

ÚSTAV EXPERIMENTÁLNÍ BOTANIKY AV ČR, v. v. i.



WWW.UEB.CAS.CZ

# ZKOU MÁME ROSTLINY

a naše objevy pomáhají lidem

Na základě Speciální sekce ÚEB  
v českém vydání *Scientific American*





## Poznáváme svět rostlin, abychom mohli pomáhat lidem

Ústav experimentální botaniky Akademie věd ČR (ÚEB) byl založen roku 1962. Tvoří ho dvanáct laboratoří v Praze, dvě laboratoře v Olomouci a šlechtitelská stanice ve Strážovicích u Turnova. Hlavním posláním ústavu je výzkum v oblasti rostlinné biologie. S nadsázkou řečeno nás zajímá, „jak rostliny fungují“ – tedy jaké fyziologické, molekulárněbiologické či biochemické děje se odehrávají v jejich orgánech a buňkách.

V oblasti genetiky rostlin se zaměřujeme na vývoj metod pro třídění chromozomů a mapování velkých genomů, na zjišťování funkce vybraných genů a určování jejich polohy na chromozomech a na poznání procesů, kterými je v buňce poškozována či opravována DNA. Objasnujeme také základní mechanismy regulující růst a vývoj rostlin, a to na úrovni jednotlivých buněk i celé rostliny nebo jejích orgánů.

Poznatky získané základním výzkumem využíváme v projektech zaměřených na praktické aplikace. Přípravujeme například nové látky, které potlačují dělení buněk a mohly by v budoucnu sloužit k léčbě rakoviny. Hledáme také prostředky zpomalující stárnutí buněk, vyvíjíme požitelné vakcíny a šlechtíme odrůdy jablek odolné proti některým houbovým chorobám.

Spolupracujeme s dalšími výzkumnými ústavu, vysokými školami, státní a veřejnou správou i soukromými firmami. A nejde jen o domácí partnery – většina publikací našich badatelů vzniká ve spolupráci se zahraničními kolegy.



První ředitel ústavu profesor Ctibor Blatný (vlevo) a legenda české rostlinné biologie profesor Bohumil Němec na snímku z roku 1963

## Vědecké poznatky pro praxi

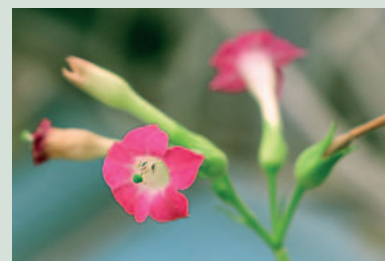
Přestože hlavním úkolem ÚEB je provádět základní výzkum, jehož produktem jsou vědecké publikace, některé z našich výsledků mají také značný aplikační potenciál. Během posledních pěti let jsme v České republice i ve světě získali 20 patentů, převážně na nově syntetizované sloučeniny, které mají zajímavé biologické funkce.

Mimo to jsme – opět v ČR i ve světě – zaregistrovali více než 50 práv (Plant Variety Rights) k odrůdám jablek vyšlechtěným v ústavu. Díky uzavřeným licenčním smlouvám se naše stromy, odolné vůči houbovým chorobám, pěstují prakticky na všech kontinentech. Jablka našich odrůd najdete v supermarketech v Itálii, Německu či USA;

kosmická agentura NASA je dokonce poslala na Mezinárodní vesmírnou stanici. V posledních letech je začínají nabízet i české obchody.



Počet publikací v impaktovaných časopisech za roky 2014–2018:	730
Licenční smlouvy na množení odrůd jablek vyšlechtěných v ústavu:	135
Stromky prodané za sezonu 2017/2018 na základě těchto licencí:	1 350 000
Patenty za roky 2014–2018:	20
Zaměstnanci:	323
Doktorští studenti:	80
Bakalářští a magisterské studenti podílející se na práci ústavu:	150



KONTAKTY:  
Ústav experimentální  
botaniky AV ČR, v. v. i.

Rozvojová 263  
165 02 Praha 6 – Lysolaje

tel.: +420 225 106 455, 225 106 473  
e-mail: ueb@ueb.cas.cz

## Výzkum na špičkové úrovni

Ústav se od roku 2018 podílí na řešení dvou center excelence v rámci evropského programu OP VVV. V centru nazvaném *Rostliny jako prostředek globálního udržitelného rozvoje* naši olomoučtí vědci se svými partnery vyvíjejí techniky, jež umožní šlechtit hospodářsky významné plodiny s vyššími výnosy

a také s větší odolností vůči nepříznivým klimatickým vlivům – zejména suchu.

*Centrum experimentální biologie rostlin*, které bude řešeno převážně v Praze, je zaměřeno podobně. Studuje odpovědi rostlin na stresy v podmínkách měnícího se klimatu.

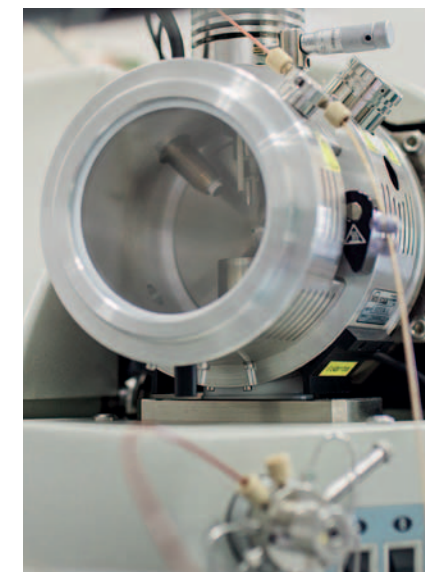


RNDr. Martin Vágner, CSc.  
ředitel ústavu

## Výzkumný program Potraviny pro budoucnost

- Součástí projektu Akademie věd ČR nazvaného *Strategie AV21 – špičkový výzkum ve veřejném zájmu*.
- Sdružuje týmy ze šesti ústavů AV ČR a partnery z výzkumu i praxe.
- Hlavní cíl: pomoci zajistit dostatek kvalitních potravin v nedaleké budoucnosti.
- Koordinátorem je profesor Jaroslav Doležel, vedoucí Centra strukturální a funkční genomiky rostlin ÚEB.
- V rámci projektu vznikla Aplikační laboratoř pro zemědělský výzkum. Propojuje vědce se šlechtiteli i dalšími zemědělskými odborníky, kteří tak mohou využívat metody a poznatky základního výzkumu. O služby laboratoře je mimořádně velký zájem.

## Nové objevy díky moderním přístrojům



Abychom dokázali držet krok s předními světovými institucemi, potřebujeme kromě bystrých lidí a množství peněz také odpovídající přístrojové vybavení. Především díky podpoře z Evropské unie se nám podařilo vybavit laboratoře tak, že i kolegové z prestižních západních pracovišť uznale pokývují hlavou.

V ÚEB najdete sestavu nejmodernějších konfokálních, elektronových a fluorescenčních mikroskopů. Naši analytičtí chemici jsou schopni stanovit nepatrná množství látek pomocí pokročilých chromatografických přístrojů s hmotnostní detekcí. Genetici zase umí roztřídit chromozomy průtokovým cytometrem a čistit jejich DNA na dalších vysoce specializovaných zařízeních.

## Časopisy s dlouhou tradicí

ÚEB již přes 50 let vydává dva renomované vědecké časopisy, ve kterých publikují své práce odborníci z celého světa. *Biologia Plantarum* se zaměřuje obecněji na nejrůznější aspekty rostlinné biologie, zatímco *Photosyn-*

*thetica* je jedním ze dvou mezinárodních časopisů specializovaných na fotosyntézu. Oba tituly jsou zařazeny do světových databází vědeckých periodik WOS a SCOPUS a již mnoho let mají svůj impaktní faktor.







## Jak se vyznat v DNA?



Vedoucí:  
prof. Ing. Jaroslav Doležel, DrSc.

Naše centrum dlouhodobě zkoumá dědičnou informaci rostlin. Odhalujeme změny, které doprovázely evoluci rostlin a vznik důležitých plodin. Studujeme také molekulární mechanismy, jež k nim přispívaly.

Strukturu genetické informace zkoumáme na celé škále úrovní – od pořadí písmen dědičného kódu, přes uložení DNA v buněčném jádře a proteiny, které se na tomto uspořádání podílejí, až po chromozomy pozorovatelné mikroskopickými technikami během buněčného dělení a tvorby pohlavních buněk.

Vyvíjíme také unikátní technologie, které usnadňují luštění dědičné informace a izolaci důležitých genů. Naše poznatky přispívají k rychlejšímu šlechtění nových odrůd zemědělských plodin.

## Čteme genomy obilovin

Pšenice setá je klíčovou plodinou pro téměř polovinu světové populace. Její genom (kompletní dědičná informace) přesto dlouho odolával snahám o úplné

přečtení. Důvodem byla jeho značná velikost, přibližně 16 miliard písmen „genetické abecedy“. Díky naší metodě bylo možné rozdělit celý genom na jednotlivé chromozomy a číst ho tak po malých částech. Metoda třídění chromozomů pomocí průtokové cytometrie byla naším základním příspěvkem k prestižnímu mezinárodnímu projektu čtení dědičné informace pšenice. Vytvořili jsme i takzvané optické mapy, které pomohly ověřit

řít výslednou sekvenci (pořadí „písmen“ v DNA). Kompletní sekvence pšenice byla publikována roku 2018 v prestižním časopise *Science*.



Optické mapy ukazují umístění krátkých opakujících se úseků (zelené značky) podél dlouhých molekul DNA (modré linie).

## Hledáme geny určující důležité vlastnosti



Rostliny pšenice napadené houbovými chorobami padlím travním (bílé kupky) a rzi listovou (hnědé kupky). Foto Eva Janáková

Tvorbu nových odrůd plodin lze zefektivnit, pokud známe geny ovlivňující požadované vlastnosti. Z nich odvozuje takzvané DNA markery, které usnadňují sledování těchto genů v potomstvech křížení, čímž se šlechtění urychluje a zlevňuje.

Zaměřujeme se například na studium genů odpovědných za regulaci doby kvetení, jejichž aktivita závisí na délce dne a působení chladu. Volbou vhodné doby kvetení lze optimalizovat využití srážek a půdní vláhy, a dosáhnout tak dobrých výnosů i v méně příznivých podmínkách.

S řadou zahraničních týmů spolupracujeme na identifikaci genů pro odolnost obilovin vůči škůdcům a chorobám, jako jsou mšice zhoubná, rzi a padlí travní.

I v těchto projektech používáme metodu třídění chromozomů, která usnadňuje izolaci genů.

## Pomáháme šlechtit lepší odrůdy trav

Řada druhů rostlin vznikla mezidruhovým křížením. Šlechtitelé využívají mezidruhovou a mezirodovou hybridizaci k přenosu výhodných znaků z planých příbuzných druhů do současných odrůd plodin. Z genetického hlediska představuje mezidruhové křížení zajímavou situaci: soužití dvou různých dědičných informací v jednom buněčném jádře.

