

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

**Zemědělská fakulta**

Obor: Biologie a ochrana zájmových organismů

Katedra: Biologických disciplín

**Anatomická adaptace orchideje *Erythroides nobilis* na zastínění**

Bakalářská práce

**Veronika Kempová**

Vedoucí práce

**Doc. RNDr. Hana Čížková, CSc.**

České Budějovice 2010

## **Anotace**

Orchidej *Erythrodes nobilis* patří mezi terestrické orchideje rostoucí ve stinném podrostu Brazilského tropického deštného lesa. Tento druh se adaptoval na silné zastínění. Tato bakalářská práce se zabývá adaptacemi na zastínění orchideje *Erythrodes nobilis*. A to především anatomickou adaptací, adaptacemi chlorofylů a růstovou analýzou. Typickým rysem anatomické stavby listů orchideje *Erythrodes nobilis* jsou především čokovité buňky pokožky a dvouvrstevný palisádový parenchym s vysokým obsahem chlorofylu.

Na dlouhodobé zatemnění rostlina reagovala vzrůstem celkové listové plochy, vzrůstem obsahu chlorofylu *a* i chlorofylu *b* v dospělých listech a tvorbou nových listů o mimořádně velké specifické listové ploše.

## **Annotation**

Orchid *Erythrodes nobilis* is ranked among terrestrial orchids, which grows in shady undergrowth of Brazil tropical rainforest. This species has adapted to very strong shading. This thesis is focused on adaptations on shading of orchid *Erythrodes nobilis*, especially anatomical adaptation, chlorophyll adaptations and growth analysis. The typical feature of leaves structure of an orchid *Erythrodes nobilis* are especially lens-like cells in the skin and two-layers wide palisade parenchyma with high content of chlorophyll.

The plant has responded to darkening with enhancement of leaf size, chlorophyll content and even the content of b-chlorophyll in adult leaves and creation of new leaves with enormous specific leaf size.

# Obsah

<b>1 ÚVOD</b>	<b>6</b>
<b>2 LITERÁRNÍ PŘEHLED</b>	<b>7</b>
2.1 <i>Orchidaceae</i> a jejich ochrana . . . . .	7
2.1.1 Celosvětová ochrana orchidejí a CITES . . . . .	7
2.2 Subtribus <i>Physurinae</i> . . . . .	8
2.3 Botanické vlastnosti a ekologické nároky druhu <i>Erythrodes nobilis</i> . .	9
2.4 Popis anatomické stavby bifaciálního listu na příčném řezu . . . . .	10
2.5 Anatomické vlastnosti listu ve vztahu k ozáření . . . . .	10
2.5.1 Průchod záření atmosférou . . . . .	11
2.5.2 Absorpce záření . . . . .	11
2.5.3 Přímé účinky záření . . . . .	12
2.5.4 Adaptace roslin na záření . . . . .	13
<b>3 METODIKA</b>	<b>15</b>
3.1 Principy použitých metod . . . . .	15
3.1.1 Principy světelné mikroskopie . . . . .	15
3.1.2 Růstová analýza . . . . .	16
3.1.3 Stanovení množství chlorofylu . . . . .	17
3.2 Popis vlastní práce . . . . .	17
3.2.1 Anatomická stavba listu . . . . .	17
3.2.2 Popis uspořádání pokusu se zatemněním . . . . .	17
3.2.3 Růstová měření . . . . .	18
3.2.4 Stanovení množství chlorofylu v listech . . . . .	19
<b>4 VÝSLEDKY</b>	<b>20</b>
4.1 Anatomická stavba listu . . . . .	20
4.2 Reakce rostlin na zatemnění . . . . .	20
4.2.1 Faktor pro výpočet listové plochy . . . . .	20
4.2.2 Přírůstek listové plochy . . . . .	20
4.2.3 Specifická listová plocha na konci pokusu . . . . .	22
4.3 Stanovení množství chlorofylu . . . . .	23
<b>5 DISKUZE</b>	<b>25</b>
<b>6 ZÁVĚR</b>	<b>27</b>
<b>7 LITERATURA</b>	<b>28</b>
<b>8 DATOVÉ PŘÍLOHY</b>	<b>29</b>



# 1 ÚVOD

Orchideje patří mezi velmi specializované rostliny, proto se jen těžko vyrovnávají se změnami prostředí a stejně tak i se silnou mezidruhovou konkurencí. Změny prostředí velmi často vyvolává člověk svou činností. O to více jsou ohroženy velmi citlivé druhy s malým areálem výskytu, kde i malá změna může zapříčinit vymizení celého druhu. Proto jsou orchideje, až na několik výjimek zařazených do Přílohy I, zařazeny do přílohy II Mezinárodní úmluvy o obchodu s volně žijícími druhy rostlin a živočichů CITES.

Sluneční záření je nezbytné pro život i těchto rostlin. Některé druhy se dokázaly přizpůsobit, i extrémnímu nedostatku záření na stanovištích, jako může být tmavý podrost tropických deštných lesů, kde by jiné druhy nepřežily. Mezi druhy, které snášejí extrémní zastínění, patří také druh *Erythroides nobilis*.

Druh *Erythroides nobilis* je zařazen do Přílohy II úmluvy CITES (<http://www.cites.org/eng/app/e-appendices.pdf> 29.3.2010). Ovšem i přesto je informací o tomto druhu velmi málo. Nezmiňuje se o ní ani databáze vědeckých publikací Web of Science, ani české knižní publikace. Hlavním cílem práce bylo zdokumentovat anatomické adaptace orchideje *Erythroides nobilis* na zastínění.

## 2 LITERÁRNÍ PŘEHLED

### 2.1 *Orchidaceae* a jejich ochrana

Orchideje jsou vytrvalé rostliny z největší rostlinné čeledi *Orchidaceae*, která čítá kolem 25 000 druhů. Kromě toho na světě existuje 25 - 30 000 přírodních a hlavně umělých kříženců, toto množství je srovnatelné s počtem botanických druhů.

Velký druhový počet je dán relativní mladostí této rostlinné skupiny. První krytosemenné rostliny se objevily před 130 miliony let, zatímco orchideje se objevily o 50 - 60 milionů let později. Dodnes tedy zřejmě nenalezly konečnou podobu a dále podléhají velmi rychlé evoluci. To lze usuzovat z genetické nestability čeledi, kdy se zástupci různých rodů mezi sebou v přírodě navzájem úspěšně kříží (Ježek 2006).

Orchideje mají oproti jiným rostlinám řadu specifických biologických vlastností. Semena nemají zásobní látky uložené v endospermu a nejsou životaschopné bez symbiotických hub, díky nimž mohou úsporně využívat živiny a vodu. Jako kvetoucí rostliny mají komplikovaný vztah k opylovačům, jimž je také přizpůsobena morfologická stavba květů i mechanismus opylení (Dušek et Křístek 1986).

Orchideje jsou rozšířeny na celém povrchu Země, s výjimkou pouští a oblastí trvale pokrytých sněhem. Téměř 90 % z nich se nachází v tropech. Nejvíce druhů orchidejí se vyskytuje v Asii (10 - 15 000 druhů), ve Střední Americe (1 000 druhů), Jižní Americe (6 - 8 000 druhů) a v Africe (2 000 druhů). Na ostatních místech jsou orchideje zastoupeny již méně. Například v Austrálii se vyskytuje 700 druhů, v Severní Americe 200 druhů a v Evropě 200 druhů (Ježek 2006).

#### 2.1.1 Celosvětová ochrana orchidejí a CITES

Čeď *orchidaceae* je celosvětově ohrožená skupina. Jako vysoce specializované rostliny se orchideje velmi špatně vyrovnávají s drastickými zásahy do jejich přirozeného prostředí. Důvodem jsou vysoké požadavky na neměnnost přirozených ekologických poměrů, symbiotický vztah k houbám a také složité klíčení. Jakákoliv i malá změna prostředí může nenávratně poškodit houbové hyfy. Rostliny poté vymírají i relativně nepoškozené a vzhledově naprosto „zdravé“ (Ježek 2006).

Navíc také v tropickém pásmu celého světa pokračuje tvorba kulturní krajiny, kdy statisíce hektarů tropického deštného lesa jsou káceny a přeměňovány v kulturní polostep sužovanou suchem a erozí půdy. Zde má jen malá část původních rostlin šanci se opět uchytit. Navíc lidé ohrožují orchideje přímo, a to sběrem exemplářů nejen pro specializované sběratele (Ježek 2006).

Pro částečné zmírnění těchto negativních dopadů, byla celá čeď *Orchidaceae* vložena do seznamů CITES, což je úmluva o mezinárodním obchodu s volně žijícími druhy rostlin a živočichů. Přijetím této úmluvy se státy zavazují k přijetí příslušných

zákonů a opatření, které kontrolují, omezují nebo úplně zakazují obchod s těmito ohroženými druhy. Právě v případě tropických orchidejí jsou tato omezení nutná pro zachování druhů. Všechny botanické druhy byly bez výjimky zařazeny do Přílohy II (mohou tedy být ohroženy, pokud nebude obchod s těmito druhy regulován). Nejprísněji chráněné druhy jsou zařazeny do Přílohy I. Mezi ně patří rody *Paphiopedilum*, *Phragmipedium* nebo například druhy *Laelia jongheana*, *Laelia lobata* nebo *Dendrobium cruentum* (<http://www.cites.org/eng/app/e-appendices.pdf> 10.1.2010).

V současné době není možné bez příslušných povolení jakékoliv přírodní druhy orchidejí sbírat nebo je transportovat přes hranice. Například i terénní sběry pracovníků botanických zahrad nebo jiných institucí jsou velmi přísně kontrolovány a vyžadují příslušná povolení (Ježek 2006).

