



PIOKAL/SHUTTERSTOCK.COM

ROŚLINY ZE SOBĄ ROZMAWIAJĄ

Profesor Stanisław Karpiński opowiada o przełomowych badaniach nad roślinami. Rośliny komunikują się, zapamiętują i przetwarzają informacje.

Na czym polega komunikacja roślin?

STANISŁAW KARPIŃSKI: Potoczna wiedza o roślinie jest taka: jest żywa, ale nie czuje, nie reaguje, jak się ją np. niszczy. Nasze badania dowodzą jednak, że na poziomie komórkowym i ustrojowym jest równie zaawansowana co zwierzę. Ta komunikacja odbywa się przy wykorzystaniu sygnałów elektrycznych i chemicznych podobnie jak u zwierząt. Roślina ma mniej tkanek w porównaniu do zwierząt, ale za to jej komórki są bardziej złożone. Poza genomem mitochondrialnym i jądrowym ma jeszcze chloroplastowy, niezbędny do procesu fotosyntezy. Roślina reguluje swoją integralnością, prowadząc komunikację wewnętrzną między komórkami, od stożka wzrostu łodygi do stożka wzrostu korzenia. W dużych drze-

wach może się ona odbywać nawet na odległość kilkudziesięciu czy nawet kilkuset metrów.

Rośliny posiadają wyspecjalizowane komórki pochwy otaczające wiązki przewodzące (tzw. nerwy liści), które odgrywają analogiczną rolę do komórek nerwowych, żył i tętnic. Sygnały elektryczne systemowo i sieciowo regulują m.in. proces fotosyntezy w zależności od natężenia światła, podobnie jak my regulujemy oddychanie w zależności od wysiłku. Przykładowo, zaledwie parę procent powierzchni korony drzew jest wystawionych na bezpośrednie promienie słońca. Oświetlone liście muszą w jakiś sposób informować te będące w cieniu o temperaturze, natężeniu absorbowanego światła itp., żeby pomóc im się aklimatyzować. Proces ten odbywa się za pomocą sygnałów chemicznych



**prof. Stanisław
Mariusz Karpiński**

Jest biotechnologiem pracuje w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, pracował jako profesor na Uniwersytecie Sztokholmskim. Laureat pierwszego konkursu Welcome 2008 Fundacji na rzecz Nauki Polskiej. Jest członkiem rzeczywistym Towarzystwa Naukowego Warszawskiego.
stanislaw_karpiński
@sggw.edu.pl

(hormonalnych), elektrycznych i tzw. reaktywnych form tlenu (RFT). RFT to pośrednie produkty metabolizmu tlenowego, powstające podczas oddychania czy fotosyntezy. Charakteryzują się np. jednym niesparowanym elektronem bądź odwróceniem spinu elektronu w cząsteczce tlenu.

Co to znaczy, że rośliny komunikują się na poziomie komórek?

Przekazywanie sygnałów i informacji w nich zawartych zachodzi m.in. między chloroplastami a jądrem komórkowym, w czym pośredniczą tzw. stromule (przypominające rurkę w rurce). W komunikacji międzykomórkowej uczestniczą plazmodezmy, połączenia międzykomórkowe przechodzące przez specjalne otwory w ścianie komórkowej roślin niczym przez mikrodurszlak. W ten sposób RFT, sygnały elektryczne czy hormonalne mogą być przekazywane między organellami czy z komórki do komórki. Przewodnictwo sygnałów elektrycznych u roślin jest dużo wolniejsze niż np. u człowieka. U nas elektrochemiczne sygnały nerwowe rozchodzą się z prędkością około 2 m na sekundę, a np. w rzodkiewniku pospolitym czy mniszku lekarskim mniej więcej 5 mm na sekundę. Istnieją jednak wyjątki, bo u mimozy czy muchołówki sygnały elektrochemiczne dorównują prędkością tym u zwierząt.

Czy możemy mówić o altruizmie wśród roślin? Raczej o symbiozie czy równowadze i współdziałaniu ekosystemu roślinnego.

A co rośliny sobie „mówią”?

Wiedząc o tym, zadaliśmy sobie pytanie, czy taki wewnętrzny elektrochemiczny sygnał (systemowy) może się wydostać na zewnątrz i czy może być przekazywany do innej rośliny. Okazuje się, że tak i że jest to sygnał bardzo skomplikowany. To nie jest tylko bodziec. Rośliny przekazują sobie bardzo precyzyjną informację, którą można by przetłumaczyć jako „zaatakował mnie szkodnik” czy „absorbuję za dużo światła”. Roślina może np. poinformować roślinę obok, że znalazła wodę w suchym terenie. Kiedy na wiosnę kwitną mniszki lekarskie i ktoś wchodzi na łąkę i je przydepcze, to stykające się liście sąsiednich mniszków informują kolejne: „Zostałem zraniony, przygotujcie się na stres”, wysyłając określony sygnał elektryczny (o określonej amplitudzie i częstotliwości). Co więcej, ten sygnał może być odczytany i przetworzony przez drugą roślinę, która dzięki temu

może się przygotować (zaaklimatyzować) na taką czy inną sytuację stresową.

