

**Př**

**PŘÍRODOVĚDCI.CZ**

Magazín Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy 01/2024

TÉMA ČÍSLA

# **KOŘENY**

Rostliny s podzemní pojistkou

8

Skrytá síla pod povrchem

16

Expedice Kolumbie '24

32

# Den fascinace rostlinami 2024

**17. 5. 2024**

Botanická zahrada PŘF UK

(Na Slupi 16, Praha 2)





## MILÍ ČTENÁŘI,

slovo kořen je v různých spojeních hojně zastoupeno v naší slovní zásobě, v lidových rčeních a kouzelných metaforách. Tam, kde „chybí kořeny“, ať už v biologickém nebo duchovním světě, je to pro nás anomálie, něco vzácného, podivného, nutícího nás k prozkoumání příčin. Musíme do hloubky, ta věc je skryta, láká tajemstvím. Kořeny bývají pod povrchem, v podzemí – nejen politika, i botanici užívají slovo „underground“. Nadzemní část rostliny kořeny stabilizují, vyživují, zprostředkují reakci na změny v rhizosféře. Spolu se synuziemi mikroorganismů, z nichž symbiotické houby znásobují povrch pro příjem půdního roztoku s ionty minerálů, plní funkci transportu a komunikace rostliny s pestrým substrátovým prostředím. Rozmanitost tvarů a funkčních adaptací kořenů napříč biomy budí úžas a upoutala i řadu badatelů naší univerzity. Ze zakladatelů ských postav např. anatoma a fyziologa prof. B. Němce, v novější době z katedry botaniky prof. J. Jeníka, protagonistu oboru kořenových systémů nebo doc. J. Kubíkovou, která studovala synuzie půdních hub. Většina autorů tohoto čísla představuje několikátou generaci stojící na jejich ramenou. Věřme, že po přečtení jejich textů se vám téma bude jevit stejně fascinující, jako jim.

Inspirativní čtení přeje

**prof. RNDr. Pavel Kovář, CSc.**  
katedra botaniky

# Obsah



## CO NOVÉHO

- 4 | Ptačí vejce je (téměř) sterilní
- 5 | Rok 2024 je rokem kosatce
- 6 | „Zelená proměna“ ledovcových řek
- 7 | Tajemná šelma z Valče

## TÉMA – KOŘENY

- 8 | Rostliny s podzemní pojistkou
- 12 | Pozoruhodný svět kořenů
- 14 | Život na toxických ostrovech
- 16 | Skrytá síla pod povrchem
- 18 | Kořenové exudáty a rhizodepozice
- 20 | Tajemství kořenových pátračů
- 22 | Spojenci pod zemí
- 24 | Kořenové čistírny odpadních vod

## ROZHOVOR S PŘÍRODOVĚDCEM

- 26 | Průkopnice molekulární biologie

## PŘÍRODOVĚDCI UČITELŮM

- 28 | Přírodovědci v Didaktikonu

## STUDENTI

- 29 | Studentský velemlok 2023

## 1 | 2024 | ROČNÍK XIII.

### NÁZEV

Přírodovědci.cz – magazín  
Přírodovědecké fakulty Univerzity  
Karlovy

### PERIODICITA

Čtvrtletník

### CENA

Zdarma

### DATUM VYDÁNÍ

20. 3. 2024

### NÁKLAD

11 000 ks

### EVIDENČNÍ ČÍSLO

MK ČR E 20877 | ISSN 1805-5591

### EDITOR

Petr Souček  
petr.soucek@natur.cuni.cz

### REDAKČNÍ RADA

GEOLOGIE  
Mgr. Lukáš Laibl, Ph.D.  
Mgr. Filip Tomek, Ph.D.

### GEOGRAFIE

RNDr. Jakub Jelen, Ph.D.  
RNDr. Tomáš Matějček, Ph.D.

### BIOLOGIE

Mgr. Martin Čertner, Ph.D.  
Mgr. Petr Šípek, Ph.D.  
Mgr. Veronika Rudolfová

### CHEMIE

RNDr. Pavel Teplý, Ph.D.  
doc. RNDr. Petr Šmejkal, Ph.D.  
prof. RNDr. Jan Kotek, Ph.D.

### KOORDINÁTOR PROJEKTU

Mgr. Michal Andrlé, Ph.D.  
michal.andrle@natur.cuni.cz

### KOREKTURY

imprimis

### GRAFIKA

Štěpán Bartošek

### TISK

Trianglprint

### ILUSTRACE NA OBÁLCE

Foto Jan Martínek

### VYDAVATEL | ADRESA REDAKCE

Univerzita Karlova  
Přírodovědecká fakulta  
Albertov 6, 128 43 Praha 2  
IČO: 00216208 | DIČ: CZ00216208

[www.natur.cuni.cz](http://www.natur.cuni.cz)

Přetisk článků je možný pouze se  
souhlasem redakce a s uvedením zdroje.

© Přírodovědecká fakulta  
Univerzity Karlovy 2024

## KULTURA

- 30 | Ptáci, město, příběh hrdiny

## NAŠE PUBLIKACE

- 31 | Rozumění skrze tvar
- 31 | Stopy a jejich výklad

## PŘÍRODOVĚDCI OBRAZEM

- 32 | Expedice Kolumbie '24

## PŘÍRODOVĚDA AKTUÁLNĚ

- 36 | Po hlasu poznáte je

## TIP NA VÝLET

- 37 | Jarní flóra Bubovických vodopádů

## VYZKOUŠEJTE SI DOMA

- 38 | Papírové „lekníny“

## KALENÁŘ PŘÍRODOVĚDCŮ

- 39 | Kalendář Přírodovědců

# Ptačí vejce je (téměř) sterilní

Čeští vědci prokázali, že bakterie kolonizují vejce až po vylíhnutí

O tom, zda mohou rodiče různých živočišných druhů včetně lidí předávat svým potomkům „užitečné“ bakterie už během embryonálního vývoje, se v biologii vede bouřlivá debata. Rozlousknout tuto otázku však není jednoduché, neboť bakterie žijí téměř všude a snadno mohou kontaminovat nástroje či chemikálie používané ve výzkumu. Tím mohou výrazně zkreslit výsledky vědeckých studií.

Nejnovější výzkumy provedené u lidí ovšem ukazují, že vyvíjející se embryo je u savců za fyziologických podmínek sterilní, jelikož bakterie přes placentu nepronikají. První bakterie tak trávicí trakt savčích mláďat kolonizují pravděpodobně až během porodu. Jak je tomu ale u ptáků, kde placenta neexistuje, k porodu nedochází a zárodek je po dlouhou dobu vývoje odkázán jen sám na sebe a vejce, které jej chrání?

Na tuto otázku se pokusila odpovědět studie českých vědců publikovaná v mezinárodním časopise *FEMS Microbiology Ecology*. Práce vznikala pod vedením doc. Michala Vinklera z Přírodovědecké fakulty UK a Martin Těšického z Ústavu biologie obratlovců AV ČR a Veterinární fakultě Ludwig-Maxmiliánovy Univerzity v Mnichově. V mezioborovém týmu byli rovněž vědci z Českého hydrometeorologického ústavu a Univerzity v Granadě.

„U ptáků se na rozdíl od savců embryo vyvíjí ve vejci, které obsahuje nutričně bohatý bílek a žloutek. Na jedné straně je sice chráněno skořápkou a dalšími vaječnými obaly, z nichž zejména bílek je nabitým koktejlem látek ničících bakte-



▲ Sýkora koňadra a snůška sledovaných vajec. Foto Ondřej Prosícký a Martin Těšický

rie (tzv. antimikrobiálními proteiny), ale na druhé straně je vejce v hnízdě mnohem více vydáno na pospas mikrobům z okolního prostředí,” popisuje Michal Vinkler.

Výzkum probíhal na dlouhodobě sledované populaci volně žijícího pěvce – sýkoře koňadře (*Parus major*), která hnízdí v budkách v Ďáblickém a Čimickém háji v Praze. Z asepticky odebraných vzorků stanovili vědci složení mikrobiomu vajec krátce po snesení, které pak srovnali se složením mikrobioty trávicího traktu embryí těsně před vylíhnutím. Využili při tom postupy molekulární genetického mikrobiálního metabarcodingu založeného na sekvenování genu pro bakteriální 16S rRNA. Složení mikrobioty vajec pak porovnali s komunitami bakterií získaných ze vzorků trusu samic odchycených na stejných hnízdech.

Zatímco vejce odebrané bezprostředně po snesení prakticky žádnou bakte-

riální DNA neobsahovala, ve střevě vyvíjejícího se embrya byly u části vajec nalezeny velmi málo početné bakterie několika rodů, které se však příliš nepodobaly složení mikrobiomu z trusu samic. To by mohlo naznačovat, že některé bakterie mohou kolonizovat vejce přes póry ve skořápce během inkubace na hnízdě (tzv. trans-shell kolonizace). I to se však patrně děje jen velmi vzácně. „Naše výsledky tak ukazují, že ptačí vejce je krátce po snesení téměř sterilní a že k masivní kolonizaci trávicího traktu bakteriemi dochází u ptáků až po vylíhnutí,” říká Martin Těšický.

Výsledky studie ukazují, že bakterie se u ptáků typicky přenáší z matky na potomka obdobně jako u savců, tedy až po vylíhnutí. Tato práce tak přispívá nejen k základnímu pochopení evolučních vztahů mezi mikrobiy a jejich hostiteli, ale přináší také praktické poznatky uplatnitelné v zoohygieně a veterinárním lékařství. ●

# Rok 2024 je rokem kosatce

**Kosatce sibiřský (*Iris sibirica*) ohrožují nejen lidé, ale i jeho příbuzní**

ČESKÁ BOTANICKÁ SPOLEČNOST

Ačkoliv její jméno odkazuje na Sibiř, je tato nápadná, modře kvetoucí rostlina v Česku původním druhem. Přirozeně se vyskytuje od střední Evropy až po jezero Bajkal na vlhkých a střídavě vlhkých loukách, případně na vlhkých narušovaných půdách (daří se mu například na cvičných plochách v některých vojenských prostorech). Se změnami v krajině však populace kosatce sibiřského na řadě míst zanikly. Na vině jsou úpravy vodního režimu (regulace vodních toků a odvodňování pozemků), intenzivní hospodaření na loukách (hnojení a příliš časté kosení) nebo naopak jejich opouštění a zarůstání dřevinami. Proto je u nás kosatec sibiřský řazen mezi chráněné a ohrožené druhy.

Kosatce jsou dekorativní rostliny, které byly od nepaměti pěstovány pro okrasu, a kosatec sibiřský není výjimkou. Doklady o jeho využití v zahradách sahají do 17. století. Pod označením „sibiřské kosatce“ je pak na trh vedle kosatce sibiřského dodáván i další, podobný kosatec krvavý (latinsky *Iris sanguinea*), původní ve východní Asii, a řada kultivarů nejasného původu.

Mimo lidská sídla nebyl výskyt zmíněného kosatce krvavého dlouho znám. Vše se však změnilo v roce 2021, kdy revize fotografií na webu iNaturalist.org zahraničním specialistou ukázala, že



u nás tento druh zplaňuje již nejméně od roku 2003. Celou tu dobu byl přitom českými botaniky přehlížen a nalezené rostliny byly považovány za kosatec sibiřský. „Celý případ ukazuje na nutnost rozhledu i za hranice naší české kotliny a spolupráce se zahraničními odborníky. Také aktivity amatérských přírodovědců a existence internetových platforem pro sdílení pozorování tu hrají nezastupitelnou roli,“ říká Pavel

◀ **Kvetoucí trs kosatce sibiřského.** Foto Petr Koutecky, CC BY 3.0 CZ

Kúr, botanik z Univerzity Jana Evangelisty Purkyně a člen České botanické společnosti, který spolu s kolegy na výskyt nepůvodního druhu kosatce u nás poprvé upozornil.

Kosatce krvavý může navíc pro náš původní a chráněný kosatec sibiřský představovat nebezpečí, pakliže se dostane na jeho lokality. Mezi druhové křížení totiž může vést k oslabení původních populací, v krajním případě až k jejich zániku. Dosud jsou známy dvě lokality, kde se oba druhy potkaly, a aktuálně probíhá výzkum věnovaný právě podchycení možných kříženců. I proto se botanici v roce 2024 na kosatec sibiřský zaměří, a spolu s ním i na jeho východoasijský protějšek kosatec krvavý. V průběhu roku budou oba druhy blíže představeny formou popularizačních článků i exkurzí. Údaje o jejich

výskytu, a to jak od botanické obce, tak široké veřejnosti, budou velmi vítány. ●

**Další informace získáte po načtení QR kódu.**



# „Zelená proměna“ ledovcových řek

Díky ústupu ledovců rozkvétá v horských řekách mikrobiální život



◀ Tým vědců z projektu *Vanishing Glaciers* v Ugandě v roce 2022.

Zdroj EPFL/Matteo Tolosano

ru,“ vysvětluje hlavní autor článku Tyler Kohler z katedry ekologie PŘF UK a bývalý postdoktorand v laboratoři RIVER. „Jak ledovce ustupují a poptávka řas a dalších mikroorganismů po fosforu roste, může tento prvek představovat pro život ve vysokohorských řekách významné omezení.“ Fosfor, klíčový stavební prvek života, se tak stane v ekosystémech níže po proudu řeky ještě vzácnějším, což může mít na jejich potravní síť zatím neznámé dopady.

Tato zjištění podporuje i předchozí článek z projektu *Vanishing Glaciers* zveřejněný v *Royal Society Open Science* v srpnu 2023. V něm autoři analyzovali mikrobiom malé horské řeky napájené ledovcem v pohoří Rwenzori v Ugandě, kde je „zelená přeměna“ již v pokročilé fázi. Složení živin a enzymů zde bylo také značně odlišné a řasy byly hojné. „To, co se děje s ledovcem Rwenzori, nám poskytuje představu o tom, jak budou vypadat švýcarské řeky napájené ledovcem za 30 nebo 50 let,“ říká Battin. Jedním z důsledků této změny může být, že tyto řeky budou hostit stále více mikrobiálního života a tím budou hrát také větší roli v biogeochemických cyklech, jako je výměna CO<sub>2</sub>.

Tým RIVER plánuje ve své výzkumné práci pokračovat. Jeho členové se v současnosti věnují sčítání mikrobiální biodiverzity v potocích napájených ledovci a pomocí různých linií genomických informací zkoumají, jak jsou různorodé mikroorganismy schopny přežít v jednom z nejextrémnějších sladkovodních ekosystémů na Zemi. ●

Horské řeky napájené ledovcem jsou v létě kalnými, bouřlivými toky. Velké množství vody způsobuje pohyb kamenů a sedimenty, což zabraňuje pronikání světla ke dnu řeky. Nízké teploty a sníh v ostatních ročních obdobích zase neposkytují příležitost pro vznik bohatého mikrobiomu. Spolu s ústupem ledovců vlivem globálního oteplování však objem vody pocházející z ledovců klesá a řeky se stávají teplejšími, klidnějšími a průzračnějšími. Řasám a dalším mikroorganismům to dává příležitost k růstu jejich počtu a mohou proto více přispívat k místním uhlíkovým a živinovým cyklům.

Takový je aspoň závěr výzkumu týmu vědců z EPFL v Lausanne a Přírodovědecké fakulty UK, který na toto téma publikoval článek v prestižním časopise *Nature Geoscience*. Studie se zakládá na vzorcích nasbíraných ve 154 horských

řekách napájených ledovcem po celém světě v rámci projektu *Vanishing Glaciers* („Mizějící ledovce“), který financuje Nadace NOMIS. „Jsme svědky hlubokých změn na úrovni mikrobiomu v těchto ekosystémech – není to nic menšího než ‚zelená přeměna‘ kvůli zvýšené primární produkci,“ říká Tom Battin, profesor v Laboratoři říčních ekosystémů (RIVER) na EPFL v Lausanne.

Vědci se ve svém výzkumu zaměřili na živiny, jako je dusík a fosfor, ve vodě řeky, stejně jako na enzymy, které mikroorganismy žijící v sedimentu na dně řeky k využití těchto živin produkují. Poté sledovali změny v obou těchto faktorech v rozsáhlém spektru řek napájených ledovcem, které se liší ve velikosti. „Ekosystémy horských řek napájených ledovcem obecně disponují omezeným množstvím uhlíku a živin, zejména fosfo-



zástupce kočkovitých šelem v Evropě. Ty se zde objevily před zhruba 34 miliony let po výrazném globálním ochlazení, v jehož důsledku došlo k poklesu hladin oceánů, což usnadnilo migraci těchto predátorů mezi Asií a Evropou.

„Již v roce 2017 se ukázalo, že výzkum bude oproti předpokladu časově náročnější, protože čelist byla velmi neobvyklá a řešili jsme také problémy s datováním geologických vrstev. Výzkum obnášel jemnou preparaci a odkrytí druhé strany zubů do té doby skrytých v hornině. Podle morfologie chrupu jsme následně odlišili, že se jedná o doposud neznámý druh kočkovitých šelemy,“ říká Boris Ekrť. Šelma z Valče se od rodu *Anictis* liší značně primitivním chrupem, který ještě není uzpůsobený výhradně k lovu a konzumaci masité potravy. Nejpodobnější jí tak jsou některé nálezy ze stejného či mírně staršího období pocházející až z Mongolska.

