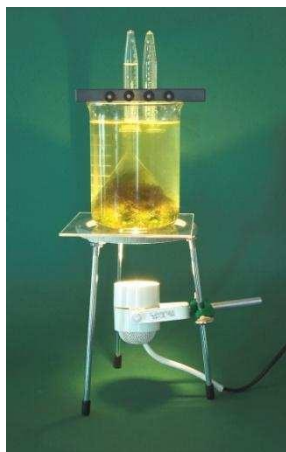


**Sada Fotosyntéza**  
Kat. číslo 113.3071

**Praktické pokusy se sadou přístrojů**

**1. Potřebné pomůcky**



**Experimentální konstrukce pro fotosyntézu** sestávající ze sady „Fotosyntéza“ a osvětlovacího zařízení (dodává se samostatně obj.č. 1133072)

**42150 Sada „Fotosyntéza“**

Počet	Výrobek
1	Kádinka, 1 l, nízká
1	Trychtýř, Ø 85 mm, krátký výtok
1	Univerzální držák
4	Záchytná nádoba na plyny s vyznačenou stupnicí
2	Gumová zátka
4	Barevný filtr (červený, zelený, žlutý, modrý), 140 x 140 mm
4	Šedý filtr, 140 x 140 mm
1	Návod na CD-ROM



**42151 Osvětlovací zařízení k sadě „Fotosyntéza“**

Počet	Výrobek
1	Laboratorní lampa s vysokým podílem IR
1	Trojnožka, Ø 120 mm
1	Deska z plexiskla, 150 x 150 x 3 mm
1	Dvojitě hrdlo



## 2. Teoretická část

Pro život na Zemi je vždy naprosto nepostradatelným prvkem jen kyslík. Odkud však pochází kyslík, který má pro životní procesy u živočišných organismů tak velký význam?

Již v roce 1771 se tímto jevem zabýval anglický vědec, Joseph Priestley (1733 1804). Pozoroval, že myš v uzavřené nádobě po nějaké době zemřela, i když měla dostatek potravy a vody. Při paralelním pokusu pozoroval za stejných podmínek rostlinu v květináči. Zjistil, že i rostlina po několika dnech zahynula.

Nejprve nedokázal s výsledky pokusu nijak pracovat a byl z výsledku velmi překvapen. Jeho další otázka byla: „Proč živočichové přežijí ve volné přírodě?“

Mohlo by to znamenat, že mezi živočichem a rostlinou existuje nějaká závislost? Ve 3. pokusu to chtěl prověřit. Dal do uzavřené nádoby společně myš a rostlinu. Myš i rostlina zde měly dostatek potravy i vody. Jeho pozorování ukázala, že myš i rostlina v této nádobě zůstaly živé.

Tento výsledek přinesl otázku skutečné souvislosti poznatků získaných při pokusu. Potrava a voda nebyly pro výsledek pokusů rozhodující, protože byly vždy k dispozici v dostatečném množství. Mohlo se jednat jen o složení vzduchu, obklopujícího organismy. Kromě toho to musely být minimálně dva různé plyny, které udržovaly při životě myš i rostlinu. Priestley zjistil, že bez zvířete nedokázala rostlina žít dále a bez rostliny musel živočich zahynout. Plyn, který udržuje při životě živočicha, musela tedy vydávat rostlina a naopak plyn, který udržuje při životě rostlinu, musel vydávat živočich.

Dnes víme, že všechny živočišné organismy potřebují k životu kyslík a všechny rostlinné organismy oxid uhličitý. U všech živočišných organismů se přijatá potrava přeměňuje na základě látkové výměny pomocí kyslíku na tělu vlastní látky. Tělo z toho čerpá životadárnou energii. K této přeměně je nezbytně nutný kyslík a vydechován je oxid uhličitý, vznikající při probíhajících oxidačních procesech.

Zelená rostlina přijímá z půdy vodu a živiny a ze vzduchu nezbytně potřebný oxid uhličitý. Rostliny z toho vytvářejí pomocí slunečního světla tělu vlastní látky, jako uhlohydráty, bílkoviny, tuky... a jako „vedlejší produkt“ přitom vzniká kyslík, který rostlina vypouští do okolní atmosféry. Tento proces označuje fyziologii rostlin jako **fotosyntézu**.

Fotosyntéza je, jak již bylo řečeno, proces závislý na světle. Všechny rostliny, které pokrývají svoji celkovou potřebu z energie slunečního záření, se nazývají **fotoautotrofní**. Některé rostlinné organismy naopak získávají svoji potřebnou energii z oxidace

anorganických sloučenin, které se nazývají **chemoautotrofní** [autotroph (řecky)–  
vyživované z anorganických látek]

### Proces fotosyntézy

Fotosyntéza probíhá ve všech zelených částech rostliny nebo ve všech částech rostliny, které obsahují chlorofyl (chloroplasty). Přitom to jsou v první řadě listy zelené rostliny, které přebírají největší část aktivity fotosyntézy. Chlorofyl (chloroplasty) je omezen na asimilační pletivo rostlin.

