

bránit. Nekrotrofní patogen poškozením pletiva způsobuje jeho nekrózu (viz výše; nezaměňovat s HR). Důležité je správně regulovat produkci reaktivních forem kyslíku – jejich zvýšená koncentrace zpravidla vede k hypersenzitivní reakci. Patogeny si na oplátku vyvíjejí nové efektoři, které jsou následně rozpoznány u rostlin s odpovídajícím R-proteinem. Na tyto rostlinné jedince je v přítomnosti patogenu vyvíjen velký selekční tlak, a alela pro R gen se proto v populaci rychle rozšíří. Na druhou stranu je ale vyvíjen tlak i na patogen a dochází k maskování efektorů a zvyšování virulence. Koevoluce mezi patogenním „zbrojním arzenálem“ a rostlinnými receptory pro jeho rozpoznání a obrannou reakci lze znázornit cik-cak schématem koevoluce (obr. 2), které zobrazuje „závody ve zbrojení“, oblíbený koncept evoluční biologie. Na konkrétním příkladu to lze ilustrovat třeba efektoři patogenních hub, jimiž štěpí buněčnou stěnu rostliny, např. enzymem celulázou štěpí celulózu. Rostlina detekuje naštěpené zbytky svých polysacharidů (DAMPs), podobně jako hlavní složku buněčných stěn hub chitin (PAMPs). Na to reaguje sledem událostí – vyvolá v buňce poplach (vznikají kyslíkové radikály, uvolňují se vápenaté ionty aj.), začne produkovat chitinázu a tím napadat buněčnou stěnu houby. Protože její vlastní celulóza je štěpena, začne produkovat druhý nejčastější stavební polymer – lignin, čímž se zvýší mechanická odolnost, navíc pouze některé druhy hub dokážou lignin rozštěpit.

Imunitu spouštěnou efektoři můžeme popsat i z pohledu konceptu známého jako

„gen proti genu“. Pokud rostlina disponuje R-proteinem schopným rozpoznat patogenní efektor, v tomto případě označeným jako avirulentní faktor, obvykle je k danému kmenu patogenu odolná. Ale v rostlině, které odpovídající R-protein chybí, se takový efektor chová jako virulentní faktor a nakonec umožní překonat obranu a rostlinu infikovat. Takový izolát (kmen) patogenu se označuje jako virulentní (schopný infekce), v opačném případě avirulentní.

Co mají rostlinná a živočišná imunita společného?

Je nutné dodat, že podle současných poznatků se rozdíl mezi PTI a ETI pomalu stírají a při výuce tak má větší význam zdůraznit obecné obranné mechanismy založené na receptorech, a hlavně vzájemnou koevoluci mezi rostlinou a patogenem.

Není také bez zajímavosti, že bílkovinné receptory pro PAMP, ale i R-proteiny v ETI, pracují na podobném principu u živočichů i rostlin a vyvinuly se ze společného předka. Z místa napadení se signály šíří i do neinfikovaných částí rostliny, kde se aktivuje exprese obranných genů. Důležitou úlohu v tomto procesu sehrává kyselina salicylová. Tato obrana se označuje jako systémově získaná rezistence (viz výše). S ní souvisí jev tzv. primingu (nabuzení rostliny), kdy je po setkání s patogenem lépe připravena odolávat další podobné infekci. Pro uchování takového přizpůsobení dochází někdy k epigenetickým změnám, tedy dědičným změnám, které nemění primární strukturu DNA, ale odrážejí se např. v tom, jak jsou které geny za da-

ných podmínek zapnuty a naopak. Ty se mohou přenést i do další generace. Nezná to, i když trochu vzdáleně, jako adaptivní imunita známá u obratlovců?

Důležitým aspektem imunity je schopnost rozpoznávání – vlastní versus cizí – a v rámci cizích struktur rozlišování patogenních od těch neškodných, nebo dokonce užitečných. Mimochodem rostliny nemají zábrany v přijímání podobných plevit, i když mohou pocházet z jiných druhů. To umožňuje roubovat nebo očkovat mnohdy nepříbuzné druhy a kultivary na jednu podnož. Zde si dovolueme poslední srovnání s fyziologií člověka, které se týká transplantací orgánů a jejich kompatibility s příjemcem. U pacientů s transplantovanými orgány musí být vrozená imunita utlumená farmaky a jsou doživotně sledováni, zda jim štěp slouží a tělo se ho nerozhodlo odmítnout. A etymologická vsuvka – slovo transplantace pocházející z latiny odkazuje zpátky k rostlinám – trans (přes) a planta (sazenice), dohromady „přesazení“.