Ovšem mnohá zavedená opatření se minula účinkem a mnohé druhy se po zařazení do Přílohy I, se staly natolik atraktivními, že zbytky původních přírodních populací podlehly nájezdům sběračů a pašeráků.

V současnosti spočívá ekonomické využití orchidejí především v obchodu s uměle vypěstovanými kultivary, který celosvětově dosahuje vysokého obrátu (Průša 2005).

## 2.2 Subtribus *Physurinae*

Subtribus *Physurinae* je rozsáhlý subtribus, který obsahuje kolem 30 rodů. Patří jsem především rostliny s poléhavými, dužnatými oddenky, vzpřímenými stonky a velmi často s pestře zbarvenými listy. Na různých místech oddenků se velmi často vytvářejí kořeny. Květy tvoří vzpřímený hrozen. Jsou drobné bílé a střední sepal a petaly tvoří přilbovitý útvar. Všechny rody v subtribu *Physurinae* rostou terestricky v lesích nebo ve štěrbinách skal, proto vyžadují humózní půdu a silné zastínění. (Dušek et Křístek 1986).

Do subtribu *Physurinae* patří také například rody *Macodes* nebo *Ludisia*. Rod *Macodes* zahrnuje kolem 10 terestrických druhů, které jsou rozšířeny od Malajsie přes Jávu až k Nové Guinei. Kde rostou v nížiných tropických deštných lesích ve výškách od 100 do 800 m. n. m. v humózních půdách (Sychrová 2009). Mají plazivé oddenky, dužnaté stonky a střídavě, popřípadě i růžicovitě uspořádané listy. Listy jsou sametové s velmi světlou žilnatinou.

Známým druhem tohoto rodu je *Macodes petola*. Tento druh žije terestricky v Indonésii (Sumatra, Jáva), Malajsii i na Filipínách ve stinném podrostu tropických deštných lesů. Vyžaduje silné zastínění a nejlépe prospívá v prostředí s relativní ozářeností 0,2% což odpovídá 250 luxům. Roste v nadmořských výškách kolem 300 - 1 400 m. n. m. (Sychrová 2009). Má silný dužnatý stonek, který dosahuje výšky kolem 20 cm.



## 2.3 Botanické vlastnosti a ekologické nároky druhu *Erythroides nobilis*

Druh *Erythroides nobilis* patří do:

- říše: *Plantae*
- oddělení: *Magnoliophyta*
- třída: *Liliopsida*
- řád: *Asparagales*
- čeleď: *Orchideaceae*
- subtribus: *Physurinae*
- rod: *Erythroides*.

V jiných zdrojích se také uvádějí synonyma pro tento druh, a to *Aspidogyne nobilis* nebo také *Physurus nobilis* (<http://culturesheet.org/orchidaceae:aspidogyne:nobilis>, 11.3.2010).

Rod *Erythroides* zahrnuje kolem 60 druhů především v Asii, Malajsii a Jižní Americe. *Erythroides nobilis* patří mezi terestrické stínomilné orchideje původem z Brazílie. Rostliny obývají tmavý podrost bylinného patra tropických deštných lesů, který je pro jiné rostliny nepříznivý. Proto se tyto rostliny musely adaptovat na extrémní zastínění (Husák et Haager 1977). Patří k několika druhům vstavačovitých rostlin, které jsou známy jako "Jewel orchids".

Tyto rostliny s ojedinělou kresbou listu jsou drobného vzrůstu se vzpřímenými nebo lehce poléhavými lodyhami. Stonek je měkký, z uzlin stonku vyrůstají z něj adventivní kořeny. Listy jsou oválné, ke konci zašpičatělé, jejich šířka je v rozmezí 2,0 až 5,3 cm. Povrch listů je sametově tmavě zelený a nervatura nápadně zlatavě lesklá. Květenství tvoří vzpřímený hrozen drobných bíložlutých květů o velikosti 7 – 10 mm. Rostliny kvetou každoročně na přelomu zimních a jarních měsíců (Husák et Haager 1977). Po odumření květenství rostlina znovu obráží.

Ekologické nároky stínomilných terestrických orchidejí jsou velice podobné. Patří k nim vazba na houby neboli mykotrofie, vazba na opylovače, malé nároky na minerální výživu a malá konkurenční schopnost oproti jiným druhům. *Erythroides nobilis* potřebuje vysokou vzdušnou vlhkost 80 - 90% a teploty kolem 16 - 30°C (Husák et Haager 1977).

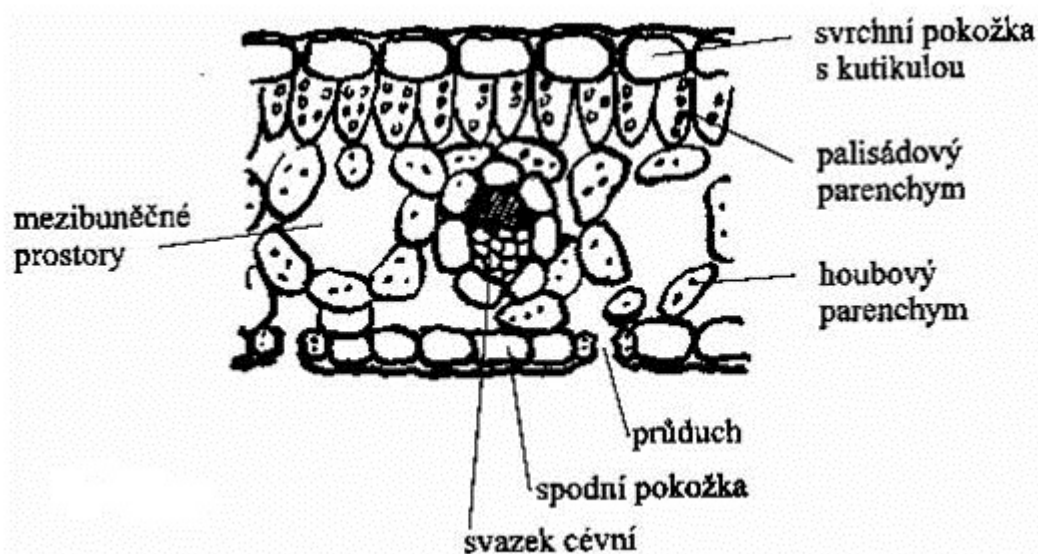
## 2.4 Popis anatomické stavby bifaciálního listu na příčném řezu

Vnitřní stavba bifaciálního listu je jiná na svrchní straně než na spodní straně. Na svrchní straně je list tvořen jednovrstevnou pokožkou (epidermis). Pod pokožkou následuje základní parenchymatické pletivo - palisádový parenchym. Toto základní parenchymatické pletivo je tvořeno protáhlými buňkami sloupcovými (palisádovými). Palisádové buňky jsou svými osami kolmé k povrchu listu a jsou velmi bohaté na chloroplasty. Tvoří jednu nebo více vrstev (Černohorský 1964).

Pletivo pod palisádovým parenchymem se vyznačuje především buňkami nepravidelného tvaru s menším množstvím chlorofylu a velkými mezibuněčnými prostory. Toto pletivo se označuje jako houbový parenchym. Spodní stranu listu tvoří spodní pokožka, v níž se obvykle vyskytuje více průduchů než v pokožce svrchní.

Buňky palisádového parenchymu jsou oddělené jen úzkými mezibuněčnými prostory a proto dodávají listům temnější zbarvení. Oproti tomu buňky houbového parenchymu mají velké mezibuněčné prostory, dochází k úplnému odrazu světla, a proto je líc listu světlejší. (Černohorský 1964).

Obr.č.2 - Příčný průřez bifaciálním listem, převzato: <http://www.studuj-jinak.cz/referaty/download.php?id=102>



## 2.5 Anatomické vlastnosti listu ve vztahu k ozáření

Záření je pro rostlinu zdrojem energie (fotoenergetické účinky) a stimulatorem vývoje (fotokybernetické účinky), ale může také rostlinu poškodit (fotodestrukční účinky). Anatomické vlastnosti listu ve vztahu k ozáření popisuje Larcher (1988).

### 2.5.1 Průchod záření atmosférou

Na vnější hranici atmosféry je intenzita záření  $1,39 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ . Z tohoto záření na zem dopadne jen kolem 47% (zbytek záření se odrazí zpět směrem do vesmíru). Z toho asi polovina projde atmosférou přímo a zbytek je rozptylován oblaky nebo vzduchem. Proto také podle zeměpisné šířky, nadmořské výšky, povahy terénu a hustoty oblaků vznikají velké rozdíly v hodnotách záření. Tropické oblasti s vysokým tlakem vzduchu a malou oblačností dostávají mnohem větší množství záření, a to až 70%. V tropickém deštném lese je dosaženo největší účinnosti využití záření. Je to dáno tím, že je prostor vyplněn velkým počtem jedinců, druhů a různých forem s různými ekologickými nároky na stanoviště. Spodní hranice ozáření pro zelené rostliny je kolem 1 - 2 % a kompenzačním bodem fotosyntézy je minimálně 250 luxů.

Ekosféra přijímá sluneční záření v rozmezí 290 - 3 000 nm (kratší je absorbováno ve vyšších vrstvách atmosféry). Dopadající záření na rostlinný pokryv je postupně absorbováno a v horních patrech většinou zužitkováno.

Úbytek záření závisí na hustotě porostu a uspořádání listů. Hustota listoví může být vyjádřena jako pokryvnost listoví LAI a kumulativní LAI udává celkovou listovou plochu (Larcher 1988).

