

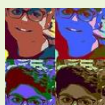
JAKIM JĘZYKIEM MÓWISZ? WYPRAWA W FASCYNUJĄCY ŚWIAT PODZIEMNEJ KOMUNIKACJI

Cristiana Ariotti¹, Elena Giuliano¹, Paolina Garbeva² and Gianpiero Vigani^{1,2*}

¹ Plant Physiology Unit, Department of Life Sciences and Systems Biology, University of Turin, Turin, Italy

² Department of Microbial Ecology, Netherlands Institute of Ecology (NIOO-KNAW), Wageningen, Netherlands

MŁODY KRYTYK



**SHASHI
PREETHAM**
WIEK: 13

Jak porozumiesz się ze swoimi sąsiadami będąc mikroblem żyjącym w glebie? Mówiąc po polsku, angielsku, francusku czy włosku niewiele zdziałasz. Możesz jednak jako słów użyć związków chemicznych! Mikroby żyjące w glebie (np. bakterie lub grzyby) porozumiewają się między sobą oraz z innymi organizmami, takimi jak zwierzęta i rośliny, z wykorzystaniem różnorodnych związków chemicznych, używanych jako chemiczne „słowa”. Gleba, gdzie żyją mikroby pełna jest przestrzeni (kanałów) wypełnionych powietrzem, a lotne związki chemiczne służące do komunikacji są w stanie z łatwością przebywać te kanały niejednokrotnie osiągając bardzo długie dystanse. Do komunikacji na krótki dystans przydają się związki rozpuszczalne w wodzie. Organizmy odbierające te chemiczne komunikaty mogą reagować na różne sposoby na przykład szybciej rosnąć albo w odpowiedzi produkować inne związki chemiczne. W tym artykule wybierzemy się w ekscytującą podróż w tajemniczy świat podziemnej komunikacji chemicznej i roli jaką gra ona we wzajemnych oddziaływaniach między mikrobami a roślinami.

ŻYCIE W GLEBIE

EKOSYSTEM

Zestaw różnych organizmów (roślin, zwierząt i mikrobów) oddziałujących ze sobą i z materią nieożywioną w danej przestrzeni.

Gleba jest jednym z najbardziej fascynujących i złożonych **ekosystemów** na świecie. To nie tylko zewnętrzna warstwa naszej planety, w której rosną rośliny, ale także spektakularny i ukryty przed nami świat tętniący życiem. Sama gleba składa się z różnych nieregularnych fragmentów kamieni, małych przestrzeni wypełnionych powietrzem i materii organicznej (szczątków obumarłych roślin i zwierząt). Take środowisko jest wręcz wymarzone miejscem do życia dla mikrobów, owadów i roślin. Czy możesz uwierzyć, jak pełna życia jest gleba? W zależności od jej właściwości (rozmiar kamieni, typ dostępnego pożywienia, zawartość wody itd.), w glebie możemy spotkać różnorakie formy życia. Tworzą one swoiste społeczności, czyli niepowtarzalne zestawy różnych organizmów żyjących wspólnie w glebie.

RYZOSFERA

Część gleby otaczająca korzenie roślin, gdzie rośliny i mikroby mogą ze sobą rozmawiać używając związków chemicznych.

Czy wiesz czym są mikroby glebowe? Są one mikroskopijnymi organizmami żyjącymi na cząstkach gleby lub też na innych żywych organizmach. Należą do nich grzyby mające kształt przypominający bardzo cienkie korzonki, co ułatwia im dosięgać i wymieniać informacje ze swoimi sąsiadami. Są tam też bakterie, wszystkie składające się tylko z pojedynczych komórek, tak małe, że żeby je zobaczyć trzeba użyć mikroskopu. Część z tych mikrobów żyje wśród korzeni roślin w strefie zwanej **ryzosferą** (glebie przylegającej do korzeni) – zwane są one mikrobami ryzosferowymi. Mikroby mogą też żyć bezpośrednio na powierzchni korzeni albo nawet w ich wnętrzu [1]. W ryzosferze możemy znaleźć mikroby pożyteczne (dobre), które wspomagają roślinę we wzroście, jak i szkodliwe (złe), atakujące rośliny i powodujące ich choroby.