Velký praktický význam mají kříženci trav kostrav a jílek,

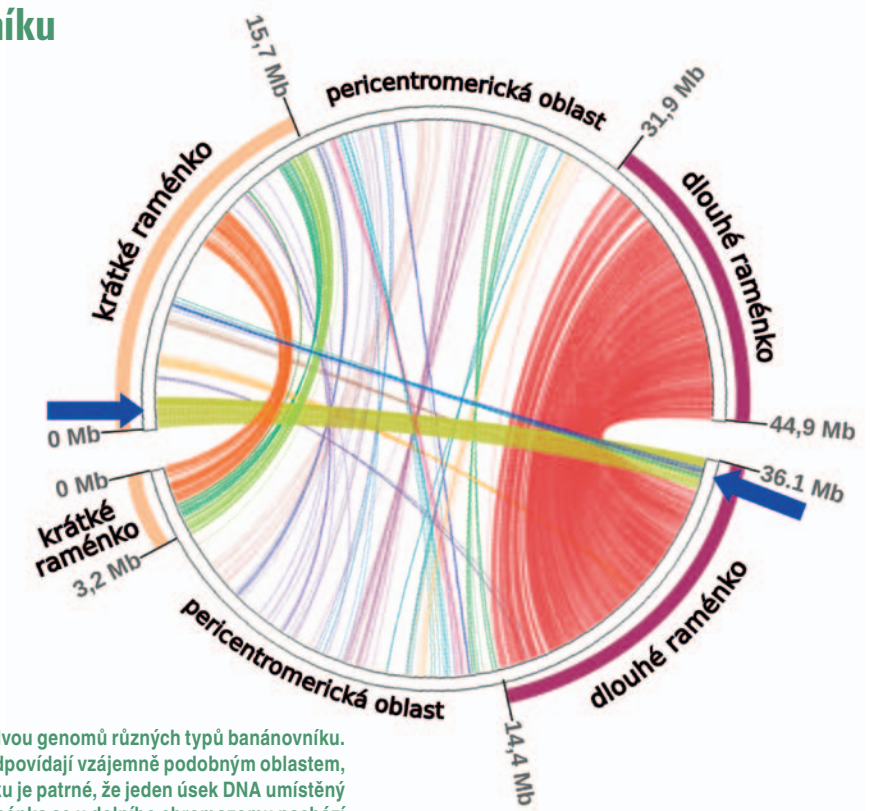
takzvaná ×Festulolia, která kombinují výhodné vlastnosti obou rodičovských druhů. U těchto hybridů ale genom jílek časem převládne nad genomem kostravy a pak dochází k částečné či úplné ztrátě chromozomů kostravy. To má za následek pokles odolnosti vůči mrazu či suchu. Prokázali jsme, že vhodným výběrem rostlin pomocí molekulárních metod lze zpomalit nebo dokonce zcela odvrátit eliminaci těchto chromozomů.

## Studujeme genom banánovníku

Banány jsou celosvětově nejobchodovanějším ovocem a základní potravinou pro stovky milionů obyvatel v rozvojových zemích. Dnešní odrůdy banánovníku jsou náchylné vůči mnoha chorobám a škůdcům, takže jejich pěstování vyžaduje intenzivní ošetřování pesticidy.

Řešením je přenos genů odolnosti z příbuzných planých druhů do současných odrůd. Proto jsme geneticky charakterizovali zatím největší kolekci planých banánovníků. Získané výsledky pomáhají při šlechtění této plodiny a také při uchovávání jejího genového bohatství.

U banánovníků rovněž studujeme rozdíly ve struktuře genomu mezi planými a pěstovanými formami. Naše zjištění přispívají nejen k výběru vhodných planých druhů pro šlechtění, ale také k pochopení evoluce této důležité rostliny.



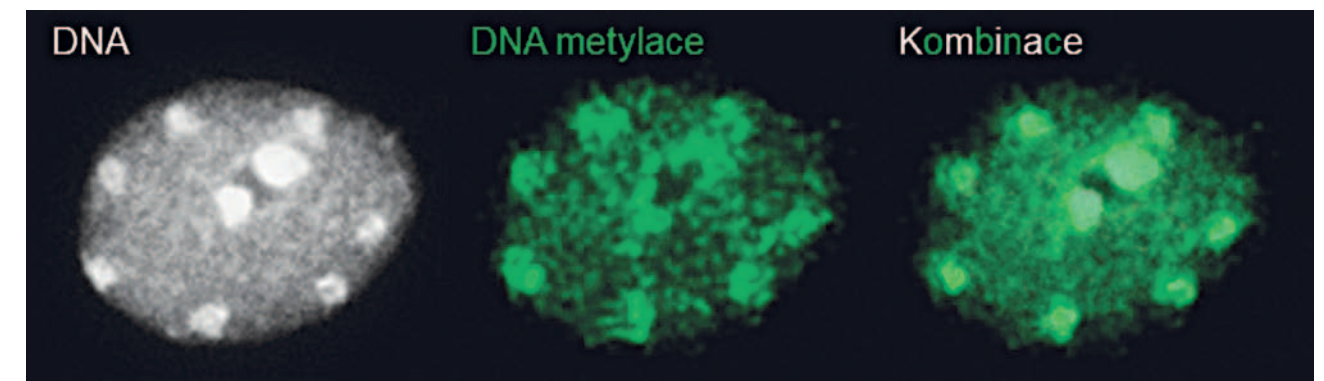
Srovnání struktury chromozomu 8 ze dvou genomů různých typů banánovníku. Barevné spojnice mezi chromozomy odpovídají vzájemně podobným oblastem, nesoucím blízké příbuzné geny. Z obrázku je patrné, že jeden úsek DNA umístěný v horním chromozomu na konci krátkého raménka se u dolního chromozomu nachází na konci dlouhého raménka. Tato přemístěná část je označena modrými šipkami.

## Zkoumáme uspořádání DNA v jádře

Molekula DNA, dlouhá desítky centimetrů až několik metrů, se nachází v buněčném jádře o průměru pouhých pár tisíců milimetrů. Přitom musí být přístupná pro různé enzymy a jiné proteiny, které zajišťují její kopírování, opravy a přepis genů. K tomu je nutné, aby DNA byla úsporně, ale zároveň dynamicky uložena.

Naš tým odhaluje, jak se prostorové uspořádání DNA v jádře

mění během buněčného cyklu od jednoho dělení k dalšímu, jak se liší mezi různými rostlinnými druhy a pletivy, a které proteiny tyto procesy řídí. Analyzujeme také vliv změn v uspořádání DNA na aktivitu genů a v konečném důsledku na růst a vývoj rostlin. Pochopení těchto jevů je základem pro využití inovativních přístupů ve šlechtění plodin.



Struktura buněčného jádra u pokusné rostliny huseničku rolního. DNA je na tomto snímku vyznačena bíle. Buňky mohou některé úseky DNA chemicky modifikovat takzvanou metylací (zeleně). Oblasti s vysokou intenzitou obou barev se nazývají heterochromatin a obsahují velmi málo aktivních genů. Slaběji zbarvené oblasti s nízkou úrovní metylace představují euchromatin, který je naopak bohatý na aktivní geny.





## Nové molekuly pro vědu i praxi



Vedoucí:  
prof. Ing. Zdeněk Wimmer, DrSc.

Naše laboratoř se zabývá hlavně přípravou a vývojem zajímavých sloučenin, které jsou odvozeny od přírodních látek a uplatňují se v biologickém či medicínském výzkumu. Výhledově mohou být použitelné i v praktických aplikacích – třeba při vývoji nových léčiv nebo moderních nanomateriálů.

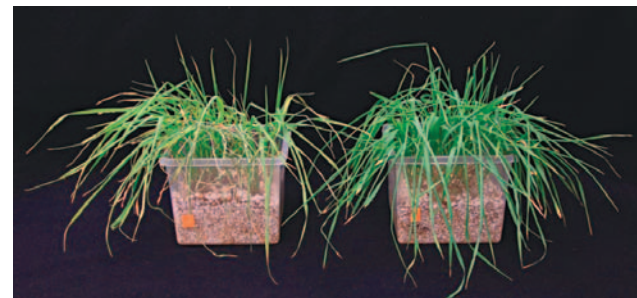
Zaměřujeme se na tři skupiny látek: rostlinné hormony cytokininů, sloučeniny obsahující dusík (například puriny) a rostlinné triterpeny (strukturně podobné třeba cholesterolu). Sloučeniny, které připravujeme, můžeme také označovat zabudováním radioaktivních atomů.

## Odolnější plodiny s vyššími výnosy

Cytokininů jsou důležité rostlinné hormony vyskytující se obecně ve všech rostlinách. Naše laboratoř vyvíjí sloučeniny odvozené od cytokininů a také další biologicky aktivní látky, které napodobují účinky rostlinných hormonů. Aplikace těchto sloučenin vyvolává v rostlinách různé fyziologické reakce, jejichž studium pomáhá lépe pochopit, jak bychom tyto procesy mohli ovlivnit.

Hlavním cílem je připravit a nabízet společnosti nové látky, které by zvyšovaly odolnost i výnos zemědělských plodin. Tyto přípravky nesmějí být škodlivé pro životní prostředí a mnohdy jsou odvozeny od přírodních látek. Zkoumané sloučeniny často značíme pomocí radioaktivních atomů – například tritia, což je radioaktivní izotop vodíku. Takové značení představuje účinný způsob,

jak detekovat produkty jejich metabolismu při sledování biochemických pochodů v rostlinách.



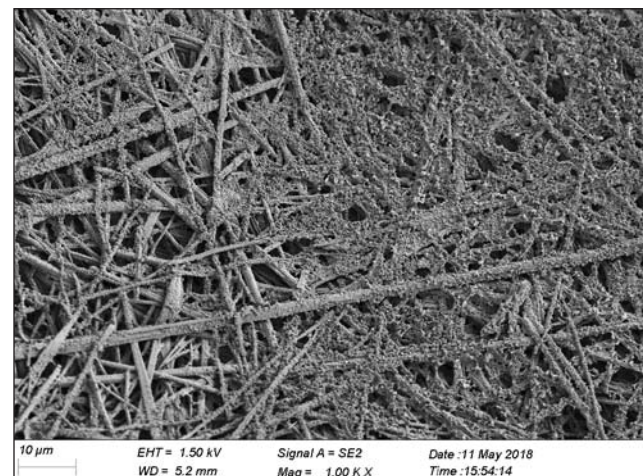
Protistresový účinek testované látky na rostliny vystavené suchu. Vlevo kontrolní neošetřené rostliny, vpravo ošetřené.

## Nanotechnologie pro medicínu

Látky ze skupiny triterpenů jsou v rostlinách hojně zastoupené a lze je z rostlinného materiálu izolovat různými metodami. Důležité jsou zejména triterpenové kyseliny, které mají cytotoxické, antimikrobiální a antivirové účinky. Vyznačují se ovšem velmi nízkou biodostupností – tedy malou rozpustností

ve fyziologickém prostředí lidského těla. Přípravou vhodných sloučenin (derivátů) odvozených od triterpenových kyselin se dá míra biodostupnosti upravit, což ovlivňuje i jejich biologickou aktivitu.

Řada získaných derivátů navíc vykazuje supramolekulární vlastnosti. To znamená, že jednotlivé molekuly se dokážou samy organizovat do složitějších celků a vytvářet takzvané supramolekulární gely. Tyto nové materiály mají velký význam pro současnou biomedicínu a pro výzkum inteligentních nanomateriálů, schopných se samovolně přetvářet v závislosti na podmínkách okolního prostředí. Takové „chytře“ materiály pak mohou cíleně přenášet léčiva přímo ke tkáním, kde mají působit. Snižují tím dávky léků, které je nutné aplikovat do pacientova těla.