Množství nově popisovaných typů receptorů, obranných molekul a signálních drah, vedoucích k neznámým mechanismům rostlinné imunity, dělají z jejího výzkumu fascinující pole poznání, s užitečnou aplikací v zemědělství, včetně zkvalitnění rostlinné výroby. Uvedli jsme pouze dílčí příklady, jež mají ilustrovat obecnější principy a mechanismy. Mohou zpestit výuku, ale i prohloubit schopnost uvažování na úrovni komplexních systémů, k nimž interakce rostlin s patogeny bezesporu patří.

Použitá literatura uvedena na webu Živý.

využit pro mikroskopování buněk kvasinek. Stačí ho kápnout na podložní sklíčko, přikrýt krycím sklíčkem a pozorovat. Dalším případným rozšířením může být pokus s „divokými“ kvasinkami, které se přirozeně vyskytují na povrchu plodů ovoce, např. hroznového vína.

V úloze je také zmiňováno taxonomické zařazení kvasinky. Jde o jednobuněčného zástupce vřeckovýtvarných hub (Ascomycota), tedy skupiny, kam patří i mnohobuněčné organismy, jako např. dobře známé druhy smrž obecný (*Morchella esculenta*) nebo lanýž letní (*Tuber aestivum*). Kromě toho, že se kvasinky staly nepostradatelnými pomocníky v kuchyni, slouží člověku i jinde jako modelový organismus pro studium eukaryotní buňky, buněčného cyklu, stárnutí buněk nebo např. i lidských chorob. Jejich krátký životní cyklus, rychlé množení a snadná kultivace jsou jedněmi z předpokladů, které musí správný modelový organismus splňovat. I o tom se úloha zmiňuje. A nabízí se zde další rozšíření směrem k jiným modelovým organismům – třeba k trepce velké (*Paramecium caudatum*), kterou lze napěstovat v seněném nálevu a následně pozorovat pod světelným mikroskopem.

Úlohu a její řešení najdete na webové stránce Živý.

1 Buňky kvasinky pekařské, ze kterých je složeno např. droždí. Orig. A. Vosolsobě

Anna Vosolsobě

Hrátky s droždím



Úloha Hrátky s droždím byla připravena ve školním roce 2014/2015 pro školní kola Biologické olympiády kategorie B. Navazovala na téma přípravného textu pro soutěžící s názvem Země živitelka aneb Příroda ve službách člověka (kolektiv autorů, editor Karel Kodejš). Celý tento text je pro zájemce ke stažení na internetových stránkách biologickaolympiada.czu.cz pod záložkou Dokumenty a informace, Starší studijní materiály.

Úloha je zaměřena především na kvasinku pekařskou (*Saccharomyces cerevisiae*), tedy na organismus tvořící droždí. Kvasinka byla vybrána pro její velmi snadnou dostupnost, droždí jako materiál pro praktickou část úlohy není problém získat, stejně jako několik dalších potřebných pomůcek. Dá se říci, že kvasinky jsou „ochočeným mikroorganizmem“. Člověk je tradičně využívá při výrobě mnohých potravin, kvasné procesy byly známy již v mladší době kamenné. Nejstarším důkazem o využívání kvašení je nalezená kvasná nádoba na víno, o něco mladší jsou pak důkazy o přípravě nápoje podobného dnešnímu pivu. Nepostradatelné jsou

kvasinky samozřejmě i při kynutí těsta pro pečení.

Praktická část úlohy je zaměřena na pozorování droždí po přidání vlažné vody, tedy na kvašení. Droždí společně s vodou je umístěno do láhve uzavřené obyčejným nafukovacím balonkem, na němž se dá dobře pozorovat vznik oxidu uhličitého během kvašení (balonek se nafukuje). Jako pokračování úlohy je možné obsah láhve