JAK MIKROBY I ROŚLINY SIE KOMUNIKUJĄ?

KOMUNIKACJA CHEMICZNA

Komunikacja pomiędzy dwoma lub więcej różnymi organizmami (roślinami, zwierzętami lub mikrobami) za pomocą związków chemicznych.

Szczególnie ekscytujący jest fakt, iż mikroby potrafią się komunikować zarówno między sobą jak i z innymi organizmami takimi jak rośliny i zwierzęta. Komunikacja między mikrobami a roślinami jest badana przez wielu naukowców na całym świecie. Taka komunikacja jest oparta na użyciu związków chemicznych jako słów, i dlatego jest także zwana **komunikacją chemiczną**. Możesz sobie wyobrazić związek chemiczny jako grupę połączonych ze sobą kulek (atomów). Takie atomy jak węgiel (C), wodór (H), tlen (O) czy azot (N), połączone jak puzzle, tworzą związki chemiczne takie jak na przykład woda (H₂O) albo dwutlenek węgla (CO₂). Określone kombinacje atomów tworzą związki chemiczne o różnych właściwościach.

ROZPUSZCZALNY

Substancja, która rozpuszcza się w wodzie, jak sól czy cukier.

Mikroby glebowe potrafią produkować wiele różnych typów związków chemicznych które można podzielić na dwie główne grupy: związki **rozpuszczalne** i związki lotne. Związki rozpuszczalne rozpuszczają się w wodzie tak jak kostka cukru w herbacie i w glebie również są transportowane przez wodę. Takie rozpuszczalne związki są zwykle używane przez mikroby do komunikacji z roślinami znajdującymi się bardzo blisko. Związki lotne, często zwane także organicznymi związkami lotnymi (z angielskiego volatile organic compounds – **VOCs**) są używane do komunikacji na długie dystanse (Ryc. 1). Takie związki lotne są gazami, które z łatwością przemieszczają się w glebie poprzez wypełnione powietrzem kanały. Korzenie roślin są w stanie „wywahać” takie związki lotne, tak jak nasze nosy są w stanie wyczuć kwiaty

LOTNY

Substancja, która łatwo przechodzi w formę gazową i rozprzestrzenia się w powietrzu, jak na przykład zapachy kwiatów.

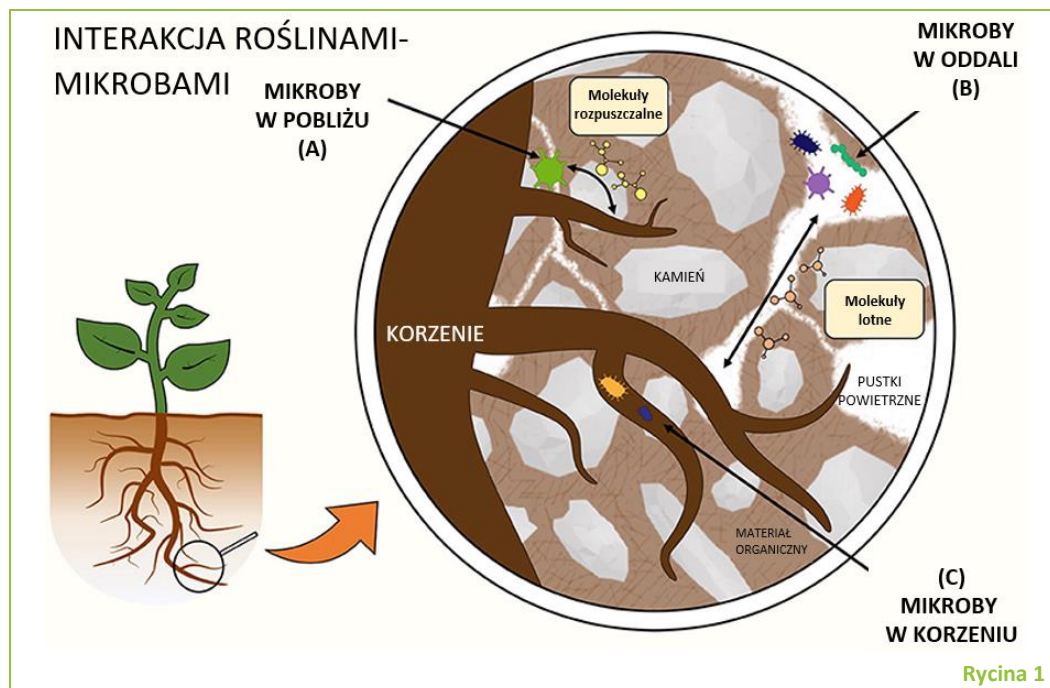
czy świeży chleb [1]. Jednak komunikacja chemiczna nie działa tylko w jedną stronę (od mikrobow do roślin), ale w dwie – rośliny także produkują związki które są zrozumiałe dla mikrobow.

