UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Biologie
Studijní obor: Učitelství biologie pro SŠ (dvouoborové)

Bc. Libor Sedlecký

Fotomorfogeneze: vliv světla na procesy vývoje rostlin ve výuce biologie na školách

Photomorphogenesis: the effects of irradiation on plant development in the educational programs of highschools

Diplomová práce

Školitel: prof. RNDr. Jana Albrechtová, Ph.D.

Praha, 2013

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci na téma:

Fotomorfogeneze: vliv světla na procesy vývoje rostlin ve výuce biologie na školách vypracoval samostatně s použitím citované literatury pod vedením prof. RNDr. Jany Albrechtové, Ph.D., a že nebyla předložena jako diplomová práce na žádné jiné vysoké škole.

V Praze 15. 8. 2013 Bc. Libor Sedlecký

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval prof. RNDr. Janě Albrechtové, Ph.D. a doc. RNDr. Věře Čížkové CSc. za cenné rady při vedení této práce a Mgr. Zuzaně Lhotákové, Ph.D. za pomoc se statistickou částí této diplomové práce. Zároveň bych rád poděkoval mé rodině za podporu během mého studia na vysoké škole.

Obsah

Seznam zkratek 7

Abstrakt 8

1. Úvod 10

2. Cíle diplomové práce 11

3. Literární úvod 12

A) Část odborná 13

3.1 Záření elektromagnetického spektra 13

3.1.1 Světelné spektrum 13

3.2 Sluneční záření 15

3.3 Absorpce světelného záření 16

4. Fotomorfogeneze rostlin 17

4.1 Rostlinné pigmenty 17

4.1.1 Fytochromy 19

4.1.1.1 Biosyntéza fytochromu 21

4.1.1.2 Molekulární mechanismus funkce fytochromu 22

4.1.1.3 Fytochrom A 25

4.1.1.4 Fytochrom B 25

4.1.2 Fotosenzorické receptory modrého světla 26

4.1.2.1 Kryptochromy 26

4.1.2.2 Fototropiny 29

4.2 Světelné záření jako signál – vliv světelných signálů na vývoj rostlin 30

4.2.1 Fototropismus 32

4.2.2 Vývoj listu 34

4.2.3 Skotomorfogeneze 36

4.2.4 Etiolizace x Deetolizace 37

4.2.5 Vyhnutí se stínu – „Shade avoidance“ 39

B) Část didaktická 41

5. Výuka biologie na gymnáziu 41

5.1.1 Rámcový vzdělávací program pro gymnázia 42
5.1.2 Klíčové kompetence 44
5.1.3 Vzdělávací oblast Člověk a příroda 45
5.1.3.1 Vzdělávací obor Biologie 47
5.1.3.2 Rozsah výuky biologie na středních školách 47
5.1.4 Učebnice biologie 50
6. Materiál a metodika 52
6.1 Rostlinný materiál 52
6.1.1 Příprava materiálu a kultivace rostlin 52
6.1.2 Hodnocení růstových parametrů rostlin v pokusech 53
6.1.3 Statistické hodnocení 57
6.2 Experimentální varianty 58
6.2.1 Pokus 1 – Vliv vlnové délky světelného záření na fototropismus rostlin 58
6.2.2 Pokus 2 – Vliv světelného záření na směr růstu kořenů rostlin 58
6.2.3 Pokus 3 – Skotomorfogeneze roslin 59
6.3 Dotazníkové šetření 61
6.4 Struktura výukových materiálů 63
7. Výsledky 64
7.1 Pokus 1 - Vliv vlnové délky světelného záření na fototropismus rostlin 64
7.2 Pokus 2 - Vliv světelného záření na směr růstu kořenů rostlin 65
7.3 Pokus 3 - Skotomorfogeneze roslin 67
7.4 Dotazníkové šetření 70
7.4.1 Dotazník č. 1 – materiální zabezpečení škol 70
7.4.2 Dotazník č. 2 – Protokoly 71
7.4.3 Dotazník č. 3 – Fotomorfogeneze rostlin 73
8. Diskuze 84
8.1 Zvolené metodické přístupy 84
8.2 Materiál 84
8.2.1 Zdroje světelného záření 84
8.3 Experimenty 85
8.4 Protokoly pro výuku fyziologie rostlin 87
8.5 Dotazník 88

8.5.1 Dotazník č. 1 - Materiální zabezpečení škol....88
8.5.2 Dotazník č. 2 – Protokoly....89
8.5.3 Dotazník č. 3 – Fotomorfogeneze roslin....89
8.6 Možnosti využití vypracovaných materiálů ve školní praxi....90
8.7 Význam pochopení konceptu fotomorfogeneze....91
8.8 Závěr diskuze....91
9. Závěry....92
10. Seznam použité literatury....93
11. Přílohy....102
11.1 Návrh materiálů pro praktická cvičení....102
11.1.1 Fototropismus rostlin....102
11.1.2 Negativní fototropismus rostlin....110
11.1.3 Skotomorfogeneze rostlin....117
11.2 Přílohy pro realizaci praktického cvičení....129
11.2.1 Metody pro měření listových ploch....129
11.2.1.1 Stereologická metoda bodová....129
11.2.1.2 Vážková metoda....129
11.2.1.3 Program ImageJ....130
11.2.2 Šablony....131
11.2.3 Statistické výpočty....133
11.2.4 Statistické problémy....134
11.3 Dotazník....140

Seznam zkratek

ABA – kyselina abscisová

B – Blue - modré záření v oblasti s vlnovou délkou 425 – 490 nm

CO_2 – oxid uhličitý

Cry – kryptochrom

DNA – deoxyribonukleová kyselina

FAD – flavinmononukleotid

FR – Far red - dlouhovlnné červené záření v oblasti s vlnovou délkou 720 – 800 nm.

G – Green - zelené záření v oblasti s vlnovou délkou 490 – 560 nm

LED – light emitting diod

mRNA – mediátorová RNA

NVP – národní vzdělávací program

PFR – konformace fytochromu s absorbčním maximem záření o vlnové délce 730 nm

Phot – fototropin

Phy – fytochrom

PR – konformace fytochromu s absorbčním maximem záření o vlnové délce 660 nm

PSI – fotosystém 1

PSII – fotosystém 2

R – Red - červené záření v oblasti s vlnovou délkou 640 – 720 nm

RNA – ribonukleová kyselina

RVP – rámcový vzdělávací program

RVP G – rámcový vzdělávací program pro gymnázia

RVP ZV – rámcový vzdělávací program pro základní školy

ŠVP – školní vzdělávací program

UV – A – ultrafialové záření v oblasti s vlnovou délkou 320 – 400nm

UV – B – ultrafialové záření v oblasti s vlnovou délkou 280 – 320 nm

UV – C – ultrafialové záření v oblasti s vlnovou délkou 280 – 210 nm

Abstrakt

Hlavním cílem této diplomové práce bylo vytvoření funkčních pokusů a podpůrných výukových materiálů, určených žákům středních škol, které by názorně demonstrovaly procesy fotomorfogeneze u rostlin. Navržené pokusy bylo třeba ověřit v praxi na základě jejich spolehlivosti, opakovatelnosti a proveditelnosti ve školách. K pokusům pak bylo třeba vypracovat výukové materiály, zaměřené na pozorování fotomorfogenetických reakcí rostlin, které žákům přibližují základy vědecké práce a cíleně zvyšují zájem o experimentální biologii rostlin.

První částí diplomové práce je literární úvod, který poskytuje teoretické zázemí k problematice fotomorfogeneze pro učitele. Shrnuje základní současné poznatky o mechanismu a projevech fotomorfogenetických procesů rostlin. Druhá didaktická část úvodu se věnuje zasazení výuky fyziologie rostlin do současných kurikulárních dokumentů školství v České republice.

Pro vytvoření výukových materiálů bylo potřeba navrhnout a ověřit takové pokusy, které spolehlivě demonstrují základní fotomorfogenetické procesy. Byly navrženy tři pokusy zaměřené na: 1. fototropismus rostlin, 2. negativní fototropismus rostlin a 3. skotomorfogenezi rostlin. Pro vybrání těchto pokusů jsem se řídil soubory kritérií, které u pokusů zaručovaly spolehlivost, jednoduchost, názornost, demonstrativnost na základech vědecké práce, proveditelnost ve školních podmínkách, a zároveň také s ohledem na finanční nákladnost.

Ověření probíhalo na dvou pilotních středních školách – Gymnázium Vimperk a Prachatice. Vlastní demonstrace pokusů a materiály byly ověřeny při osobních výstupech v pilotních školách a také formou dotazníků, které jsem sestavil, směřovaných k učitelům a žákům pilotních škol, které byly vyhodnoceny a začleněny do tvorby materiálů. Protokoly byly následně díky zpětné vazbě dopracovány a mohou být použity pro výuku. Kromě protokolů jsou součástí práce další podpůrné materiály, které umožňují provést výuku na školách.

Abstract

The main aim of this diploma thesis was creation of functional experiments and supporting teaching materials for high school students which would clearly demonstrate the processes of photomorphogenesis in plants. Proposed experiments had to be verified in practice on the basis of their reliability, repeatability and reproducibility in schools. It was necessary to drew up the educational materials for each experiment focused on observation of photomorphogenesis plant's reactions. These materials give students the basics of scientific work and specifically they increase the interest in experimental plant biology.

The first part of the thesis is literary introduction that provides the theoretical background to the topic of photomorphogenesis for teachers. It summarizes the current of the art mechanisms and manifestations of photomorphogenesis processes of plants. The second didactic part of the introduction deals with the framing up teaching of plant physiology into current curricula of education in the Czech Republic.

For the formativ of educational materials experiments had to be designed to demonstrate reliably basic photomorphogenetical processes. Three experiments were designe dat: 1. plant phototropism, 2. negative plant phototropism and 3. plant scotomorphogenesis.To select these experiments I set a list of criteria that attempts to guarantee the reliability, simplicity, clarity, demonstrativness of scientific work, feasibility within the school environment and low price.

Verification of teaching materials took place in two pilot grammar schools – Gymnázium Vimperk and Gymnázium Prachatice. Demonstration of experiments and materials was verified through my own personal involvement in pilot schools and also in a form of questionnaires, which I constructed. The questionnaires were aimed at teachers and students of pilot schools and they have have been evaluated and implemented into materials via feedback, which was incorporated in the materials. Protocols were than finalized based on the feedback and may be used for teaching. Besides protocols, other supporting teaching materials are part of the thesis enabling to conduct the teaching lessons at high schools.

1. Úvod

Fotomorfogeneze je souhrn reakcí, které jsou závislé na světelných podmínkách v daném prostředí, podle kterých si rostlina utváří svou vnější podobu i vnitřní strukturu a reguluje svůj metabolismus, ontogenetický vývoj i pohyby. Na rozdíl od fotosyntézy však tyto reakce neslouží k ukládání absorbované energie do makroenergetických chemických vazeb a ani neslouží k tvorbě primárních metabolitů – tj. neslouží jako zdroj energie pro nárůst biomasy rostlin. Energie, která je potřebná pro fotomorfogenetické reakce rostlin, je získávána z fotosyntézy a vývoj funkčního fotosyntetického aparátu je zase velmi komplexní fotomorfogenetický proces. Vztah fotomorfogenetických a fotosyntetických procesů je tedy velmi těsný.

Fotomorfogeneze má klíčový význam pro život rostlin a tím i pro život všech organizmů, včetně člověka. Každý by si tedy měl uvědomit důležitost fotomorfogeneze pro život na Zemi tak, jak ho známe. Důležitost těchto fotomorfogenetických reakcí mě vedla k tomu, abych si toto téma zvolil pro tvorbu výukových materiálů pro střední školy jako svou diplomovou práci. Ve své práci se snažím jednotlivé fotomorfogenetické procesy předvést tak, aby byly atraktivní a snadno uchopitelné již na středních školách.

Diplomová práce je členěna do dvou částí – část teoretickou a praktickou. Teoretická část zahrnuje literární úvod, který slouží jako teoretický základ, zdroj informací pro další praktickou část. Teoretická část prezentuje přehled poznatků o průběhu a významu fotomorfogeneze rostlin. V další části literárního úvodu byla provedena analýza a poukázáno na aktuální stav výuky biologie rostlin na středních školách. V závěrečné části literárního úvodu jsou předneseny metody, které vedou ke zkoumání fotomorfogeneze rostlin.

Praktická část pak navazuje na literární úvod a v kapitole materiál a metody uvádí všechny metodické přístupy použité v práci a též popisuje design pokusů a dotazníků, které byly použity pro dotazníkové šetření. Výsledky pak zahrnují výběr jednotlivých pokusů na základě ověření jejich platnosti. V praktické části je závěrem zahrnuta analýza dotazníkového šetření. Testy byly dávány žákům k vyplnění jednak před vlastní výukou za použití nově vytvořených materiálů a poté po absolvování výuky zaměřené na fotomorfogenetické procesy. Praktická část pak v přílohách přináší výukové materiály, podle kterých žáci a učitelé středních škol mohou provádět jednotlivé pokusy ve školních podmínkách. Protokoly o pokusech zde uvedené, které prošly úspěšným ověřením v praxi. Experimenty byly vybrány

tak, aby byly proveditelné v laboratorních podmínkách středních škol, vzhledem k jejich materiálnímu vybavení a obtížnosti zpracování. Poslední kapitola se věnuje diskuzi jednotlivých pokusů, materiálů a možnostem využití vypracovaných výukových materiálů v aktuální středoškolské výuce.

2. Cíle diplomové práce

a) Tvorba literárního úvodu, který bude tvořit učitelům teoretický podklad pro vypracované experimenty

b) Návrh a ověření experimentů, které demonstrují procesy fotomorfogeneze rostlin

c) Tvorba jednotlivých výukových materiálů

d) Ve spolupráci s pilotními školami ověřit a dopracovat výukové materiály
   - Prezentace výukových materiálů na školách
   - Připravit a vyhodnotit dotazníkové šetření u učitelů a žáků středních škol

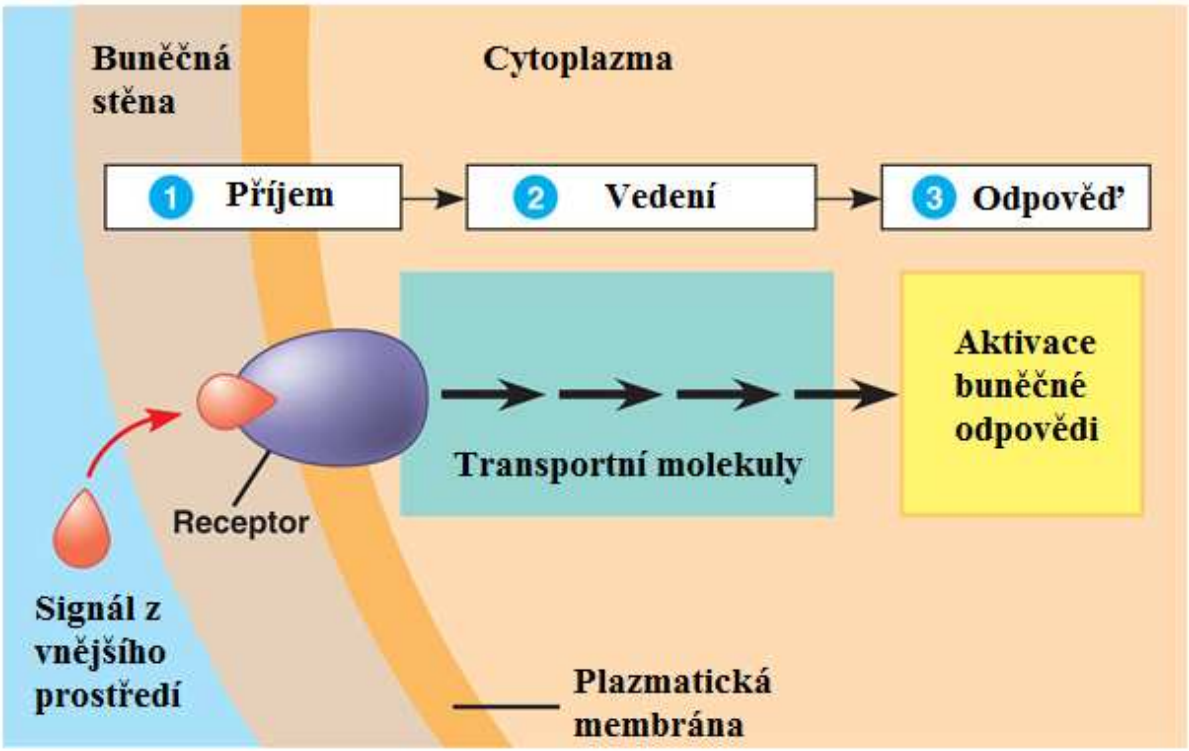
3. Literární úvod

Fotomorfogenetické procesy rostlin probíhají ve třech krocích (Obr. 1):

1. Fotorecepce: příjem světelného signálu – absorbce fotonu recepční molekulou – fotosenzorem.

2. Transdukce signálu: vedení, transport signálu rostlinou – transformace světelného signálu v signál biologický. V této fázi také dochází k amplifikaci – zesílení nebo k zeslabení signálu.

3. Interpretace: reakce, odpověď organismu na přijatý světelný signál. V organismu dojde k takovým změnám metabolismu a struktury, které naleznou optimální stav pro přizpůsobení se k daným podmínkám.



Obr. 1 Průběh fotomorfogenetických reakcí od příjmů signálu fotosenzorem, transdukci signálu, po vytvoření odpovědi. Převzato z http://www.bio.miami.edu

A) Část odborná

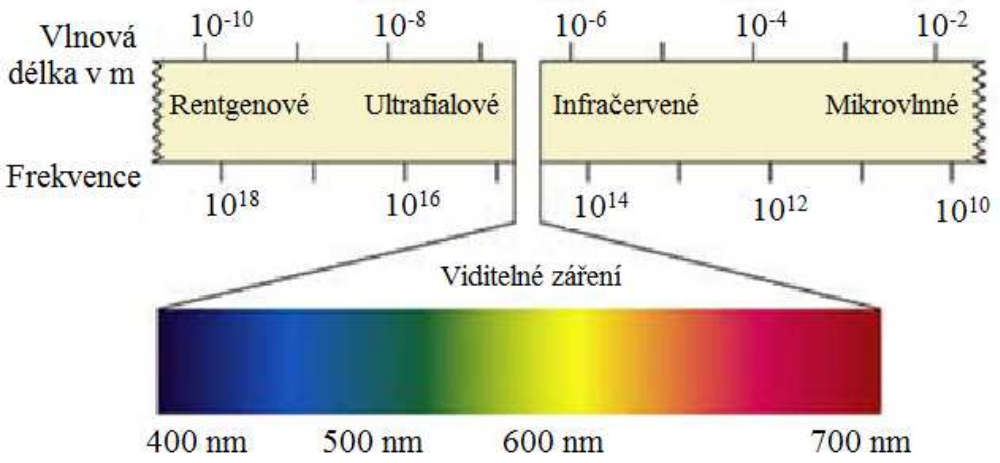
3.1 Záření elektromagnetického spektra

Elektromagnetické spektrum zahrnuje elektromagnetické záření všech možných vlnových délek (Obr. 2). Pod pojmem světlo je často chápáno elektromagentické záření v oblasti viditelného spektra, tj. 400-740 nm. Pro rostliny má však význam i záření vlnových délek sousedících s oblastí viditelného spektra, kterým je řada procesů fotomorfogeneze regulována. Proto pro pochopení fotomorfogeneze rostlin je nezbytné, aby žáci byli seznámeni se základy kapitol z fyziky, které se týkají elektromagnetického záření v oblasti spektra, které má význam pro fotomorfogenetické procesy u rostlin, tj. 280 – 800 nm: části ultrafialového, viditelného a části infračerveného záření.

3.1.1 Světelné spektrum

Světelné záření chápeme jako fyzikální jev, který má vlnovou i částicovou povahu. Tato skutečnost je chápána jako dualismus vln a částic. Tento pojem zavedl v roce 1905 Albert Einstein pro objasnění fotoelektrického jevu. Fyzikální pojem dualita částice a vlnění se vztahuje ke skutečnosti, že světelné záření lze popsat buď jako vlnu nebo jako částici, v závislosti na uspořádání experimentu a způsobu pozorování.

Distribuce světelného záření ze slunce probíhá v kvantech - malých dávkách, jejichž jednotky jsou fotony. Množství energie obsažené v každém fotonu se nazývá světlené kvantum (v literatuře se termíny foton a světelné kvantum někdy staví jako synonyma). Barva záření v oblasti viditelného světla je určena energetickou hladinou fotonu. Různé vlnové délce elektromagnetického záření tedy odpovídá různá energie. Větší vlnová délka přitom odpovídá menší energii. Fotony červeného světla tedy mají menší energii např. než fotony zeleného světla (Alberts a kol., 1998). Schéma elektromagnetického vlnění ukazuje obr. 2.



Obr. 2 Světelné spektrum elektromagnetického vlnění. Oblast 400 – 700 nm odpovídá oblasti viditelného záření, tedy světla. Na měřítku dole je vidět barva odpovídající příslušné vlnové délce ve viditelném spektru záření. Zdroj: http://www.netcam.cz

Pojmem světlo, se ve fotomorfogenezi rostlin rozumí elektromagnetické záření, které má rozsah vlnových délek zhruba od 280 do 800 nm, protože rostliny ve svých reakcích využívají i jiné, sousední vlnové délky radiace oblasti viditelného záření. V této diplomové práci se tedy pojmem světelné záření bude nadále rozumět elektromagnetické záření v rozsahu 280 – 800 nm (viz. Tab. 1.). V tomto rozsahu elektromagnetického záření se nachází nejen spektrum viditelného záření, ale i část ultrafialového a infračerveného záření.

Oblast záření	Zkratka	Rozsah (nm)	Charakteristická vlnová délka (nm)	Energie v 1 molu fotonů (kJ)
Ultra - fialové – C	UV – C	210 – 280	254	471
Ultra – fialové - B	UV – B	280 – 320	300	399
Ultra – fialové – A	UV – A	320 – 400	340	352
Fialová	V	400 – 425	410	292
Modrá	B	425 – 490	460	261
Zelená	G	490 – 560	520	230
Žlutá	Y	560 – 585	570	206
Oranžová	O	585 – 640	620	193
Červená	R	640 – 740	680	176
Infračervená	IR	Nad 740	1400	85

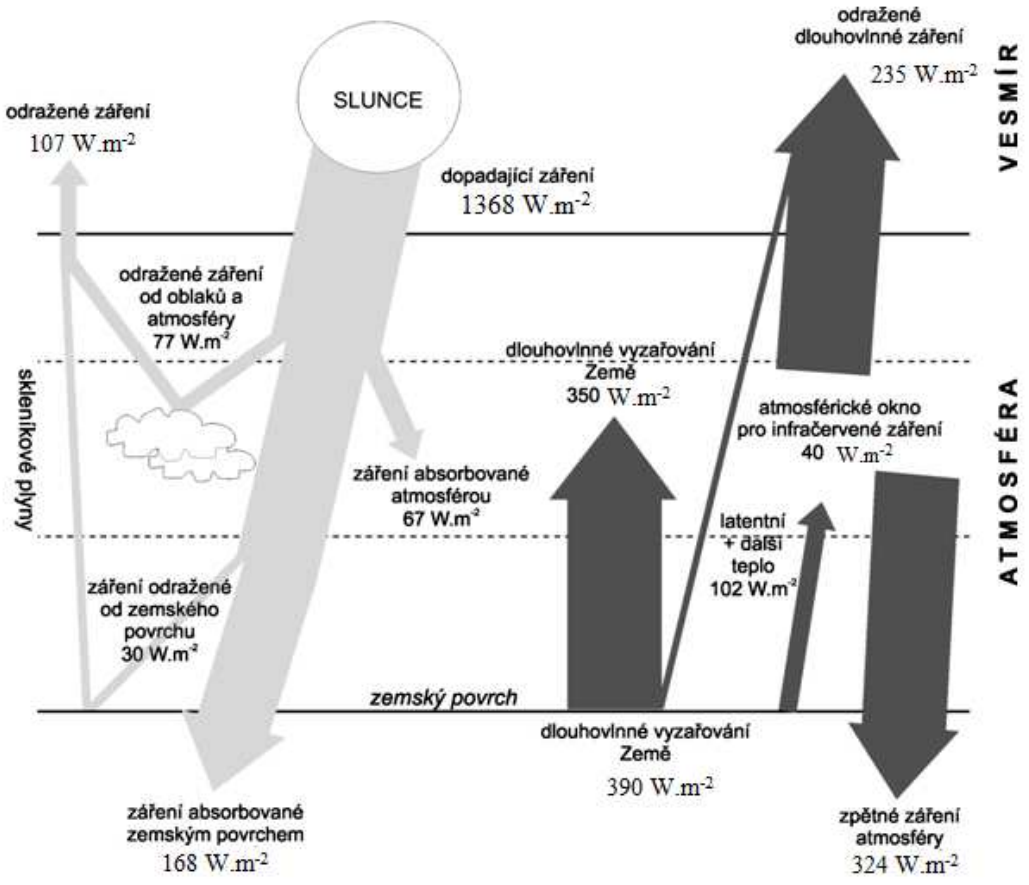
Tab. 1: Přehled vlnových délek a energie fotonů pro různé oblasti světelného spektra elektromagnetického vlnění. Převzato z Brázdil a kol. 1986

3.2 Sluneční záření

Na povrchu naší planety se vyskytují pouze dva typy zdrojů světelného záření:

a) Přírodní – záření, u kterého je původcem přirozené těleso či proces, např. Slunce, blesk (tj. elektrický výboj), vulkanické procesy, atd.
b) Umělé – zdroj záření vytvořený člověkem

Pro krátkodobost přírodních zdrojů rostliny nemohou systematicky využívat jiné zdroje než je sluneční záření. V přírodě jsou rostliny na sluneční záření plně adaptované a veškeré své procesy od něj odvíjejí. Na povrch atmosféry dopadá od Slunce záření o energii 1368 $W.m^{-2}$, tato hodnota se udává jako solární konstanta – množství energie, která dopadá na jednotkovou plochu pod úhlem 90° nad horní hranicí atmosféry (Brázdil a kol, 1986) (Obr. 3).



Obr. 3 Schéma energetické bilance slunečního záření při průchodu atmosférou. Převzato z Ruda, 2009.

Při průchodu je světelné záření atmosférou značně absorbováno. Na povrch planety pak dopadá pouze něco přes 40 % záření z celkového množství, které dopadá na povrch

atmosféry Země. Většina záření se buď odrazí od atmosféry zpět do vesmíru anebo je při průchodu atmosférou pohlceno. Za hlavní filtr v atmosféře pro složení záření dopadajícího ze slunce se udává ozónová vrstva, která filtruje značnou část UV, téměř veškeré ultrafialové záření s vlnovou délkou pod 300 nm. Infračervené záření je zase absorbováno molekulami CO_2 a vodní párou.

Atmosféra hraje značnou roli v lomu světla, kdy se mění zastoupení jednotlivých vlnových délek. Během dne se spektrum slunečního záření dopadajícího na povrch značně mění. Za svítání a za soumraku, když je slunce méně než 10° nad horizontem, je v globálním záření zvýšený podíl záření rozptýleného a relativně vysoká je modrá složka světla. Ve dne se zvyšuje přímé záření a převládá složka červená (Brázdil a kol, 1986). Na otevřeném prostranství je poměr R/FR asi 1,15 a během dne se nemění. V porostu se však mění nejen celkové množství dopadajícího záření, ale i jeho složení, protože modrá i červená složka záření jsou absorbovány fotosyntetickými pigmenty – karotenoidy a chlorofyly, FR je propouštěno a odráženo, a tak poměr R/FR klesá.

3.3 Absorpce světelného záření

Pokud záření v prostoru narazí na hmotu, může dojít k jeho odražení (reflektance) do jiného směru nebo skrz hmotu prochází (transmitance), ale s tím, že část světelného záření je hmotou absorbována (absorpce). Je to fyzikální proces, kdy je energie fotonu (světelného kvanta) pohlcena látkou. Fotomorfogenetické reakce jsou na absorpci záření závislé. Rostliny obsahují ve svém těle specifické signální receptory, které jsou schopny absorbovat záření různých vlnových délek. Tyto receptory označujeme jako fotoreceptory - rostlinné pigmenty.

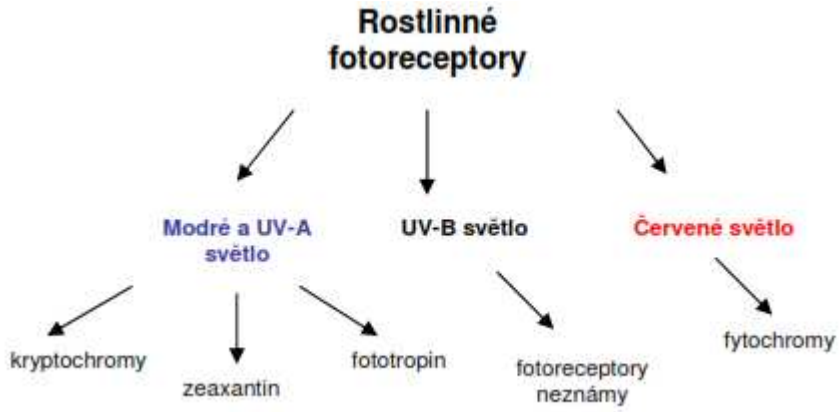
4. Fotomorfogeneze rostlin

4.1 Rostlinné pigmenty

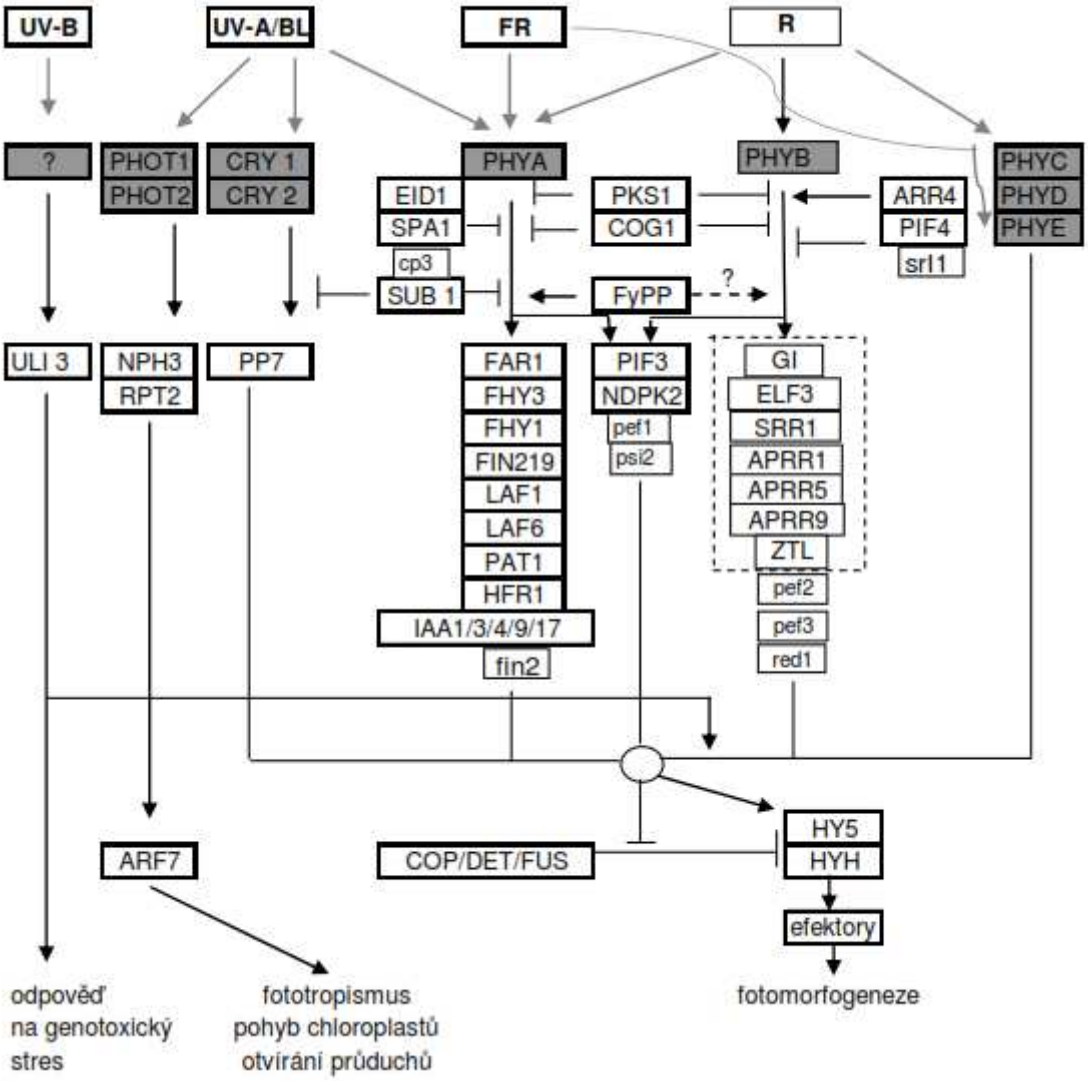
Každá rostlina je během svého života vystavena působením velkého množství vnějších signálů. Během evoluce byl v tělech rostlin vyvinut složitý systém receptorů a signálních transdukčních drah, které vytvářejí patřičné odezvy k těmto signálům. Díky tomuto systému rostliny mohou přizpůsobit svůj růst a vývoj přímo na aktuální podmínky na stanovišti a zvýšit své šance na přežití a rozmnožování. Mezi hlavní faktory ovlivňující růst a vývoj rostlin patří světelné záření, které neslouží jen jako primární zdroj energie pro fotosyntézu, ale také jako pozitivní informace pro modulování mnoha rostlinných vývojových procesů: klíčení, de-etiolace, růst listů, elongace (dlouživý růst) stonku, otevírání průduchů, přemístění chloroplastů, zahájení kvetení (Glosová, 2010). Jednotlivé typy fotoreceptorů jsou charakterizovány a dále děleny na základě schopnosti interagovat se světlem o určité vlnové délce (Briggs a Olney, 2001; Sullivan a Deng, 2003; Wang, 2005).

Při studiu fotomorfogenezických reakcí se zjistilo, že hlavní informace z okolí jsou rostlinou získávány pomocí skupin fotosenzorických fotoreceptorů – 1. fytochromy absorbují červené (R) a dlouhovlnné červené (FR) záření, 2. kryptochromy, zeaxantin a fototropin absorbují UV – A a modré (B) záření (Schärfer a Nagy, 2006) (Obr. 4).

Přestože UV – B záření má škodlivý vliv na biologicky aktivní molekuly jako je DNA, hraje určitou roli v signálních drahách fotomorfogenetických reakcí. V posledních letech byly v této oblasti získány nové poznatky (Obr. 5). UV – B je absorbováno dosud neidentifikovanými receptory, ovlivňuje fotomorfogenezi zesilílením phyB-specifickými reakcemi a spouští odpovědi na genotoxický stres. Protein ULI3 je jedním ze signálních komponent zprostředkovávající tyto odpovědi. Přenos signálu UV – B záření vede k aktivaci komponent ULI3 a HY5 (Chao, 2012). ULI3 se nachází pouze v odpovědích na UV-B záření. Tento protein, jehož funkce není známá, obsahuje vazebná místa pro hem a diacylglycerol a nachází se v cytoplasmě a v plasmatické membráně. Protein HY5 z proteinové rodiny, která obsahuje základní strukturní motiv - leucinový zip (bZIP), se podílí na regulaci normálního vývoje za všech světelných podmínek (Ramani, 2007) a také na inhibici elongace hypokotylu (Suesslin, 2009).



Obr. 4 Rozdělení rostlinných fotoreceptorů. Převzato z Taiz a Zeiger, 2006.



Obr. 5 Schéma signalizační sítě různých typů fotoreceptorů. UV-B je absorbováno neidentifikovanými receptory a vyvolává obranné odpovědi vedoucí k poškození DNA a ovlivňuje fotomorfogenezi zesilujícími PHYB-specifických reakcemi. ULI3 je jednou ze signálních komponent zprostředkovávající tyto odpovědi. UV-A/modrá (BL) část spektra je monitorována pomocí fototropinů (phot), kryptochromů (cry) a fytochromu A (phyA). Fototropiny regulují fototropismus a intracelulární

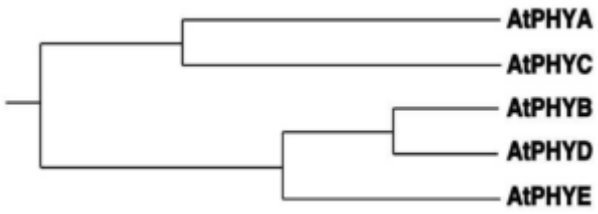
pohyb chloroplastů. Kryptochromy zachycují signál pro modré záření-indukující odpovědi fotomorfogeneze. phyA (částečně i phyE) odpovídá na kontinuální daleké červené a vysoce slabé intenzivní červené a modré záření, zatímco phyB-E zachycují kontinuální červené záření. Signály od různých fotoreceptorů jsou spojeny komplexní regulační sítí, která inhibuje aktivitu proteinové třídy COP/DET/FUS a indukuje expresi transkripčních faktorů HY5 a HY5 HOMOLOGUE (HYH). Cirkadiánní hodiny ovlivňují tuto regulační síť na různých úrovních.

Zkratky: APRR1/5/9 – pseudo-odpovědný regulátor z A. thaliana; ARF7 – auxin –odpovědný faktor 7; COG1 – COGWHEEL1; *cp3* –*compakta 3*; EID1 – citlivý na tmavě červené záření 1 ; ELF3 – raně kvetoucí 3; FAR1 – poškozená odpověď na FR; FHY1/2 – dlouhý hypokotyl při FR 1/2; FIN219 – necitlivý na FR 219; GI – srI1 Gigantea; HFR1 - dlouhý hypokotyl při FR 1; IAA1/3/4/9/17 – indol-3-octová kyselinaodpovědný faktor 1/3/4/9/17; LAF1/6 - dlouho po FR 1/6; NDPK2 –nukleosiddifosfátkinasa 2; PAT1 –signální přenos phyA; PSI2 – fytochromová signalizace 2; red1 –prodloužené červené záření; srl1 – krátký hypokotyl na červeném záření; SRR1, - snížená citlivost na červené záření 1; SUB1 – krátce pod modrým zářením 1.

Převzato a upraveno z Chao, 2012, Glosová., 2010.

4.1.1 Fytochromy

Fytochromy jsou fotoreceptory, které se vyskytují u rostlin a dalších fotosynteticky aktivních organismů a slouží k detekci červeného a infračerveného záření. Fytochromy různým způsobem, který bude popsán dále, regulujíe růst a vývoj rostlin. Dříve se uvádělo, že v rostlinách se nachází pouze jeden typ fotosenzorického receptoru červeného světla - **fytochrom**. V rostlině však není pouze jeden druh fytochromu, ale celá skupina, kde se od sebe jednotlivé fytochromy odlišují složením proteinové části, která je kódována různými geny (Azari et al., 2010). Po přečtení kompletní genomové sekvence se molekulárním výzkumem u modelové rostliny huseníčku rolního (*Arabidopsis thaliana* L.) zjistilo, že existuje skupina pěti různých variant proteinu označovaná jako fytochromy (phy) A – E (Takano et al., 2009). U krytosemenných se fytochromy C, D a E se vyskytují pouze v některých taxonomických skupinách, fytochromy A a B jsou zastoupeny v celém oddělení a jsou evolučně původní (Mathews, 2010) (Obr. 6).

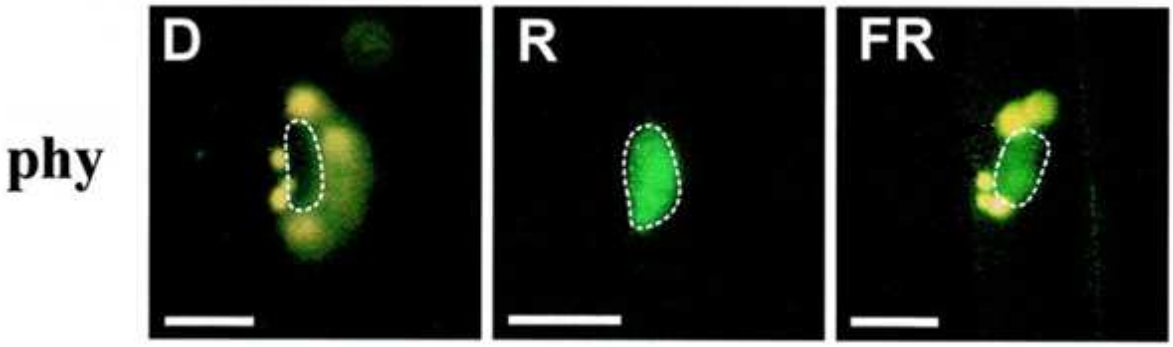


Obr. 6 Fylogenetický strom pěti fytochromových genů z A. thalina. V první duplikaci se vytvořily linie pro phyA/C a phyB/D/E. V dalších duplikací postupně docházelo k separaci jednotlivých fytochromů. Jako poslední došlo k divergenci phyB a phyD. Převzato z Deng a Wang, 2002.

V rostlinné buňce existuje fytochrom ve dvou vzájemně reverzibilních konformacích (Obr. 7):

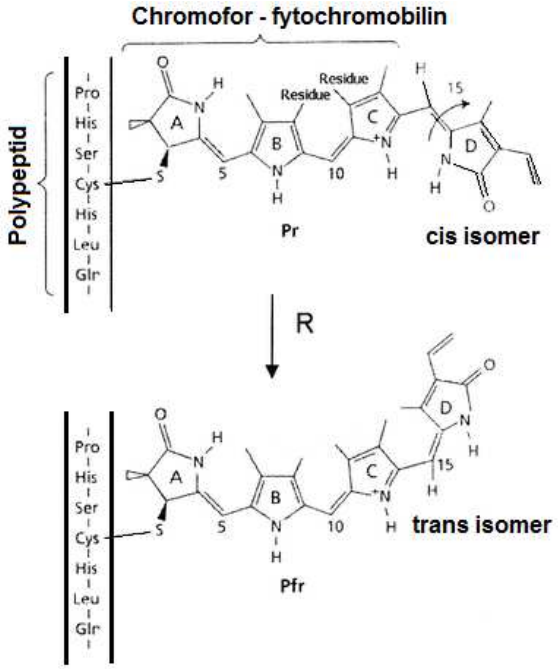
Biologicky inaktivní fytochrom (max 660 nm) ..... P_R lokalizovaný v cytoplazmě

Biologicky aktivní fytochrom (max 730 nm) ..... P_{FR} lokalizovaný v jádře



Obr. 7 Transport fytochromu do jádra je regulován kvalitou světelného záření. Ve tmě (D – dark) je fytochrom lokalizovaný v cytosolu. Transport do jádra (ohraničené čárkovanou hraniční bílou čárou) je indukovaný pětiminutovým ozáření červeným září (R). Reverzibilita tohoto děje nastává po pěti minutách ozáření dlouhovlnným červeným zářením (FR). Fytochrom značen GFP (green flourescent protein) a jeví se jako zeleně zářící oblasti snímků. Podle Nagy a Schäfer, 2000.

Z dosavadních výzkumů vyplývá, že je to jediný fotoreceptor, který vnímá záření R/FR a přitom absorbuje toto záření pouze pro fotosenzorické reakce (Takano et al., 2009).