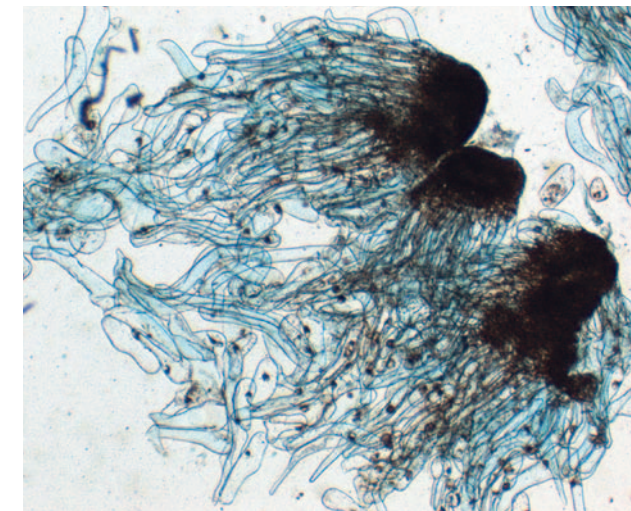
Supramolekulární gel na snímku ze skenovacího elektronového mikroskopu (vlevo) a gel ve zkumavce postavené dnem vzhůru (vpravo)

## Manažeři vývoje

Zaměřujeme se na výzkum biologicky aktivních látek, hlavně rostlinných hormonů, polyaminů, fenolických kyselin, karotenoidů a cukrů. Některé tyto sloučeniny hrají v určitých fázích vývoje rostliny důležitou roli jakýchsi manažerů. Rozhodují totiž, jak se bude rostlina dál vyvíjet a jaké děje při tom budou probíhat.

Naším oblíbeným pokusným systémem, který studujeme už přes dvacet let, je somatická embryogeneze jehličnanů. Při ní vznikají zárodky z tělních (somatických), nikoliv pohlavních buněk.

## Jehličnany „ze zkumavky“



Mikroskopický snímek embryogenní kultury smrku. Tmavé útvary vpravo jsou proembrya, z nichž později vzniknou zárodky. Dlouhé suspenzorové buňky (obarveny světle modře) zásobují proembrya živinami.

Somatická embryogeneze je založena na faktu, že vhodná, málo specializovaná rostlinná buňka dokáže spustit prakticky jakýkoliv vývojový program – vytvořit třeba stoněk, kořen, či zárodek (embryo). V případě jehličnanů využíváme buňky z nezralých „normálních“ neboli zygotických embryí, která vznikají přirozenou cestou v semenech.

Tyto buňky vytvářejí po stimulaci rostlinnými hormony takzvanou embryogenní kulturu. U jehličnanů se skládá ze dvou typů buněk: z malých buněk tvořících kompaktní útvary nazývané proembrya a z dlouhých suspenzorových buněk. Pod mikroskopem tak kultura připomíná směsici komet s dlouhými ohony.

Pokud kultura dostane další hormonální signál, vyvinou se z proembryí somatická embrya. Jsou celkem přesnou kopií zygotických zárodků v semenech a později dokážou i vyklíčit. Všechny semenáčky připravené ze stejné embryogenní kultury jsou ale geneticky totožné – na rozdíl od stromů v běžném lese, které pocházejí z geneticky různorodých semen.



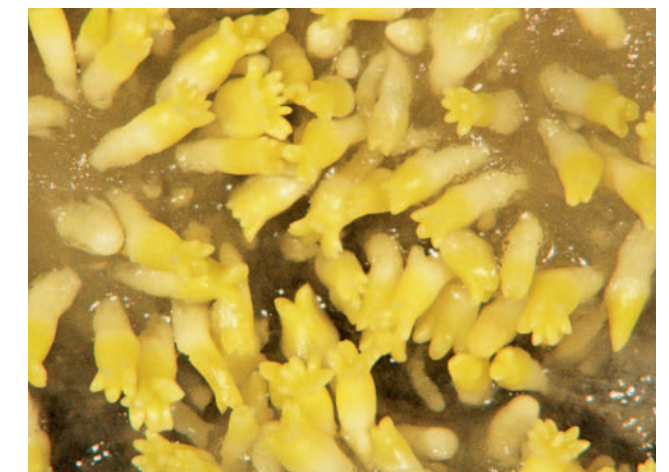
Vedoucí:  
RNDr. Martin Vágnér, CSc.

## Biologický výzkum i vánoční atmosféra

Somatická embryogeneze jehličnanů je cenný experimentální model. Během několika týdnů se při ní odehrávají vývojové kroky, jež na sebe navazují a každý z nich je jinak regulován. To nám umožňuje zkoumat vztahy mezi vývojovými procesy a chemickými látkami, které je řídí.

Před Vánoci ale můžete vidět i praktické využití somatické embryogeneze. Část kavkazských jedlí dovážených z Dánska je totiž pěstována právě s její pomocí. Váš vánoční stromek tedy mohl být před časem podobnou tajemnou kometou, jakou ukazuje obrázek výše.

Zralá somatická embrya smrku. Z dolní bílé části zárodku později vyklíčí kořínek. V horní žlutavé části jsou vidět základy děloh, připomínající špičaté prsty.



## Nebojíme se pohlédnout smrti do očí

A budeme ji sledovat s velkým zájmem! Máme na mysli takzvanou programovanou buněčnou smrt. Ta je ve vývoji rostlin i živočichů velice důležitá. U rostlin se uplatňuje například tehdy, když některý buněčný typ splnil svůj úkol a dál už není potřeba.

Během somatické embryogeneze jehličnanů potkává tento osud suspenzorové buňky, které v určité fázi vyživují proembrya. Další vývoj proembryí v somatická embrya by ovšem suspenzorové buňky brzdily. Čeká je proto rychlá a programovaná smrt.





## Rozmnožování a partnerské vztahy rostlin

Vedoucí:  
doc. RNDr. David Honys, Ph.D.

Naše laboratoř zkoumá rozmnožování vyšších rostlin – konkrétně vývoj reprodukčních struktur v květech, mechanismy vlastního pohlavního rozmnožování a s tím související otázky stability genomu (kompletní dědičné informace organismu).

Rozmnožování rostlin je neobyčejně komplexní soubor jevů a mechanismů, který zahrnuje řadu specializovaných buněk s unikátními funkcemi. Celý proces se odehrává skrytě v květech, což z něj dělá atraktivní model pro studium. Nicméně právě tato skrytost činí výzkum po technické stránce poměrně komplikovaným. Vědci z naší laboratoře dosáhli ve své práci řady důležitých, prioritních výsledků.

### Co předchází oplození?

Když pylové zrno dosedne na bliznu, začne z něj vyrůstat dlouhá tenká trubice, takzvaná pylová láčka. Jejím úkolem je dopravit k vajíčku samčí pohlavní

buňky. U modelových rostlin jsme popsali a detailně charakterizovali soubor všech aktivních genů (transkriptom) a jeho dynamiku během vývoje pylu i pylových láček – tedy téměř na úrovni jednotlivých buněk. V návaznosti na tyto výsledky studujeme regulaci genové aktivity ve vyvíjejícím se pylu a regulační proteiny, které ji zabezpečují.

Dále se věnujeme fenoménu zdatnosti pylových zrn v dramatickém závodě o to, kdo dorazí k vajíčku jako první a oplodní jej. V souvislosti s tím zkoumáme zásobní látky ukládané v pylu, jež tuto zdatnost zvyšují. Zabýváme se také komunikací mezi pohlavními partnery, která je klíčová pro navedení pylové láčky k vajíčku a pro jejich vzájemné rozpoznání.

Otevřený zralý prašník citlivky (rod *Mimosa*) na snímku ze skenovacího elektronového mikroskopu. Foto: David Honys

### Proteinová konverzace

Snažíme se ukázat, že komunikace pylové láčky s vajíčkem není jednostranná, jak je obecně přijímáno, ale že jde o dialog s aktivní účastí obou partnerů.

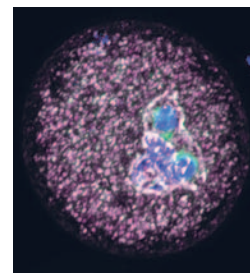
Dosud jsme popsali řadu proteinů vylučovaných láčkou, které hrají důležitou roli při ustavení složitých interakcí mezi oběma pohlavními partnery. Tyto interakce jsou nezbytné pro úspěšné doručení samčích pohlavních buněk k vajíčku a pro jeho následné oplození.

Když pylové zrno dopadne na bliznu, začíná se hydratovat (zavodňovat) a postupně klíčí v pylovou láčku, jež během svého růstu komunikuje s pletivou pestíku. Probíhá zde nekompromisní soutěž mezi láčkami (zobrazeny světle modře) o to, která jako první dorazí k vajíčku a oplodní jej. Foto: Jan Fíla

### Odložená výroba bílkovin

Pokud chce buňka vyrobit protein, musí příslušný gen „zapsaný“ v DNA nejprve přepsat do řetězce nukleové kyseliny označované jako mRNA. Ta pak putuje k ribosomu – vnitrobuněčné „továrně na bílkoviny“, která podle informací v mRNA vytvoří daný protein. Přepis genu a syntéza bílkoviny však na sebe nemusejí bezprostředně navazovat. Některé buňky vyrábějí mRNA takříkajíc na sklad, aby ji mohly použít později.

V naší laboratoři jsme objevili, že pyl i pylové láčky skladují a přepravují mRNA podobným mechanismem jako rostoucí výběžky (axony) nervových buněk. Děje se tak ve formě již složených, ale neaktivních ribosomů zvaných monosomy.



Pylové zrno huseničku rolního (*Arabidopsis thaliana*). Modře jsou označena jádra nesoucí genetickou informaci, fialové a zeleně pak dvě regulační bílkoviny ovlivňující aktivitu genů, které studujeme v naší laboratoři. Bílá barva znázorňuje místa, kde se oba proteiny vyskytují společně. Foto: Alena Náprstková

## Jak rostliny získávají tvar?

Hlavní oblastí našeho zájmu jsou procesy buněčné morfogeneze, tedy způsoby, jakými buňky a v konečném důsledku i celé rostliny určují svůj tvar. Na rozdíl od živočišných buněk nemohou ty rostlinné migrovat. Často nesmírně komplikované tvary rostlin jsou tak pouze výsledkem orientovaného buněčného dělení a orientovaného buněčného růstu.

Aby buňka mohla růst určitým směrem, musí do specifických oblastí (domén) na svém povrchu dopravit váčky, které obsahují složky buněčné stěny. První kontakt těchto takzvaných sekrečních váček s cílovou membránou na povrchu buňky zprostředkovává velký proteinový komplex exocyst. Ten jsme v rostlinách objevili a popsali jako první na světě a jeho studium představuje hlavní zaměření laboratoře.

### Exocyst: klíčový hráč v životě buňky

Exocyst patří mezi takzvané poutací komplexy. Jeho úkolem je chytit sekreční váčky a opravdu je připoutat k membráně, se kte-



Poutací proteinový komplex exocyst je nezbytný pro růst a vývoj. Rostliny huseničku rolního, které mají jednu složku exocystu vyřazenou z činnosti (vpravo), nejsou schopny normálního růstu a umírají. Vlevo je kontrolní rostlina s plně funkčním exocystem.

rou následně splývají. Buňka pak přednostně roste v těchto místech – vznikne výběžek či vychlípenina.

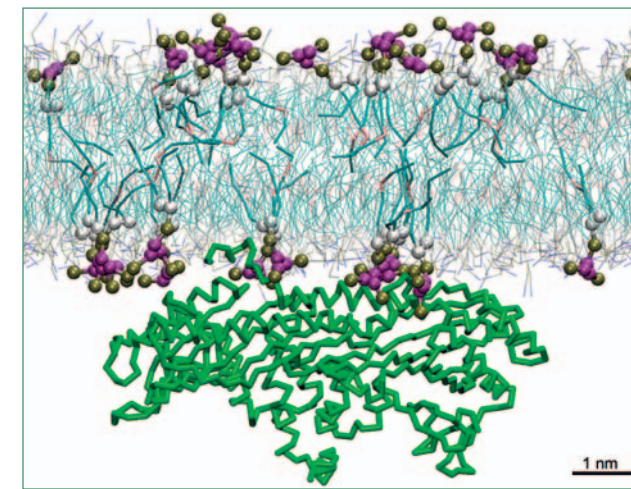
Tento způsob růstu je u rostlin velmi častý. Extrémním příkladem jsou kořenové vlásky nebo pylové láčky, kdy se buňka výrazně prodlužuje pouze v jednom směru a vytváří tenké vlákno. Kromě těchto buněk u modelové rostliny huseničku rolního (*Arabidopsis thaliana*) zkoumáme funkci exocystu také v evolučně „starých“ rostlinách, jako jsou mechy nebo játrovky.