Rycina 1

Interakcje między roślinami a mikroorganizmami w ryzosferze. Na rysunku widzisz trzy typy oddziaływań: **(A)** oddziaływanie między rośliną a mikroorganizmem żyjącym na powierzchni korzenia lub w jego pobliżu z użyciem związków rozpuszczalnych; **(B)** oddziaływanie między rośliną a mikroorganizmem żyjącym daleko od korzenia z użyciem związków lotnych; i **(C)** oddziaływanie z mikroorganizmami żyjącymi we wnętrzu korzenia, w bezpośrednim kontakcie z komórkami korzenia. Te wszystkie oddziaływania mają miejsce w glebie, która jest złożona z kamieni, kanałów powietrznych i materii organicznej.

VOCs

Z angielskiego: volatile organic compounds, czyli organiczne związki lotne, związki chemiczne produkowane przez różne organizmy, jak rośliny czy mikroby, do komunikacji na długie dystanse.



Rycina 1

JAKIE SĄ EFEKTY KOMUNIKACJI CHEMICZNEJ?

Tutaj możesz przeczytać o tym co się dzieje, kiedy mikroby zaczynają rozmawiać z roślinami.

Rośliny i mikroby pomagają sobie w zdobywaniu jedzenia

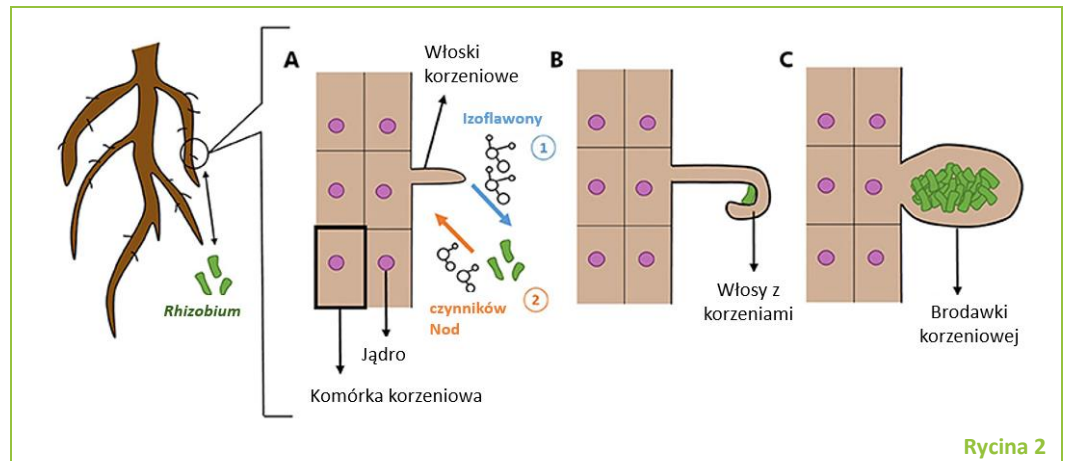
Wiele mikrobow żyjących w glebie pomaga roślinom rosnać, ponieważ potrafią one przetwarzać związki pokarmowe na takie, które rośliny potrafią przyswoić. Na przykład, bakterie zwane *Rhizobium* potrafią pobrać azot z powietrza (N_2) i zamienić go w inną formę: amoniak (NH_3). Taka transformacja nazywa się wiązaniem azotu i przebiega w glebie. Wiązanie azotu jest szczególnie ważne dla roślin, ponieważ potrzebują go, żeby rosnać, ale są w stanie pobrać wyłącznie NH_3 z gleby, a nie N_2 z powietrza. Poprzez transformację N_2 w NH_3 *Rhizobium* pomaga roślinom rosnać i sprawia, że stają się bardziej wytrzymałe.

