiny spor szczepu *T. viride* 154 oddziaływały pozytywnie na wzrost korzeni siewek rzepaku, najlepsze efekty obserwowano przy inokulum $1 \times 10^7/cm^3$ i $1 \times 10^8/cm^3$. W przypadku szczepu *T. viride* DAR5 korzenie roślin były istotnie dłuższe w wariancie, w którym wykorzystano zawiesinę spor o gęstości $1 \times 10^7/cm^3$, w stężeniach o mniejszej ilości spor nie zaobserwowano dłuższych korzeni w stosunku do roślin kontrolnych. Obecność obu szczepów *T. viride* hamowała elongację hypokotyli siewek (rys. 1). Podobnie Sobolewski i wsp. (2013) wykazali korzystny wpływ zaprawiania nasion izolatami *Trichoderma* spp. na wysokość siewek marchwi i ich masę. W pracy Ali i wsp. (2014) w badaniach *in vitro* opisano stymulujący wpływ *Trichoderma* (*T. harzianum*, *T. viride* i *T. koningii*) na kiełkowanie nasion, długość korzeni i pędów siewek ciecierzycy. Natomiast szczepienie nasion chili *T. harzianum* zwiększało liczbę skiełkowanych nasion w warunkach laboratoryjnych i wzrost roślin w warunkach polowych (Asaduzzaman i wsp. 2010).

Oceniono także wpływ izolatów *T. viride* 154 i *T. viride* DAR5 na wzrost i rozwój roślin rzepaku w eksperymencie donicowym (tab. 1). Wykazano, że rośliny szczepione *T. viride* 154 lub *T. viride* DAR5 charakteryzowały się dłuższymi korzeniami, pędami i liczbą międzywęźli. Korzenie i pędy roślin szczepionych grzybami były niemal dwukrotnie dłuższe niż roślin kontrolnych. Obecność grzybów stymulowała rozwój korzeni bocznych, zwłaszcza w przypadku szczepienia *T. viride* DAR5. Wykazano, że grzyby z rodzaju *Trichoderm*a, występujące w ryzosferze zdolne są do syntetyzowania kwasu indolilooctowego, co przyczynia się do stymulowania wzrostu korzeni (Nieto-Jacobo i wsp. 2017). Stymulujący efekt *T. atroviride* na wzrost korzeni i pędów oraz biomasę rzepaku, pokazały badania Maag i wsp. (2014), chociaż szczep ten nie indukował systemicznej oporności na *Plutella xylosella* u tej rośliny.

Izolaty *T. viride* 154 i *T. viride* DAR5 zastosowane donasiennie wpływały na istotny wzrost świeżej i suchej biomasy rzepaku. W przypadku szczepu *T. viride* 154 stwierdzono ponad trzykrotny wzrost świeżej biomasy, a w przypadku suchej biomasy wzrost o ponad dwa i pół razy większy w porównaniu do roślin nieinokulowanych sporami. Natomiast świeża i sucha masa roślin szczepionych *T. viride* DAR5 była niemal czterokrotnie większa w porównaniu do roślin kontrolnych. Podobnie w przypadku innych roślin uprawnych, buraka ćwikłowego i marchwi, stosowanie grzybów *Trichoderma* sp. jako zaprawy nasiennej wpływało pozytywnie na kiełkowanie nasion i stan siewek (Sadowski i wsp. 2005; Sobolewski i wsp. 2013). Mastouri i wsp. (2010) wykazali korzystny wpływ zaprawy nasiennej, zawierającej *Trichoderma* sp. na kiełkowanie i wzrost pomidora, również w warunkach stresu biotycznego.



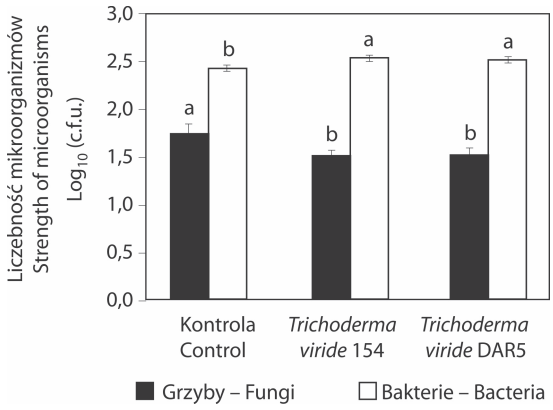
Słupki przedstawiają średnią z pomiarów z trzech powtórzeń biologicznych doświadczenia ± odchylenie standardowe. Różnice istotne statystycznie przy p ≤ 0,05
The bars represent the mean of the measurements from three biological repetitions of experiment ± standard deviation. The statistically significant differences at p ≤ 0.05