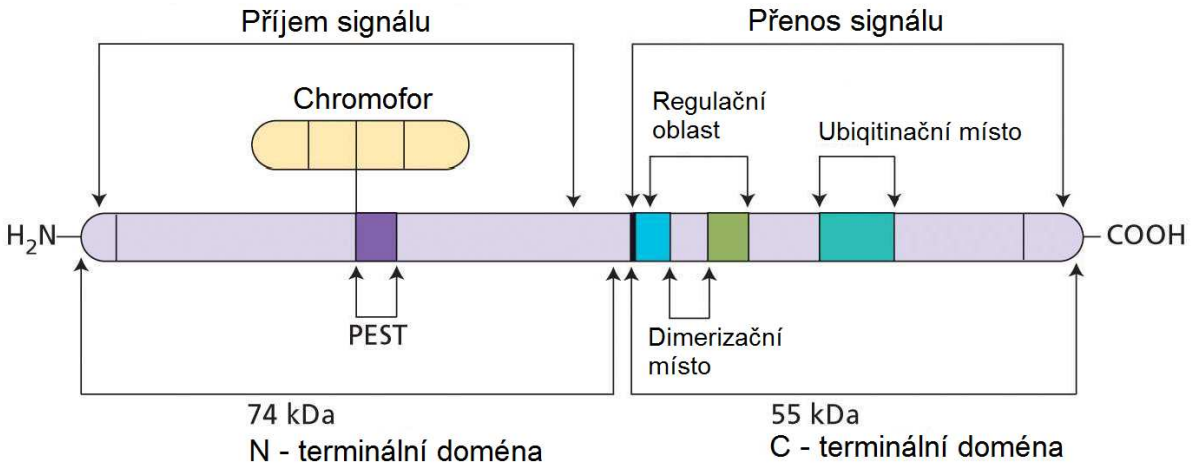


Po absorpci fotonu molekulou P_R dojde ke změně konformace proteinu ve fytochromu, který tak přejde ve formu P_{FR} (obr. 8). Tato změna se nazývá **fototransformace** a probíhá velmi rychle, po absorbci proběhne tato změna již za 1 ps. Tetrapyrolová struktura fytochromu tedy při absorbci záření o vlnové délce 660 nm mění svoji konfiguraci a po ozáření vlnovou délkou 730 nm se vrací do původní formy.

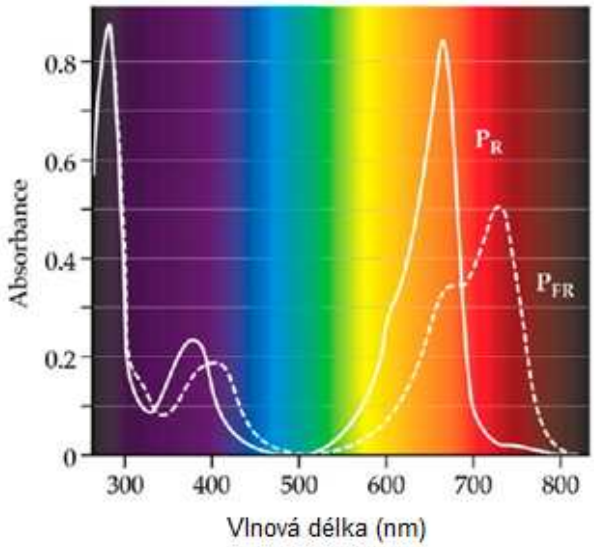
Obr. 8 Prostorový tvar fytochromu v jednotlivých konformacích P_R a P_{FR}. Převzato z Taiz, Zeiger 2006.

4.1.1.1 Biosyntéza fytochromu

Fytochrom je relativně velký dimerický chromoprotein. Je to komplex dvou monomerů, z nichž se každý skládá ze dvou částí – a) chromoforu, části, která absorbuje světelné záření a b) proteinu. K chromoforu je kovalentně vázána proteinová část (Parks, 2003). Velikost monomeru se u zatím identifikovaných fytochromů pohybuje mezi 125 a 18 kDa. Chromofor, je lineární tetrapyrol (fytochromobilin), který je u všech fytochromů identický (Franklin a Quail, 2009). Apoprotein (v délce 1100 aminokyselin) se skládá ze dvou domén – N – terminální fotosenzorická doména a C – terminální doména asociovaná s histidin – kinázou (Montgomery, 2012) (Obr. 9).



Obr. 9 N-terminální doména: nese místo vázající chromofor a PEST doménu = fotocitlivé části molekuly; rozhodují o reakci k R či FR.
C-terminální doména: obsahuje regulační oblast, a dimerizační a ubikitinační místo; přenáší signál na další proteiny ve fytochromové signální dráze. Převzato podle Motgomery, 2012.



Obr. 10 Absorbance fytochromů fytochromů v oblasti světelného záření vlnových délek 250-850 nm.. Převzato z Taiz, Zeiger 2006

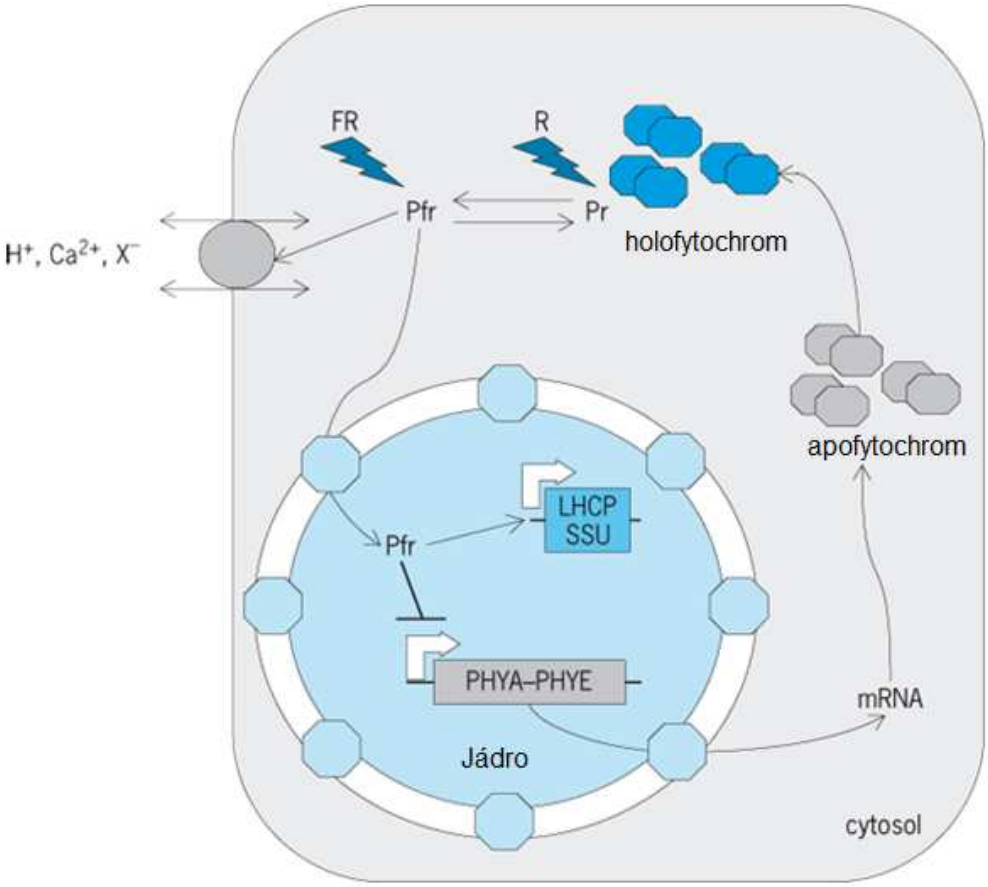
Chromofor je kovalentně připojen k cysteinu ve fotosenzorické doméně apoproteinu. Funkční fytochrom závisí na dvou nezávislých buněčných biosyntetických drahách. Apoprotein je kódován malou skupinou nukleárních genů. Při studii modelového organismu *A. thaliana* bylo objeveno pět druhů

fytochromů phyA - phyE, které kódují tyto geny. Poté co dojde k transportu mRNA z jádra do cytosolu, je apoprotein syntetizován na ribozomech. Chromofor fytochromobilin je celý syntetizován v plastidových organelách rostlinných buněk a transportován do cytoplazmy, kde se kovalentně váže na apoprotein (Montgomery, 2012). Holofytochrom, fotoaktivní fytochrom, je syntetizován v biologicky inaktivní formě.

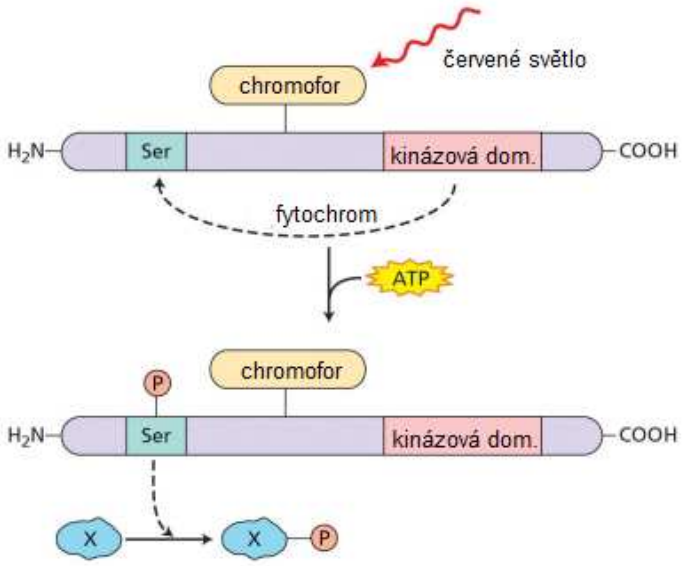
Díky absorpci fotonu z oblasti FR dojde ke změně formy P_{FR} na formu P_R. Tato změna se nazývá **fotokonverze** (Obr. 8). Forma P_{FR} je považována za biologicky (fyziologicky) aktivní, protože při jejím vzniku dochází ke spuštění fyziologických reakcí na světelné záření (Hughes, 2013). Absorbční spektra obou forem se překrývají, a proto se fototransformací nikdy nepřemění veškeré molekuly fytochromu (Obr. 10). Při monochromatickém záření proběhne fototransformace asi u 80% molekul fytochromu P_R a opačným směrem zůstává asi 5% molekul ve formě P_{FR} (Parks, 2003). Forma P_R je poměrně stálá, zatímco forma P_{FR} se ve tmě rychle mění zpět na P_R (temnostní reverze) a zčásti se rozkládá za účasti ubikvitinu. Celkový úbytek fytochromu je pak kompenzován jeho syntézou *de novo*, při které je receptor syntetizován ve formě P_R. Účinky vyvolané ozářením R, je možné zrušit ozářením FR jen během určité doby po ukončené působení R (Chao, 2012). Tato doba se nazývá únikový čas (escape time) a může trvat od několika minut do několika hodin.

4.1.1.2 Molekulární mechanismus funkce fytochromu

Absorbce světelného záření fytochromem vede ke změně konformace molekuly, která iniciuje signální kaskádu biochemických reakcí směřující ke změně buněčného metabolismu, růstu a vývoje. Fytochrom má řadu výrazných biochemických účinků. Zásadní vliv má na propustnost membrány pro protony, vápenaté ionty a druhé posly (Montgomery, 2012) (Obr. 11). Regulace mnohých účinků fytochromu se účastní ionty vápníku. Zpočátku byla domněnka, že fytochrom se váže na membránu a v důsledku změny jeho struktury se mění permeabilita membrán a tok iontů, zejména vápníku (Palagy, 2010). Po prokázání lokalizace fytochromu v cytoplazmě byla tato domněnka zpochybněna, ale účast vápníku v řadě procesů regulovaných fytochromem je nepochybná. Avšak jak přesně je spojen tok iontů a druhých poslů s účinky fytochromu není zatím přesně známo.

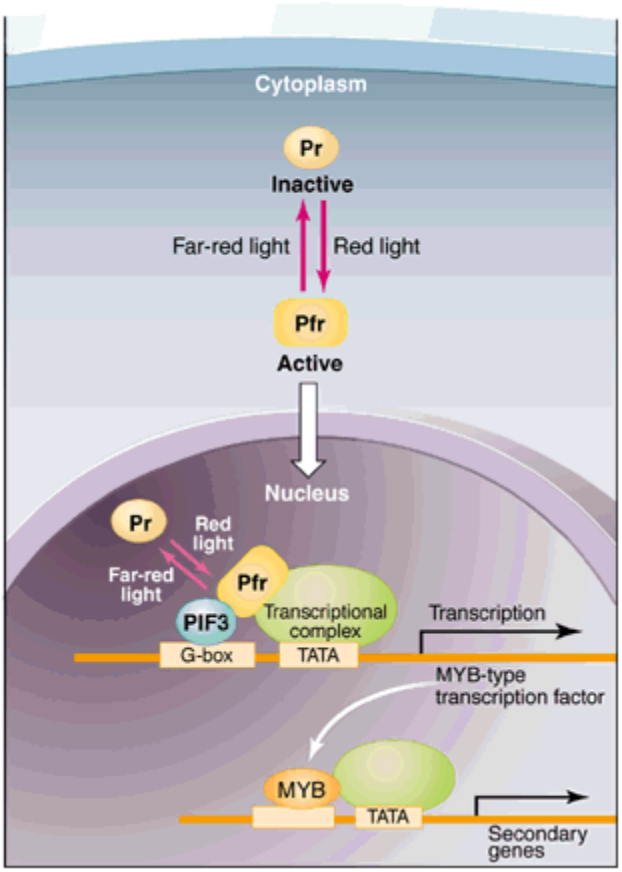


Obr. 11 Molekulární funkce fytochromu v rostlinné buňce. Fytochrom je syntetizován ve stavu P_R a poté, co absorbuje červené záření, je fotokonvertován na stav P_{FR}. Fytochrom má zásadní vliv na propustnost membrány pro H+, Ca^{2+} a translokaci P_{FR} do jádra, kde ovilňuje genovou expresi interakcí s transkripčními faktory jako jsou PIF3. Převzato z www.accesscience.com



Obr. 12 Autofosforylace fytochromu. Převzato z www.accesscience.com

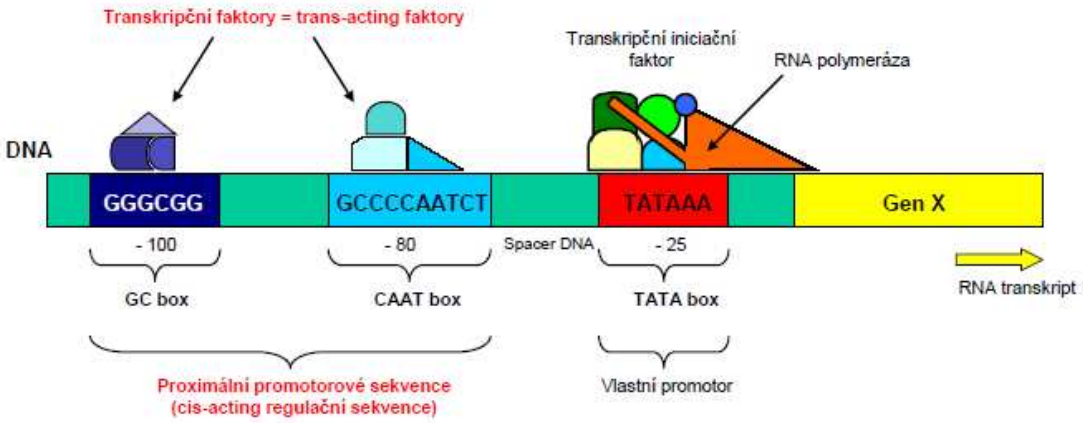
Další fytochromová aktivita v reakci na ozáření je autofosforylace (Obr. 12). Tato fosforylace závislá na světelném záření je řízena serin-threonin kinázovou doménou fytochromu. Stav fosforylace fytochromu ovlivňuje interakce komponentů v signálních drahách včetně transkripčních faktorů a proteinů jako je PKS1 (Phytochrome kinase substrate 1) (Montgomery, 2012).



Obr. 13 Fytochrom v jádře iniciuje transkripci MYB genů (CCA1, LHY) a následně transkripční faktor MYB aktivuje transkripci LHCB.

Pokud je fytochrom konvertován do své biologicky aktivní formy P_{FR}, je okamžitě transportován do jádra, kde interaguje s velkým počtem různých komponentů, jako jsou např. transkripční faktory – PIF3 (phytochrome interacting factor 3) (Patrice, 2010). Tyto interakce mají za následek změny v genové expresi, které vedou k různým fyziologickým změnám (Obr. 13).

Světelné záření může v rostlině ovlivňovat genovou expresi aktivací transkripčních faktorů (obr. 14). Transkripční faktory PIF3 se vážou na promotor (G-box) genů zajišťující odezvu na světelné záření (Lozano, 2011). Fytochrom aktivuje transkripci, pokud se PIF3 navážou k dalším transkripčním faktorům (Montgomery, 2012). Fytochrom P_R je lokalizován v cytoplazmě. Po absorpci červeného záření se změnou konformace na P_{FR} transportuje do jádra, kde se naváže na PIF3 a aktivuje transkripci. Komplex je inaktivován, když fytochrom absorbuje dlouhovlnné červené záření (Osugi, 2011).



Obr. 14 Transkripce DNA po iniciaci fytochromem. Převzato z www.platnchapters.com

4.1.1.3 Fytochrom A

Fytochrom A je nejdůležitější fotoreceptor, který je odpovědný za vnímání FR záření a jako jediný dokáže zprostředkovávat informaci o tomto záření (Weller er al., 2004). Žádný jiný fytochrom ho není schopen nahradit (Pavlová, 2002). Fytochrom A reguluje mnoho procesů v rostlinném vývoji – např. inhibici elongace hypokotylu, deetiolizaci, syntézu antokyanu, změny v genové expresi, atd. (Weller er al., 2004). Také je to velmi důležitý fotoreceptor při vnímání délky dne. Rostliny rostoucí ve tmě, mají fytochrom A lokalizovaný v cytosolu a prezentovaný ve formě P_R. Světlem navozený stav P_{FR} zahájí rychlou migraci phyA do jádra (Nagy and Schäfer, 2002).

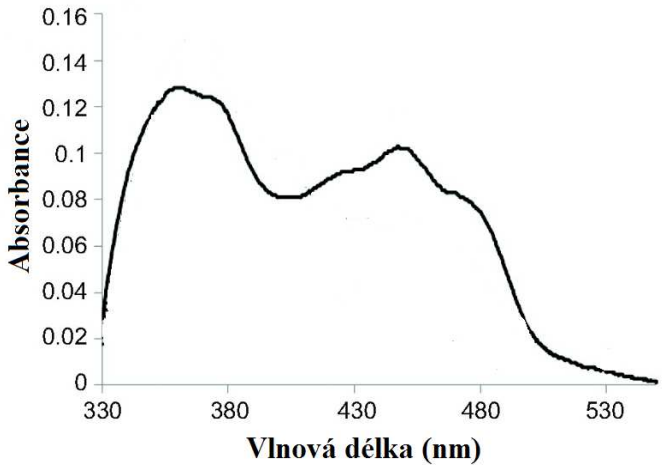
4.1.1.4 Fytochrom B

Pokud rostlinný vývoj probíhá za optimálních světelných podmínek, pak je pro rostlinu důležitý fytochrom B. Tento fytochrom působí ve velkém množství reakcí jako antagonista fytochromu A. Jako jediný zprostředkovává informaci o R a není v této funkci fytochromy A, C, D, E plně zastupitelný (Pavlová, 2002). Fytochromy C – E mohou fytochrom B v některých reakcích doprovázet. V některých případech bez nich není fytochrom B schopen vytvářet patřičnou fyziologickou odpověď (Mathews, 2010). Bez fytochromu B není rostlina schopna deetiolizace (viz deetiolizace, kap. 4.) (Franklin and Quail, 2009) a fytochrom B je také považován za hlavní fytochrom, který je odpovědný za adaptaci na stín (shade avoidance) (Franklin, 2003). Funkce fytochromu B byly dokázány na fytochrom B - deficientním mutantu *A. thaliana*, kde se dokázalo, že deficience tohoto fytochromu vede k vývoji habitu typického pro rostliny, které jsou etiolované (prodloužené tělo rostliny, redukovaná listová plocha, zvětšení apikální dominance a brzké kvetení). Rostliny jsou díky fytochromu B dokonce schopny vnímat poměr R/FR signálů, které přicházejí z FR bohatého světelného záření z odraženého R záření nebo procházejícího skrz listy okolních rostlin (Franklin, 2003). Fytochrom B hraje také velkou roli při klíčení semen. Fytochrom B je lokalizován ve své aktivní formě v jádře buňky, kde se účastní buněčné signalizace (Smith, 2000).

4.1.2 Fotosenzorické receptory modrého světla

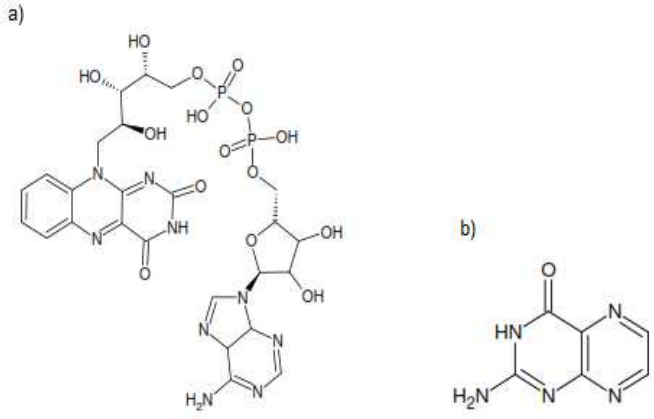
V oblasti modrého spektra světelného záření (380 – 450 nm) jsou u rostlin vyvolávané fyziologické reakce, které se projevují na různých úrovních a s různou intenzitou, která se při vývoji rostlinného těla může měnit. Během prvotních experimentů se předpokládalo, že všechny reakce na modré záření B mají jeden společný fotoreceptor. Dalším výzkumem rostlin se zjistilo, že v rostlinném těle se vyskytuje několik druhů fotoreceptorů modrého záření a záření UV – A a UV – B. Jsou to kryptochromy, fototropin a zeaxanthin.

4.1.2.1 Kryptochromy



Obr. 15 Absorbční spektrum kryptochromů. Převzato z Rivera 2012.

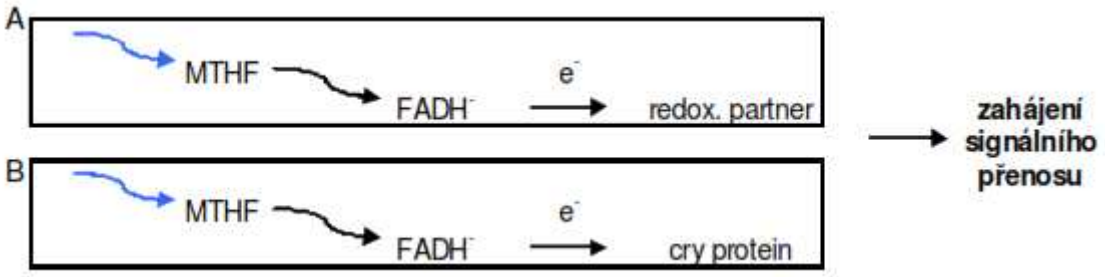
U mutantu *A. thaliana*se ukázalo, že je necitlivý k modrému světelnému záření, neboť se nedařilo inhibovat růst jeho hypokotylu modrým světlem. Mutant byl označen jako hy4 (Koornneef et al., 1980) a během jeho molekulárně biologické analýzy byl identifikován fotoreceptor pro modré světelné záření a záření UV-A, který byl nazván Kryptochrom (Ahmad a Cashmore. 1993).



Obr. 16 Kryptochromy jsou tvořené apoproteinem a dvěma chromofory, flavinadenindinukleotidem (FAD) a pterinem. Struktura (FAD) (b) Struktura pterinu. Převzato z Glosová, 2010.

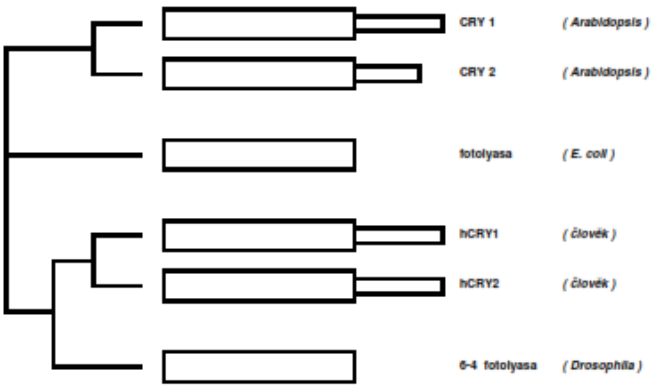
Kryptochromy, receptory detekující modré a UV- A záření v oblasti λ = 320-500 nm se vyskytují u rostlin např. u řas, kapradin, mechů a krytosemenných rostlin (Wang, 2005). Absorpční spektrum kryptochromů tvoří dva píky v oblasti UV-A (λ = 320-400 nm) a v oblasti modrého světla (λ = 400-500 nm), (Obr. 15). Kryptochromy jsou tvořené apoproteinem a dvěma chromofory,

flavinadenindinukleotidem (FAD) a pterinem (Obr. 16). Kryptochromy nekovalentně vážou FAD, vazba flavinu ve formě semichinonu je velmi stálá. Kryptochromy jsou strukturně blízké fotolyasám, proto jejich aktivace probíhá zářením-řízenými redoxními reakcemi. Existují dva modely principu této reakce: (A) intermolekulární a (B) intramolekulární reakční model, jehož funkce byla na základě genetických experimentů prokázána (Obr. 17), (Wang, 2005).



Obr. 17 Dva modely znázorňující aktivaci funkce kryptochromu. (A). Intermolekulární model: MTHF (methyltetrahydrofolát) absorbuje díky své excitační energii foton, který se dále přenáší ke katalytickému chromoforu FADH - . excitovaný FADH uvolňuje elektron, který se dostává k předpokládanému redoxnímu partnerovi a tím zahájí kryptochromovou signalizaci. (B). Intramolekulární model ukazuje stejnou reakci jako předchozí model, liší se v tom, že elektron uvolněný z FADH reaguje s aminokyselinovým zbytkem v proteinu kryptochromu a tím dochází ke spuštění signální kaskády. Převzato z Wang, 2005.

Kryptochromy jsou vysoce příbuzné s prokaryotickými DNA-fotolyasami, které patří do kryptochromové/fotolyasové genové rodiny (Obr. 18). DNA-fotolyáz, enzymy opravující poškození DNA způsobené UV-B zářením, jsou indukovány UV-A a modrým světlem. Kryptochromy a DNA-fotolyasy se liší v proteinové struktuře. Kryptochromy nevlastní fotolyasovou aktivitu a fotolyasy nemají fotoreceptorovou funkci kryptochromů.



Obr. 18 Schéma evoluční příbuznosti kryptochromů a fotolyas. Schéma ukazuje relativní evoluční příbuznost rostlinných a živočišných kryptochromů s fotolyasami typu I (*E.coli*) a 6-4 (*Drosophila*). Převzato a upraveno z Ahmad, 1999.

U *A. thaliana* byly nejprve objeveny dva kryptochromy (cry1 a cry2), které se liší svým C – koncem (Lin a Shalitin, 2003). Později byl objeven další kryptochrom – kryptochrom 3 (Platten, 2005). Tyto fotoreceptory se v rostlinách vyskytují v celé délce trvání ontogeneze na světle i ve tmě a jsou detekovány ve všech částech rostlinného těla.

Lokalizace kryptochromu v buňce:

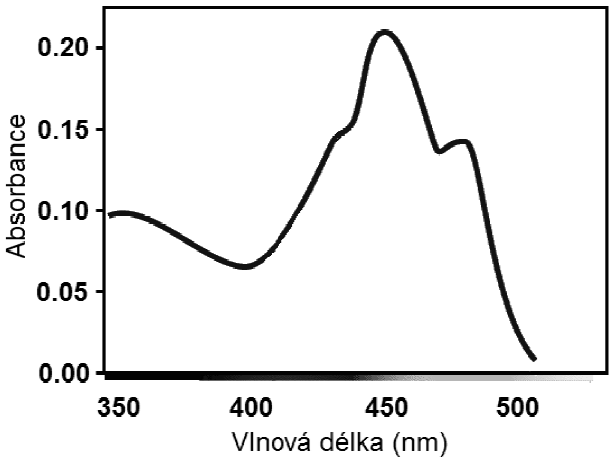
Kryptochrom 1 - Za tmy je lokalizovaný v jádře, ale po aktivaci zářením se přesouvá do cytoplazmy.
Kryptochrom 2 je za všech podmínek umístěn v jádře.
Kryptochrom 3 je součástí dvou organel – chloroplastu a mitochondrie.

Kryptochrom 1 je velmi stálý a jeho množství neovlivňuje světelná situace na stanovišti. Kryptochrom 2 je na světle labilní a během hodiny jeho množství velmi razantně klesá na setrvalý stav. Působení kryptochromu 2 je důležité v růstových reakcích při deetiolizaci. Kryptochromy iniciují různé reakce v modrém světle samy, ale za určitých situací vytváří odezvy na podnět spolu s fytochromy (Chatterjee, 2006). Například u *Arabidopsis* při zahájení kvetení pomocí kryptochtomu 2 a fytochromu A působí fytochrom B jako antagonista a má tak inhibiční efekt (Valverde et al., 2004). Kryptochromy, podobně jako fytochromy, zprostředkovávají signál pro vazbu mezi vnějším střídáním světla a tmy a endogenním oscilátorem, který měří čas – podobný mechanismus můžeme nalézt i u zvířat, kde hraje roli v cirkadiánním rytmu (Platten, 2005).

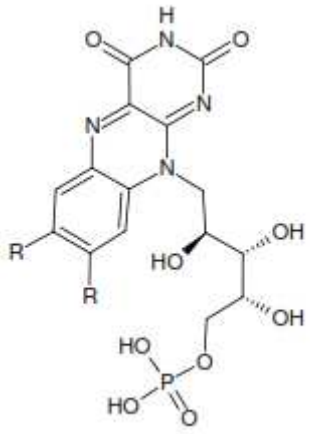
Krytpochromy jsou signální molekuly především pro růst a vývoj rostliny během deetiolace, například pro inhibici dlouživého růstu hypokotylu a jeho napřimování z původní stočené polohy, pro otevírání děloh a jejich růst do plochy a pro tvorbu řapíku. Mohou též ovlivňovat indukci syntézy anthokyaninů a ovlivňovat velikost fototropických reakcí. Reaguje obvykle i při velmi nízkých dávkách ozářenosti, tedy v reakcích typu VLFR, a mohl by se tak účastnit v reakcích rostlin na zastínění (shade avoidance) nebo také na percepci svítání a stmívání (Aphalo, 2008).

4.1.2.2 Fototropiny

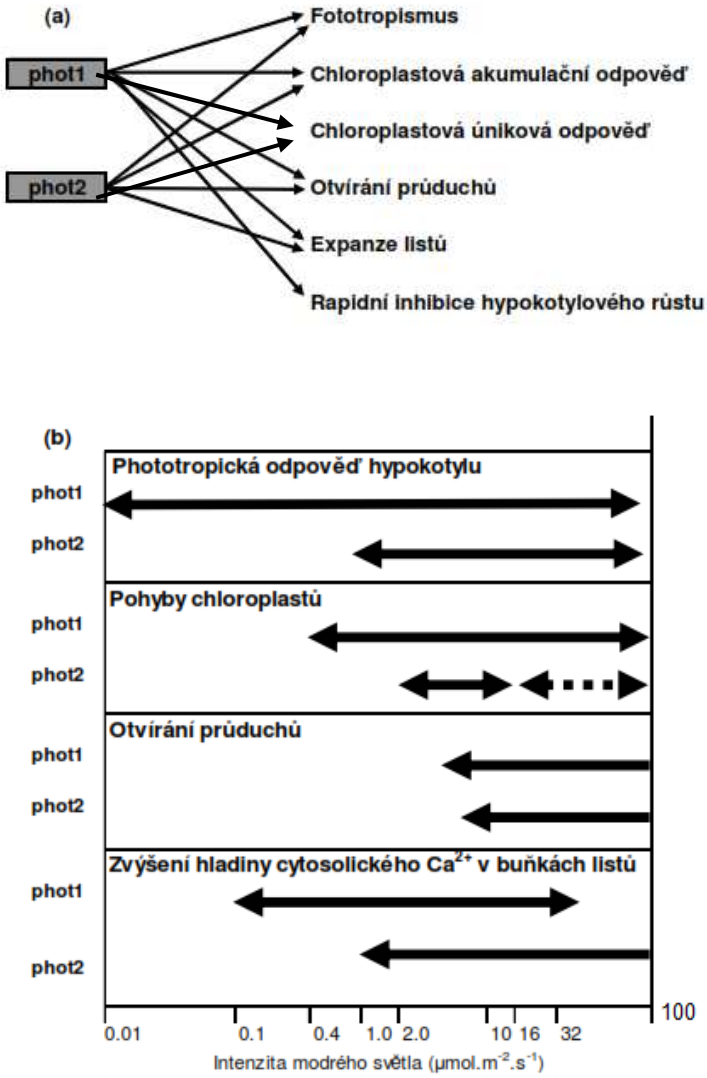
Fototropin je protein o velikosti 120 kDa, který zprostředkovává informace o modrém ozáření. Hlavní absorbční spektrum má v oblasti okolo 450 nm (Obr. 20). Proteinový N – konec obsahuje dvě identické sekvence LOV1 a LOV2 (light oxygen voltage). Tyto dvě sekvence interagují s flaviny za vzniku vazebného místa pro chromofor, ke kterému je nekovalentně vázán FMN (flavinmononukleotid, Obr. 19), (Liscum, 2002). V proteinu je zanořena krátká hydrofobní oblast, na které leží i cystein, který je důležitý pro interakci s chromoforem. Vlastní uzavřený cyklus pak probíhá v doménách s chromoforem. Po absorbci záření se mezi FMN a cysteinovým zbytkem fototropinového proteinu tvoří stabilní produkt, v němž už FMN není další absorbce schopen (Pavlová, 2002). Pokud poté fototropin vstoupí do tmy, je schopnost absorpce záření obnovena. Výzkumem byly objeveny dva druhy fototropinu, které dostaly označení jako phototropiny 1 a 2 (phot1 a phot2). Tyto dva druhy fototropinů se u *A. thaliana* účastní hlavně fototropizmu, ale regulují i další fyziologické odezvy vyvolané modrým zářením. Fototropiny se podílejí na fototropismu, otevírání květů, pohybu chloroplastů v buňce, změně turgoru svěracích buněk průduchu, inhibici stonkového růstu a pohybu listů (Obr. 21). Fototropin lze najít ve všech částech rostlinné buňky, avšak přesný mechanismus jeho pohybu zatím neznáme (Holland et al., 2009).



Obr. 20 Absorbční spektrum fototropinu. Převzato z Plantphys.info.



Obr. 19 Struktura flavinmononukleotidu (FMN). Převzato z www.plantphysiology.com

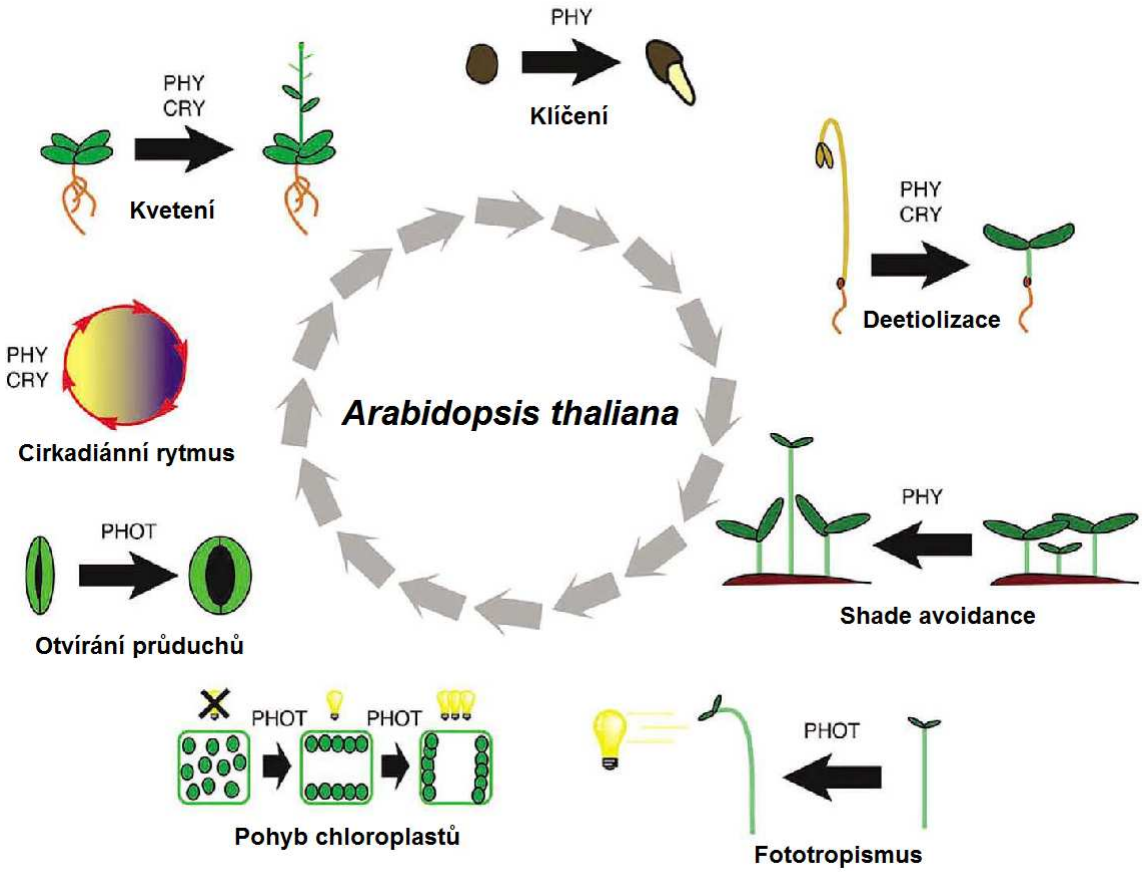


Obr. 21 Funkce a fotosenzitivita fototropinů phot1 a phot2 z *A. thaliana*. (a) Zobrazena funkce phot1 a phot2 v růstových a pohybových reakcích rostliny: inhibice růstu hypokotylu je regulována pouze phot1. (b) Soubor reakcí, které jsou zprostředkovány pomocí fototropinů, jsou ovlivněné intenzitou modrého záření. Podle Harada a Shimazaki, 2007

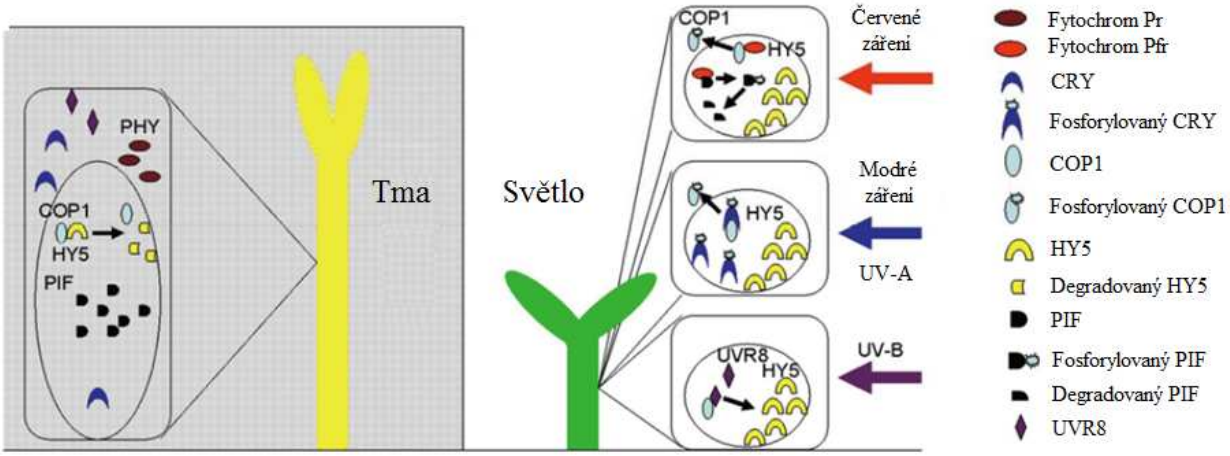
4.2 Světelné záření jako signál – vliv světelných signálů na vývoj rostlin

Regulace vývoje rostlin během jejich životního cyklu probíhá zachycením světelných signálů fotoreceptorem (převážně fytochromy, kryptochromy a fototropiny). Pomocí těchto fotoreceptorů řídí rostlina velkou řadu různých procesů: klíčení, deetiolizace, fototropismus, skotomorfogenezi, vývoj listu atd. (Obr. 22). Působením světelných signálů přicházejících z okolního prostředí a navazujících signálních drah může rostlina předpokládat vývoj změn ve

svém okolí a vytvářet na ně patřičné odezvy a řídit svůj vývoj (Gruszka, 2013). Hlavní komponenty signálních drah spouštějících fotomorfogenetické reakce a jejich modifikované formy jsou: fytochromy Pr a PFR, kryptochrom CRY, fosforylovaný CRY, protein COP1 (Constitutive photomorphogenesis protein 1), fosforylovaný COP1, protein HY5, Degradovaný HY5, transkripční faktor PIF (phytochrome.interacting factor), degradovaný PIF, fosforylovaný PIF, lokus UVR8 (UV-B-specific UV RESPONSE LOCUS 8).



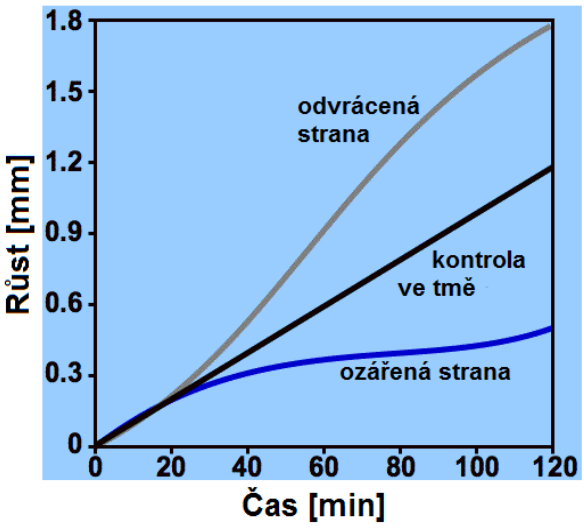
Obr. 22 Světlem-regulovaný vývoj v modelovém rostlinném organismu *A.thaliana*. Během celého životní cyklu hraje světelné záření zásadní roli ve vývoji rostliny. Jednotlivé vývojové aspekty jsou regulovány fotoreceptory: fytochromy (phy), kryptochromy (cry) nebo fototropiny (phot), které působí sami nebo v kombinaci s nějakým dalším fotoreceptorem (Glosová, 2010). Podle Sullivan a Deng, 2003.



Obr. 23 Signální dráhy ovlivňující elongaci hypokotylu při klíčení. Vliv fotoreceptorů za různých světelných podmínek. Světelné podmínky jsou znázorněny buď stínem (při tmě), nebo barevnými šipkami (při světle). Elipsa v každé buňce reprezentuje jádro. Hlavní signální komponenty a jejich modifikované formy jsou znázorněny vpravo. Jsou to fytochromy Pr a PFR, kryptochrom CRY, fosforylovaný CRY, protein COP1 (Constitutive photomorphogenesis protein 1), fosforylovaný COP1, protein HY5, Degradovaný HY5, transkripční faktor PIF (phytochrome.interacting factor), degradovaný PIF, fosforylovaný PIF, lokus UVR8 (UV-B-specific UV RESPONSE LOCUS 8). Převzato z Mathews, 2010.