„Na základě dochované čelisti nelze s jistotou říci, ke které z dnes žijících skupin šelem náleží z Valče evolučně patří. Prozrazuje nám však něco o způsobu života tohoto zvířete. Charakterem zubů a čelisti se *Fejfarictis* nejvíce podobá dnes žijícím promykám a cibetkám a právě ony nám mohou posloužit jako předobraz této starobylé šelmy. Jednalo se o menší zvíře, které se živilo aktivním lovem drobných obratlovců, ale zcela jistě neopovrhlo ani různými bezobratlými či dokonce bobulemi,“ říká Jan Wagner, paleontolog Národního muzea, který se na výzkumu rovněž podílel.

S unikátním nálezem se budou moci seznámit návštěvníci Národního muzea už od letošního června, a to v přírodovědné expozici *Okna do pravěku*. ●

## Tajemná šelma z Valče

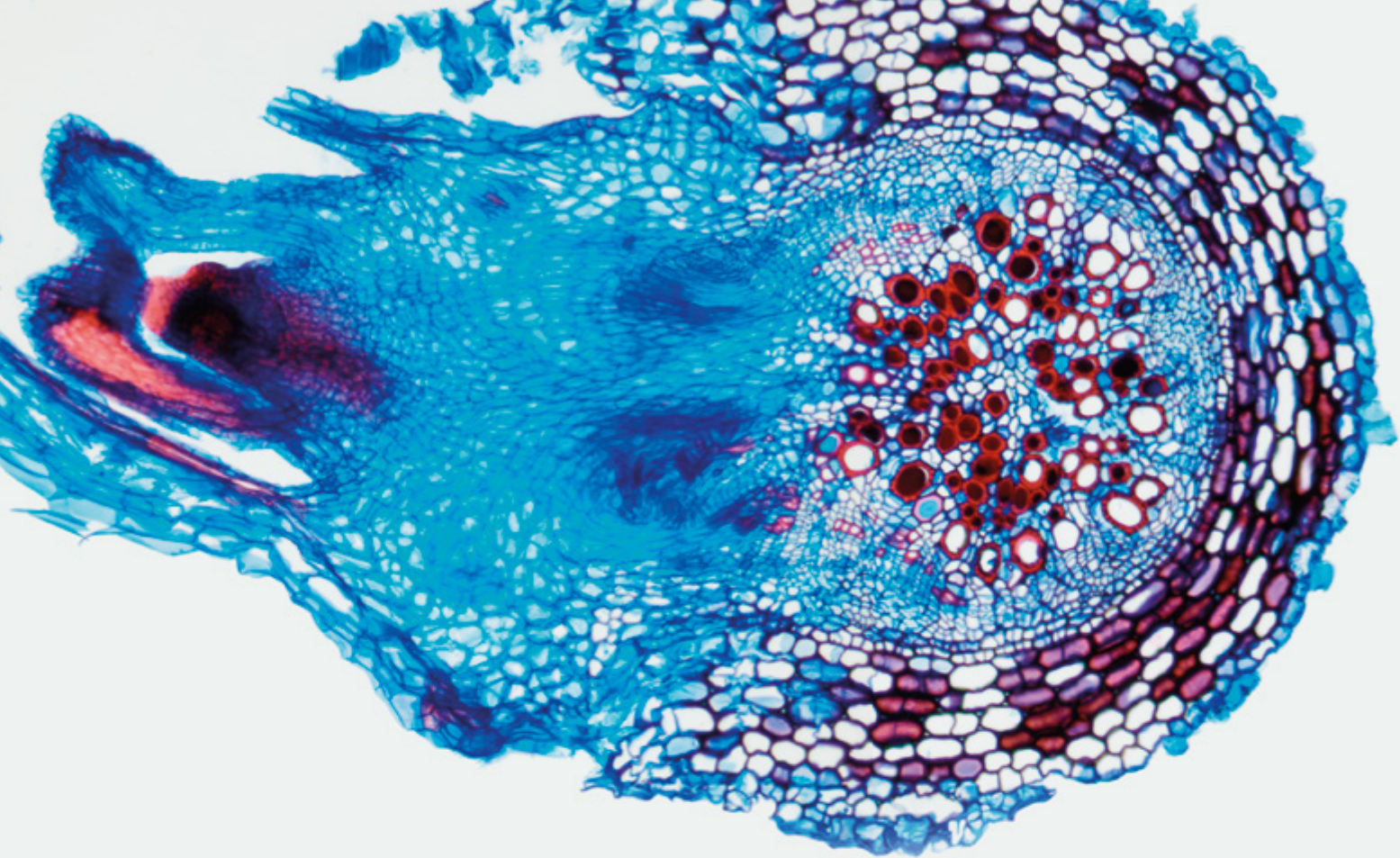
### Paleontologové objevili dosud neznámý druh pravěké šelmy

Významný nález, který představuje jediný doklad tohoto druhu na celém světě, se podařil paleontologům Borisovi Ekrťovi z Národního muzea a Lucii Kunstmüllerové z Přírodovědecké fakulty UK. Při geologickém výzkumu v roce 2017 v okolí Valče na Karlovarsku našli levou spodní čelist zvířete z období raných třetihor, u níž se při pozdějším podrobném zkoumání ukázalo, že jde o dosud neznámý a nepopsaný druh šelmy.

Čelist byla nalezena v geologických vrstvách starých zhruba 33–34 milionů let, což odpovídá raným třetihorám, tedy období, ve kterém jsou nálezy šelem v Evropě ještě poměrně vzácné. Násle-

dující několikaletý výzkum, realizovaný specialisty z Národního muzea, Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy, České geologické služby a francouzské University v Poitiers, prokázal, že čelist náleží velmi ranému zástupci kočkovitých šelem. Do této skupiny patří například dnes žijící kočkovitá šelma, cibetka, promyka či hyena.

Doposud neznámý rod a druh byl popsán jako *Fejfarictis valecensis*, dle místa nálezu a na počest významného českého paleontologa a popularizátora tohoto oboru profesora Oldřicha Fejfa (1931–2023). Šelma z Valče představuje spolu s francouzským rodem *Anictis* první



# Rostliny s podzemní pojistkou

JITKA KLIMEŠOVÁ



### ◀ **Anatomický řez kořenem sasanky lesní (*Anemone sylvestris*) s pupenem.**

Foto Alexandre Ferraro

Všichni víme, že rostliny mají nejen svou nadzemní část, ale také neméně důležitou podzemní. Nejedná se však zdaleka jen o kořeny, které pro rostlinu v půdě získávají vodu a v ní rozpuštěné minerální látky. Některé rostliny si pod zem umístily kupříkladu pojistku pro přežití nepříznivého období roku či narušení. Podle lidského vzoru nazýváme tuto pojistku bankou pupenů. Jde o zásobu meristémů, ze kterých mohou znovu vyrůst nadzemní orgány – stonky a listy – poté, co o ně rostlina přijde.

Banka pupenů se většinou vyskytuje na orgánech stonkového původu (oddenky) nebo vzácněji na kořenech. Kromě pupenů obsahuje zásoby cukrů, které jsou při vyrůstání použity jako zdroj energie a stavebních látek. Tato pojistka není zadarmo – rostlina do ní investuje zdroje, které by jinak použila na výškový růst nebo produkci semen, a není proto divu, že rostliny investující do podzemní banky pupenů jsou v nevýhodě, když narušení nakonec nepřijde.

### **MALÝ A VELKÝ OHEŇ**

Kvůli ceně, jakou rostliny za banku pupenů platí, je logické, že ji najdeme hlavně u rostlin v opakovaně narušovaných společenstvech a sezonním klimatu. Sezonní období s mrazem a sněhem nebo naopak s nedostatkem srážek a vysokými teplotami, pravidelné požáry, spásání, ale také záplavy nebo

▶ **Oman britský (*Inula britannica*) z čeledi hvězdnicovitých – mateřská rostlina s malými dceřinými rostlinkami vyrostlými z pupenů na kořenech.**

Foto Jitka Klimešová

zemědělské využití, to všechno jsou faktory, které rostliny s bankou pupenů zvýhodňují. Například tropické trávníky, které kvůli nashromáždění suchých částí rostlin jednou za 1 až 3 roky hoří, přečkají rychlý, a ne příliš intenzivní požár právě díky podzemním orgánům s bankou pupenů. Křovitá společenstva v okolí Středozevního moře hoří méně často, jen jednou za 3 až 10 let, a požár je intenzivnější, a přesto vegetace již brzy po spálení z podzemních orgánů zase vyrazí.

Problém pro rostliny s bankou pupenů nastává, když se lidé rozhodnou vegetaci před požáry bránit, třeba kvůli ohrožení domů. Zavedená opatření mohou být účinná i řadu let, ale nevyhnutelně, obvykle nešťastnou náhodou, nakonec požár vypukne. Protože se ve společenstvech nashromáždilo mnoho rostlinného materiálu, který požár sytí, jeho následky jsou pak katastrofální jak pro lidská sídla, tak pro rostlinné společenstvo. Nízké rostliny inves-

tující do banky pupenů byly v období, kdy byl oheň vyloučen, nahrazeny vysokými rostlinami, které na požár nejsou přizpůsobeny a nyní, když jsou všechny nadzemní části spáleny, nejsou schopny regenerovat – nemají pojistku proti ohni, banku pupenů. Vegetace se samozřejmě po čase obnoví ze semen, která přežila v půdě nebo na spálené místo přiletěla po požáru, ale do té doby je půda ohrožena erozí a společenstvo náchylné k invazi nepůvodních rostlin.

### **NA LOUCE I NA POLI**

Podobně jako u častých požárů spoléhají na banku pupenů i naše luční byliny. Dokud je louka pravidelně, obvykle jednou za rok, kosena, převažují na ní rostliny s bankou pupenů pod zemí a při povrchu půdy, které jsou nízké a mají přizemní listovou růžici, čímž minimalizují ztráty kosením. Jakmile louku přestaneme kosit, začnou se šířit druhy bylin, které nemají listovou růžici, ale jsou schopné dorůst větší výšky,



a postupně zatlačí malé byliny. Nakonec se na louce uchyťí stromy a keře a původně druhově bohaté společenstvo je nahrazeno mladým lesem.

S bankou pupenů se setkáme i u některých plevelů na orné půdě. Většina je jich krátkověkých a sází na to, že bude schopna vyprodukovat semena před tím, než bude půda zorána. Vytrvalé plevele, jako například pcháč oset, se naproti tomu spoléhají na banku pupenů. Tyto rostliny mohou vytvořit pupen na každém kousku kořene, který pluh naseká, takže boj s nimi se trochu podobá boji Herkula s Hydrou z řecké mytologie.

### TRVALKY A KEŘE S PUPENY...

Na banku pupenů spoléhají hlavně vytrvalé byliny a keře, zatímco jednoleté byliny a stromy mají jinou strategii. Jednoletky zkrátily svou délku života tak, aby se narušení (orbou nebo mrazem) zcela vyhnuly, a stromy se specializují na místa, kde je narušení velmi vzácné, například jednou za desítky až stovky let. Některé stromy najdeme ale například i v často hořících savanách. Je to tím, že po dosažení určité velikosti jim rychlý a nepřítliš intenzivní oheň neublíží,

protože kmen mají chráněný silnou kůrou a k větvičkám se oheň nedostane.

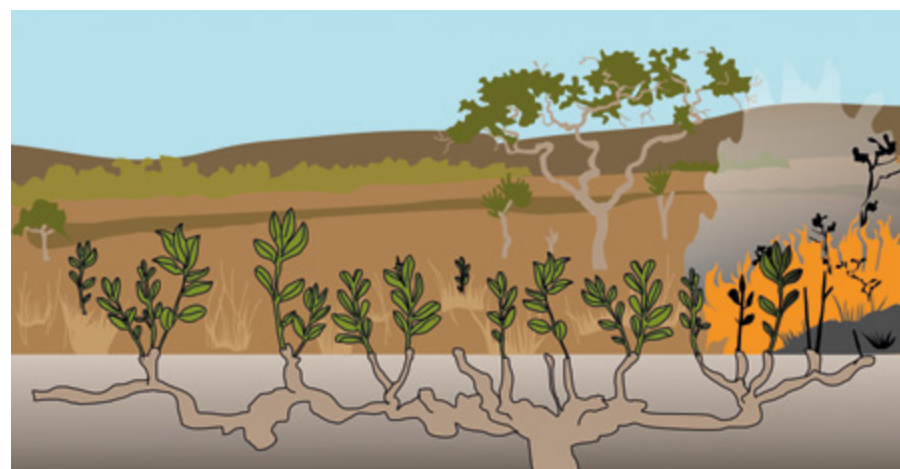
### ... A JEJICH EVOLUCE

Banka pupenů je typická pro byliny a ty se opakovaně vyvinuly z dřevinných předků ve třetihorách, kdy se klima začalo ochlazovat a vysušovat a vznikly první bylinné (otevřené) ekosystémy. Bylinnost je totiž strategie, jak přežít nejen disturbanci jako oheň nebo kosení, ale také jak přežít mrazivou zimu nebo horké a suché léto. Protože ke vzniku bylinnosti došlo opakovaně v různých taxonomických skupinách, jsou zásobní orgány nesoucí banku pupenů u bylin ve srovnání s dřevinami velmi různorodé. Zatímco u dřevin převládá kombinace ztlustělého dřevnatého kořene s bázemi stonků, zvaná dřevitá hlíza (lignotuber), u bylin můžeme rozlišit různé typy oddenků, kořenové a stonkové hlízy nebo cibule.

Co mají obě skupiny – byliny a dřeviny – společného, je to, že bohatost forem zásobních orgánů nesoucích banku pupenů lze podle toho, který orgán zásobu pupenů nese: stonk nebo kořen, rozdělit do dvou skupin.



▲ *Acalypha polymorpha* má pod zemí masivní dřevnatou hlízu (lignotuber) a roste v geoxylních trávnicích v africké Tundavale. Travníky zažívají častý oheň, ale i mraz, a podzemní dřevnaté orgány, které slouží jako zásobárna pupenů a cukrů nezbytných pro obnovu nadzemní biomasy po narušení, jsou zde častou adaptací. *Linoryt Jiřka Klimešová*



▲ V tropických trávnicích lze nalézt zajímavou růstovou formu, kterou nazýváme podzemní strom. Jedná se o dřevinu, která je kromě nejmladších větviček, listů a květů celá schovaná pod zemí, kde ji požár neohrožuje. *Zdroj Těla rostlin, kresba Alena Bartušková*

Zatímco všechny stonky rostliny, nejen ty na zásobních orgánech uložených mimo dosah narušení, nesou pupeny, kořeny obvykle žádné nenesou a jejich funkcí je hlavně získávání živin. Přesto je v naší flóře asi 10 % rostlin schopných na kořenech pupeny vytvořit a po narušení z nich regenerovat. V evoluci je tato schopnost odnožovat z kořenů nezávislou cestou tvorby banky pupenů a nachází se hlavně u druhů, které netvoří podzemní stonky, jako jsou dřeviny nebo krátkověké (obvykle dvouleté) byliny. Jak bylo uvedeno výše, mít pupeny na kořenech je skvělá strategie pro vytrvalé plevele orné půdy.

### VZNIK KLONŮ

Zásobní orgány s bankou pupenů mají v životě rostliny i další funkce. Slouží například ke klonálnímu rozmnožování, tj. k produkci nezávislých rostlin nikoli s pomocí semen, ale třeba růstem

oddenků nebo produkcí hlíz. Oddenky také umožňují rozrůstání rostliny horizontálním směrem, zabírání prostoru a pohybu ve společenstvu. Ačkoliv u rostlin pohyb obvykle neočekáváme, klonální růst rostlinám umožňuje pomalu se pohybovat. Tím se vyhnou konkurenci jiných rostlin, dostanou se na příznivější stanoviště a rozmnoží se, i když podmínky pro kvetení nebo pro uchycení semenáčků nejsou příznivé.

Oddenky, cibule a hlízy nesou jemné kořeny, které pro rostlinu získávají vodu a v ní rozpuštěné minerální látky, a ovlivňují, jak budou tyto kořeny rozmístěny v půdě, jak budou dlouhodobé a jestli bude rostlina investovat spíše do délky kořenů a hloubky kořenění, nebo do zabírání nového prostoru v horizontálním směru. Rostliny se zásobním hlavním kořenem investují především do jeho růstu a mohou dosáhnout velkých hloubek kořenění. Na suchých místech tak využívají vodu z hlubokých půdních horizontů. Rostliny s oddenkem naopak produkují každý rok nový přírůstek oddenku s novými kořeny a starý přírůstek i s kořeny ztrácí. Jemné kořeny nemají čas růst do přílišné délky a rostliny koření mělce, zato však mohou (jako klon propojených nadzemních částí) porůstat velkou plochu.