Pomocí metod cíleného vyřazování genů z funkce a pokročilé mikroskopie jsme ukázali, že komplex exocyst je nezbytný pro život rostlinných buněk a reguluje jak jejich růst, tak dělení.

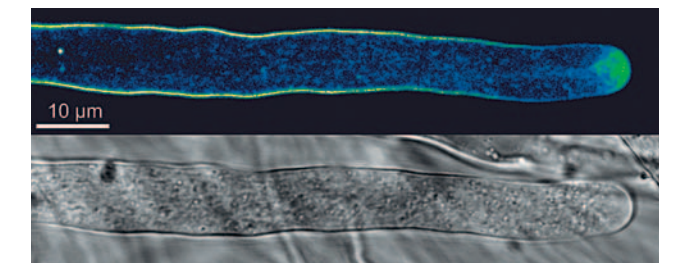
Překvapivým zjištěním bylo, že je rovněž velmi důležitý pro rostlinnou imunitu a pro autofagii – proces, jímž buňka během hladovění „požír“ své vlastní složky. Rostliny bez plně funkčního exocystu jsou mnohem náchylnější k napadení patogenními mikroorganismy.

### Odhalujeme tajemství membrán

Společně s bílkovinami, které regulují buněčnou morfogenezi, studujeme i jejich partnery z vnitrobuněčných membrán – záporně nabitě sloučeniny ze skupiny fosfolipidů.



Vyvinuli jsme mikroskopické senzory pro detekci speciální třídy fosfolipidů v živých buňkách. Díky nim jsme dokázali, že tyto látky pomáhají určovat identitu jednotlivých membránových oblastí (domén), měnit jejich fyzikální vlastnosti a plnit roli „majáku“, na něž se specificky vážou cílové proteiny včetně exocystu.



↑ Rostoucí pylové láčky jsou nejen důležité pro oplození vajíčka, ale slouží také jako výborný model pro buněčnou morfogenezi. Pomocí fluorescenčních „značek“, které rozeznávají konkrétní složky buněčných membrán (zde lipid fosfatidylserin), můžeme zkoumat tvorbu a funkci membránových domén se specifickým složením.

← Molekulární detaily interakcí mezi proteiny a membránami, které jsou důležité pro jejich funkci, studujeme i pomocí počítačových simulací molekulové dynamiky.

Vedoucí:  
Ing. Martin Potocký, Ph.D.





## Fytohormony jako architekti rostlin



Vedoucí:  
RNDr. Jan Petrášek, Ph.D.

Rozmanitost rostlin je uchvacující – od drobných zelených řas až po stromové velikány. Všechny tyto životní formy však mají společný základ. Jsou utvářeny z buněk, jejichž spolupráce je nezbytná pro správný vývoj organismu.

Rostliny nemají nervovou soustavu, přesto však dokážou velmi rychle reagovat na podněty z okolí. Právě koordinace správného vývoje rostlin a jejich reakce na prostředí jsou hlavní rolí rostlinných hormonů neboli fytohormonů. Můžeme je tak směle považovat za vnitřní architekti rostlin.

Naše laboratoř zkoumá hlavně dvě skupiny fytohormonů, auxiny a cytokininy. Jejich neustálá souhra určuje, do jaké míry se budou buňky jednotlivých orgánů dělit a zvětšovat. Máme přístrojové vybavení pro citlivá stanovení hladin fytohormonů a k pochopení jejich funkcí využíváme řadu molekulárněbiologických postupů – včetně přenosu genů nebo cílené editace DNA.

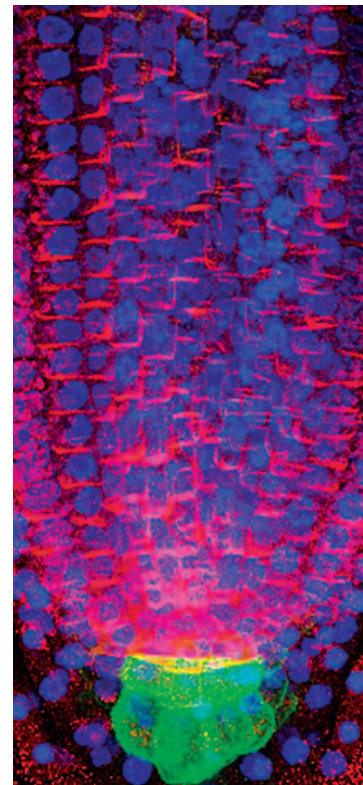
Především se snažíme pochopit, jak fytohormony vzájemně spolupracují během vývoje rostlin a při jejich reakcích na stresové podněty z okolí. Těmito stresey mohou být třeba vysoká či nízká teplota, sucho nebo patogenní organismy.

### Doprava hormonů v rostlinném těle

Naše laboratoř podstatně přispěla k pochopení způsobu, jakým je mezi buňkami přenášen fytohormon auxin. S využitím rostlinných buněčných kultur jsme prokázali, že plazmatická membrána na povrchu buněk obsahuje řadu proteinových přenašečů, které dopravují auxin dovnitř i ven.

V našem týmu jsme optimalizovali postup pro testování transportní aktivity přenašečů. Mohli jsme tak porovnávat jednotlivé proteiny mezi sebou, a navíc popsat i jejich biochemické vlastnosti a vnitrobuněčnou dynamiku. Díky tomu jsme například odhalili nečekanou vlastnost receptoru, který spouští odpověď rostliny na přítomnost dusičnanů v půdě. Tento protein funguje při snížené dostupnosti dusičnanů zároveň jako přenašeč auxinu do buněk, což vede k potlačení tvorby postranních kořenů.

Pomocí široké palety mikroskopických metod pak sledujeme konkrétní přenašeč v průběhu vývoje rostliny. To nám třeba umožnilo pochopit, jaké vnitrobuněčné mechanismy umísťují transportní proteiny na správná místa v membráně.



Špička kořene huseničku rolního. Modře jsou označena buněčná jádra, červeně a zeleně pak proteiny PIN1 a PIN3, které přenášejí fytohormon auxin ven z buňky. Tyto dvě bílkoviny se nacházejí na přesně určených místech v buněčných membránách a pomáhají usměrňovat tok auxinu celým kořenem.

### Jak zvládnout stres?

Pokročilými technikami chemické analýzy dokážeme stanovit v jediném vzorku současně desítky fytohormonů a látek, které vznikají jejich biochemickými přeměnami. Získaná data porovnáváme s údaji o aktivitě genů důležitých pro metabolismus a regulační funkce všech studovaných hormonů. Pomocí tohoto přístupu můžeme určit, jaká je strategie rostlin při obraně vůči chladu, suchu, zasolení či nedostatku živin.

Výsledky ukazují, že jednotlivé orgány reagují zcela specificky. Koncentrace hormonů přitom odráží jak aktuální stav odezvy na stres, tak i rozdílné obranné strategie rostlinných druhů. Hladiny fytohormonů mohou být též ovlivňovány některými patogeny a hmyzem, kteří cíleně mění metabolismus rostliny, aby usnadili své šíření. Naše laboratoř se nyní účastní hned několika vědeckých projektů zaměřených na obranu rostlin proti stresu.

Slanomilná bylina *Thellungiella halophila*, která je blíže příbuzná modelové pokusné rostlině huseničku rolnímu. Vlevo rostlina v běžném živném roztoku, vpravo v roztoku s 350 mM NaCl. Objasnění mechanismu, kterým se *Thellungiella* brání zasolení, může přispět k navržení strategie, jak zvýšit odolnost plodin vůči tomuto stresu.

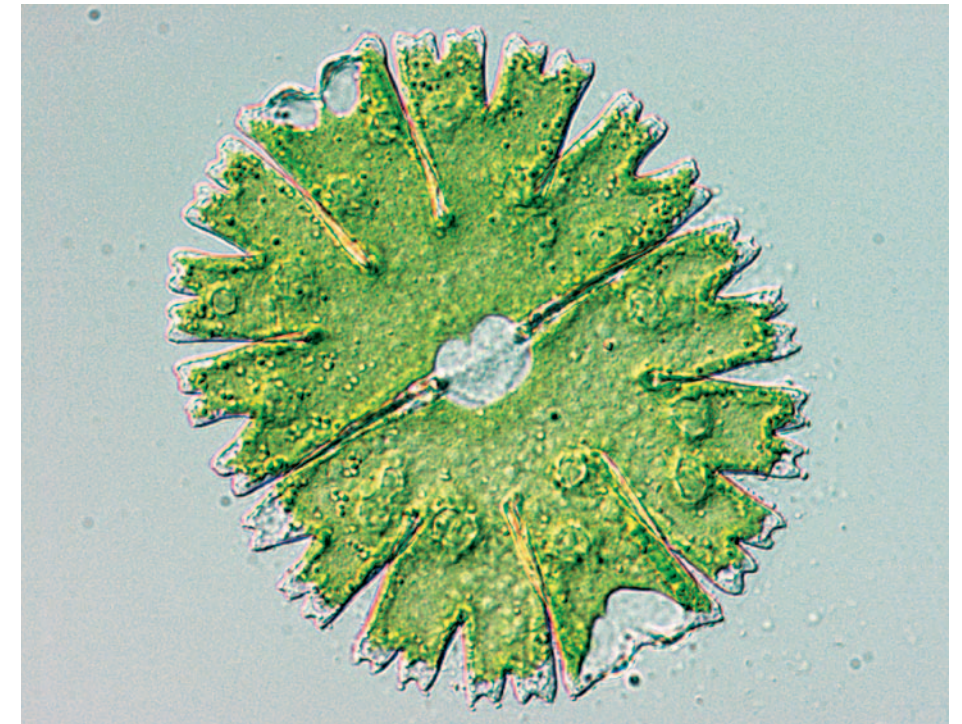


### Fytohormony řídí vývoj

Zajímavým tématem výzkumu je, jak se prolínají signální dráhy spouštěné jednotlivými fytohormony a jak jsou aktivovány v konkrétním okamžiku života rostliny.

Ve spolupráci s Laboratoří biologicky aktivních látek jsme zkoumali buněčné kultury jehličnanů schopné vytvářet zárodky (embrya). Ukázalo se, že už od počátku existuje souvislost mezi vývojem zárodků a koncentracemi fytohormonů.

Jako první jsme popsali rovnováhu mezi auxiny a cytokininy v evolučním kontextu, a to ve článku o hladinách těchto fytohormonů i produktů jejich metabolismu u sinic a řas. Zde jsme se dotkli evolučně původnějších způsobů metabolismu auxinů a cytokininů, které nezahrnovaly tak širokou paletu chemických reakcí, jakou disponují vyšší rostliny.



Rostlinné hormony studujeme také u řas – včetně krásivek, které jsou blíže příbuzné suchozemským rostlinám. Tento mikroskopický snímek ukazuje krásivku druhu *Microsterias thomasi*.

### Bez matematiky není biologie



Naším oblíbeným pokusným objektem je buněčná kultura tabáku pojmenovaná BY-2. Její buňky vytvářejí v živném roztoku krátké řetízky.