### 2.5.2 Absorpce záření

Část záření dopadající na povrch rostliny se odrazí, fyziologicky účinná složek je absorbována a zbytek je propouštěn. Záření procházející porostem má sníženou hustotu a je změněno i kvalitativně. To znamená, že prošlé záření je složeno především vlnových délek kolem 500 nm (zelené spektrum) a délek kolem 800 nm (dlouhovlnné červené záření). Přizpůsobení spektrálnímu složení záření se nazývá chromatická adaptace (Rajchard et Balounová 2001).

Listy odrážejí až 70% záření v infračervené oblasti, které dopadá kolmo na list. Ve viditelné oblasti světla odrážejí jen kolem 6 - 12% a u ultrafialového záření je to jen kolem 3%. Schopnost odrážet světlo závisí na listovém povrchu (hustý pokryv chloupků může zvýšit odraz až na dvojnásobek i trojnásobek).

Průchod záření listem je dán tloušťkou a strukturou listu. Například měkké a ohebné listy jsou schopné propustit kolem 10 - 20% slunečního záření, velmi tenké až 40% a tlusté a tuhé listy někdy nepropustí záření vůbec.

Listy z větší části záření absorbují. Většinu UV záření zadrží vrstvy epidermálního pletiva, takže hlouběji do listu proniká 2 - 5% (obvykle kolem 1%). Tím se stává epidermální pletivo účinným filtrem UV záření. Kolem 70% fotosynteticky účinného záření (PhAR; 400 - 700 nm) pojmu chloroplasty. V oblasti kolem 700 nm je absorbováno až 97%. Fotoreceptory, které působí při fotosyntéze, jsou chlorofyly. Chlorofyly při fotosyntéze maximálně absorbují červené a modré spektrum světla a pů-

sobí také společně s přídatnými plastidovými pigmenty. Jsou to především xantofyly a karoten, které absorbují v modré a UV oblasti (Larcher 1988).

### 2.5.3 Přímé účinky záření

Fotodestrukční účinky se vyskytují při UV záření nebo při extrémně intenzivním viditelném záření. Jsou to fotoenergetické procesy. Při nadbytku energie je hlavním obranným mechanismem glykolátový metabolismus, při kterém se v buňce váže kyslík a odvádí energie. Na silné záření jsou velmi citlivé některé druhy rostlin jako například ruduchy, mechy na stinných stanovištích a na stín adaptované fotolabilní cévnaté rostliny. Poškození se především projevuje fotooxidací chloroplastových pigmentů. UV záření s kratší vlnovou délkou než 300 nm způsobuje nejen fotooxidaci, ale také destrukci nukleových kyselin, bílkovin a poškození protoplazmy. Poškození UV zářením se projevuje poklesem fotosyntetické kapacity, změnou enzymatické kapacity, poruchou růstových procesů, genovými mutacemi i smrtí buňky (Larcher 1988).

Z hlediska metabolismu rozlišujeme několik adaptací na záření, a to adaptace vyvolané změnou podmínek prostředí (modulační a modifikační) a adaptace genetické neboli evoluční (Larcher 1988).

Modulační adaptace probíhají rychle a pouze dočasně (jakmile se vrátí původní situace, vrací se i původní chování). Příkladem jsou například pohyby listů vzhledem k dopadajícímu záření.

Modifikační adaptace jsou adaptace rostlin k průměrným radiačním podmínkám během vegetačního období. Například rostliny adaptované ke stínu vytvářejí velké listové plochy a mají vysokou koncentraci chlorofylu a přídatných pigmentů v chloroplastech. Rostliny adaptované na intenzivní záření vytvářejí účinný systém pro vedení vody ve stoncích. V důsledku strukturních adaptací vytvářejí tyto rostliny větší množství sušiny. Rostliny přizpůsobené k zastínění se vyznačují menší produkcí sušiny, účinnou syntézou bílkovin, malou respirací i oběhem vody.

Evoluční adaptace mají svůj základ v genotypických změnách. Určují rozdíly, které se objevují v distribuci různých druhů. Rozdělení rostlin na druhy rostoucí při nízké intenzitě záření nebo ve stínu (sciofyty) a druhy rostoucí na slunci (heliofyty) vystihuje genotypické rozdíly v nárocích na světlo. Odpověď rostliny a její specifický adaptační potenciál jsou geneticky určené vlastnosti. Světломilné rostliny se mohou přizpůsobit na zastínění, ovšem rostliny stínomilné se stejnou měrou přizpůsobit nemohou.

Příkladem adaptace k životu v podrostu tropických deštných lesů je anatomická adaptace listů stínomilných terestrických orchidejí druhu *Macodes petola*. Sametového vzhledu je docíleno konkávním tvarem pokožkových buněk, které zřejmě fungují současně jako čočka a soustřeďují záření přímo k chloroplastům. Naopak anthokyany ve spodní části listu umožňují odraz záření a jeho další využití. Všechny tyto adaptace umožňují rostlinám maximální využití dostupného záření (Rajchard et Balounová

2001).

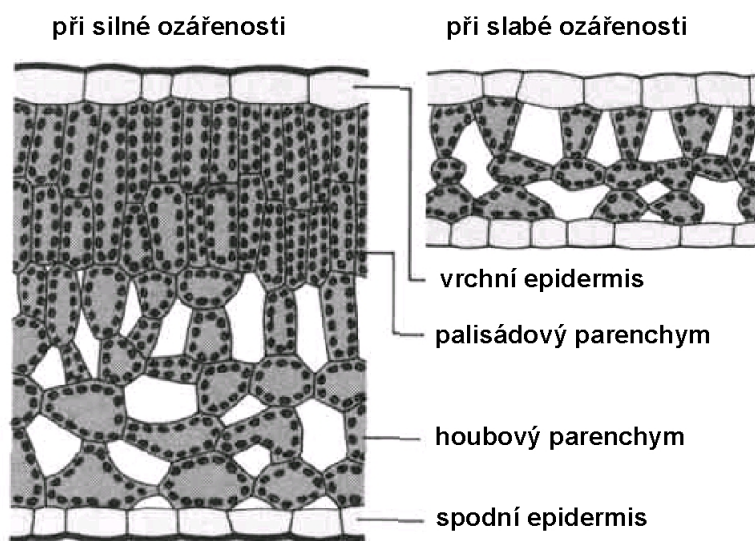
Rostliny se přizpůsobují nejen intenzitě záření, ale také jeho spektrálnímu složení. Jsou schopné měnit složení chloroplastových pigmentů podle spektrálního složení světla. Záření, v němž převládá červená složka, zvyšuje tvorbu chlorofylu *a*. Pokud převládá zelená a modrá složka, zvyšuje se tvorba chlorofylu *b* a karotenoidů (Larcher 1988).

#### **2.5.4 Adaptace roslin na záření**

Adaptace rostlin na různé hladiny ozáření mohou být morfologické, anatomické i fyziologické. Rostliny vzhledem k nárokům na ozáření rozdělujeme do třech skupin, a to na heliofyty, heliosciofyty a sciofyty. Heliofyty rostou především na zcela nezastíněných stanovištích se 100% relativním ozářením. Jejich kompenzační bod je od 9 – 20 W . m<sup>2</sup>, tedy FAR mezi 880 – 2 000 luxy. Kompenzačním bodem rozumíme stav, kdy je taková hustota záření FAR, při níž množství CO<sub>2</sub> vázané při fotosyntéze, se rovná množství CO<sub>2</sub> vydávaného při dýchání. Mezi heliofyty patří například rostliny pouštní, stepní nebo horské. Heliosciofyty jsou rostliny tolerantní ke 100% relativní ozářenosti, ale snášejí také zastínění. Mezi heliosciofyty patří velký počet travinných druhů a lesních společenstev. Naopak sciofyty jsou schopné růst jen na zastíněných místech, kde je kompenzační bod 2,5 W . m<sup>2</sup>, tedy FAR kolem 200 luxů ([http://hosting.pilsfree.net/vaca/FEL/4rocnik/EKO/EKOLOGIE ROSTLIN.pdf](http://hosting.pilsfree.net/vaca/FEL/4rocnik/EKO/EKOLOGIE%20ROSTLIN.pdf) 25.3.2010).

Pro trvalejší pobyt na stanovištích s vysokým nebo velmi malým ozářením se rostliny přizpůsobují změnou struktury svého fotosyntetického ústrojí. Například světломilné rostliny mají ztlustělé listy, pravidelné protáhlé buňky palisádového parenchymu, nebo mají dvě i tři vrstvy buněk palisádového parenchymu nad sebou. Naproti tomu stínomilné rostliny mají listy tenké, palisádový parenchym je nízký a i houbový parenchym je tvořen menším počtem vrstev buněk. Často se takto liší i listy téže rostliny, pokud se vyvíjely při různých hladinách ozáření.

Obr.č.1 - Srovnání příčných průřezů listů při silné a slabé ozáření, převzato: <http://kfr.prf.jcu.cz/?act=2> – starší přednášky dr.Šetlíka, fyziologie fotosyntézy 4



Samotné fotosyntetické charakteristiky listů se mohou měnit v průběhu vegetační sezóny. Například v průběhu kvetení lze u některých rostlin pozorovat vzestup fotosyntetické kapacity listů. U listů zastíněných má fotosyntéza větší účinnost než u ozářených, ale dochází dříve k jejich nasycení ozářeními.

Na ozáření se dokázaly adaptovat i samotné palisádové buňky i svojí délkou. Chloroplasty v těchto mezofylových buňkách jsou rozloženy v tenké vrstvě rozloženy podél bočních buněčných stěn kolmých na povrch listů. Zářením postupuje středem buňky jako světelným kanálem a rozděluje se na mnohem větší plochu chloroplastů, než jaký je průřez buňky rovnoběžný s povrchem listu.