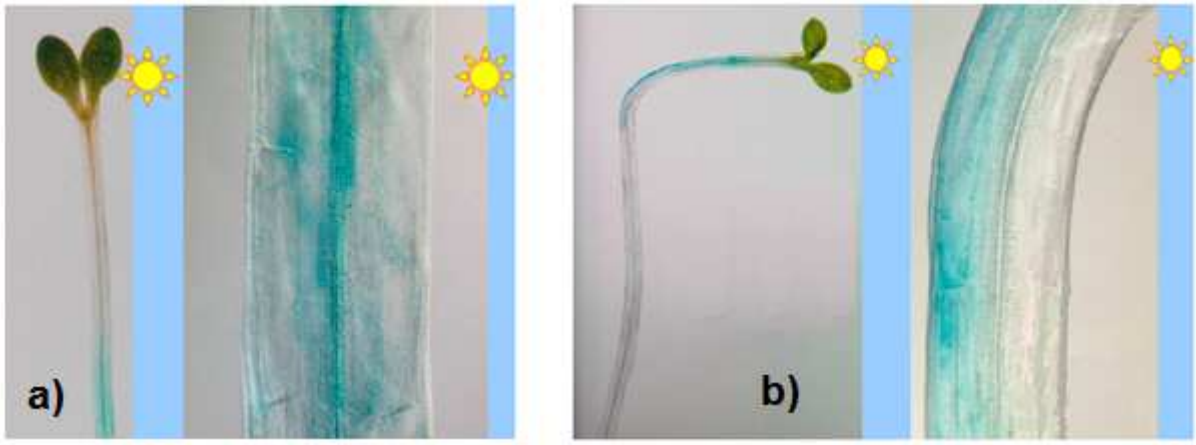
4.2.1 Fototropismus

Fototropismus je specifický typ pohybové reakce, kdy rostlina rozezná nejen samotný světelný podnět, ale dokáže také určit polohu zdroje a reagovat na ni růstovou reakcí. V rostlině se určení polohy zdroje projevuje jako gradient toku fotonů. Tento druh fyziologické reakce je zásadní především u klíčících rostlin. Fototropismus má za hlavní úkol co nejrychlejší dosažení prostředí, ve kterém může rostlina začít s fotosyntetickou aktivitou. Tento děj se nejčastěji zkoumá na klíčících etiolizovaných částech rostlin (jako jsou hypokotyly nebo koleoptile), protože mladé rostliny jsou fototropicky velmi aktivní. Při fototropismu dochází k ohýbání hlavně stonkových částí, ale existují části rostlin, které jsou fototropicky značně negativní a to především kořeny, které se tak ohýbají a rostou směrem od zdroje záření. Ohyb vzniká rozdílným růstem buněk, který je

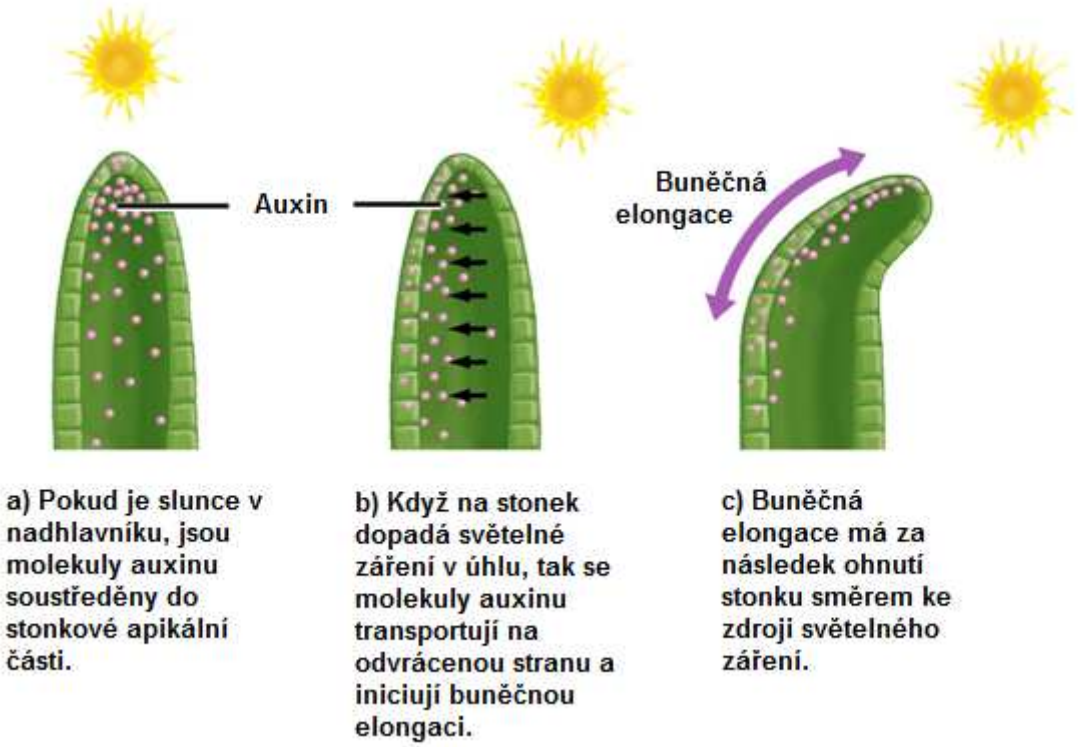


Obr. 24 Ozářená strana stonku roste pomaleji než strana, která je vůči záření odvrácená. Převzato z ww.plantphys.info

iniciován auxinem. Auxin je transportován do části stonku, která je zdroji světelnému záření odvrácená. Zde auxin iniciuje buněčnou elongaci, která má za následek ohnutí stonku (obr. 26). Buňky na odvrácené straně se prodlužují více než buňky na ozářené straně (Obr. 24, 25). Tento objev je ostatně již velmi starý – učinili ho otec a syn Darwinovi v 19. století (Darwin a Darwin, 1880).



Obr. 25 Transport auxinu (znázorněný fialově) při fototropismu. a) zahájení fototropismu - auxin koncentrován ve středu stonku, b) po 60 minutách auxin transportován na odvrácenou stranu stonku. c) dlouživý růst buněk vyvolaný zvýšenou koncentrací auxinu je lokalizován na straně odvrácené od zdroje světelného zýření, což vede k ohnutí stonku lokalizovaným růstem směrem ke zdroji světleného záření. Převzato z www.plantphys.info



Obr. 26 Role auxinu při fototropismu. Podle www. plantchapters.com.

Velikost růstového ohybu stonku směrem ke zdroji světelného záření je závislá na síle podnětu, u koleoptilí se v závislosti na intenzitě záření obvykle vyskytují dvě vlny citlivosti, které se projevují velikostí zakřivení ohybu stonku růstem, tzv. první a druhou pozitivní reakcí, mezi nimiž je oblast nižší citlivosti, označovaná jako reakce (fáze) negativní (Celaya, 2005). Fototropismus je velmi komplexní fyziologický děj, který je zprostředkovaný fototropinovou rodinou fotoreceptorů, která obsahuje phot1 a phot2, které odlišně regulují fototropismus při různé intenzitě modrého světla (Franklin et al., 2005). Akční spektrum má hlavní maximum (450 nm) a dva vedlejší vrcholy (430 a 470 nm) v modré oblasti, nevýrazný přesah do zelené a široký, ale nízký vrchol křivky v oblasti záření UV-A (kolem 380 nm) (Janoudi et al.,1997, Liscum a Stowe-Evans, 2000). Vývoj listu

4.2.2 Vývoj listu

Jedním z dalších světlem regulovaných fyziologických morfogenetických procesů je vývoj listu. Proces růstu a vývoje listu může uzpůsobovat vnitřní stavbu listu i vnější tvar (velikost, tvar a úhel listu, výšku rostliny a stupeň úžlabního větvení). Každý list se musí neustále přizpůsobovat změně v intenzitě ozářenosti, která může mít za následek snížení produktivity fotosyntézy při nízké intenzitě, nebo fotooxidativní poškození chloroplastů při vysoké intenzitě ozářenosti. Rostliny mohou uplatnit dvě strategie přizpůsobení se různé intenzitě ozářenosti a kvalitě světelného záření: ovlivnění otevírání průduchů a migrace chloroplastů (Franklin et al., 2005).

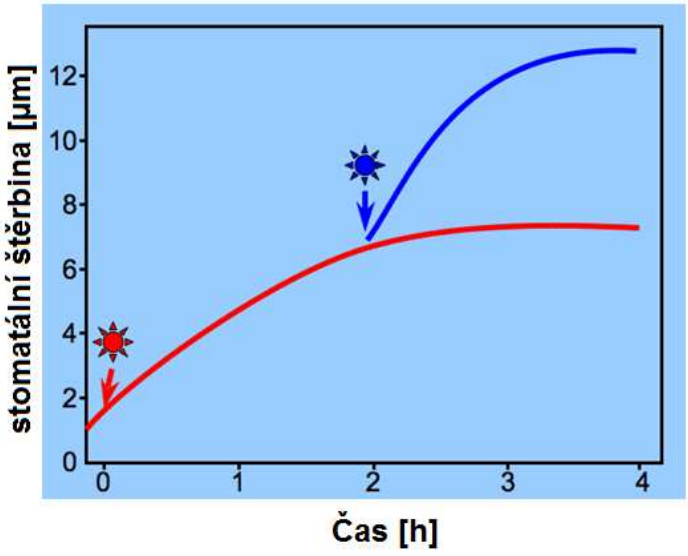
Chloroplasty se vlivem slabých světelných podmínek prostřednictvím fototropinu phot1 akumulují na svrchní straně palisádových mezofylových buněk pro dosažení maximalizace fotosyntézy, zatímco za intenzivních světelných podmínek se prostřednictvím fototropinu phot2 chloroplasty řadí kolmo ke směru od světelného zdroje k minimalizování světelného poškození (Sullivan & Deng, 2003).

Otevírání průduchů změnou turgoru svěracích buněk regulují fototropiny phot1 a phot2 a během fotosyntetické aktivity také fytochromy. (Sullivan & Deng, 2003).

Mechanismus otevírání a zavírání průduchu

Téměř všechny rostliny jsou schopny regulovat velikost své průduchové štěrbiny (s výjimkou vrb (*Salix L.*), které ztrátou této schopnosti bez vody rychle vadnou), (Inoue, 2010). Princip otevírání a zavírání průduchu je ve změně turgoru ve svěracích buňkách. Tyto buňky mají ve svých stěnách výztuhy v podobě celulózových fibril položené v jednom směru kolmém ke směru hlavní podlouhlé osy svěracích buněk, což zajišťuje jejich pružnost při zvyšování turgoru svěracích buněk. Mechanismus otevírání a zavírání průduchu je tak založen na regulaci příjmu vody do svěracích buněk nebo buněk vedlejších. Nasáváním vody do svěrací buňky se zvyšuje její turgor, tvar buněk se mění a průduch se otevírá. Výdejem vody z buněk se průduch naopak zavírá. Rychlou výměnu molekul vody usnadňují akvaporinové kanály v cytoplazmatické membráně.

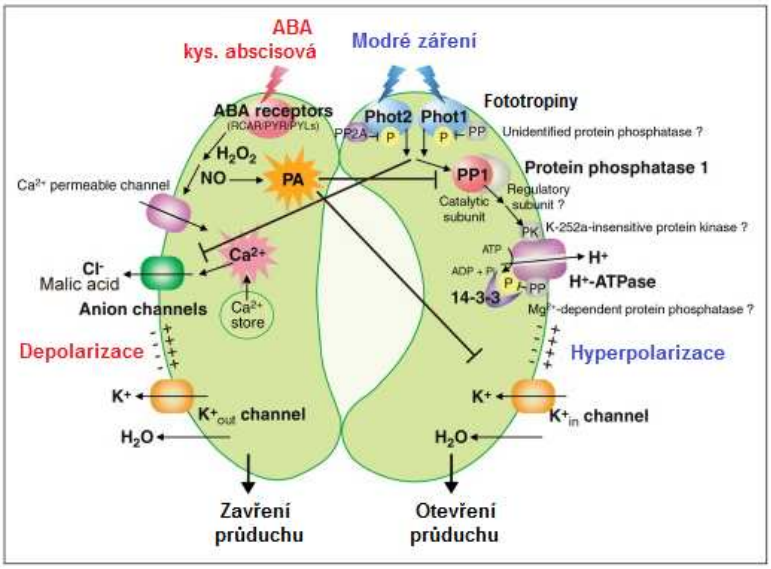
Různé faktory vnějšího prostředí pak ovlivňují míru otevření průduchu. Je to zejména světelné záření, relativní vzdušná vlhkost a teplota vzduchu. Tyto faktory působí na vnitřní prostředí buňky a ovlivňují např. produkci kyseliny abscisové (ABA), koncentraci iontů, pH v cytoplazmě, koncentraci škrobu či sacharózy ve svěracích buňkách, což pak následně vede ke změně trugoru svěracích buněk.



Obr. 27 Míra otevření stomatální štěrbiny v závislosti na čase a vlnové délce světelného záření. Při pslbení světla červeného se stomatální apertura rozevře do určité šířky. Při působení světla modrého dojde k širokému otevření stomatální apertury. Převzato z www.plantchapters.com

Většina rostlin své průduchy otevírá ve dne, aby mohly přijímat CO2 ze vzduch a fotosyntetizovat (naopak tomu je např u CAM „Crasullacean acid metabolism“ rostlin). Ze světelného spektra má na míru otevření průduchů a velikosti apertury mezi svěracími buňkami největší vliv modrá oblast záření (Obr. 28). Příjmacím fotoreceptorem je fototropin, který dále reaguje s karotenoidem zeaxantinem. V menší míře je v reakcích přítomný i

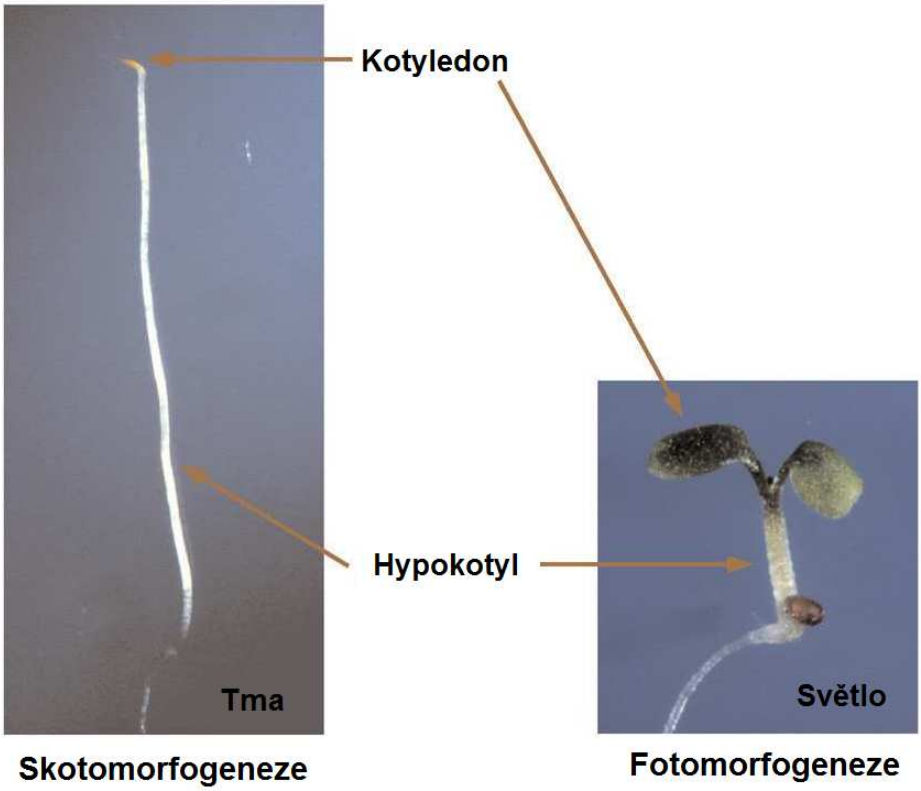
fytochrom (Shimazaki, 2007), (Wang, 2010), a následně dochází ke změně koncentrace draslíkových iontů v buňce a tím změně buněčného turgoru (Obr. 29).



Obr. 28 Schéma otevírání a zavírání rostlinného průduchu C3 rostlin. Ve dne za normálůní koncentrace CO_2 jsou protonovými pumpami ionty K^+ čerpány dovnitř buňky, ta je pak hypotonická a osmoticky nasává vodu, čímž se průduch otevírá. Naopak po západu slunce draslíkové ionty z buněk za přispění kyseliny abscisové vytékají, buněčný turgor se snižuje a průduch se otevírá. Převzato z Inoue, 2010.

4.2.3 Skotomorfogeneze

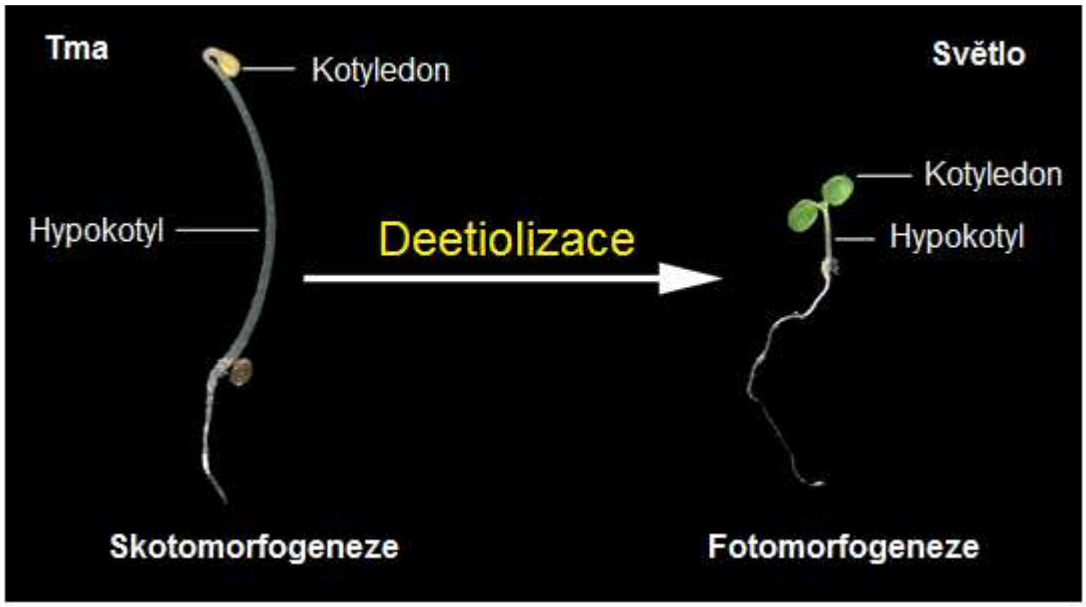
Vývoj rostliny ve tmě, neboli skotomorfogeneze, zahrnuje vývojový proces během klíčení nebo při náhlém přechodu rostliny do tmy. Klíčení (germinace) se spouští pouze za příhodných podmínek, jinak semeno zůstává v suchém, dormatním stavu (Sullivan & Deng, 2003). V okolí, kde je přirozené světelné ozáření, je načasování klíčení ovlivňováno mnoha vnějšími faktory: teplota, umístění semene v půdním profilu, dostatek vody, narušení půdy a stupeň vegetačního stínění (Franklin et al.,2005). U jednoděložných a dvouděložných rostlin se vlastnosti typické pro skotomorfogenezi značně liší. Dvouděložné rostliny mají elongované části stonku, jako je epikotyl, hypokotyl a internodia. Mají též zakřivené stonkové části pod vzrostlým vrcholem, k sobě přiložené malé dělohy a bezřapíkaté listy s redukcí čepele přisedlé ke stonku. Jednoděložné rostliny mají po délce srolované prodloužené listy. Typické pro dvouděložné i jednoděložné rostliny je absence chloroplastů, žlutá barva rostliny způsobená nepřítomností chlorofylu, nevyvinutý fotosyntetický aparát a vývoj etioplastů z protoplastů (Daněk & Pavlová, 2002) (Obr. 30).



Obr. 29 Semenáče *A. thaliana L.* rostoucí na světle a ve tmě mají výrazně rozdílné fenotypy. Pokud rostou ve tmě, je pro skotomorfogenezi typický hlavně prodloužený hypokotyl, uzavřené kotyledony a nažloutla barva. Na světle jsou semenáče díky fotomorfogenezi typické krátkými hypokotyly, otevřenými a zelenými kotyledony. Převzato z Wang a Deng, 2002.

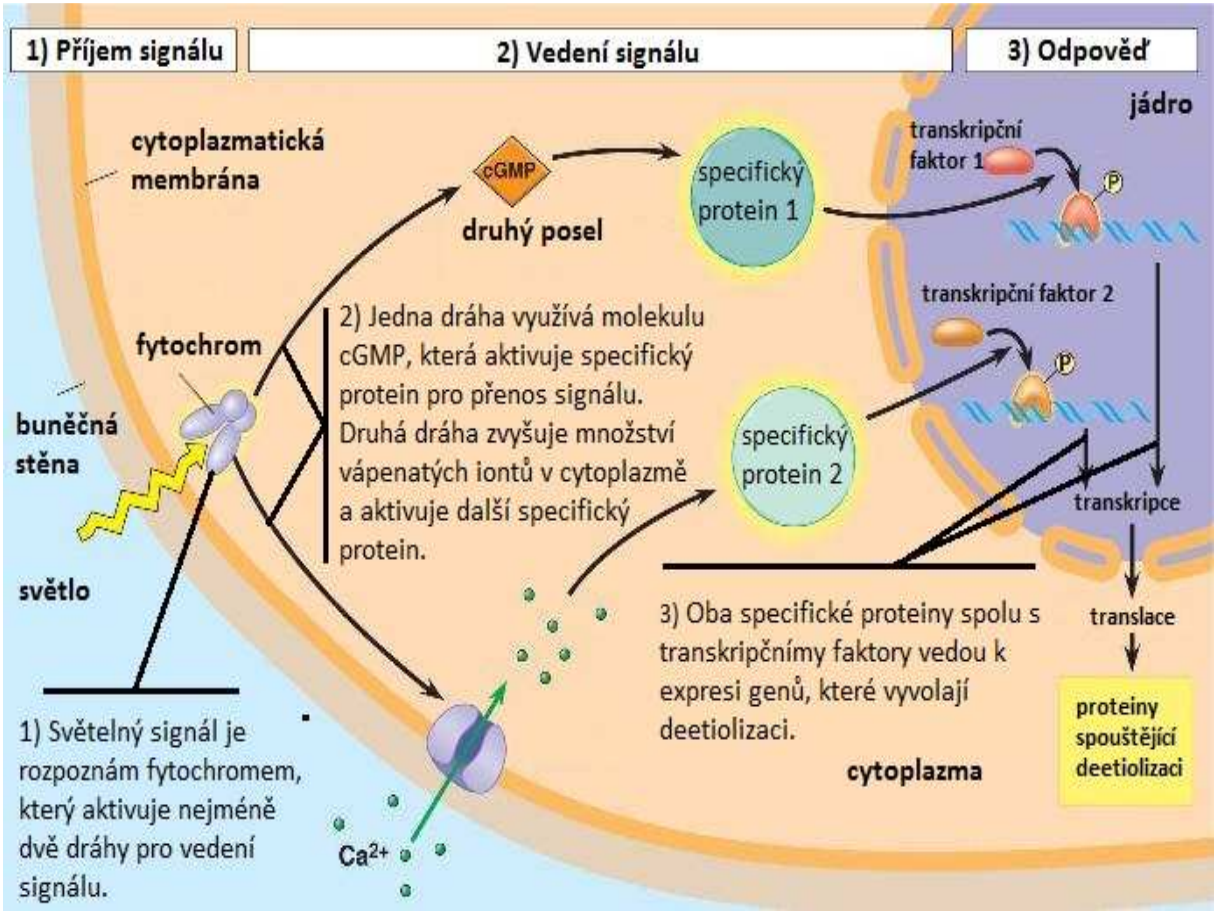
4.2.4 Etiolizace x Deetolizace

Rostliny, jejichž vývoj probíhal ve tmě, jsou **etiolizované**. Jestliže k rostlinnému vývoji dochází ve tmě, tak rostlina svůj zásobní materiál, který má uložený v zásobních pletivech investuje do dlouživého růstu internodií, zatímco inhibuje tvorbu fotosyntetického aparátu i listových čepelí. Etiolizované dvouděložné rostliny jsou charakteristické svou prodlouženou částí stonku jako je epikotyl, hypokotyl a internodia. Pod vzrostným vrcholem mají zakřivenou nejmladší stonkovou část, k sobě přiložené malé dělohy a v pozdějším stadiu listy s redukovanou čepelí bez řapíků, které přiléhají ke stonku (Hecht, 2007). Jednoděložné rostliny naopak mají prodloužené listy, často po délce stočené, u trav jsou zpočátku kryté koleoptile. Etiolizované krytosemenné rostliny postrádají chlorofyl a mají tak díky tomu typicky bledě žlutou barvu, protože není vyvinut fotosyntetický aparát a chlorofyl a z protoplastidů se vyvíjejí etioplasty.



Obr. 30 Deetiolizace rostliny *A. thaliana L.* Převzato z www.plasticgenome.org

Pokud se rostlina vvyvíjející se ve tmě přesune na světlo, dochází k procesu **deetiolizace**, díky které proběhne v habitu rostliny řada změn (Obr. 31, 32). U dvouděložných rostlin lze pozorovat inhibici elongace stonkových částí, otevírání a zavírání kotyledonu a tvorbu řapíku. U jednoděložných rostlin dochází k zástavě prodlužování listů, tvorbě fotosyntetického aparátu, enzymů Calvinova cyklu, což je pro aktivaci fotosyntézy nezbytné. Tento proces je regulován interakcemi mezi jednotlivými fytochromy jako např phyA a phyB, ale také phyC, D, a E (Taiz & Zeiger, 2006). PhyA se prostřednictvím módu FR-HIR podílí na inhibici elongace hypokotylu. Všichni členové fytochromové rodiny se po vystavení kontinuálnímu R světlu účastní aktivace expanze děloh (Franklin et al., 2005). Dále je deetiolace řízena prostřednictvím spolupráce fytochromových a kryptochromových fotoreceptorů, které jsou aktivní při určité intenzitě světla (Sullivan & Deng, 2003). Kryptochromy se během deetiolace podílejí na inhibici elongace hypokotylu a ovlivňování hladiny antokyaninu (Franklin et al., 2005).



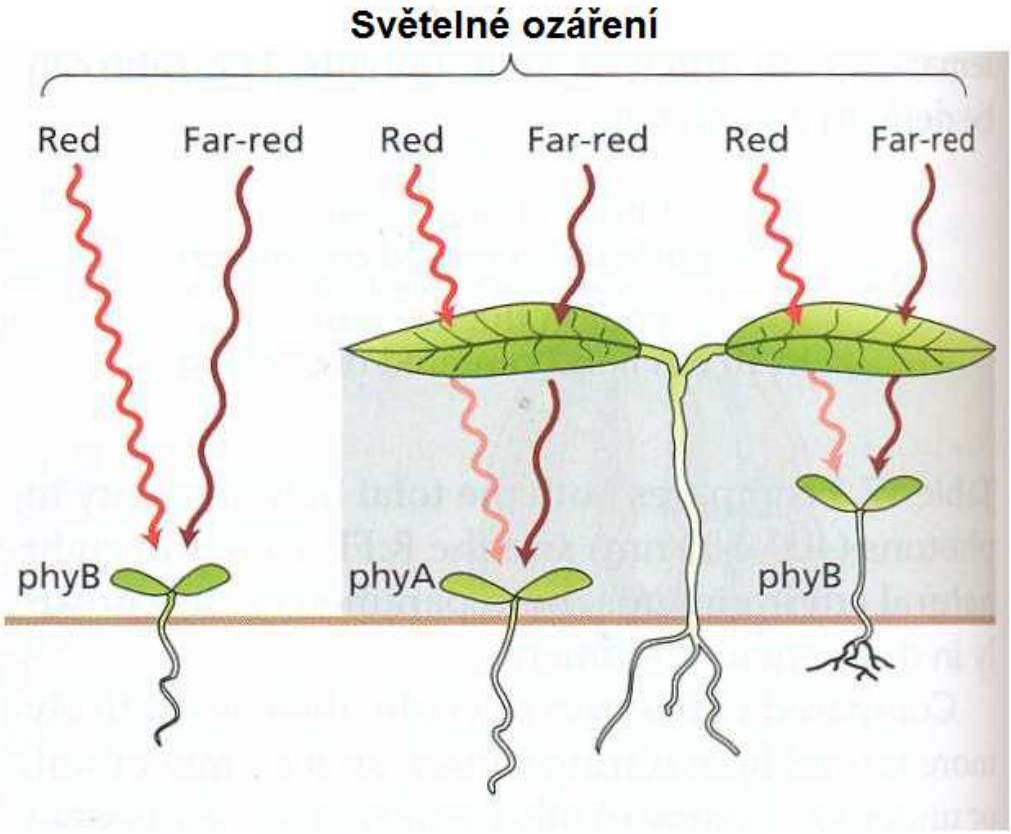
Obr. 31 Signální dráha a vytváření odezvy při přechodu k deetiolizaci. cGMP je cyklický guanosinmonofosfát (zkratka *cGMP*). Je to cyklický guaninový nukleotid pracující jako druhý posel. Ca2+ pumpa pumpuje Ca kationty do cytoplasmy. Převzato z www.plantphysiology.com.

4.2.5 Vyhnutí se stínu – „Shade avoidance“

V každém přirozeném prostředí rostliny neustále soutěží o zdroje živin. U rostlin probíhá velký boj o zdroj světelného záření, který je nezbytný pro fotosyntézu a další procesy. Proto si rostliny vyvinuly dvě strategie obrany: žití ve stínu (shade tolerance) anebo únik ze stínu (shade avoidance – v české literatuře se používá běžně anglický termín) (Sullivan & Deng, 2003). Shade avoidance je soubor procesů, které mají za cíl rostlině umožnit, aby nebyla

Obr.32 Reakce rostliny (*Sinapis alba L.*) proti zastínění. Vlevo je zobrazena rostlina bez zastínění vegetací. Vpravo je rostlina, jejíž habitus je typický pro shade avoidance – stimulace růstu, velké listové čepele, prodloužené internodia a listové řapíky. Převzato z Franklin et al., 2005.

ostatní vegetací stíněna. Mezi tyto procesy patří tvorba dlouhých internodií a řapíků, zvýšení apikální dominance, urychlení kvetení, snížení tvorby plodů a semen, tvorba listů s velkými a tenkými čepelemi a vysoce výkonným fotosyntetickým aparátem (Daněk & Pavlová, 2002), (Obr. 33). Tento soubor reakcí je fytochromy zprostředkovaný obranný proces (Smith, 2000). Na obrázku 34 je znázorněna fytochromová regulace tohoto procesu. Rostliny vnímají přítomnost sousední vegetace jako snížení poměru R:FR světla, které se odráží nebo prochází skrz zelené tkáně. Poměr R:FR denního světla se pohybuje kolem 1,5 a trochu kolísá s povětrnostními podmínkami. Fotosyntetické pigmenty, chlorofyly a karotenoidy absorbují záření nejvíce v oblasti viditelného světla včetně R světla, což způsobuje změnu poměru světla R:FR na hodnotu 0,09-0,7 pro zastíněné rostliny (Franklin et al., 2005), (Glosová, 2010).



Obr. 33 Role fytochromu A a fytochromu B ve vývoji semenáčku při různém světelném ozáření. Pokud na semenáček dopadá sluneční záření přímo, je obohaceno o červené záření (Red) a deetiolizace je primárně řízena fytochromem phyB (vlevo). Na zastíněný semenáček dopadá záření s vysokým obsahem Far-red. Deetiolizace je zahájena primárně prostřednictvím fytochromu phyA (uprostřed). Fytochrom phyA je labilní a proto tuto odpověď přebírá fytochrom phyB. Při přepínání z fytochromu A na B je inhibice růstu stonku zastavena a tak je umožněno zrychlení růstu stonku což vede k následnému vyhnutí se stínu. Převzato z Taiz a Zeiger, 2006.

B) Část didaktická

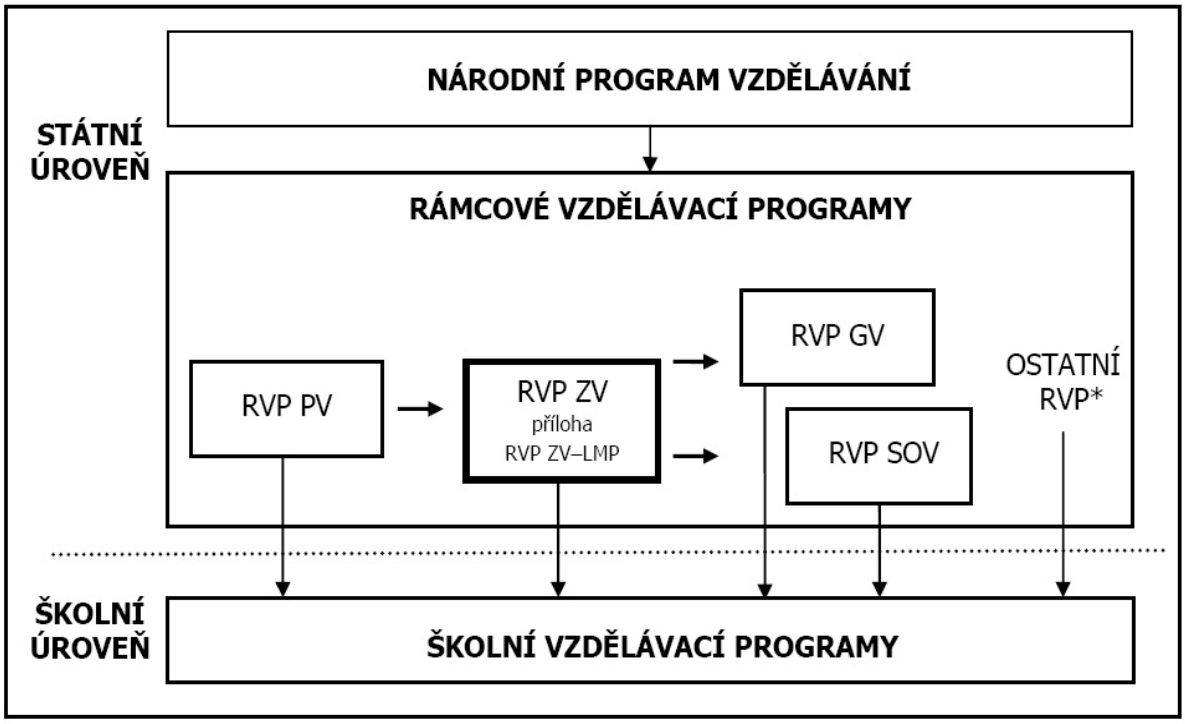
5. Výuka biologie na gymnáziu

Každá oblast přírodovědného poznání má za cíl odkrývání zákonitosti, kterými jsou řízeny přírodní procesy. Tento cíl je naplňován pomocí metod a postupů vědeckého výzkumu. Tato činnost je pro člověka velmi důležitá, neboť pomáhá naplňovat přirozenou lidskou touhu poznat a porozumět jevům, které probíhají okolo nás. Člověk se tak učí pochopit a ovládnout různé přírodní objekty a procesy tak, aby je mohl využívat pro další výzkum i pro rozmanité praktické účely.

Má-li být přírodovědné vzdělávání na gymnáziu kvalitní a pro žáky prakticky využitelné, je zapotřebí, aby je orientovalo v první řadě k hledání zákonitých souvislostí mezi poznanými aspekty objevování, poznání a využívání přírodních zákonitostí. To se má ve vzdělávací oblasti Člověk a příroda na gymnáziu projevovat v mnohem větší míře, než tomu bylo na základní škole (VÚP 2004).

V roce 2001 byla zveřejněna kurikulární reforma v Národním programu rozvoje vzdělávání v České republice, tzv. Bílé knize (2001) a zakotvena v zákoně č. 561/2004 Sb., zákon o předškolním, základním, středním, vyšším odborném a jiném vzdělávání. Tato reforma zavadí do vzdělávání nový model tzv. dvoustupňového kurikula (struktura kurikulárních dokumentů v ČR, Obr. 35), který zásadně posiluje autonomii škol a odpovědnost za kvalitu vzdělávání, tím že je systémově založený na participaci škol při tvorbě kurikulárních dokumentů. První stupeň je na státní úrovni tvořen Rámcovým vzdělávacím programem (RVP), jenž stanovuje závazný rámec vzdělávání a standardní vzdělávací obsah pro předškolní, základní i střední vzdělávání. Druhý stupeň pak tvoří Školní vzdělávací program (ŠVP), který si na základě závazných koncepcí RVP připravují školy samy, a tím

mohou zásadním způsobem ovlivnit vzdělávání jak ve fázi projektové, tak i ve fázi realizační (vyučovacími metodami a organizačními formami). Školy tam při tvorbě vlastních ŠVP mohou brát v potaz specifika školy, žáků i místního regionu.



Obr. 34 Systém kurikulárních dokumentů v ČR. Převzato z www.msmt.cz.

Legenda:

RVP PV - Rámcový vzdělávací program pro předškolní vzdělávání;
RVP ZV - Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání;
RVP ZV–LMP - Rámcového vzdělávacího programu pro základní vzdělávání upravující vzdělávání žáků s lehkým mentálním postižením;
RVP G - Rámcový vzdělávací program pro gymnázia;
RVP GSP – Rámcový vzdělávací program pro gymnázia se sportovní přípravou
RVP SOV - Rámcový vzdělávací program (programy) pro střední odborné vzdělávání.
* Ostatní RVP - rámcové vzdělávací programy, které kromě výše uvedených vymezuje školský zákon - Rámcový vzdělávací program pro základní umělecké vzdělávání, Rámcový vzdělávací program pro jazykové vzdělávání, případně další.

5.1.1 Rámcový vzdělávací program pro gymnázia

RVP G byl vytvořen kolektivem autorů z Výzkumného ústavu pedagogického v Praze spolu s externími pracovníky z vysokých i středních škol. Během jeho tvorby autoři používali poznatky a zkušenosti ze zahraničních dokumentů odborného charakteru a také byly do programu zapracované připomínky z pilotních gymnázií, kde probíhalo zkušební testování.

Nové pojetí gymnaziálního vzdělávání se zaměřuje především na:

- Vybavení žáků na gymnáziu klíčovými kompetencemi a všeobecným rozhledem na úrovni středoškolsky vzdělaného člověka a tím je připravit především pro vysokoškolské vzdělávání a další typy terciárního vzdělávání, profesní specializaci i pro občanský život
- Vytváření náročného a motivujícího studijního prostředí, v němž žáci musí mít dostatek příležitostí osvojit si stanovenou úroveň klíčových kompetencí, tzn. osvojit si některé důležité vědomosti, dovednosti, postoje a hodnoty a dokázat je využívat v osobním, občanském i profesním životě.
- Vybavení žáků systematickou a vyváženou strukturou vědění, které je naučí zařazovat informace do smysluplného kontextu životní praxe a motivovat je k tomu, aby chtěli své vědomosti a dovednosti po celý život dále rozvíjet.
- Uplatňování ve vzdělávání postupů a metod podporující tvořivé myšlení, pohotovost a samostatnost žáků, využívat způsoby diferencované výuky, nové organizační formy, zařazovat integrované předměty apod.

Jeho hlavním cílem je:

- vybavit žáky klíčovými kompetencemi na úrovni, kterou přepokládá RVP G
- vybavit žáky širokým vzdělávacím základem na úrovni, kterou popisuje RVP G
- připravit žáky k celoživotnímu učení, profesnímu, občanskému i osobnímu uplatnění.

Absolvent gymnázia by měl v průběhu vzdělávání na gymnáziu získat široký vzdělanostní základ a dosáhnout takové úrovně klíčových kompetencí, kterou RVP G předpokládá a která mu umožní dále rozvíjet schopnosti a dovednosti v procesu celoživotního vzdělávání a získávání životních zkušeností. Takový profil absolventa dává žákům předpoklady pro vysokoškolské a další studium, pro jejich adaptabilitu v různých oborech a oblastech lidské činnosti, pro přizpůsobení se nově vznikajícím požadavkům na trhu práce i pro případné uplatnění v zahraničí (VÚP, 2007).

5.1.2 Klíčové kompetence

Klíčové kompetence představují soubor vědomostí, dovedností, schopností, postojů a hodnot, které jsou důležité pro osobní rozvoj jedince, jeho aktivní zapojení do společnosti a budoucí uplatnění v životě (VÚP 2007). Jednotlivé kompetence se navzájem doplňují a prolínají a nikdy nestojí izolovaně. Ke skutečnému osvojení klíčových kompetencí žáky dojde pouze tehdy, když k němu bude směřovat a přispívat nejen celý vzdělávací obsah, ale i metody a formy výuky. Pojetí vzdělávacího obsahu na úrovni ŠVP poté musí vytvářet předpoklady pro efektivní využití osvojených vědomostí a dovedností, jež budou žáci schopni uplatnit dále ve studiu, v zaměstnání a v osobním životě

V etapě gymnaziální vzdělávání jsou za klíčové považovány tyto kompetence:

- kompetence k učení
- kompetence k řešení problémů
- kompetence komunikativní
- kompetence sociální a personální
- kompetence občanská
- kompetence k podnikavosti

Tato práce byla vytvořena tak, aby u žáků co nejvíce rozvíjela klíčové kompetence a to především komunikativní, k řešení problému a k učení. Při vytváření protokolů k laboratorním cvičením jsem se snažil rozvíjet kompetenci k řešení problémů, jejímž cílem je, že žák (podle VÚP, 2007):

- rozpozná problém, objasní jeho podstatu, rozčlení ho na části
- vytváří hypotézy, navrhuje postupné kroky, zvažuje využití různých postupů při řešení problému nebo ověřování hypotézy
- uplatňuje při řešení problémů vhodné metody a dříve získané vědomosti a dovednosti, kromě analytického a kritického myšlení využívá i myšlení tvořivé s použitím představivosti a intuice
- kriticky interpretuje získané poznatky a zjištění a ověřuje je, pro své tvrzení nachází argumenty a důkazy, formuluje a obhajuje podložené závěry;
- je otevřený k využití různých postupů při řešení problémů, nahlíží problém z různých stran

- zvažuje možné klady a zápory jednotlivých variant řešení, včetně posouzení jejich rizik a důsledků.

5.1.3 Vzdělávací oblast Člověk a příroda

Obsah a metodologie přírodovědného poznávání velmi zřetelně odráží systémový charakter přírody a víceúrovňovost její organizace. Přírodní objekty jsou totiž vesměs systémy nebo tyto systémy vytvářejí. Zkoumání přírody tak nezbytně vyžaduje komplexní, tj. multidisciplinární a interdisciplinární přístup, a tím i úzkou spolupráci jednotlivých přírodovědných oborů a odstraňování jakýchkoli zbytečných bariér mezi nimi.

Vzdělávací oblast Člověk a příroda má proto také umožnit žákům poznávat, že bariéry mezi jednotlivými úrovněmi organizace přírody reálně neexistují, jsou často jen v našem myšlení a v našich izolovaných přístupech. Svým obsahovým, strukturním i metodickým pojetím má oblast vytvářet prostředí koordinované spolupráce všech gymnaziálních přírodovědných vzdělávacích oborů. Přírodovědné disciplíny jsou si velmi blízké i v metodách a prostředcích, které uplatňují ve své výzkumné činnosti. Používají totiž vždy souběžně empirické prostředky (tj. soustavné a objektivní pozorování, měření a experimenty) a prostředky teoretické (pojmy, hypotézy, modely a teorie). Každá z těchto složek je přitom v procesu výzkumu nezastupitelná, vzájemně se ovlivňují a podporují.

Žáci mají mít proto co nejvíce příležitostí postupně si osvojovat vybrané empirické i teoretické metody přírodovědného výzkumu, aktivně je spolu s přírodovědnými poznatky ve výuce využívat, uvědomovat si důležitost obou pro přírodovědné poznání, předně pak pro jeho objektivitu a pravdivost i pro řešení problémů, se kterými se člověk při zkoumání přírody setkává (VÚP, 2007).

Přírodovědný výzkum má i své hodnotové a morální aspekty. Za nejvyšší hodnoty se v něm považují objektivita a pravdivost poznávání. Ty lze ovšem dosahovat jen v prostředí svobodné komunikace mezi lidmi a veřejné a nezávislé kontroly způsobu získávání dat či ověřování hypotéz.

Vzdělávací oblast Člověk a příroda směřuje k utváření a rozvíjení klíčových kompetencí tím, že vede žáka k (podle VÚP, 2007):

- formulaci přírodovědného problému, hledání odpovědi na něj a případnému zpřesňování či opravě řešení tohoto problému
- provádění soustavných a objektivních pozorování, měření a experimentů (především laboratorního rázu) podle vlastního či týmového plánu nebo projektu, k zpracování a interpretaci získaných dat a hledání souvislostí mezi nimi
- tvorbě modelu přírodního objektu či procesu umožňujícího pro daný poznávací účel vhodně reprezentovat jejich podstatné rysy či zákonitosti
- používání adekvátních matematických a grafických prostředků k vyjadřování přírodovědných vztahů a zákonů
- využívání prostředků moderních technologií v průběhu přírodovědné poznávací činnosti
- spolupráci na plánech či projektech přírodovědného poznávání a k poskytování dat či hypotéz získaných během výzkumu přírodních faktů ostatním lidem
- předvídání průběhu studovaných přírodních procesů na základě znalosti obecných přírodovědných zákonů a specifických podmínek
- předvídání možných dopadů praktických aktivit lidí na přírodní prostředí
- ochraně životního prostředí, svého zdraví i zdraví ostatních lidí
- využívání různých přírodních objektů a procesů pro plnohodnotné naplňování vlastního života při současném respektování jejich ochrany

Gymnaziální přírodovědné vzdělávání musí též vytvářet prostředí pro svobodnou diskusi o problémech i pro ověřování objektivity a pravdivosti získaných nebo předložených přírodovědných informací (VÚP 2007).