Co ciekawe, *Rhizobium* potrafi się porozumieć tylko z niektórymi roślinami, a należą do nich na przykład fasola i groszek. Ale jak taka rozmowa wygląda? Najpierw roślina wysyła sygnał w postaci związków chemicznych zwanych izoflawonoidami do ryzosfery, w ten sposób wabiąc *Rhizobium*. Bakterie „słyszą” roślinę, która je „woła” i podążają w jej stronę. Już podczas drogi w stronę korzeni roślin, *Rhizobium* zaczyna produkować inne związki chemiczne, tak zwane czynniki Nod, które mówią roślinie, aby przygotowała specjalne miejsce zwane brodawkami korzeniowymi, gdzie *Rhizobium* może zamieszkać. W zamian za miejsce do życia i pożywienie (cukry) otrzymywane od rośliny, *Rhizobium* daje roślinie duże ilości NH_3 (Ryc. 2). Wskutek powyższego, rośliny, które pozwalają *Rhizobium* żyć na swoich korzeniach mogą lepiej rosnać. Zarówno dla roślin, jak i bakterii, wspólne życie przedstawia dużo korzyści,

ponieważ oba organizmy mają więcej pożywienia niż gdyby żyły osobno, a więc są w stanie szybciej i lepiej rosnąć [2].

Rycina 2

Skutki oddziaływań między roślinami a *Rhizobium* na strukturę korzenia. **(A)** Zwykły korzeń na początku chemicznej komunikacji. Najpierw roślina produkuje izoflawonoidy (1), później *Rhizobium* odpowiada poprzez produkcję czynników Nod (2). **(B)** *Rhizobium* przemieszcza się w stronę korzenia i przyczepia do włosnika (małutkiego korzonka) który później zmienia swój kształt, żeby przytulić bakterię tak, aby mogła ona wejść do wnętrza korzenia. **(C)** Formowanie się brodawki korzeniowej, w której wewnątrz bakterie rosną oraz gdzie cukry są wymieniane na azot.