### HROZBA KLIMATICKÝCH ZMĚN

Rostliny s bankou pupenů jsou přizpůsobeny narušením a sezónním nepřízním, jako je mraz a sucho, takže

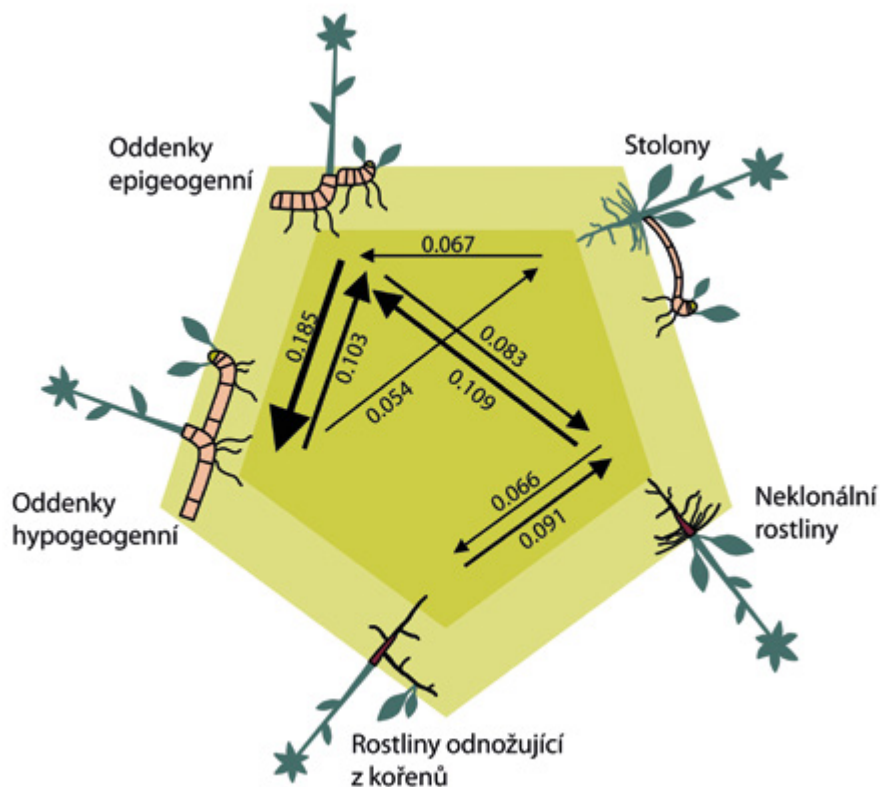
► **Pravděpodobnosti evoluce různých typů podzemních orgánů z rostliny, která je neklonální a má vytrvalý hlavní kořen. Čím vyšší číslo a tlustější šipka tím větší pravděpodobnost přechodu. Evoluce odnožování z kořenů (banka pupenů na kořenech) je nezávislá na evoluci různých typů oddenků (banka pupenů na stoncích).** *Zdroj: Těla rostlin, kresba Alena Bartušková*

by se mohlo zdát, že jim změny klimatu nebo intenzifikace lidského vlivu na přírodu nemohou ublížit. Opak je však pravdou. Aby rostliny s bankou pupenů mohly využít svých skvělých schopností, musí napřed banku pupenů a zásoby cukrů vybudovat, což jim nějakou dobu trvá, a jsou proto po přechodnou dobu zranitelné. Další podmínkou je, že narušení je do určité míry pravidelné a předpověditelné. Například louky jsou koseny každý rok, savany hoří každých několik let nebo křoviska u Středozevního moře hoří jednou za deset roků. Oba tyto požadavky, čas k budování banky pupenů a předpověditelnost prostředí, nemusí být za probíhajících změn klimatu splněny, a mnoho rostlin spoléhajících na regeneraci z banky pupenů je tudíž ohroženo.

Mělo by nám záležet na ohrožených rostlinách opakovaně narušovaných sta-

novišť? Určitě ano, každý druh je unikát, který, vyhyne-li, je nenahraditelný. Navíc se ztrátou celých ekosystémů ztratíme nejen druhy, ale také ekosystémové funkce nebo služby. Opakovaně narušované ekosystémy mají na zeměkouli obrovské rozšíření. Všechny ty tropické trávníky, stepi, nebo křovinná společenstva hostí velkou druhovou bohatost a kvůli změně klimatu jsou ohroženy výkyvy srážek a teplot, ale také zalesňováním, převodem na zemědělskou půdu, fragmentací, změnou obhospodařování nebo invazemi nepůvodních druhů. Když tato otevřená společenstva ztratíme, ztratíme také možnost ukládání uhlíku v půdě, přijdeme o léčivé rostliny pro mnoho lidí a v neposlední řadě ztratíme zdroj píce a prostředí pro život mnoha druhů dalších organismů – třeba spásáčů afrických savan a jejich predátorů. ●

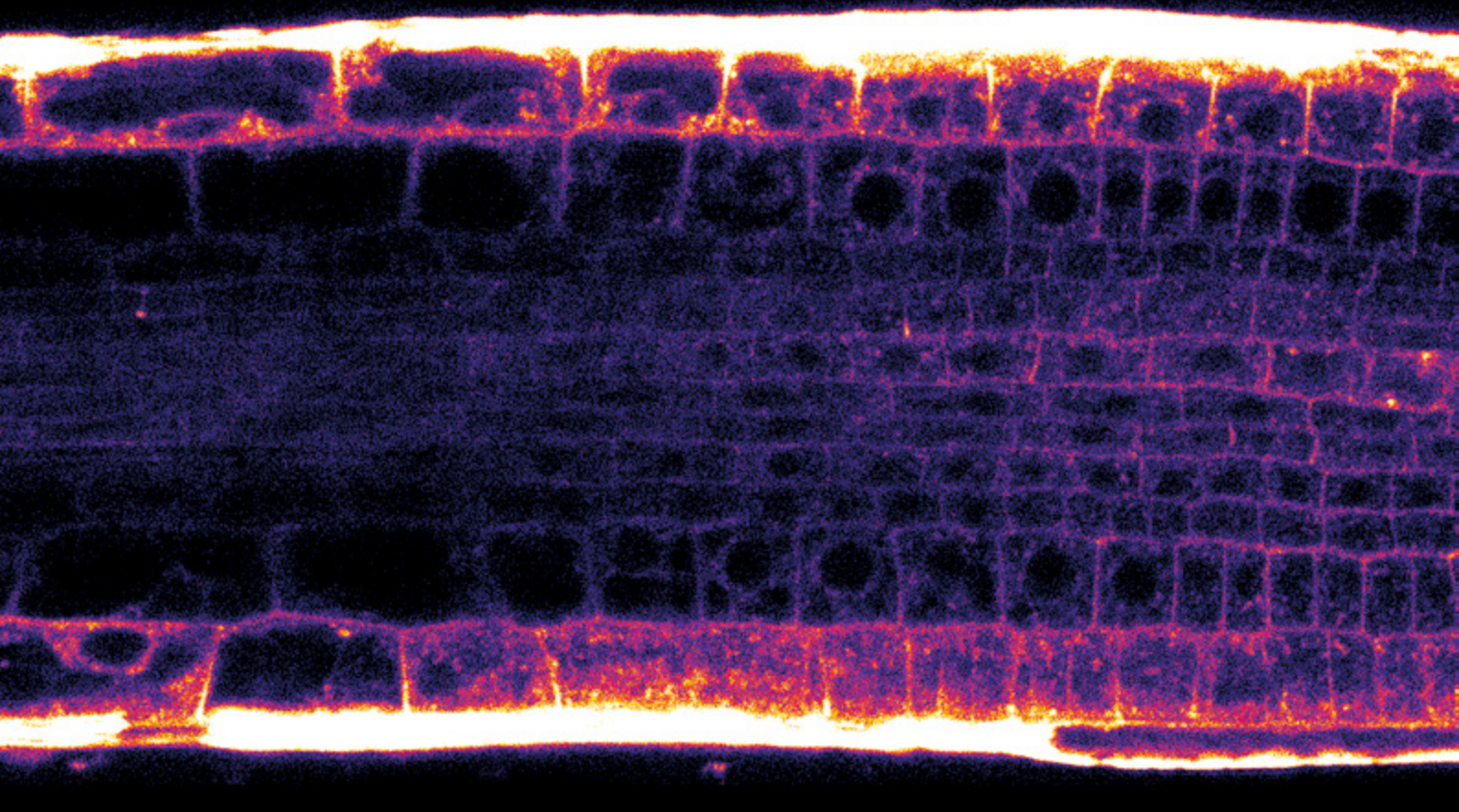
AUTORKA PŮSOBÍ NA KATEDŘE BOTANIKY



# Pozoruhodný svět kořenů

Neviditelná část rostlin optikou experimentálních biologů

MATYÁŠ FENDRYCH



Kořeny jsou našim očím obvykle skryty, neboť kolonizují neprůhledné a pro nás nedostupné prostředí. Vytvářejí v něm složité systémy se stanovenou hierarchií a architekturou, která odráží jejich funkce. Architektura vzniká interakcí mezi kořeny a prostředím a rovněž komunikací individuálních kořenových špiček mezi sebou a s nadzemní částí rostliny.

## KOLONIZACE PŮDY

Hlavní rolí kořene je nejprve „najít“ půdu a poté v ní rostlinu pevně ukotvit, aby mohla vzpřímeně růst. Pak kořen

půdu kolonizuje – vrůstá mezi její heterogenní části, zabírá vhodnou niku v prostoru půdy, hledá vodu, těží ze svého okolí minerální živiny a navazuje kontakt, případně spoluprací s houbami a bakteriemi v půdě. Zároveň musí udržet svoji integritu a nebýt okamžitě rozložen mikroorganismy – pokožka kořene představuje fascinující rozhraní, které umí absorbovat vodu a živiny a zároveň chránit kořen před zničením.

Tvary kořenových systémů jednotlivých rostlin se mezi druhy liší podobně, jako se liší tvar jejich nadzemních částí.

Složité architektura kořenového systému je určena několika málo procesy: rychlostí a směrem růstu jednotlivých kořenů a vytvářením nových kořenů. Změnami parametrů těchto procesů mohou rostliny docílit rozsáhlých a mělkých kořenových systémů, kdy jednotlivé kořeny rostou hlavně vodorovně, nebo hlubokých kořenových systémů, kdy kořeny rostou směrem dolů. Je zřejmé, že tvar systému odpovídá podmínkám, jimž je rostlina přizpůsobená. Překvapivé je, že některé rostliny ve snaze předejít nedostatku vody v sušších obdobích měří pomocí

◀ **Optický řez kořenovou špičkou modelové rostliny huseníčku (*Arabidopsis thaliana*), ve které jsou buňky zvýrazněny podle membránového potenciálu; čím silnější signál, tím depolarizovanější plazmatická membrána.** Foto Nelson BC Serre.

kořenového systému objem půdy, který mají k dispozici, a adekvátně tomu upravují růst nadzemní části.

Kořenové špičky dokážou vnímat několik podnětů, podle kterých upravují směr růstu. Kořenová čepička detekuje směr gravitace, kořenové špičky většinou rostou směrem od světla, umí interpretovat gradienty vlhkosti, detekují zasolení, umí vyhodnocovat kompaktnost půdy a pravděpodobně i reagují na elektrická pole. Schopnost přizpůsobit směr růstu podle gravitace je v temnotě půdy klíčová a funguje jako kompas. Kořeny ovšem nemusí vždy růst prostě dolů – postranní kořeny kolonizují prostor do šíře a úhel růstu navíc umí upravovat podle dostupnosti živin, které se nachází spíše ve vrchních vrstvách půdy.

## TAJEMNÉ ŘÍZENÍ

Experimentální biologie už od časů Darwina zkoumá, jaké fyziologické, buněčné a molekulární procesy umožňují sofistikované chování kořenových špiček. Na rozdíl od živočichů chybí rostlinám centrální řízení a nervová síť, a přesto spolu jednotlivé orgány a části rostlin komunikují, posílají si signály, odpovídají na ně a činí rozhodnutí. Rostlinné rozhodování je distribuované a necentralizované a jedním ze způsobů, jak mezi sebou buňky komunikují, je, že si předávají malou informační molekulu, samu o sobě bezcennou, která se jmenuje auxin. Buňky auxin přijímají a hned jej posílají dál pomocí specifických přenašečů – PIN proteinů, které se asymetricky lokalizují na membrány buněk a udávají tak směr toku auxinu.

Přestože struktura, a tedy funkce PINů byla nedávno objasněna, stále nerozumíme tomu, jak buňky rozhodují o polární lokalizaci těchto proteinů. Různé buněčné typy kořene exprimují různé množství a typy auxinových přenašečů a liší se i mírou metabolismu tohoto fytohormonu. Proto některé buňky auxin hromadí, což spouští celou kaskádu odpovědí – změnu genové exprese, růst buněk nebo dělení. Odpověď se liší podle typu orgánu, množství auxinu a času působení. Transport auxinu a auxinová signalizace jsou zásadní pro odpověď kořenů na směr gravitace – když se poruší mezibuněčné posílání auxinu nebo auxinová signální dráha, ztratí kořen schopnost orientace v prostoru.

Mezibuněčný transport auxinu, jeho percepce a buněčně specifické odpovědi na něj nehrají roli jen v gravitropismu, ale představují fascinující oblast výzkumu, protože jejich pochopení znamená pochopení toho, jak rostliny koordinují a tvarují svá mnohobuněčná těla. Stále ještě nerozumíme několika základním principům v auxinové biologii – mimo jiné tomu, jak rostliny dokážou koordinovat buněčnou polaritu během vývojových procesů a jak je dekodována morfogenní informace, kterou auxin nese.

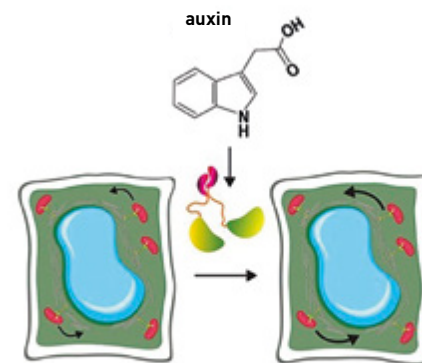
## KOŘENY HUSENÍČKU

Nezastupitelným experimentálním modelem buněčné a molekulární biologie (pro studium auxinové signalizace) je kořen modelové rostliny *Arabidopsis thaliana*. Důvodem je, že jemné kořeny *Arabidopsis* mají málo vrstev buněk, a jsou tak skvěle přístupné pro (nejen) konfokální mikroskopii. Zároveň je velmi lehké vytvářet transgenní rostliny *Arabidopsis*, u kterých můžeme (skoro) dle libosti vypínat jednotlivé geny nebo vkládat geny pro fluorescenční proteiny a označovat si

tak aktivitu genů a buněčnou lokalizaci proteinů. Objevy, které učiníme v kořenech, navíc většinou platí i pro jiné části rostliny, které jsou minimálně z pohledu mikroskopie hůře přístupné než kořeny.

Současná věda má bezprecedentní technické možnosti – neuvěřitelně rychlou a citlivou mikroskopii, techniky masivního sekvenování RNA nebo citlivou proteomiku. Máme v ruce genetické nástroje, o kterých se nám dřív ani nesnilo. Na mikroskopické úrovni máme šanci vidět fascinující dynamiku buněčných procesů, kdy buňky během vteřin reagují na změnu podnětů, jako je světlo, dotek nebo chemický signál přicházející zvenčí. Je tedy téměř jisté, že kořeny rostlin budou i v budoucnu základem pro zásadní objevy toho, jak tyto fascinující bytosti svým specifickým způsobem vyřešily mnohobuněčnost. ●

AUTOR PŮSOBÍ NA KATEDŘE  
EXPERIMENTÁLNÍ BIOLOGIE ROSTLIN



Kontrola cytoplazmatického proudění

▲ **Rostlinný fytohormon auxin hraje klíčovou roli v tvorbě jednotlivých rostlinných orgánů, koordinaci růstu a zásadně ovlivňuje životní cyklus rostliny. Je známo, že vyvolává rychlé i pomalé buněčné reakce u rostlin a řas.**



# Život na toxických ostrovech

Adaptace divokých příbuzných huseníčku na jedovaté půdy

FILIP KOLÁŘ, VERONIKA LIPÁNOVÁ

Půdy kontaminované těžkými kovy se zpravidla nacházejí v okolí důlních ložisek, skládek nebo továren. Méně se však ví, že podobně toxická stanoviště se v přírodě vyskytují i zcela přirozeně. Jedním z nejedovatějších míst pro život rostlin jsou výchozy hadců. Pro tyto horniny je typický nadbytek hořčíku na úkor vápníku a také extrémně vysoké koncentrace těžkých kovů, především niklu, chromu a kobaltu. Zajímavé hadcové lokality známe i z Česka, například ze Slavkovského lesa a okolí Mohelna nebo Želivky, a naši vědci tak mohou zkoumat způsoby, jakými se rostliny na toto extrémní prostředí adaptují, hned za našimi humny. Hadce se navíc

v krajině vyskytují jako izolované ostrovy, na kterých dokáže přežít pouze hrstka dobře přizpůsobených druhů. Slouží tedy jako „přírodní laboratoře“, v nichž opakovaně probíhá experiment adaptace rostlin na toxické půdy.