Czy rośliny pomagają sobie tylko wewnątrzgatunkowo?

Z całą pewnością rośliny komunikują się międzygatunkowo. Dlaczego – to jest jak na razie pytanie za milion dolarów. Czy możemy mówić o altruizmie wśród roślin? Raczej o symbiozie czy równowadze i współdziałaniu ekosystemu roślinnego, które są znane w naturze. Zwierzęta tworzą społeczności i wzajemnie sobie pomagają. Rośliny też – zarówno w ramach jednego gatunku, jak i wielu różnych. Najlepszym na to przykładem jest las czy łąka. W tych ekosystemach nic nie jest przypadkowe, ich uczestnicy współdziałają i współzależą od siebie. Jednak czy rośliny potrafią oszukiwać inne rośliny na swoją korzyść? Wiemy, że są skupiska roślin, które się tolerują lub nie, wiadomo, że rośliny chemicznie potrafią się nawzajem odstraszać, więc teoretycznie jest to możliwe, choć jeszcze niezbadane. Takie mechanizmy są przejawem znanej wśród zwierząt konkurencji gatunków, a ta z kolei jest jednym z mechanizmów doboru naturalnego.

A jak udało się dokonać tego przełomowego odkrycia?

Piętnaście lat temu odkryto system komunikacji międzykorzeniowej, który jednak potrzebuje pośrednika – grzybni. Korzenie za pomocą grzybni potrafią się nawzajem informować sygnałami elektrycznymi, czy istnieje jakieś zagrożenie, jakiego regionu należy unikać, bo gleba jest toksyczna, gdzie znajduje się woda lub potrzebne minerały. Korzenie mają ukierunkowany wzrost, dlatego są tak rozbudowane, bo szukają wody, minerałów i związków organicznych.

Odkryliśmy, że rośliny mogą się też komunikować bez pośrednika na powierzchni (nie w glebie), przez stykające się liście. To jest nie tylko kompletnie nowy, nieznaną dziedziną w nauce w fizjologii roślin, lecz także w sposobie myślenia o przyrodzie i otaczającym nas świecie. Dawniej uważało się, że tworzenie społeczności i komunikowanie się jest domeną zwierząt. Ale rośliny również mają sposoby komunikowania się między sobą: nadają sygnał, przetwarzają go, generują odpowiedzi. Jedna roślina na przekaz zareaguje silniej, a inna słabiej w zależności od tego, na ile jest zaaklimatyzowana do danego rodzaju stresu.

Jak na to wpadliśmy? Wszystko zaczęło się od badania przekazu sygnałów RFT. Powierzchniowy sygnał elektryczny przekazywany przez liście rośliny pozostaje w ścisłym związku z procesem fotosyntezy. W jednym z wielu przeprowadzonych przez nas eksperymentów dwie rozetki mniszków stykały się za pośrednictwem tylko końców pojedynczych liści (były połączone kroplą wody). Jeden z nich był dodatkowo połączony obwodem elektrycznym (kablem) z mimozą. W pew-

nym momencie dotknęliśmy punktowo rozgrzanym drutem liść pierwszego mniszka (nie ten stykający się z drugą rośliną). Oparzony przez nas liść przekazał informację, najpierw systemowo do drugiego liścia tej samej rośliny, a ten z kolei do liścia drugiego mniszka. Sekundę po punktowym dotknięciu rozgrzanym drutem jednego liścia mniszka mimoza zwinęła liście, co jest u niej reakcją na dotyk przez zwierzę. Mniszek nie zamyka liści, ale reakcja mimozy dowodzi, że przekazał informację sygnałem elektrycznym i RFT o punktowym oparzeniu. Oznacza to, że sygnał ten jest uniwersalny dla różnych gatunków roślin. Profesor Ron Mittler, zaprzyjaźniony biolog z Uniwersytetu Missouri w Columbii, miał dostęp do nowoczesnego systemu obrazowania sygnałów RFT rozchodzących się w liściach. To obrazowanie udowodniło, że sygnały RFT rozprzestrzeniają się wolniej niż sygnały elektrochemiczne. W publikacji *Plant Cell* opisaliśmy eksperymenty zarówno na kilku gatunkach roślin, jak i na modelowej roślinie – rzodkiewniku pospolitym. Chodziło o to, żeby pokazać nie tylko to, że ten sygnał istnieje, i jego fizjologiczne cechy, lecz także jego cechy molekularno-komórkowe, tzn. to, jakie kanały jonowe są zaangażowane w przekaz tych sygnałów. Sama wiedza, że istnieją takie sygnały elektryczne w obrębie rośliny, jest dostępna od 1875 roku, ale nikt wcześniej nie wiedział, jakiego rodzaju informacje są przekazywane tymi sygnałami elektrycznymi i że informacje o stresie mogą być przekazywane z rośliny na roślinę przez stykające się liście tych samych lub różnych gatunków roślin.