Občas se říká, že biologické výsledky nejsou snadno uchopitelné, protože studovaný systém, třeba rostlina nebo buňka, se chová velmi komplikovaně. Právě tato komplikovanost nás vedla k zavedení matematického modelování do našeho výzkumu.

Naměřená data z analýz transportu nebo metabolismu fytohormonů kvantitativně zpracováváme a poté matematicky modelujeme. Model transportu auxinu v tabákových buňkách například umožnil předpovědět a úspěšně testovat vlastnosti auxinových přenašečů a jejich odpověď na herbicidy, které napodobují účinky auxinu. V dalším projektu jsme zase získali kompletní přehled o metabolických přeměnách auxinů a cytokininů, což nám dává možnost navrhnout nové cesty těchto přeměn.





## Precizní analýzy pro biologický výzkum



Vedoucí:  
Ing. Jiří Malbeck, CSc.

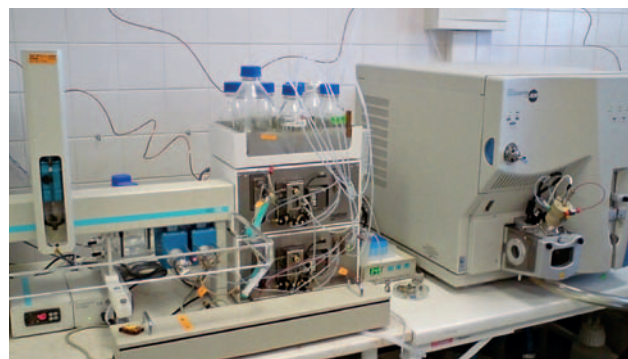
Laboratoř vznikla v roce 2007. Funguje jako servisní pracoviště pro vývoj nových analytických metod a pro speciální chemické analýzy využívající moderní přístroje, především hmotnostní spektrometry.

Hlavním úkolem našeho týmu je poskytovat tyto služby ostatním výzkumným skupinám v ústavu a rovněž spolupracovat s vysokými školami a jinými vědeckými institucemi. V současné době poskytujeme analytický servis také dalším partnerům, českým i zahraničním.

### Široké spektrum látek

Pomocí našich citlivých přístrojů dokážeme přesně určit identitu a množství nejrůznějších organických sloučenin v rostlinných i jiných vzorcích. K tomu používáme analytické metody, které sami vyvíjíme.

Velmi často stanovujeme hladiny rostlinných hormonů ze skupin cytokininů, auxinů a giberelinů. V jiných projektech se věnujeme i dalším látkám, které ovlivňují životní pochody rostlin – jako jsou například dusíkaté sloučeniny polyaminy nebo fenolové kyseliny.



Hmotnostní spektrometr spojený s kapalinovým chromatografem

### Vážíme a rozbíjíme molekuly

Základem našeho vybavení jsou hmotnostní spektrometry spojené s kapalinovým nebo plynovým chromatografem. V poslední době se takové sestavy ve výzkumu rostlin čím dál více prosazují, protože umožňují spolehlivou a poměrně rychlou analýzu mnoha látek ve vzorcích.

Jak tato zařízení fungují? Velmi zjednodušeně řečeno, v kapalinovém či plynovém chromatografu se látky ze vzorku rozdělí podle svých chemických vlastností. Poté putují do hmotnostního

spektrometru, kde se jejich molekuly nejdříve elektricky nabijí (ionizují). Následně přístroj detekuje látky, které chceme stanovit, podle jejich molekulové hmotnosti.

Některé typy hmotnostních spektrometrů také dokážou vybrané molekuly definovaným způsobem rozbít na menší části. Podle množství a hmotností vzniklých fragmentů můžeme s velkou jistotou identifikovat původní sloučeninu. Případně lze tyto informace využít pro objasňování struktury neznámých látek.

### „Strojový park“ laboratoře

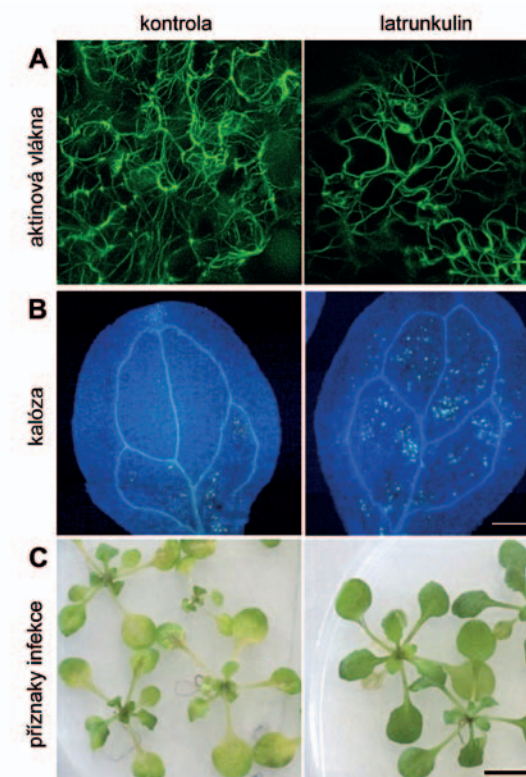
Laboratoř disponuje třemi sestavami přístrojů. Jednou z nich je hmotnostní spektrometr spojený s plynovým chromatografem, který umožňuje analýzu tekavějších látek.

Zbylé dva systémy tvoří hmotnostní spektrometry napojené na kapalinové chromatografy. Každý z těchto dvou spektrometrů je jiného konstrukčního typu, takže na nich lze provádět poněkud odlišné analýzy.

Hmotnostní spektrometr spojený s plynovým chromatografem (vlevo) a s kapalinovým chromatografem (vpravo)



## Rostliny a jejich nemoci



Laboratoř se zabývá interakcemi rostlin s původci chorob neboli patogeny. Hlavním tématem výzkumu je rostlinná imunita a nástroje patogenních mikroorganismů sloužící k jejímu překonání. Tyto procesy sledujeme jak na úrovni jednotlivých buněk, tak celé rostliny.

Vedle modelového druhu huseničky rolního (*Arabidopsis thaliana*) studujeme podstatu odolnosti vůči chorobám i na hospodářsky významných plodinách řepce oleje a ječmeni setém.

### Jak zastavit invazi?

Jednou z důležitých struktur, které se podílejí na zastavení patogenu pronikajícího do rostliny, je systém vnitrobuněčných bílkovinných vláken zvaný cytoskelet. Ten může například usměrňovat dopravu váčků s různými látkami do místa infekce.

A jak ukazují naše nejnovější výsledky, zřejmě se podílí také na signalizaci hrozičích nebezpečí. Když totiž narušíme jednu část cytoskeletu – aktinová vlákna – aplikací toxické látky latrunkulinu, spustí se tvorba a ukládání ochranného polysacharidu kalózy v listech a zvýší se odolnost rostlin proti bakterii *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*.

Aplikace toxické látky latrunkulinu na semenáčky huseničky rolního způsobuje rozpad aktinových vláken (A), ukládání kalózy v listech (B) a odolnost k bakterii *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* (C).



Vedoucí:  
doc. Ing. Lenka Burketová, CSc.

### Šetrnější ochrana plodin

Dalším z našich výzkumných směrů je hledání látek, které by se daly využít jako ekologičtější alternativa k pesticidům při ochraně plodin proti chorobám a škůdcům. Mohou to být třeba organické sloučeniny produkované mikroorganismy nebo komponenty jejich buněčných stěn. Přítomnost těchto látek vyhodnotí rost-

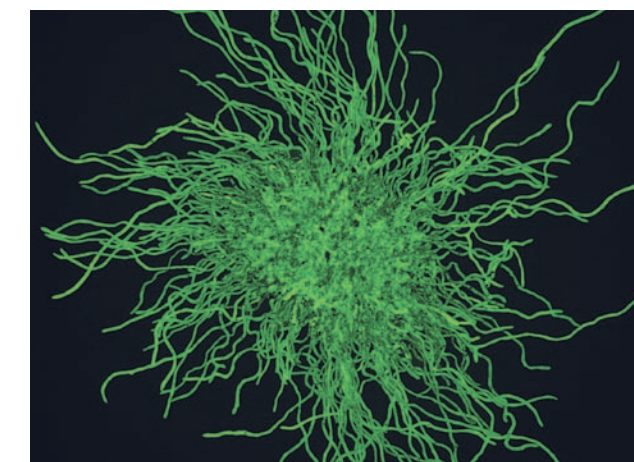
lina jako napadení patogenem, aktivuje svůj imunitní systém a zvýší tak svou odolnost vůči skutečnému patogenu.

Podobný účinek mají rovněž některé molekuly pocházející z rostlin. Může jít o složky jejich pletiv nebo o látky, které v rostlinách signalizují nebezpečí – například určité typy hormonů.

### Hormony jako zbraň

Během evoluce sváděly patogeny s rostlinami neustálý boj o přežití, díky němuž si obě strany vytvořily účinné zbraně. K překonání imunitního systému rostlin využívají patogenní mikroorganismy látky zvané efekторы, které potlačují obranné reakce hostitele. Častými efekторы jsou proteiny, ale tuto roli mohou hrát i rostlinné hormony.

Některé mikroorganismy vyvolávají u napadených rostlin tvorbu nádorů a hálek – růst těchto útvarů v mnoha případech podporují rostlinné hormony, vyráběné ale původcem onemocnění. V naší laboratoři jsme navíc zjistili, že schopnost produkovat tyto hormony mají také vláknité houby jako drobnička skvrnitá (*Leptosphaeria maculans*), způsobující vážnou chorobu řepky.



Drobnička skvrnitá (*Leptosphaeria maculans*) je původcem hospodářsky závažné choroby – fómového černání stonků řepky. Jak jsme zjistili, vytváří tato houba dva typy rostlinných hormonů, auxiny a cytokiny. Snímek ukazuje klíčící výtrusy drobničky, z nichž začínají růst houbová vlákna.





## Vnímat, reagovat, přizpůsobovat se

Vedoucí:  
RNDr. Jan Martinec, CSsc.

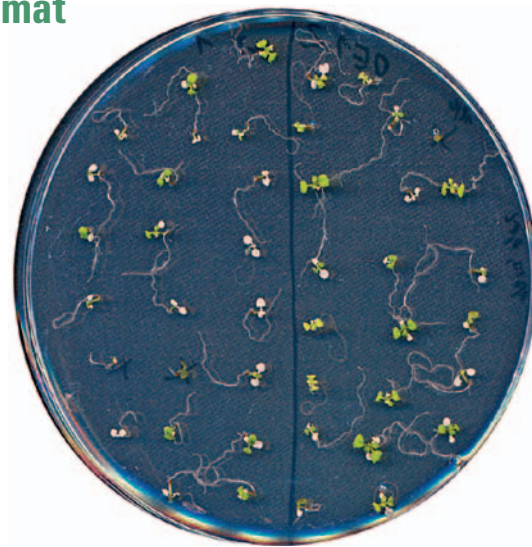
Rostliny se ve svém životě setkávají s neustále se měnícím prostředím. Protože z něj nemohou uniknout, musí na něj reagovat a přizpůsobovat se mu. Ohrožují je mráz i horko, sucho i povodně, zastínění jinými rostlinami a často také negativní působení člověka, který znečišťuje půdu a vodu nejrůznějšími chemikáliemi – například solí ze zimního posypu silnic nebo těžkými kovy.