## UŽITEČNÝ BRATRÁNEK

Rostliny se s toxickými obsahy prvků v půdě mohou vyrovnávat prostřednictvím celé řady adaptací, zejména v pletivech orgánu, který s půdou přímo sousedí – kořene. Dále jsou možné i adaptace v listech, například řízeným ukládáním těžkých kovů do vakuol. Zatímco o mechanismech hospodaření rostlin s ionty a těžkými kovy se ví již

poměrně mnoho, jednou z neznámých stále zůstává evoluční podstata těchto adaptací. *Pomocí jakých genů se rostliny přizpůsobují těmto extrémním výzvám? Odkud se vzaly alely (varianty genů), které tuto adaptaci podmiňují? A pokud rostlina opakovaně kolonizovala různé hadcové lokality, pomohly jí k tomu tytéž genové varianty?*

Výzkum probíhající na katedře botaniky PřF UK se před časem zaměřil na genetickou podstatu adaptace u řeřišničníku písečného (*Arabidopsis arenosa*), původně nehadcového druhu z příbuzenstva modelového huseníčku *Arabidopsis thaliana*, který opakovaně osídlil pět

◀ **Národní přírodní rezervace Mohelenská hadcová step se nachází nad meandrem řeky Jihlavy nazývaným „Čertův ocas“.** *Zdroj Shutterstock.com*

hadcových výchozů v Česku a Rakousku. To mělo dvě zásadní výhody. Zaprvé, předmětem studia byl výsledek adaptace v přirozených podmínkách, a to u druhu, který je „bratránkem“ nejlépe probádaného modelu rostlinné genetiky. Bylo tak možno zkoumat zajímavé geny, jelikož je pravděpodobné, že o jejich funkci a projevu (fenotypu) již bude něco známé u huseníčku. Zadruhé, pět nezávisle adaptovaných populací poskytuje pětinasobný přírodní „evoluční experiment“, který umožnil zkoumat obecné evoluční procesy.

### HLEDÁNÍ GENŮ

Aby byly nalezeny geny za adaptaci pravděpodobně zodpovědné, bylo zapotřebí provést sekvenování celých genomů, tedy kompletní genetické informace přítomné v buňce. To je nový přístup, který byl umožněn až masivním rozvojem technik sekvenování DNA v poslední dekádě. Porovnáním genomů hadcových a nehadcových rostlin *Arabidopsis* byla nalezena konkrétní místa na chromozomech, kde se adaptované populace výrazně odlišovaly. Takových genů bylo přibližně šedesát, což napovídá, že hadcová adaptace není triviální problém řešitelný pomocí jednoho univerzálního „hadcového genu“, ale spíše jemně vyladěná souhra více různých procesů.

Nalezené geny zodpovídaly například za přepravu iontů přes buněčné membrány, reakci na ionty kovů nebo iontovou rovnováhu v buňce. Tedy procesy, které

▶ **Divoká populace *Arabidopsis arenosa* na hadcovém výchozu v Rakousku.**

*Foto D. Požárová*

se při adaptaci na chemicky zvláštním půdy mohou hodit. Zvláště překvapivá byla míra sdílení adaptivních hadcových variant mezi populacemi: v drtivé většině případů se jednalo o tytéž alely, které selekce podmíněná nehostinnými podmínkami hadcových půd opakovaně vybrala v různých hadcových populacích. Jinými slovy, genetický materiál umožňující adaptaci je sdílený a rostliny *A. arenosa* mohou tuto zásobárnu vhodných variant opakovaně využívat.

### VÝJIMKA POTVRZUJE PRAVIDLO

Je zajímavé, že obdobnou adaptaci ze stávající genetické variability (angl. *standing variation*) využívají i jiné organismy rychle se přizpůsobující novým výzvám prostředí, jako například ryby obývající znečištěné vody nebo polní plevele odolávající herbicidům. Protože ale v biologii nic neplatí sto procentně, vyskytl se i jeden gen, u něhož možnou adaptivní výhodu zajistily až opakované nové mutace v sekvenci DNA. Tento gen hraje důležitou roli ve stresové signalizaci a „hadcové“ mutace pravděpodobně určují, jak dobře budou přijímány vápenaté ionty, kterých je v hadcových půdách nedostatek.

Jedná se o gen velmi konzervovaný, který funguje například i u člověka, kde transportuje sodík. Jak ukázaly počítačové modely 3D struktury tohoto proteinu, naše „hadcové“ mutace se navzdory tomu nachází právě v evolučně konzervované části ovlivňující průchodnost tohoto kanálu pro ionty. Zda je vliv mutací na propustnost iontů skutečně takový, bude potřeba ověřit pomocí cílených genetických experimentů, které jsou u *Arabidopsis* snadno proveditelné.

Jak to ve vědě bývá, odpověď na jednu otázku vede k mnoha dalším. *Mohou se pomocí těchto genů adaptovat i jiné, evolučně vzdálenější druhy? Jaké vlastnosti genů zvyšují pravděpodobnost, že poslouží k opakované adaptaci? Je možné díky lepšímu porozumění těmto mechanismům evoluci předpovídat?* Odpovědi na tyto otázky se botanici snaží nalézt v rámci nového projektu Junior Star, zaměřeného na genetickou proměnlivost 15 druhů z čeledi brukvovitých, které rostou v centru evropské hadcové flóry – na Balkánském poloostrově. ●

AUTOŘI PŮSOBÍ NA KATEDŘE BOTANIKY





# Skrytá síla pod povrchem

Kořeny mají zásadní vliv na uspořádání celých rostlinných společenstev

TOMÁŠ DOSTÁLEK,  
ANNA FLORIANOVÁ,  
ZUZANA MÜNZBERGOVÁ

Již od pradávna lidé vědí, že není dobré rok co rok na jednom políčku pěstovat stále tu samou plodinu. To, že ovocné stromy špatně rostou na místech, kde byly předtím pěstovány stromy stejného druhu, je prokazatelně známo už 2 000 let. Podobný efekt byl postupně pozorován i u mnoha dalších zemědělských plodin a z toho důvodu byl kvůli zvýšení výnosů zaveden systém střídání plodin. Co však za tímto jevem stojí, zůstávalo dlouho nejasné.

## VYČERPANÁ PŮDA

To, že na změnu půdních vlastností mají nějaký vliv zejména kořeny, bylo zřejmě již prvním zemědělcům. Za důvod horšího růstu plodin opakovaně pěstovaných na stejném políčku bylo však pokládáno pouze vyčerpání živin. Zemědělci proto nechávali pole ležet i po několik let ladem, aby se půda „zotavila“ a výnos se vrátil na původní úroveň. Tento systém pak byl za vlády římského císaře Karla Velikého vylepšen střídavým osíváním polí bobovitými rostlinami. Ty, jak dnes

víme, zvyšují produkci pěstovaných plodin díky fixaci dusíku bakteriemi sídlícími na jejich kořenech.

Teprve v 19. století bylo zjištěno, že vyčerpání živin nemusí být jediným důvodem horších výnosů – půda totiž může být zbavena své „únavy“ i pouhou sterilizací. Znamená to tedy, že příčina horšího růstu plodin nemusí být jen abiotická (neživá), ale i biotická (živá), např. nahromadění škůdců a patogenů.



◀ **Druhově bohaté společenstvo suchého trávníku v Českém středohoří, ve kterém na malé ploše mohou společně růst desítky druhů. Jedním z mechanismů, který to umožňuje, je zpětná vazba mezi rostlinou a půdou, kdy rostlina svými kořeny ovlivňuje půdu, ve které roste, a ta pak zpětně ovlivňuje další růst rostlin.** Foto Tomáš Dostálek

Později byla objevena celá řada způsobů, jak rostliny svými kořeny půdu ovlivňují a ta pak zpětně působí na rostliny, které v ní rostou (tzv. zpětná vazba mezi rostlinou a půdou – plant-soil feedback). Kořeny mohou měnit půdu například hromaděním a rozkladem rostlinného opadu, vylučováním toxických látek škodlivých pro jiné rostliny nebo hromaděním symbiotických mykorhizních hub, které rostlinám pomáhají získávat živiny z půdy. Tyto poznatky se však ve větší míře rozšířily až v posledních dvaceti letech, kdy začalo být zřejmé, že změny v půdě způsobené kořeny mají zásadní vliv na uspořádání celých rostlinných společenstev.

### KOŘENOVÁ BĀDÁNÍ

Výzkumu zpětnovazebných interakcí mezi rostlinami a půdou a jejich důsledkům pro rostlinná společenstva se intenzivně věnují i odborníci na katedře botaniky Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy, kteří se snaží posunout hranice poznání tohoto fenoménu a obohatit tak vědecké znalosti o další aspekty. V několika studiích ukázali, že negativní zpětná vazba mezi rostlinou a půdou, kdy rostlina prostřednictvím změn v půdě potlačuje růst dalších rostlin stejného druhu, zabraňuje například tomu, aby ve společenstvu převládlo jen několik málo dominantních druhů. Tento mechanismus umožňuje existenci druhově bohatých rostlinných společenstev.

To byl případ i jedné studie, kde ukázali, že nejmenší biomasu vytvořily rostliny

ve své vlastní půdě, což umožňuje růst i dalších druhů ve společenstvu. Když však vyhodnotili vliv účinku kořenů na celkový růst rostlinné populace (tzn. vzali v úvahu, jak v příslušné změněné půdě vzcházejí semenáčky, jak dále rostou, kvetou a produkují semena, která opět vzcházejí), zjistili, že zkoumané dominantní druhy naopak více zvětšovaly své populace v půdě změněné svými vlastními kořeny. To, že kořeny ovlivňují půdu způsobem, který je pro ně dlouhodobě výhodný, může být důvodem, proč tyto druhy tvoří dominanty studovaných společenstev.

Výzkumem rostlinných invazí dále zjistili, že rostliny mohou samy sebe ovlivňovat i pozitivně. Ty, které jsou v novém areálu invazní, dokážou pomocí zpětné vazby podporovat vlastní růst. Naopak nepůvodní druhy rostlin, které tuto schopnost nemají, se invazními v novém areálu nestaly. Schopnost podporovat sama sebe souvisí u invazních rostlin pravděpodobně s tím, že nepů-



▲ **Kořenový systém netýkavky.**

Foto Tomáš Dostálek

vodní druhy rostlin se často zbaví svých přirozených nepřátel, kteří je v jejich původním areálu kontrolují.

Aktuálně se výzkum zabývá tím, do jaké míry lze tyto efekty vysvětlit rozdíly ve složení společenstev půdní bioty, způsobem využívání živin nebo složením tzv. kořenových exudátů, tedy chemických látek, které rostlina kořeny vylučuje do svého okolí. Tato znalost by mohla do budoucna umožnit předpovídat, které druhy mají potenciál stát se invazními, a budoucím rostlinným invazím předcházet.

### ZÁLUDNÉ ZMĚNY KLIMATU

Interakce mezi rostlinou a půdou je důležité studovat i v souvislosti s reakcí rostlin na globální klimatickou změnu. Jak rostliny, tak půdní mikroorganismy jsou totiž adaptované na podmínky, ve kterých žijí, a na změnu klimatu budou pravděpodobně reagovat různou rychlostí. Může se tak stát – a výzkumy to potvrzují –, že klimatická změna naruší zavedené zpětnovazebné interakce a povede ke změnám v druhovém složení rostlinných společenstev. Konkrétně může dojít k tomu, že půdní patogeny nedokážou ve změněných podmínkách tak efektivně kontrolovat dominanty a tím dojde k ochuzení okolního společenstva.

Výzkum zpětné vazby mezi rostlinou a půdou ukazuje, že interakce mezi kořeny a půdou hrají důležitou roli v regulaci růstu rostlin a druhové bohatosti rostlinných společenstev. Tyto interakce pak ovlivňují i šíření invazních druhů a reakci rostlin na globální klimatickou změnu. Další výzkum v této oblasti je níméně nezbytný pro naše lepší pochopení fungování rostlinných společenstev a pro vývoj strategií pro jejich ochranu a management. ●

AUTOŘI PŮSOBÍ NA KATEDŘE BOTANIKY



# Kořenové exudáty a rhizodepozice

Aneb výprava za látkami, které se nechtějí nechat lapit

KATEŘINA JANDOVÁ

Kořenové exudáty neboli výpotky kořenů a rhizodepozice (z řeckého – *rhiza* „kořen“ – a latinského *depositio* – „odložení, uložení“), jsou nejhůře sledovatelnou a zkoumatelnou složkou rostlin. Jejich ekologický význam je však velký a značně přesahuje obecnou obeznanost s jejich existencí.

## PODZEMNÍ OPAD

Pojmy listový opad a opadanka není díky malebnosti podzimních barev třeba nikomu zvlášť představovat. Ovšem

sebereme-li odvahu a ponoříme se do podzemí, do světa půdního prostředí, kam světlo nezavítá, budeme možná překvapeni, že i kořeny rostlin opadávají, respektive odlučují buňky, a deponují tak svou matérii do půdy. Tato rhizodepozice sice vůbec není barevná a malebná, ale stejně jako ta nadzemní je okamžitě transformována půdními mikroorganismy a stane se buď stavebním kamenem jejich těl, nebo jejich metabolity, které dohromady tvoří půdní organickou hmotu.

Kromě toho, že kořeny odlučují celé své části a buňky, mohou pasivně i aktivně vylučovat tekutiny a těkavé látky. Tyto kořenové exudáty pomáhají kořenům prostupovat půdou, vyvazovat z půdy potřebné živiny, sytit své spřátelené půdní symbionty a bojovat proti škůdcům či konkurentům. Chemické složení kořenových exudátů představuje výrazový prostředek rostlinné komunikace, kterou rostliny ovlivňují vztahy mezi sebou navzájem a s celým svým ekosystémem.

◀ **Kořen běloprstky bělavé (*Pseudorchis albida*), pozemní orchideje rostoucí nejčastěji ve vyšších a chladnějších polohách. Vzácně ji lze potkat i v některých českých horách.**

Foto Tomáš Figura

## SFÉRA PLNÁ ŽIVOTA

Rhizodepozice, souhrnný pojem používaný nejčastěji pro uvolňování rozpuštěných i nerozpuštěných látek z kořenů, je tedy hybatelem mnoha ekologických interakcí a ekosystémových procesů.

Oblast, v níž rhizodepozice nejvíce působí a tvoří životní podmínky edafonu (souboru všech živých organismů v půdě), se natolik liší od zbylého půdního prostředí, že dostala samostatné jméno rhizosféra. Jestliže dnes už víme, že půda představuje zásobník suchozemské biodiverzity a každá její čajová lžička obsahuje přes miliardu mikroorganismů, rhizosféra představuje ještě násobně živelnější metabolický inkubátor.

Kořenové exudáty také představují významný biogeochemický tok, kterým rostlina skrze fotosyntetickou asimilaci



vzdušného oxidu uhličitého a následnou exudaci přemísťuje uhlík z atmosféry do půdy. Doba zdržení uhlíku v půdě závisí na abiotických vlastnostech prostředí, jako jsou teplota, půdní vlhkost a minerální složení půdy, jež zajišťuje mikroskopické povrchy, na kterých se mohou organické látky sorbovat. Neméně důležitým parametrem zdržení uhlíku v půdě je chemické složení kořenových exudátů, které bude určovat ochotu k sorpci a využitelnost pro mikroorganismy.

## VÝZKUMY UŽITEČNÉ...

Protože jako lidstvo čelíme důsledkům klimatické změny způsobené narůstajícími koncentracemi oxidu uhličitého v atmosféře, je pro nás důležité porozumět planetárnímu cyklu uhlíku v co největším detailu. Takové precizní porozumění nám umožní lépe předpovídat očekávané ekosystémové změny a také navrhnout možná řešení, založená na ukládání oxidu uhličitého do půdní organické hmoty. Vědci se proto snaží experimentálně zjišťovat, zda a za jakých podmínek vede rostoucí koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře ke zvýšení primární produkce rostlin a tím i k vyšší exudaci uhlíku do půdy. Sledují rovněž, za jakých podmínek dojde v případě tohoto zesíleného toku uhlíku do půdy k jeho setrvání v ní (sekvestraci) a za jakých dojde k jeho využití mikroorganismy, kterým dodá energii a ony pak budou schopné štěpit složitější a hůře rozložitelné složky stávající půdní organické hmoty, čímž by naopak docházelo k nárůstu mikrobiální respirace a toku oxidu uhličitého zpět do atmosféry.

Zkoumat něco tak efemérního jako kořenové exudáty vyžaduje nejen pověstný

◀ **Aeroponické pěstování bolševníku velkolepého (*Heracleum mantegazzianum*) s odhalenými kořeny pro účely odběru exudátů.** Foto Kateřina Jandová

fištrón, ale také neskonalou trpělivost a odolnost vůči nezdarům. Chtějí-li mít vědci jistotu, že se ke kořenovým exudátům dostanou a že exudáty nebudou zaměněny za produkty mikroorganismů či rozpuštěnou půdní organickou hmotu, musí kultivovat experimentální rostliny bez půdního substrátu a ve sterilních podmínkách, například v hydroponickém roztoku. S takovým přístupem se ovšem kultivuje i hluboká pochybnost, zda ony umělé podmínky mohou vůbec relevantně promlouvat o ekologických procesech, které probíhají ve skutečné půdě.