Rys. 1. Długość hypokotyli i korzeni 6-dniowych siewek *Brassica napus* nieinokulowanych (kontrola) lub inokulowanych zawiesinami spor szczepów (A) *Trichoderma viride* 154 i (B) *Trichoderma viride* DAR5, o gęstościach spor: 1 – 1 × 10^7, 2 – 1 × 10^8, 3 – 1 × 10^9/cm^3
Fig. 1. Length of hypocotyl and roots of 6-day seedlings of *Brassica napus*, untreated seeds (control) or treated with spores of (A) *Trichoderma viride* 154 and (B) *Trichoderma viride* DAR5, spore density: 1 – 1 × 10^7, 2 – 1 × 10^8, 3 – 1 × 10^9/cm^3

Tabela 1. Wpływ szczepów *Trichoderma viride* 154 i *Trichoderma viride* DAR5 na wzrost i rozwój oraz biomasę 16-tygodniowych roślin rzepaku (n = 30)
Table 1. Effect of *Trichoderma viride* 154 and *Trichoderma viride* DAR5 on the growth, development and biomass of 16-week winter rapeseed plants (n = 30)

	Długość pędów Length of shoot [cm]	Długość korzeni Root length [cm]	Liczba międzywęźli Internodes per plant	Świeża biomasa Fresh biomass [g]	Sucha biomasa Dry biomass [g]
Kontrola – Control	29,5 ±4,9 b	6,1 ±1,9 b	8 ±1,32 b	2,48 ±1,37 b	0,24 ±0,18 b
Trichoderma viride 154	42,2 ±5,1 a	12,2 ±2,7 a	9 ±1,09 ab	7,93 ±3,32 a	0,63 ±0,27 a
Trichoderma viride DAR5	45,3 ±3,3 a	11,5 ±1,6 a	9 ±1,00 a	10,67 ±3,29 a	0,82 ±0,32 a

W tabeli zestawiono wartości średnie ± odchylenie standardowe. Wyniki oznaczone różnymi literami różnią się istotnie statystycznie przy p ≤ 0,05
The table summarizes the mean ± standard deviation. Values indicted by the different letters differ are significantly different at p ≤ 0.05



Rys. 2. Liczebności bakterii i grzybów w glebie z ryzosfery rzepaku z eksperymentu donicowego. Słupki przedstawiają średnią z trzech powtórzeń doświadczenia ± odchylenie standardowe, p ≤ 0,05
Fig. 2. Population density of bacteria and fungi in the soil from rhizosphere of winter rapeseed plants from the pot experiment. The bars represent the average of three replicates of experience ± standard deviation at p ≤ 0.05

Liczebności mikroorganizmów w glebie z ryzosfery rzepaku z eksperymentu donicowego

Sprawdzono liczebność mikroorganizmów w glebie z ryzosfery rzepaku ozimego, pochodzącej z eksperymentu donicowego. Liczebność bakterii była większa w glebie, w której rosły rośliny szczepione *T. viride* 154 i DAR5 niż w kontroli (rys. 2). Natomiast w glebie nieszczepionej obserwowano największą liczebność grzybów. Podobnie, ograniczenie liczebności grzybów w glebie, w której rósł rzepak stwierdzono w badaniach Janczak i wsp. (2018). Obserwowany wzrost liczebności bakterii może być spowodowany korzystnym wpływem rzepaku, rośliny nietworzącej mikoryz na autochtoniczne bakterie glebowe. Obecność grzybów z rodzaju *Trichoderma* w glebie może powodować obniżenie jej odczynu i przyczyniać się do ograniczania rozwoju innych mikroorganizmów, a jednocześnie wpływać na zwiększenie dostępności składników odżywczych (Smolińska i wsp. 2014). Mar Vázquez i wsp. (2000) spraw-

dzili wpływ *Trichoderma* sp. na liczebność innych organizmów glebowych w ryzosferze kukurydzy. Liczba grzybów w glebie wzrastała istotnie statystycznie po inokulacji gleby szczepami *Trichoderma* sp. także w obecności arbuskularnych grzybów mykoryzowych. Jednakże inokulacja *Trichoderma* sp. nie prowadziła do wzrostu liczebności *Pseudomonas* i *Azospirillum* w ryzosferze.

