

---

# Rostlina vs vetřelec aneb Jak se rostlina brání před houbovými patogeny

## Instrukce pro učitele: pracovní list se zadáním a řešením

Autoři: Jana Pilátová, Peter Sabol

**Pro koho je kurz určen:** gymnaziální studenti, kteří mají základy buněčné biologie a biochemie, např. vědí, co je transkripce a translace, cukry, polysacharidy, proteiny, signalizační kaskády v buňkách atd.

**Zaměření kurzu:** buněčná biologie s důrazem na rostliny, biochemie – struktury membrán, polysacharidů, proteinů, fytopatologie s přesahem do ekologie

**Pomůcky:** chytrý telefon, sluchátka, krabička na prohlížení videí ve virtuální realitě (např. google cardboard)

### Postup pro studenty:

Nejdříve si projděte otázky v pracovním listu, abyste měli přehled o tom, na co byste se měli ve videu zaměřit pro to, abyste na ně byli schopni odpovědět. 360° video Rostlina vs vetřelec najdete na youtube kanálu Přírodovědci.cz (<http://y2u.be/857fNDG04e8>). Doporučujeme jej spustit v aplikaci youtube, která sama rozpozná v závislosti na parametrech vašeho chytrého telefonu, zda je kompatibilní s přehráváním videí ve virtuální realitě (má gyroskop), v pravém dolním rohu se objeví ikona google cardboard. Klikněte na ni, video se poté rozdělí do dvou obrazovek, chytrý telefon pak vsunete do krabičky google cardboard a spustíte přehrávání. Zkuste po prvním přehrání videa odpovědět na co nejvíce otázek v pracovním listu, pokud si nejste jisti s některými odpověďmi, projděte video ještě jednou a dokončete pracovní list. Konzultujte své výsledky a postřehy se svými kolegy. **Poznámka:** Na některé otázky ve videu nenajdete odpověď, slouží k zopakování již vámi známých skutečností a propojení vašich znalostí napříč různými obory biologie.

### Instrukce pro učitele:

Podrobnější návod, jak na využití virtuální reality ve výuce s technickými detaily najdete v textu „Virtuální realita na středních školách – Technický návod pro pracovní list Rostlina vs vetřelec“. Zde najdete řešení otázek v zadání pracovního listu pro studenty. Otázky jsou v některých případech sdruženy do tematických skupin (v zájmu lepšího propojování poznatků dohromady). Spolu s řešením jsou kurzívou uvedeny pro inspiraci také rozšiřující informace, které lze zopakovat či probrat se studenty.

### Autorské řešení s komentáři a doporučeními:

#### 1. Jak se může houbová hyfa dostat dovnitř listu?

Buď přirozenou cestou průduchy, popř. poraněními, nebo proražením buněčné stěny pomocí apresoria.

#### 2. V čem se liší složení rostlinné a houbové buněčné stěny? 3. Které další organismy mají buněčnou stěnu? (otázka nad rámec výukového videa) 4. Jaké je chemické složení buněčných stěn různých skupin organismů?

Rostlinná buňka má buněčnou stěnu tvořenou převážně celulózou, ale i jinými polysacharidy (hemicelulózou, pektiny, ligninem). Dále je celulóza jako hlavní složka buněčné stěny přítomna také v různých druzích řas i v těch, které nejsou příbuzné s rostlinami a vznikly nezávisle na nich. Celulózu mohou obsahovat i parazitické mikroorganismy – jako např. řasovky (oomycety, např. plíseň bramborová). Houbové buňky mají svou stěnu tvořenou chitinem. Dalšími organismy

s buněčnou stěnou jsou prokaryota, bakterie mají buněčnou stěnu tvořenou peptidoglykanem (mureinem). Celulózovou buněčnou stěnu mají také organismy s původně sekundárním plastidem, např. oomycety.

*V tomto bodě lze zařadit obsírnější opakování o struktuře buněčné stěny a jejím složení včetně chemických vzorců a struktur, popř. hypotetického modelu:*

*Buněčná stěna je důležitou buněčnou strukturou, která odpovídá za její tvar, umožňuje její růst, ovlivňuje její mechanickou odolnost, ochraňuje ji před průnikem patogenů z vnějšku, závisí na ní komunikace s okolními buňkami atd.*

*Celulóza je jednou z hlavních součástí buněčných stěn rostlin a zároveň nejčastější polysacharid na světě. Jedno celulózní vlákno obsahuje lineárně spojené glukózové jednotky beta-1,4- vazbou, spolu v počtech 7 000 – 15 000 tvoří celulózní fibrily dlouhé i 7 µm. Vazba, kterou jsou spojeny jednotky glukózy, není jednoduše štěpitelná, je k tomu zapotřebí speciálního enzymu celulázy. **Jsou organismy, které umí štěpit celulózu?** Některé houby, bakterie, prvoci (symbionti býložravců, kteří sami jinak celulózu štěpit neumí), dále někteří termiti nebo třeba hlemýžď – ti mají svoji vlastní celulázu.*