## ... ALE KOMPLIKOVANÉ

Odebírat kořenové exudáty přímo z půdy je ovšem nemožné, protože hned po uvolnění z kořenů jsou vždy buď sorbovány na minerálních povrchích půdního substrátu, nebo přeměněny mikroorganismy. Nejčastěji se tedy volí přístup pěstování rostlin v lehkém substrátu tvořeném z velkého podílu pískem, z něhož se kořeny snadno uvolní a následně se nechají exudovat do vody, která se chladí na nízkou teplotu, aby se redukoval metabolický rozklad látek. Takto získaný roztok se rychle zamrazí, sublimací zmrzlé vody při nízkém tlaku zkoncentruje a může se analyzovat jeho chemické složení a obsah živin, případně se použije v dalších experimentech, v jejichž rámci se bude sledovat vliv exudátů na klíčení a růst jiných rostlin či aktivitu mikroorganismů.

Velkou výhodou při zkoumání kořenových exudátů je využití značení izotopem uhlíku  $^{13}\text{C}$ . Pokud necháme rostlinu asimilovat uměle připravený oxid uhličitý, který má jiný poměr izotopů  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  než je v běžné atmosféře, bude produkovat izotopově značené exudáty a vědci pak mohou pomoci této izotopové značky sledovat jejich biogeochemické přeměny v prostředí. ●

AUTORKA PŮSOBÍ V ÚSTAVU PRO ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ  
A V CENTRU VÝZKUMU IZOTOPŮ

# Tajemství kořenových pátračů

Vliv různorodosti prostředí na podobu kořenového systému

PAVLÍNA STIBLÍKOVÁ, MARTIN WEISER

Rostliny se na rozdíl od živočichů nemohou pohybovat na velké vzdálenosti (kromě šíření semen), a tak jim nezbyvá než se snažit co nejvíce přizpůsobit místu, kde rostou. Pro kořeny rostlin je tak domácím prostředím půda, substrát, ve kterém jsou ukotveny. Rozmanitost a proměnlivost tohoto prostředí je obrovská a rostlina na to musí při tvorbě kořenů reagovat. Výzkum heterogenity (různorodosti) půdy a jejího vlivu na kořeny rostlin je ovšem o dost složitější než zkoumání jejich nadzemních částí, protože pod povrch půdy zkrátka není vidět.

## KOŘENY POD TLAKEM

Jedinci v rámci stejného druhu rostlin mohou vypadat velmi různě (tzv. fenotypová plasticita), třeba podle toho, v jaké nadmořské výšce rostou – na rozdíl v dostupnosti vody, teplotě a délce vegetační sezony reagují každý po svém. To se týká také jejich kořenů, ty se mohou podle potřeby prodlužovat, zkracovat, tloustnout či ztenčovat. Jejich výsledná podoba je ovšem určena spíše souhrou s ostatními částmi těla rostliny a evoluční zkušeností druhu.

Velký vliv na podobu kořenového systému mají místní či časové rozdíly v dostupnosti živin. Půdní prostředí je totiž, co se rozložení živin týče, velice různorodé na různých škálách. V podmínkách běžných stanovišť mírného klimatického pásma může být rozdíl ve výskytu živin v půdě v rozsahu centimetrů i několikanasobný a rozdíly na této škále trvají od dnů po měsíce. Živiny bývají umístěny spíše ve shlucích, tvořících tzv. živinové hotspoty. Pokud chce být rostlina žijící v prostředí s velkou heterogenitou ve výskytu živin úspěšná, musí se s touto variabilitou vypořádat.



▲ Experiment s plochými průhlednými květináči, tzv. rhizoboxy. Mochna přímá (*Potentilla recta*) pěstovaná dohromady s arbuskulárně mykorhizní houbou v prostředí s heterogenním rozložením živin, konkrétně dusíku a fosforu. Foto Marek Brindzák

## JAK NA TO

Morfologické rozdíly mezi kořenovými systémy rostlin ze živinově stejnorodého a různorodého prostředí, kde hraje roli zmíněná fenotypová plasticita, jsou patrné na první pohled. Živinami bohatá místa více prokoření – některé druhy rostlin začnou v daném místě své kořeny více větvit, jiné prostě zvětší jejich délku a zmenší tloušťku. Rostlina dokáže příjem živin ovlivnit i pomocí změny fyziologie kořenů, může například lokálně navýšit počet transportérů do buněk.

Výhodou změny fyziologie je nárůst příjmu živin bez nutnosti investice do přestavby kořenového systému. Fyziologické změny se oproti morfologickým odehrávají v mnohem kratších časových úsecích a jsou jednodušeji reverzibilní, má se ale za to, že oproti morfologickým změnám nejsou tak efektivní.

## RYCHLÉ VS. POMALÉ

Vyhledávání živinových hotspotů a jejich využití se jeví jako velmi výhodné, a je proto zajímavé, že v této schopnosti

existují mezi druhy velké rozdíly. Jedno z možných vysvětlení říká, že rostliny jsou buď schopny růst do prostoru tak, aby si zajistily dostatečný příjem živin, anebo rostou jen na malé vzdálenosti, ale jsou schopny pečlivě prozkoumat i malý prostor a odhalit živinově bohatá místa. Tato poměrně stará hypotéza nebyla ovšem potvrzena zdaleka u všech druhů, spíše se zdá, že ji lze aplikovat pouze u specifických lučních společenstev.

Odpověď bude pravděpodobně třeba hledat v koordinaci celého souboru vlastností druhů: například tenkokořenné, rychle rostoucí rostliny mohou najít živinové hotspoty spíše než pomalu rostoucí rostliny s tlustými kořeny. Dokáží totiž živinově bohatá místa svými levnými tenkými krátkověkými kořeny snáze najít a vytěžit (a pak nechat tuto část kořenů odumřít). U stromů lze takové rozdělení vskutku najít, u bylin to tak ale nejspíše není.

### HOUBOVÝ POMOCNÍK

Pokud není rostlina schopna vyhledávat živinové hotspoty pomocí kořenů sama, může tuto funkci delegovat. Místo ní pak získávání zdrojů zajišťuje symbiotická mykorhizní houba. Hyfy hub jsou tenčí než kořeny rostlin, a nejsou tedy celkově tak nákladné na konstrukci (ačkoliv třeba v buněčné stěně hyf najdeme vysoké procento dusíku), rostou rychleji a mohou být úspěšnější v boji o živiny s ostatními mikroorganismy vyskytujícími se v půdě.

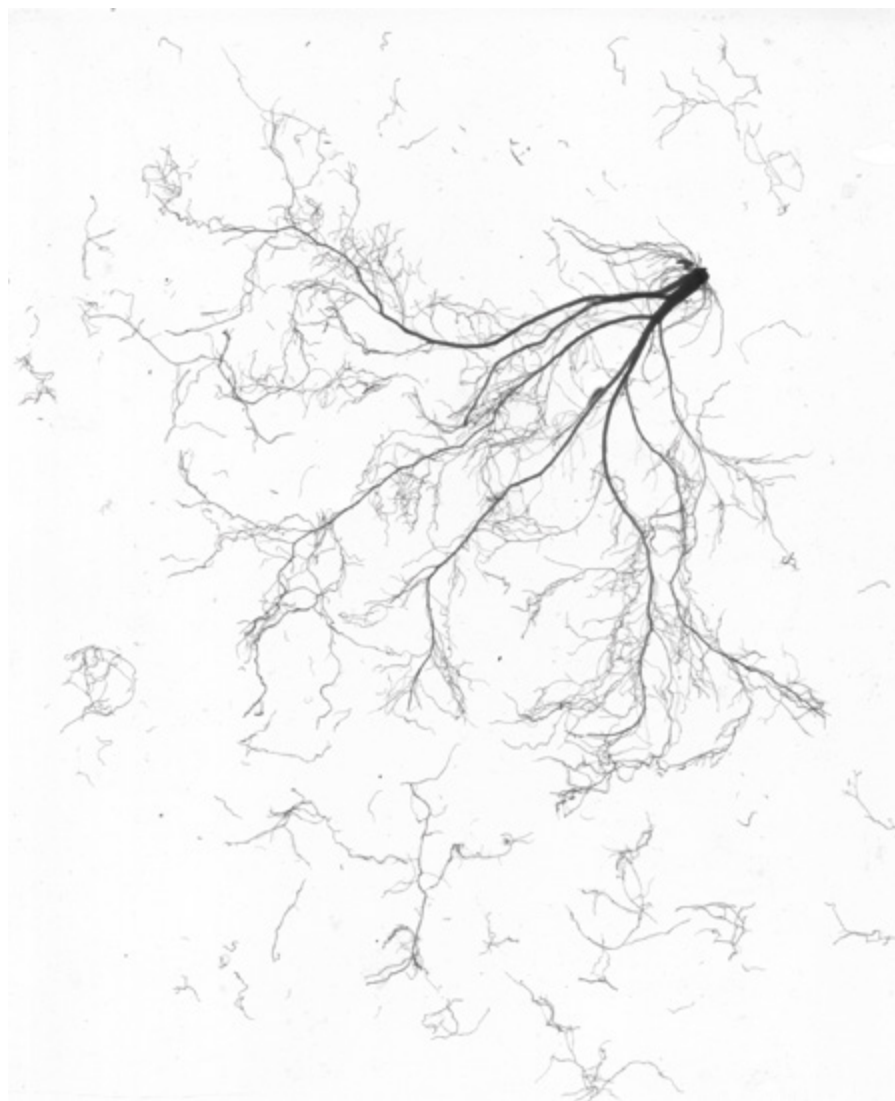
► **Sken kořenového systému mochny přímé (*Potentilla recta*) krátce po sklizení rostliny v experimentu. Sken je pořízen v průhledné misce naplněné vodou a je dále použit k analýzám kořenového systému rostliny, např. ke změření celkové délky kořenů, tloušťky kořenů, celkovému povrchu kořenového systému atp.** Foto Marek Brindzák

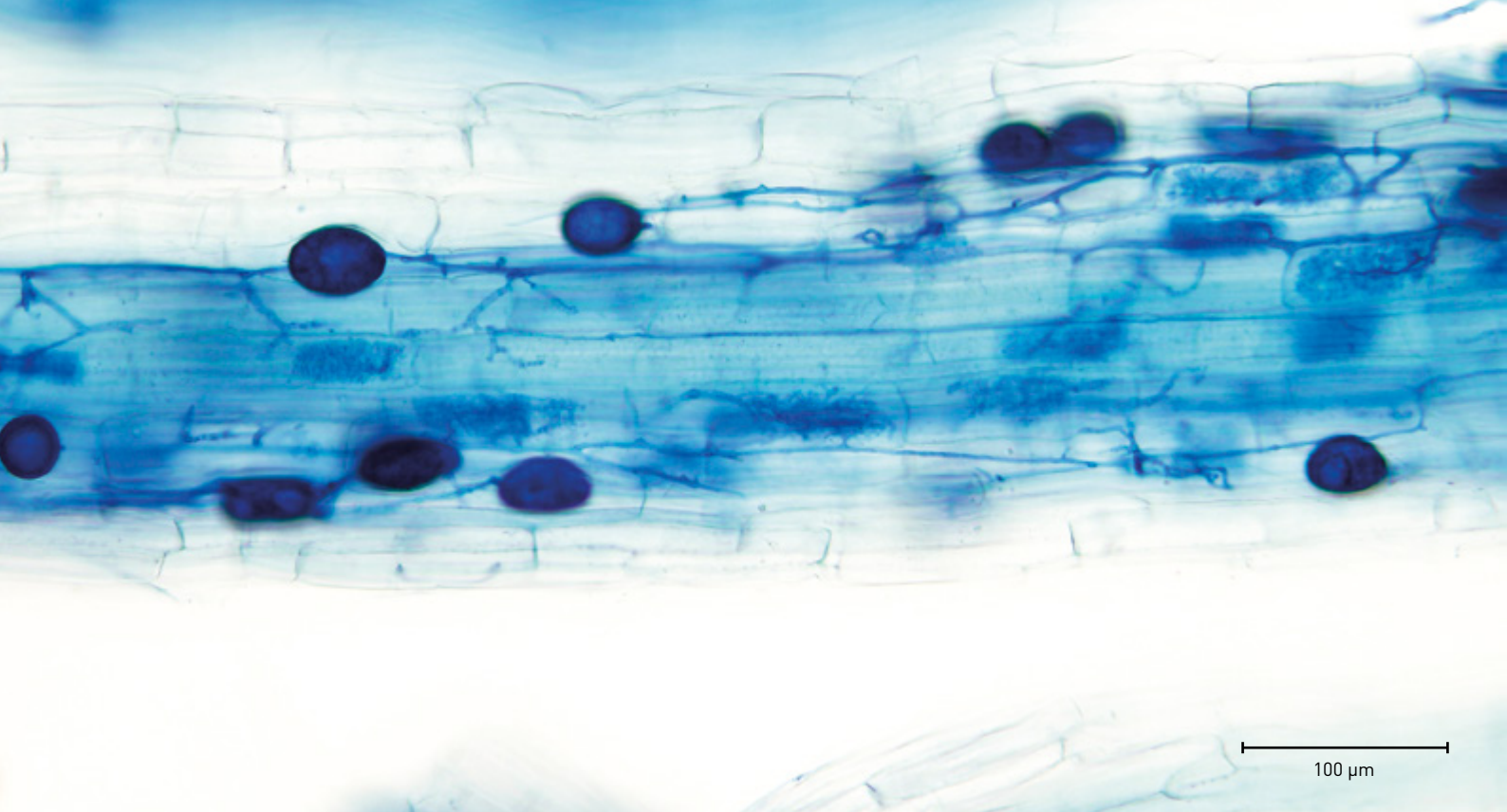
I zde je situace nejlépe prozkoumána u stromů – druhy s arbuskulárním typem mykorhizy a tenčími kořeny vyhledávají živiny spíše samy, kdežto ektomykorhizní stromy s tlustšími kořeny vyhledávají živinové hotspoty spíše pomocí hyf hub. Jak je to u bylin, je však stále předmětem bádání, nicméně nezdá se, že by srovnání bylin s arbuskulární mykorhizou a těmi bez mykorhizy ukázalo na nějaké rozdíly.

Jak vidno, o tom, jak se mění architektura kořenového systému v závislosti na rozložení živin v půdě toho víme poměrně dost. Schopnost některých druhů rostlin vyhledávat živinové

hotspoty se může podílet na utváření podoby jejich kořenového systému. Zdaleka ne všechny druhy rostlin ale tuto schopnost ovládají ve stejné míře – buď to prostě neumí, nebo jsou schopny delegovat tuto činnost na mykorhizní symbionty. Naše poznatky o kořenovém vyhledávání ale většinou pochází z experimentů v umělých a zjednodušených podmínkách. O vyhledávání živin kořeny v „terénu“ toho víme málo, přitom by to mohl být jeden z faktorů umožňujících soužití různě kompetičně zdatných druhů v přirozených společenstvech. ●

AUTOŘI PŮSOBÍ NA KATEDŘE BOTANIKY





# Spojenci pod zemí

Co umí mykorhiza a co (ne)může přinést zemědělcům

MARTINA JANOUŠKOVÁ

Pod pojmem mykorhizní houby si nejspíše představíme kozáky a hříby, jejichž druhové jméno často napoví, pod kterými stromy je hledat. Většina mykorhizních hub je však zcela nenápadná a můžeme je nalézt v podstatě všude. Jsou to takzvané arbuskulárně mykorhizní houby, které netvoří plodnice, a tak jejich mycelium zůstává dokonale skryto v půdě. Spory (výtrusy), podle jejichž morfologie bylo popsáno přibližně 350 druhů, jsou sice mnohem větší, než je u hub zvykem, stejně však patrné jen pod lupou.

## FOSFOR ZA UHLÍK

Proč nás tedy arbuskulárně mykorhizní houby zajímají? Předně proto, že tvoří

symbiózu s asi 70 % druhů rostlin, a tak ovlivňují vegetaci ve většině suchozemských ekosystémů. Za to, že rostliny dovolují houbám kolonizovat kořeny, tedy vrůstají až do buněk primární kůry, získávají exkluzivní přístup k půdním živinám, a to zejména k fosforu. Tohoto prvku potřebují rostliny poměrně dost, ale v půdě je přirozeně málo dostupný. Na vnitrokořenové mycelium hub je napojena síť půdního mycelia, které představuje mnohem účinnější nástroj příjmu živin než kořeny. Hyfy hub prorůstají větším objemem půdy a rychle vyhledávají nové zdroje, například přímo v rozkládající se organické hmotě. Živiny pak transportují do kořene, kde je prostřednictvím specializovaných

struktur, takzvaných arbuskul, směňují s rostlinou za uhlikaté látky. Ty si rostlina vyrábí ve fotosyntéze, a mívá jich proto obvykle dostatek.