Istnieje potrzeba opracowania nowych rozwiązań i preparatów pochodzenia biologicznego, jako odpowiedź i alternatywa na wciąż stosowane chemiczne środki ochrony roślin. Zastosowane w badaniach szczepy *T. viride* mogą stanowić składniki biopreparatów stymulujących wzrost i rozwój rzepaku. Kolejnym etapem będzie przeprowadzenie badań w warunkach polowych w celu potwierdzenia ich skuteczności w warunkach naturalnych i w obecności stresu solnego lub suszy. Przeprowadzone badania pozwoliły na zidentyfikowanie izolatów *T. viride*, które prawdopodobnie należą do istotnych czynników odgrywających ważną rolę w środowisku wzrostu rzepaku, rośliny nietworzącej mykoryz. Wyniki przeprowadzonych doświadczeń wykazują, że potencjalne biopreparaty zawierające *T. viride* 154 lub *T. viride* DAR5 mogą znaleźć zastosowanie w uprawach rzepaku.

Wnioski / Conclusions

1. Szczepy *T. viride* stymulują wzrost siewek i wpływają na wzrost suchej i świeżej biomasy rzepaku ozimego.
2. W glebie, w której rósł rzepak wysiany z nasion szczepionych izolatami grzybów z rodzaju *Trichoderma* liczebność bakterii glebowych wzrastała, a zmniejszała się populacja grzybów.

Praca finansowana z działalności statutowej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.

Literatura / References

Ali A., Haider M.S., Ashfaq M. 2014. Effect of culture filtrates of *Trichoderma* spp. on seed germination and seedling growth in chickpea – an *in-vitro* study. Pakistan Journal of Phytopathology 26 (1): 1–5.

Asaduzzaman M., Alam M.J., Islam M.M. 2010. Effect of *Trichoderma* on seed germination and seedling parameters of chili. Journal of Science Foundation 8 (1–2): 141–150. DOI: 10.3329/jsf.v8i1-2.14637.

Benítez T., Rincón A.M., Limón M.C., Codón A.C. 2004. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. International Microbiology 7 (4): 249–260.

Dąbrowska G., Hrynkiewicz K., Mierek-Adamska A., Goc A. 2012. Wrażliwość odmian jarych i ozimych rzepaku na metale ciężkie i bakterie glebowe. [The sensitivity of spring and winter varieties of oilseed rape to heavy metals and rhizobacteria]. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops 33 (2): 201–220. DOI: 10.5604/12338273.1058112.

Dąbrowska G., Hrynkiewicz K., Trejgell A. 2014. Do arbuscular mycorrhizal fungi affect metallothionein *MT2* expression in *Brassica napus* L. roots? Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica 54 (1): 34–39. DOI: 10.2478/v10182-012-0003-1.

Dąbrowska G., Hrynkiewicz K., Trejgell A., Baum C. 2017. The effect of plant growth-promoting rhizobacteria on the phytoextraction of Cd and Zn by *Brassica napus* L. International Journal of Phytoremediation 19 (7): 597–604. DOI: 10.1080/15226514.2016.1244157.

Dąbrowska G., Zdziechowska E. 2015. Rola bakterii ryzosferowych w stymulacji procesów wzrostu i rozwoju oraz ochronie roślin przed czynnikami środowiska. [The role of rhizobacteria in the stimulation of the growth and development processes and protection of plants against environmental factors]. Progress in Plant Protection 55 (4): 498–506. DOI: 10.14199/ppp-2015-083.

Dąbrowska G., Znajewska Z., Mierek-Adamska A., Hrynkiewicz K. 2016. *Trichoderma* as potential factor for biocontrol of the soil microbiome. p. 1–92. Biodiversity conservation on farmlands at crossroads: international conference. Institute of Soil Science and Plant Cultivation – State Research Institute in Puławy, 27–28 September 2016, p. 54.