Chloroplasty světlomilných nebo také ozářených listů mají celkově poměrně málo thylakoidů na jednotku objemu a naopak více stromatu obsahujícího enzymy Calvinova cyklu. Mají ovšem méně gran a jsou tedy světlejší, což je právě charakteristická barva osluněných listů. Naopak chloroplasty stinných rostlin nebo listů mají mnoho thylakoidů a gran, proto jsou listy velmi tmavé (<http://kfr.prf.jcu.cz/?act=2> 26.3.2010).

## 3 METODIKA

### 3.1 Principy použitých metod

#### 3.1.1 Principy světelné mikroskopie

- **Popis mikroskopu**

Optický mikroskop je zařízení pro zvětšování objektů. Funguje na principu dvou soustav čoček. Čočka blíže oku pozorovatele se nazývá okulár a druhá, bližší pozorovanému objektu, se nazývá objektiv. Obě tyto čočky jsou spojené trubicí tzv. tubusem, který se skládá ze dvou destiček. Tubus tedy udržuje oba optické systémy v určité vzdálenosti a opticky je izoluje tak, aby mezi ně nevnikaly nežádoucí paprsky.

Součástí mikroskopů je také tzv. revolverové zařízení, které umožňuje výměnu objektivů. Jsou to dvě destičky. První destička je pevně spojená s tubusem a druhou destičkou lze otáčet. Správná poloha objektivu je zajištěna zářezem v otáčivé části revolveru a zářezem (Pazourek 1961).

Nad kloubem mikroskopu je umístěn stolek, na který preparát umístíme. Aby se preparát nehýbal, lze ho ke stolku připevnit svorkami. Pod stolkem se nachází osvětlovací zařízení. Světlo do mikroskopu soustřeďuje kondenzor, což je čočka nebo soustava čoček mezi světelným zdrojem a preparátem. Na jeho spodní straně se nachází clonka. Clonka je duhovková neboli irisová a skládá se z lamel sestavených tak, že svírají uprostřed otvor, který lze zvětšovat nebo zmenšovat pomocí páčky.

Při mikroskopování je nutné, aby byl objektiv ve správné vzdálenosti od pozorovaného objektu. Ostříme pohybem tubusu s objektivem a okuláry. Pro hrubé zaostření slouží makrometrický šroub. Pro jemnější posun lze použít mikrometrický šroub, který má ovšem omezený pohyb (Pazourek 1961).

- **Vznik obrazu a jeho kvalita**

Vznik obrazu je založen na principech geometrické optiky. Objektiv i okulár jsou čočky typu spojka. Při ostření nastavíme objekt mezi dvojnásobnou ohniskovou vzdáleností a ohnisko. Poté vznikne za dvojnásobnou ohniskovou vzdáleností obraz skutečný, zvětšený, přímý. Protože obraz vytvořený objektivem je převrácený a okulár nazpět obraz nepřevrací, je konečný obraz, který v mikroskopu pozorujeme, vzhledem k předmětu převrácený (Pazourek 1961).

Kvalitu obrazu a schopnost optiky zobrazit jemné detaily mohou ovlivnit různé vady čoček. Rozhodující vliv na kvalitu obrazu má objektiv. V pozorovaném objektu bývá skryto mnoho jemných detailů, které objektiv může zobrazit. Okulár naproti tomu zobrazí jen ty detaily, které v obraze vytvořeném objektivem již jsou. Proto i sebelepší okulár nemůže zobrazit více detailů, než mu umožní zobrazit objektiv. Schop-

nost rozlišit i nejmenší struktury nazýváme rozlišovací schopností, která je mnohem důležitější než zvětšení.

Samotné objektivy bývají označeny kromě výrobních čísel také dvěma dalšími čísly, které jsou schopné udat zvětšení a také rozlišení daného objektivu. Následující vzorec uvádí vlivy na rozlišovací schopnost objektivu:

$$a = \frac{\lambda}{n \cdot \sin \alpha}$$

$a$  ... rozměr struktury, kterou je možné ještě rozlišit, to znamená rozlišovací schopnost objektivu

$\lambda$  ... vlnová délka světla

$n$  ... index lomu

$\alpha$  ... polovina otvorového úhlu

Z předešlého vzorce vyplývá, že čím kratší bude vlnová délka, tím menší bude rozlišovací schopnost okuláru. Výraz ve jmenovateli zlomku se také nazývá numerická apertura, která nikdy nepřesáhne číslo 1. Tato apertura je důležitá pro intenzitu osvětlení zorného pole a na ní závisí hloubka ostrosti (Pazourek 1961).

- **Pracovní vzdálenost**

Pracovní vzdáleností se nazývá vzdálenost mezi objektivem a pozorovaným předmětem. Je to tedy vzdálenost mezi čelní čočkou objektivu a horní plochou krycího sklíčka. Tabulka č.1 uvádí příklady objektivů a jejich vlastností:

- *Tab.č.1 - Přehled objektivů a jejich vlastností. Podle Pazourka (1961)*

Označení		Ohnisková vzdálenost [mm]	Vlná pracovní vzdálenost [mm]
Zvětšení	Numerická aparatura		
6x	0,15	24,2	15,5
10x	0,30	16,9	7,4
20x	0,45	9,1	1,9
45x	0,65	4,1	0,4

### 3.1.2 Růstová analýza

Růstová analýza je soubor metod v produkční ekologii, jimiž můžeme popsat rychlost růstu rostlin a jejich částí. Umožňuje na základě odběrů rostlin nebo částí porostů vypočítat řadu růstově analytických a produkčních charakteristik. Mezi základní sledované hodnoty patří zejména hmotnost sušiny rostlin (W) nebo jejich jednotlivých částí (stonků, listů, kořenů apod.), velikost asimilační plochy listů, stébel, klasů apod.



(A), a časové intervaly mezi odběry (t). K nejčastěji používaným charakteristikám patří: rychlost tvorby sušiny (Crop Growth Rate - CGR), která udává přírůstek hmotnosti rostlin za jednotku času, a relativní rychlost růstu (relative growth rate – RGR), která udává přírůstek hmotnosti rostlin za jednotku času, vztažený na jednotku aktuální biomasy. Poměrná olistěnost (Leaf Area Ratio - LAR) udává poměr velikosti listové plochy a sušiny rostliny (<http://home.zf.jcu.cz/public/departments/kbd/fyzroaek/index1.htm> 20.2.2010).

Výhodou růstové analýzy je především to, že pracuje se snadno zjistitelnými hodnotami jako například hmotnost sušiny a rozměrů asimilačního ústrojí (obvykle listová plocha viz kapitola 4.2) (Sychrová 2009).

### **3.1.3 Stanovení množství chlorofylu**

Primárním požadavkem pro fotosyntézu je přeměna zářivé energie v chloroplastech. Receptory tohoto záření jsou chlorofyly s absorpčním maximem v červené a modré oblasti. Chlorofyly umí jako jediné přeměnit zářivou energii na ATP (<http://home.zf.jcu.cz/public/departments/kbd/fyzroaek/index1.htm> 20.2.2010).

## **3.2 Popis vlastní práce**

### **3.2.1 Anatomická stavba listu**

Ve dnech 30.11.2009 a 3.12.2009 jsem z rostlin odřízla několik listů, které jsem vložila - pro usnadnění práce - do polystyrenového bločku. Následně jsem žiletkou zhotovila několik tenkých příčných řezů.

Na podložní sklíčko, do kapky vody jsem vložila tenké řezy listů a přiklopila krycím sklíčkem. Takto zhotovené preparáty jsem umístila na stolek mikroskopu, upevnila svorkami a zaostřila. Použila jsem mikroskop Fluoval od firmy Carl Zeiss, Jena. Snímky řezů listem jsem vyfotografovala snímky řezů listem pomocí zrcadlového digitálního fotoaparátu Pentax K200D.

### **3.2.2 Popis uspořádání pokusu se zatemněním**

Dne 17.12.2009 jsem vybrala pět dvojic rostlin (10 rostlin). Rostliny měly v každé dvojici podobný vzhled, vzrůst a počet listů. Vždy jsem jednu rostlinu z každé dvojice jsem umístila do termoboxu, aby se rostlinám zamezil přístup světla, druhou rostlinu z každé dvojice umístila do akvária pod stolní lampu, kde byly rostliny osluněné. Rostliny jsem označila čísly 1 - 10 pro lepší přehlednost. Rostliny byly takto umístěné při pokojové teplotě do 28.1.2010, kdy jsem rostliny vyjmula z termoboxu a akvária a provedla růstové měření. Následně jsem rostliny umístila zpět a za stejných podmínek je ponechala až do 2. růstového měření dne 24.2.2010.

### 3.2.3 Růstová měření

Rostliny jsem 28.1.2010 vyjmula z termoboxu a akvária. Následně jsem pomocí zelené lepicí pásky označila u každé rostliny nejstarší list (číslo 1). Poté jsem pravitkem změřila na každé rostlině délky a šířky jednotlivých listů. Rostliny jsem poté umístila zpět na svá místa. Dne 24.2.2010 jsem provedla druhé růstové měření, kdy jsem opět změřila délky a šířky jednotlivých listů.