## HOUBY MÍSTO HNOJIVA?

Není divu, že objevování zákonitostí fungování mykorhizy od poloviny 20. století šlo ruku v ruce s úvahami o využití mykorhizních hub v rostlinné produkci. Arbuskulární mykorhizu totiž tvoří i valná většina plodin včetně těch globálně nejvýznamnějších, jako jsou pšenice, kukuřice nebo rýže. Bezpočet pokusů, které porovnávaly růst plodin s mykorhizou a bez ní, ukázaly, že jim mykorhiza prospívá. Zároveň průzkumy kořenů v polních podmínkách naznačily,

◀ **Kořen kukuřice kolonizovaný arbuskulárně mykorhizní houbou. Kromě keříčkovitých arbuskul jsou vidět hyfy a kulaté spory. Struktury hub jsou nabarveny trypanovou modří.**

*Foto Radka Sudová*

že plodiny často mívají mykorhizních hub v kořenech málo. Proč jim tedy houby nedodat místo hnojiva?

Tak jednoduché to bohužel není. Háček je v asymetrickém vztahu mezi rostlinami a arbuskulárně mykorhizními houbami: pro houby je symbióza otázkou bytí či nebytí – v přísunu uhlíkatých látek jsou zcela závislé na rostlině, z půdy je přijímat neumí. Rostliny však mykorhizní houby potřebují jen v živinami chudých půdách. Když je v půdě živin dostatek, vystačí si s kořeny a omezí přísun uhlíkatých látek houbám. Pokud se v takových podmínkách houby v kořenech rostlin rozvinou, mutualistická symbióza se mění na vztah komenzální, či dokonce parazitický, a tedy pro rostlinu neprospěšný.

Přidávat rostlinám mykorhizní houby tedy má smysl, pouze pokud podmínky,

zejména dostupnost fosforu, umožní rozvoj mutualistického vztahu. To však není případ většiny orných půd, protože plodiny potřebují pro dosažení výnosů, které od nich požadujeme, dostupnost fosforu mnohem vyšší. Mykorhiza, i když zvyšuje příjem živin rostlinami, nedokáže kompenzovat případné snížení hnojení v míře potřebné pro zachování výnosů.

### TRÉNINK SEBEOBRANY

Nicméně mykorhizní houby nejsou jen živinovody do kořenů, jak by se zdálo podle principů fungování mykorhizy. Komplexně ovlivňují fyziologii rostlin, například zvyšují jejich odolnost vůči stresům. Zajímavý je zejména vliv mykorhizy na odolnost vůči stresům biotickým, tedy patogenům a škůdcům, protože může být nezávislý na živinových přínosech mykorhizy. Prvotní kontakt mykorhizních hub s kořeny aktivuje obrannou odpověď rostliny, která je sice díky komunikaci mezi rostlinou a mykorhizní houbou záhy potlačena, ale v důsledku hormonálních změn zůstává rostlina lépe připravena čelit nepřátelskému napadení. A protože patogeny i škůdci v rostlinné produkci představují vážný problém, je tento přínos mykorhizy potenciálně významný,

zejména s ohledem na žádoucí omezení používání biocidů v zemědělství.

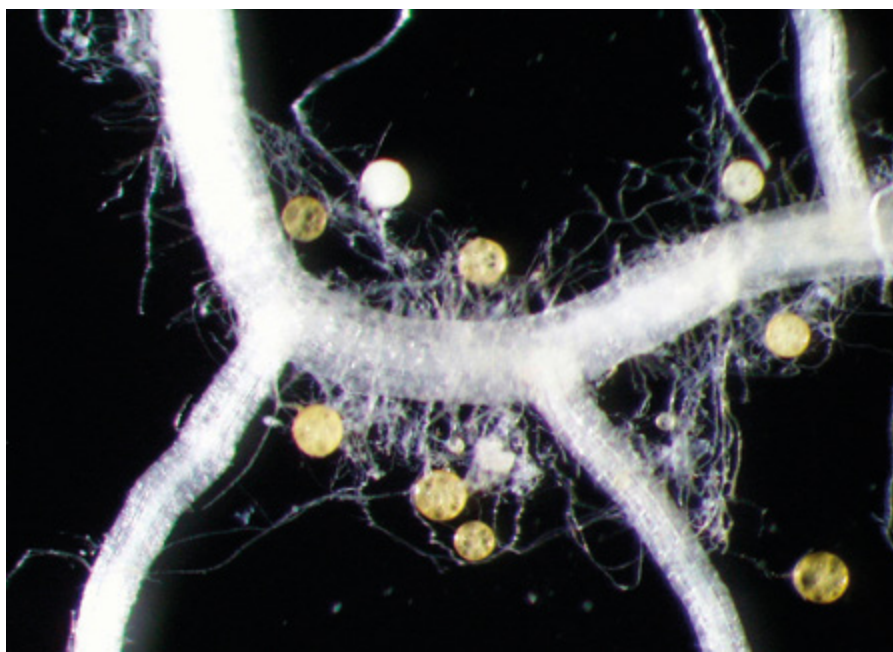
### KULTIVACE PŮDY

Kromě rostliny navíc mykorhizní houby v mnoha směrech ovlivňují také vlastnosti půdního prostředí. Mycelium hub váže v komplexních sloučeninách nezanedbatelnou část uhlíkatých látek, které od rostliny tečou do půdy, a přispívá tak k tvorbě půdní organické hmoty. Navíc váže i živiny, což je důležité zejména v případě dusíku, tedy minerálního prvku, kterého rostliny potřebují úplně nejvíc. Vlákna hub propojují půdní částice, a tak tmelí agregáty a zvyšují schopnost půdy zadržovat vodu. V neposlední řadě pak přítomnost mycelia a související změny v půdních vlastnostech podporují rozvoj dalších půdních mikroorganismů. Všechny tyto změny lze v kontextu orných půd jednoznačně považovat za pozitivní, protože právě úbytek půdní organické hmoty, eroze nebo vyplavování živin patří k významným negativním dopadům intenzivního zemědělství.

Novější poznatky o složitých interakcích mykorhizních hub s rostlinami a půdním prostředím tedy naznačují, že mykorhizní houby mohou hrát i v zemědělských systémech mnohem rozmanitější role, než se dříve předpokládalo. Výzkum se proto obrací k přínosům mykorhizy, které zjednodušené vnímání této v základu živinové symbiózy považuje za „vedlejší“. Vědci začínají chápat, že „vedlejší“ přínosy mykorhizy mohou být ve skutečnosti těmi hlavními, a to nejen pro ekosystémy, ale i pro zemědělce. ●

AUTORKA PŮSOBÍ V BOTANICKÉM ÚSTAVU AV ČR

◀ **Kořen kukuřice s propletenými kořenovými vlákny a mycéliem arbuskulárně mykorhizní houby. Kuličky jsou mladé spory houby vyrůstající z mycélia.** *Foto Martina Janoušková*





# Kořenové čistírny odpadních vod

**Efektivní čištění vody naprojektovala v mokřadech sama příroda**

PETRA INNEMANOVÁ, MICHAL ŠEREŠ

Vysušování mokřadů a narovnávání vodních toků do umělých koryt probíhalo (nejen) na našem území po dlouhá desetiletí. Hlavní snahou bylo rozšířit plochy obdělávané půdy, ale mokřady byly navíc vnímány jako symbol starých časů, který v moderním světě nemá místo. Dnes už víme, že takový přístup byl velkou chybou, která už se nesmí opakovat. Funkce mokřadů je nyní našťastí mnohem lépe prozkoumána a jejich význam patřičně doceněn. A nejen to – napodobením struktury mokřadů jsme získali účinné nástroje na čištění odpadní vody.

## LÁTKY ORGANICKÉ I ANORGANICKÉ

Mokřady jsou totiž biotopy, které v přírodě významně přispívají k čištění protékajících i stojatých vod. Kromě běžného znečištění jsou v nich odstraňovány také organické látky, jako jsou například pesticidy používané v zemědělství nebo i tzv. emergentní polutanty, mezi které patří zbytky léčiv a obecně produktů osobní péče. Biodegradace těchto látek pomocí mikroorganismů nasedlých na pevný materiál dna mokřadů a rozvět-

vený systém kořenů mokřadních rostlin pomáhá do systému dodávat potřebný kyslík.

Mokřady si ale poradí také s anorganickým znečištěním. Jsou poměrně účinné při snižování obsahu sloučenin dusíku a fosforu, tedy látek, které jsou v přírodních vodách příčinou nežádoucí eutrofizace. Střídají se zde aerobní zóny, což jsou mělká místa porostlá vodními rostlinami (a ve kterých je amoniakální dusík oxidován na dusičnany), a anaerobní zóny, kde dochází k transformaci



◀ V kořenových ČOV můžete najít např. rákos obecný (*Phragmites australis*), zblochan vodní (*Glyceria maxima*), orobinec širokolistý (*Typha latifolia*), kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*), blatouch bahenní (*Caltha palustris*), tužebník jilmový (*Filipendula ulmaria*). Na snímku KČOV Jana Kotka v Řeži. Zdroj Kořenovky.cz

dusičnanů na plynný dusík. V mokřadech také dochází k filtraci a usazování nerozpuštěných látek, které zde postupně mineralizují. Zároveň dochází k destrukci fekálních bakterií, pokud jsou ve vodě přítomné.

### FUNKČNÍ NÁPODOBA

Napodobením přírodních procesů můžeme velmi účinně čistit například splaškové vody z domácností v tzv. kořenových čistírnách odpadních vod (dále jen „kořenová ČOV“). Stavba takového zařízení podléhá schválení příslušným vodohospodářským úřadem a musí splňovat určitá kritéria, jako je minimální plocha mokřadu na jednoho ekvivalentního obyvatele či dostatečná izolace od podloží. Není tedy možné stoprocentně napodobit přírodní podmínky, jak tomu často bývalo v minulosti, kdy septik nebo jímku na vesnici nikdo nevyvážel, voda přepadem odtékala kamsi na pozemek a tam se časem vyseletovaly mokřadní rostliny, které v takovém ekosystému pěkně prosperovaly.

Dnešní kořenová ČOV je poměrně sofistikovaná stavba. Na rozdíl od konvenčních zařízení ale její provoz vyžaduje jen minimální údržbu, a při vhodné svažitosti terénu dokonce ani není potřeba zdroj energie. Za čisticí procesy v kořenové ČOV jsou, stejně jako v případě přirozeného mokřadního biotopu, zodpovědné zejména bakterie žijící v podobě biofilmu na štěrkové náplni umělého mokřadu. Střídání aerobních a anaerobních podmínek, potřebné

zejména při odstraňování anorganických forem dusíku, je zajištěno hloubkou a způsobem plnění filtru čistírnou odpadní vodou. Z tohoto důvodu se dnes staví téměř výhradně tzv. hybridní kořenové ČOV, které mají minimálně dva filtry, a mohou tak kombinovat oba režimy čištění.

### UŽITEČNÉ A OKRASNÉ

Odpadní voda z domácnosti se nejprve zdrží v několikakomorovém septiku, kde splašky za anaerobních podmínek vyhnívají. Poté je předčištěná voda vedena přepadem do kořenové ČOV, která může být tvořena jedním nebo více kořenovými filtry. Anaerobní zóny jsou zajištěny pomalým nátokem vody do filtru v horizontálním směru, pro oxylíčení je voda rozstříkována na povrch filtru a proudí skrz filtrační štěrkovou vrstvu vertikálním směrem. Na základě tohoto principu se pak kořenové ČOV dělí na tzv. horizontální a vertikální. Díky minimální předepsané ploše mokřadu je dosaženo potřebné doby zdržení protékající vody tak, aby na výstupu splňovala povinné limity pro vypouštění do přírody.

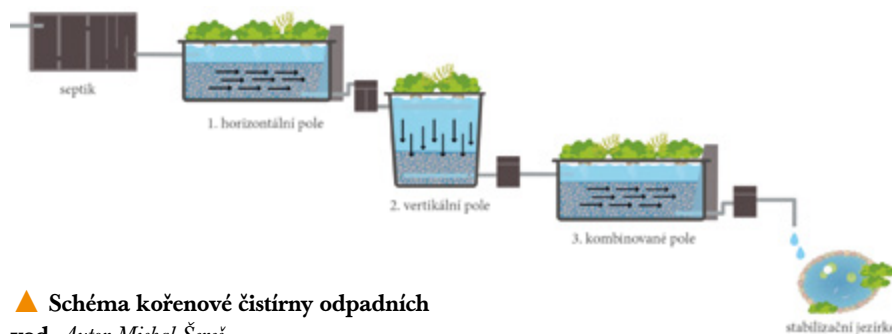
Kromě rozpuštěných organických a anorganických látek jsou při průchodu z vody odstraněny také nerozpuštěné látky, a to s velmi vysokou účinností (až 99 %). Ty se ve filtru čistírně usazují

a částečně mineralizují. Mokřadní rostliny, které plochu filtrů většinou pokrývají, plní zejména estetickou funkci, jejich příspěvek k samotným čisticím procesům není tak významný, jak by název kořenová ČOV napovídala. Přestože je doporučeno, aby se koncem zimy uschlé rostliny odstranily a například zkompostovaly, není možné zcela zabránit postupnému hromadění odumřelé biomasy, která společně se sedimentovanými nerozpuštěnými látkami z čistěné vody filtr ucpává (kolmatuje), a jeho účinnost se tak v průběhu let postupně snižuje. Po několika desetiletích provozu je proto potřeba náplň filtrů zcela obměnit a mokřadní část revitalizovat.

### UDRŽITELNOST NADE VŠE

Přes tuto zdánlivou nevýhodu je provoz kořenové ČOV z dlouhodobé perspektivy ekonomicky výhodný a z environmentálního hlediska maximálně udržitelný. Navíc se jedná o esteticky zajímavý prvek na pozemku nebo i v krajině. Umělé mokřady jsou totiž využitelné i ve větším měřítku. Osvědčily se jako alternativa konvenčních ČOV pro celé obce, zejména ty menší, do přibližně jednoho tisíce ekvivalentních obyvatel, ale také například při dočišťování důlních nebo průmyslových odpadních vod. ●

AUTOŘI PŮSOBÍ V ÚSTAVU PRO ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



▲ Schéma kořenové čistírny odpadních vod. Autor Michal Šereš



# Průkopnice molekulární biologie

Jak se na Přírodovědecké fakultě UK rodil virologický výzkum

VERONIKA RUDOLFOVÁ

Docentka Jitka Forstová působí na katedře genetiky a mikrobiologie Přírodovědecké fakulty UK a ve výzkumném centru Akademie věd ČR a Univerzity Karlovy BIOCEV. Ve svém oboru je opravdovou průkopnicí – spolu se svým školitelem dr. Jiřím Doskočillem se jako první v republice zabývala genovým inženýrstvím, na Přírodovědecké fakultě založila virologický výzkum a spolu s několika kolegy také oblíbený bakalářský obor molekulární biologie a biochemie organismů. Během své vědecké kariéry získala několik prestižních mezinárodních grantů a na začátku prosince 2023

obdržela stříbrnou pamětní medaili Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy za dlouhodobý přínos vědě a výuce na fakultě.

**Na škole jste původně studovala chemii, co vás nasměrovalo k molekulární biologii?**

Vysokou školu jsem končila v roce 1966, potom jsem byla dva roky v klinické biochemii a poté jsem vzala první volné výzkumné místo, což bylo v Ústavu organické chemie a biochemie (ÚOCHB) Akademie věd. Zprvu jsem se zabývala biosyntézou ligninu a posléze jsem začala pracovat na fyzikální chemii nuk-

leových kyselin. To bylo ještě v době, kdy se neuměla DNA sekvenovat (podstata struktury DNA byla objevena Watsonem a Crickem už v r. 1953).

Když byly objeveny první restrikční enzymy, říkala jsem si, že to je ta správná cesta k analýze DNA, a začala jsem se tím více zabývat. Tenkrát jsem jako turista tajně odjela na Sicílii na školu molekulární biologie, kde jsem dostala stipendium od NATO, samozřejmě také tajně. Na Sicílii jsem vlastně poprvé přišla do styku s molekulární biologii a ta mě nadchla tolik, že jsem u ní zůstala.

◀ **Za dlouhodobý přínos vědě a výuce obdržela doc. Forstová v prosinci 2023 z rukou děkana PŘF UK prof. Jiřího Zimy stříbrnou pamětní medaili.**

*Foto Michal Novotný*

### **S výzkumem virů jste začala na Royal Postgraduate Medical School v Londýně. Jak jste se vlastně k virologii dostala?**

Těsně po revoluci mi zavolala profesorka Griffinová z Londýna, vedoucí velkého virologického oddělení, že dostala grant a jestli bych tam nechtěla přijet, že by mě na tři roky zaměstnala. Jelikož jsem chtěla studovat viry eukaryotických buněk a nejen bakteriofágy, tak jsem nabídku přijala. Po třech letech jsem se rozhodla vrátit, protože jsem tušila, že kdybych v Londýně zůstala déle, už bych měla s návratem větší problém. Navíc mi už tehdy nabídl místo na fakultě Vojtěch Závada, který přednášel virologii a chystal se do penze. Poslední rok v Londýně jsem tedy volný čas věnovala přípravě přednášek, a hned jak jsem se vrátila, tak jsem odpřednášela a odzkoušela svůj první ročník virologie, což bylo opravdu hodně náročné.