Rycina 2

Mikroby pomagają roślinom chronić się przed chorobami i szkodnikami

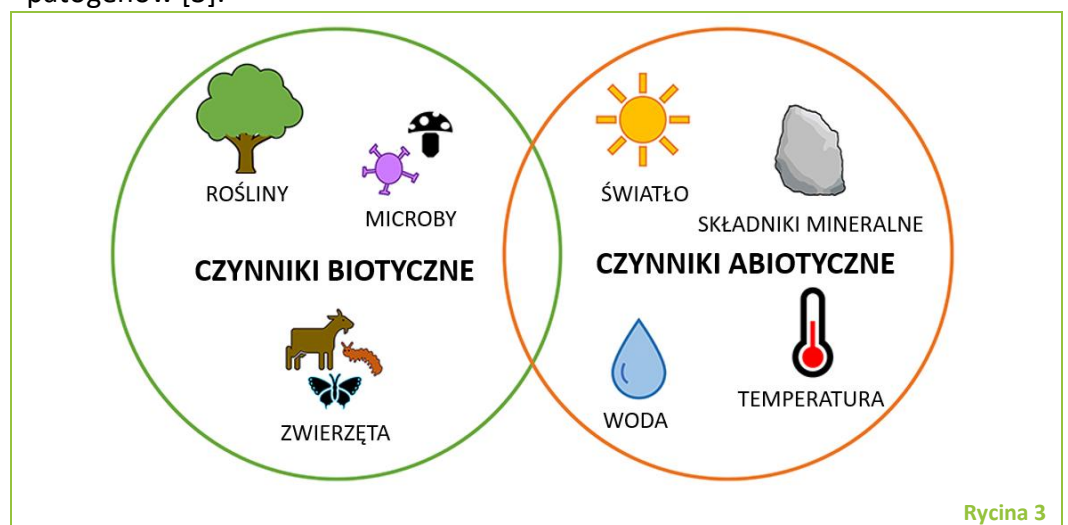
Czynniki ożywione (biotyczne) to żyjące elementy środowiska takie jak rośliny, zwierzęta i mikroby (Ryc. 3). Stres biotyczny to stres odczuwany przez roślinę czy zwierzę pod działaniem czynnika biotycznego, czyli na przykład złych mikroorganizmów (zwanymi patogenami) lub szkodników jakimi mogą być insekty. Dobre mikroby mogą pomóc roślinie w walce z patogenami w dwojaki sposób. Po pierwsze, mogą one odstraszać atakujących, a po drugie, aktywnie z nimi walczyć. Na przykład, niektóre dobre mikroby produkują lotne związki (VOCs), które powodują, że patogeny przestają rosnąć, a szkodniki przestają się interesować rośliną. Stosując drugą strategię, dobre mikroby mogą pomóc roślinie w walce z patogenem poprzez ostrzeżenie przed niebezpieczeństwem, tym samym dając czas roślinie na przygotowanie do obrony. Prawdopodobnie twoja mama każe ci w ziemi jeść dużo owoców, takich jak pomarańcze, ponieważ zawierają one dużo witaminy C. Witamina ta wspomaga twój układ odpornościowy i pomaga ci w ochronie przed chorobami, na które jesteś bardziej narażony w ziemi. Działa to dokładnie tak samo między roślinami a mikroorganizmami! Na przykład związki chemiczne produkowane przez bakterie *Pseudomonas fluorescens* pozwalają roślinie lepiej chronić się przed atakami patogenów [3].

CZYNNIK OŻYWIONY (BIOTYCZNY):

Żywy element środowiska, taki jak roślina, zwierzę lub mikrob.

Rycina 3

Najważniejsze czynniki biotyczne i abiotyczne oddziałujące na siebie w środowisku naturalnym. Wszystkie mają znaczący wpływ na wzrost roślin i mogą wpływać na chemiczną komunikację pomiędzy rośliną a mikroorganizmami w glebie.



Rycina 3

CZYNNIK NIEOŻYWIONY (ABIOTYCZNY):

Nieożywiony element środowiska, taki jak kamień, światło słońca lub woda.

Mikroby pomagają roślinom przetrwać w trudnym środowisku

Czynniki abiotyczne to nieożywione części środowiska naturalnego, do których należą światło słoneczne, ciepło i woda (Ryc. 3). Stres abiotyczny to negatywny wpływ tych czynników na żywy organizm. Przykładami stresu abiotycznego, który osłabia rośliny jest brak wystarczającej ilości wody albo za duże zasolenie środowiska (nie próbuj podlewać swoich roślin wodą morską!). Dobre mikroby mogą ułatwić roślinom życie w trudnym środowisku! Na przykład bakterie *Pseudomonas chlororapsis* O6 wspomagają roślinę i pomagają jej przetrwać okres suszy, kiedy w środowisku nie ma wystarczającej ilości wody [4]. Inne mikroby, na przykład bakterie *Bacillus subtilis*, pomogą roślinie przetrwać zbyt duże zasolenie poprzez zredukowanie ilości soli docierających do korzeni [5].