Poté jsem z 5 zatemněných rostlin odejmula celkově 6 listů dospělých (takových které narostly ještě před započatím růstového pokusu) a 5 listů mladých, které narostly během růstového pokusu. Dále jsem také z 5 osvětlených rostlin odejmula 6 listů dospělých a 6 listů mladých. Tímto rozdělením vznikly 4 skupiny listů:

Skupina č. 1: Listy zatemněné - mladé

Skupina č. 2: Listy zatemněné - dospělé

Skupina č. 3: Listy osvětlené - mladé

Skupina č. 4: Listy osvětlené - dospělé

Jednotlivé skupiny jsem naskenovala pro zjištění listové plochy. Listy jsem naskenovala pomocí scanneru Mustek v programu Image editor. Údaje pro výpočet listové plochy jsem zjistila pomocí programu ScionImage, a to z poměru černých pixelů k celkovému počtu pixelů obrazu. U naskenovaných listů jsem změřila délku a šířku a ze zjištěných hodnot vypočítala faktor pro výpočet listové plochy (LP).

Stanovení faktoru pro výpočet listové plochy jsem provedla pomocí vzorce (v programu EXCEL):

$$f = LP/délka * šířka$$

Pomocí faktoru jsem vypočítala listovou plochu (LP) pro všechny listy na začátku pokusu ( $LP_0$ ) a na konci pokusu ( $LP_1$ ). K výpočtu jsem použila:

$$LP = šířka * délka * faktor$$

Z listů jsem poté vyřízla terčíky pro stanovení množství chlorofylu (viz kapitola 3.2.4). Zbylé části listů jsem opět naskenovala pro zjištění jejich plochy a pak je vložila sušárny pro zjištění hmotnosti sušiny. Z hodnot jsem vypočetla specifickou listovou plochu (SLA), což je listová plocha vztažená na sušinu listů, podle vzorce:

$$SLA = A/W_L$$

A ... listová plocha v  $cm^2$

$W_L$ ... hmotnost sušiny všech listů dané rostliny v gramech.

### 3.2.4 Stanovení množství chlorofylu v listech

Množství chlorofylu v listech jsem stanovila spektrofotometricky a využitím Arnonových rovnic. Postupovala jsem podle protokolu uvedeného na <http://home.zf.jcu.cz/public/departments/kbd/fyzroaek/index1.htm>.

Korkovrtem jsem vyřízla segmenty o průměru 8 mm ze střední části listů a segmenty jsem vložila do 4 třecích misek. Miska č. 1 obsahovala 6 segmentů z rostlin zastíněných - jen mladé listy, které během pokusu nově vyrostly. Miska č. 2 obsahovala 6 segmentů z rostlin zastíněných - jen dospělé listy, které vyrostly ještě před zahájením pokusu. Miska č. 3 obsahovala 5 segmentů z rostlin osvětlených - jen mladé listy, které nově vyrostly během pokusu. Miska č. 4 obsahovala 6 segmentů z rostlin osvětlených - jen dospělé listy, které vyrostly ještě přes zahájením pokusu.

V třecí misce jsem rozetřela listy s malým množstvím křemitého písku a špetkou  $MgCO_3$  pro neutralizaci organických kyselin. Dále jsem přidala nepatrné množství bezvodého acetonu a následně roztírala 3 minuty. Jakmile byla vzniklá kaše homogenní, přidala jsem 3 ml 80% acetonu, rozmíchala a přefiltrovala za podtlaku přes sintru S3 do zkumavky umístěné v odsávací baňce. Kaši v sintru jsem několikrát prolila po 2 ml 80% acetonu tak, aby celkový obsah filtrátu nepřesáhl 10 ml.

Filtrát ze zkumavky jsem přelila do 10 ml odměrné baňky a doplnila po rysku 80% acetonem. Kolorimetrovala jsem na Spekolu při vlnových délkách 663 a 645 nm. Zjištěné extinkce jsem dosadila do tzv. Arnonových rovnic pro výpočet koncentrace chlorofylu. Za A byly dosazeny extinkce při uvedené vlnové délce:

$$\text{chlorofyla} = 12.7A_{663} - 2.69A_{645}$$

$$\text{chlorofylb} = 22.9A_{645} - 4.68A_{663}$$

$$\text{chlorofyla} + \text{b} = 8.02A_{663} + 20.2A_{645}$$

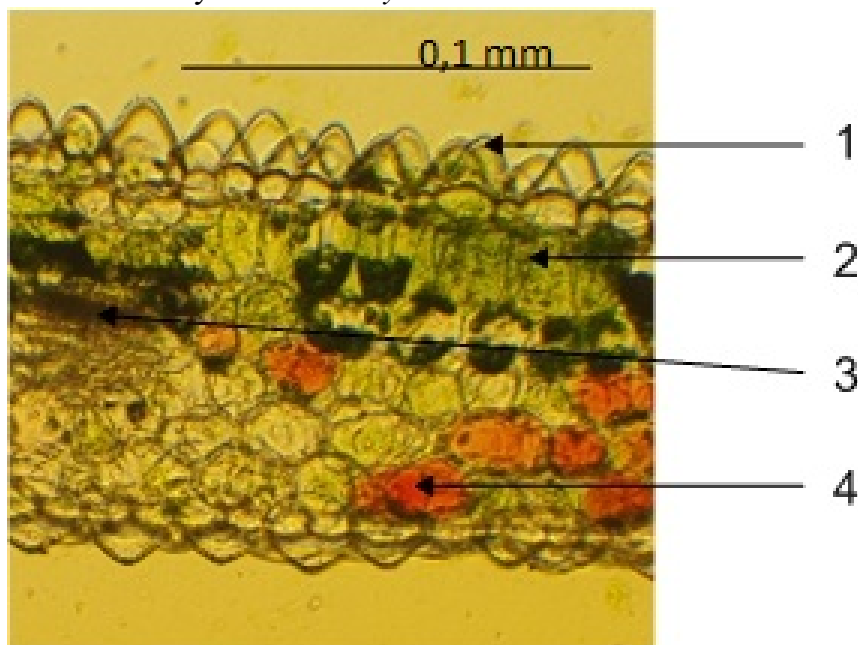
Ze zjištěných koncentrací jsem vypočetla obsah chlorofylů ve vzorcích.

## 4 VÝSLEDKY

### 4.1 Anatomická stavba listu

Na svrchní straně byl list tvořen pokožkou (epidermis) s čočkovitými buňkami. Následovaly dvě vrstvy palisádového parenchymu, který byl tvořen především buňkami s chloroplasty. Houbový parenchym tvořily buňky s anthokyanem ve třech vrstvách. Spodní část kryla opět pokožka. Nejvíce chloplastů obsahovala druhá vrstva palisádového parenchymu. Chloroplasty byly uspořádány především ve spodní části buněk.

Obr.č.3 - Příčný řez listem *Erythroides nobilis*



1 - čočkovité buňky pokožky, 2 - mezofylové buňky s chloroplasty, 3 - cévní svazek, 4 - parenchymatické buňky s antokyanem

### 4.2 Reakce rostlin na zatemnění

#### 4.2.1 Faktor pro výpočet listové plochy

Faktor pro výpočet listové plochy udává podíl, jaký plocha listu zaujímá v obdélníku vymezeném délkou a šířkou listu. Byly zjištěny tyto hodnoty faktoru: pro listy zatemněné mladé 0,64, pro listy zatemněné dospělé 0,68, pro listy osvětlené mladé 0,65 a pro listy osvětlené dospělé 0,62.

#### 4.2.2 Přírůstek listové plochy

Listová plocha zatemněných rostlin se oproti počátku pokusu zvýšila v průměru o 17,01%. Rostliny osvětlené zvýšily svoji listovou plochu v průměru pouze o 4,1%

(Tab. č. 2).

Svoji listovou plochu nejvíce zvýšila rostlina č. 4 a to o 34,60%. Naopak u rostliny č.10 se celková listová plocha snížila (- 5,59%), jelikož během pokusu upadl list č.1. Největší rostlina v pokusu (rostlina č.3b) zvětšila svoji listovou plochu jen o 4,33% oproti tomu nejmenší rostlina pokusu (rostlina č.8) zvětšila svoji listovou plochu o 13,07%. Proto zřejmě není vztah mezi přírůstkem listové plochy a velikostí rostliny.

Největší listovou plochu vytvořily listy zatemněné dospělé, a to průměrnou listovou plochu na 1 list 7,04 cm<sup>2</sup>. Naopak nejmenší listovou plochu vytvořily listy zatemněné mladé, a to průměrnou listovou plochu na 1 list 1,65 cm<sup>2</sup>. U listů osvětlených nebyl rozdíl tak velký. Listy osvětlené mladé měly menší listovou plochu (průměrná listová plocha na 1 list byla 3,99 cm<sup>2</sup> ) než listy osvětlené dospělé (průměrná listová plocha na 1 list byla 5,22 cm<sup>2</sup>).