Vzdělávací oblast **Člověk a příroda** je členěná do vzdělávacích oborů **Fyzika, Chemie, Biologie, Geografie a Geologie**.

5.1.3.1 Vzdělávací obor Biologie

Vzdělávací obor biologie je rozdělen do deseti vzdělávacích obsahů: obecná biologie, biologie virů, biologie bakterií, biologie protist, biologie hub, biologie rostlin, biologie živočichů, biologie člověka, genetika a ekologie.

Každý blok vymezuje učivo a očekávané výstupy pro žáka.

Tato diplomová práce je součástí vzdělávacího obsahu biologie rostlin. Učivo pak je tvořeno morfologií a anatomií rostlin, fyziologií rostlin, systémem a evolucí rostlin a učivem rostliny a prostředí.

Očekávané výstupy žáka jsou pak formulovány následovně, že žák (podle VÚP, 2007):

- popíše stavbu těl rostlin, stavbu a funkci rostlinných orgánů
- objasní princip životních cyklů a způsoby rozmnožování rostlin
- porovná společné a rozdílné vlastnosti stélkatých a cévnatých rostlin
- pozná a pojmenuje (s možným využití různých informačních zdrojů) významné rostlinné druhy a uvede jejich ekologické nároky
- zhodnotí rostliny jako primární producenty biomasy, možnosti využití rostlin v různých odvětví lidské činnosti
- posoudí vliv životních podmínek na stavbu a funkci rostlinného těla
- zhodnotí problematiku ohrožených rostlinných druhů a možnosti jejich ochrany

Každá škola by měla usilovat o zajištění optimálních podmínek tak, aby úspěšně realizovala gymnaziální vzdělávání.

5.1.3.2 Rozsah výuky biologie na středních školách

Každá škola si může sama určit rozsah hodinové dotace pro výuku biologie. Minimální časovou dotaci vzdělávacích oblastí za čtyři roky stanovuje RVP G (Obr. 36). Biologie patří do vzdělávací oblasti Člověk a příroda. Ta se spolu s oblastí Člověk a společnost dělí o 36 vyučovacích hodin týdně. Podle RVP G musí být vzdělávací oblast Člověk a příroda povinně zavedena v 1. a 2. ročníku. Zařazení této oblasti do následujících

dvou ročníků je závislé na ŠVP konkrétní školy. Díky tomu je variabilita časové dotace jednotlivých předmětů poměrně značná. Takto je umožněna větší profilace škol než dříve.

Vzdělávací oblasti Vzdělávací obory	1. ročník	2. ročník	3. ročník	4. ročník	Minimální časová dotace za 4 roky
Jazyk a jazyková komunikace					
Český jazyk a literatura	P	P	P	P	12
Cizí jazyk	P	P	P	P	12
Další cizí jazyk	P	P	P	P	12
Matematika a její aplikace	P	P	P	V	10
Člověk a příroda	P	P	V	V	36
Fyzika					
Chemie					
Biologie					
Geografie					
Geologie					
Člověk a společnost	P	P	V	V	
Občanský a společenskovědní základ					
Dějepis					
Geografie[4]					
Člověk a svět práce	←			→	X
Umění a kultura	P	P	V	V	4
Hudební obor					
Výtvarný obor					
Člověk a zdraví	P	P	P	P	8
Tělesná výchova					
Výchova ke zdraví	←			→	X
Informatika a informační a komunikační technologie	V	V	V	V	4
Volitelné vzdělávací aktivity	V	V	P	P	8
Průřezová témata	←			→	X
Disponibilní časová dotace					26
Celková povinná časová dotace					132

Časová dotace v jednotlivých ročnících musí být minimálně 27 hodin, maximálně 35 hodin.

Obr. 35 Časové dotace jednotlivých předmětů. Převzato z Koblihová, 2012.

P – vzdělávací obsah oborů dané vzdělávací oblasti musí být zařazen v příslušném ročníku (ročnících)

V – zařazení vzdělávacího obsahu oborů dané vzdělávací oblasti do ročníku/ů stanovuje ŠVP

<–> vzdělávací obsah vzdělávací oblasti (oboru) vymezený v RVP G musí být v průběhu vyznačeného období do ŠVP zařazen; ŠVP stanovuje, v jakém ročníku (ročnících) a jakým způsobem se vzdělávací obsah realizuje

X - časovou dotaci stanovuje ŠVP (podle RVP G, 2006, s. 83)

Z těchto skutečností se tedy nedá přesně určit, jaká bude týdenní hodinová dotace na jednotlivých školách určena biologii. Přesné počty hodinové dotace pro každou školu se dozvíme z jejího ŠVP. Např. gymnázium Českolipská vyučuje v kvintě a sextě 2 hodiny biologie týdně, v septimě 3 hodiny týdně. V oktávě již biologii nevyučuje, ale žáci si mohou biologii prohlubovat již od septimy ve volitelném semináři. Zároveň totogymnázium uskutečňuje v prvních třech ročnících vyššího gymnázia šest dvouhodinových laboratorních praktik ročně (Obr. 37).

Časové a organizační vymezení

Biologie se vyučuje od kvity do septimy osmiletého studia, resp. od 1. do 3. ročníku čtyřletého studia. Hodinová týdenní dotace je uvedena v tabulce. Součástí výuky předmětu je šest laboratorních prací vztahujících se k příslušným tematickým celkům. V septimě a oktávě osmiletého studia a ve 3. a 4. ročníku čtyřletého studia si studenti mohou prohloubit učivo biologie ve výběrových seminářích.

	Biologie	Laboratorní práce
Kvinta	2 hodiny	6 x 2 h / rok
Sexta	2 hodiny	6 x 2 h / rok
Septima	3 hodiny	6 x 2 h / rok

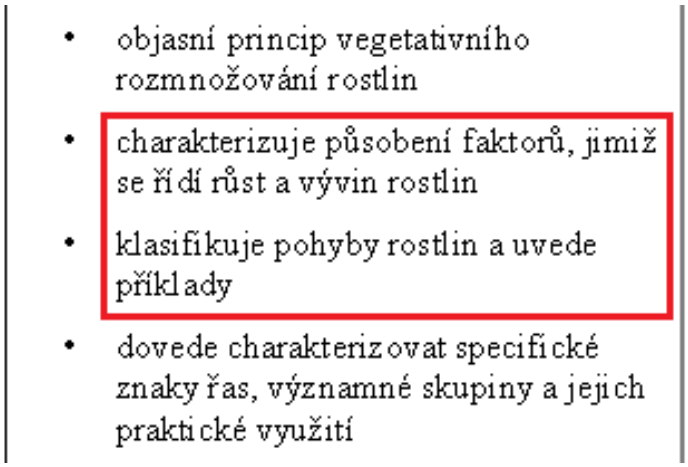
Pozn.: Hodinové dotace jsou shodné v odpovídajících ročnících čtyřletého gymnázia.

Část hodin biologie probíhá v kmenových třídách jednotlivých ročníků, část ve specializované učebně biologie, která je vybavena videem, DVD přehrávačem, zpětným projektorem, dataprojektorem a notebookem. K dispozici je také učebna vybavená počítači s připojením na internet. Laboratorní práce probíhají v samostatné biologické laboratoři, kde jsou k dispozici mikroskopy a další potřeby pro laboratorní cvičení.

Obr. 36 Realizace výuky biologie na gymnázium Českolipská. Převzato z ceskolipska.cz.

Gymnázium Botičská, Praha 2 vyučuje v 1. ročníku biologii 3 hodiny týdně, ve 2. a 3. ročníku 2,5 hodiny týdně, ve 4. ročníku si žáci vybírají volitelný blok (např. přírodovědný, humanitní atd.) a povinně mají 1 hodinu biologie týdně. Na gymnáziu ve Vimperku a v Prachaticích je shodně vyučována biologie ve všech čtyřech ročnících 2 hodiny týdně. Jednou za měsíc probíhají dvouhodinová laboratorní praktika.

Kromě hodinové dotace je důležitý i obsah výuky biologie na jednotlivých školách. Zde je výrazná nejednotnost mezi školami. Každá škola si vytváří svůj ŠVP individuálně a tak nelze přesně říci, v kterém ročníku a v jaké šíři se vyučují témata, která spadají pod fotomorfogenezi rostlin. Např. gymnázium Vimperk, Prachatice, ale i většina škol výuku fyziologie rostlin provádí v prvním ročníku (Obr. 39).



Obr. 37 ŠVP gymnázia Štěpánská, Praha 2. Témata spadající pod fotomorfogenezi rostlin jsou vyučována v prvním ročníku v kapitole fyziologie rostlin. Převzato z stepanska.cz.

5.1.4 Učebnice biologie

V následujícím textu se věnuji pouze učebnicím biologie rostlin pro s cílem zjistit, jak je v nich téma fotomorfogeneze rostlin zastoupeno.

KINCL, L. Jakrlová, J. 2003. Biologie rostlin pro 1. ročník gymnázií. Fortuna : Praha.

Učebnice prošla schválením MŠMT v roce 2000. Učebnice se věnuje houbám a rostlinám a zaměřuje se především na struktury a funkce rostlinného těla. V učebnici jsou popsány a vysvětleny základní jevy a procesy ze života hub a rostlin. Některé fyziologické procesy jsou zde popsány ve velmi zjednodušené formě.

V učebnici se nalézají otázky a úkoly, které slouží k procvičení a opakování učiva. Množství otázek a úkolů jsou v učebnici formulovány problémově. Díky tomu je na žáky kladen tlak na vyhledávání dalších otázek a ověřování faktů. Laboratorní cvičení, která jsou v učebnici představena, umožňují hlubší pochopení teoreticky nabytých poznatků.

Určitá témata z fotomorfogeneze rostlin jsou v této učebnici v kapitole růst a vývoj rostlin. Na úvod se čtenář seznámí s pojmem etiolizace a seznámí se důvody navození etiolizovaného stavu rostliny i s typickým habitem, který tento stav navodí. Z rostlinných pohybů je v učebnici zmíněn fototropismus a to jak pozitivní, tak negativní. Bohužel učebnice neobsahuje hlubší pohled do těchto procesů. Čtenář se seznámí pouze s informací, které části rostlin jsou fototropicky pozitivní a negativní. V závorce je popsáno kolmé postavení listů z důvodů maximálního zachycení světelného záření. Další části se okrajově zabývají fotonastiemi a rostlinnou periodicitou.

Téma fotomorfogeneze zde není podpořeno žádným laboratorním úkolem.

JELÍNEK, J. ZICHÁČEK, V. 2011. Biologie pro gymnázia. Nakladatelství Olomouc.

Učebnice se zaměřuje na vysvětlení základních fyziologických projevů v rostlinném těle. Fotomorfogenetické reakce jsou popsány v kapitole Životní funkce a individuální vývoj rostlin.

V knize je velmi krátce v podkapitole Dráždivost a pohyb rostlin vysvětlen fototropismus. Informace je omezena pouze na rozdělení částí rostlinného těla, ke kterým jsou přiřazeny termíny pozitivní a negativní fototropismus. Téma je doplněno obrázkem. Další části se velice krátce zmiňují o fotonastii a periodicitě rostlin.

Fotomorfogenetické principy bez podpory laboratorního cvičení.

ROSYPAL, S a kol. 2003. Nový přehled biologie. Scientia, Praha.

Tato kniha nepředstavuje učebnici, ale pouze souhrnný přehled témat středoškolské biologie.

I v této knize se s fotomorfogenetickými reakcemi setkáváme hlavně v kapitole Dráždivost a pohyb. V této kapitole je vysvětlen fototropismu. V této knize je již fototropismus popsán podrobněji. Jsou vysvětleny důvody potřeby této reakce i její samotné fyziologické podstaty. Celý děj je podpořen kvalitní ilustrací. Z dalších fotomorfogenetických jevů je krátce popsána fotonastie a periodicita rostlin.

Přehled biologie není vybaven náměty pro laboratorní cvičení.

V žádné analyzované knize či učebnici se čtenář neseznámí s hlubšími informacemi o fotomorfogenezi rostlin. Ani v jedné není tento děj podpořen laboratorním cvičením. Výsledky této analýzy mne motivovaly k hlubšímu zájmu o danou problematiku a k tvorbě samotných laboratorních cvičení.

6. Materiál a metodika

6.1 Rostlinný materiál

Pro pokusy bylo jako rostlinný materiál vybráno několik rychle rostoucích rostlin - řeřicha setá (*Lepidium sativum L.*)(Obr. 39) a fazol obecný (*Phaseolus vulgaris L.*) (Obr. 40). Tyto rostliny splňují kritéria, která jsou nastavena pro pokusy fotomorfogeneze rostlin. Rostliny vytvářejí na fotomorfogenetické podněty vždy stejné odezvy a jejich reakční doba je pro práci ve škole přiměřená.

Obr. 38 Fazol s čepelí dlouhou 6 cm. Převzato z Blažová, 2010

Obr. 39 Řeřicha setá po týdenní kultivaci. Převzato z www.primafro.com

6.1.1 Příprava materiálu a kultivace rostlin

Semena řeřichy seté byla povrchově sterilizovaná tím, že byla ponořena do horké vody o teplotě 60°C a následně v této vodě ponechána přes noc. Následující den byla semena umístěna na buničinu v Petriho misce. Buničina se navlhčila vodou a celek se překlopil druhou Petriho miskou. V tomto prostředí nedochází k unikání vlhkosti, a proto nevzniká riziko vysušení buničiny a ztrátě vlhkosti semen a rostlin. Rostliny byly po celou dobu vystaveny pokojovým teplotám okolo 20°C. Po třech dnech již bylo třeba vrchní misku odklopit. Po pěti dnech byly rostliny připraveny k pokusům.

Rostliny fazolu obecného se připravovaly podobným způsobem. Semena se nechala po ponoření do horké vody přes noc na buničině 3 dny naklíčit a poté byla přenesena do květináčů se zeminou. Naklíčená semena byla překryta tenkou vrstvou zeminy. Za udržování patřičné vlhkosti zeminy byly semenáče připraveny pro pokusy za tři týdny.

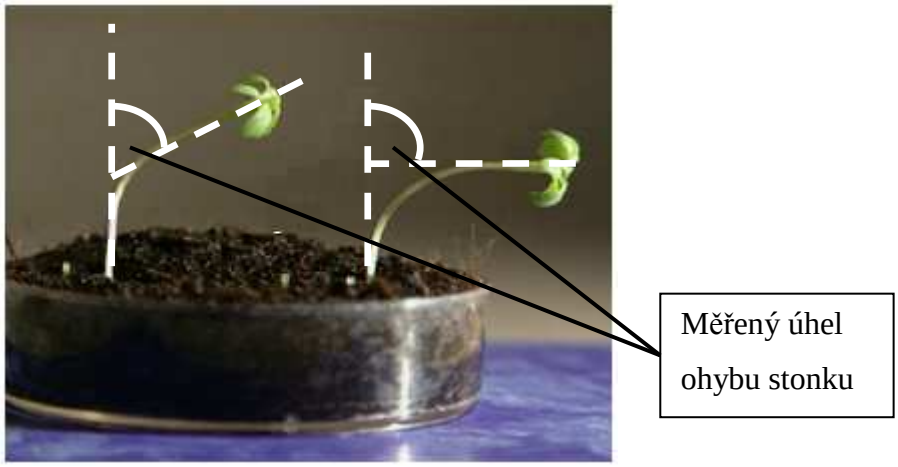
6.1.2 Hodnocení růstových parametrů rostlin v pokusech

V rámci pokusů byly vybrány k měření následné růstové a morfologické parametry (Obr. 44):

1) Změna úhlu stonku
   - Každá rostlinná sada byla den před pokusem kultivovaná v temnostních podmínkách – tím se docílilo kolmého vzrůstu stonků vzhledem k podložce.
   - Rostliny byly exponovány světelným zářením z kolmé vzdálenosti vzhledem k jejich hlavní ose 20 cm
   - Po ukončení expozice experimentálního osvětlení byly rostlinné sady vyfotografovány kolmým směrem na světelné záření a digitalizovaná fotografie byla exportována do programu, kde byly jednotlivé rostliny přeměřeny.
   - Zjišťovalo se, o kolik stupňů se rostlina vychýlí vůči pozici na počátku expozice (Obr. 41).
   - Míra ohybu stonku může být měřena pomocí dvou variant:

a) Odečtením úhlu ohybu z úhloměru.
   - po ukončení experimentu byly rostliny těsně nad buničinou odstřiženy
   - odstřižená rostlina se přiložila na šablonu (viz Příloha 11.1.5 Měření úhlu stonku)
   - Pomocí šablony se změřil úhel stonku.

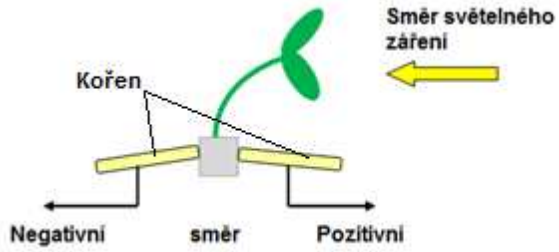
b) V počítačovém programu AutoCAD 2010.



Obr. 40 Schéma měření ohybu stonku. Ohyb rostliny po 80 minutách expozice světelným zářením.

2) Směr růstu kořene

- hodnotil se směr růstu kořenů vzhledem ke zdroji světelného záření dichotomickým způsobem – ano / ne (Obr. 42)
- NE - od zdroje záření se směr růstu hodnotil jako negativní
- ANO - ke zdroji záření se hodnotil jako pozitivní



Obr. 41 Hodnocení směru růstu kořene. Negativní směr růstu rostlinných orgánů (NE) směrem od zdroje záření, pozitivní (ANO) směrem ke zdroji záření.

3) Délka prvního internodu

- stonek rostliny byl odstřižen těsně nad zemí
- těsně pod místem, kde se ke stonku připojují primární listy (nod), byl proveden příčný řez
- takto oddělená část stonku byla změřena posuvným měřítkem

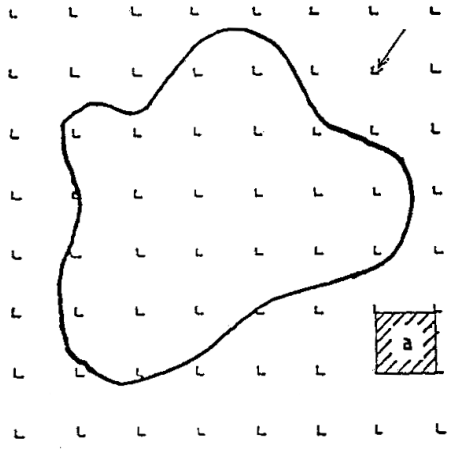
4) Délka listové čepele
    - primární listy se odstřihly v místě napojení na řapík
    - nepřehnuté listy se vložily do průhledné folie (plastových desek), které pomohly čepel listu vyrovnat a zploštit a byly vloženy do skenovacího či kopírovacího zařízení
    - byla vytisknuta či nasnímána jedna kopie ustřižených listů
    - byla měřena vzdálenost mezi špičkou listové čepele a místem kde je k čepeli připojen řapík. k měření se používalo posuvné měřítko.
    - Pokud byla měřena vzdálenost na nasnímaných digitalizovaných snímcích, bylo třeba brát v úvahu možné změny velikosti obrazu, proto se doporučuje při skenování do plastových desek zároveň umístit milimetrové měřítko, které pak umožní správnou délkovou kalibraci naměřených délkových hodnot.

5) Listová plocha
    - měří se listová plocha primárních listů, viz Obr 42.
    - po ukončení pokusu se odstřihly primární listy v místě, kde se napojují na řapík
    - plocha listu může být měřena pomocí dvou metod:

    a) odhad listové plochy pomocí bodové metody
        - Pro tuto metodu je možno použít mřížku na půhledné fólii (získané např. kopírováním) a není nutno použít program

Pro měření listové plochy byla zvolena bodová metoda (Weibel, 1979, Albrechtová, Kubínová, 1999), kde se počítá počet zásahů do pozorované struktury bodového testovacího systému, který se skládá ze systematicky rovnoměrně náhodně rozmístěných bodů. Počet zásahů je následně vynásobený plochou, která odpovídá jednomu bodu testovacího systému.

Schéma bodové metody a příslušný vzorec pro výpočet plochy jednotlivých struktur (Obr. 43)



$$S = P * a$$

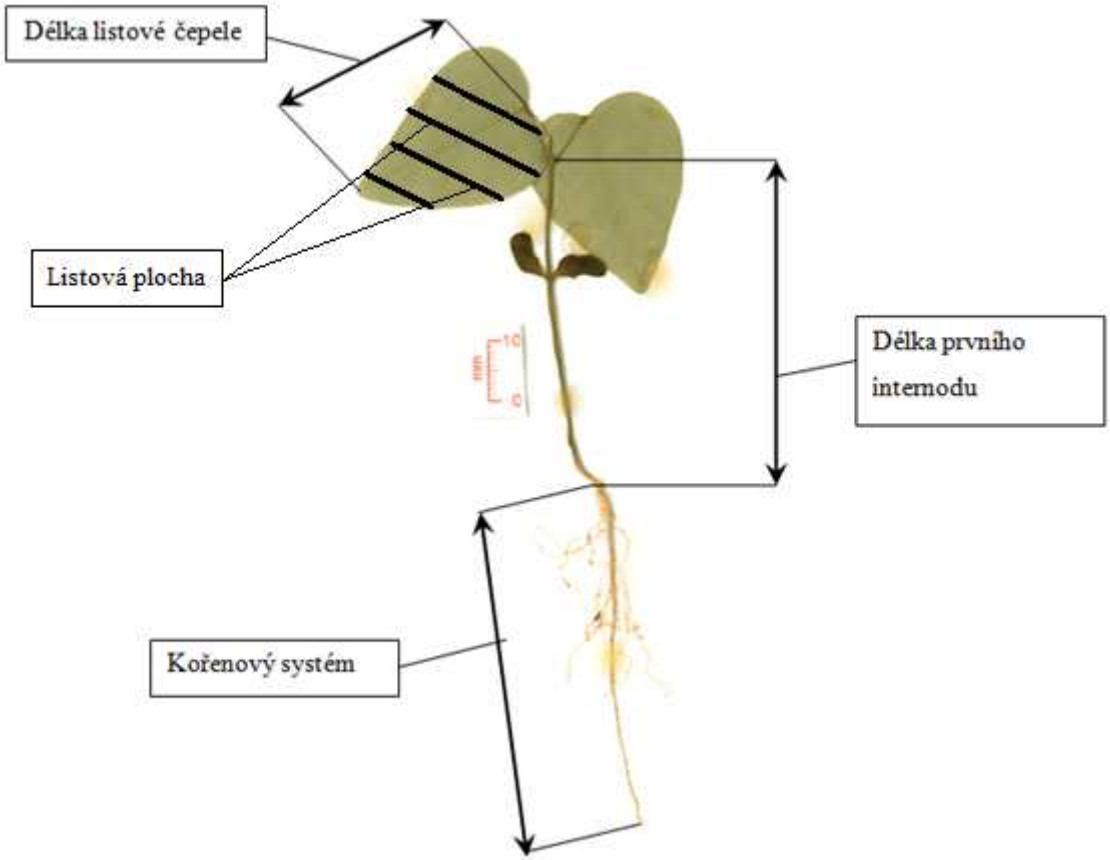
Obr. 42 Schéma bodové metody. Převzato z Albrechtová, Kubínová, 1999.

P – počet testovaných bodů, které zasáhly měřenou strukturu - list

a – aktuální plocha, která náleží jednomu bodu testovacího souboru (zjišťuje se jen jednou při kalibraci testovacího sytému.

S – plocha listu

b) měření plochy počítačovým programem ImageJ – volně dostupný software na internetu
   - ustřižené, narovnané listy se vložily mezi dvě folie nebo plastových průhledných desek do skenovacího zařízení a pořídil se digitalizovaný snímek
   - pomocí programu ImageJ se změřila listová plocha (postup dle Albrechtová, Kubínová et. al., 2013. Postup měření viz Příloha 11.1.5 Metody pro měření listových ploch)



Obr. 43 Měřené hodnoty v rámci pokusů. Listové plocha odpovídá ploše listové čepele – šrafováno v obrázku.

6.1.3 Statistické hodnocení

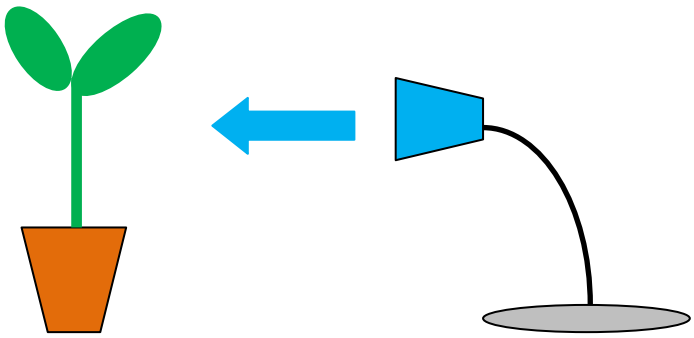
Všechny pokusy byly prováděny ve třech až pěti opakováních. Výsledky byly hodnoceny programem NCSS 06 pomocí t-testu a dvouvýběrové analýzy rozptylu (ANOVA). Všechna data měla normální rozdělení a statistická významnost byla testována Tukey – Kramer testem. Popisná statistika (průměry a směrodatné odchylky) byla též počítána v programu NCSS - získána pomocí modulu Deskriptive statistics. Též je možno popisnou statistiku vypočíst v programu Excel, ve kterém byly zhotoveny všechny grafy.

6.2 Experimentální varianty

6.2.1 Pokus 1 – Vliv vlnové délky světelného záření na fototropismus rostlin

První pokus zkoumá, zda rostlina ve svých fototropických reakcích preferuje určitou barvu světelného záření, nebo své pohyby iniciuje po dopadu jakékoliv vlnové délky fotosynteticky aktivního záření (FAR). K pokusu byly využity rostliny řeřichy seté, které vyklíčily na buničině uložené v Petriho misce. Na rostliny 5 dnů staré se poté pod úhlem 90° nechalo dopadat záření o různé vlnové délce. Jako zdroj světelného záření používala čtveřice LED – diodových žárovek o různé vlnové délce záření: červené, žluté, modré a zelené (Zdroje záření dostupné např. z www.elim.cz), (Obr. 45)

Doba expozice zdroji světelného záření byla 80 minut. Pokus se prováděl tak, že se na každou rostlinnou sadu nechala působit jiná barva světelného záření. Po ukončení experimentu byla provedena analýza změny úhlu stonku u deseti rostlin u každé rostlinné sady. Pokus byl opakován pětkrát.



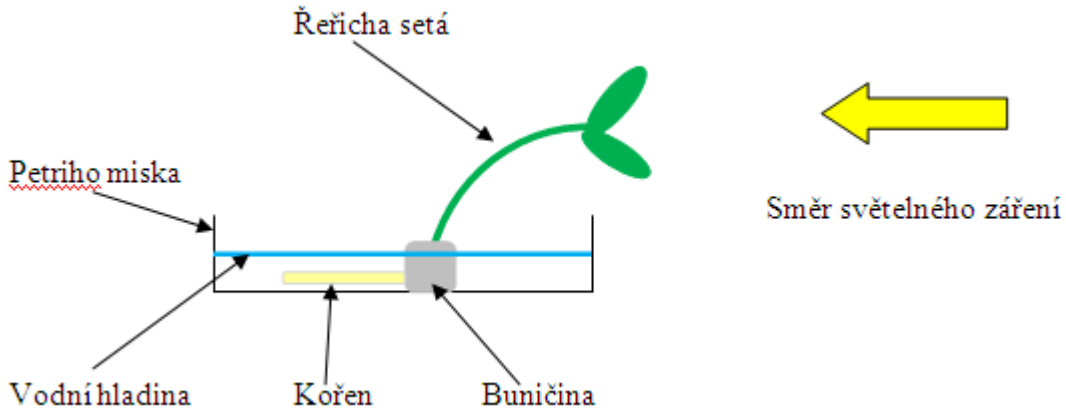
Obr. 44 Pokus č. 1 - Rozmístění aparatury – zdroje světelného záření různé vlnové délky byly umístěny 20 cm od rostliny pravidelně pod úhlem 90° , expozice 80 min.

6.2.2 Pokus 2 – Vliv světelného záření na směr růstu kořenů rostlin

Hlavním účelem tohoto pokusu je demonstrace negativního fototropismu kořenů rostlin. Jednotlivá semena řeřichy seté se nechala vyklíčit na úzkém pruhu buničiny o rozměrech 1 x 7 cm. Deset semen bylo vedle sebe pokládáno ve vzdálenosti cca 6 mm. Pod

překlopenou druhou Petriho miskou se nechala semena klíčit první dva dny a poté již rostliny rostly v otevřeném prostoru. V místnosti byla Petriho miska s rostlinami umístěna v kolmé horizontální vzdálenosti 3 metrů od okenní tabule – zdroje světelného záření. Růst rostlin probíhal za pokojové teploty 7 dní a po celý čas pokusu na ně dopadalo světelné záření z jednotného směru (Obr. 46). Kořeny byly neustále ponořeny pod vodní hladinou.

Pokus byl opakován pětkrát. Po ukončení každého pokusu se hodnotil směr růstu kořenů.



Obr.45 Nákres aparatury. Rostliny byly umístěny na Petriho misce. Semena klíčila na pruhu buničiny 1cm široký 7 cm dlouhý. V místnosti byla rostlina umístěna v kolmé horizontální vzdálenosti 3 metrů od okenní tabule – zdroje světelného záření.

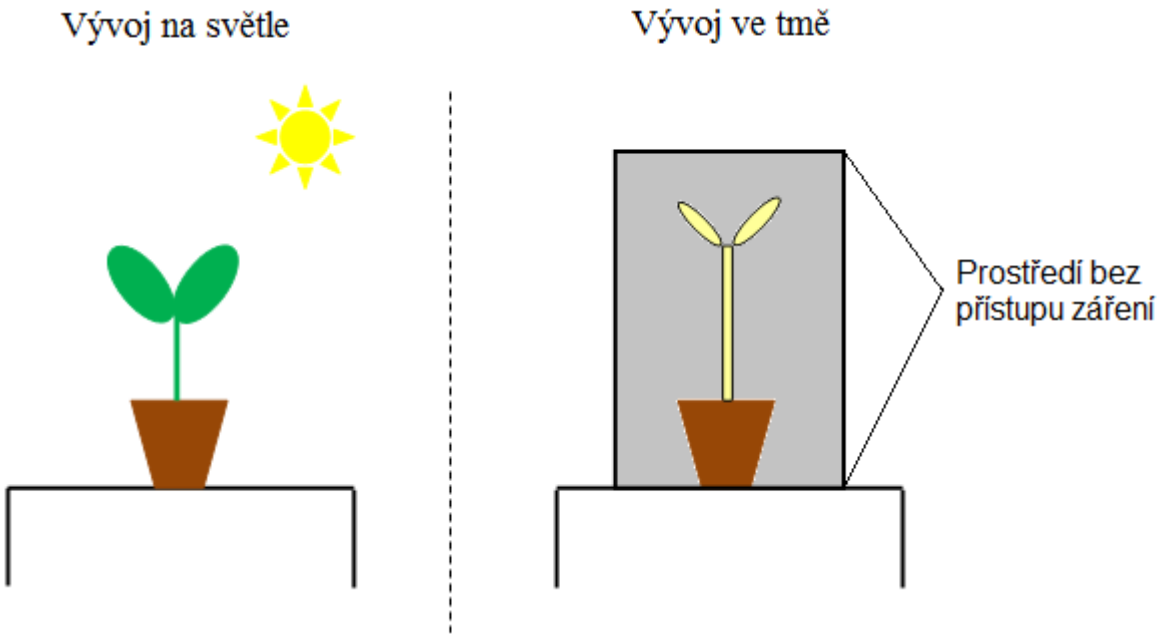
6.2.3 Pokus 3 – Skotomorfogeneze roslin

Poslední pokus byl vytvořen tak, aby žáci získali představu o vývoji rostliny v prostředí bez příchozího FAR záření. Z výsledku pokusu žáci mohou rozhodnout, zda rostlina dokáže růst i bez přístupu světelného záření a jaký má výsledný habitus.

Na počátku experimentu se semena fazolu obecného nechala na vlhké buničině naklíčit. Poté, co klíčky prorazily testu semene, se semena umístila v květináči do důlku o hloubce 1 cm a byla překryta zeminou. Bylo použito šest rostlinných sad. Do každé sady bylo zasazeno pět rostlin. Pokus začal po průniku prvních rostlin zeminou. Tři rostlinné sady se umístily do prostředí bez přístupu světelného záření (přikryté papírovou krabicí). Tři sady se ponechaly jako kontrola na přirozeně osvětleném stanovišti. Pokus trval do plného vývinu

primárních listů u kontrolních rostlin – 20 dní. Po celou dobu pokusu měly všechny rostlinné sady pravidelnou přiměřenou zálivku. Pokus probíhal za pokojové teploty 20 – 24° C (Obr.47).

Po ukončení pokusu byla na každé rostlině provedena analýza morfologických růstových parametrů – délka internodií, délka listové čepele, hmotnost kořenového systému, listová plocha a hodnotila se barva listů indikující přítomnost (barva zelená) či absenci (barva žlutá) chlorofylu. Pokus byl opakován třikrát.



Obr. 46 Nákres aparatury. Vlevo jsou znázorněny kontrolní rostliny rostoucí na slunečním záření. Vpravo jsou rostliny jejichž vývoj probíhal ve tmě.

6.3 Dotazníkové šetření

Dotazník byl rozdělen na tři části. První část dotazníku zjišťovala vybavenost školních laboratoří. Dotazník byl realizován pomocí jednoduchých otevřených i dichotomických otázek, které byly směřovány učitelům.

Dotazník ve formě, v jaké byl předkládán na školách, naleznete v Příloze – 11.2) Dotazník - Dotazník č. 1.

Druhá část se zaměřovala na hodnocení vytvořených výukových materiálů jednotlivými učiteli.

Dotazník ve formě, v jaké byl předkládán na školách, naleznete v Příloze – 11.2) Dotazník - Dotazník č. 2.

Třetí část se zabývala zjištěním úrovně znalostí jednotlivých žáků o fotomorfogenezi rostlin. Žákům byla nejprve poskytnuta krátká informace o cílech dotazníkového šetření a o jeho původu. Žáci byli upozorněni na anonymitu dotazníku a také, že dotazník nebude hodnocen žádnou známkou. Žáci v dotazníku uvedli typ školy, adresu, datum, pohlaví, věk a třídu. Dále žáci hodnotili svůj zájem o biologii od stupně 1 – nejoblíbenější předmět, po stupeň 5 – nemám biologii rád.

Dotazník pro žáky byl sestaven tak, aby jej bylo možné vyplnit v relativně krátkém čase. Tento faktor vyvolal snahu o minimalizaci otevřených otázek. Obsahoval sérii základních otázek na téma fotomorfogeneze rostlin. Žáci u uzavřených otázek měli vybrat pouze jednu odpověď, na což byli upozorněni předem.

Dotazník pro žáky byl použit dvakrát – před absolvováním experimentů a po nich. Zjišťoval tedy stav vědomostí před absolvováním experimentů a následně vyplněním dotazníku po experimentech měl zajistit zpětnou vazbu k vypracovaným materiálům a experimentům samotným.

Dotazník byl školám zadáván v únoru roku 2013. Vyplnění dotazníku žáky bylo dobrovolné bez časového omezení. Dotazník měli žáci nejčastěji vyplněni během patnácti minut. Vyplňování probíhalo během laboratorních cvičení z biologie. Dotazník vyplnili

všichni přítomní žáci. Odevzdáno bylo 91 dotazníků, ovšem tři dotazníky byly dodatečně vyřazeny, protože neobsahovaly odpovědi na zadané otázky.

Dotazníkové šetření proběhlo na těchto středních školách:

a) Gymnázium a střední odborná škola ekonomická Vimperk
b) Gymnázium Prachatice

Dotazník ve formě, v jaké byl předkládán na školách, naleznete v Příloze – 11.2) Dotazník - Dotazník č. 3.

Dotazník byl vytvořen aplikací Google Docs. Tato aplikace přináší přehledné a jednoduché uživatelské rozhraní. Dotazník se snadno rozesílá na e-mailové adresy dotazovaných. Zpětná vazba od dotazovaných je tazateli doručována automaticky po vyplnění dotazníku.

Postup vytvoření dotazníku v Google Docs:

- přihlásit se/vytvořit si účet ke službám Google
- přejít na URL docs.google.com
- v menu zvolit Vytvořit nový, zvolit Formulář a je možné začít tvořit otázky
- po uložení je možné si na svou adresu odeslat URL formuláře
- výsledky je možné sledovat buď v grafické podobě pomocí kruhových grafů, nebo v tabulce pomocí textových výsledků, které se mohou exportovat do XLS nebo ODS

6.4 Struktura výukových materiálů

Pro vytvořené výukové materiály jsem zavedl jednotnou strukturu pro lepší přehlednost.

a) Struktura materiálů pro žáky

Praktické cvičení č. 1 - text pro žáky

NÁZEV ÚLOHY

1. Úvod do problematiky
2. Zadání úkolu
3. Materiál a pomůcky
   3.1. Příprava pokusu
   3.2. Příprava rostlinného materiálu
4. Příprava aparátu
5. Nákres
6. Realizace experimentu
7. Zaznamenávání výsledků
8. Zpracování výsledků – úkoly
9. Závěr
10. Přílohy pro realizaci praktického cvičení

b) Struktura materiálů pro učitele

Praktické cvičení č. 1 - text pro učitele

NÁZEV ÚLOHY

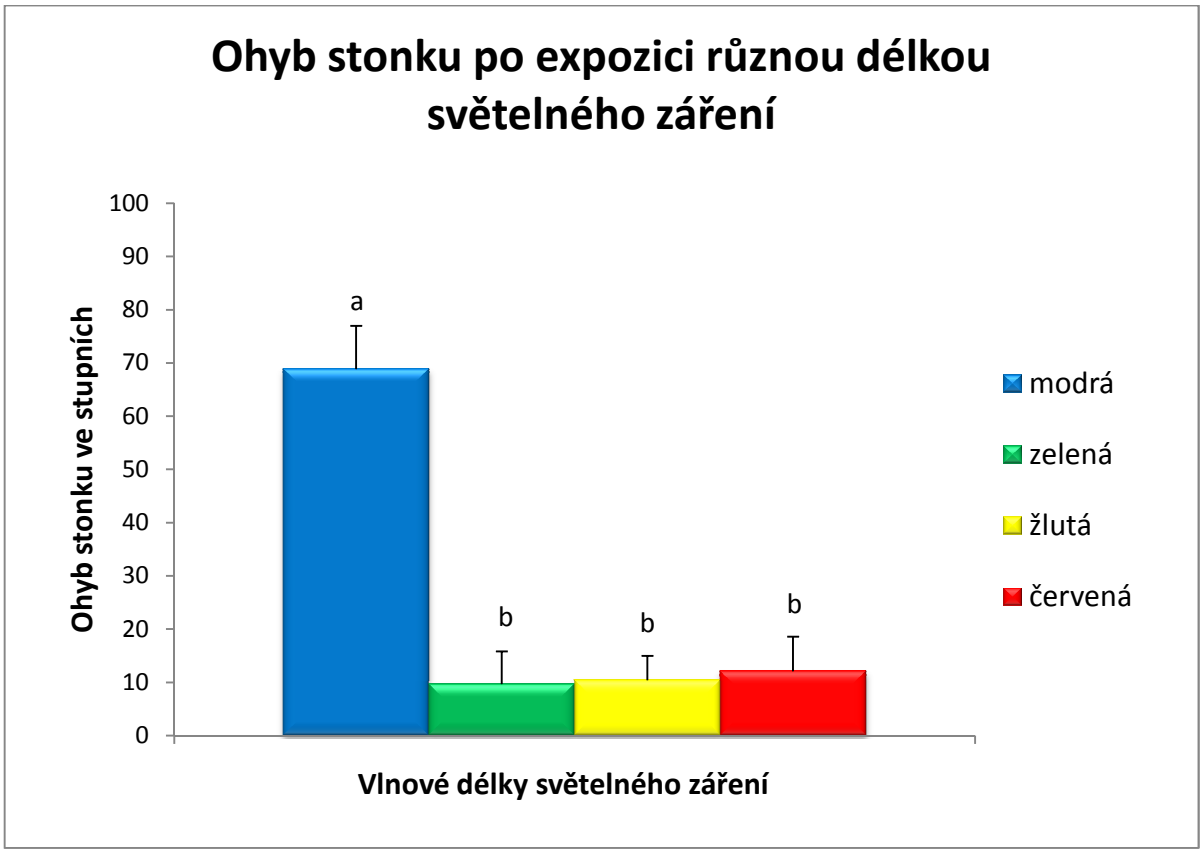
1. Cíl praktika
2. Zařazení do výuky
3. Očekávané výstupy
4. Časová náročnost
5. Materiál a pomůcky pro experiment
6. Průběh a varianty experimentu
7. Další materiály pro žáky
8. Vyhodnocení experimentu
9. Další poznámky

7. Výsledky

7.1 Pokus 1 - Vliv vlnové délky světelného záření na fototropismus rostlin

Tento experiment demonstruje jaký vliv má různá vlnová délka světelného záření na fototropické reakce rostlin. Pokus ukazuje, zda má rostlina ve fototropických reakcích preferenci k určité barvě světelného záření nebo vytváří odezvy na celé spektrum barev. Tímto pokusem lze zjistit v jaké vlnové délce záření má absorpční maximum fotoreceptor fototropin, který zprostředkovává fototropické odezvy k modrému světlu. Po expozici rostlin jednotlivou vlnovou délkou se měřila změna úhlu růstu jejich stonku.

Doba expozice byla stanovena na 80 minut, což je standardní doba určená pro pokusy ve školním prostředí. Pokus byl opakován pětkrát, pro měření bylo vybráno vždy deset rostlin.



Graf 1 Změna úhlu stonku po 80minutové expozici světelným zářením. Proběhlo pět měření, pokaždé na vzorku deseti rostlin. Chybové úsečky označují směrodatnou odchylku, Rozdílná písmena nad sloupci vypovídají o statisticky průkazném rozdílu. Statisticky významný rozdíl byl zaznamenán ANOVA na $p<0,05$.

Po 80 minutách expozice byl největší ohyb stonku u záření v oblasti modrého spektra, kde průměrná velikost ohybu byla 68,9°, což bylo statisticky průkazně odlišné od zbývajících variant. Směrodatná odchylka u průmerné hodnoty úhlu stonku při působení světelného záření modré barvy byla 8,1. Ostatní barvy světelného záření vyvolaly ohyb v průměru okolo 10° - zelená 9,7°, žlutá 10,4° a červená 12,2°. Nejmenší směrodatná odchylka byla u žluté barvy 4,6. Směrodatná odchylka u zelené byla 6,1 a u červené 6,5.

Pokus byl opakován pětkrát, pokaždé s řeřichou setou. Výsledky prokázaly, že rostlina pro své fototropické reakce preferuje světelné záření v oblasti modrého spektra. Tím je dokázáno, že ohybová růstová tropická reakce zprostředkovaná fototropinem má své absorpční maximum ve vlnových délkách modrého světelného záření.

Tento pokus se ukázal jako velmi snadno proveditelný a se spolehlivými výsledky demonstroval průběh fototropismu jako důležitého fotomorfogenetického děje. K tomuto pokusu byly vypracovány vlastní výukové materiály.

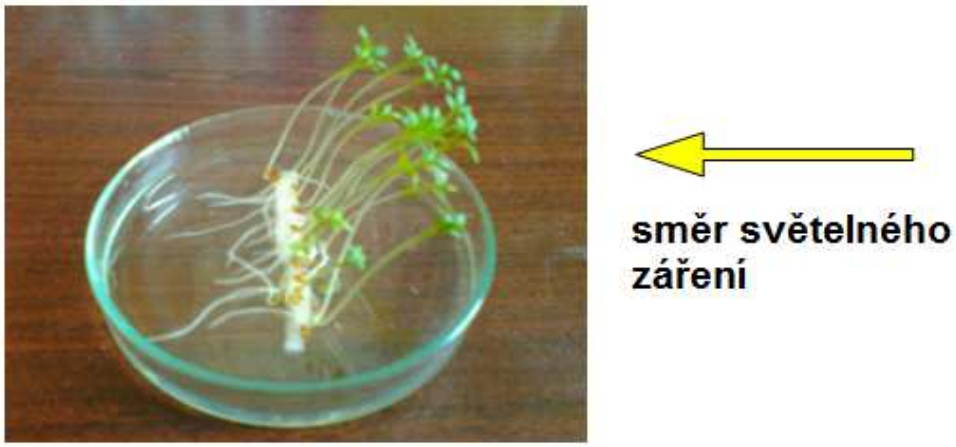
Výsledky získané ze všech pokusů bylo třeba zhodnotit z hlediska reprodukovatelnosti pokusů, a zjistit tak, že jsou pozorování konzistentní.