Ze všeho nejdříve si musí rostlina změnit ve svém okolí „všimnout“. Podněty zachycuje speciálními molekulami, takzvanými receptory. Ty prostřednictvím série chemických reakcí spouštějí metabolické pochody, které rostlině pomohou překonat nepříznivé podmínky. Naše laboratoř se zabývá právě touto sérií chemických reakcí, jíž se říká přenos signálu. Jde vlastně o přenos informace o stavu vnějšího prostředí dovnitř do buňky. Zajímavé je, že různé změny vnějších podmínek (sucho, mráz či zasolení) vyvolávají podobné nebo stejné signály. Aktivují totiž shodné signální dráhy, kterých se účastní stejné molekuly – například vápenaté ionty nebo látky ze skupiny fosfolipidů.

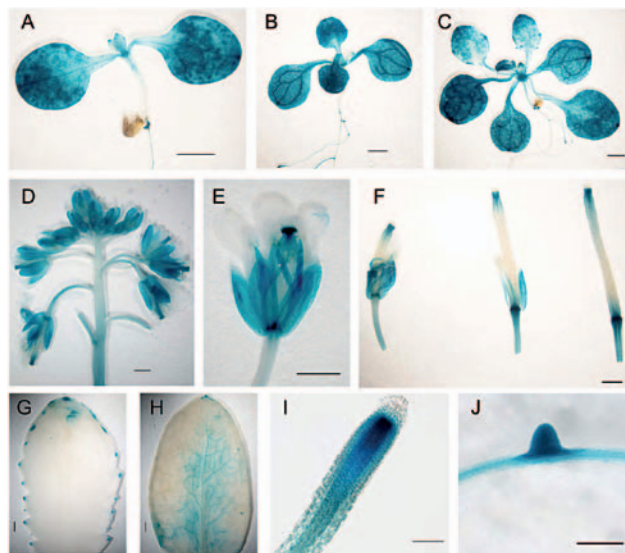
## Enzymy, které pomáhají vnímat

Fosfolipidy známe z učebnic jako hlavní složku buněčných membrán. Pokud jsou ale některé fosfolipidy rozštěpeny speciálními enzymy (fosfolipasami), vzniknou „signální molekuly“ přenesující signály dovnitř buněk. K enzymům produkujícím takové molekuly patří i rodina fosfolipas označovaných jako NPC. V jedné z našich prací jsme ukázali, že rostliny, které mají zvýšenou hladinu enzymu NPC1, lépe odolávají vysoké teplotě.

Abychom zjistili, jak tyto proteiny přesně pracují, je dobré znát jejich umístění v těle rostliny. Intenzita modré barvy na připojeném obrázku například ukazuje, kde a v jakém množství se v pokusných rostlinách zhruba nachází jiný enzym ze stejné rodiny – NPC2.



V pravé polovině misky jsou rostliny huseničku rolního, které obsahují více enzymu NPC1 než běžné rostliny, umístěné v levé části misky. Semenačky byly vystaveny teplotě 42 °C po dobu 45 minut. Rostliny vpravo působení této vysoké teploty překonaly lépe.



Enzym NPC2, zviditelněný zde modrou barvou, se vyskytuje téměř v celé rostlině huseničku rolního. Někde je ho ale více (například ve špičce kořene – I), zatímco jinde není skoro vůbec (mladý list – G).

## Co udělám, když přijdou najednou?

Neštěstí nechodí nikdy samo, říká přísloví. Ani nepříznivé podmínky se nevyskytují osamocně. Co třeba udělá rostlina, když ji ve chvíli, kdy bojuje s vedrem, napadne patogenní bakterie *Pseudomonas syringae*? Z našich nedávno publikovaných výsledků vyplývá, že upřednostní boj s vysokou teplotou a bakterií se nebude zabývat. Snad je pro ni menším zlem, které vyřeší až potom, co přežije vedro.

Výzkum molekulární podstaty reakcí na jednotlivé stresy a na jejich kombinace je naším příspěvkem k lepšímu poznání rostlin. To snad v budoucnu pomůže zajistit dostatek potravin pro rostoucí lidskou populaci, žijící v obtížnějších podmínkách, než jaké panují dnes.

## Kdy kvést a jaké květy tvořit?

V životě rostlin neexistuje důležitější událost než rozhodnutí o tom, kdy vykvést. Rostlina musí investovat velkou část svých energetických zdrojů do tvorby květů a zejména pylu. Pokud by nepřízeň počasí nebo nedostatek opylovačů zabránila tvorbě semen, nevznikla by další generace. Správné načasování doby kvetení je významné i u zemědělských plodin, kde rozhoduje o výši výnosu.

Většina rostlin vytváří oboupohlavné květy se semeníkem a tyčinkami. U některých druhů však nalezneme samečky produkující pyl a samičky se semeníky, jiné rostliny zase tvoří jedince samičí nebo oboupohlavné. Jak rostliny poznají, kdy kvést, a čím je určováno pohlaví květů? Oběma těmto otázkám se věnuje naše laboratoř.

Vedoucí:  
RNDr. Helena Štorchová, CSsc.

## Quinoa nad zlato

Říše Inků se rozkládala vysoko v Andách, kde nebylo možno pěstovat kukuřici ani brambory. Hlavním zdrojem potravy byl merlík čilský neboli quinoa, plodina nesmírně odolná vůči suchu i zasolení. Inkové byli ochotni dát španělským dobyvatelům zlato, ale nikoliv merlík quinoa. Snad proto našel cestu do Evropy až v poslední době, zejména díky své vysoké nutriční hodnotě. Quinoa vznikl křížením dvou rodičovských druhů, jejichž původ byl dlouho záhadou. Jeden pocházel z Ameriky, druhý se členům naší laboratoře podařilo nalézt kupodivu nedaleko Prahy. Jeho předek však rostl dříve i na americkém kontinentě, kde dal vznik merlíku quinoa.

Vzhledem ke globálnímu oteplování bude nutno pěstovat plodiny odolné vůči suchu a zasolení, v čemž quinoa vyniká. Jeho větší rozšíření však vyžaduje znalosti o regulaci kvetení, aby úroda stačila dozrát ve vhodnou roční dobu i mimo domovskou oblast této rostliny. Proto se naše laboratoř zaměřila na příbuzné merlíku čilského, které u nás běžně rostou jako plevele – merlík červený a merlík fíkolistý. Květou velmi záhy ve stádiu semenáčku, což velmi usnadňuje pokusy s navozením kvetení. Jejich výsledky pak lze využít i u merlíku quinoa.

Merlík čilský (quinoa) je tradiční jihoamerická plodina. V posledních letech začíná být populární také v Evropě.



## Kdy se vyplatí neinvestovat do pylu?

Většina rostlin se při svém rozmnožování neobejde bez tvorby pylu. Jeho produkce však spotřebovává cenné zdroje. Oboupohlavné květy navíc skrývají jedno velké úskalí – může v nich dojít k opylení vajíček vlastním pylem, což snižuje kvalitu potomstva kvůli příbuzenskému křížení.

Některé druhy proto blokují produkci pylu u části svých jedinců. Tento jev má význam i v zemědělství, kde se využívá k získávání kvalitnějšího hybridního osiva. Naše laboratoř zkoumá genetické základy tvorby samičích rostlin u modelového druhu silenky obecné.



Silenka obecná, modelový druh pro výzkum samčí pylové sterility – tedy způsobů, jak rostliny zabraňují tvorbě pylu





## Od rostlinných hormonů k medicínskému výzkumu



Vedoucí:  
prof. Ing. Miroslav Strnad, DSc.

Laboratoř je společným pracovištěm Ústavu experimentální botaniky AV ČR a Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci.

Zaměřujeme se na studium rostlinných hormonů – především cytokininů, jež podporují dělení buněk, ovlivňují růst kořenů nebo zpomalují stárnutí listů. Rostlinné hormony jsou přírodní látky, které řídí vývojové i fyziologické pochody rostlin, podobně jako hormony u zvířat či lidí.

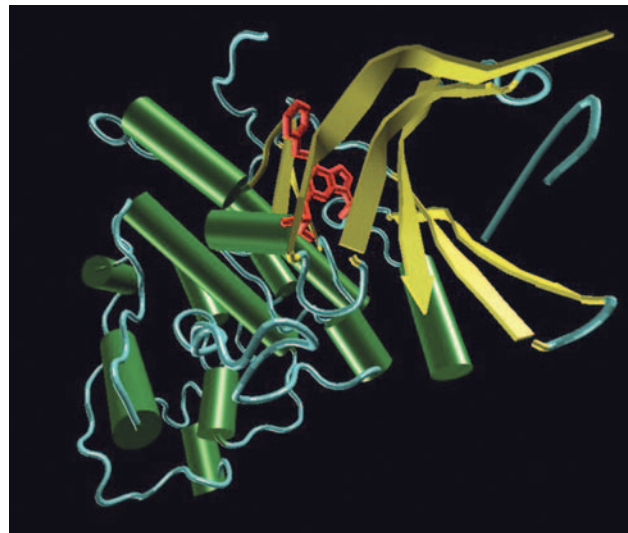
Naše pracoviště spojuje odborníky z obou institucí, aby mohli co nejefektivněji zkoumat působení rostlinných hormonů a jim příbuzných látek na organismy. Zabýváme se hlavně přípravou nových regulátorů růstu, odvozených (stejně jako cytokininy) od dusíkaté sloučeniny purinu.

Vyvíjíme metody analýzy těchto látek a zkoumáme jejich vliv na rostlinné i živočišné buňky. S tím souvisí také vývoj protinádorových sloučenin odvozených od rostlinných hormonů. Studujeme rovněž geny, které vyvolávají nebo potlačují rakovinné bujení, a způsoby, jak je v organismu regulována jejich aktivita.

### Olomoucín a jeho následovníci

Jedním z našich úspěchů je objev nové skupiny cytokininů – takzvaných aromatických cytokininů, pojmenovaných topoliny. Jejich chemickou modifikací jsme připravili sloučeninu olomoucín se slibnými protinádorovými účinky. Následoval vývoj dalších, ještě účinnějších látek – boheminu, roskovitinu nebo olomoucínu II.

Všechny tyto přípravky blokují činnost enzymů CDK, které jsou klíčové pro průběh buněčného cyklu. Buňky, především rakovinné, se pak nemohou dále dělit. Roskovitin byl licencován firmě Cyclacel Pharmaceuticals Ltd. Pod komerčním názvem Seliciclib skončil v Evropě a USA ve druhé fázi klinického zkoušení pro léčbu nádorů.



Molekula roskovitinu (červeně) navázaná na lidský enzym CDK2. Roskovitin blokuje jeho aktivitu tím, že z místa své vazby vytěsňuje jinou látku (ATP), kterou enzym potřebuje jako zdroj chemické energie.

### Pyratine® zpomaluje stárnutí kůže



Nedávno jsme vyvinuli látku, která omlazuje pleť a pomáhá při léčbě kožních chorob. Také zde byly inspirací cytokininy – oddalují totiž stárnutí rostlinných i živočišných buněk. Novou sloučeninu jsme odvodili od cytokininu nazývaného kinetin.

Na tyto objevy byly podány dva mezinárodní patenty, jež jsme v licenci poskytli americké firmě Senetek Plc. Produkt s naší léčivou látkou, pojmenovanou Piratine®, byl před pěti lety uveden na trh v USA. Nejde pouze o dermatologický přípravek, který působí proti hrubosti kůže, vráskovitosti a poruchám pigmentace, ale i o prostředek účinný při léčbě růže a akné.