### **V té době na Přírodovědecké fakultě virologický výzkum neexistoval. Navzdory tomu se vám povedlo založit výzkumnou skupinu...**

Když jsem přijela, zjistila jsem, že nemám k dispozici žádnou laboratoř. V tu chvíli jsem vůbec nevěděla, co mám dělat, a říkala jsem si, že s vědou skončím a budu se věnovat hudbě. V té době jsem šla navštívit ředitele ÚOCHB Antonína Holého, se kterým jsem se dobře znala z doby, kdy jsem v tam pracovala. On mi tenkrát řekl, že kdyby to na fakultě nevyšlo, můžu k nim nastoupit. To mě dost povzbudilo a řekla jsem si, že to ještě zkusím.

V tu chvíli už jsem věděla, že jsem získala grantové peníze, a zažádala jsem ještě

o grant *Howard Hughes Medical Institute*, který jsem také získala, což bylo skvělé, protože jsem měla zajištěné peníze na pět let. Jenže pořád nebylo místo, kde bych mohla pracovat s eukaryotickými buňkami. Ve Viničné 5 tenkrát bylo několik kumbálů, kterých by se dalo využít. Jenže já jsem neměla peníze na to, abych nechala vybourat příčky a zařídila tam laboratoř. Tenkrát po revoluci nám různé země nabízely přístroje, jenže my jsme neměli laboratoř a museli je nechávat na chodbě. Nakonec jsem zkrátka musela dojít na ministerstvo a požádat si o výjimku, abych mohla část grantových peněz využít na stavební úpravy. Díky tomu se nám povedlo postavit velkou laboratoř molekulární biologie, místnost na tkáňové kultury a malou kancelář. A konečně jsme měli kde dělat výzkum.

### **Nejenže jste na fakultě založila výzkum virologie, stála jste i za vznikem tzv. bílého bakalářského oboru na biologii – molekulární biologie a biochemie organismů. Co vás vedlo k založení tohoto dnes velmi oblíbeného oboru?**

Když jsem začala vést první studenty, zjistila jsem, že mají velmi špatné molekulární (hlavně chemické a biofyzikální) znalosti. Řekla jsem si, že takto by to nešlo, a snažila jsem se na fakultě prosadit nový bakalářský obor. V rámci něj se mělo trochu ubrat na znalostech systémů a naopak studenty více nasměrovat na molekulární biologii, chemii, matematiku a fyziku. Prosadit tento obor však vůbec nebylo jednoduché, protože se setkal s odporem některých kolegů jak na biologii, tak na chemii, kde biochemie celkem správně vycítila, že jim bude nový obor konkurovat. Ale podařilo se a dnes je molekulární biologie a biochemie organismů jedním z nejvyhledávanějších bakalářských oborů na fakultě.

### **Ve svém výzkumu se v posledních letech zaměřujete na polyomaviry.**

### **O těch slyšel asi málokdo, přitom však mohou vyvolat závažné zdravotní komplikace. Mohla byste některé z nich popsat?**

Polyomaviry mohou opravdu způsobit pacientům s potlačenou imunitou vážné i fatální zdravotní komplikace. Navíc jejich antigeny mají nádorový potenciál, i když zatím je spojitost mezi polyomavirem a nádorovým onemocněním lidí jasně prokázána u Polyomaviru Merkelových buněk, který zejména u starších lidí může vyvolat velmi invazivní kožní karcinomy. Dlouhé roky byly známe jen dva lidské polyomaviry, BK a JC, dnes už jich známe kolem patnácti. BK virus může v případě potlačené imunity vyvolat hemoragické záněty močového měchýře a nefropatii. Tento virus je také nejčastější příčinou neúspěchu při transplantaci ledvin. JC polyomavirus zase může při imunosupresi způsobit fatální encefalitidy.

### **Jak je to s aplikacemi vašich virologických výzkumů? Využíváte v návaznosti na ně také nějaké vakcíny?**

Nedávno jsme měli grant Technologické agentury ČR, kdy jsme při vývoji vakcíny použili struktury myšího polyomaviru, jelikož jsme věděli, že se dobře dostává do buňky. Na tyto struktury jsme vážali epitopy prasečího cirkoviru. Tato vakcína byla vlastně na zakázku centra pro výrobu veterinárních vakcín Dyntec v Terezíně. A pro Dyntec jsme dělali ještě vakcínu proti bovinnímu papilomaviru, který je polyomavirům v jistých ohledech podobný. ●

### **Celý rozhovor si můžete přečíst po načtení QR kódu.**



# Přírodovědci v Didaktikonu

Přihlašte se na přírodovědný workshop v Kampusu Hybernská

Vzdělávací centrum Didaktikon nabízí dopolední programy pro žáky základních i studenty středních škol. Na výběr je celá řada workshopů a přednášek, tři z nich zajišťují Přírodovědci.cz. Studenti si během nich vyzkouší nejrůznější obory, které lze na Univerzitě Karlově studovat.

## CHEMICKÉ POKUSY

1. stupeň ZŠ (60 minut)
  2. stupeň ZŠ (60 minut)
- střední školy (90 minut)

Chemie je okouzující obor, který dokáže překvapit svou rozmanitostí. V našem workshopu si vykouzlíte tajný nápis pomocí neviditelného inkoustu, vysvětlíme si zázračné změny barvy v reakční baňce, vypěstujeme si společně roztočivou chemickou zahrádku a názorně si ukážeme vznik komplexních sloučenin kovu.

## PO STOPÁCH ZLOČINU

1. stupeň ZŠ (60 minut)
  2. stupeň ZŠ (60 minut)
- střední školy (90 minut)

Vypravte se se svou třídou na Místo činu! Jedná se o hodinový workshop s detektivní tematikou. Zábavnou formou se děti dozvědí, jak se zajišťuje místo činu. Posléze se přesunou do laboratoře, kde se důkazy z místa činu zpracovávají. Na základě výkladu o daktyloskopii a DNA si mohou vyzkoušet odebrání otisků a také si zjednodušeným postupem izolovat a odnést domů svoji vlastní DNA.

## SMYSLY

1. stupeň ZŠ (60 minut)
  2. stupeň ZŠ (60 minut)
- střední školy (90 minut)



Zdroj: Didaktikon

Prozkoumejte možnosti a omezení lidských smyslů během interaktivního workshopu. Otestujte si své vlastní smysly a porovnejte je s překvapivými schopnostmi některých druhů zvířat. Během workshopu se žáci zážitkovým způsobem seznámí se smysly. Dostanou základní informace o jednotlivých smyslech a prohlédnou si smyslové orgány na anatomických modelech. V čichovém a hmatovém kvízu poznají, jak náročné je poznat různé vůně a určit tvary předmětů poslepu, jen s využitím hmatu. Na optických klamech se přesvědčí, jak nás

mozek „obelhává“ a vidí někdy i věci, které ve skutečnosti neexistují. Budou si také moci otestovat svůj barvocit a zapojí se i do dalších aktivit.

Více informací získáte po načtení QR kódu. ●



# Studentský velemlok 2023

Studenti opět vybírali nejlepší pedagogy



Cena Studentský velemlok je ocenění pro nejlepší pedagogy Přírodovědecké fakulty UK, která je udělována každoročně vyučujícím nejlépe hodnocených předmětů. Nejinak tomu bylo i letos. Nejoblíbenější pedagogové převzali cenu z rukou děkana prof. Jiřího Zimy, předsedy AS PĚF UK dr. Radima Perlína a zástupců AS PĚF UK již tradičně na reprezentačním fakultním plese na pražském Žofíně v pátek 23. února 2024. Oceněným pedagogům gratulujeme!

## **Mgr. Jan Šťastný, Ph.D., biologie**

za skupinu předmětů *Algologické determinační praktikum, Algologie I a II*

Dr. Šťastný je skvělým algologem a jeho praktika z algologie jsou velmi oblíbená, protože dokáže pojmenovat snad všechny druhy pozorované v mikroskopu a ještě svůj výklad nadšeně doprovázet zajímavostmi a historkami. Ochetně pomáhá studentům s určováním a dokáže nadchnout pro mikroskopické řasy studenty všech ročníků i zaměřením.

## **prof. RNDr. Jan Kotek, Ph.D., chemie**

za předměty *Anorganická chemie I (a) a Laboratorní technika*

Prof. Kotek se intenzivně věnuje vzdělávací činnosti v bakalářském i magisterském stupni studia. O jeho zápalu mohou vyprávět nejen studenti přednášek, seminářů a laboratorních cvičení, ale i dlouhá řada absolventů, jejichž závěrečné práce vznikly pod jeho vedením. Pro fakultu a sekci je pak velkým přínosem jeho podíl na propagaci chemie v rámci organizace letních táborů pro mladé chemiky, chemické olympiády i dalších vědeckých akcí a soutěží.

## **RNDr. Mgr. Jakub Lysák, Ph.D., geografie**

za předmět *Kartografie*

Dr. Lysák se svým týmem z katedry aplikované geoinformatiky a kartografie zajišťuje přednášky a cvičení jednoho z nejnáročnějších předmětů, se kterým se studenti v prvním ročníku bakalářského studia setkávají. Jakkoliv je kartografie pro mnohé studentky a studenty „postrachem“, dr. Lysák je nejen svou odbornou a pedagogickou erudicí, ale i lidským a férovým přístupem umí přesvědčit, že kartografického „řemesla“ se není třeba bát.

◀ **Vítězové ceny Studentský velemlok za rok 2023. Uprostřed Jan Kotek, vlevo Jakub Sakala a Tomáš Macháček, vpravo Jan Šťastný. Jakub Lysák na fotografii chybí. Foto Michal Vais**

## **doc. RNDr. Jakub Sakala, Ph.D., geologie**

za předmět *Metody paleontologického výzkumu*

Doc. Sakala je specialistou na obor paleobotanika, a to zejména na studium třetihorních fosilních dřev a jejich využití v paleoekologii a v paleoklimatologických rekonstrukcích. Paleobotaniku přednáší v řadě komplexních kurzů, jako je např. Systematická paleontologie, Paleobiologie, Paleoekologie nebo Historický vývoj globálního ekosystému, organizuje Uhelny seminář a vede každoročně řadu paleobotanických terénních exkurzí.

## **RNDr. Tomáš Macháček, Ph.D., mimosekční kurz**

za předmět *Efektivní studium VŠ*

O spokojenosti studentů s kurzem dr. Macháčka svědčí přívlastky, které mu dávají – „praktický“, „zábavný“, „interaktivní“, „jeden z nejpřínosnějších“. A někteří dokonce tvrdí, že by měl být povinný a že obsahuje vše, co člověk potřebuje vědět o studiu a vědecké práci. Garantem kurzu, na kterém se studenti učí jak pracovat s informacemi, přemýšlet nad daty, psát texty a přednášet, je Tomáš Macháček od roku 2017 a od roku 2020 jej učí již zcela samostatně. ●

# Ptáci, město, příběh hrdiny

Vyšla publikace, která vzdává hold nevšední osobnosti

Revolver Revue a Česká společnost ornitologická spojily své síly a připravily k vydání mimořádnou knihu *Pražské ptactvo 1800–2020 (Ptáci – město – příběh hrdiny)*. Obsáhlý svazek přináší slovem i obrazem pozoruhodné ornitologické dílo Veleslava Wahla a zároveň přibližuje osud tohoto odbojáře proti dvěma totalitám, který za své přesvědčení zaplatil životem. Na vzniku knihy se podílel mimo jiné i Ondřej Sedláček z Katedry ekologie Přírodovědecké fakulty UK a fakulta také vydání finančně podpořila.

Těžištěm knihy je ceněná a v mnoha směrech průkopnická práce *Pražské ptactvo*, v níž ornitolog Veleslav Wahl (1922–1950) v polovině čtyřicátých let 20. století knižně dokumentoval a komentoval stav a prostředí ptáků v hlavním městě. Na svou dobu mimořádně prozíravý a dnes zvlášť aktuální je mimo jiné Wahlův přístup k ochraně ptactva apelující na cílenou péči o životní prostředí. Pro současné vydání byly navíc kapitoly původního *Pražského ptactva* významně doplněny a aktualizovány novými texty, které reflektují změny v avifauně Prahy. Wahl kupříkladu ve své době napočítal v Praze 182 ptačích druhů, dnes jich zde ornitologové evidují 248. Ačkoliv počet druhů vzrostl, některé z nich tu nicméně již nehnízdí. Patří mezi ně například strnad zahradní či sýček obecný, naopak nově v hlavním městě hnízdí labuť velká, hrdlička zahradní nebo sokol stěhovavý. Významně přibyly i druhy typické pro vodní a mokřadní prostředí, Vltava v Praze se také stala důležitým zimovištěm vodních ptáků.

Další podstatná část knihy je zaměřena na nevšední život Veleslava Wahla a jeho hrdinské občanské postoje, jimž dodnes



nebyla věnována patřičná pozornost. Wahl byl totiž nejen významným ornitologem, ale také aktivním členem domácího protinacistického a posléze protikomunistického odboje. A za údajnou velezradu a vyzvědačství byl v roce 1950 totalitní komunistickou justicí odsouzen k smrti. „Tragický osud a silný životní příběh autora *Pražského ptactva* a dílo samotné nám nedaly spát – kvůli vědomí, že vůči Wahlovi máme my, ornitologové, dluh, který je třeba splatit,“ píše jeden z autorů knihy, ornitolog Petr Voříšek.

Důležitou rovinu tvoří i obrazová vrstva knihy. Texty o ptactvu provázejí nové kresby Jana Hoška, starší ilustrace Karla Svolinského i výběr z obrázků samotného Wahla, fotografie pražských lokalit, které pro tuto publikaci pořídil Karel Cudlín, i řada archivních snímků,

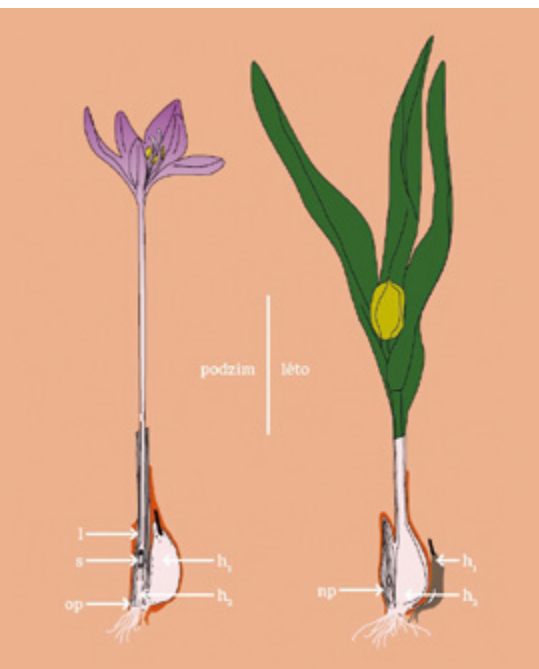
dokumentů a dalších pramenů. Autory grafické úpravy celého svazku jsou Josefina Karlíková a Matej Vojtuš.

„Veleslav Wahl byl velmi statečný člověk, jeho osud a ornitologické dílo si proto zaslouží nebýt nikdy zapomenuty,“ uzavírá předmluvu Wahlova neteř Kateřina Ebelová. Kniha, čítající 544 stran, ve svém edičním záměru vychází z Wahlovy poslední vůle, kterou sepsal den před svou popravou. Chce splatit dluh vůči jeho ornitologickému dílu i jeho občanské statečnosti a být zdrojem poučení, posily i radosti pro mladé i starší čtenáře 21. století.

Více informací o knize včetně náhledu najdete na [www.revolverrevue.cz](http://www.revolverrevue.cz) nebo [www.birdlife.cz](http://www.birdlife.cz), kde ji lze zakoupit za zvýhodněnou cenu. ●

# Rozumění skrze tvar

Jak nám tvar rostlin pomáhá v poznání jejich životní strategie



Kniha přístupnou formou přibližuje, jak poznání tvarů rostlinného těla přispělo a přispívá k porozumění rostlinných životních strategií. Pokouší se odpovědět na otázky: jaká je ekologická funkce takových vlastností rostlin, jako je výška, cyklicita prýtu nebo adventivního odnožování z kořenů v každodenním životě rostliny nebo jak je ekologická funkce rostliny ovlivněna její morfologií a architekturou. Kromě samotných rostlin se zabývá také těmi, kdo k poznání ekologické funkce rostlinných tvarů přispěli a přináší jejich stručné medailonky. Kniha je určena všem, kdo mají rádi rostliny, amatérským i profesionálním botanikům. ●

**Těla rostlin.** Jitka Klimešová, Academia 2022, 236 stran



## Stopy a jejich výklad

Myšlení historiků a evolučních biologů je si podobnější, než se nám zdá

Co mají společného dějepiscevtví a evoluční biologie? Zdálnivě nic. Autoři však ukazují, že patří do jedné kategorie: obě nauky rekonstruují dějiny (lidí a života vůbec) na základě dochovaných stop, pak jedna i druhá tyto nálezy interpretují – a sprádně vyprávění o možném průběhu minulých dějů. Dějů, které nějak probíhaly a k nimž nemáme přímý přístup. Autoři se také se vši vážností ptají, zda i ostatní formy života („ne-lidské“) nečiní totéž: totiž že smysluplně interpretují svůj život v kontextu světa, v němž žijí, ale také na základě paměti a zkušenosti své linie sahající do hlubin věků.