Byla hodnocena statistická významnost celého souboru všech dat z pěti pokusů pomocí ANOVA. Opět byl jednoznačný statisticky významný rozdíl mezi variantami s různým experimentálním ošetřením.

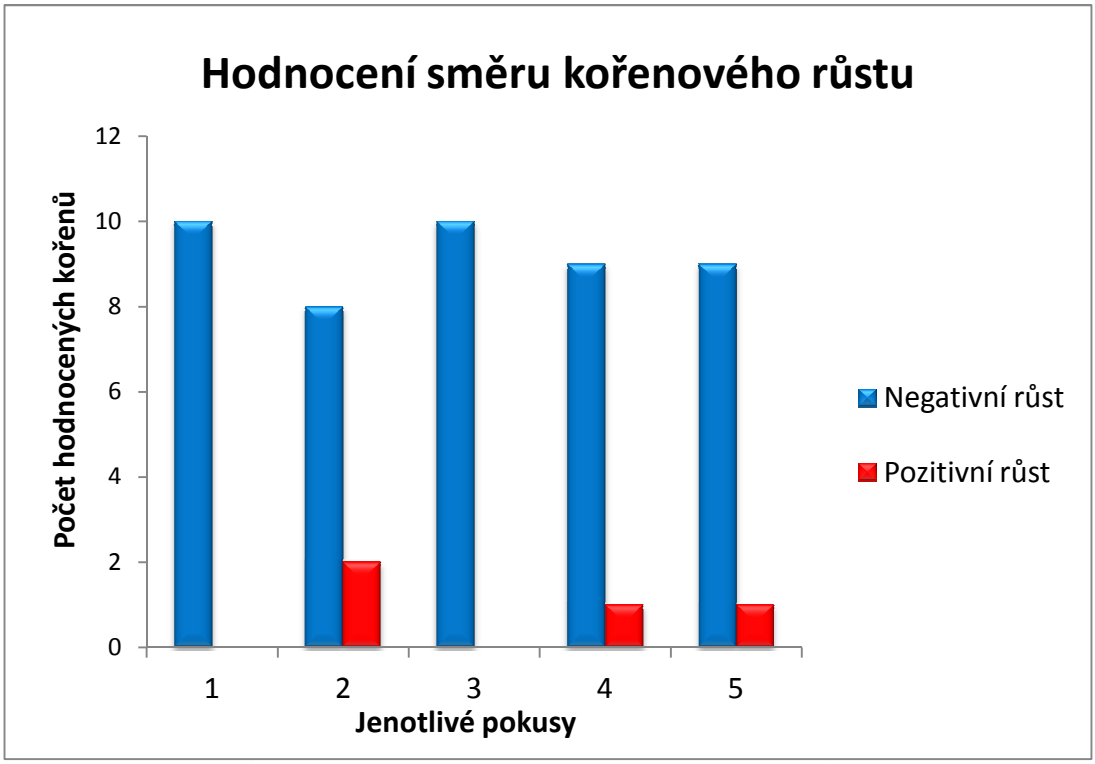
Z toho je možné usoudit, že experiment je dobře navrženy, je opakovatelný a bylo možno přistoupit k tvorbě protokolů.

7.2 Pokus 2 - Vliv světelného záření na směr růstu kořenů rostlin

Tento pokus dokazuje negativní fototropismus rostlinných kořenů. Rostliny byly ponechány přirozenému světelnému záření po celou dobu kultivace. Rostliny nebyly přenášeny v průběhu experimentu na jiná místa, ani s nimi nebylo nijak manipulováno. Jako zdroj světelného záření bylo použito sluneční záření, rostliny pak byly ponechány v místnosti ve vzdálenosti tří metrů od okenní tabule. Pro tento pokus byla využita rostlina – řeřicha setá (Obr. 48).



Obr. 47 Pozitivní x negativní fototropismus rostlin. Prýt na přicházející světelné záření reaguje pozitivně. Kořeny naopak negativně a rostou směrem od zdroje světla. Rostlina při pokusu – řeřicha setá.



Graf 2 Hodnocení směru kořenového systému. V každém pokusu se hodnotil směr růstu kořenů deseti rostlin. Směr růstu ke zdroji světla byl hodnocen jako pozitivní, směr růstu od zdroje záření byl hodnocen jako negativní.

Po ukončení experimentu byl zhodnocen směr růstu kořene každé rostliny v experimentální sadě (Graf 2). V každé sadě (opakování pokusu) se nacházelo deset rostlin. Pokus byl opakován pětkrát. V celkovém počtu kořeny rostlin dosáhly negativního fototropismu v 92 %. V pokusu č. 1 a 3 bylo dosaženo negativního směru růstu kořenů u všech rostlin z experimentální sady. Z celkového počtu padesáti hodnocených směrů růstu kořenů dosáhly pozitivního růstu pouze čtyři kořeny, což představuje 8 %.

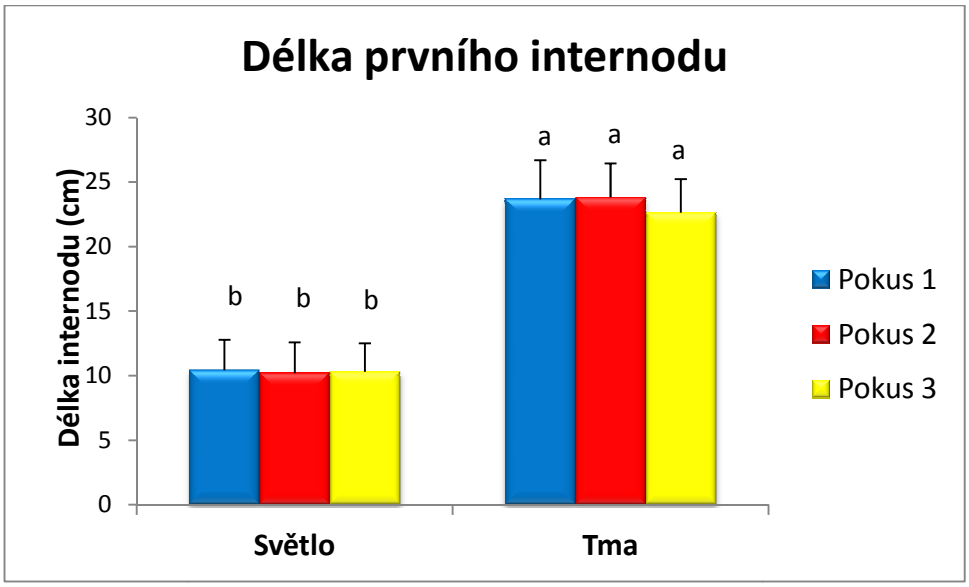
Výsledky získané ze všech pokusů bylo třeba zhodnotit z hlediska reprodukovatelnosti pokusů a zjistit tak, že jsou pozorování konzistentní.

Byla hodnocena statistická významnost celého souboru všech dat z pěti pokusů pomocí t-testu. Výsledkem byl jednoznačný statisticky významný rozdíl mezi pozitivním a negativním směrem růstu kořenů u všech opakování pokusu.

Z toho je možné usoudit, že experiment je dobře navrženy, je opakovatelný a bylo možno přistoupit k tvorbě protokolů.

7.3 Pokus 3 - Skotomorfogeneze roslin

Třetí pokus žákům demonstruje, jakým způsobem se vyvíjí habitus rostliny, pokud roste ve tmě ve srvonání s rostlinou rostoucí v přirozených světelných podmínkách. Vyhodnocením výsledků pokusu žáci objasní, jak se liší vzhled rostliny v závislosti na světelných podmínkách. Rostlinné sady rostly dvacet dní na místech s rozdílnou ozářeností. U sady rostoucí ve tmě byl navozen tvar těla typický pro skotomorfogenzi rostlin. Kontrolní sada rostoucí na přirozeném slunečním záření dosáhla habitu, který odpovídá přirozenému prostředí.

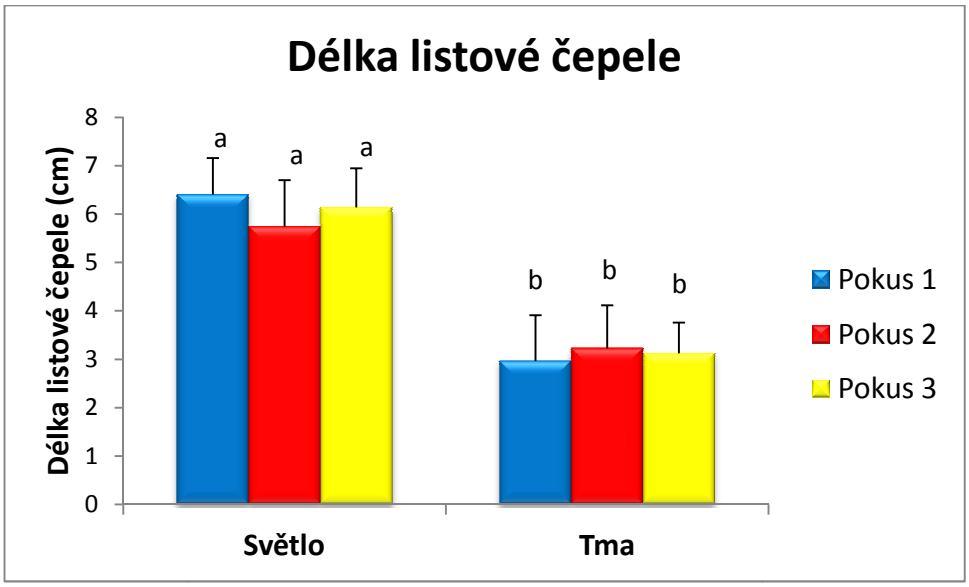


Graf 3 Měření délky prvního internodu rostlin fazolu obecného rostoucích na přirozeném světle a ve tmě. Proběhla tři opakování pokusu, pokaždé na vzorku patnácti rostlin. Chybové úsečky označují směrodatnou odchylku, Statisticky

významný rozdíl byl zaznamenán ANOVA na p<0,05. Rozdílná písmena nad sloupci značí statisticky významný rozdíl. Tukey – Kramer test.

Délka prvního internodu fazolu pěstovaném na světle byla v průměru 10,31 cm, průměrná směrodatná odchylka nabývala hodnot 2,31.

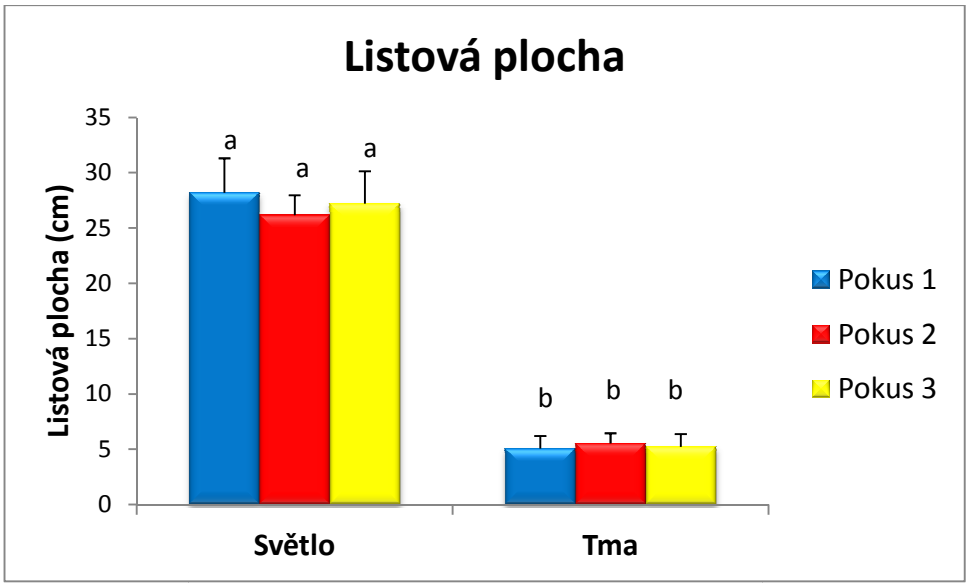
Délka prvního internodu pěstovaném ve tmě byla v průměru 23,37cm, průměrná směrodatná odchylka nabývala hodnot 2,76 (Graf 3).



Graf 4 Měření délky listové čepele rostlin fazolu obecného rostoucích na přirozeném světle a ve tmě. Proběhla tři opakování pokusu, pokaždé na vzorku patnácti rostlin. Chybové úsečky označují směrodatnou odchylku, Statisticky významný rozdíl byl zaznamenán ANOVA na p<0,05. Rozdílná písmena nad sloupci značí statisticky významný rozdíl. Tukey – Kramer test.

Délka listové čepele fazolu pěstovaného **na světle** byla v průměru 6,09 cm^2, průměrná směrodatná odchylka nabývala hodnot 0,84.

Délka listové čepele fazolu pěstovaného **ve tmě** byla v průměru 3,11 cm^2, průměrná směrodatná odchylka nabývala hodnot 0,83 (Graf 4).



Graf 5 Měření listové plochy rostlin fazolu obecného rostoucích na přirozeném světle a ve tmě. Proběhla tři opakování pokusu, pokaždé na vzorku patnácti rostlin. Chybové úsečky označují směrodatnou odchylku, Statisticky významný rozdíl byl zaznamenán ANOVA na $p<0,05$. Rozdílná písmena nad sloupci značí statisticky významný rozdíl. Tukey – Kramer test.

Listová plocha fazolu pěstovaného **na světle** byla v průměru 27,19 cm^2, průměrná směrodatná odchylka nabývala hodnot 2,61.

Listová plocha fazolu pěstovaného **ve tmě** byla v průměru 5,28 cm^2, průměrná směrodatná odchylka nabývala hodnot 1,06 (Graf 5).

Výsledky získané ze všech pokusů bylo třeba zhodnotit z hlediska reprodukovatelnosti pokusů, a zjistit tak, zda jsou pozorování konzistentní.

Dvouvýběrovou analýzou rozptylu jsme testovali vliv čísla (opakování) pokusu a experimentálního ošetření. ANOVA prokázala, že výsledky ze tří pokusů se významně nelišily a statisticky významné bylo pouze experimentální ošetření.

Mimo to byla hodnocena statistická významnost celého souboru všech dat ze tří pokusů pomocí t-testu. Opět byl jednoznačný statisticky významný rozdíl mezi variantami s různým experimentálním ošetřením.

Z toho je možné usoudit, že experiment je dobře navržen, je opakovatelný a bylo možno přistoupit k tvorbě protokolů.

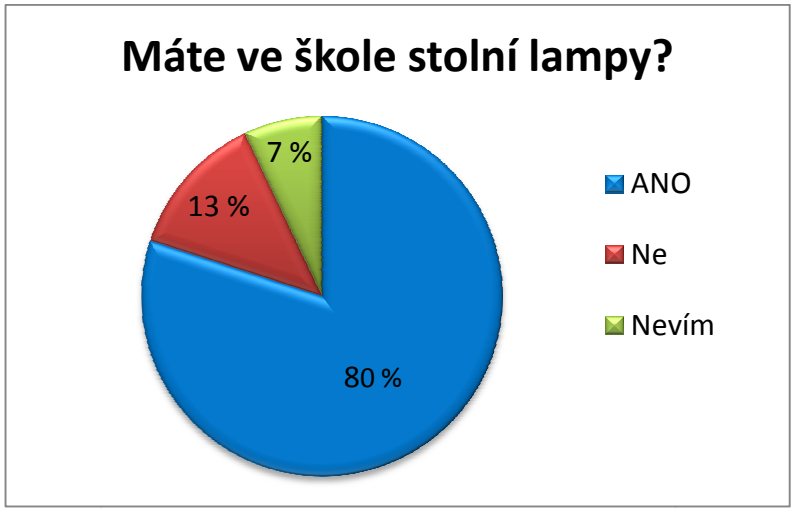
7.4 Dotazníkové šetření

7.4.1 Dotazník č. 1 – materiální zabezpečení škol

Provedla se analýza odpovědí učitelů na dotazník č. 1 Materiální zabezpečení škol. Dotazník byl k učitelům rozesílán elektronickou poštou pomocí dotazníkové aplikace společnosti Google. V příloze lze dohledat samotné dotazníky. Dotazníkové šetření bylo zcela anonymní.

Na tento dotazník odpovědělo 32 učitelů z různých středních a základních škol, kteří se aktivně zapojují do výuky.

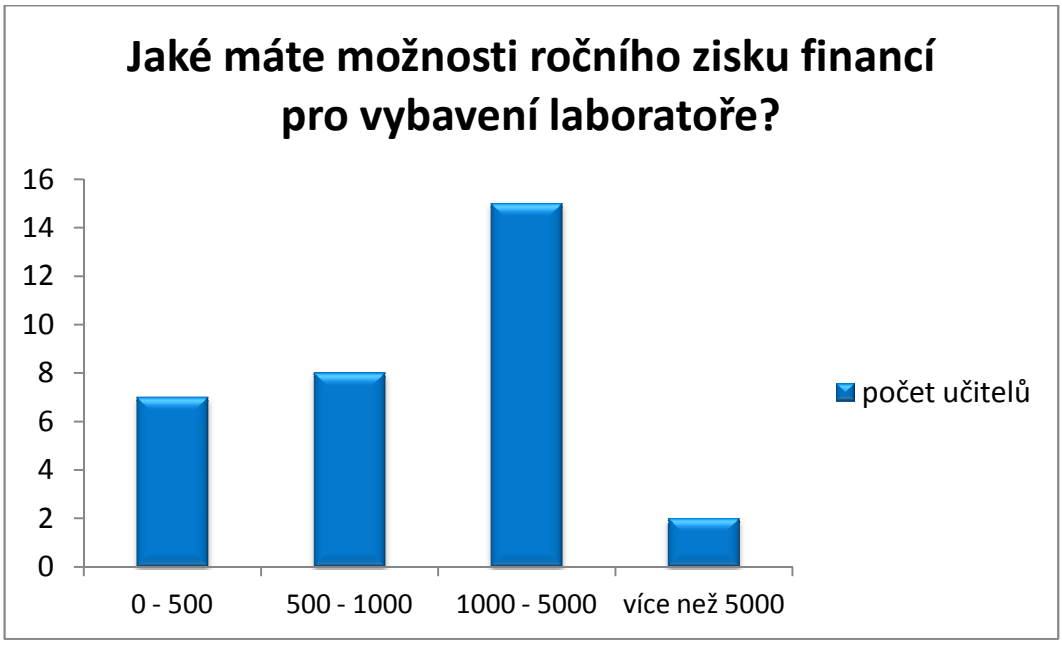
Z dotazníku se zjistilo, že základní školy obvykle nemají specializovanou učebnu pro provádění přírodovědných pokusů. Všechny pokusy pak probíhají v klasické učebně, kde probíhá běžná výuka. Většina základních škol má ve svých osnovách povinně volitelný seminář s přírodovědnou tématikou. Střední školy jsou již specializovanou třídou vybaveny.



Graf 6 80% učitelů uvedlo, že ve školním vybavení mají stolní lampy potřebné pro pokusy.

Na 90 % učitelů ze středních škol odpovědělo, že ve své škole mají přímo učebnu specializující se na provádění biologických pokusů. Tyto laboratoře jsou svým materiálním vybavením plně dostačující pro provedení navržených fotomorfogenetických pokusů. 80% učitelů uvedlo, že stolní lampy mají ve škole v dostačujícím množství. Zbylí učitelé mají

možnost stolní lampy zajistit. 78 % učitelů může z rozpočtu školy získat finance na nákup LED diodových žárovek.



Graf 7 Finanční možnosti jednotlivých učitelů pro výuku biologie pro jeden školní rok.

7.4.2 Dotazník č. 2 – Protokoly

Provedla se analýza odpovědí učitelů na dotazník č. 2 Protokoly. Dotazník byl k učitelům rozesílán elektronickou poštou pomocí dotazníkové aplikace společnosti Google. Na tento dotazník odpovědělo 28 učitelů. Experimenty se pokusilo realizovat šest učitelů středních škol. Největší překážkou při realizaci experimentů byla absence LED – žárovek. Absenci těchto světelných zdrojů uvedli všichni učitelé. 84 % učitelů zároveň uvedlo, že zdroje světelného záření by si mohli opatřit. Učitelé tak realizovali pokusy s přirozeným světelným zářením. Přesto učitelé odpověděli, že tyto pokusy jsou svou technickou nenáročností a tématem zajímavé. Z dotazníku vyplynulo, že žákům chybí před pokusy informační zázemí.

3) Je pro Vás tato laboratorní práce využitelná?

ANO, protože mi návrhy prací na podobná témata chyběla.

4) Jaké části návodu při sestavování aparatury jste nerozuměli?

Sestavení aparatury je srozumitelné.

7) Jsou materiály aparatury pro vaši školu dosažitelné?

NE, protože – škola nevlastní LED – žárovky.

8) Využijete ve své praxi poznatky získané při práci s time – lapse (časosběrném) snímáním

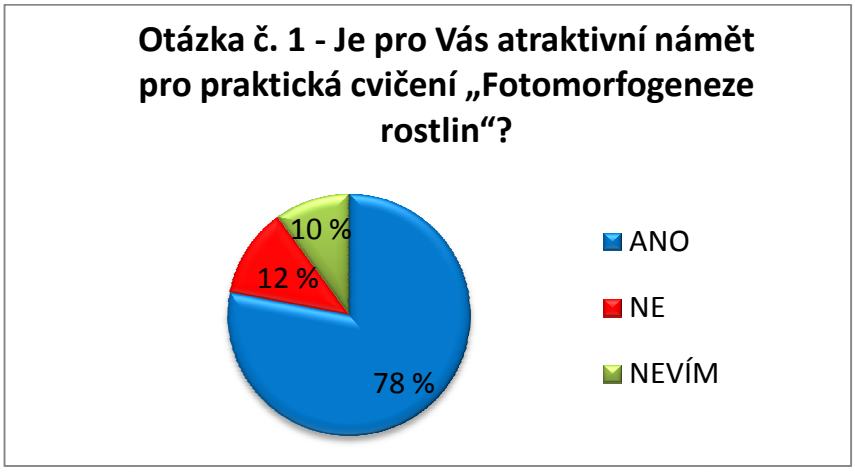
ANO, protože – práce s moderní technologií je zajímavá a studenti velmi oceňují jakékoliv použití IT technologií ve vyučování.

9) Máte konkrétní připomínky k protokolům Fotomorfogeneze rostlin? Měli byste návrh pro zlepšení?

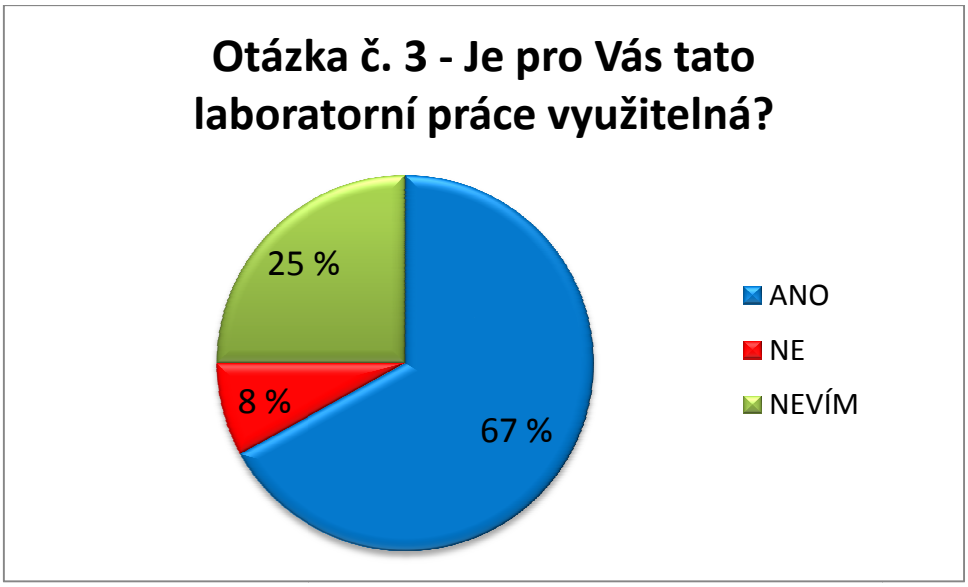
ANO, protože při zadávání úlohy jsem se setkala s častými dotazy studentů – Co je to ten fototropismus ☺, Sice jsme látku probírali, ale ocenila bych, kdyby žáci mohli mít na úvod text se základními informacemi.

Obr. 48 Vybrané odpovědi z dotazníku - Protokoly

Na otázku č. 1 odpovědělo všech 28 učitelů. Více než tři čtvrtiny učitelů tedy shledává praktická cvičení za atraktivní.



Graf 8 Otázka č. 1 - Je pro Vás atraktivní námět pro praktická cvičení „Fotomorfogeneze rostlin“?



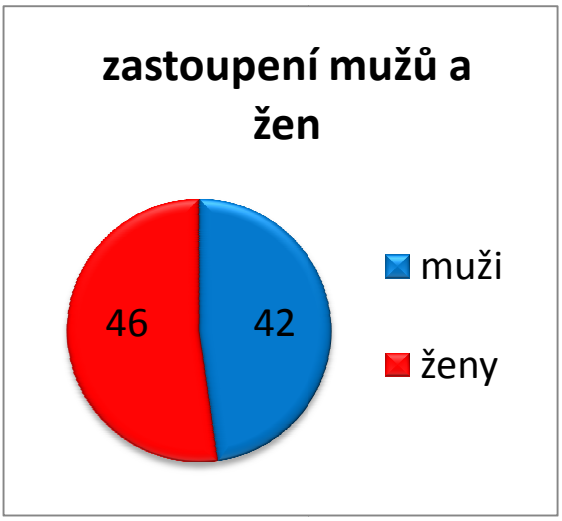
Graf 9 Otázka č. 3 - Je pro Vás tato laboratorní práce využitelná?

Tři čtvrtiny učitelů považuje laboratorní práce za využitelné. 25 % učitelů odpovědělo že neví, většinou z důvodu nedostatečné informovanosti o tématu fotomorfogeneze.

100 % učitelů uvedlo, že by dokázali aparaturu sestavit podle návodů.

7.4.3 Dotazník č. 3 – Fotomorfogeneze rostlin

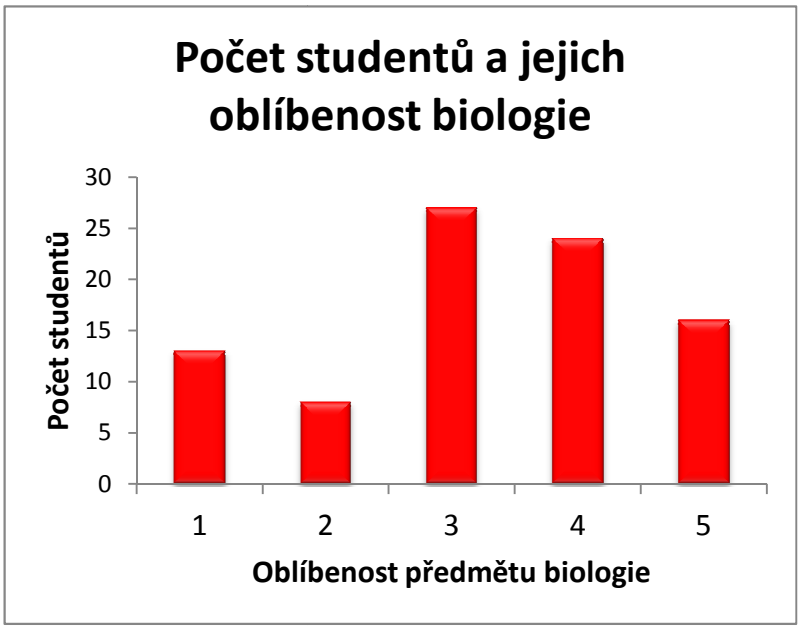
Provedla se analýza odpovědí žáků na dotazník č. 3 Fotomorfogeneze rostlin. Dotazník jsem žákům zadával přímo ve dvou testovacích školách v gymnáziích v Prachaticích a Vimperku. Dotazník byl zpracován v programu Microsoft Excel. Většina informací je vyobrazena pomocí komentovaných grafů. Barva grafu vždy odpovídá příslušné variantě a označení 0 - šedá barva - je použita pro nezodpovězené otázky. Vypracované odpovědi byly hodnoceny podle četnosti vybraného typu odpovědi. Správné odpovědi jsou v textu podtrženy.



Graf 10 Celkové zastoupení mužů a žen v dotazníkovém šetření.

Dotazník nebyl cíleně zaměřen na pohlaví (Graf 10). Účastnily se ho vždy dvě paralelní třídy druhého ročníku. Naprosté většině žáků bylo 17

let. Otázkou č. 1 se zjistilo, že z celkového počtu 88 dotazníků bylo 42 dotazníků vyplněno muži a 46 dotazníků ženami. Poměr mezi pohlavími je na těchto školách vyvážen téměř v poměru 1:1 (Graf 10).

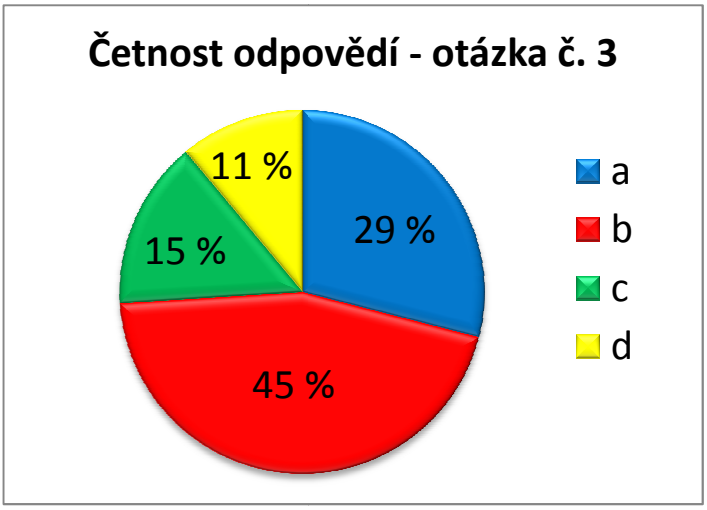


Graf 11 Oblíbenost předmětu biologie u žáků gymnázia Vimperk a Prachatice. Klasifikace: 1 – velmi oblíbený předmět, 5 – velmi neoblíbený předmět

Otázka č. 2 zjišťovala zájem žáků gymnázia o biologii (Graf 11). Oblíbenost biologie mezi žáky není příliš vysoká. Jako svůj velmi oblíbený předmět biologii označilo pouze 13 žáků. Zatím co čtyřkou a pětkou, tedy více než neoblíbený předmět, ho označilo celkem 40 žáků, což je téměř polovina dotazovaných.

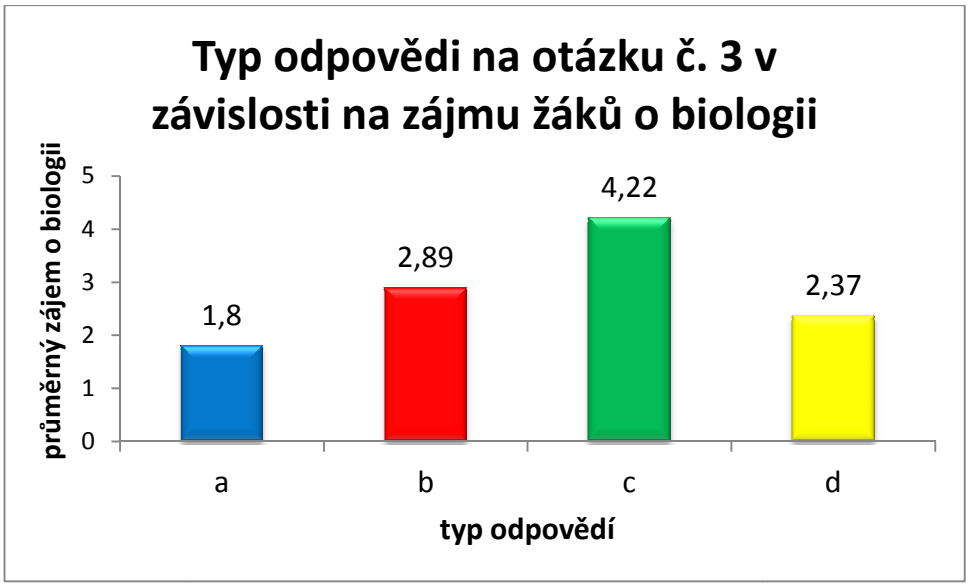
3) Myslíte, že se ve škole dozvíte o současných biologických novinkách?

a. Ano
b. Ne
c. Biologie mě nebaví, takže se o novinky nezajímám.
d. Ne, ale informace si zjišťuji sám z: (doplňte)……



Více než polovina všech dotazovaných se nedomnívá, že se ve škole dozví novinky z oblasti biologie (Graf 12). Pouze 11 % žáků si nejnovější poznatky vyhledává sama nejčastěji pouze s pomocí internetu (80 %) nebo v kombinaci s populárními vědeckými časopisy.

Graf 12 Četnost odpovědí u otázky č. 3

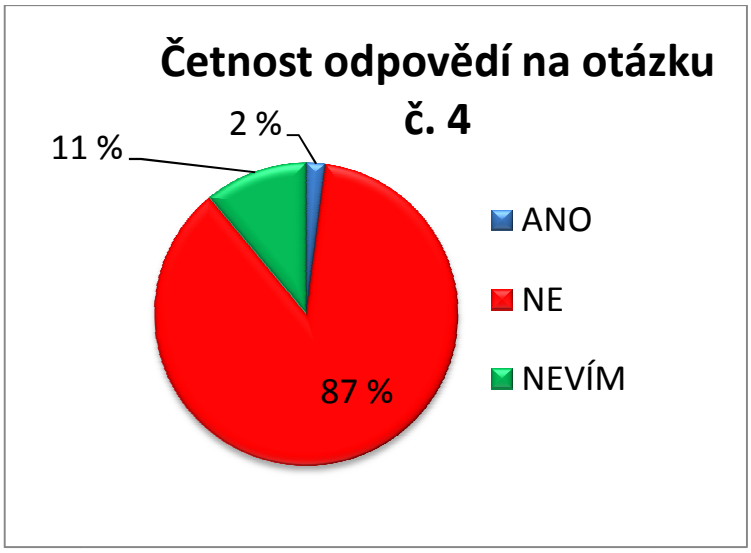


Graf 13 Typ odpovědi na otázku č. 3 v závislosti na zájmu žáků o biologii. Průměrný zájem o biologii odpovídající stupnici 1 znamená velký zájem, stupeň 5 znamená velmi malý zájem o biologii.

Z grafu č. 13 lze vyvodit typ odpovědi na otázku č. 3 v závislosti na zájmu studentů o biologii. Žáci, kteří mají největší zájem o biologii (hodnota 1,8) volili nejčastěji odpověď **a**, tedy že se novinky z biologie ve škole dozvídají. Žáci s nejnižším zájmem o biologii dle očekávání zvolili nejvíce možnost **c** – „biologie mě nebaví, takže se o novinky nezajímám“. Toto zjištění odpovídá i teorii – pokud žák nemá biologii jako svůj oblíbený předmět, nezajímá ho běžný obsah učiva, natož novinky. Odpovědi **b** a **d** byly voleny žáky s průměrným zájmem 2,89 a 2,37. Žáci s průměrným zájmem 2,37 volili odpověď **d** – „ne, ale informace si zjišťuji samostatně. Tento výsledek opět odpovídá teorii – žák se zájmem o biologii si bude informace doplňovat spíše než žák bez zájmu o daný předmět.

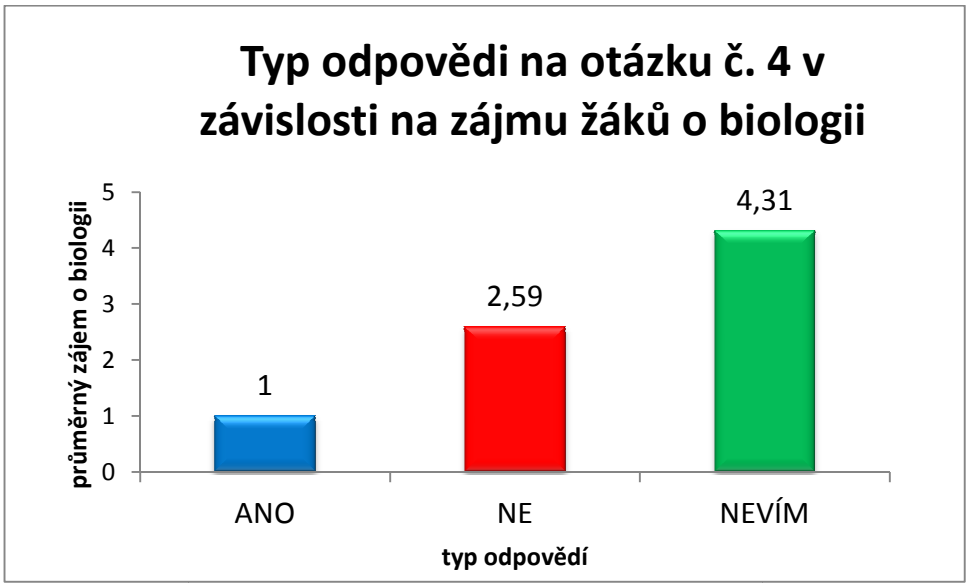
4) Slyšeli jste už někdy termín Fotomorfogeneze rostlin?

- ANO
- NE
- NEVÍM



Graf 14 Četnost odpovědí u otázky č. 4

Žáci odpovídali na základní otázku, která má zásadní vliv na aplikaci této práce do školní praxe. Již z analýzy učebnic i rozboru jednotlivých ŠVP pilotních škol bylo jisté, že povědomí o termínu fotomorfogeneze rostlin bude velmi malé. Toto se potvrdilo otázkou č. 4, kdy znalosti termínu fotomorfogeneze zaškrtli pouze dva žáci.

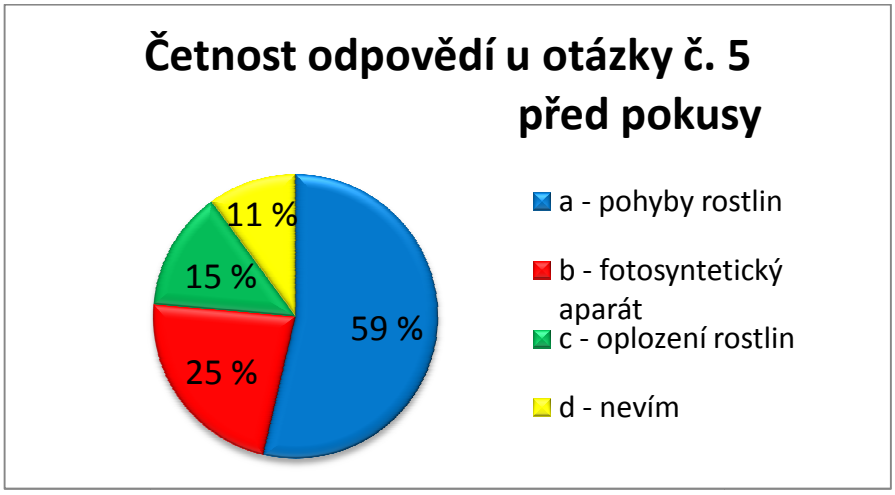


Graf 15 Typ odpovědi na otázku č. 4 v závislosti na zájmu žáků o biologii. Průměrný zájem o biologii odpovídající stupnici 1 znamená velký zájem, stupeň 5 znamená velmi malý zájem o biologii.

Z grafu č. 15 vyplývá že, na otázku č. 4 odpověděli správně pouze dva žáci, oba označovali svůj zájem o biologii jako nejvyšší. Odpověď NE zvolili žáci s průměrným zájmem 2,59. Odpověď NEVÍM zvolili téměř všichni žáci, kteří vnímají biologii jako velmi neoblíbený předmět.

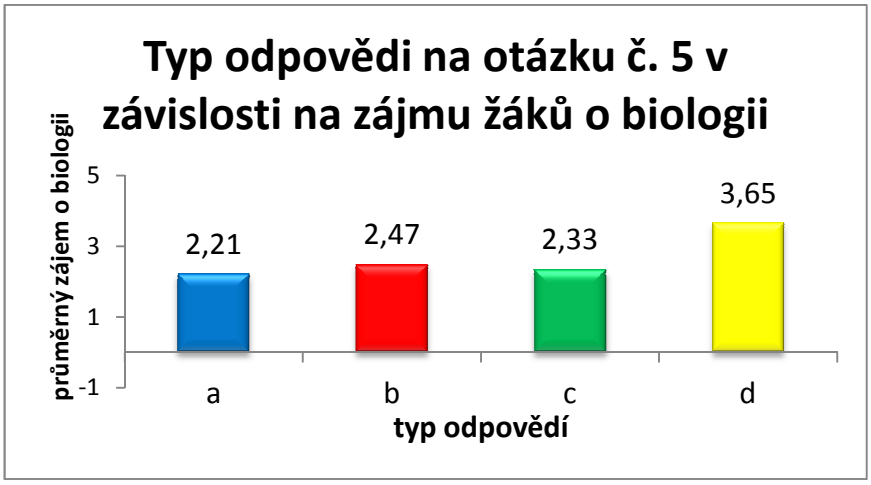
5) Fototropismus rostlin je charakterizován:

a. Růstovými pohyby
b. Ziskem energie z fotosyntetického aparátu
c. Oplozením rostlin
d. Nevím



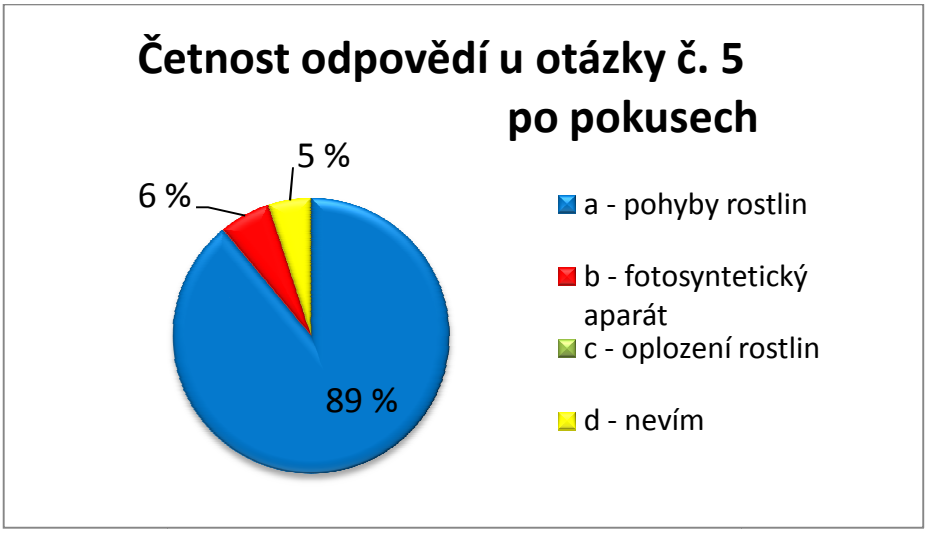
Graf 16 Četnost odpovědí u otázky č. 5 před pokusy

Otázka č. 5 zkoumala, zda mají žáci druhých ročníků již znalosti o fototropismu rostlin. Ze školních vzdělávacích programů vyplývalo, že tuto problematiku již mají žáci ovládat. Z dotazníku, který žáci vyplňovali před testem, je dokázáno, že pojem fototropismus žáci znají. Téměř dvě třetiny žáků odpovědělo správně, ovšem poměrně velká skupina žáků si tento děj nedokázala vybavit.



Graf 17 Typ odpovědi na otázku č. 5 v závislosti na zájmu žáků o biologii. Průměrný zájem o biologii odpovídající stupnici 1 znamená velký zájem, stupeň 5 znamená velmi malý zájem o biologii.