Struktura Piratinu® a přípravky, které tuto látku obsahují

## Překvapivé spojení: cytokininy a tuberkulóza

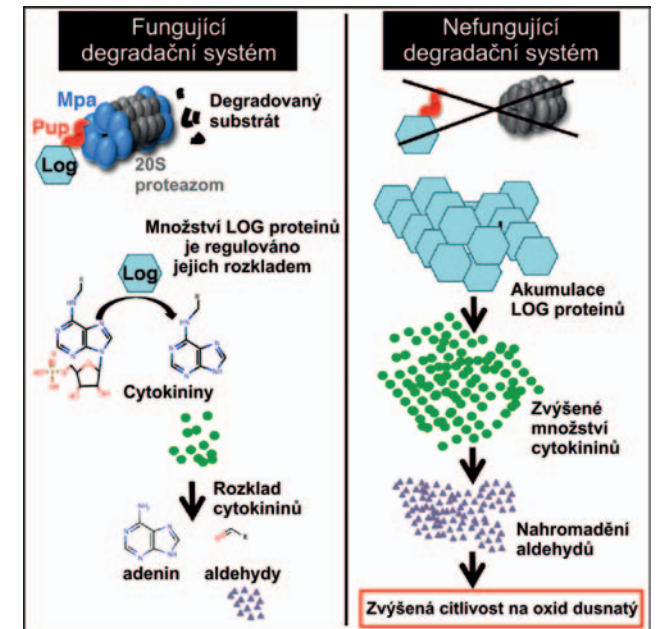
Bakterie *Mycobacterium tuberculosis*, způsobující tuberkulózu, je pozoruhodně odolná. Přežívá útoky lidských imunitních buněk (makrofágů) a účinně vzdoruje jejich ničivé zbraně – oxidu dusnatému. Ve spolupráci s New York University jsme zjistili, že v odolnosti bakterie hrají významnou roli cytokininy.

U *M. tuberculosis* jsme objevili gen pro syntézu cytokininů, který je příbuzný rostlinnému genu LOG. Pokud v bakteriální buňce správně funguje systém pro odbourávání nepotřebných bílkovin, je hladina proteinu LOG nízká. To znamená i nízkou koncentraci cytokininů a produktů jejich rozkladu – aldehydů. Výsledkem je vysoká odolnost vůči oxidu dusnatému.

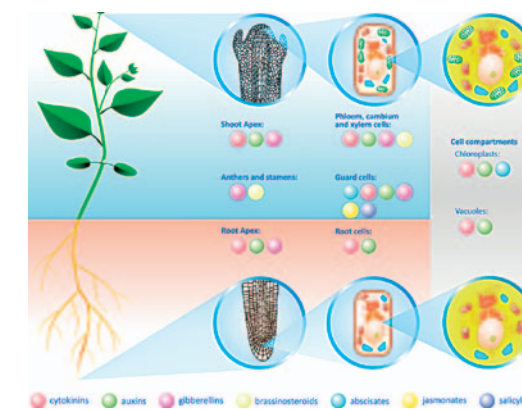
Když systém odbourávání bílkovin vyřadíme z činnosti, hromadí se protein LOG a stoupne hladina cytokininů i aldehydů. Ty pak společně s oxidem dusnatým *Mycobacterium* zabijí.

Tento důležitý objev otevřel zcela nové vědecké obzory. Je to poprvé, kdy byl u lidského patogenu nalezen rostlinný hormon. Naše výsledky navíc umožní vývoj nových léků proti tuberkulóze.

Vliv cytokininů na odolnost *Mycobacterium tuberculosis* vůči oxidu dusnatému. 20 S proteazom (nahore) je proteinový komplex, který v buňce odbourává nepotřebné bílkoviny – včetně proteinu LOG důležitého pro syntézu cytokininů.



## Rostlinné hormony na buněčné úrovni



Naše znalosti o distribuci rostlinných hormonů v orgánech, pletivech a buňkách jsou stále neúplné. Využili jsme proto nedávné pokroky na poli hmotnostní spektrometrie a dosáhli významných úspěchů v analýze těchto látek. Díky tomu dnes dokážeme stanovovat hladiny hormonů ve velmi malých vzorcích – přesně definovaných částech rostliny, jednotlivých typech buněk i buněčných organelách.

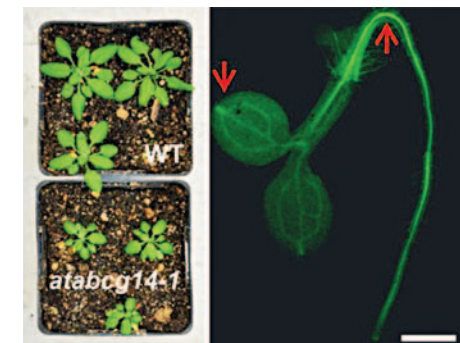
Vyvinuli jsme nové analytické a monitorovací nástroje, jež nám pomáhají porozumět detailům v mezibuněčné a vnitrobuněčné komunikaci rostlin. V naší práci aplikujeme nejnovější trendy moderních analytických metod, které často využívají inovativní postupy – například miniaturizaci v přípravě vzorků nebo techniky kombinující třídění buněk s vysoce citlivou hmotnostní spektrometrií.

Profilování rostlinných hormonů založené na kapalínové chromatografii s hmotnostní spektrometrií. Barevné symboly odpovídají třídám hormonů, které jsme našli v jednotlivých typech orgánů, buněk nebo buněčných organel.

## Jak putují cytokininy?

Ve spolupráci s kolegy z USA jsme objevili první bílkovinný přenašeč (transportér) cytokininů. U pokusné rostliny huseničku rolního je tento protein, nazvaný ATABCG14-1, nezbytný pro dálkovou přepravu cytokininů z kořene do stonku. Tím významně ovlivňuje růst a vývoj celé rostliny.

Ukázali jsme, že u mutovaných rostlin bez funkčního proteinu je silně omezen transport jednoho důležitého typu cytokininů z kořene. Identifikovali jsme také buňky, v nichž je přenašeč nejvíce aktivní.



Vlevo: 25denní rostliny normálního huseničku (WT) a mutanta bez funkčního cytokininového transportéru (*atabcg14-1*). Vpravo: Lokalizace transportéru ve 4denních semenných huseničkách (zeleně). Měřítka 0,5 mm





## Rostliny na pomoc člověku



Vedoucí:  
RNDr. Mgr. Tomáš Vaněk, CSc.

Naše laboratoř zkoumá hlavně základní procesy, které ovlivňují růst a chování rostlin stresovaných přítomností cizorodých látek v životním prostředí. Všímáme si mimo jiné změn na úrovni genů, bílkovin a organických sloučenin produkovaných rostlinami.

Aktivně se věnujeme také fytofarmaciím. To jsou technologie využívající rostliny pro ochranu a čištění životního prostředí, včetně půdy a odpadních vod.

Studujeme i biologicky aktivní sloučeniny rostlinného původu, které by mohly pomoci třeba při vývoji nových léčiv. Zabýváme se jejich izolací, identifikací a syntézou jejich derivátů a testujeme biologické účinky těchto látek.

### Ibuprofen, nanočástice a ochrana životního prostředí

Do životního prostředí se dostává překvapivě mnoho zbytků nejrůznějších léků. Některé mohou být nebezpečné pro volně žijící organismy. Rozhodli

jsme se proto detailně prozkoumat osud vybraných léčiv v rostlinách a získané poznatky využít v ochraně životního prostředí.

U známého léčiva ibuprofenu jsme identifikovali přes 300 různých sloučenin, na které se může přeměňovat v rostlinných buňkách, a popsali jsme jejich možné účinky. Zajímá nás také použití rostlin pro odbourávání veterinárních léčiv. Studujeme rovněž vliv nanočástic na rostliny i na životní prostředí jako celek.

Část získaných výsledků byla využita a ověřena v reálných podmínkách kořenové čistírny odpadních vod. Tu jsme navrhli a vybudovali s podporou Technologické agentury ČR.



Praktická aplikace vědeckých poznatků: kořenová čistírna vybudovaná v rámci projektu Technologické agentury ČR

### Léky inspirované přírodou

Rostliny vytvářejí nepřeberné množství organických látek nazývaných sekundární metabolity. Některé z nich mají zajímavé biologické účinky a mohou se stát výchozími molekulami pro vývoj nových léčiv.

Aktivitu a stabilitu mnoha přírodních látek lze zvýšit, pokud je vhodné chemicky pozměníme. Pro námi zkoumané sloučeniny rostlinného původu jsme nejslibnější chemické modifikace vyti-

povali s pomocí počítačového modelování. Takto navržené látky jsme poté syntetizovali a nyní probíhá jejich testování.

Zaměřili jsme se také na charakterizaci přírodních produktů, které tlumí růst a množení buněk nebo mají protizánětlivé, protirakovinné či antimikrobiální vlastnosti. Tyto sloučeniny by se mohly uplatnit jako přírodní alternativa k syntetickým léčivům.

Připravili jsme i nové látky odvozené od rostlinných hormonů strigolaktonů. O jejich využití lze uvažovat v zemědělství, protože strigolaktony ovlivňují větvení nadzemních částí rostlin.

### Rozsáhlá mezinárodní kooperace

Na našem výzkumu spolupracujeme s mnoha zahraničními týmy. Partnery máme jak v evropských státech, tak i v dalších zemích – především Izraeli, USA a Číně.



Sběr biologického materiálu v Číně – konkrétně plodů ovocného stromu *Myrica rubra*, které se používají v tradiční čínské medicíně



Takzvaný dvojdimenzionální plynový chromatograf, spojený s hmotnostním spektrometrem. Moderní přístroj, který dokáže analyzovat stovky až tisíce chemických látek v jediném rostlinném vzorku.

## Rostlinný virus – špatný pán, ale dobrý sluha

Naším hlavním cílem je využít rostliny pro výrobu vakcín a protilátek, které by se uplatnily v diagnostice nebo v medicíně. Používáme k tomu pozměněné rostlinné viry a bakterii *Agrobacterium tumefaciens*.

### Překvapivě užitečné viry

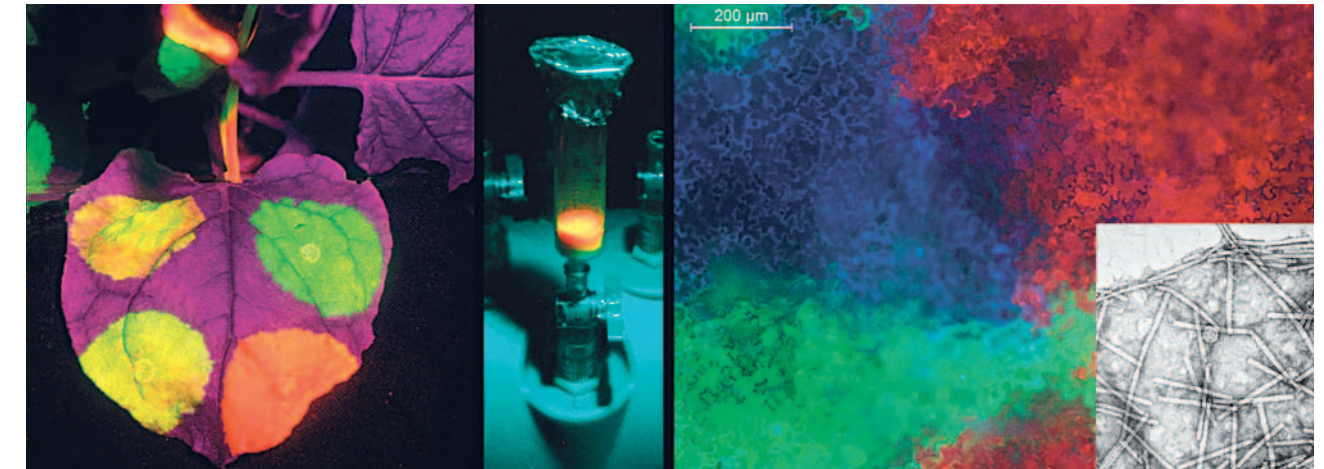
Rostlinné viry umí hostitelskou buňku „přeprogramovat“ na výrobu svých vlastních proteinů. Dokážou se také rychle šířit z místa infekce. Tyto vlastnosti se skvěle hodí, pokud chceme v rostlinách produkovat cizorodé bílkoviny.