*Druhým nejčastějším polymerem na světě je lignin, který se vyskytuje zpravidla v sekundární buněčné stěně, jedná se o polyfenolickou látku tvořící síť vzájemně propojených polyfenolů, proto se nedá popsat jednoduchým chemickým vzorcem.*

*Třetím nejčastějším polysacharidem je hemicelulóza, rozvětvené molekuly obsahující různé druhy cukrů (glukózu, galaktózu, fruktózu, xylózu, manózu a další). Tato složka buněčné stěny vzájemně propojuje mikrofibrily celulózy.*

*Pektiny jsou gelovité polymery (konzistencí připodobitelné džemům, kde je také jejich vysoký obsah), fungují jako molekulové lepidlo – spojuje buněčné stěny sousedních buněk k sobě, dále jako molekulové síto, jímž proudí převážně nízkomolekulární látky.*

#### **5. Co se děje s rostlinnou buněčnou stěnou při obraně vůči houbě?**

Je zesílena díky zvýšené aktivitě celulázy syntázových komplexů, nejdříve v místě ataku patogena, následně po povrchu celé buňky. Tím ochrání okolní pletivo před negativními vlivy výlevu obsahu buňky během hypersenzitivní reakce.

#### **6. Který anorganický iont plní v rostlinné buňce signální roli při útoku houbového patogena? 7. Ze kterých organel je uvolňován?**

Vápenaté kationy sloužící jako sekundární poslové v buněčné signalizaci jsou uvolňovány ze svých zásobáren: mitochondrie a endoplasmatického retikula. Hydroxoniové kationy okyselující cytoplasmu do ní přecházejí z vakuoly a mitochondrie.

#### **8. Který rostlinný hormon (zmíněný v animaci) se (mimo jiných) účastní odpovědi na houbového patogena?**

Kyselina salicylová

#### **9. Jak vznikají v rostlinné buňce volné radikály a jakou mají funkci?**

Vznikají enzymaticky pomocí NADPH-oxidázy. Mimo tento způsob, který je zmíněný ve videu, reaktivní formy kyslíku vznikají také v elektrontransportních řetězcích v mitochondrii, nebo samovolně Fentonovou reakcí.

#### **10. Jak se nazývá enzymatický komplex odpovědný za degradaci poškozených cytoplasmatických proteinů? 11. Jaký jiný způsob degradace proteinů a dalších látek v buňkách znáte?**

Proteasom. Alternativní cestou degradace proteinů, které jsou ve váčcích, je v lysozomech nebo rostlinných vakuolách.

### **12. Jaké znáte typy cytoskeletu? (otázka nad rámec výukového videa)**

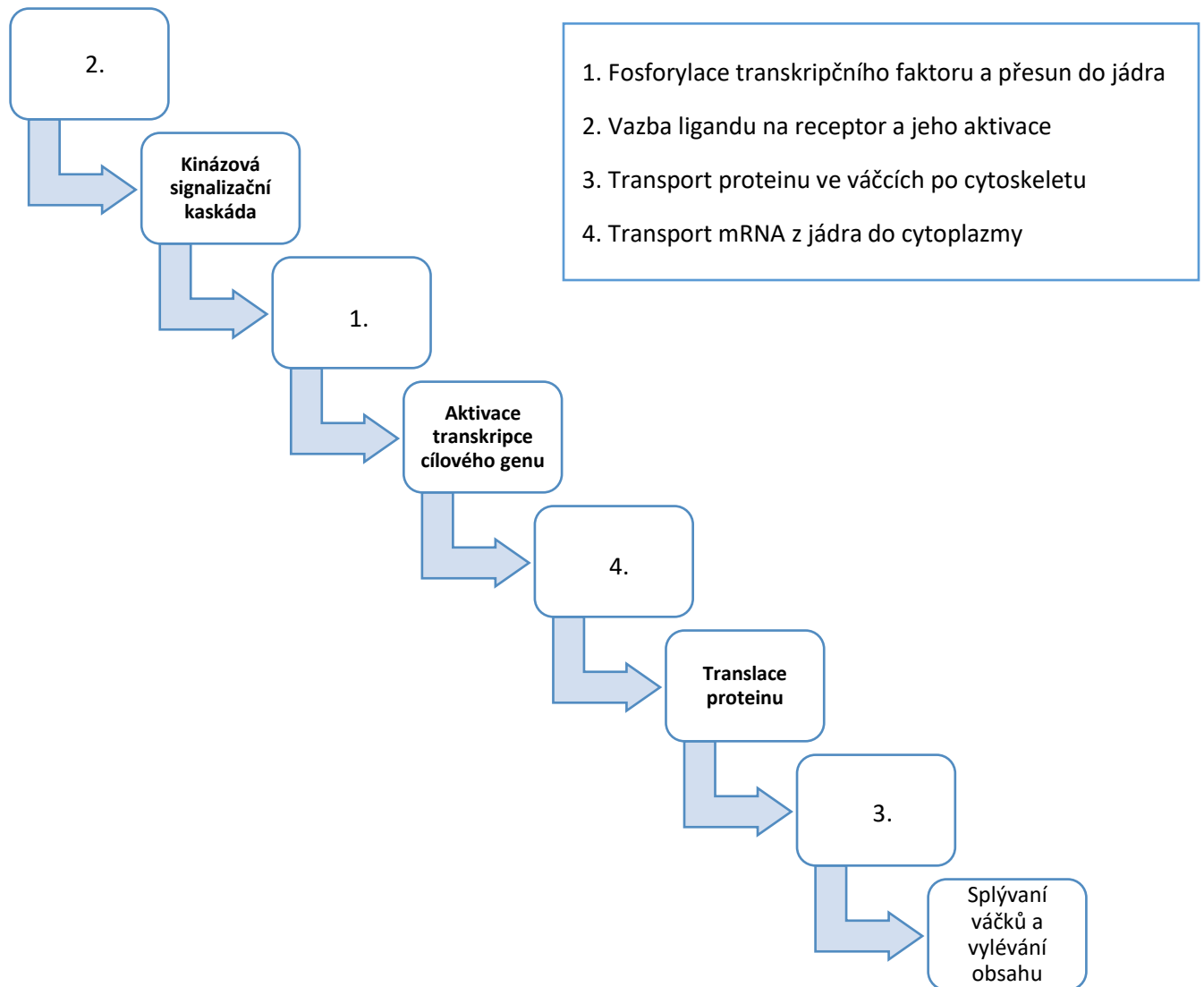
V rostlinách se vyskytují mikrotubuly a aktinová mikrofilamenta, na rozdíl od živočišných buněk postrádají intermediární filamenta.