Na následujícím grafu č. 17 je uvedena závislost druhu odpovědi otázky č. 5 na zájmu žáků o biologii. Studenti s nejvyšším zájmem odpovídali zároveň i nejsprávněji – odpověď **a**. Pojem fototropismus zvládnou správně zařadit mezi růstové pohyby rostlin. Žáci s průměrným zájmem o biologii s hodnotou 2,47 a 2,33 zvolili odpovědi **b** a **c**. Z této volby plyne, že čím nižší zájem o biologii tím se spíše žák přiklání k volbě nesprávné odpovědi, nebo k hádání. Žáci, kteří mají průměrný zájem o biologii 3,65 zvolili odpověď **d** – Nevím.

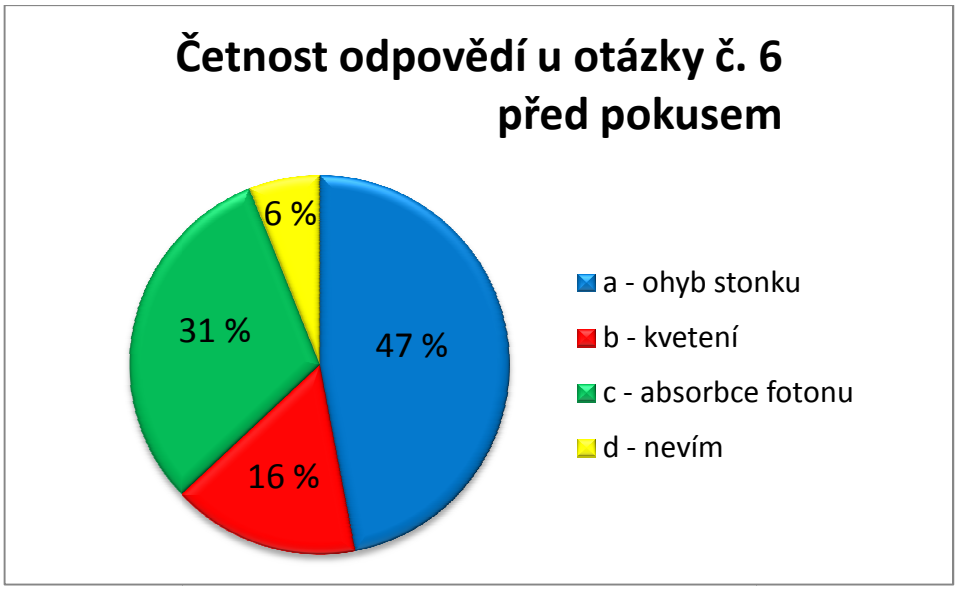


Graf 18 Četnost odpovědí u otázky č. 5 po pokusech

Po absolvovaném laboratorním cvičení již téměř všichni dotazovaní určili, jaké děje se u rostlin vyskytují v průběhu fototropismu (Graf 18).

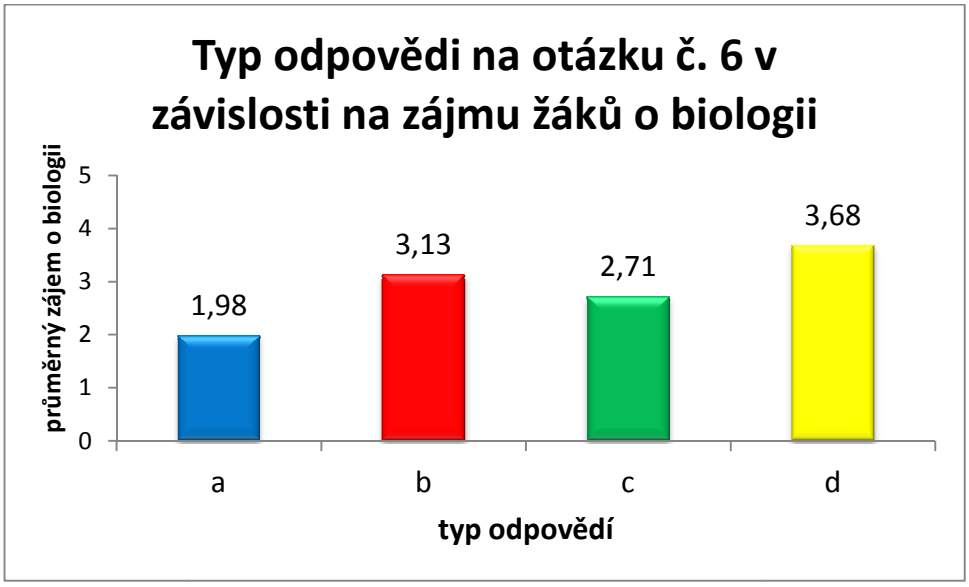
6) K čemu dochází na těle rostliny při fototropismu?

a. Buňky na opačných stranách stonku rostou různou rychlostí, což má za následek jeho ohyb.
b. Po přijetí světelného signálu, rostlina začíná kvést.
c. Dojde k zachycení fotonu chlorofylem.
d. Nevím.



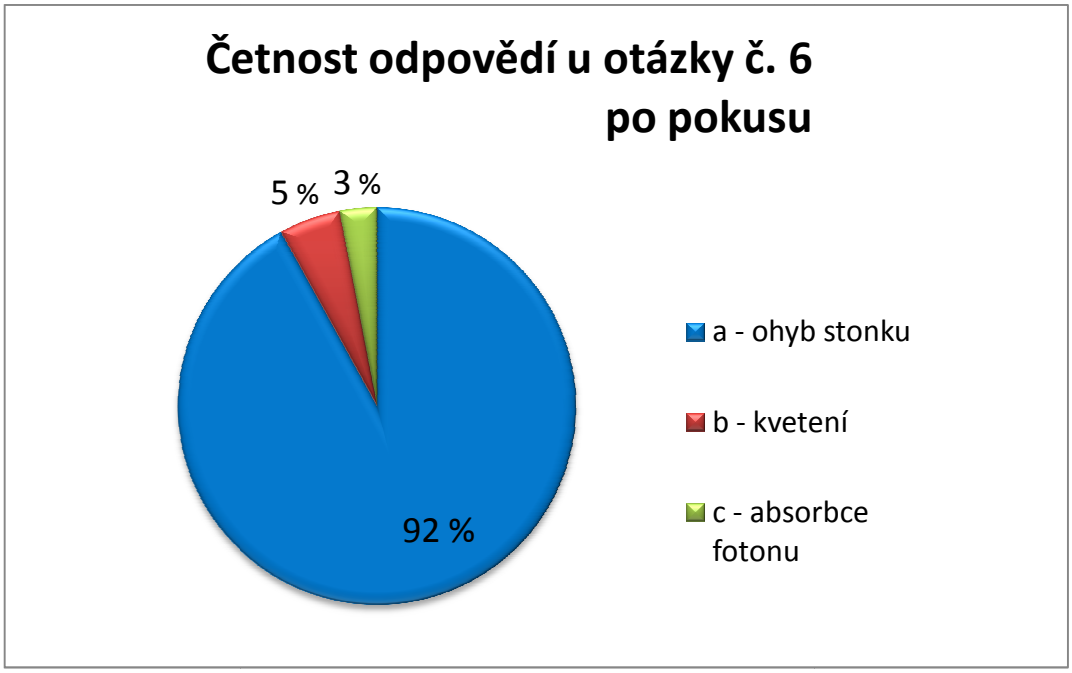
Graf 19 Četnost odpovědí u otázky č. 6 před pokusem.

Šestá otázka rozšiřovala informace o povědomí fototropických reakcí. Před pokusem téměř polovina žáků odpověděla na otázku správě. Tato skutečnost plyne ze skutečnosti, že fototropismus je na školách téměř jediná fotomorfogenetická reakce, která je učiteli zmiňována. 31 % žáků na otázku odpověděla možností c – Dojde k zachycení fotonu chlorofylem. Žáky nejspíš zmátla podobnost slov fototropismus – foton. 6 % žáků nedokázalo odpovědět.



Graf 20 Typ odpovědi na otázku č. 6 v závislosti na zájmu žáků o biologii. Průměrný zájem o biologii odpovídající stupnici 1 znamená velký zájem, stupeň 5 znamená velmi malý zájem o biologii.

Graf č. 20 vypovídá o typu odpovědi na otázku č. 6 v závislosti na zájmu žáků o biologii. Správnou odpověď **a** zaškrtli žáci s průměrným zájmem 1,62. Tato otázka zkoumala hlubší znalosti o fototropismu než otázka předchozí. Z grafu č. 20 tedy vyplývá, že vyšší zájem o biologii podporuje zatržení správné odpovědi na danou otázku. Zbylé odpovědi zatrhávali žáci převážně s nižším zájmem o biologii.



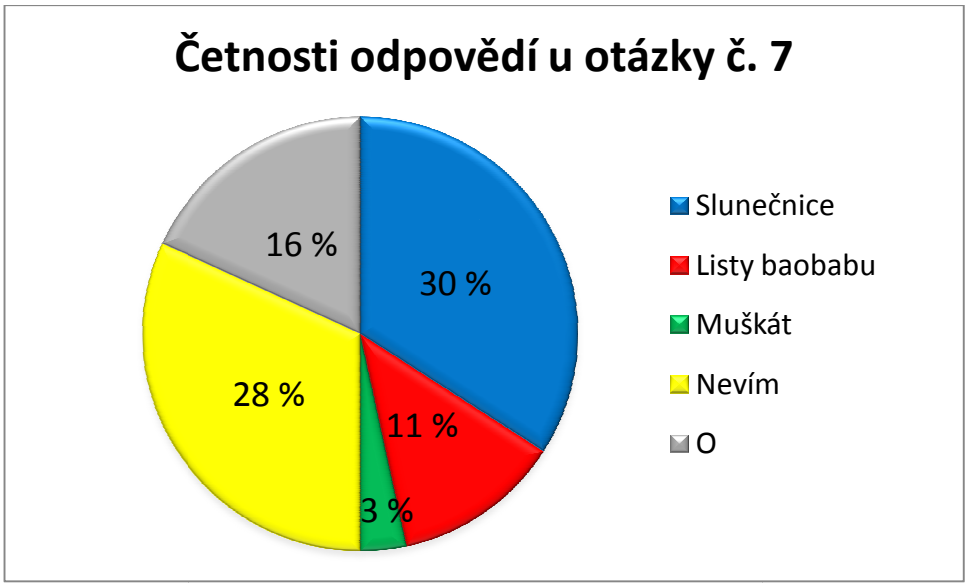
Graf 21 Četnost odpovědí u otázky č. 6 po pokusu.

Laboratorní cvičení demonstrovalo princip fototropismu v praxi a díky tomu již téměř všichni žáci odpověděli správně (Graf 21).

7) Uveďte příklad z přírody, kde můžete pozorovat fototropismus rostlin.

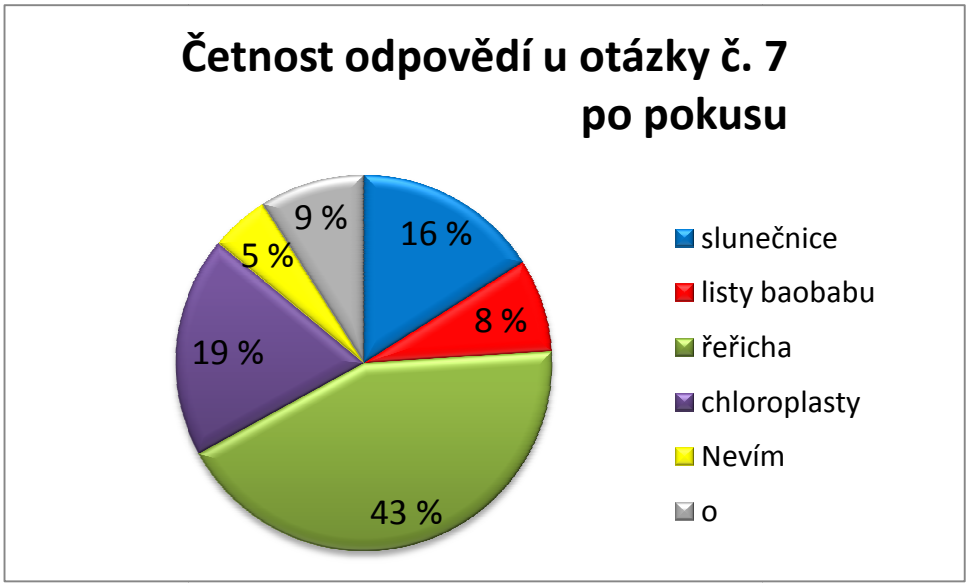
- Uveďte příklad…….
- Nevím.

Otázka č. 7 byla otevřenou otázkou dotazníku. Záměrem bylo zjistit, zda žáci zvládnou identifikovat fototropismus ve volné přírodě a jestli uvedou konkrétní příklady tohoto děje. Žáci mohli buď uvést příklad, nebo zakroužkovat možnost nevím.



Graf 22 Četnosti odpovědí u otázky č. 7.

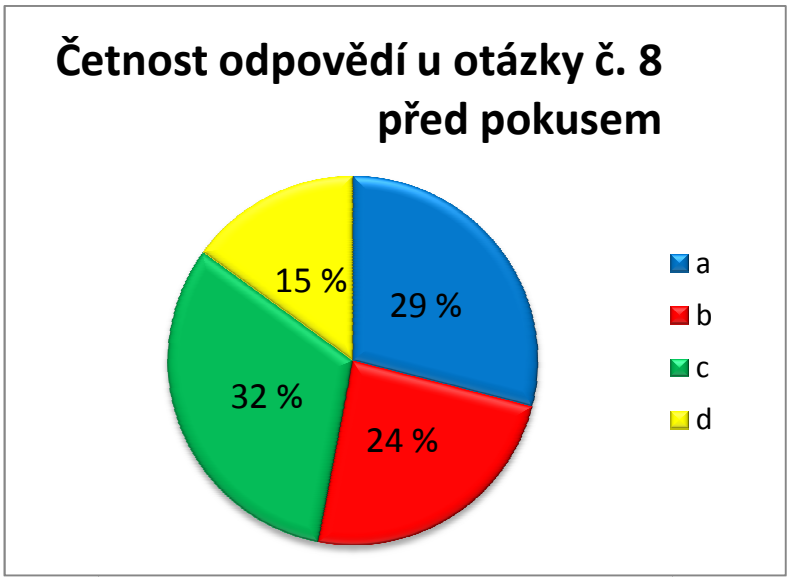
Z výsledků otázky č. 7 lze zjistit, že stále je mezi žáky nejvíce v podvědomí jako příklad fototropismu rostlin pohyb slunečnice za světlem. Tato skutečnost odpovídá i tomu, že příklad slunečnice otáčející se za světlem je široce rozšířen i mezi dospělou populací. Zároveň je tento příklad velmi rozšířen i mezi učiteli, kteří žáky vyučují. 11 % žáků si z výuky odneslo poznatek, že fototropicky aktivní jsou i listy stromu baobab. Tato informace zazněla na hodinách nedlouho před vyplněním tohoto dotazníku. Tři žáci si uvědomili pozici listů muškátu na oknech svého domu. Obtížně se zkoumá, zda to byl kolektivní nebo individuální nápad. 16 % žáků na otázku neodpovědělo.



Graf 23 Četnost odpovědí u otázky č. 7 po pokusu.

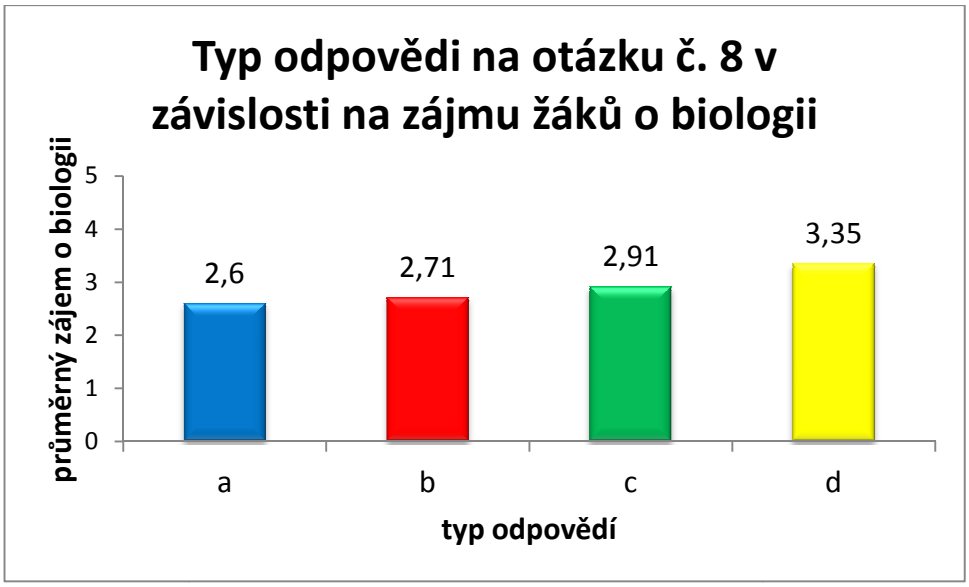
Absolvováním pokusu fototropismu rostlin se žáci dověděli, s jakými dalšími příklady se mohou v praxi setkat. Nejčastěji zmiňovali rostlinu, kterou zkoumali při pokusu – byla řeřicha 43 % a poté často zmiňovali pohyb chloroplastů v buňce při různém ozáření. 9 % žáků na otázku neodpovědělo (Graf 23).

8) Jaký vzhled těla by měla rostlina, která by vyklíčila a vyvíjela se pouze ve tmě?
   - Stejný jako při vývoji na světle.
   - Rostliny se bez světla nemohou vyvíjet.
   - <u>Měla by malou plochu listů a nažloutlou barvu.</u>
   - Nevím.



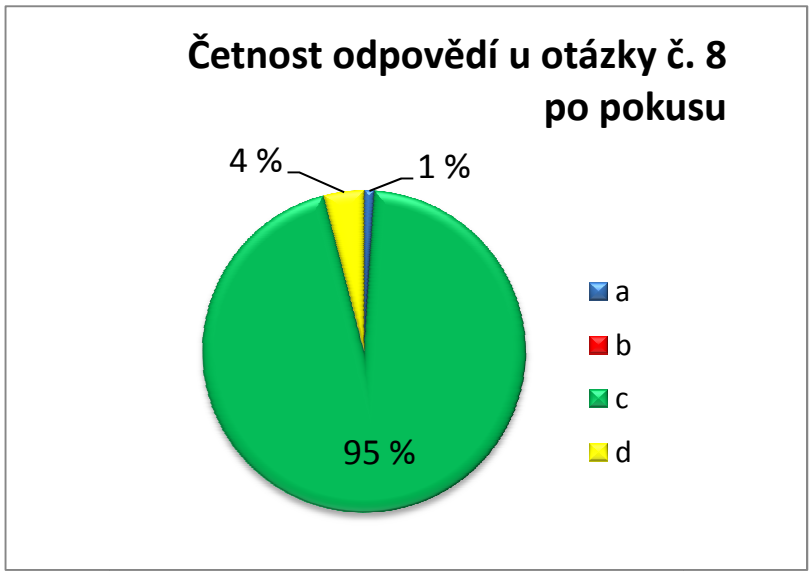
Graf 24 Četnost odpovědí u otázky č. 8 před pokusem.

Odpovědi na otázku číslo šest byly nejvíce variabilní. Tyto odpovědi dokazují, že žáci nejsou seznámeni s procesy, které v rostlině probíhají, pokud se vyvíjí ve tmě. Nejvíce odpovědí získala odpověď c), která byla správná, ale můžeme pouze spekulovat, do jaké míry šlo pouze o tipování či znalost.



Graf 25 Typ odpovědi na otázku č. 8 v závislosti na zájmu žáků o biologii. Průměrný zájem o biologii odpovídající stupnici 1 znamená velký zájem, stupeň 5 znamená velmi malý zájem o biologii.

Graf 25 vypovídá o typu odpovědi na otázku č. 8 v závislosti na zájmu žáků o biologii. Z grafu vyplývá, že žáci s nejvyšším zájmem o biologii odpovídali špatně. Žáci s průměrným zájmem 2,6 zatrhávali možnost **a**, která byla nesprávná. Správnou odpověď – **c**, zvolili žáci s průměrným zájmem 2,91. Možnost **d** - Nevím zvolili žáci s průměrným zájmem 3,35.



Graf 26 Četnost odpovědí u otázky č. 8 po pokusu.

Odpovědi se zcela změnily po absolvovaném laboratorním cvičení. Díky přímé konfrontaci s etiolizovanými rostlinami žáci odpověděli na danou otázku téměř všichni správně (Graf 26).

8. Diskuze

8.1 Zvolené metodické přístupy

Cílem mé diplomové práce bylo navržení, testování a výběr pokusů, které by ve školních podmínkách názorně a efektivně prezentovaly základní projevy fotomorfogeneze rostlin. Zabýval jsem se vytvořením pokusů, které budou demonstrativní, jednoduché, funkční, snadno opakovatelné a v přiměřené míře i finančně a materiálně nenáročné. Navrhnul jsem pokusy, kde budou mít žáci možnost vyzkoušet si základy vědecké práce jako je plánování pokusu, jeho provedení a interpretace získaných dat.

Pro lepší přehled diskutovaných témat jsem tuto kapitolu rozdělil do několika bodů.

8.2 Materiál

8.2.1 Zdroje světelného záření

V laboratorních cvičeních, která jsou navržená v této diplomové práci, se využívají umělé zdroje záření v několika případech. Ve fotomorfogenetických reakcích je potřeba na rostlinu působit zářením o poměrně úzkém rozpětí vlnových délek a proto je důležité znát fyzické vlastnosti používaných zdrojů. Často se v praxi využívá různých zářivek a výbojek, avšak tyto zdroje nedisponují ve svém vyzařovaném spektru dlouhovlnnou červenou oblast, která je pro určité fotomorfogenetické reakce nezbytná. Proto dochází ke kombinaci zdrojů záření. Dříve se k dosažení potřebné vlnové délce využívalo nejrůznějších filtrů. Tyto filtry se pro zde předvedené pokusy ukázaly jako značně nevhodné, protože se při hlubším zkoumání ukázaly jako nedostatečně selektivní. Na problémy s nejrůznějšími běžně dostupnými filtry již poukázala ve své práci Blažová, 2010. Pro své pokusy jsem využíval LED diody (light – emitting diod). Oproti klasickým žárovkám se ukázaly být značně výhodnější. Hlavní výhoda je emitace jedné vlnové délky – to je dosaženou svou samotnou technologickou podstatou. Odpadá tak náročná filtrace záření, kdy filtr nemusí zachytit veškeré záření a dojde tak k znehodnocení výsledku, protože rostliny reagují již na velmi malou dávku ozáření. Dále je to oproti klasické žárovce nízká spotřeba energie, velmi vysoká životnost a vysoká účinnost,

tedy že produkují více světla na watt energie než např. žárovky s tavným vláknem. Jedna z výhod použití LED diod je také v tom, že LED diodové žárovky nevyzařují téměř žádné teplo, takže je možné i velmi blízké použití diody k rostlině bez potřeby odstínění přicházejícího tepla. Důležitý je také fakt, že z legislativních důvodů se do budoucna jeví zisk nových klasických žárovek s tavným vláknem jako značně obtížný. Jedna z nevýhod LED diod je jejich obtížná emitace tzv. bílého světla. Klasická žárovka produkuje záření ve všech vlnových délkách rozžhavením svého vlákna. Vjem bílého světla vzniká skládáním různých vlnových délek. Pokud tedy LED dioda může emitovat pouze určitou vlnovou délku, tvorba vjemu bílého světla může být problém. Toto se řeší dvěma varianty. První metodou je kombinace světla ze tří složek: červené, zelené a modré (RGB). Pokud jsou tyto zdroje dostatečně blízko, složky se promíchají a vyvolají výsledný vjem bílé barvy. Druhá metoda využívá modrou nebo ultrafialovou LED diodu v kombinaci s luminoforem, který je obvykle zabudován do materiálu průsvitného pouzdra součástky z epoxidové pryskyřice. Modré záření excituje elektrony ve fluorescenčním materiálu luminoforu do vyšších energetických hladin, které mají dobu života několik nanosekund. Vlivem elektron-fononových interakcí v excitovaných stavech mají emitované elektrony menší energii než modré světelné záření, které bylo absorbováno. Tento jev je známý jako Stokesův posun. Nejčastěji používaným materiálem luminoforu je $Y_3Al_5O_{12}:Ce_3^+$ neboli zkráceně YAG:Ce, který má široké emisní spektrum ve žluté oblasti. Smícháním žluté a modré složky vznikne vjem bílého světla. Tyto diody sice umožňují vjem bílé barvy, ale složením vlnových délek v záření mohou ovlivnit výsledky určitých pokusů. Z těchto technologických důvodů doporučuji pro pokusy, kde nerozhoduje přímá vizualizace barvy záření, používat klasické žárovky s tavným vláknem, nebo přirozené sluneční záření.

8.3 Experimenty

Cílem diplomové práce byl vývoj experimentů pro střední školy. Všechny experimenty vznikaly podle mých návrhů, když jsem se nechal volně inspirovat v přírodě, nebo ve vědecké literatuře. Hlavní kritérium byla proveditelnost experimentů ve školních podmínkách. Pro demonstraci fotomorfogenetických reakcí se školní podmínky neukázaly jako překážka (viz výsledek dotazníkového štření) a vývoj pokusů tak mohl být úspěšný.

Prvním krokem bylo objevení ideálního rostlinného materiálu, který by vytvářel patřičné odezvy a zároveň je vytvářel v dostatečně krátkém čase. Čas se nakonec ve školní praxi ukázal jako limitující podmínka všech experimentů. Jako ideální rostlinný materiál byla nakonec určena řeřicha setá (*lepidum sativum L.*) a fazol obecný (*Phaseolus vulgaris L.*). Tyto rostliny měly ze všech navrhovaných nejkratší dobu kultivace i reakční dobu při samotném experimentu. Taktéž jejich semena jsou snadno a finančně dobře dostupné.

Uspořádání prvního experimentu jednoduše demonstruje, jakou část světelného spektra rostlina využívá pro své fototropické reakce. Pokus byl opakován celkem pětkrát a vždy se podařilo dosáhnout očekávaného výsledku. Tedy že rostliny si vždy vybraly zdroj modrého světelného záření jako bod, vůči kterému vytvoří patřičnou odezvu. Naopak ostatní zdroje, které vyzařovaly jinou barvou než modrou, rostliny neakceptovaly. Tím se dokázalo, že absorpční maximum fotoreceptoru fototropinu leží v oblasti modré složky světelného záření a rostlina své fototropické reakce nemůže nahradit jiným fotoreceptorem, který by reagoval na jinou vlnovou délku světelného záření (Takemiya, 2005). Mírný ohyb stonku byl zaznamenán i u ostatních vlnových délek, avšak tento ohyb přisuzuji vlivu přicházejícího záření z okolí. Vhodným výběrem rostlinného materiálu je také zachováno časové kritérium. Řeřicha setá vytvoří pozorovatelnou odezvu již po 20 minutách a při ozáření 80 minutami, dojde ke změně ohybu stonku větší než 45°. Na základě úspěšnosti tohoto experimentu byly vypracovány výukové materiály, které zajistí jak teoretické zázemí pro žáky, tak i protokol k vypracování pokusu a jeho shrnutí.

Druhý experiment byl vymyšlen jako opak k experimentu prvnímu. Zatímco u prvního experimentu se rostlina snaží získat ze světelného zdroje maximum, v druhém se z jeho dosahu snaží uniknout. Při druhém pokusu se tak žáci seznámí s negativním fototropismem kořenů řeřichy seté. Očekávaným výstupem byl růst kořenů směrem od zdroje světelného záření. Naprostá většina rostlinných druhů má směr růstu svých kořenů značně fototropicky negativní (Wang, 2002). Vytvořil jsem tedy pokus tak, aby byl růst kořenů vizuálně snadno detekovatelný, ale zároveň aby jeho růstu nic nebránilo. Rostliny jsem nechal vyklíčit na úzkém pruhu buničiny tak, aby nastalo jejich zafixování v Petriho misce. Po vyklíčení jsem udržoval hladinu vody stále nad kořeny rostlin. Kořeny nemohly růst po směru gravitace, tím byl minimalizován vliv gravitropismu. Kořeny tak mohly růst do pouze stran. Zde se ukázal vliv fototropismu, který směřoval růst kořenů od zdroje světelného záření. Pro zachování co nejnižší míry náročnosti, jsem použil přirozené sluneční záření. Po několika pokusech v těsné blízkosti okna se ukázalo, že v tomto místě se okno nejeví jako bodový zdroj záření a proto

pokusy musí probíhat dále v místnosti, kde je pro rostlinu okno již bodový zdroj světelného záření.

Pokus byl opakován celkem pětkrát a vždy došlo k očekávanému výsledku – kořeny rostly směrem od zdroje světelného záření. Z padesáti zkoumaných rostlin směřovaly svůj kořen směrem ke zdroji záření čtyři rostliny. Tento směr růstu nejspíš vzniká při prorůstání kořene buničinou. Ta kladla kořenové čepičce odpor, který vede k vychýlení růstu kořene do pozitivního směru. Pokus tak splňoval podmínky funkčnosti a spolehlivosti a tak k němu byly vypracovány výukové materiály, které zajistí jak teoretické zázemí pro žáky, tak i protokol k vypracování pokusu a jeho shrnutí.

Poslední experiment se zabývá vývojem rostliny ve tmě. Díky experimentu žáci objasní, jak se rostlinné tělo vyvíjí za různých světelných podmínek. Během experimentu se kultivovaly dvě rostlinné sady. Jako rostlinný materiál byl zvolen fazol obecný. Jedna sada se kultivovala v prostředí bez světelného ozáření, druhá rostla jako kontrola na přirozeně ozářeném místě. Délka pokusu byla 21 dní, za které se dosáhlo očekávaných výstupů. Rostlinám rostoucím ve tmě se navodil typicky etiolizovaný vzhled. Oproti kontrolní sadě, měla sada rostoucí ve tmě prodloužená internodia, zmenšenou délku listové čepele i její plochu. Byla dosažena i nažloutlá barvy typická pro etiolizované rostliny. Tento experiment byl zopakován třikrát, pokaždé se u rostlin rostoucí ve tmě podařilo navodit skotomorfogenezi. Pokus tak prokázal svojí spolehlivost a byl vybrán pro vypracování výukových materiálů.

8.4 Protokoly pro výuku fyziologie rostlin

Použití vytvořených protokolů ve školní praxi významně rozšiřuje teoretické znalosti a pozitivně tak ovlivňuje zájem žáků o dané učivo (Bossert, 2012). Zvýšeným zájmem o daný předmět žáci dosahují lepších výsledků (Freedman, 1997). Pro aktivní výuku se též vyslovuje Randler (2008), když porovnává tradiční frontální výuku s výukou doplněnou laboratorními praktiky. Z jeho výsledků vyplývá, že pouhá frontální výuka nikdy nedosáhne tak vysokého stupně upevnění učiva, jako výuka s laboratorními praktiky. Je proto více než vhodné praktická cvičení do výuky stále více zařazovat. Pro učitele je však důležitá i dostupnost těchto materiálů. Bohužel z praxe mohu říct, že větší množství těchto materiálů volně k dispozici není. Jisté množství protokolů, či návrhů na laboratorní cvičení se nacházejí v učebnicích. Postup laboratorních prací ovšem musí být pečlivě popsán tak, aby žáci vždy

došli k cílenému výsledku (Sorgo, 2006). Ne vždy jsou ale cvičení dostatečně kvalitně popsána, nebo svým tématem nezapadají do kompozice výuky. Ani současný český největší internetový server, Metodický portál RVP, který poskytuje recenzované náměty pro laboratorní cvičení, nabízí k tématu fyziologie rostlin pouze jediný návod na laboratorní cvičení. V současnosti Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze (PřF UK) zpřístupnila server pro učitele na www.prirodovedci.cz, kde jsou přístupné různé praktické výukové materiály vytvořené na PřF UK. Výukové materiály vypracované v rámci této diplomové práce budou předpokládaně zpřístupněny i na tomto serveru.

Lepší situace je na zahraničních internetových severech, kde je možné návody na laboratorní cvičení vyhledat (např. http://www.saps.org.uk/, http://www.biologycorner.com/). Protokoly pro taková cvičení jsou členěny stejným způsobem, na který jsme zvyklí z České republiky. Obsahují informační zázemí, postup práce, její vyhodnocení i závěr. Bohužel i v zahraniční literatuře se setkáme s laboratorními prácemi na téma fotomorfogeneze rostlin výjimečně (např. http://www.saps.org.uk/secondary/teaching-resources/185-student-sheet-8-the-response-of-seedlings-to-light-phototropism-experiment).

8.5 Dotazník

Pokud chceme zavádět nové pokusy a přístupy k vědě do školní praxe, je vhodné, abychom se zajímali o to, zda budou žákům přínosem. Jeden z cílů této práce je zavedení nového tématu do předmětu biologie. Pro tvorbu výukových materiálů a pokusů samotných bylo nejprve důležité zjistit, jaké informace již žáci o tématu mají a umí je použít, nebo zda se o něm chtějí něco nového dozvědět. Nejjednodušší způsob získání těchto poznatků od většího množství žáků, je požádat je o vyplnění dotazníku.

8.5.1 Dotazník č. 1 - Materiální zabezpečení škol

Dotazníkovým šetřením bylo zjištěno, že většina škol využívá pro biologická laboratorní cvičení specializované třídy. Pro provedení mnou navržených pokusů je specializovaná třída výhodou, ale není podmínkou. Pro provedení prvního experimentu je však podmínkou použití LED diodových zdrojů světelného záření, protože použití filtrů u klasických žárovek je nedostatečné (Blažová, 2010). Většina učitelů uvedla, že na nákup těchto zdrojů světelného záření finance mají finanční prostředky z běžného rozpočtu. V odůvodněných případech může na materiální zabezpečení žákovské experimentální činnosti přispět i Školní rada.

8.5.2 Dotazník č. 2 – Protokoly

Tímto dotazníkem učitelé hodnotily mnou vytvořené výukové materiály. Většina učitelů uvedla, že téma fotomorfogenze je atraktivní a vytvořená laboratorní cvičení ve své praxi použijí. Žádný učitel neměl se sestavováním aparatury problém a všichni uvedli, že návody na provedení pokusů jsou dostatečně srozumitelné. Z dotazníku vyplynulo, že někteří učitelé ve výukových materiálech postrádají informační zázemí pro žáky. Tato skutečnost vedla k přepracování výukových materiálů. Výukové materiály se pro žáky rozšířily o informační zázemí, ve kterém naleznou informace o fotomorfogenezi rostlin.

8.5.3 Dotazník č. 3 – Fotomorfogeneze roslin

Dotazník obsahoval základní znalostní otázky o procesech fotomorfogeneze rostlin. Na otázku, která zkoumala, zda žáci mají povědomí o termínu fotomorfogeneze, odpověděli kladně pouze 2 žáci z celkových 88. Toto zjištění odpovídá i analýze učebnic a jednotlivých ŠVP, kde ani v jednom případě termín fotomorfogeneze uvedený není.

Z dotazníku jasně vyplynulo, že jediné povědomí o fotomorfogenetických reakcích, mají žáci v tématu fototropismus. Tato skutečnost koresponduje s výsledky analýzy středoškolských učebnic. Žáci sice termín fototropismus slyšeli, což dokládá téměř 60 % kladných odpovědí. Ovšem na otázku, která zjišťovala stav vědomostí o fototropismu, už odpověděla správě pouze necelá polovina dotazovaných. Fototropismus z praxe též žáci znají pouze u příkladu slunečnice. Tato bohužel téměř jediná znalost je poměrně rozšířená i mezi dospělou populací. Další otázka zkoumala, jaký vzhled bude mít rostlina vyvíjející se ve tmě. Odpovědi na tuto otázku byly velmi variabilní. Sice správná odpověď získala největší množství zaškrtnutých odpovědí, ale v celkovém množství pouze 32 %. Zbylé otázky měli počet odpovědí přibližně stejný. To značí, že procesy skotomorfogeneze nejsou dostatečně známy.

Dotazník též hodnotil typ odpovědí v závislosti na zájmu žáků o biologii. Zjistilo se, že biologie nepatří mezi oblíbené předměty. Z dotazníku jasně vyplynulo, že správné odpovědi se mohou očekávat od žáků s vyšší oblíbeností biologie. Žáci, kteří označili svůj vztah k biologii jako nízký, odpovídali většinou nesprávně nebo volili možnost Nevím. Z těchto skutečností vyplývá, že zvyšováním zájmu o daný předmět se docílí lepších vědomostních výsledků mezi žáky.

Stejný dotazník jsem nechal vyplnit ještě jednou po absolvování laboratorních pokusů. Druhý dotazník vyšel již mnohem lépe. U každé otázky se projevilo velké zlepšení v počtu správných odpovědí. Špatně zodpovězené otázky se nejspíš vyskytovali u žáků, kteří nebyli u experimentů přítomni, nebo těmto pokusům nevěnovali žádnou pozornost. Toto zlepšení prokázalo vhodné využití laboratorních pokusů ve školní praxi.

8.6 Možnosti využití vypracovaných materiálů ve školní praxi

V části, která se týká současných školských kurikulárních dokumentů, bylo již zmíněno, že fotomorfogeneze rostlin spadá z hlediska RVP do vzdělávací oblasti Člověk a příroda a v oboru Biologie je obsažena ve vzdělávacím obsahu Biologie rostlin. V současné době již všechny školy učí podle svých ŠVP, zpracovaných podle požadavků RVP G. Bohužel díky tomu nejde přesně říci, ve kterém ročníku ani v jaké šíři se bude fyziologie rostlin vyučovat. Dříve bylo běžné, že na gymnáziích se fyziologie rostlin vyučovala již v prvním ročníku a z mého průzkumu řady gymnaziálních ŠVP vyplývá, že tento trend pokračuje i dnes. Zde se učitelé setkávají s obtíží, neboť musí vyučovat poměrně složitější fyziologické a molekulární děje, aniž by žáci měli již osvojeny základy z molekulární biologie. Tudíž dochází k značnému zjednodušení probírané látky. Nebývají realizované žádné pokusy, čímž se odráží malý zájem žáků o tuto problematiku. Proto je nutné, aby byla celková výuka fyziologie rostlin zatraktivněna. Zde se otevírá cesta pro použití mnou navrhovaných pokusů. Studie Schussler et al., 2008, potvrzuje, že pokud byli v dotazníku vysokoškolští studenti požádání o vybavení si jakéhokoliv organismu, tak si přednostně vybavují zvířata spíše než rostliny.

Lze tedy doufat, že zavedení ŠVP do školní praxe tuto překážku vyřešilo a školy si své učební plány navrhly tak, aby vedly k vhodné synchronizovanosti učebních oborů vzdělávací oblasti Člověk a příroda. V rámci této diplomové práce byly vypracovány materiály jak pro žáky, tak i pro učitele, které mají potenciál výuku fyziologie rostlin zatraktivnit a žáci i učitelé budou této problematice věnovat více času. Princip fotomorfogenze je možný zkoumat na více úrovních a různými metodami – od základů molekulárních dějů až po vliv na celkový ekosystém. Je důležité, aby si žáci uvědomili celkový rozsah těchto rostlinných dějů, které provázejí nejen rostlinu celým životem, ale také k životu slouží všem živočichům včetně člověka. Z vlastní zkušenosti mohu tvrdit, že žáci mají o těchto dějích jen velmi malé povědomí. Proto je hlavním výstupem těchto materiálů podpora a rozvíjení principů vědecké práce, které u žáků prohloubí zájem o tuto tématiku.

8.7 Význam pochopení konceptu fotomorfogeneze

Zatím co o fotosyntéze slyšel téměř každý žák, povědomí o fotomorfogenzi rostlin již natolik rozšířené není. Většina žáků dokáže minimálně napsat rovnici fotosyntézy, ale jaké děje se v rostlině odehrávají, aby byla vůbec fotosyntéza umožněna, si neuvědomují. Při řešení této diplomové práce jsem si často kladl otázku: zda si žáci uvědomí procesy fotomorfogeneze v širších souvislostech. V povědomí žáků zůstávají nejčastěji rostlinné pohyby a to především fototropismus. Bohužel z příkladů tohoto děje vyjmenují z největší pravděpodobností pohyby slunečnice za sluncem. Tento fakt je podpořen tím, že se středoškolské učebnice těmito ději nezabývají a nevrací se k nim ani učitelé. Přitom jsou pro celosvětový ekosystém stejně důležité jako fotosyntéza. Bez fotomorfogenetických reakcí by se v rostlině nesyntetizoval fotosyntetický aparát, a ani by nedocházelo k vývoji typického rostlinného těla. Málo žáků si uvědomuje důležitého spojení fotomorfogenze, fotosyntézy a respirace, což jsou základní procesy v globálním měřítku. Fotosyntéza na fotomorfogenezi přímo navazuje a zajišťuje tak tok uhlíku a kyslíku. Energie, která vzniká při fotosyntéze je poté využívána ve fotomorfogenetických procesech.

8.8 Závěr diskuze

Zde předložená diplomová práce se zaměřuje na tvorbu experimentů a vypracování výukových materiálů, které rozšiřují a doplňují výuku k tématu fotomorfogeneze rostlin na středních školách. Vypracované výukové materiály byly po prověření na pilotních školách dopracovány na základě zpětné vazby.

V současné době se materiály začleňují do katalogů elektronického metodického portálu RVP, kde se podrobují zkoumáním širší základny pedagogů. Zde budou sloužit volně k inspiraci celé české pedagogické společnosti. Výukové materiály vypracované v rámci této diplmové práce budou předpokládaně zpřístupněny i na servru PřF UK pro učitele na www.prirodovedci.cz.

Doufám, že se moje práce stane inspirací a zdrojem informací těm, kteří aktivně vyučují biologii a mohou zde získané informace předávat dál. Doufám, že má práce přispěje k pochopení fotomorfogenetických procesů rostlin u širší veřejnosti a bude zařazena do výukového procesu na středních školách.

9. Závěry

1) Byly navrženy, ověřeny a finalizovány tři různé experimenty, které v praxi demonstrují fotomorfogenetické reakce rostlin. Na základě spolehlivosti a opakovatelnosti byly pro tvorbu výukových materiálů vybrány všechny tři pokusy.

2) K vybraným pokusům byly vytvořeny výukové materiály – návody pro žáky a shrnutí pro učitele. Dále byla vypracována sada příloh s popisem doplňujících metodických přístupů a návodu pro zpracování dat.

3) Ve spolupráci s pilotními školami byly tyto materiály v praxi ověřeny a na základě zpětné vazbě byly dopracovány. Pokusy jsem ve školní praxi prezentoval osobně a tyto zkušenosti sloužily pro zkvalitnění výukových materiálů.

10. Seznam použité literatury

1) Ahmad, M. Cashmore, A. 1993. Hy4 gene of Arabidopsis thaliana encodes a protein with charakteristic of a blue – light photoreceptors. Nature, 366, 162 – 166.

2) Albrechtová, J. Kubínová Z. 1999. Stereology in plant Anatomy. Učebnice dorpvodného kurzu konference S4G v Praze.

3) Albrechtová, J. Kubínová, Z. et al. 2013. Chapter 5. Image Analysis: Basic Procedures for Description of Plant Structures on Anatomical Sections. In Plant Cell Morphogenesis, Methods and Protocols. Humana Press. In press.

4) Azari et al., 2010. Light signaling genes and their manipulation towards modulation of phytonutrient content in tomato fruits. Biotechnology, 28, 108 – 118.

5) Briggs, W. Olney, M. 2001. Photoreceptors in Plant Photomorphogenesis to Date. Five Phytochromes, Two Cryptochromes, One Phototropin and One Superchrome. Plant Physiology, 125, 85 – 88.

6) Ballaré, C. 1999. Keep up with the neighbours: phytochrome sensing and signalling mechanism. Trends Plant Science, 4, 201 - 201.

7) Beronda L. 2012. Phytochrome in photobiological pathways. Plant physiology. 158, 1265 – 1281.

8) Bossert, P. 2012. How to use Hydra as a model systém to teach biology in the classroom. International journal of developmental biology, 56, 637 – 652.

9) Brodribb, T. Internal coordination between hydraulics and stomatal control in leaves. Plant, Cell and Environment 2008;31:1557-1564.

10) Casal, J. Sanchez R. Yanovsky M. 1997. The function of phytochrome A. Plant, Cell & Environment, 20, 813–819.