• *Tab.č.2 - Přírůstek listové plochy (LP)*

-	LP <sub>0</sub> (cm)	LP <sub>1</sub> (cm)	Přírůstek LP (cm <sup>2</sup> )	Přírůstek LP (%)
<i>Zatemněné rostliny</i>				
Rostl.č.				
1	19,62	20,97	1,35	6,88
2	20,36	20,50	0,14	0,69
3a	29,20	37,69	8,49	29,08
3b	57,73	60,23	2,50	4,33
4	38,84	52,28	13,44	34,60
5	20,10	25,53	5,43	27,01
průměr	30,98	36,85	5,87	17,01
směrodatná odchylka	13,79	14,86	4,26	-

*LP<sub>0</sub> - začátek pokusu*

*LP<sub>1</sub> - konec pokusu*

*Přírůstek LP v % - přírůstek LP v procentech oproti původní LP*

• Tab.č.2 - *Přírůstek listové plochy (LP) - pokračování*

-	LP <sub>0</sub> (cm)	LP <sub>1</sub> (cm)	Přírůstek LP (cm <sup>2</sup> )	Přírůstek LP (%)
Osvětlené rostliny				
Rostl.č				
6	54,69	57,93	3,24	5,92
7a	39,02	39,76	0,74	1,90
7b	20,41	21,41	1,00	4,90
8	18,44	20,85	2,41	13,07
9	19,86	20,66	0,80	4,02
10	20,23	19,10	-1,13	-5,59
průměr	28,78	29,95	1,18	4,10
směrodatná odchylka	13,58	14,37	1,38	-

*LP<sub>0</sub> - začátek pokusu*

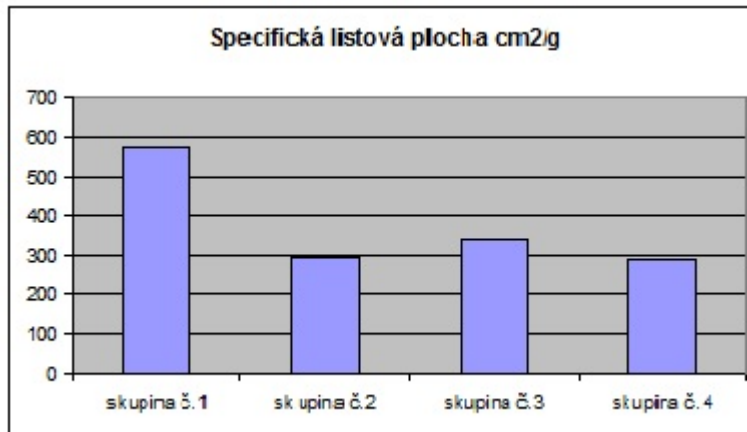
*LP<sub>1</sub> - konec pokusu*

*Přírůstek LP v % - přírůstek LP v procentech oproti původní LP*

#### 4.2.3 Specifická listová plocha na konci pokusu

Mladé listy zatemněných rostlin ( $SLA = 576,2 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ) vytvořily téměř dvojnásobně větší specifickou listovou plochu než mladé listy rostlin osvětlených ( $SLA = 342, 2 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ). Dospělé listy osvětlených rostlin ( $SLA = 290,2 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ) a dospělé listy zatemněných rostlin ( $SLA = 296,5 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ) měly svoji specifickou listovou plochu velmi podobnou (*Graf č.1*).

Graf č.1 - Specifická listová plocha (SLA)

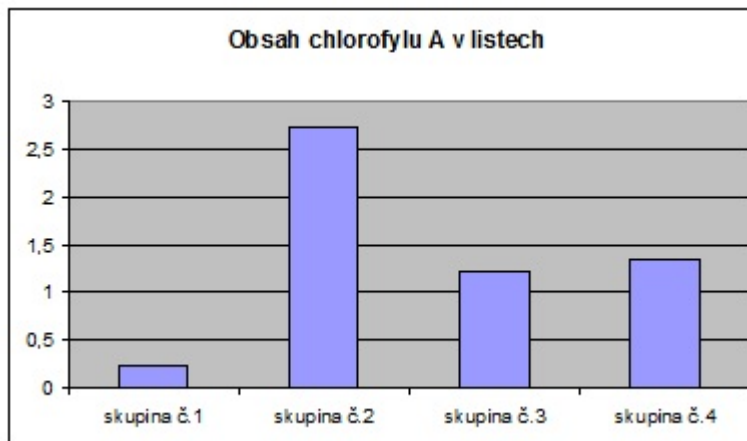


Skupina č.1 - zatemněné mladé listy, Skupina č.2 - zatemněné dospělé listy, Skupina č.3 - osvětlené mladé listy, Skupina č.4 - osvětlené dospělé listy

### 4.3 Stanovení množství chlorofylu

Výpočtem pomocí Arnonových rovnic bylo zjištěno, že dospělé listy zatemněných rostlin obsahovaly až 2,5 násobně více chlorofylu *a* než mladé listy těchto rostlin (Grafu č.2). Mladé listy osvětlených rostlin a dospělé listy osvětlených rostlin obsahovaly relativně vyrovnané množství chlorofylu *a*. Nejméně chlorofylu *a* obsahovaly mladé listy zatemněných rostlin.

Graf č. 2 - Obsah chlorofylu *a* v listech (mg · dm<sup>-2</sup>)

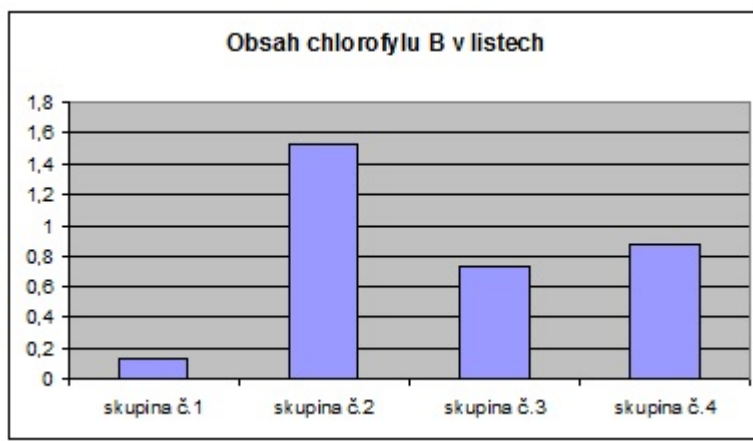


Skupina č.1 - zatemněné mladé listy, Skupina č.2 - zatemněné dospělé listy, Skupina č.3 - osvětlené mladé listy, Skupina č.4 - osvětlené dospělé listy

Nejméně chlorofylu *b* obsahovaly listy zatemněné mladé, podobně jako chlorofylu *a*. Naopak nejvíce chlorofylu *b* obsahovaly listy zatemněné dospělé (Graf č.3). Listy

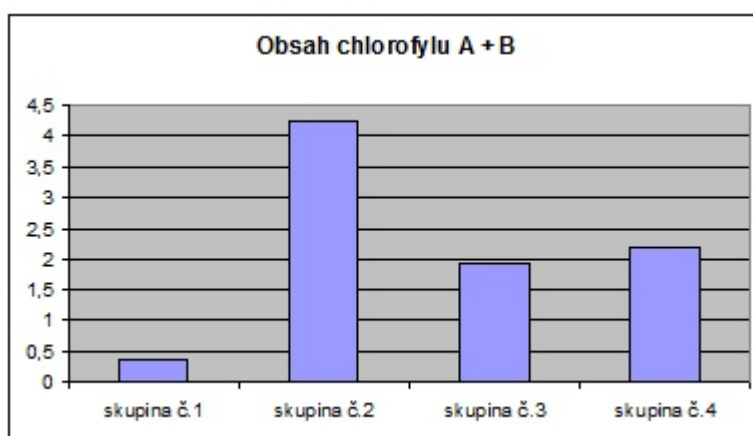
osvětlené měly relativně vyrovnaný obsah chlorofylu *b*. Rozdíly mezi skupinami listů v obsahu chlorofylu *a* a chlorofylu *b* byly velmi podobné (Graf č.4).

Graf č. 3 - Obsah chlorofylu *b* v listech ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-2}$ )



Skupina č.1 - zatemněné mladé listy, Skupina č.2 - zatemněné dospělé listy, Skupina č.3 - osvětlené mladé listy, Skupina č.4 - osvětlené dospělé listy

Graf č. 4 - Obsah chlorofylu *a* + *b* v listech ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-2}$ )



Skupina č.1 - zatemněné mladé listy, Skupina č.2 - zatemněné dospělé listy, Skupina č.3 - osvětlené mladé listy, Skupina č.4 - osvětlené dospělé listy



## 5 DISKUZE

Orchideje se postupným vývojem přizpůsobily různým hladinám ozáření. Samotná intenzita záření určuje rychlost růstu rostlin i jejich anatomické a morfologické uspořádání (Slavíková 1983). Stínomilné rostliny mají například větší specifickou listovou plochu. To se prokázalo i na rostlinách v pokuse, kdy mladé listy zatemněných rostlin měly několikanásobně větší specifickou listovou plochu než listy osluněných rostlin.

Sychrová (2009) uvádí, že stínomilná orchidej *Macodes petola* vytváří větší listovou plochu u rostlin s vysokou ozářeností a naopak nejnižší u rostlin s nízkou ozářeností. Růstová měření pro orchidej *Erythroides nobilis* ovšem ukázaly, že největší listovou plochu vytvořily rostliny zatemněné. Rozdíl by mohl být způsobem tím, že růstová měření pro orchidej *Erythroides nobilis* byla prováděna po kratší dobu, než měření pro orchidej *Macodes petola*. V pokuse s *Erythroides nobilis* byly rostliny zatemněny úplně, kdežto v pokuse s *Macodes petola* měly rostliny k dispozici určité minimální množství záření i v zastíněné variantě.

Husák et Haager (1977) uvádějí, že orchidej *Erythroides nobilis* je stínomilná stejně jako orchidej *Macodes petola* ve stejném subtribu (<http://culturesheet.org/orchidaceae:aspidogyne:nobilis>, 11.3.2010). Proto mají tyto dvě orchideje podobné adaptace na zastínění. Rajchard et Balounová (2001) uvádějí, že stavba parenchymu u orchideje *Macodes petola* je adaptovaná na extrémní světelné podmínky díky konkávnímu tvaru pokožkových buněk, které umožňují rostlině co nejlépe využít záření. A táž adaptace byla nyní prokázána i u orchideje *Erythroides nobilis*, která má velice podobnou stavbu listu (viz fotografická příloha).