Druzhinina I.S., Seidl-Seiboth V., Herrera-Estrella A., Horwitz B.A., Kenerley C.M., Monte E., Mukherjee P.K., Zeilinger S., Grigoriev I.V., Kubicek C.P. 2011. *Trichoderma*: the genomics of opportunistic success. Nature Reviews Microbiology 9 (10): 749–759. DOI: 10.1038/nrmicro2637.

Farina R., Beneduzi A., Ambrosini A., de Campos S.B., Lisboa B.B., Wendisch V., Vargas L.K., Passaglia L.M.P. 2012. Diversity of plant growth-promoting rhizobacteria communities associated with the stages of canola growth. Applied Soil Ecology 55: 44–52. DOI: 10.1016/j.apsoil.2011.12.011.

Fujita M., Fujita Y., Noutoshi Y., Takahashi F., Narusaka Y., Yamaguchi-Shinozaki K., Shinozaki K. 2006. Crosstalk between abiotic and biotic stress responses: a current view from the points of convergence in the stress signaling networks. Current Opinion in Plant Biology 9 (4): 436–442. DOI: DOI: 10.1016/j.pbi.2006.05.014.

Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica 4 (1): 1–9.

Izdebski W., Jakubowski Z., Skudlarski J., Zając S., Maznev G.E., Zaika S.A. 2014. Stan i perspektywy produkcji rzepaku w Polsce i na Ukrainie w aspekcie produkcji biopaliw transportowych. [Status and prospects of rapeseed production in Poland and Ukraine in terms of transportation biofuels production]. Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Problemy Rolnictwa Światowego 14 (29): 80–89.

Janczak K., Hrynkiewicz K., Znajewska Z., Dąbrowska G. 2018. Use of rhizosphere microorganisms in the biodegradation of PLA and PET polymers in compost soil. International Biodeterioration and Biodegradation 130: 65–75. DOI: 10.1016/j.ibiod.2018.03.017.

Keswani C., Mishra S., Sarma B.K., Singh S.P., Singh H.B. 2014. Unraveling the efficient applications of secondary metabolites of various *Trichoderma* spp. Applied Microbiology and Biotechnology 98 (2): 533–544. DOI: 10.1007/s00253-013-5344-5.

Kosicka D., Wolna-Maruwka A., Trzeciak M. 2014. Aspekty stosowania *Trichoderma* sp. w ochronie roślin i rozkładzie materii organicznej. [Aspects of the use of *Trichoderma* sp. in crop protection and distribution of organic matter]. Kosmos Problemy Nauk Biologicznych 63 (4): 635–642.

Kowalska J. 2014. Organically grown *Brassica napus* – use of border strips and *Trichoderma*. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science 64 (6): 529–536. DOI: 10.1080/09064710.2014.929730.

Liu N.Y., Bao Z.R., Li J., Ao X.Y., Zhu J.Y., Chen Y.H. 2017. Identification of differentially expressed genes from *Trichoderma atroviride* strain SS003 in the presence of cell wall of *Cronartium ribicola*. Genes & Genomics 39 (5): 473–484. DOI: 10.1007/s13258-016-0512-5.

Maag D., Kandula D.R.W., Müller C., Mendoza-Mendoza A., Wratten S.D., Stewart A., Rostás M. 2014. *Trichoderma atroviride* LU132 promotes plant growth but not induced systemic resistance to *Plutella xylostella* in oilseed rape. BioControl 59 (2): 241–252. DOI: 10.1007/s10526-013-9554-7.

Mar Vázquez M., César S., Azcón R., Barea J.M. 2000. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and other microbial inoculants (*Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*) and their effects on microbial population and enzyme activities in the rhizosphere of maize plants. Applied Soil Ecology 15 (3): 261–272. DOI: 10.1016/S0929-1393(00)00075-5.

Martyniuk S. 2011. Skuteczne i nieskuteczne preparaty mikrobiologiczne stosowane w ochronie i uprawie roślin oraz rzetelne i nierzetelne metody ich oceny. Postępy Mikrobiologii 50 (4): 321–328.

Mastouri F., Björkman T., Harman G.E. 2010. Seed treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates biotic, abiotic, and physiological stresses in germinating seeds and seedlings. Phytopathology 100 (11): 1213–1221. DOI: 10.1094/PHYTO-03-10-0091.

Mączyńska A., Głazek M., Krzyzińska B., Banachowska J. 2001. Porażenie przez grzyby chorobotwórcze roślin rzepaku ozimego w latach 1999 i 2000. [Occurrence of winter oilseed rape pathogens in 1999 and 2000 years]. Rośliny Oleiste 22: 127–138.