11) Casal, J. 1996. Phytochrome A enhances the promotion of hypocotyl growth caused by reductions of phytochrome B Pfr levels in light-grown Arabidopsis thaliana, Plant Physiology, 112, 965–973.

12) Casal, J. 2000. Two photobiological pathways of phytochrome A activity, only one of which shows dominant negative suppression by phytochrome B. Photochemistry and photobiology. 71, 481 – 486.

13) Casal, J. 2013. Photoreceptor Signaling Networks in Plant Responses to Shade. Annual review of plant biology, 64, 403 – 427.

14) Castillon, A. Shen, H. Huq, E. 2007. Phytochrome interacting factors: central players in phytochrome-mediated light signaling networks. Trends Plant Science, 12, 514 - 521.

15) Celaya, B. Liscum, E. 2005. Phototropins and associated signaling: Providing the power of movement to higher plants. Photochemistry and Photobiology, 81, 73-80.

16) Chao, D. 2012. The trick plants use to reach appropriate light. Science China – life science, 53, 916 – 926.

17) Darwin, Ch. 1880. The Power in Movement in Plants. D. Appleton company. New York.

18) Devlin, P. Patel, S. Whitelam, G. 1998. Phytochrome E influences internou elongation and flowering time in Arabidopsis. Plant Cell, 10, 1479–1487.

19) Franklin, K. 2003. Phytochromes B, D, and E Act Redundantly to Control Multiple Physiological Responses in Arabidopsis. Plant Physiology, 131, 1340 – 1346.

20) Franklin, K. a Quail, P. 2009. Phytochrome functions in Arabidopsis development. Journal of Experimental Botany, 61, 11 – 24.

21) Gibson, L. A laboratoř exercise for teaching plant interference and relative growth rate concepts. Weed technology, 17, 394 – 402.

22) Gruszka, D. 2013 The Brassinosteroid Signaling Pathway-New Key Players and Interconnections with Other Signaling Networks Crucial for Plant Development and Stress Tolerance. International journal of molecular science, 14 8740 – 8774.

23) Hecht, V. 2007. Pea LATE BLOOMER1 Is a GIGANTEA Ortholog with Roles in Photoperiodic Flowering, Deetiolation, and Transcriptional Regulation of Circadian Clock Gene Homologs. Plant Physiology, 144, 648 – 661.

24) Hertel, R. 1980. Photoreception and Sensory Transduction in Aneural Organism. Plenum, New York. 89.

25) Hora, M. 2013. Exploring the role of instructional technology in course planning and classroom teaching: implications for pedagogice reform. Journal of computing in higher education. 25, 68 – 92.

26) Hughes, J. 2013. Phytochrome cytoplasmic signaling. Annual Review of Plant Biology, 64, 377 – 402.

27) Chatterjee, M. 2006. Cryptochrome 1 from Brassica napus Is Up-Regulated by Blue Light and Controls Hypocotyl/Stem Growth and Anthocyanin Accumulation. Plant Physiology, 141, 61 -74.

28) Chaves, I. 2011. The cryptochromes: Blue light photoreceptors in plants and animals. Annual review of plant biology, 64, 335 – 364.

29) Inoue, S. 2010. Phototropin signaling and stomata opening as a model case. Curent opinion in plant physiology, 13, 587 – 593.

30) Janoudi, A. 1997. Both phytochrome A and phytochrome B are required for the normal expression of phototropism in Arabidopsis thaliana seedlings. Physiologia planetarum. 101, 278 – 282.

31) Koblihová, K. 2012. GM plodiny v přípravě nových potravin, farmak a technických materiálů: inovace gymnaziálního učiva. Praha, Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze.

32) Kutschera, U. 2009. Evolutionary plant physiology: Charles Darwin´s forgotten synthesis. Naturwissenschaften, 96, 1339 – 1354.

33) Lin, C. Shalitin, D. 2003. Cryptochrome structure and signal transduction. Annual Review of Plant Biology, 54, 469–496.

34) Lin, C. Shalitin, D. 2003. Cryptochrome structure and signal transduction. Annu Rev Plant Biology, 54, 469–496

35) Lin, C. Todo, T. 2005. The cryptochromes. Genome Biology, 6, 220 – 228.

36) Liscum et al. 2003. Blue Light Signaling through the Cryptochromes and Phototropins. So That´s What the Blues Is All About. Plant Physiology, 133, 1429 – 1436.

37) Liscum, E. Brigs, W. 1995. Mutations in the NPH1 locus of Arabidopsis disrupt the perception of phototropic stimuli. Plant Cell, 7, 473.

38) Liscum, E. Stowe – Evans, E. 2000. Phototropism: A „simple“ physiological response modulated by multiple interacting photosensory – response pathways. Photochemistry and photobiology, 72, 273 – 282.

39) Loreto F. The impact of blue light on leaf mesophyll conductance. Journal of Experimental Botany 2009;60:2283-2290.

40) Lozano, J. 2011. Nitric Oxide Regulates DELLA Content and *PIF* Expression to Promote Photomorphogenesis in Arabidopsis. Plant physiology. 156, 1410 – 1423.

41) Mathews, S. 2010. Evolutionary Studies Illuminate the Structural – Functional Model of Plant Phytochromes. The Plant Cell, 22, 4 – 16.

42) Mizoguchi, T. Wright, L. Fujiwara, S. et al. 2005. Distinct roles of GIGANTEA in promoting flowering and regulating circadian rhythms in Arabidopsis. The Plant Cell, 17, 2255–2270.

43) Nagy F, Schäfer E. 2002. Phytochromes control photomorphogenesis by differentially regulated, interacting signaling pathways in higher plants. Annu Rev Plant Biology, 53, 329–355.

44) Osugi, A. 2011. Molecular dissection of the role sof phytochrome in photoperiodic flowering in rice. Plant physiology. 157, 1128 – 1137.

45) Palagyi, A. 2010. Functional Analysis of Amino-Terminal Domains of the Photoreceptor Phytochrome B. Plant physiology. 153, 1834 – 1845.

46) Palmer, J. Short, T. Briggs, W. 1993. Correlation of blue light – induced phosphorylation to phototropism in zea – mays. Plant physiology. 102, 1219 – 1225.

47) Parks, B. 2003. The red side of photomorphogenesis. Plant Physiology, 133, 1437 – 1444.

48) Patrice, G. 2010. Physiological and Genetic Characterization of End-of-Day Far-Red Light Response in Maize Seedlings. Plant physiology. 154, 137 – 186.

49) Pavlová, L. 2002. Fotomorfogenese I. Kryptochromy a fototropin. Biologické listy, 67, 195 – 205.

50) Pavlová, L. 2002. Fotomofogenese II. Fytochromy. Biologické listy, 67, 207 – 224.

51) Pilliteri, J. Torii, K. 2012. Mechanism of stomatal Development. Annual review of plant biology, 63, 591 – 614.

52) Platten, J. 2005. Cryptochrome 1 Contributes to Blue-Light Sensing in Pea. Plant Physiology, 139, 1472 – 1482.

53) Procháza a kol, 1998. Fyziologie rostlin. Academia Praha. 484.

54) Psota, V. Šebánek, J. 1999. Za tajemstvím růstu rostlin. Scientia. 187.

55) Rakitin, V. 2008. UV-B Stress-Induced ABA Production in Arabidopsis thaliana Mutants Defective in Ethylene Signal Transduction Pathway. Russian journal of plant physiology, 55, 854 – 856.

56) Ramani, S. 2007. UV-B-induced signaling events leading to enhanced-production of catharanthine in Catharanthus roseus cell suspension cultures. BMC plant biology. 61, 164 – 176.

57) Randler, CH. 2008. Block Schedule versus traditional biology teaching – an educational experiment using the water lily. Instructional science, 36, 17 – 25.

58) Reed, J. Nagpal, P. Poole, D. Furuya, M. Chory, J. 1993. Mutations in the gene for the red/far-red light receptor phytochrome B alter cell elongation and physiological responses throughout Arabidopsis development. Plant Cell, 5, 147–157.

59) Rivera, A. 2012. Blue-light-receptive cryptochrome is expressed in a sponge eye lacking neurons and opsin. The journal of experimental biology, 215, 1278 – 1286.

60) Sakamoto K, Nagatani A. 1996. Nuclear localization activity of phytochrome B. Plant Journal, 10, 859–868.

61) Savestrand, H. 2004. Ultraviolet-B signalling: Arabidopsis brassinosteroid mutants are defective in UV-B regulated defence gene expression. Plant physiology and biochemistry, 42, 687 – 694.

62) Shimazaki, K. 2007. Light mediation of stomatal movement. Plant biology, 58, 219 – 248.

63) Schäfer E, Nagy F, eds. 2006. Photomorphogenesis in plants and bacteria, 3rd edn. Dordrecht, The Netherlands: Springer.

64) Smith H, Whitelam G. 1997. The shade avoidance syndrome: multiple responses mediated by multiple phytochromes. Plant, Cell & Environment, 20, 840–844.

65) Sorgo, A. 2006. Demonstration of biological processes in lakes and fishpond through computerised laboratory practice. International journal of engineering education, 22, 1224 – 1230.

66) Suesslin, C. 2009. An arabidopsis mutant defective in UV-B light – mediated responses. Plant journal, 47, 581 – 591.

67) Suetsugu, N. 2013. Evolution of Three LOV Blue Light Receptor Families in Green Plants and Photosynthetic Stramenopiles: Phototropin, ZTL/FKF1/LKP2 and Aureochrome. Plant and cell physiology, 54, 8 – 23.

68) Taiz, L. Zeiger, E. 2006. Plant Physiology. Sinauer Associates. Inc. Sunderland, USA, 690.

69) Takano, M. et al., 2009. Phytochromes are the sole photoreceptors for perceiving red/far-red light in rice. Plant Biology, 106, 14705 – 14710.

70) Takemiya, A. 2005. Phototropins Promote Plant Growth in Response to Blue Light in Low Light Environments. Plant Cell, 17, 1120 – 1127.

71) Thomas, B. 2006. Light signals and flowering. Journal of Experimental Botany, 57, 3387 - 3393.

72) Thomas, B. Carre´, I. Jackson, S. 2006. Photoperiodism and flowering. In: Jordan BR, ed. The molecular biology and biotechnology of flowering, 2nd edn. CAB International, 3–25.

73) Valverde, F. et al. 2004. Photoreceptor regulation of CONSTANS protein in photoperiodic flowering. Science, 303, 1003–1006.

74) Wang, F. et al. 2010. Phytochrome B Is Involved in Mediating Red Light-Induced Stomatal Opening in Arabidopsis thaliana. Molecular plant, 3, 246 – 259.

75) Wang, Z. 2002. Negative phototropism of rice root and its influencing factors. Science in China, 45, 485 – 496.

76) Wang, Z. 2012. Brassinosteroid Signaling Network and Regulation of Photomorphogenesis. Annual review of genetics, 46, 701 – 724.

77) Watters, M. Langdale, J. 2009. The making of a chloroplast. The EMBO journal, 28, 2861 – 2873.

78) Weller et al. 2004. A Dominant Mutation in the Pea PHYA Gene Confers Enhanced Responses to Light and Impairs the Light-Dependent Degradation of Phytochrome A, Plant Physiology, 135, 2186 – 2195.

79) Xu, H. 2012. Applications of xerophytophysiology in plant production-LED blue light as a stimulus improved the tomato crop. Scientia horiculturae, 148, 190 – 196.

80) Yalamanchili, RD. 2002. Ultraviolet-B activates components of the systemin signaling pathway in Lycopersicon peruvianum suspension-cultured cells. Journal of biological chemismy, 277, 28424 – 28430.

81) Yeh, N. Chung, J. 2009. High – brightness LEDs – Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 13, 2175 – 2180.

Internetové odkazy:

1) Co pro gymnázia znamená schválení RVP G a RVP GSP? [online]. [cit. 25. 6. 2013]. Dostupné z www: <http://www.rvp.cz/clanek/6/1541>

2) Metodický portál RVP [online]. [cit. 18. 6. 2013]. Dostupné z www: <http://www.rvp.cz>

3) Národní program rozvoje vzdělávání v České republice: Bílá kniha. MŠMT [online] [cit. 24. 1. 2013]. Dostupné z www: <http://www.rvp.cz/soubor/00643-bk.pdf>

4) Rámcový vzdělávací program [online]. [cit. 22. 1. 2013]. Dostupné z www: http://www.msmt.cz/uploads/Vzdelavani/Skolska_reforma/RVP/RVP_gymnazia.pdf

5) Science and Plants for Schools [online], [cit. 9. 8. 2013. Dostupné z www: http://www.saps.org.uk/

6) Školská reforma [online]. [cit. 9. 9. 2012]. Dostupné z www: http://www.msmt.cz/vzdelavani/skolskareforma

7) ŠVP Gymnázium Českolipská [online], [cit. 11. 8. 2013], Dostupné z www: http://ceskolipska.cz/o-skole/svp

8) ŠVP Gymnázium Štěpánská [online], [cit. 11. 8. 2013], Dostupné z www: http://www.agstepanska.cz/cs/site/n_skola/zakl_udaje/svp_ag.pdf

9) The Biology Corner [online], [cit. 9. 8. 2013]. Dostupné z www: http://www.biologycorner.com/

11. Přílohy

11.1Návrh materiálů pro praktická cvičení

11.1.1 Fototropismus rostlin

PRAKTICKÉ CVIČENÍ Č. 1 – TEXT PRO ŽÁKY

1. Úvod do problematiky

ÚVOD DO FOTOTROPISMU

Před lety výzkumníci pozorovali, že rostliny, které se na první pohled nijak nepohybují, vyrostou vždy tak, že jejich listy jsou ideálně natočené ke slunci. Díky této pozici pak získávají ze slunce nejvíce energie. S překvapením zjistili, že se rostliny pohybují v průběhu slunečního osvitu. Nejsou to sice žádní rychlíci, ale vzhledem k jejich životu jim to stačí. Dalším výzkumem tento pohyb, kdy rostlina přesně určí pozici světelného zdroje, pojmenovali fototropismus.

Fototropismus je specifický typ pohybové reakce, kdy rostlina rozezná nejen samotný světelný podnět, ale dokáže také určit polohu zdroje a reagovat na ni. Tento druh fyziologické reakce je zásadní především u klíčících rostlin, kdy se mladá rostlinka potřebuje rychle dostat do ideálního prostředí a začít s fotosyntézou. Při fototropismu dochází k ohýbání hlavně stonkových částí směrem ke zdsroji záření, tedy tzv. pozitivní fototropická reakce, ale existují části rostlin, které jsou fototropicky značně negativní a to především kořeny, které se tak ohýbají směrem od zdroje záření.

Vědci sice viděli, že se rostlina podle světelného záření dokáže pohybovat, ale nevěděli, jaké procesy se odehrávají uvnitř rostlinného těla. Tento jev zkoumal i Charles Darwin se svým synem. Na počátku dvacátého století byl objeven auxin. Auxin je rostlinný hormon, který podporuje dlouživý růst buněk. Ohyb stonku tak najednou přestal být záhadou. Auxin se totiž transportuje buněčným tělem směrem od světelného záření, takže se shromažďuje v

neozářené části rostliny. Tam způsobí prodloužení buněk, které tak rostou rychleji než ty, co jsou ozářené. Díky tomu dojde k ohybu stonku.

Auxin sám o sobě nedokáže přijímat signál ze světelného záření a tak v buňkách musí být molekula, která informace o světelném záření přijme – ta se označuje jako fotoreceptor. Pro fototropické reakce byl objeven teprve před pár lety fotoreceptor zvaný fototropin.

Nyní se ale vyskytly otázky, které vědci chtěli vyřešit.

1) **Reaguje rostlina růstem na celé spektrum světelného záření nebo je vybíravá a reaguje pouze na jednu barvu světla?**

Pomozte vědcům a odhalte další tajemství života rostlin!

2. Zadání úkolu

Porovnejte účinky světelného záření různých vlnových délek na změnách v růstovém pohybu vyovlaném světlem (fototropismu) rostlinného těla. Výsledky zaznamenejte do tabulky v protokolu. Z výsledků se pokuste vysvětlit, co se děje s rostlinami pokud na ně dopadá záření

Časová náročnost: 90 minut

3. Materiál / pomůcky

- vyklíčené listy řeřichy seté s plně vyvinutými listy
- plastové tácy nebo mísy s plochým dnem na klíčení semen
- buničinu pro klíčení a růst rostlin:
- LED diodové zdroje záření o různé vlnové délce (barvě): modrá, červená, žlutá, zelená
- stolní lampy
- zdroj energie, rozdvojka
- kalkulačka
- úhloměr – Příloha 11.2.1.3

4. Příprava pokusu

Ve třídě / v laboratoři

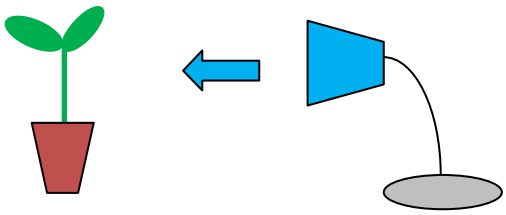
4.1. Příprava rostlinného materiálu

a) Dno misky vyplňte vrstvou buničiny.
b) Na buničinu naneste semena řeřichy v řádcích, kde budou jednotlivá semena od sebe vzdálena minimálně 3 mm.
c) Buničinu se semeny lehce pokropte vodou a dále udržujte buničinu neustále vlhkou.
d) Misku se semeny udržujte při pokojové teplotě na osvětleném místě.
e) Rostliny budou připraveny pro experiment po 5 – 7 dnech, kdy budou mít plně vyvinuté listy s patrnou fotosyntetickou aktivitou.

4.2. Příprava aparátu

a) Doprostřed pracovního stolu umístěte misku s rostlinným materiálem na vyvýšenou podložku.
b) Okolo misky umístěte 2-4 zdroje záření (různých vlnových délek, určitě světlo modré) ve vzdálenosti 20 cm tak, aby na rostliny směřovalo záření vodorovným směrem.
c) Zdroje záření poupravte tak, aby paprsky dopadaly co možná nejvíce kolmo na rostlinné tělo.
d) Lampy zapojte ke zdroji elektrického proudu.

4.3. Nákres aparatury



Rozmístění aparatury – zdroje světelného záření různé vlnové délky byly umístěny 20 cm od rostliny pravidelně pod úhlem 90° , expozice 80 min.

5. Realizace experimentu

a) Po sestavení aparatury uveďte do provozu zdroje záření.
b) Po cca 80 minutách ukončete experiment a zaznamenejte jeho výsledky.

Postup při orientačním měření úhlu ohybu stonku úhloměrem:

1) Vytiskněte si na papír šablonu s úhloměrem (Příloha 11.2.3).
2) Po ukončení experimentu odstřihněte deset rostlinek těsně nad buničinou.
3) Takto opracovaný stonek přiložte na šablonu tak, aby stonek ve své kořenové části kopíroval přímku, která míří do středu úhloměru a dotýkal se svým koncem bodu Z.
4) Posouvejte rostlinu směrem k bodu S tak, aby střed úhloměru mířil na místo na stonku, ve kterém začíná jeho ohyb.
5) Dbejte neustále na to, aby kořenová část stonku, kopírovala přímku z bodu Z do středu S.
6) U takto přiložené rostliny pozorujte, která přímka směřuje do rostliny v místě, kde odstupují listy ze stonku.
7) Odečtěte úhel.
8) Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky
9) Výpočet aritmetického průměru a směrodatné odchylky naleznete v Příloze 11.2.3
10) Vytvořte sloupcový graf. Za každou rostlinnou sadu znázorněte průměr pro rostliny kultivovaná na světle a ve tmě. Zaneste do grafu hodnoty aritmetického průměru, vytvořte sloupec a nad něj vyneste úsečku směrodatnou odchylku.

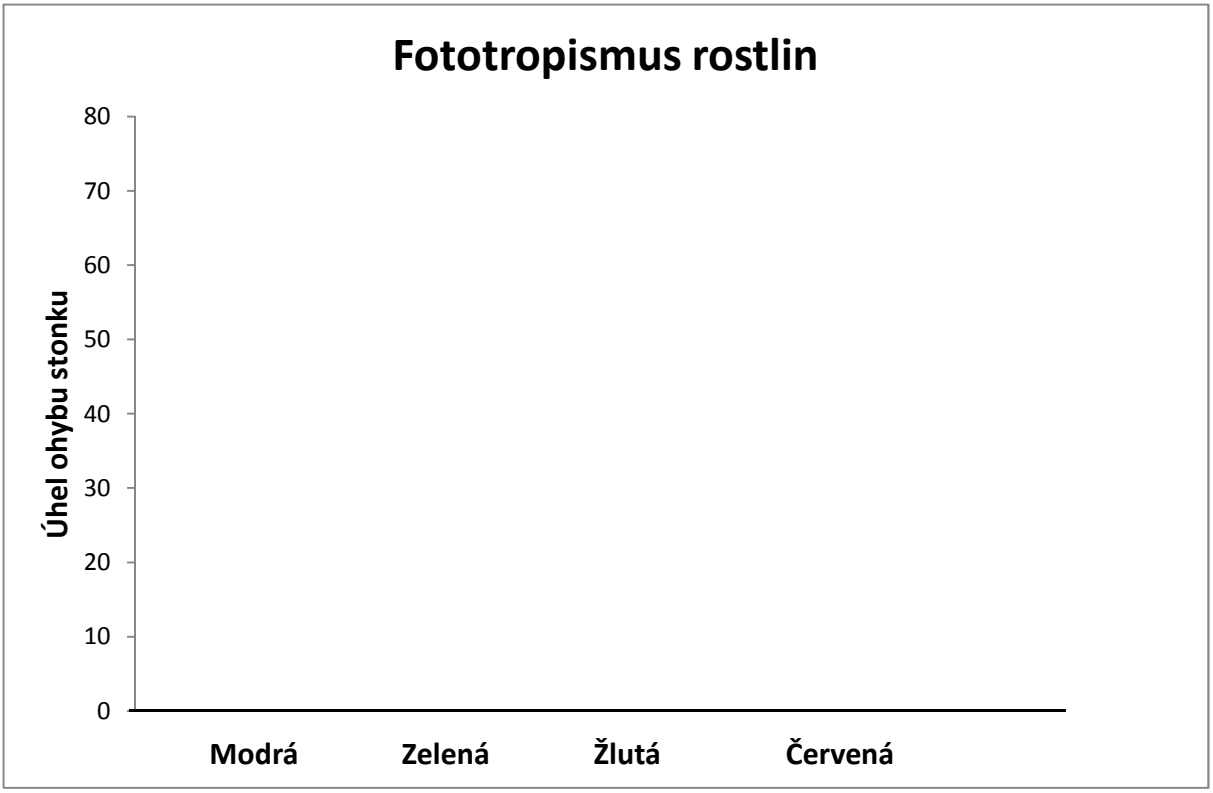
6. Zaznamenávání výsledků:

Měření úhlu ohybu stonku:

Barva světlného záření	Měření č. 1	Měření č. 2	Měření č. 3	Měření č. 4	Měření č. 5	Měření č. 6	Měření č. 7	Měření č. 8	Měření č. 9	Průměr	Směrodatná odchylka
Červená											
Žlutá											
Zelená											
Modrá											

7. Zpracování výsledků - úkoly

Vytvořte sloupcový graf ze spočítaných průměrů u každé vlnové délky světelného záření:



Po expozici zářením nakreslete výsledný tvar rostliny pro každou barvu:

Barva	Počáteční stav rostliny	Konečný stav rostliny	Barva	Počáteční stav rostliny	Konečný stav rostliny
Červená			Modrá		
Žlutá			Zelená		

8. Závěr

a) Interpretujte vlastní naměřená data.
b) Popište, k jakým změnám v růstu stonku docházelo v průběhu experimentu.
c) Objasněte, proč a jak v rostlinném těle došlo těmto změnám.
d) V jaké barvě světelného spektra bude mít fotoreceptor fototropismu nejvyšší absorpční spektrum?
e) Uveďte důvody vzniku fototropických fyziologických dějů.
f) Vysvětlete, jak rostlina využívá fototropismus.

Praktické cvičení č. 1 - text pro učitele

FOTOTROPISMUS ROSTLIN

1. Cíl praktika

Porozumět fototropickému ději. Na základě experimentů ukázat, jak rostlina zpracovává přijatý signál a vytváří patřičnou odezvu.

2. Zařazení do výuky

Cvičení je doporučeno pro semináře a laboratorní cvičení z biologie.
Doporučuji tento pokus provést v rámci výuky fototropismu dle RVP.

3. Očekávané výstupy

Žáci se naučí vyhodnotit jednoduchý biologický experiment a pochopí, co se děje s rostlinami při fototropismu. Žáci vysvětlí příčiny a důsledky fototropismu rostlin. Žáci si osvojí principy vědecké práce.

4. Časová náročnost aktivity

Předpokládaná celková délka experimentu je 5 - 7 dní. Jednotlivé části experimentu se mohou mírně časově lišit, v závislosti na místních podmínkách nebo čase ve vegetační sezóně. Obvykle klíčení a kultivace rostlin netrvá déle než týden. Samotný experiment pak zabere 2 vyučovací hodiny.

Experiment je navržen tak, aby byl co nejnázornější při zachování co nejnižší obtížnosti přípravy.

Fáze experimentu	**Časová náročnost**
Klíčení/ kultivace	5 - 7 dní
doba pro expozici	80 min

Frekvence

Příprava semen na kultivaci zabere několik minut z vyučovací hodiny. Není to ovšem povinné, záleží na učiteli, zda do experimentu zanese přípravu a pěstování řeřichy.

Příprava experimentálního systému a stavba aparatury 10 minut.

5. Materiál a pomůcky pro vyučování

- vyklíčené listy řeřichy seté s plně vyvinutými listy
- Petriho misky na klíčení semen
- buničinu pro klíčení a růst rostlin
- LED diodové zdroje záření o různé vlnové délce (barvě): musí zahrnovat modrou barvu, optimálně k tomu červená, žlutá a zelená
- stolní lampy
- zdroj energie, rozdvojka
- kalkulačka
- úhloměr – Příloha 11.2.1.3

6. Průběh a varianty experimentu

Experiment proběhne tak, že budete na rostlinu působit vždy pouze jednou vlnovou délkou.

7. Další materiál pro žáky

- Nakopírovat pro žáky příslušné pracovní listy pro experiment
- Obstarat materiál na klíčení a kultivaci – Řeřicha setá.
- Vybrat vhodné místo na klíčení a kultivaci rostlin - např. okenní parapet ve světlé a dobře větrané třídě či laboratoři.
- Naučit žáky používat dané pomůcky

- Doporučujeme také vyzkoušet přípravu experimentálního systému nejdřív nanečisto - podle šikovnosti žáků si upravit časový harmonogram

8. Vyhodnocení experimentu

Žáci pochopí, k jakým dějům dochází v rostlině při fototropismu.

11.1.2 Negativní fototropismus rostlin

Praktické cvičení č. 2 – text pro žáky

NEGATIVNÍ FOTOTROPISMUS ROSTLIN

1. Úvod do problematiky

Pro rostlinu je důležité, aby díky fototropismu z přicházejícího světelného záření vytěžila co nejvíce energie. Jsou však části rostlinného těla, která se po většinu života se světelným záření nesetkají. Kořeny rostlin se nacházejí po většinu času v podzemí přikryté půdou nebo substrátem, kde plní své hlavní funkce. K tomu, aby kořeny rostly správným směrem, tedy do půdy, jsou rostliny vybaveny několika mechanismy. Nejznámějším je tzv. pozitiní gravitropismus kořenů, kdy kořeny rostou směrem působení gravitropické síly. Do procesu je zahrnut přesýpavý škrob ve středním sloupku kořenové čepičky a je to proces opět výrazně ovliňovaný transportem a koncentrací auxinu. Dalším je mechanismus, který se řídí světelnými signály. Říká se mu negativní fototropismus. Při něm rostlina zjistí polohu zdroje světelného a kořeny pak směřuje od zdroje záření. Tímto směrem se pak nachází zem, ve které se může rostlina uchytit a započít s příjmem živin.

Experimentem se pokuste ověřit, zda jsou kořeny řeřichy seté opravdu vykazují fototropicky negativní růst.

2. Zadání úkolu

Zjistěte, zda je směr růst kořenů rostlin ovlivňován dopadajícím světelným zářením. Pozorujte kultivované rostliny. Z výsledků se pokuste vysvětlit, co se děje s kořeny rostlin, pokud na ně dopadá světelné záření z jednoho směru.

Časová náročnost: 5 – 8 dní pro kultivaci rostlin

15 minut pro vyhodnocení experimentu ve třídě

3. Materiál a pomůcky

- vyklíčené listy řeřichy seté s plně vyvinutými listy
- Petriho misky na klíčení semen
- buničinu pro klíčení a růst rostlin
- zdroj světelného záření
- stolní lampy
- zdroj energie, rozdvojka
- kalkulačka

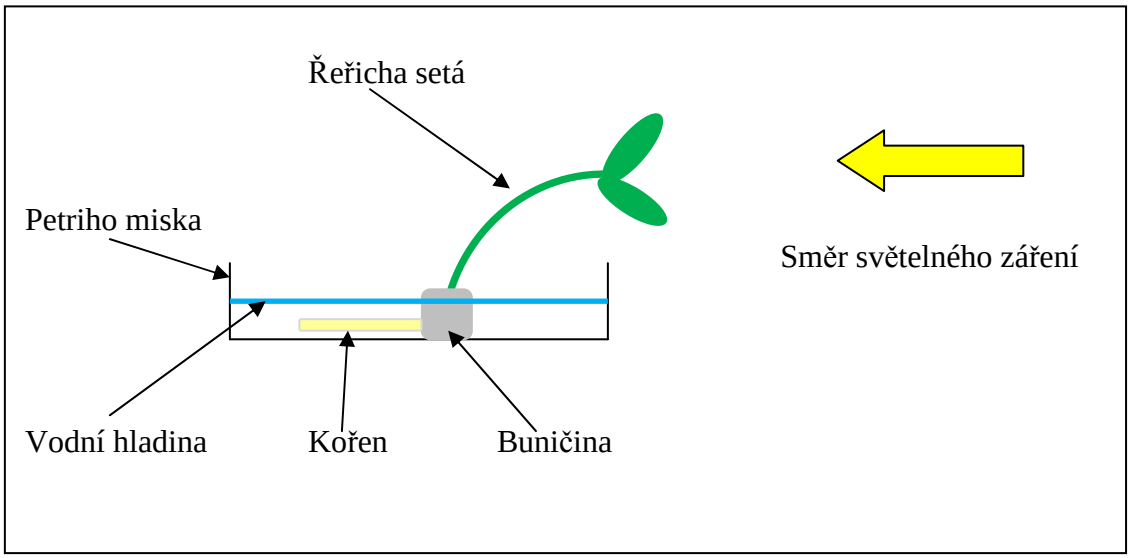
4. Příprava pokusu

4.1. Příprava rostlinného materiál

a) Na dno Petriho misky položte tenký pruh buničiny o přibližné šířce 1 cm.
b) Na buničinu naneste semena řeřichy v řádku, kde budou jednotlivá semena od sebe vzdálena minimálně 4 mm.
c) Buničinu se semeny lehce pokropte vodou a dále udržujte buničinu neustále vlhkou.
d) Překlopte druhou Petriho miskou a na dva dny umístěte do teplého prostředí
e) Po dvou dnech sejměte horní misku
f) Petriho misku s rostlinami umístěte před zdroj světelného záření nebo v místnosti do větší vzdálenosti od okna, přibližně 3m
g) Vodní hladinu v misce udržujte stále tak, aby kořeny byly pod hladinou vody.
h) Misku se semeny udržujte při pokojové teplotě ve stále stejné pozici.
i) Výsledek experimentu bude patrný po 5 – 8 dnech.

Vytvořte takto 5 rostlinných sad

4.2. Nákres aparatury



Nákres aparatury. Rostliny byly umístěny na Petriho misce. Semena klíčila na pruhu buničiny 1cm široký 7 cm dlouhý. V místnosti byla rostlina umístěna v kolmé horizontální vzdálenosti 3 metrů od okenní tabule – zdroje světelného záření.

5. Realizace a varianty experimentu

Rostliny můžete ponechat přirozenému slunečnímu záření nebo použít záření umělé.

6. Zaznamenání výsledků

Postup hodnocení směru růstu jednotlivých kořenů

- Připravte si všechny rostlinné sady
- U každé rostliny rozhodněte, jakým směrem roste její kořen.
- Růst směrem ke zdroji záření se hodnotí jako pozitivní **[+]**
- Růst od zdroje záření se hodnotí jako negativní **[-]**

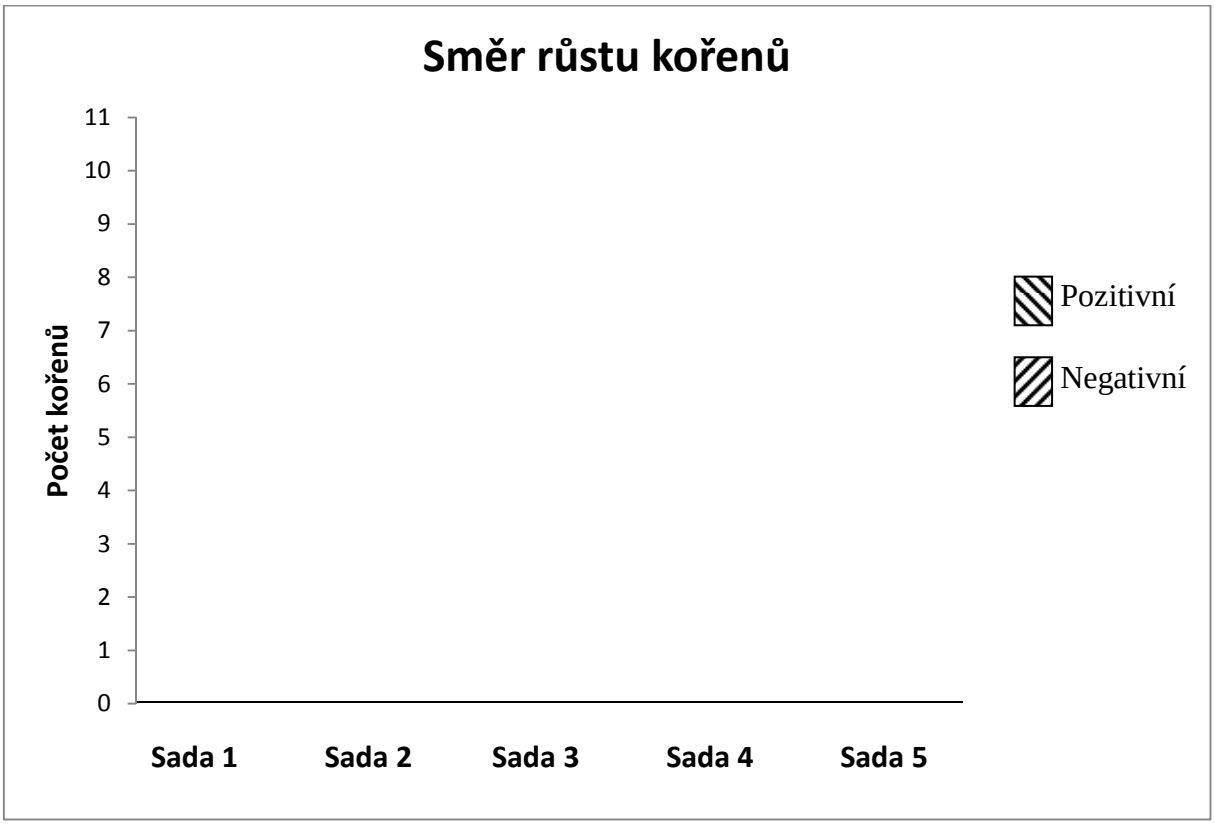
Tabulka: pro zaznamenání směru růstu kořenů.

Sada	Rostlina č. 1	Rostlin č. 2	Rostlina č. 3	Rostlina č. 4	Rostlina č. 5	Rostlina č. 6	Rostlina č. 7	Rostlina č. 8	Rostlina č. 9	Rostlina č. 10	Celkový počet rostlin [+]	[-]
Sada 1												
Sada 2												
Sada 3												
Sada 4												
Sada 5												

7. Zpracování výsledků

Vytvořte nákres výsledného tvaru rostliny v závislosti na směru přicházejícího světelného záření:

Vytvořte sloupcový graf, kde bude za každou rostlinnou sadu znázorněna četnost růstu kořenu pozitivním a negativním směrem:



8. Závěr

a) Interpretujte vlastní naměřená data.
b) Popište, jakým způsobem kořeny rostlin reagují na přicházející světelné záření.
c) Objasněte, proč a jak v rostlinném těle došlo těmto změnám.
d) Uveďte důvody negativního fototropismu rostlin.

Praktické cvičení č. 2 - text pro učitele

NEGATIVNÍ FOTOTROPISMUS

1. Cíl praktika

Porozumět negativnímu fototropickému ději růstu kořenů od zdroje záření. Na základě experimentů ukázat, jak rostlina vytváří patřičnou odezvu k signálu zprostředkovaném zářením.

2. zařazení do výuky

Cvičení je doporučeno pro semináře a laboratorní cvičení z biologie.
Doporučuji tento pokus provést v rámci výuky rostlinných pohybů dle RVP.

3. očekávané výstupy

Žáci se naučí vyhodnotit jednoduchý biologický experiment a pochopí, co se děje s rostlinami při fototropismu. Žáci zhodnotí vliv světla na růst kořenů. Žáci si také osvojí principy vědecké práce.

4. Časová náročnost

Předpokládaná celková délka experimentu je 5 - 8 dní. Jednotlivé části experimentu se mohou mírně časově lišit, v závislosti na místních podmínkách nebo čase ve vegetační sezóně. Obvykle klíčení a kultivace rostlin netrvá déle než týden. Samotný experiment pak zabere 1 vyučovací hodinu.

Experiment je navržen tak, aby byl co nejnázornější při zachování co nejnižší obtížnosti přípravy.

Fáze experimentu	**Časová náročnost**
Klíčení/ kultivace	5 - 8 dní

Frekvence

Příprava semen na kultivaci zabere několik minut z vyučovací hodiny. Není to ovšem povinné, záleží na učiteli, zda do experimentu zanese přípravu a pěstování řeřichy.

Příprava experimentálního systému a stavba aparatury trvá 10 minut..

5. Materiál a pomůcky pro experiment

- vyklíčené listy řeřichy seté s plně vyvinutými listy
- Petriho misky na klíčení semen
- buničinu pro klíčení a růst rostlin
- zdroj světelného záření
- stolní lampy
- zdroj energie, rozdvojka
- přístroj pro pořízení videonahrávky

6. Průběh a varianty experimentu

Nejprve seznamte žáky se základy fototropismu pomocí textu – Úvod do fototropismu. Se žáky připravte rostlinné sady. Rostliny umístíte v místnosti tak, aby byly ve větší vzdálenosti od okna, které tak působí jako bodový zdroj světelného záření.

7. Další materiály pro žáky

a) Nakopírovat pro žáky příslušné pracovní listy pro experiment.
b) Obstarat materiál na klíčení a kultivaci – Řeřicha setá.
c) Vybrat vhodné místo na klíčení a kultivaci
d) Naučit žáky používat dané pomůcky

Doporučujeme také vyzkoušet přípravu experimentálního systému nejdřív nanečisto - podle šikovnosti žáků si upravit časový harmonogram.

8. Vyhodnocení experimentu

Žáci pochopí, co se především děje s rostlinami při negativním fototropismu při růstu kořenů.

11.1.3 Skotomorfogeneze rostlin

Praktické cvičení č. 3 - text pro žáky

SKOTOMORFOGENEZE ROSTLIN

1. Úvod do problematiky

Skotomorfogeneze

Pokud je rostlina vystavena dostatečnému slunečnímu záření, teplu a vodě, může si užívat klidu a pohody a nerušeně růst. Stejně jako lidé však může i rostlina zažívat stres. Ten nastává, pokud se rostlina dostane do takového prostředí, kde zdroje nutné k životu budou špatně vyvážené nebo budou chybět úplně. Pokud se rostlina dostane do prostředí bez světelného záření, nastává jí problém a začíná na ni pslbit nedostatek světla jako stresový faktor navozující rostlině stres. Bez světelného záření rostlina přichází o zdroj energie nutný pro fotosyntézu. Ve tmě se rostliny nacházejí např. pokud začínají klíčit, nebo je vlivem vnějšího prostředí něco zakryje.

V ten okamžik se v rostlinném těle začnou odehrávat takové fyziologické reakce, které jí pomohou na světelné záření „dosáhnout“. Důležité je množství energie, které má v ten okamžik uskladněný v zásobních pletivech, protože ve tmě nemůže přijímat energii ze slunečního záření a přetvářet ji v procesu fotosyntézy do energie chemických vazeb organických látek. Musí proto začít uskladněnou energií šetřit. Jenom tak má šanci smrtící tmě uniknout.

Představte si, že jste rostlina, která se „dostala do maléru“, tedy značného stresu. Jste hluboko pod zemí anebo si představte jen úplnou tmu v uzavřeném prostoru a musíte se co nejrychleji dostat na povrch. Jakým způsobem se pokusíte zachránit? Odpověď najdete vypracováním následující úlohy.

2. Zadání úkolu

Porovnejte rostliny, které rostly v podmínkách s různým stupněm ozáření. Zjistěte, jakým způsobem je ovlivněn tvar rostliny, která rostla ve tmě a na světle. Výsledky zaznamenejte do tabulky v protokolu. Z výsledků se pokuste vysvětlit, jakým způsobem rostlina reaguje na prostředí s různou ozářeností.

Časová náročnost: kultivace rostlin 20 dní

vyhodnocení experimentu 45 minut

3. Materiál a pomůcky

- rostliny fazolu obecného
- plastové tácy nebo mísy s plochým dnem na klíčení semen
- buničinu pro klíčení rostlin
- květináče se zeminou
- pravítko, posuvné měřítko
- laboratorní váhy
- kalkulačka

4. Příprava pokusu

4.1. Příprava rostlinného materiálu

Příprava jedné rostlinné sady:

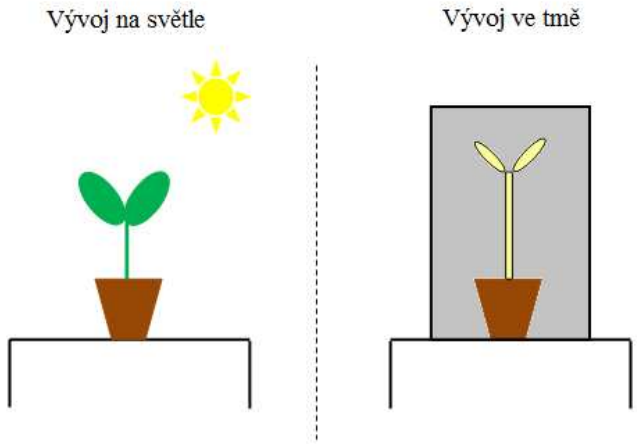
a) Dno misky vyplňte vrstvou buničiny.
b) Na buničinu naneste pět semen fazolu obecného, kde budou jednotlivá semena od sebe vzdálena minimálně 1 cm.
c) Buničinu se semeny lehce pokropte vodou a dále udržujte buničinu neustále vlhkou.
d) Misku se semeny udržujte při pokojové teplotě na osvětleném místě.
e) Po vyklíčení semena přeneste do květináče. Do každého vložte pět semen.

Vytvořte šest rostlinných sad.

4.2. Příprava aparátu

a) Polovinu květináčů umístěte na sluncem přirozeně exponované místo.
b) Druhou polovinu květináčů umístěte do prostředí bez přístupu světelného záření. Rostliny zakryjte prodyšnou černou látkou nebo papírovou či jinou krabicí. Pozor, některé černé látky propouštějí světlo – záleží na hustotě tkaniny. Ověřte si pohledem skrz látku. Pokud světlo prosvítá i jen trochu, látka není vhodná.
c) V průběhu experimentu neustále doplňujte do květináčů vodu, aby rostliny neuschly.
d) Po cca 20 dnech jsou rostliny připraveny pro vyhodnocení experimentu.

4.3. Nákres aparatury



Nákres aparatury. Vlevo jsou znázorněny kontrolní rostliny rostoucí na slunečním záření. Vpravo jsou rostliny jejichž vývoj probíhal ve tmě.