DLACZEGO ZROZUMIENIE KOMUNIKACJI CHEMICZNEJ JEST TAKIE WAŻNE?

Komunikacja chemiczna pomiędzy mikrobami i innymi organizmami żywymi ewoluuje od milionów lat. 450 milionów lat temu rośliny, które dotychczas rosły tylko pod wodą, zaczęły kolonizować lądy. Naukowcy uważają, że to żyjące w glebie grzyby jako pierwsze pomogły roślinom wyjść na ląd umożliwiając im pobieranie ważnych składników pokarmowych z gleby, a nie, jak wcześniej, tylko z wody [6]. Przez miliony lat chemiczna komunikacja pomiędzy mikrobami glebowymi była kluczowa w zapewnieniu roślinom dobrych warunków do życia. W tym artykule wyjaśniliśmy jak ważne dzisiaj są dla roślin interakcje z mikrobami. Dzięki nim roślinom łatwiej jest pozyskiwać składniki odżywcze, opierać się chorobom i szkodnikom oraz żyć w trudnym środowisku. Niestety, te wszystkie dobre skutki działania mikrobów są zagrożone! Używanie dużych ilości antybiotyków, pestycydów oraz nawozów sztucznych w rolnictwie powoduje poważne zmiany w glebie. W szczególności wśród złożonych społeczności mikrobów powodują one wymieranie lub zastępowanie dobrych mikrobów innymi. Takie zmiany mogą mieć tragiczne skutki dla roślin, na przykład nowe mikroby, mogą być patogenami!

Ludzi na naszej planecie jest coraz więcej, a każdy człowiek potrzebuje jedzenia, którego dostarczają rośliny. Dlatego potrzebujemy nowych sposobów, żeby zapewnić dobre plony oraz stałą produkcję żywności [2]. Mikroby są coraz częściej wykorzystywane jako naturalni pomocnicy w rolnictwie. Badanie interakcji między mikrobami a roślinami jest konieczne, aby zrozumieć, których mikrobów potrzebujemy, by wspomagać wzrost roślin. Musimy zwracać szczególną uwagę na to, żeby wybrać właściwe mikroby! Na przykład użycie grzyba nazwanego *Fusarium culmorum* wydaje się dobrym pomysłem, ponieważ pomaga niektórym roślinom rosnąć w środowisku o wysokim zasoleniu. Z kolei dla kukurydzy *Fusarium culmorum* jest patogenem powodującym choroby! Dlatego naukowcy starają się jak najlepiej zrozumieć język chemicznej komunikacji między mikrobami a roślinami, dzięki czemu możemy lepiej zrozumieć, jak funkcjonują ekosystemy, jak organizmy w nich żyjące oddziałują na siebie i co najważniejsze – możemy poznać interakcje, które pozwolą nam uzyskiwać wysokie plony i jednocześnie chronić środowisko.