### **13. Co jsou to molekulové motory? (otázka nad rámec výukového videa)**

S aktinem jsou asociované molekulové motory známé jako myoziny. Po cytoskeletu se pohybují v rostlinných buňkách motory zvané kineziny. Na rozdíl od živočichů postrádají dyneiny, které se vyskytují kupř. v bičících, ty však v rostlinné říši zpravidla chybí.

*Ve videu je zmíněna syntéza enzymu chitinázy, jehož produkce je vyprovokována průnikem houbového patogena přes buněčnou stěnu rostlinné buňky po té, co je chitin (strukturní polymer buněčné stěny houbového patogena) detekován receptorem na cytoplasmatické membráně rostlinné buňky (CERK1). Následně dochází k signalizaci viz schéma níže, která vede k expresi chitinázy, a to na ribozomech drsného endoplasmatického retikula. Dochází k tzv. kotranslaci, protein je přímo během své syntézy transportován přes membránu do endoplasmatického retikula. Z něj se odlučují váčky s obsahem chitinázy, jsou transportovány po cytoskeletu pomocí molekulových motorů k povrchu buňky, kde sekretují svůj obsah vně buňky na houbového patogena. Chitináza slouží ke štěpení chitinu, majoritního polymeru buněčné stěny hub. Rostlina se tak brání před patogenem.*

14. Doplňte chybějící termíny do následujícího schématu. Vedle každého okénka též uveďte, kde v buňce daný děj probíhá:



Zde je vhodné vysvětlit, co je kotranslace (translace proteinů, které budou upraveny v endomembránových kompartmentech, popř. sekretovány z buňky, dochází k ní na ribozomech drsného endoplasmatického retikula přes jeho membránu).

15. Co je to programovaná buněčná smrt? Popište stručně jak probíhá?

Hypersenzitivní reakce probíhá jako programovaná buněčná smrt – zvýší se obsah reaktivních kyslíkových radikálů v cytoplasmě, která se zároveň okyseluje, rozpadá se cytoskelet (depolymerace), endoplasmatické retikulum se rozpadá do váčku, DNA v jádře je degradovaná a rozštěpena na kratší úseky a jádro se postupně také rozpadá do váčků, následně membrána vakuoly (tonoplast) splyne s cytoplasmatickou membránou buňky, čímž se její kyselý obsah vyleje na patogenní houbu.

16. K čemu slouží programovaná buněčná smrt kromě obrany před patogeny obětí jednotlivých buněk v zájmu záchrany zbytku pletiva?

Díky ní opadáva na podzim listí ze stromů, vznikají vodivá pletiva cévy a cévice, a je neoddělitelně spojená s vývojem těl mnohobuněčných organismů.

17. Na závěr doplňte základní fytopatologickou klasifikaci biotrofů a nekrotrofů a jejich vlastností. Přiřadte na základě dané charakteristiky příslušnou strategii:

Charakteristika	Nekrotrof	Biotrof
Oportunista (+/- saprotrof)	x	
Specialista – obligátní patogen		x
Vstupuje přirozenými otvory i jinde, přístup si vyrobí		x
Vstupuje pouze přirozenými otvory a poraněním	x	
Nemá apresoria ani haustoria či jiné specializované orgány	x	
Má apresorium		x
Vylévá na buňky lytické enzymy a toxiny	x	
Prorůstá mezibuněčným prostorem a skrz mrtvé buňky	x	
Atakuje mladé, oslavené či poraněné rostliny	x	
Atakuje jakékoli stádium vývoje dané rostliny		x
Obrana rostliny je zprostředkována fytohormonem kyselinou jasmínovou a plynným ethylenem	x	
Obrana rostliny je zprostředkována fytohormonem kyselinou salicylovou		x