Larcher (1988) uvádí, že rostliny se mohou na záření adaptovat adaptacemi genetickými, modifikačními a modulačními. Mezi genetické adaptace lze zařadit také rozdělení rostlin na heliofyty, heliosciofyty a sciofyty, mezi něž také orchidej *Erythroides nobilis* patří. Modifikační adaptace jsou reakcí rostliny na změnu vnějších podmínek a jsou tedy projevem fenotypové plasticity. Do modifikačních adaptací orchideje *Erythroides nobilis* lze zařadit také vytváření velké listové plochy a také vyšší koncentrace chlorofylu u zastíněných listů.

Pro trvalejší pobyt na stanovištích s velmi malým ozářením se rostliny přizpůsobují změnou svého fotosyntetického ústrojí. Například stínomilné rostliny mají tenké listy a nízký palisádový a houbový parenchym (podle Dr. Šetlíka <http://kfr.pfr.jcu.cz/?act=2>). To se potvrdilo i pro anatomickou stavbu listů *Erythroides nobilis*, kde palisádový parenchym měl dvě vrstvy a houbový jen tři vrstvy. Šetlík také uvádí, že chloroplasty v palisádovém parenchymu jsou rozloženy v tenké vrstvě podél bočních stran kolmých na povrch listu. Díky tomu záření prochází buňkou jako světelným kanálem a dopadá na mnohem větší plochu chloroplastů. Při pohledu na obrázek č.1 orchideje *Erythroides*

*nobilis* ve fotografické příloze ovšem vidíme jiné uspořádání chloroplastů, které jsou soustředěny na spodní straně palisádových buněk.

## 6 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zdokumentovat různé adaptace orchideje *Erythrodes nobilis* na malé ozáření.

Bylo zjištěno, že orchidej *Erythrodes nobilis* má velmi podobnou stavbu listu jako orchidej *Macodes petola*. Typickým rysem anatomické stavby listů orchideje *Erythrodes nobilis* jsou především čočkovité buňky pokožky a dvouvrstevný palisádový parenchym s vysokým obsahem chlorofylu.

Na dlouhodobé zatemnění rostlina reagovala vzrůstem celkové listové plochy, vzrůstem obsahu chlorofylu *a* i chlorofylu *b* v dospělých listech a tvorbou nových listů o mimořádně velké specifické listové ploše.

## 7 LITERATURA

- Husák Š. et Haager J. (1977): Žijeme s květinou, Praha, Academia
- Pazourek J. (1961): Pracujeme s mikroskopem , Praha, SNTL
- Larcher W. (1988): Fyziologická ekologie rostlin, Praha, Academia
- Černohorský Z. (1964): Základy rostlinné morfologie, Praha, SPN
- Slavíková J. (1983): Ekologie rostlin, Skriptum, Univerzita Karlova v Praze
- Dušek J. et Křístek J. (1986): Orchideje, Praha, Academia
- Ježek Z. (2006): Encyklopedie orchideje, Dobřejovice, Rebo Productions
- Šesták Z. et Čatský J. (1965): Metody studia fotosyntetické produkce rostlin, Praha, Academia
- Průša D. (2005): Orchideje České Republiky, Brno, Computer Press
- Balounová Z. et Rajchard J. (2001): *Macodes petola* (Bl.) Lindl., Ekologie a kultivace. Sborník referátů. Mendelova lesnická a zemědělská univerzita v Brně
- Sychrová J (2009): Adaptace orchideje *Macodes petola* na zastínění (Diplomová práce). České Budějovice, Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta

### **Internetové zdroje:**

- <http://www.cites.org/eng/app/e-appendices.pdf>
- <http://culturesheet.org/orchidaceae:aspidogyne:nobilis>
- <http://home.zf.jcu.cz/public/departments/kbd/fyzroek/index1.htm>
- <http://hosting.pilsfree.net/vaca/FEL/4rocnik/EKO/EKOLOGIE ROSTLIN.pdf>
- <http://kfr.prf.jcu.cz/?act=2> – starší přednášky dr.Šetlíka, fyziologie fotosyntézy 4
- <http://www.crescentbloom.com/Plants/Subtribus/PE/Physurinae.htm>
- <http://www.studuj-jinak.cz/referaty/download.php?id=102>

## 8 DATOVÉ PŘÍLOHY

Příloha č. 1 - Délky, šířky a listové plochy skenovaných listů orchideje *Erythroides nobilis*

Listy	Délka (cm)	Šířka (cm)	d*š (cm <sup>2</sup> )	Listová plocha (cm <sup>2</sup> )
Zastíněné mladé	3,2	1,8	5,8	3,74
	1,8	1,4	2,3	1,48
	2,5	1,3	3,3	2,13
	1,3	1,1	1,4	0,90
Suma	-		12,78	8,25
Faktor	0,644757433			
Zastíněné dospělé	5,0	3,6	18,0	12,22
	4,3	3,0	12,9	8,76
	4,0	2,7	10,8	7,33
	2,9	2,4	7,0	4,75
	2,8	2,5	7,0	4,75
	2,6	2,5	6,5	4,41
Suma	-		62,16	42,22
Faktor	0,679054054			
Osvětlené mladé	3,0	2,4	7,2	4,70
	3,5	2,1	7,4	4,83
	3,1	2,5	7,8	5,09
	3,3	2,1	6,9	4,50
	3,7	2,0	7,4	4,83
Suma	-		36,63	23,95
Faktor	0,652197652			
Osvětlené dospělé	2,6	2,2	5,7	3,55
	2,3	2,1	4,8	2,99
	2,7	2,2	5,9	3,67
	2,5	2,5	6,3	3,92
	4,0	3,1	12,4	7,72
	4,1	3,7	15,2	9,46
Suma	-		50,31	31,31
Faktor	0,622341483			

Příloha č. 2 - Délky a šířky zatemněných listů *Erythroides nobilis* na počátku růstového pokusu

Rostlina č. 1				
list č.	Délka (cm)	Šířka (cm)	d*š (cm <sup>2</sup> )	Listová plocha (cm <sup>2</sup> )
1	1,9	1,8	3,4	2,31
2	2,1	2,2	4,6	3,12
3	2,5	2,7	6,8	4,62
4	3,1	2,4	7,4	5,02
5	2,8	2,4	6,7	4,55
Suma	-			19,62
Rostlina č. 2				
1	2,3	1,9	4,4	2,98
2	2,4	2,4	5,8	3,94
3	2,5	2,2	5,5	3,73
4	2,9	2,8	8,1	5,50
5	2,7	2,3	6,2	4,21
Suma	-			20,36
Rostlina č. 3a				
1	3,0	2,8	8,4	5,70
2	4,0	3,1	12,4	8,42
3	4,0	2,8	11,2	7,61
4	3,3	2,1	6,9	4,69
5	2,4	1,7	4,1	2,78
Suma	-			29,20
Rostlina č. 3b				
1	4,3	3,6	15,5	10,53
2	5,3	3,6	19,1	12,97
3	4,9	3,3	16,2	11,00
4	4,8	3,3	15,8	10,73
5	4,3	2,8	12,0	8,15
6	3,2	2,0	6,4	4,35
Suma	-			57,73

## Příloha č. 2 - pokračování

Rostlina č. 4				
list č.	Délka (cm)	Šířka (cm)	d*š (cm <sup>2</sup> )	Listová plocha (cm <sup>2</sup> )
1	4,0	2,7	10,8	7,33
2	3,9	2,6	10,1	4,42
3	4,2	2,9	12,2	8,28
4	4,6	3,0	13,8	9,37
5	3,9	2,6	10,1	6,86
6	2,0	1,9	3,8	2,58
Suma	-			38,84
Rostlina č. 5				
1	1,5	1,1	1,7	1,15
2	2,5	2,0	5,0	3,40
3	2,7	2,1	5,7	3,87
4	2,8	2,5	7,0	4,75
5	3,1	2,7	8,4	5,70
6	2,0	1,4	2,8	1,23
Suma	-			20,10

Příloha č. 3 - Délky a šířky osvětlených *Erythroides nobilis* na počátku růstového pokusu. Číslem 1 je označen nejstarší list.

Rostlina č. 6				
list č.	Délka (cm)	Šířka (cm)	d*š (cm <sup>2</sup> )	Listová plocha (cm <sup>2</sup> )
1	4,7	3,6	16,9	10,52
2	4,8	3,4	16,3	10,14
3	5,0	3,1	15,5	9,45
4	5,4	3,4	18,4	11,45
5	5,2	3,2	16,6	10,33
6	3,0	1,5	4,5	2,80
Suma	-			54,69
Rostlina č. 7a				
1	4,0	3,2	12,8	7,97
2	4,2	2,9	12,2	7,59
3	4,5	3,1	14,0	8,71
4	4,3	2,7	11,6	7,22
5	3,9	2,3	9,0	5,60
6	2,4	1,3	3,1	1,93
Suma	-			39,02
Rostlina č. 7b				
1	3,0	2,1	6,3	3,92
2	4,0	2,7	10,8	6,72
3	4,2	2,6	10,9	6,78
4	2,5	1,4	3,5	2,18
5	1,3	1,0	1,3	0,81
Suma	-			20,41
Rostlina č. 8				
1	2,0	1,8	3,6	2,24
2	2,0	1,5	3,0	1,88
3	2,3	2,5	5,8	3,61
4	2,7	2,4	6,5	4,05
5	3,0	2,9	6,7	4,17
6	2,0	2,0	4,0	2,49
Suma	-			18,44