Mierek-Adamska A., Znajewska Z., Goc A., Dąbrowska G.B. 2018. Molecular cloning and characterization of *Ipomoea nil* metallothioneins. Turkish Journal of Botany 42: 247–256. DOI: 10.3906/bot-1707-26.

Mishra B.K., Mishra R.K., Mishra R.C., Tiwari A.K., Yadav R.S., Dikshit A. 2011. Biocontrol efficacy of *Trichoderma viride* isolates against fungal plant pathogens causing disease in *Vigna radiata* L. Archives of Applied Science Research 3 (2): 361–369.

Nawrocka J., Małolepsza U. 2013. Diversity in plant systemic resistance induced by *Trichoderma*. Biological Control 67 (2): 149–156. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2013.07.005.

Nieto-Jacobo M.F., Steyaert J.M., Salazar-Badillo F.B., Nguyen D.V., Rostás M., Braithwaite M., De Souza J.T., Jimenez-Bremont J.F., Ohkura M., Stewart A., Mendoza-Mendoza A. 2017. Environmental growth conditions of *Trichoderma* spp. affects indole acetic acid derivatives, volatile organic compounds, and plant growth promotion. Frontiers in Plant Science 8: 102. DOI: 10.3389/fpls.2017.00102.

Okorski A., Oszako T., Nowakowska J.A., Pszczółkowska A. 2014. Możliwości biologicznej ochrony roślin przed chorobami w szkółkarstwie, ze szczególnym uwzględnieniem lęgniowców (Oomycetes) i grzybów z rodzaju *Fusarium*. [The possibilities of biologically protecting plants against diseases in nurseries, with special consideration of Oomycetes and *Fusarium* fungi]. Leśne Prace Badawcze 75 (3): 301–321. DOI: 10.2478/frp-2014-0029.

Oskiera M., Szczech M., Bartoszewski G. 2015. Molecular identification of *Trichoderma* strains collected to develop plant growth-promoting and biocontrol agents. Journal of Horticultural Research 23 (1): 75–86. DOI: 10.2478/johr-2015-0010.

Perek A., Krzymińska J., Świerszczyńska I. 2013. Porównanie antagonistycznego oddziaływania grzybów z rodzaju *Trichoderma* oraz grzybów drożdżoidalnych na patogeny z rodzaju *Fusarium* w warunkach *in vitro*. [Comparison of the antagonistic effect of *Trichoderma* spp. and yeasts on pathogenic *Fusarium* spp. in *in vitro* conditions]. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering 58 (4): 99–103.

Sadowski C., Pańka D., Lenc L., Domoradzki M. 2005. Badania nad możliwością wykorzystania biopreparatów do otoczkowania nasion warzyw ekologicznych. [Research on possibility of use of biopreparations for organic vegetable seed coating]. Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin 45 (2): 1055–1057.

Smolińska U., Gołębiewska E., Kowalska B., Kowalczyk W., Szczech M. 2014. Materiały odpadowe jako nośniki antagonistycznych grzybów *Trichoderma*. [Waste materials as growing media for antagonistic *Trichoderma* fungi]. Inżynieria i Ochrona Środowiska 17 (1): 5–20.

Sobolewski J., Gidelska A., Szczech M., Robak J. 2013. *Trichoderma* spp. jako zaprawa nasienna przeciwko zgorzelom siewek roślin warzywnych. [*Trichoderma* spp. as a seed dressing bioproduct against damping-off seedlings of vegetables crops]. Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin 53 (2): 340–344. DOI: 10.14199/ppp-2013-093.

Thiem D., Szmidt-Jaworska A., Baum C., Muders K., Niedojadło K., Hrynkiewicz K. 2014. Interactive physiological response of potato (*Solanum tuberosum* L.) plants to fungal colonization and *Potato virus* Y (PVY) infection. Acta Mycologica 49 (2): 291–303. DOI: 10.5586/am.2014.015.

Wang B., Liu L., Gao Y., Chen J. 2009. Improved phytoremediation of oilseed rape (*Brassica napus*) by *Trichoderma* mutant constructed by restriction enzyme-mediated integration (REMI) in cadmium polluted soil. Chemosphere 74 (10): 1400–1403. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2008.11.027.