LITERATURA

- [1] van Dam, N. M., Weinhold, A., and Garbeva, P. 2016. Calling in the dark: the role of volatiles for communication in the rhizosphere. *ISME J.* 12:1252–62. doi: 10.1007/978-3-319-33498-1_8
- [2] Tomer, S., Suyal, D. C., and Goel, R. 2016. “Biofertilizers: a timely approach for sustainable agriculture,” in *Plant-Microbe Interaction: An Approach to Sustainable Agriculture*, eds D. Choudhary, A. Varma, and N. Tuteja (Singapore: Springer). p. 375–95. doi: 10.1007/978-981-10-2854-0_17
- [3] Van Wees, S. C. M., Van der Ent, S., and Pieterse, C. M. J. 2008. Plant immune responses triggered by beneficial microbes. *Curr. Opin. Plant Biol.* 11:443–8. doi: 10.1016/j.pbi.2008.05.005
- [4] Garbeva, P., and Weiskopf, L. 2020. Airborne medicine: bacterial volatiles and their influence on plant health. *New Phytol.* 226:32–43. doi: 10.1111/nph.16282
- [5] Ortíz-Castro, R., Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., and López-Bucio, J. 2009. The role of microbial signals in plant growth and development. *Plant Signal. Behav.* 4:701–12. doi: 10.4161/psb.4.8.9047
- [6] Field, K. J., Pressel, S., Duckett, J. G., Rimington, W. R., and Bidartondo, M. I. 2015. Symbiotic options for the conquest of land. *Trends Ecol. Evol.* 30:477–86. doi: 10.1016/j.tree.2015.05.007

ZREDAGOWANY PRZEZ: Rémy Beugnon, German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Germany

ŹRÓDŁO: Ariotti C, Giuliano E, Garbeva P and Vigani G (2020) The Fascinating World of Belowground Communication. *Front. Young Minds* 8:547590. doi: 10.3389/frym.2020.547590

KONFLIKT INTERESÓW: Autorzy potwierdzają, że badanie zostało przeprowadzone bez żadnych komercyjnych lub finansowych relacji, które mogłyby być interpretowane jako możliwy konflikt interesów.

COPYRIGHT © 2020 Ariotti, Giuliano, Garbeva and Vigani. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

MŁODY KRYTYK



SHASHI PREETHAM, WIEK: 13

Hallo, mein Name is Shashi. Ich bin 13 Jahre alt und gehe auf die Penglais Schule. Ich spiele gerne Fußball und Basketball. Meine Lieblingsfächer sind Mathe und Informatik. Ich bin jetzt in der 8. Klasse. Ich bin vierfacher Guinness Weltrekordhalter in einem Spiel namens Rocket League und mein Name steht in der Guinness World Record Gamers Edition von 2018.

BIOGRAFIE AUTORÓW:



CHRISTIANA ARIOTTI

Niedawno skończyłam studia na Uniwersytecie w Turynie uzyskując tytuł magistra z biologii środowiskowej. Obecnie jestem doktorantką na Uniwersytecie w Turnie, gdzie badam komunikację między roślinami a mikroorganizmami glebowymi w środowisku niedoboru żelaza. W wolnym czasie lubię się wspinać (mieszkam blisko Alp!) i śpiewam w chórze.



ELENA GIULIANO

Niedawno skończyłam studia na Uniwersytecie w Turynie uzyskując tytuł magistra z biologii środowiskowej. Mam zamiar rozpocząć studia doktorskie w dziedzinie fizjologii roślin. Interesuję się interakcjami między mikroorganizmami a roślinami i ochroną roślin przed biotycznym i abiotycznym stresem. Lubię dzielić się swoją wiedzą i pomysłami z ludźmi z innych kręgów kulturowych, a w wolnym czasie kocham czytać i fotografować.



PAOLINA GARBEVA

Jestem kierowniczką grupy badawczej na wydziale Ekologii Mikroorganizmów w Holenderskim Instytucie Ekologii (NIOO) w Wageningen. W moich badaniach skupiam się na zrozumieniu chemicznych oddziaływań i komunikacji u mikroorganizmów glebowych.



GIANPIERO VIGANI

Jestem badaczem na Uniwersytecie w Turynie (Włochy). Moje badania skupiają się na zrozumieniu, jak rośliny pobierają związki pokarmowe i wodę z gleby i jak w glebie zachodzą interakcje

TŁUMACZE

ADAM OSSOWICKI

Instytut biologii, Uniwersytet w Lejdzie, Holandia

WERONIKA KAMOLA-UBERMAN

Wydział filologiczny, instytut anglistyki i amerykanistyki, Uniwersytet Gdański, Polska