Na ile złożone są to procesy?

Stopień komplikacji połączeń elektrycznych u roślin służących do komunikacji między fotosystemami jest niesamowity. Udowodniliśmy eksperymentalnie, że te sygnały elektryczne regulują przeznaczenie zaabsorbowanej energii. Wyobraźmy sobie drzewo, które ma około tysiąca liści. W jaki sposób jedno liście informują inne, jak mają gospodarować zaabsorbowanym światłem, jak dużo mają go rozproszyć pod postacią ciepła i fluorescencji, a jak dużo przeznaczyć na rozczepienie ładunku elektrycznego (na fotochemię)? Nasze najnowsze odkrycie dowodzi, że każde centrum reakcyjne w chloroplastach jest skomunikowane z każdym innym centrum reakcyjnym nie tylko w obrębie rośliny, ale i między stykającymi się liśćmi różnych roślin. W jednym chloroplastcie jest kilka tysięcy centrów reakcyjnych. W jednej komórce jest kilkanaście czy kilkadziesiąt chloroplastów i tysiące komórek w jednym liście. Na małym drzewie mamy około tysiąca liści, a na kilku drzewach, które stykają się swoimi koronami, może być nawet ich kilka tysięcy i tworzą one sieć połączeń. Z rachunku wynika, że liczba możliwych połączeń komunikacyjnych między centrami reakcyjnymi fotosystemów w małym drzewie sięga biliona, a między drzewami nawet



trylionów możliwych połączeń. To jest sieć połączeń tak skomplikowana niemal jak w mózgu i systemie nerwowym ssaków – to jest niewiarygodne! Dlatego ten proces nazwaliśmy sieciowo nabytą aklimatyzacją, (ang. *network acquired acclimation* – NAA).

Oczywiście rośliny nie mają mózgow, ale sieć połączeń, która nieustannie sygnalizuje, analizuje i przetwarza informacje, potrafi systemowo i sieciowo zmieniać przeznaczenie energii zaabsorbowanych fotonów. Możemy to porównać do reakcji naszych źrenic na zmieniające się natężenie światła, które jest regulowane na podobnych zasadach. Co więcej, rośliny fizjologicznie zapamiętują te informacje. To jest pamięć fizjologiczna, którą my też mamy. Wytrenowane mięśnie pamiętają trening – przy przeszczepie serca okazuje się, że biorca serca odczuwa potrzebę uprawiania sportu, np. biegów długodystansowych, bo serce dawcy było przyzwyczajone do takiego wysiłku. Razem z sercem przeszczepiamy jego układ nerwowy, a serce po mózgu jest jednym z najbardziej unerwionych organów. U biorcy „domaga się” podobnego rytmu wysiłku. Podobna pamięć fizjologiczna i pamięć stresu występuje u roślin, nazwaliśmy ją pamięcią świetlną bądź kwantową pamięcią komórkową. Nazwa wzięła się od tego, że liście roślin fizjologicznie zapamiętują stres nadmiaru światła, czyli najwyższe natężenia światła z przeszłości (z kilku dni) po to, by lepiej się aklimatyzować i bronić przed infekcjami. By zapamiętać stres nadmiaru światła, komórki liści – a właściwie ich fotosystemy – muszą być wyposażone w molekularno-kwantowy mechanizm zdolny do precyzyjnego zliczania liczby zaabsorbowanych fotonów w jednostce czasu. W 2015 i 2020 roku odkryliśmy, że białkiem odpowiedzialnym za „zliczanie” absorbowanych fotonów i za pamięć stresu nadmiaru światła jest białko 22 kDa fotosytemu II, czyli białko PsbS, regulujące proces niefotochemicznego wygaszania energii.

ROZMAWIAŁA DR JUSTYNA ORŁOWSKA

Chcesz wiedzieć więcej?

Cisak K., Kulasek M., Barczak A., Grzelak J., Maćkowski S., Karpiński S.M., *PsbS is required for systemic acquired acclimation and post-excess-light-stress optimization of chlorophyll fluorescence decay times in Arabidopsis*, „Plant Signaling & Behavior” 2015.

Górecka M., Lewandowska M., Dąbrowska-Bronk J., Białasek M., Barczak-Brzyzek A., Grzelak M., Mielecki J., Kozłowska-Makulska A., Gawroński P., Karpiński S.M., *Photosystem II 22kDa protein level – a prerequisite for excess light-inducible memory, cross-tolerance to UV-C and regulation of electrical signalling*, „Plant, Cell & Environment” 2020.

Szechyńska-Hebda M., Lewandowska M., Witoń D., Fichman Y., Mittler R., Karpiński S.M., *Aboveground plant-to-plant electrical signaling mediates network acquired acclimation*, „The Plant Cell” 2022.