## Příloha č. 3 - pokračování

Rostlina č. 9				
list č.	Délka (cm)	Šířka (cm)	d*š (cm <sup>2</sup> )	Listová plocha (cm <sup>2</sup> )
1	1,0	0,7	0,7	0,44
2	1,1	1,0	1,1	0,68
3	1,5	1,2	1,8	1,12
4	3,0	2,5	7,5	4,67
5	2,8	2,5	7,0	4,36
6	2,7	2,1	5,7	3,55
7	3,0	2,7	8,1	5,04
Suma	-			19,86
Rostlina č. 10				
1	1,5	1,6	2,4	1,49
2	2,7	2,0	5,4	3,36
3	2,6	2,2	5,7	3,55
4	2,8	2,4	6,7	4,17
5	3,0	2,5	7,5	4,67
6	2,3	2,1	4,8	2,99
Suma	-			20,23

Příloha č. 4 - Délky a šířky zatemněných listů *Erythrodes nobilis* na konci růstového pokusu

Rostlina č. 1				
list č.	Délka (cm)	Šířka (cm)	d*š (cm <sup>2</sup> )	Listová plocha (cm <sup>2</sup> )
1	2,0	1,8	3,6	2,44
2	2,2	2,2	4,8	3,26
3	3,1	2,7	8,4	5,70
4	3,1	2,4	7,4	5,02
5	2,8	2,4	6,7	4,55
Suma	-			20,97
Rostlina č. 2				
1	2,3	1,9	4,4	2,99
2	2,5	2,4	6,0	4,07
3	2,5	2,2	5,5	3,73
4	2,9	2,8	8,1	5,50
5	2,7	2,3	6,2	4,21
Suma	-			20,5
Rostlina č. 3a				
1	3,2	2,8	9,0	6,11
2	4,0	3,1	12,4	8,42
3	4,0	2,8	11,2	7,61
4	4,3	2,6	11,2	7,61
5	3,4	2,1	7,1	4,82
6	2,7	1,7	4,6	3,12
Suma	-			37,69
Rostlina č. 3b				
1	4,3	3,6	15,5	10,53
2	5,4	3,6	19,4	13,17
3	5,2	3,3	17,2	11,68
4	4,9	3,4	16,7	11,34
5	4,3	2,9	12,5	8,49
6	3,5	2,1	7,4	5,02
Suma	-			60,23

## Příloha č. 4 - pokračování

Rostlina č. 4				
list č.	Délka (cm)	Šířka (cm)	d*š (cm <sup>2</sup> )	Listová plocha (cm <sup>2</sup> )
1	4,0	2,7	10,8	7,33
2	4,0	2,6	10,4	7,06
3	4,2	2,9	12,2	8,28
4	4,6	3,2	14,7	9,98
5	4,8	3,0	14,4	9,78
6	3,9	2,6	10,1	6,86
7	2,3	1,9	4,4	2,99
Suma	-			52,28
Rostlina č. 5				
1	2,3	2,3	5,3	3,60
2	2,6	2,0	5,2	3,53
3	3,0	2,5	7,5	5,09
4	3,2	2,8	9,0	6,11
5	3,1	2,5	7,8	5,30
6	2,0	1,4	2,8	1,90
Suma	-			-25,53

Příloha č. 5 - Délky a šířky osvětlených listů *Erythroides nobilis* na konci růstového pokusu

Rostlina č. 6				
list č.	Délka (cm)	Šířka (cm)	d*š (cm <sup>2</sup> )	Listová plocha (cm <sup>2</sup> )
1	4,8	3,6	17,3	10,77
2	4,8	3,4	16,3	10,14
3	5,1	3,1	15,8	9,83
4	5,5	3,5	19,3	12,01
5	5,2	3,3	17,2	10,70
6	3,0	1,8	5,4	3,36
7	1,6	1,1	1,8	1,12
Suma	-			57,93
Rostlina č. 7a				
1	4,1	3,2	13,1	8,15
2	4,2	2,9	12,2	7,59
3	4,6	3,1	14,3	8,90
4	4,3	2,7	11,6	7,22
5	4,0	2,4	9,6	5,97
6	2,4	1,3	3,1	1,93
Suma	-			39,76
Rostlina č. 7b				
1	3,0	2,2	6,6	4,11
2	4,1	2,8	11,5	7,16
3	4,2	2,6	10,9	6,78
4	2,6	1,4	3,6	2,24
5	1,5	1,2	1,8	1,12
Suma	-			21,41
Rostlina č. 8				
1	2,0	1,8	3,6	2,24
2	2,0	1,5	3,0	1,87
3	2,5	2,5	6,3	3,92
4	2,7	2,5	6,8	4,23
5	3,0	3,0	9,0	5,60
6	2,3	2,1	4,8	2,99
Suma	-			20,85

## Příloha č. 5 - pokračování

Rostlina č. 9				
list č.	Délka (cm)	Šířka (cm)	d*š (cm <sup>2</sup> )	Listová plocha (cm <sup>2</sup> )
1	1,0	0,8	0,8	0,50
2	1,1	1,1	1,2	0,75
3	1,5	1,3	2,0	1,24
4	3,1	2,5	7,8	4,85
5	2,8	2,5	7,0	4,36
6	3,0	2,1	6,3	3,92
7	3,0	2,7	8,1	5,04
Suma	-			20,66
Rostlina č. 10				
1	odumřel	odumřel	-	-
2	2,7	2,0	5,4	3,36
3	2,6	2,1	5,5	3,42
4	2,8	2,5	7,0	4,36
5	3,0	2,6	7,8	4,85
6	2,4	2,1	5,0	3,11
Suma	-			19,1

Příloha č. 6 - Absorbance, koncentrace a obsah chlorofylu ve vzorcích listů *Erythrodes nobilis*

-	zat.mlad.	zat.dosp.	osv.mlad.	osv.dosp.
Absorbance				
A <sub>645</sub>	0,029	0,349	0,135	0,187
A <sub>663</sub>	0,060	0,722	0,269	0,356
Koncentrace chlorofylu (mg . l <sup>-1</sup> )				
Chlorofyl <i>a</i>	0,684	8,231	3,053	4,018
Chlorofyl <i>b</i>	0,383	4,613	1,833	2,616
Chlorofyl <i>a + b</i>	1,067	12,840	4,884	6,633
Obsah chlorofylu (mg . dm <sup>-2</sup> )				
Chlorofyl <i>a</i>	0,227	2,729	1,215	1,332
Chlorofyl <i>b</i>	0,127	1,530	0,729	0,867
Chlorofyl <i>a + b</i>	0,359	4,258	1,943	2,200

zat.mlad. - zatemněné mladé, zat.dosp. - zatemněné dospělé, osv.mlad. - osvětlené mladé, osv.dosp. - osvětlené dospělé

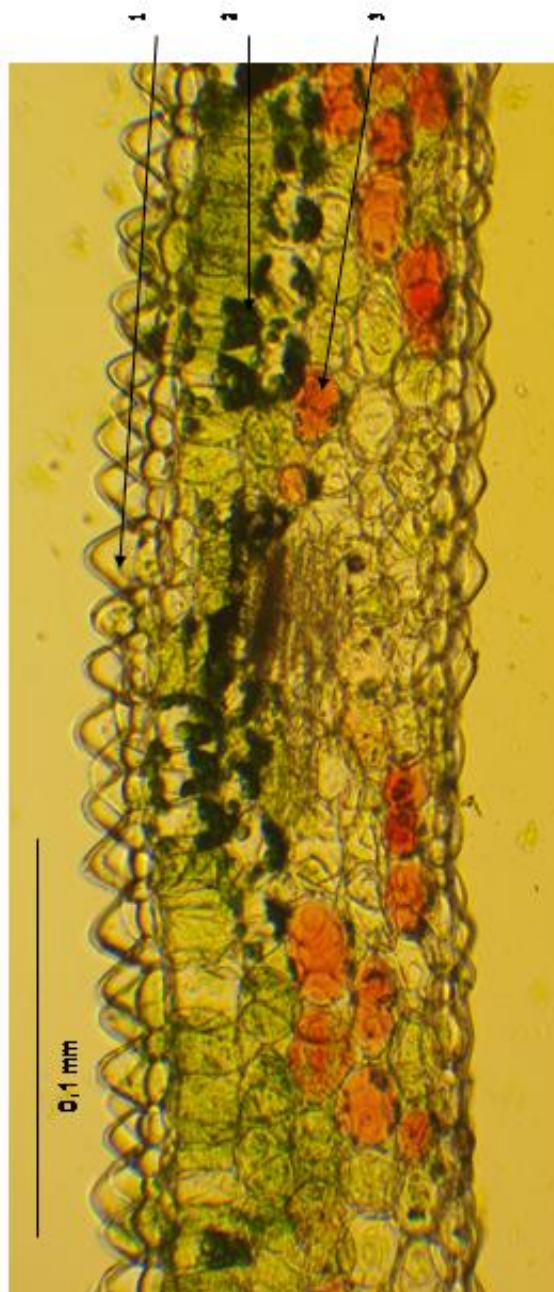
Příloha č. 7 - Listová plocha, sušina a specifická listová plocha vzorků listů orchideje *Erythrodes nobilis*

-	zat.mlad.	zat.dosp.	osv.mlad.	osv.dosp.
Listová plocha (cm <sup>2</sup> )	7,19	35,25	20,98	28,45
Sušina vzorku (g)	0,0143	0,1356	0,0698	0,1079
SLA (g . cm <sup>-2</sup> )	576,22	296,53 cm	342,26	290,18

zat.mlad. - zatemněné mladé, zat.dosp. - zatemněné dospělé, osv.mlad. - osvětlené mladé, osv.dosp. - osvětlené dospělé

## 9 FOTOGRAFICKÉ PŘÍLOHY

Příloha č.1 - Příčný řez listem orchideje *Erythrodes nobilis*



1 - čočkovité buňky pokožky, 2 - mezofylové buňky s chloroplasty,  
3 - parenchymatické buňky s antokyanem