Dědičná informace virů je velmi jednoduchá. Nebývá proto obtížné ji upravit tak, aby infikovaná rostlina místo virových bílkovin produkovala například protilátky nebo vakcíny. Aby takové úpravy byly ještě snazší, rozložili jsme genetickou informaci virů, které používáme, na menší části.

Nyní využíváme vektory – zjednodušeně řečeno pozměněné a „ochočené“ viry – odvozené od několika virů, způsobujících různé choroby rostlin. Pro práci s nimi je mimořádně vhodný tabák druhu *Nicotiana benthamiana*. Jeho mutant, který se většině virů nedokáže bránit, se totiž používá jako jejich univerzální hostitel.



Vedoucí:  
Mgr. Tomáš Moravec, Ph.D.



Vlevo: Tabák *Nicotiana benthamiana* infikovaný dvěma viry. Každý z nich produkuje jiný fluorescenční („svítící“) protein – zelený nebo červený. V některých buňkách se množí oba viry a výsledná fluorescence je pak žlutá či oranžová.

Uprostřed: Pomocí *Agrobacterium tumefaciens* nebo virů lze infikovat i buňky tabáku pěstované v živném roztoku. Výsledek (oranžová fluorescence) je zde pozorovatelný po 2–3 dnech.

Vpravo: Mikroskopický snímek listu tabáku, který jsme infikovali třemi variantami viru tabákové mozaiky. Každý varianta nese gen pro jinak barevný svítící protein. V tomto případě nemůže jednu buňku napadnout více virů současně. Na malé černobílé fotografii jsou částice viru tabákové mozaiky zobrazené elektronovým mikroskopem.

### Lidské proteiny z rostlin

Hlavní výhodou virových vektorů je rychlost a jednoduchost. Pro přípravu větších množství proteinů je ovšem lepší vložit potřebné geny přímo do rostlinné DNA. K tomu nám slouží bakterie *Agrobacterium tumefaciens*, která dokáže účinně přenášet geny do dědičné informace rostlin.

Mnoho bílkovin začne plnohodnotně fungovat až poté, co se na ně v buňce naváží molekuly určitých cukrů. Tento proces, nazývaný glykosylace, probíhá u různých organismů odlišně. Nedávno jsme připravovali rostliny, do nichž jsme vnesli lidské geny zodpovědné za glykosylaci. V takových rostlinách pak lze vyrábět proteiny – například protilátky –, které budou zcela stejné jako proteiny izolované z lidských buněk.

### Rychlá diagnostika pro zemědělce

Zabýváme se rovněž diagnostikou virových chorob u zemědělských plodin. Včasné odhalení nákazy zde může zabránit velkým ekonomickým ztrátám. Moderní metody, založené na analýze genetické informace, jsou neuvěřitelně citlivé a přesné. Bohužel jsou zároveň náročné na čistotu vzorků a na experimentální vybavení. Mohou je tak používat jenom velké centralizované laboratoře, kam se však většina podezřelého rostlinného materiálu nedostane.

Pracujeme proto na vývoji metod, které budou spolehlivě fungovat bez specializovaného vybavení přímo na poli nebo v jeho blízkosti. Nyní testujeme techniku zvanou LAMP, jež se obejde bez drahých laboratorních přístrojů a poskytuje výsledky během 30 minut.





## Odolné odrůdy místo postřiků



Vedoucí:  
Ing. Radek Černý, Ph.D.

Stanice se již přes 50 let věnuje šlechtění odrůd jableň s odolností (rezistencí) ke strupovitosti. Toto onemocnění způsobuje houba *Venturia inaequalis* a jde o nejvýznamnější houbovou chorobu jableň.

Na listech se projevuje hnědočernými skvrnami, na plodech šedočernými strupy. To způsobuje pěstitelům vážné ekonomické ztráty, protože taková jablka nejsou pro zákazníky atraktivní a lze je obvykle prodat pouze ke zpracování. Ochrana stromů proti strupovitosti vyžaduje každý rok desítky chemických postřiků, které jsou finančně i pracovní náročné a mohou nepříznivě ovlivňovat životní prostředí.

Naši šlechtitelé se zaměřují také na odolnost k padlí jableňovému (*Podosphaera leucotricha*) a bakteriální spále růžovitých (*Erwinia amylovora*). Díky šlechtění se daří získávat nové odrůdy, které jsou proti těmto chorobám odolné a současně mají vysokou pěstitelskou i tržní hodnotu.

## Nové geny pro odolnost

Základem světového šlechtění na odolnost ke strupovitosti se stal planý druh jableň mnohokvětá, v níž vědci našli gen pro rezistenci k této chorobě pojmenovaný *Vf*. Jedná se o rezistenci monogenní (zajišťovanou jediným genem), která však v posledních letech nebývá dostatečně stálá.

Proto se zaměřujeme i na hledání, genetickou analýzu a šlechtitelské využití polygenní rezistence, na níž se podílí více genů. Ta je v kombinaci s genem *Vf* předpokladem trvalejší odolnosti. Náš program šlechtění jableň tak propojuje základní výzkum s aplikovaným.

## České stromky do celého světa

Pro komerční využití musí nové odrůdy kromě odolnosti k chorobám splňovat i přísné pěstitelské a tržní nároky – zejména vysokou plodnost a vysokou kvalitu plodů, pokud jde o jejich vzhled, chuť, pevnost a křehkost dužniny a skladovatelnost. Z těchto hledisek jsou vybraná novošlechtění jableň z našeho ústavu testována ve výzkumných centrech i u obchodních partnerů v ČR a zejména v zahraničí.

Zlatožluté plody odrůdy Opal® lákají k ochutnání.



Perspektivní odrůdy jsou většinou právně chráněny Odrůdovým právem Společenství v EU a Rostlinným patentem v USA. Pěstují se v podmínkách ekologické či integrované produkce a na jejich množení a prodej jsou uzavírány licenční smlouvy.

Ročně se prostřednictvím obchodních partnerů celosvětově prodá již více než 1,3 milionu stromků odrůd, které vznikly v Ústavu experimentální botaniky AV ČR. Z těchto licenčních příjmů je šlechtitelský program dále spolufinancován.

## Úspěšná trojice

Naši komerčně nejúspěšnější odrůdou je nyní Topaz a její červená mutace Red Topaz. V minulých letech byl Topaz nejprodávanější světovou odrůdou jableň s rezistencí ke strupovitosti. Pěstuje se na celkové ploše přibližně 2000 hektarů, s každoročním prodejem asi 400 000 stromků.

Mezi výsledky naší šlechtitelské práce jsou už také další odrůdy s celosvětovým uplatněním. Odrůda jableň UEB 32642, známá pod ochrannou známkou OPAL®, je registrována ve více než 40 zemích světa. Její plody mají zlatavě žluté zbarvení a medově sladkou chuť. OPAL® je obchodován pod vedením firem z USA a Německa. Je právně chráněn v EU i v USA a byl přihlášen k právní ochraně v řadě dalších zemí (Argentina, Austrálie, Brazílie, Chile, Jižní Afrika, Kanada, Maroko, Mexiko, Nový Zéland).

Z nejnovějších odrůd se začíná výrazně prosazovat Bonita. Její název pocházející z portugalštiny znamená v překladu hezký/pěkný a napovídá, že se vyznačuje atraktivním červeným zbarvením plodů i dobrými hospodářskými vlastnostmi. V posledních letech bylo vysazeno přes 830 000 stromků této odrůdy – hlavně v oblasti Jižních Tyrol v Itálii a Štýrska v Rakousku, ale i v dalších evropských zemích včetně ČR.



Odrůda Bonita se vyznačuje mimořádně atraktivními plody.



Rozsáhlé výsadby odrůdy Opal® na farmě Broetje Orchards ve státě Washington, USA

## Jableň i pro malé zahrady

Zajímavostí jsou jableň s kompaktním sloupcovitým růstem. V našem ústavu bylo vyšlechtěno, je právně chráněno a licenčně množeno zhruba deset odrůd tohoto typu s rezistencí ke strupovitosti. Odrůdy Rumba s červenými a Lambada se žlutými plody jsou předmětem zájmu pro celosvětové marketingové uplatnění.

Sloupcovité jableň se uplatňují především jako pěkné solitéry či pro výsadby živých plotů v domácích zahradách. Ročně se ve světě prodá více než 70 000 stromků těchto našich odrůd. Je potěšující, že přispívají k návratu ovocných stromů i do menších zahrad. Umožňují také svým pěstitelům pozorovat zajímavý způsob růstu a proměnlivost jableň v době kvetení, tvorby plodů i zimního klidu.



Výsadba odrůdy jableň Rondo se sloupcovitým typem růstu





### Věda se neobejde bez publikování výsledků



Vedoucí:  
Ing. Ivana Štětinová

Ústav experimentální botaniky AV ČR vydává dva mezinárodní vědecké časopisy: *Biologia Plantarum* a *Photosynthetica*. Do konce roku 2018 byly oba časopisy distribuovány nakladatelstvím Springer v tištěné a elektronické podobě. Od roku 2019 přešly na model otevřeného přístupu k článkům, takzvaný *open access*, a nově vycházejí pouze elektronicky.

### Biologia Plantarum

Časopis byl založen v roce 1959 a s jeho vznikem je spojeno jméno profesora Bohumila Němce, nestora českých rostlinných biologů. Publikované články se zabývají rostlinnou fyziologií, anatomii, cytologií, fyziologickou ekologií a fytopatologií.

Tento tematický rozsah od samého počátku odpovídal i pestré oborové skladbě nově založeného Ústavu experimentální botaniky. V posledních dvaceti letech se výrazně zvýšil podíl příspěvků z oblasti molekulární biologie a genetiky i z oblasti rostlinných biotechnologií.



### Photosynthetica

Časopis vznikl v roce 1967 jako první mezinárodní periodikum zaměřené výhradně na studium fotosyntézy. Tento základní proces probíhající v rostlinách a některých dalších organismech zkoumá z pohledu biofyziky, molekulární biologie, biochemie, fyziologie i ekologie.

Články se věnují struktuře fotosyntetického aparátu, biochemickým a biofyzikálním mechanismům fotosyntetických reakcí, vnitřní stavbě chloroplastů, složení fotosyntetických pigmentů, měření rychlosti fotosyntézy nebo stanovení fotosyntetické produkce. Důležitým tématem je také ovlivnění fotosyntetických pochodů různými stresy včetně těch, které souvisejí s globální změnou klimatu (zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub>, oteplování, sucho, ultrafialové záření a další).



Starší budova pražského pracoviště ústavu, dokončená v roce 1997 (Rozvojová 263, Praha 6 – Lysolaje)



Budova, v níž sídlí Laboratoř růstových regulátorů (Šlechtitelů 27, Olomouc)



Novější budova pražského pracoviště ústavu, dokončená v roce 2012 (Rozvojová 313, Praha 6 – Lysolaje)



Budova Centra strukturní a funkční genomiky rostlin (Šlechtitelů 31, Olomouc)



Stanice šlechtění jablečně na rezistenci k chorobám (Střížovice 20, Pěnčín u Liberce)



Budova Centra strukturní a funkční genomiky rostlin, pohled na skleník (Šlechtitelů 31, Olomouc)