5. Realizace experimentu

a) Po přesazení naklíčených semen do květináčů je umístěte do požadovaných prostředí umožňujících růst na přirozeném světle a v úplné tmě.
b) Nechte cca 20 dnů růst za stálého doplňování vody
c) Po cca 20 dnech ukončete experiment a zaznamenejte jeho výsledky do tabulek. Každá skupina mezi sebou porovná rostliny rostoucí na světle a ve tmě.

Pro vyhodnocení experimentu na rostlině změřte:

1) **Délka internodií**
2) **Délka listové čepele**
3) **Plocha listové čepele**

Návody a vzorce pro výpočet průměru a směrodatné odchylky najdete v Příloze

6. a Zaznamenávání experimentu

1) Délka prvního internodu:

a) u každé rostlinné sady odstřihněte těsně nad zemí stonek rostliny.
b) těsně pod místem, kde se ke stonku připojují primární listy, proveďte příčný řez.
c) takto oddělenou část stonku změřte posuvným měřítkem.
d) hodnoty zaznamenejte do tabulky.
e) Vypočtěte artimetický průměr a směrodatnou odchylku dle postupu uvedeného v Příloze 11.2.2
f) Vytvořte sloupcový graf. Za každou rostlinnou sadu znázorněte průměr pro rostliny kultivovaná na světle a ve tmě. Zaneste do grafu hodnoty aritmetického průměru, vytvořte sloupec a nad něj vyneste úsečku směrodatnou odchylku.

Rostliny rostoucí na světle:

Délka internodií [cm]	Rostlina 1	Rostlina 2	Rostlina 3	Rostlina 4	Rostlina 5	Průměr	Směrodatná odchylka
Sada 1							
Sada 2							
Sada 3							

Rostliny rostoucí ve tmě:

Délka internodií [cm]	Rostlina 1	Rostlina 2	Rostlina 3	Rostlina 4	Rostlina 5	Průměr	Směrodatná odchylka
Sada 1							
Sada 2							
Sada 3							

7. Zpracování výsledků - úkoly

Graf: vytvořte sloupcový graf, kde budou zaznamenány průměry rostlinných sad za obě prostředí (světlo a tma). Zaneste do grafu hodnoty aritmetického průměru, vytvořte sloupec a nad něj vyneste úsečku směrodatnou odchylku.

6. b Zaznamenávání experimentu

2) Délka listové čepele

a) primární listy se odstřihněte v místě napojení na řapík
b) nepřehnuté listy se vložte do folie a vložte do skenovacího/kopírovacího zařízení
c) vytiskněte jednu kopii naskenovaných/okopírovaných ustřižených listů
d) posuvným měřítkem měřte vzdálenost mezi špičkou listové čepele a místem kde je k čepeli připojen řapík
e) hodnoty zaznamenejte do tabulky.
f) vypočtěte artimetický průměr a směrodatnou odchylku dle postupu uvedeného v Příloze 11.2.2
g) vytvořte sloupcový graf. Za každou rostlinnou sadu znázorněte průměr pro rostliny kultivovaná na světle a ve tmě. Zaneste do grafu hodnoty aritmetického průměru, vytvořte sloupec a nad něj vyneste úsečku směrodatnou odchylku.

Rostliny rostoucí na světle: u každé rostliny změřte oba primární listy

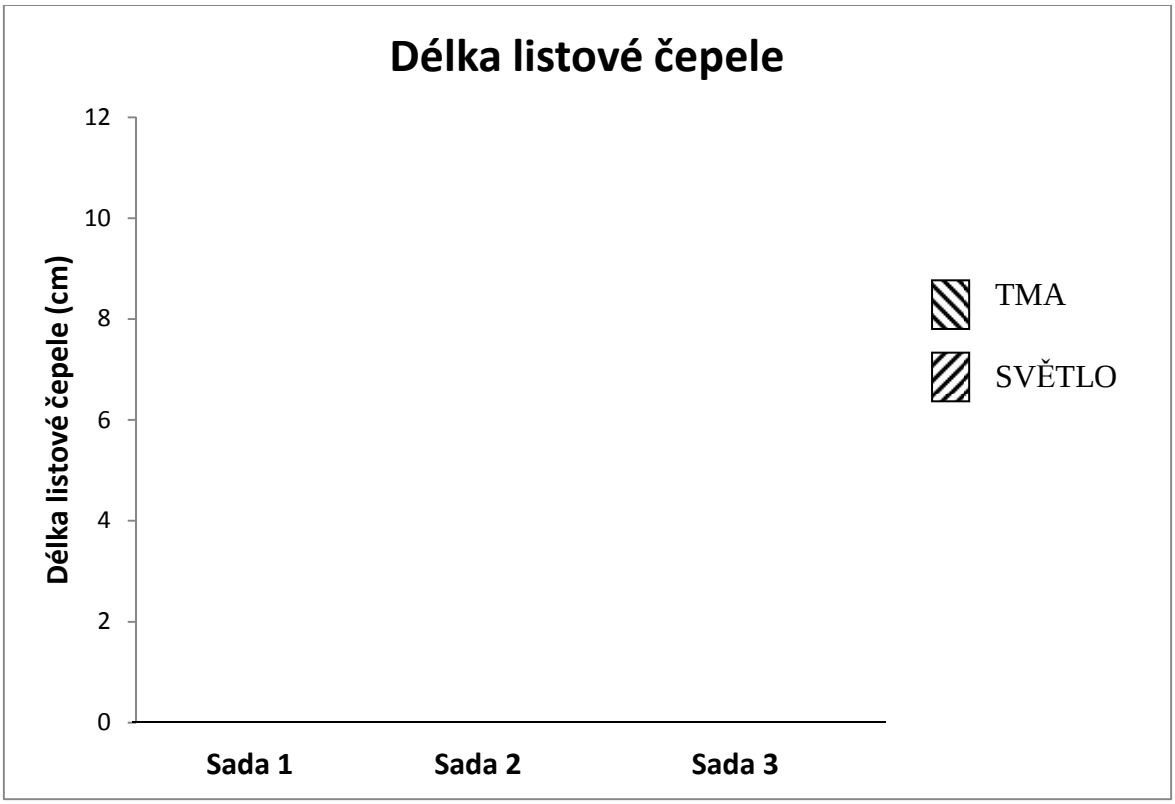
Délka listové čepele [cm]	Rostlina 1		Rostlina 2		Rostlina 3		Rostlina 4		Rostlina 5		Průměr (všech hodnot)	Směrodatná odchylka
	List1	List 2	List1	List 2	List1	List 2	List1	List 2	List1	List 2		
Sada 1												
Sada 2												
Sada 3												

Rostliny rostoucí ve tmě: u každé rostliny změřte oba primární listy

Délka listové čepele [cm]	Rostlina 1 List1	List 2	Rostlina 2 List1	List 2	Rostlina 3 List1	List 2	Rostlina 4 List1	List 2	Rostlina 5 List1	List 2	Průměr (všech hodnot)	Směrodatná odchylka
Sada 1												
Sada 2												
Sada 3												

7. b Zpracování výsledků - úkoly

Graf: vytvořte sloupcový graf, kde budou zaznamenány průměry rostlinných sad za obě prostředí (světlo a tma). Zaneste do grafu hodnoty aritmetického průměru, vytvořte sloupec a nad něj vyneste úsečku směrodatnou odchylku.



6. c Zaznamenávání experimentu

3) Plocha listové čepele

1) primární listy se odstřihněte v místě napojení na řapík

Měření listové plochy

- bodovou metodou viz Příloha11.2.1.1
- vážkovou metodou viz Příloha 11.2.1.2
- pomocí počítačového programu ImageJ:
  a) nepřehnuté listy se vložte do folie a vložte do skenovacího zařízení
  b) pořiďte snímek a uložte ho do paměti počítače
  c) v počítačovém programu ImageJ měřte plochu listů dle návodu – viz Příloha 11.2.1.3
  d) naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky
  e) vypočtěte artimetický průměr a směrodatnou odchylku dle postupu uvedeného v Příloze 11.2.3
  f) vytvořte sloupcový graf. Za každou rostlinnou sadu znázorněte průměr pro rostliny kultivovaná na světle a ve tmě. Zaneste do grafu hodnoty aritmetického průměru, vytvořte sloupec a nad něj vyneste úsečku směrodatnou odchylku

Rostliny rostoucí na světle: u každé rostliny změřte oba primární listy

Plocha listové čepele [cm]	Rostlina 1		Rostlina 2		Rostlina 3		Rostlina 4		Rostlina 5		Průměr	Směrodatná odchylka
	List1	List 2	List1	List 2	List1	List 2	List1	List 2	List1	List 2		
Sada 1												
Sada 2												
Sada 3												

Rostliny rostoucí ve tmě: u každé rostliny změřte oba primární listy

Plocha listové čepele [cm]	Rostlina 1 List1	List 2	Rostlina 2 List1	List 2	Rostlina 3 List1	List 2	Rostlina 4 List1	List 2	Rostlina 5 List1	List 2	Průměr	Směrodatná odchylka
Sada 1												
Sada 2												
Sada 3												

7. c Zpracování výsledků – úkoly

Graf: vytvořte sloupcový graf, kde budou zaznamenány průměry rostlinných sad za obě prostředí (světlo a tma). Zaneste do grafu hodnoty aritmetického průměru, vytvořte sloupec a nad něj vyneste úsečku směrodatnou odchylku.

8. Závěr

Popište, jak se měnil vzhled rostlinných těl v průběhu experimentu.

a) Interpretujte svá naměřená data.
b) Objasněte, proč mají rostliny rostoucí v různých světelných podmínkách odlišný vzhled svých těl.
c) Uveďte důvody vzniku skotomorfogeneze rostlin.
d) Uveďte příklad z praxe, kdy rostlina využívá skotomorfogenezi.

Praktické cvičení č. 3 - text pro učitele

SKOTOMORFOGENEZE ROSTLIN

1. Cíl praktika

Porozumět jakým způsobem se vyvíjí rostlinné tělo v podmínkách bez přístupu světelného záření. Na základě experimentu ukázat, jak se odlišuje tvar rostlinného těla za odlišných světelných podmínek

2. Zařazení do výuky

Doporučuji tento pokus provést v rámci výuky růstu a vývoje rostlin dle RVP.

Cvičení je doporučeno pro semináře a laboratorní cvičení z biologie.

3. Očekávané výstupy

Studenti se naučí vyhodnotit jednoduchý biologický experiment a pochopí, co se děje s rostlinným tělem, pokud se vyvíjí ve tmě. Popíší rozdíly mezi rostlinami, které rostly na světle a ve tmě. Žáci si také osvojí principy vědecké práce – vyhodnocení souboru naměřených hodnot opakování určitého parametru.

4. Časová náročnost

Předpokládaná celková délka experimentu je 20 - 30 dní. Jednotlivé části experimentu se mohou mírně časově lišit, v závislosti na místních podmínkách nebo čase ve vegetační sezóně. Obvykle klíčení a kultivace rostlin netrvá déle než tři týdny. Pro tento experiment je výhodné využít rostlinu fazolu obecného *Phaseolus vulgarit* L.). Samotný experiment pak zabere 1 vyučovací hodinu.

Experiment je navržen tak, aby byl co nejnázornější při zachování co nejnižší obtížnosti přípravy.

Fáze experimentu	Časová náročnost
Klíčení/ kultivace	20 dní
Vyhodnocení experimentu	45 minut

Frekvence

Příprava semen na kultivaci zabere několik minut z vyučovací hodiny. Není to ovšem povinné, záleží na učiteli, zda do experimentu zanese přípravu a pěstování fazolu během vyučovací hodiny.

5. Materiál a pomůcky pro experiment

- rostlinné sady fazolu obecného
- květináče se zeminou pro kultivaci rostlinných sad
- buničinu pro klíčení semen
- Petriho misky
- místo bez přístupu světelného záření
- pravítko, posuvné měřítko
- laboratorní váhy

6. Průběh a varianty experimentu

Pro dosažení požadovaného tvaru rostlinného těla budete potřebovat místo, kde bude zamezen přístup světelnému záření. Rostliny rostoucí ve tmě poté budou mít tvar těla typický pro skotomorfogenezi rostlin. Druhá rostlinná sada rostlá na přirozeném světelném záření poté bude fungovat jako kontrola. V průběhu kultivace rostlin je důležitý dostatek vláhy pro všechny rostlinné sady. Žáci porovnají jednotlivé rostlinné sady a do tabulky zaznamenají požadované veličiny. Návod na měření listové plochy najdete v Příloze – Metody pro měření listových ploch.

7. Další materiál pro žáky

Nakopírovat pro žáky příslušné pracovní listy.

Obstarat materiál na klíčení a kultivaci.

Vybrat vhodné místo na klíčení a kultivaci rostlin na světle - např. okenní parapet ve světlé a dobře větrané třídě či laboratoři.

Vytvořit podmínky pro růst rostlin ve tmě – odfiltrovat přicházející záření vhodným prodyšným krytem.

Naučit žáky používat dané pomůcky

Doporučuji také vyzkoušet přípravu experimentálního systému nejdřív nanečisto - podle šikovnosti žáků si upravit časový harmonogram.

8. Vyhodnocení experimentu

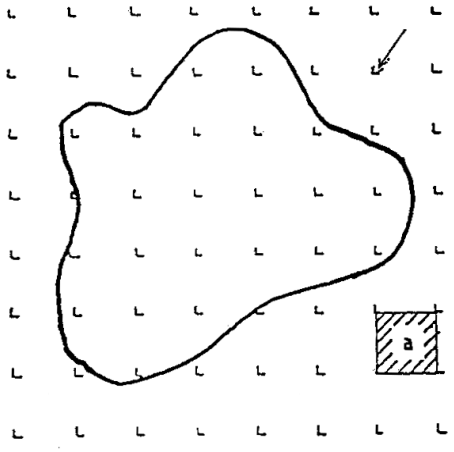
Žáci pochopí, co se především děje s rostlinami při skotomorfogenezi.

11.2 Přílohy pro realizaci praktického cvičení

11.2.1 Metody pro měření listových ploch

11.2.1.1 Stereologická metoda bodová

a) K tomuto měření je potřeba bodová fólie s již změřenou plochou mezi body (Příloha - 11.2.2), (Obr. 48).



$$S = P * a$$

P – počet testovaných bodů, které zasáhly měřenou strukturu

a – aktuální plocha, která náleží jednomu bodu testovacího souboru

b) Položte list na šablonu a obkreslete ho.
c) Spočítejte počet bodů, které zasahují do místa obkreslení listu. Tento počet bodů vynásobte hodnotou, která je na folii vyznačena a zapište vypočítané plochy listů do tabulky.

11.2.1.2 Vážková metoda

Listové plochy lze také změřit pomocí kopírky a vážení.

1) Listy fazolu vložte do průhledných desek tak, aby nebyly zpřehýbané okraje listů, a aby se listy nepřekrývaly.
2) Oxeroxujte listy přes kopírku. Poté všechny listy vystřihněte a zvažte na váhách (přesnost 0,01 g).

3) Vystřihněte 1 cm2 a zvažte. Přímou úměrou vypočítejte plochu listů. Zapište si vypočítané plochy listů do tabulky.

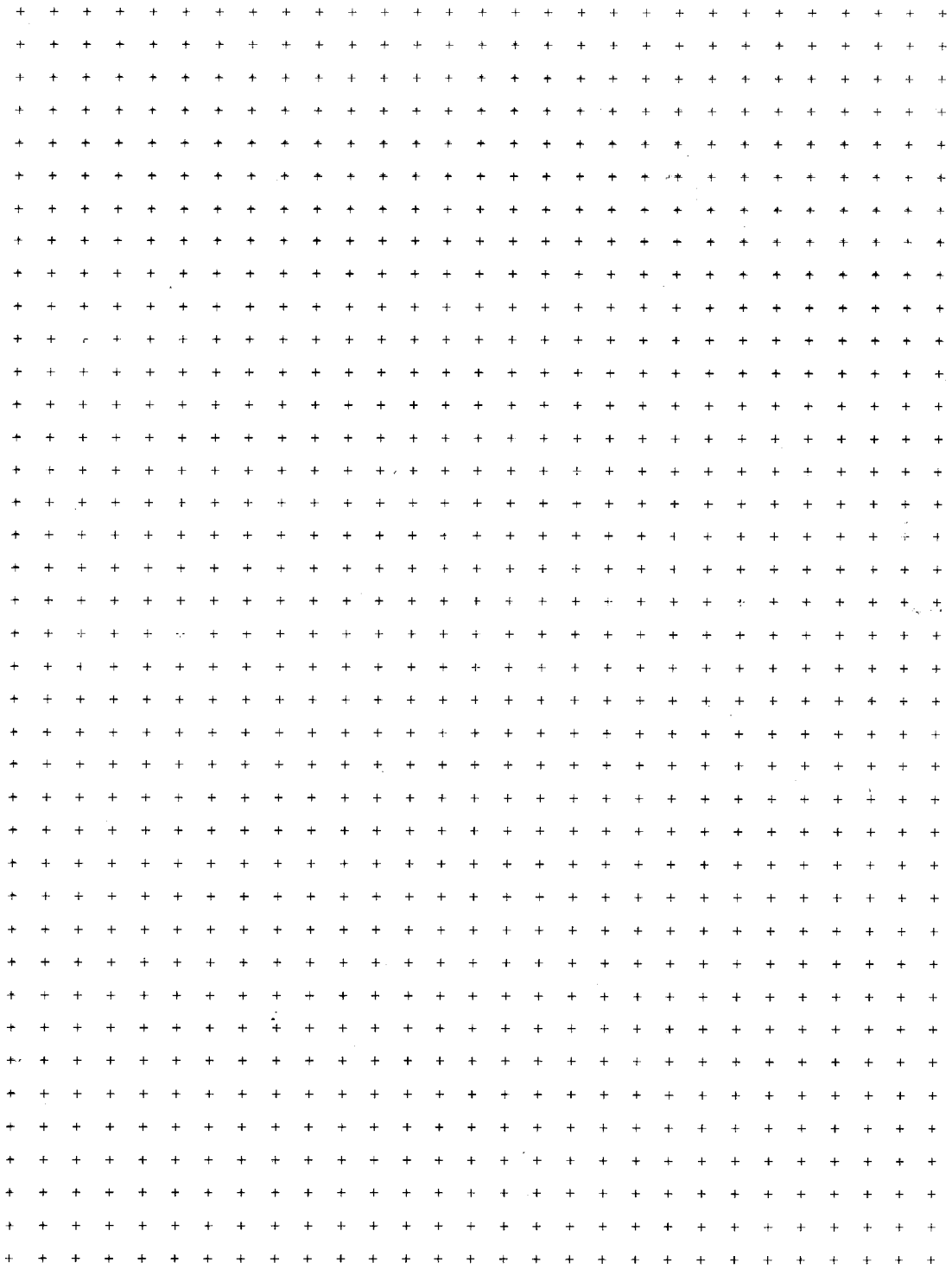
11.2.1.3 Program ImageJ

Tento program lze stáhnout zdarma na adrese: http://rsb.info.nih.gov/ij/download.html

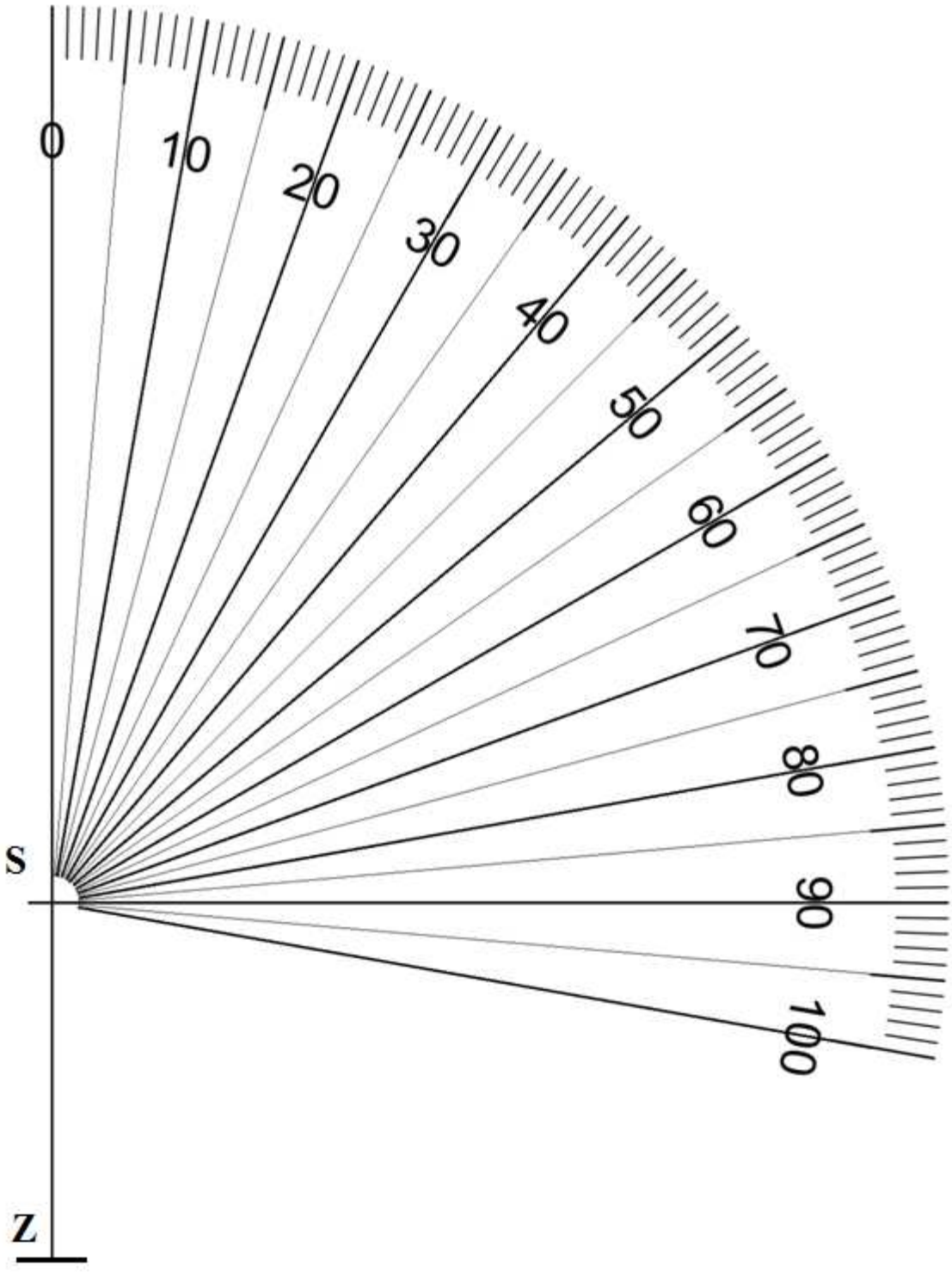
Postup při měření plochy listů v programu ImageJ:

1) Nejprve je potřeba kalibrovat velikost obrazového bodu
    a. vytvořte si na papíře úsečku o libovolné známé velikosti
    b. tento papír naskenujte do počítače a otevřete soubor v programu ImageJ
    c. nástrojem pro výběr přímé čáry (tools/straight line) obtáhněte vámi vytvořenou úsečku
    d. pomocí příkazu Set Scale (Menu/Analyze/Set scale) zadejte skutečnou délku nakreslené úsečky a skutečné jednotky.
    e. Zaškrtnutím volby „Global“ se kalibrace stává obecnou i pro další otevřené obrázky (do další změny kalibrace)
2) Měření plochy listu
    a. otevřete si obrázek s naskenovanými listy
    b. pro manuální měření lze použít nástroj hůlky (Tools/wand). Dvojklikem na ikonu nástroje otevřete vlastnosti
    c. vyberte parametr, který chcete použít
    d. klepnutím na jednotlivé listy dojde k jejich výběru (je označen žlutím okrajem)
    e. vybraný objekt změřte (Menu/Analyze/Measure; Ctrl+M)
    f. změřte všechny listy a hodnoty zaznamenejte do tabulky

11.2.2 Šablony



Obr. 49 Bodový tesotvací systém se systematicky rovnoměrně náhodně rozmístěnými body testovacího systému. Pro použití bodové metody je třeba zjistit, jaké ploše odpovídá jeden bod testovacího sytému. Je třeba změřit délku obou rozměrů vzdáleností bodů a spočítat plochu mezo body. Šablona může být překopírována na průhlednou fólii. Převzato z Albrechtová a Kubínová 1999.



Obr. 50 Šablona pro měření úhlu ohybu stonku.

11.2.3 Statistické výpočty

Aritmetický průměr

je statistická veličina, která v jistém smyslu vyjadřuje typickou hodnotu popisující soubor mnoha hodnot. Jedná se o součet všech hodnot vydělený jejich počtem.

výpočet aritmetického průměru

$x = 1/n * (x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_n)$

n……. počet měření

x_1…… hodnota získaná prvním měřením

x_2…… hodnota získaná druhým měřením

Všechny naměřené hodnoty se sečtou a součet se vydělí počtem měření.

Rozptyl

Rozptyl nám udává, jak moc jsou hodnoty v našem statistickém soubory rozptýleny. Rozptylu se někdy též říká variance.

Rozptyl je definován jako průměr čtverců odchylek jednotlivých hodnot znaku od jejich aritmetického průměru

rozptyl slouží k měření variability hodnot kolem průměru i vzájemné variability jednotlivých znaků navzájem

- Pro výpočet je nutné znát aritmetický **průměr**

Jak tedy na to:

Máme-li soubor hodnot $X = [x_1, \ldots, x_N]$, kde $\bar{x}$ je průměrná hodnota, pak rozptyl, označme ho Var, vypočítáme takto:

$$\mathrm{Var}(X) = \frac{1}{N}((x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \ldots + (x_N - \bar{x})^2)$$

Případně pomocí sumy takto:

$$\mathrm{Var}(X) = \frac{1}{N}\sum_{i=}\frac{1}{N}(x_i - \bar{x})^2$$

Proč zrovna $(x_1 - \bar{x})$? Samotný výraz $x_1 - \bar{x}$ by nám vrátil vzdálenost bodu x_1 od průměru. Přesněji bychom měli napsat $|x_1 - \bar{x}|$ (absolutní hodnota), kdyby byla hodnota x_1 menší než hodnota průměru. Protože chceme znát obsah čtverce, umocníme tuto hodnotu na druhou.

Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka vypovídá o tom, jak moc se od sebe navzájem liší typické případy v souboru zkoumaných čísel. Je-li malá, jsou si prvky souboru většinou navzájem podobné, a naopak velká směrodatná odchylka signalizuje velké vzájemné odlišnosti (Graf 21).

Směrodatná odchylka také popisuje, jak jsou hodnoty rozptýleny či odchýleny od průměru hodnot, ale na rozdíl od rozptylu není vyjádřena ve čtvercích

Výpočet směrodatné odchylky

- Vypočítává se jako odmocnina z **rozptylu**

Směrodatná odchylka, značená řeckým písmenem σ, se obvykle definuje jako odmocnina z rozptylu náhodné veličiny X, tzn.

$$\sigma = \sqrt{D(X)},$$

kde $D(X)$ označuje rozptyl náhodné veličiny X.

Všechny výpočty můžeme jednoduše provést v programu MS Excel.

11.2.4 Statistické problémy

Při hodnocení vědecké práce si musíme dát pozor na interpretaci dat. Použitím nesprávných statistických metod bychom mohli nabýt nesprávného dojmu o výsledcích našeho bádání. Některé metody, jako například prostý aritmetický průměr totiž nestačí, neboť průměr neříká nic o variabilitě hodnot v rámci měřeného souboru dat. Žádná plně vědecká práce se neobejde bez nejrůznějšího statistického testování. Pouze tímto testováním se totiž získané výsledky správně utřídí a hlavně správně interpretují, což je zásadní. Na středních školách se žáci se

složitějším testováním dat spíše nesetkají, ale měli by být s touto problematikou seznámeni. Proto pro vyhodnocování výsledků experimentů této práce, budou pracovat alespoň se základy statistiky, ke kterým patří deskriptivní statistika: průměr, rozptyl a směrodatná odchylka. Vypočítáním těchto veličin získají žáci základní povědomí o třídění dat a pomůže jim to s jejich interpretací.

Aritmetický průměr:

Aritmetický průměr je statistická veličina, která v jistém smyslu vyjadřuje typickou hodnotu popisující soubor mnoha hodnot. Jedná se o součet všech hodnot vydělený jejich počtem.

Všechny naměřené hodnoty se sečtou a součet se vydělí počtem měření.

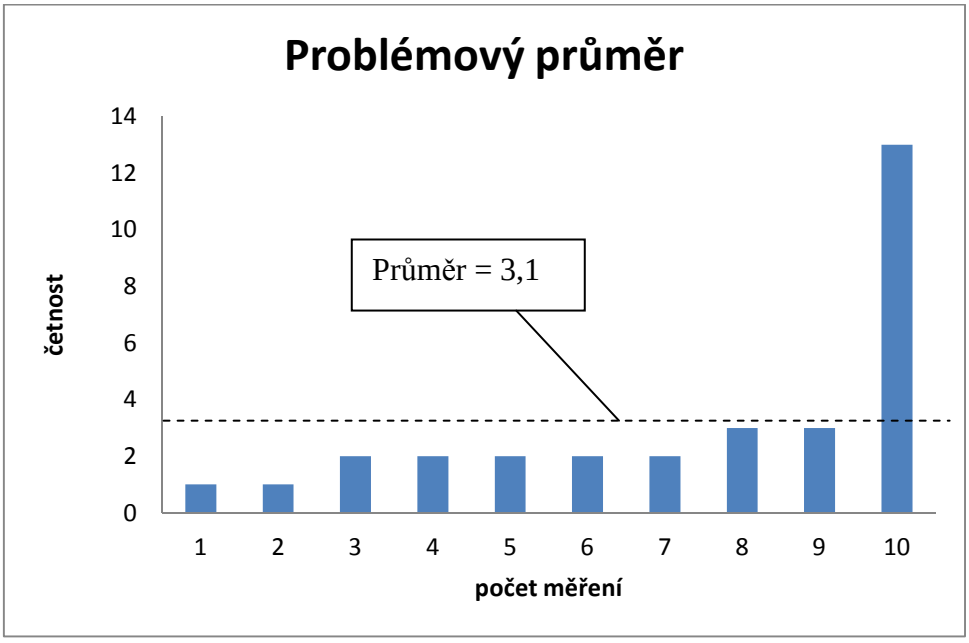
Pozor! aritmetický průměr přináší i řadu problémů.

Problémy s průměrem:

Aritmetický průměr je zřejmě nejčastěji používaný statistický pojem, který se objevuje i v běžném lidském vyjadřování. S tím ovšem souvisí i fakt, že je velice často využíván chybně, či dokonce záměrně zneužíván.

Nejčastější chybou je interpretace aritmetického průměru tam, kde je na místě využít jinou statistiku.

- Např. průměrný počet ulic v české obci je 13, ale jen 31 z 6250 obcí (méně než 0,5 %) má průměrný počet ulic.
- Např. aritmetickým průměrem souboru {1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 13} je 3,1, přestože devět z deseti hodnot tohoto souboru je menších (Graf 20). V tomto případě by bylo vhodnější než aritmetický průměr použít medián, který znamená nejčastěji se vyskytující hodnotu v souboru, v tomto případě je medián souboru roven 2.



Graf 27 Problém s průměrem. Z deseti měření je devět menších než průměr, který nabývá hodnoty 3,1.

Charakteristika variability – proměnlivost souboru

Statistické znaky jako číselné proměnné jsou vždy různě variabilní (proměnlivé). Malý stupeň variability znamená malou vzájemnou různost (velkou podobnost) hodnot dané proměnné, což zároveň signalizuje, že střední hodnota (průměr) i medián jsou v tomto případě dobrými charakteristikami obecné velikosti hodnot dané proměnné v daném souboru. Naopak vysoká variabilita značí velkou vzájemnou odlišnost hodnot dané proměnné, což zároveň signalizuje, že vypočítané parametry středu souboru nejsou v tomto případě dobrými charakteristikami obecné výše hodnot dané proměnné v daném souboru.

Charakteristiky středu souboru (střední hodnoty) udávají pouze informaci o poloze statistického souboru na číselné ose, ale neudávají, jak jsou hodnoty v souboru rozptýleny kolem středu, případně, zda existují v souboru tzv. extrémní hodnoty. Tuto informaci poskytují tzv. **míry variability** (charakteristiky variability), které vyjadřují rozmístění hodnot dané proměnné okolo střední hodnoty celého souboru. Zde jsou uvedeny vybrané statistické operace:

a) Variační rozpětí

Variační rozpětí $\boldsymbol{R}$ řady n čísel můžeme definovat jako rozdíl mezi největší a nejmenší hodnotou řady (rozdíl mezi největší a nejmenší hodnotou znaku v souboru):

$$\boldsymbol{R = x_{max} - x_{min}}$$

Variační rozpětí není příliš přesnou charakteristikou variability hodnot sledované numerické proměnné, neboť je ovlivněno velikostí extrémních hodnot a zároveň neříká nic o tom, jak se chovají hodnoty uvnitř souboru.

Tento nedostatek R překonávají rozpětí kvantilů, z nichž nejpoužívanější je *kvartilové rozpětí* R_q:

$$\boldsymbol{R_q = x_{0,75} - x_{0,25}}$$

Je zřejmé, že variační rozpětí ani kvantilová rozpětí neberou při charakterizování variability v úvahu velikost všech hodnot sledované numerické proměnné, což je mnohdy pociťováno jako závažný nedostatek.

b) Rozptyl

Rozptyl nám udává, jak moc jsou hodnoty v našem statistickém soubory rozptýleny. Rozptylu se někdy též říká variance.
Rozptyl je definován jako průměr čtverců odchylek jednotlivých hodnot znaku od jejich aritmetického průměru
rozptyl slouží k měření variability hodnot kolem průměru i vzájemné variability jednotlivých znaků navzájem

- Pro výpočet je nutné znát aritmetický **průměr**

Jak tedy na to:

Máme-li soubor hodnot $X = [x_1, \ldots, x_N]$, kde $\bar{x}$ je průměrná hodnota, pak rozptyl, označme ho Var, vypočítáme takto:

$$\mathrm{Var}(X) = \frac{1}{N}\left((x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \ldots + (x_N - \bar{x})^2\right)$$

Případně pomocí sumy takto:

$$\mathrm{Var}(X) = \frac{1}{N}\sum_{i=}\frac{1}{N}(x_i - \bar{x})^2$$

Proč zrovna $(x_1 - \bar{x})^2$? Samotný výraz $x_1 - \bar{x}$ by nám vrátil vzdálenost bodu x_1 od průměru. Přesněji bychom měli napsat $|x_1 - \bar{x}|$ (absolutní hodnota), kdyby byla hodnota x_1 menší než hodnota průměru. Protože chceme znát obsah čtverce, umocníme tuto hodnotu na druhou.

c) Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka vypovídá o tom, jak moc se od sebe navzájem liší typické případy v souboru zkoumaných čísel. Je-li malá, jsou si prvky souboru většinou navzájem podobné, a naopak velká směrodatná odchylka signalizuje velké vzájemné odlišnosti (Graf 21).

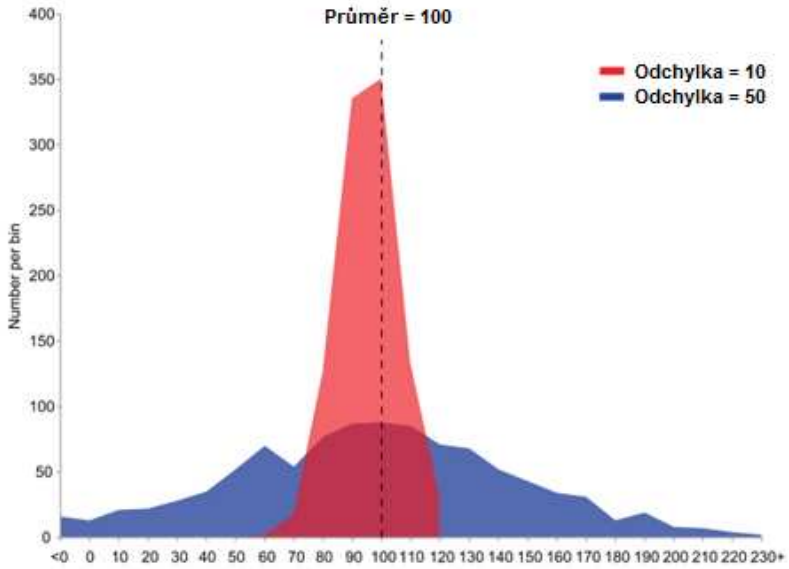
Výpočet směrodatné odchylky

- Vypočítává se jako odmocnina z **rozptylu**

Směrodatná odchylka, značená řeckým písmenem σ, se obvykle definuje jako odmocnina z rozptylu náhodné veličiny X, tzn.

$$\sigma = \sqrt{D(X)},$$

kde $D(X)$ označuje rozptyl náhodné veličiny X.



Graf 28 Příklad dvou populací hodnot se stejným aritmetickým průměrem a s rozdílnou směrodatnou odchylkou. Červená populace má průměr 100 a směrodatnou odchylku 10; modrá populace má průměr taktéž 100 a směrodatnou odchylku 50. Převzato z wikipedia.org

Veškeré statistické výpočty můžeme provést jednoduše v počítačových programech např. MS Excel.

11.3 Dotazník

1) Dotazník č. 1 - Materiální zabezpečení škol

- Dotazník pro učitele

DOTAZNÍK – Materiální zabezpečení škol

Jmenuji se Libor Sedlecký a jsem student navazujícího magisterského oboru Biologie a geografie se zaměřením na vzdělávání na přírodovědecké fakultě v Praze, svou diplomovou práci zpracovávám na Katedře experimentální biologie rostlin Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze s tématem týkajících se nových experimentů s rostlinami a vypracování protokolů prostřední školy.

Tento dotazník je zcela anonymní a veškeré údaje, které vyplníte, budou použity pouze pro účely osobního výzkumného projektu.

Předem děkuji za kompletní vyplnění tohoto dotazníku.

1) Máte na škole specializovanou učebnu, kde můžete provádět biologické pokusy?

   ANO

   NE

   NEVÍM, protože _____

2) Jaký je počet pracovních stolů ve vaší biologické/chemické laboratoři ve škole?

_____

3) Pokud ve vaší škole nemáte chemické laboratoře, napište počet stolů v alternativní učebně.

_____

4) Kolik žáků maximálně pracuje v laboratoři?

---

5) Máte k dispozici Petriho misky?

   ANO
   NE
   NEVÍM, protože _____

6) Máte k dispozici přenosné stolní lampy či jiná svítidla?

   ANO
   NE
   NEVÍM, protože _____

7) Pokud ano, prosím napište, kolik svítidel máte k dispozici:……..…

8) Máte možnost získat světelné LED – diodové zdroje záření?

   ANO
   NE
   NEVÍM, protože _____

9) Máte k dispozici váhy? Pokud ano, prosím napište typ a nakolik desetinných míst měří s přesností?

   ANO
   NE

váhy

váhy s přesností na 1g

váhy s přesností na 0,1g

váhy s přesností na 0,01g

váhy s přesností na 0,001g

10) Máte k dispozici počítač?

ANO

NE

NEVÍM, protože _____

11) Máte k dispozici zařízení, které umožňuje metodu časoměrného snímání (webkamera, fotoaparát, kamera,…)?

ANO

NE

NEVÍM, protože _____

12) Máte k dispozici počítačový program, který je schopen změřit listovou plochu listu?

ANO

NE

NEVÍM, protože _____

Pokud ano, napište prosím název programu……..

13) Pokud ne, napište prosím, jakou metodou měříte listové plochy.

_____

14) Jaké máte možnosti pro pěstování rostlin?

_____

15) Máte k dispozici květináče o objemu cca 0,75 l?

_____

ANO

NE

NEVÍM, protože _____

Pokud ne, napište prosím používanou alternativní variantu……

16) Máte nějaké finanční prostředky na biologická praktika?

ANO

NE

NEVÍM, protože _____

17) Jaké jsou vaše možnosti zisku ročních financí pro biologická praktika?

a) 0 – 500 Kč
b) 500 – 1000 Kč
c) 1000 – 5000 Kč
d) více než 5000 Kč

18) Pokud ano, co si v rámci těchto finančních prostředků můžete koupit?

_____

2) Dotazník č. 2 – protokoly

- Dotazník pro učitele

DOTAZNÍK – PROTOKOLY

Jmenuji se Libor Sedlecký a jsem student navazujícího magisterského oboru Biologie a geografie se zaměřením na vzdělávání na přírodovědecké fakultě v Praze, svou diplomovou práci zpracovávám na Katedře experimentální biologie rostlin Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze s tématem týkajících se nových experimentů s rostlinami a vypracování protokolů pro střední školy.

Tento dotazník je zcela anonymní a veškeré údaje, které vyplníte, budou použity pouze pro účely osobního výzkumného projektu.
Předem děkuji za kompletní vyplnění tohoto dotazníku.

1) Je pro Vás atraktivní námět pro praktická cvičení „Fotomorfogeneze rostlin“?

ANO, protože _____
NE, protože _____
NEVÍM, protože _____

2) V čem byste ho jako učitelé vylepšili?

_____

3) Je pro Vás tato laboratorní práce využitelná?

ANO, protože _____
NE, protože _____
NEVÍM, protože _____

4) Dovedli byste sestavit aparaturu pro potřeby pokusů dle návodu v protokolu?

ANO, protože _____

NE, protože _____

NEVÍM, protože _____

5) Jaké části návodu při sestavování aparatury jste nerozuměli?

_____

6) Máte návrh pro zlepšení při sestavování aparatury?

ANO, protože _____

NE, protože _____

NEVÍM, protože _____

7) Jsou materiály aparatury pro vaši školu dosažitelné?

ANO, protože _____

NE, protože _____

NEVÍM, protože _____

8) Využijete ve své praxi poznatky získané při práci s time – lapse (časosběrném) snímáním

ANO, protože _____

NE, protože _____

NEVÍM, protože _____

9) Máte konkrétní připomínky k protokolům Fotomorfogeneze rostlin? Měli byste návrh pro zlepšení?

ANO, protože _____

NE, protože _____

NEVÍM, protože _____

10) Měli byste návrh pro zlepšení?

ANO, protože _____

NE, protože _____

NEVÍM, protože _____

3) DOTAZNÍK č. 3 – Fotomorfogeneze rostlin

- Dotazník pro žáky

Fotomorfogeneze rostlin

Jmenuji se Libor Sedlecký a jsem žák navazujícího magisterského oboru Biologie a geografie se zaměřením na vzdělávání na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze, svou diplomovou práci zpracovávám na Katedře experimentální biologie rostlin Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze s tématem týkajících se nových experimentů s rostlinami a vypracování protokolů pro střední školy.

Tento dotazník je zcela anonymní a veškeré údaje, které vyplníte, budou použity pouze pro účely osobního výzkumného projektu.
Předem děkuji za kompletní vyplnění tohoto dotazníku.

2) Pohlaví
   a) Muž
   b) Žena

3) Zhodnoťte svůj zájem o předmět biologie (1 – nejoblíbenější předmět, 5 – nemám biologii rád)

   1 2 3 4 5

4) Myslíte, že se ve škole dozvíte o současných biologických novinkách?
   a) Ano
   b) Ne

c) Biologie mě nebaví, takže se o novinky nezajímám.
d) Ne, ale informace si zjišťuji sám z: (doplňte)……

5) Slyšeli jste už někdy termín Fotomorfogeneze rostlin?
   a) ANO
   b) NE
   c) NEVÍM

6) Fototropismus rostlin je charakterizován:
   a) Růstovými pohyby
   b) Ziskem energie z fotosyntetického aparátu
   c) Oplozením rostlin
   d) Nevím

7) K čemu dochází na těle rostliny při fototropismu?
   a) Buňky na opačných stranách stonku rostou různou rychlostí, což má za následek jeho ohyb.
   b) Po přijetí světelného signálu, rostlina začíná kvést.
   c) Dojde k zachycení fotonu chlorofylem.
   d) Nevím.

8) Uveďte příklad z přírody, kde můžete pozorovat fototropismus rostlin.
   a) Uveďte příklad…….
   b) Nevím.

9) Jaký vzhled těla by měla rostlina, která by vyklíčila a vyvíjela se pouze ve tmě?
   a) Stejný jako při vývoji na světle.
   b) Rostliny se bez světla nemohou vyvíjet.
   c) Měla by malou plochu listů a nažloutlou barvu.
   d) Nevím.