**Jan Horský** je absolventem historie na FF UK, dlouhodobě působí na FHS UK. Zabývá se zejména teorií a metodologií historických věd, průniky biologických a humanitněvědních teorií vývoje kultury a historickou demografií a dějinami rodiny.

**Anton Markoš** vystudoval PŘF UK a na této fakultě léta působí na Katedře filozofie a dějin přírodních věd. Zabývá se teoretickou biologií a kromě řady odborných statí a překladů je autorem několika teoretickobiologických knih. ●

**Pohyby semen a tvarů.** Horský Jan, Markoš Anton, Mervart 2024, 576 stran



# Expedice Kolumbie '24

**Botanická výprava za poklady a nástrahami jihoamerického párama**

FOTO PETR JAN JURAČKA

Cesty vědy i cesty Boží mají jedno společné. Jsou nevyzpytatelné! Tento expediční příběh spojil dohromady hned tři spolužáky stejného ročníku naší fakulty: botanika, parazitologa a hydrobiologa. Stalo se tak přitom rovných dvacet let od jejich nástupu ke studiu. Na začátku všeho byla možnost sběru vzorků v nepřístupném kolumbijském národním parku Parque Nacional Nat-

ural Serranía de Los Yariguíes, která se naskytla Dianě Libeth Aparicio Vásquez a Lucianě Salomon z katedry botaniky PŘF UK. Jedná se o místa, kde ještě žádný botanický výzkum prakticky ještě nikdy neproběhl, což je v dnešní době opravdu vzácné. Na vrcholcích hor, kam nevedou žádné cesty, se navíc rozkládá párama – bezlesý vysokohorský ekosystém rovníkových hor Jižní Ameriky. Na

botanický výzkum párama se však Dianě nepodařilo sehnat nutné finanční prostředky, což se rozhodl napravit bývalý parazitolog Petr Synek, který po studiu na fakultě vede vlastní úspěšnou firmu specializující se na obchod s lanýži. A proč se k výpravě přidal hydrobiolog Petr Jan Juračka z katedry ekologie? Jeho úkolem byla fotografická a filmová dokumentace expedice. ●





◀▲ Krajinu Yariguíes tvoří dlouhé horské hřebeny a vrcholky hor, které jsou až takřka po vrchol porostlé doslova neprostupným pralesem.

▲ Diana a Luciana stoupají za východu slunce do párama. Cesta jim zabere ještě celý den, ale dokud není slunce nad obzorem, vedro i útoky bodavého hmyzu jsou snesitelné.

◀ Jen co vyjde slunce a krajina se rázem oteplí, ve vzduchu začnou poletovat tabanos, tedy příslušníci dvoukřídlého hmyzu čeledi Tabanidae, období český ovádů. Obvykle se v pralese žijí na velkých savcích, což jsou ovšem terénní biologové taky.

Jedna z mnoha orchidejí, které botanici našli a dovezli do herbáře. V řadě případů se takřka s jistotou jedná o nové, doposud nepopsané druhy.



A toto je typické bezlése páramo, kde najdeme charismatické klejovky rodu *Espeletia*, které mohou být přes tři metry vysoké, stejně jako mnoho dalších druhů rostlin především z čeledi hvězdnicovitých a vřesovcovitých.



◀◀◀ Typickým zástupcem andských vrcholů však nejsou jen rostliny. Kondora andského (*Vultur gryphus*) zná jistě každý.

◀◀ Ačkoliv toto připomíná okrasnou rostlinu, jedná se ve skutečnosti o mohutný druh starčku, *Senecio niveo aureus*, který se vyskytuje v Kolumbii a v Ekvádoru ve výškách až nad 4500 m n.m. přímo pod sněžnou čarou.

◀ Jedním ze stěžejních úkolů expedice byla distribuce dětských knih věnovaných ochraně páramu, kterou pro kolumbijské děti Diana napsala. Na snímku jedné z mnoha navštívených škol sedí autorka s Petrem Synekem.



◀ Jeden ze studovaných damanů z ostravské zoo. Foto Jan Pluháček

Jedinečná jsou data, která v ostravské zoo získala. „Rychle jsem pochopila, proč jsem před pěti lety nemohla najít žádnou přesvědčivou shodu v hlasových projevech těchto damanů s jakýmkoliv jiným, v té době známým druhem.“

Porovnání hlasových projevů ukázalo minimálně tři shodné projevy pojmenované jako „strangled thwack“, „hac“ a „whe-eze“. V nahrávkách těch ostravských se navíc nikdy neobjevilo volání, které je charakteristické pro stromového damana druhu *Dendrohyrax arboreus*, za který byli původně považováni. Je tedy velmi pravděpodobně, že damani z Ostravy a z Taita Hills patří ke druhu s dosud nejasným taxonomickým zařazením. Přesná determinace taxonu a jeho zařazení bude nyní předmětem dalšího bádání.

„Z tohoto objevu mám upřímnou radost také proto, že ještě donedávna byli zástupci stromových damanů chováni jen v několika zoo v České republice. Jsou poměrně náročni na chov a to, že se jejich populace v zoologických zahradách rozrůstá a máme možnost se o nich něco dozvědět, se podařilo jen díky obrovskému chovatelskému úsilí ostravské zoo,“ vysvětluje Irena Schneiderová.

Studie o damanech byla publikována v časopise *Journal of Zoo and Aquarium Research* (JZAR), který vydává Evropská asociace zoologických zahrad a akvárií (EAZA) a ukazuje mimo jiné, že vzájemná spolupráce mezi zoologickými zahradami a akademickými institucemi je velmi prospěšná. V zoologických zahradách je možné zvířata pozorovat zblízka nebo odebírat vzorky pro různé analýzy, což může být ve volné přírodě obtížné. A poznatky z volné přírody naopak pomáhají optimalizovat jejich chov. ●

## Po hlasu poznáte je

### Hlasové projevy umožnily odhalit unikátní damany

Damani představují jedinečný řád savců, který se však, na rozdíl od jim příbuzným slonům, obvykle těší jen velmi malé pozornosti. Zejména stromové druhy, které jsou aktivní hlavně v noci, nejsou vědecky dostatečně prozkoumány a skrývají nejspíš mnohá překvapení. Jedno takové překvapení čekalo v ostravské zoologické zahradě, kde byl ve spolupráci s Přírodovědeckou fakultou UK, konkrétně Irenou Schneiderovou z katedry zoologie, pomocí hlasové analýzy pravděpodobně odhalen zcela jiný a dost možná neznámý druh tohoto savce.

Již v roce 2015 se zooložka Irena Schneiderová ve spolupráci s Janem Pluháčkem z ostravské zoo rozhodla nahrát projevy tamní skupiny damanů původem z Tanzanie a jejich hlasy analyzovat. Ti sice byli určeni jako druh *Dendrohyrax arboreus*, pro druhovou determinaci nočních savců však bývají zvukové projevy často mnohem vhodnější než jejich obvykle nenápadný vzhled. Podařilo se

zjistit, že ostravští damani vydávají kolem pěti typů hlasů, které se volání známých druhů damanů podobají jen zčásti. Naneštěstí nebylo možné zjistit, v jakých situacích se damani zvukově projevují, a proto se porovnání hlasových projevů s jinými druhy a vyvození smysluplných závěrů ukázalo jako mimořádně obtížné a výzkum se zastavil na mrtvém bodě.

O pět let později publikoval mezinárodní tým badatelů informaci, že ve vlhkých lesích pohoří Taita Hills v jihovýchodní Keni byla objevena populace damanů, jejíž hlasové projevy jsou velice specifické a nebyly do té doby zaznamenány u žádného jiného druhu. Mohlo by se tedy jednat o druh dosud neznámý. „Na článek o damanech z Taita Hills jsem narazila během lockdownu. Ihned jsem navštívila webové stránky Hanny Rosti a zvukový záznam si poslechla. Poté jsem běžela najít starý disk s nahrávkami damanů z Ostravy,“ popisuje Irena Schneiderová situaci, kdy zjistila, jak

# Jarní flóra Bubovických vodopádů

Nastává nejlepší čas na návštěvu „srdce“ Českého krasu

PETR SOUČEK

Nenápadný potok pramenící u středočeských Bubovic by v horní části svého toku stěží upoutal pozornost procházejícího turistu – nijak zvlášť se zde neliší od jiných říček, jakých je naše krajina plná. Po několika kilometrech se však z polí dostává do zalesněných roklí Českého krasu a na vápencovém podloží vytváří jednu z nejzajímavějších lokalit Národní přírodní rezervace Karlštejn – Bubovické vodopády. Ty patří, i s ohledem na nedaleký hrad Karlštejn, k vyhledávaným turistickým destinacím středních Čech. U vodopádů si lze povšimnout jednoho fenoménu typického pro krasové oblasti – vápencem obsažený ve vodě se tu sráží a ukládá v podobě pěnovce. Ostatně mohutné vrstvy této horniny, ukládané po tisíce let, je možné obdivovat v nedalekém Svatém Janu pod Skalou.

Lokalita je vhodná k návštěvě spíše v jarních měsících, kdy je v potoce více vody



a bylinné patro okolních lesů v plném květu. K vodopádům se lze dostat ze tří směrů: od hradu Karlštejn, ze Srbska nebo ze Svatého Jana pod Skalou. První a druhá varianta je vhodná pro malé nebo naopak starší chodce, na výlet ze Svatého Jana je naopak lépe si vyčlenit celý den. Bubovický potok si ovšem nejvíce užijete při cestě ze Srbska, kde se vlévá do Berounky – celou cestu půjdete proti jeho proudu a k vodopádům dorazíte po necelých třech kilometrech. Další možností je využít naučnou stezku Srdcem Českého krasu, která má 9 km a je opatřena informačními panely.

◀ **Vstavač nachový (*Orchis purpurea*).**  
Zdroj Shutterstock.com

A na co se v jarních měsících těšit? Z běžnějších druhů se zde setkáte s plicníkem lékařským, dymnivkou dutou, hrachorem jarním i černým, jaterníkem trojlaločným, kokoříkem vonným a sasankou pryskyřníkovitou. Potkat zde ovšem můžete i kyčelnici devítilistou, lilii zlatohlavou, oměj včelí mor, medovník meduňkolistý, vstavač nachový, bělozářku liliovitou nebo okrotici červenou. A nouze tu není ani o vzácnou, zejména hmyzí faunu (běloskvrňáč pampeliškový, vrubounek Schafferův).

Pozor, tam, kde turistická trasa prochází územím rezervace, je zakázán vstup mimo značené trasy. Na cestu doporučujeme použít kvalitní, nepromokavou obuv, na některých místech hrozí výskyt bahna. ●

# Papírové „lekníny“

I obyčejná čtvrtka může krásně rozkvést

JAKUB REŽŇÁK

Začíná jaro a příroda kolem nás pomalu rozkvétá. V dnešním pokusu si ukážeme, že i květy z papíru mohou vykvést. Nápad na realizaci pokusu v této podobě pochází ze soutěže Pohár vědy.

## Co budete potřebovat

- různé druhy papíru (kancelářský, výkresovou čtvrtku, filtrační apod.)
- voskovky
- provázek z přírodních materiálů (např. z juty)
- nůžky
- misku či jinou nádobu

## Postup

Z kancelářského papíru vystříhnete papírový květ a opatrně přehnete jednotlivé okvětní listy do středu. Do misky naberte vodu a květinu položte na hladinu. Pozorujte, co se bude dít.

Pro další pokus připravte tři stejné květiny rovněž z kancelářského papíru. Jeden květ ponechte čistý, druhý a třetí ze spodní strany pomalujte voskovkou tak, aby nezůstal žádný kousek květu bílý. Doprostřed třetího květu udělejte otvor. Z provázku odstříhnete 5 cm dlouhý kousek. Pokud máte tenký provázek, odstříhnete minimálně tři stejně dlouhé kousky. Poté provázek provlečte otvorem tak, aby vypadal jako kořínek. Pokud je příliš tlustý, rozpleťte jej v dolní části. Tenké provázky naopak nechte volné. Všechny tři květiny opatrně složte tak, aby navoskovaná část zůstala na povrchu, položte je na hladinu vody a pozorujte.

## Pozorování

Obyčejné papírové květy vykvetou poměrně rychle. Navoskované květy buď



Zdroj: Mysteryscience.com

nevykvetou vůbec nebo velmi pomalu. Kořínek vykvetení navoskovaných květů urychlí.

## Proč papírové květiny ve vodě vykvetou?

Papír je vyroben ze dřeva a je tvořen velkým množstvím malých vláken. Ta obsahují tenké trubičky, tzv. kapiláry. Když položíte květ na hladinu, kapiláry se začnou plnit vodou a napřimovat se, čímž dojde k vyrovnání ohybu a rozevření květu. Pokud při skládání kytku ohnete a pořádně přitlačíte nebo přejetete hranu nehem, může dojít k porušení kapilár a k efektu nedojde.

## Jaký je vliv vosku a provázku?

Vosk je látka hydrofobní, vodu tedy odpuzuje a nesmáčí se. Na papírové

kytce působí jako ochranný povrch a zabraňuje kontaktu papíru s vodou. Pokud je kytka dobře navoskovaná, nevykvetete. Provázek v navoskované kytce funguje podobně jako kořeny u rostliny. Nabírá vodu a přivádí ji dovnitř. V našem případě přivádí vodu k horní straně květu, čímž namočí nenavoskovanou stranu a květ se sice se zpožděním, ale přece jen otevře.

## Náměty pro další bádání

- Vyzkoušejte, který druh papíru funguje při pokusu nejlépe.
- Kvetou lépe květy bezbarvé nebo je lepší je vybarvit?
- Zkuste vyrobit květ s více vrstvami. Tedy velkou květinu, která v sobě skrývá několik dalších. ●

# Kalendář Přírodovědců

Nabízíme vám vybrané akce pro veřejnost, které se týkají přírodních věd a které většinou pořádá nebo se jich účastní Přírodovědecká fakulta UK. Pokud není uvedeno jinak, jsou akce zmiňované na této stránce zdarma.



## 26.–29. DUBNA 2024 CITY NATURE CHALLENGE

Představme světu naši přírodu! Mezinárodní soutěže City Nature Challenge, která vznikla za účelem vzbudit zájem o přírodu u obyvatel velkých měst, se letos zúčastní Praha, Brno a další česká města. Chcete-li se také zapojit, stáhněte si do svých mobilních telefonů aplikaci iNaturalist, zaregistrujte se a ve dnech 26. 4. – 29. 4. foťte živé druhy na katastrálním území daného města. Vyhrává město s největším počtem pozorování. S určením druhů Vám v případě potřeby pomohou odborníci. Fotografie můžete pořizovat u vás na zahradě, v oblíbeném parku nebo třeba na autobusové zastávce. Více na [www.citynaturechallenge.cz](http://www.citynaturechallenge.cz)



## 17. KVĚTNA 2024 DEN FASCINACE ROSTLINAMI

Vypravte se s námi do fascinujícího světa rostlin. Objevte jejich druhovou rozmanitost, fyziologii, stavbu buněk nebo význam pro člověka. V areálu botanické zahrady na vás bude čekat řada interaktivních stánků např. mikroskopování pylových zrn, masožravé rostliny, rostlinné fosilie a mnoho dalších. Akce je vhodná pro školní skupiny (hlavně středoškolské) i pro individuální zájemce. Vstup je zdarma.

**Čas a místo:** 17. května, Botanická zahrada PŘF UK, Na Slupi 16

## VELETRH VĚDY

## 30. KVĚTNA – 1. ČERVNA 2024 VELETRH VĚDY

Největší populárně naučná akce v České republice, kterou každoročně od roku 2015 pořádá Akademie věd ČR. Zabývá se vědou ve všech jejích podobách a nabízí svým návštěvníkům to nejzajímavější ze světa přírodních, technických, humanitních i společenských oborů. Představuje vědu a výzkum jako fascinující a zásadní odvětví lidské činnosti. Vědu pak návštěvníci veletrhu zažijí na vlastní kůži prostřednictvím interaktivních exponátů, modelů, mobilních laboratoří a praktických dílen. Určitě si nenechte ujít stánek Přírodovědecké fakulty UK.

**Čas a místo:** od čtvrtka 30. 5. do soboty 1. 6. 10:00–18:00, Výstaviště Praha-Letňany.





# Kořeny

14. 2. 2024 — 5. 1. 2025

Sládečkovo vlastivědné muzeum v Kladně

Chcete se třicetkrát zmenšit a objevovat tajemný svět pod zemí — plný barev, příběhů a překvapení? Přijďte na výstavu Kořeny, zapůjčenou ze Západočeského muzea v Plzni.