### Stavba listu

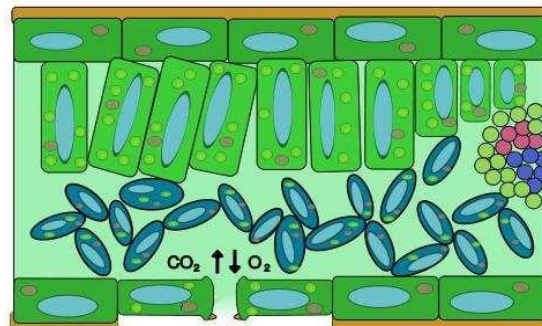
List je na svrchní a spodní straně ohraničen buňkami epidermis, které neobsahují žádný chlorofyl. Mezi těmito dvěma vrstvami epidermis se nachází palisádový parenchym a houbový parenchym. Palisádový parenchym tvoří válcovité buňky, které se mohou vyskytovat také ve více vrstvách a jsou vybaveny mnoha chloroplasty (chlorofyl). Tyto palisádové buňky jsou vzájemně odděleny více či méně širokými mezibuněčnými prostory. Na palisádový parenchym navazuje na spodní straně houbový parenchym s nižším obsahem chlorofylu, který se skládá z nepravidelně uspořádaných buněk. Mezi těmito buňkami se nachází většinou nápadné, široké mezibuněčné prostory. Tyto mezibuněčné prostory jsou společně s mezibuněčnými prostory palisádového parenchymu propojeny prostřednictvím průduchů ve spodní a případně také ve svrchní epidermis s venkovním vzduchem.

Horní epidermis  
(bez chloroplastu)

Palisádový  
parenchym  
(s chloroplastem)

Houbový parenchym  
(s chloroplastem)

Spodní epidermis  
(bez chloroplastu  
avšak s průduchy)

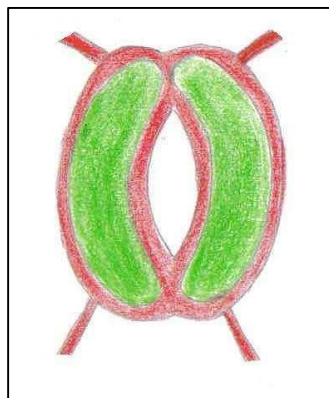


Nerv listu  
Cévní svazek

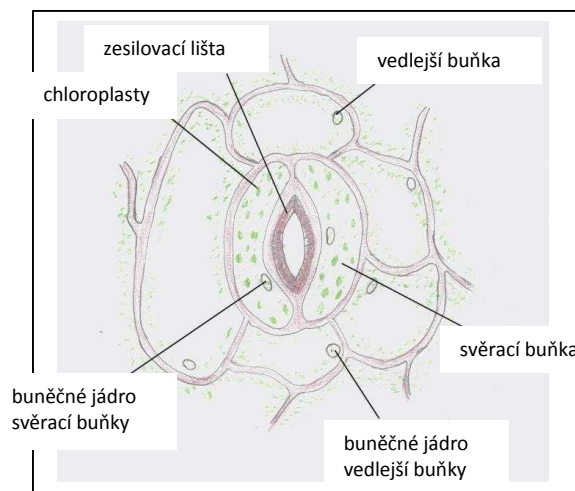
Stavba listu  
(suchozemská  
rostlina)

Quelle: Wikipedia

Průduchový aparát se skládá ze svěracích buněk a vedlejších buněk. Svěrací buňky obsahují téměř vždy chlorofyl, jejich buněčné stěny mají nerovnoměrnou tloušťku. Většinou je břišní stěna zesílena lištami. Změnou turgorového tlaku (tlak buněčné šťávy na buněčnou stěnu) v buňkách se mohou průduchy otvírat a zavírat.



Jednoduché zobrazení  
průduchu



Morfologické zobrazení  
průduchu

V závislosti na stanovištích rostliny jsou průduchy (stomata) uspořádány ohledně svého počtu a rozdělení velmi rozdílně. Celá řada rostlin má oproti dřívějším poznatkům průduchy také ve svrchní epidermis. Čím sušší a slunnější je stanoviště, tím více průduchů se nachází na spodní a svrchní epidermis. Průduchy mají za úkol vypouštět do atmosféry vodní páry a kyslík a přijímat oxid uhličitý. Rostliny, které rostou na vlhkém a tmavém stanovišti, mají naproti tomu jen velmi málo průduchů, které jsou jen na spodní straně listu. Na první pohled se zdá, že je to nelogické. Přesto je rozdělení průduchů logické. Na horkých a slunných stanovištích může rostlina otevřít své průduchy pro přijímání oxidu uhličitého jen časně ráno a pozdě večer. Je-li přes den stále větší horko a sucho, zavřou se nejprve průduchy na svrchní straně listu a o nějakou dobu později se musí zavřít průduchy také na spodní straně listu. Pokud by se tak nestalo, rostlina by uschla kvůli příliš velkému výdeji vodní páry. Ráno přijatý oxid uhličitý musí vystačit pokud možno po celý den, aby rostlina mohla bez omezení asimilovat. Proto mají tyto rostliny relativně velké mezibuněčné prostory. Naproti tomu rostlina na tmavém a vlhkém stanovišti může mít průduchy otevřené po celý den, k tomu jsou zcela dostačující průduchy (stomata) na spodní straně listu.

Energetický zisk a tvorba látky probíhají u zelené rostliny díky působení slunečního světla, které přeměňuje vodu, oxid uhličitý a živiny pomocí zeleného barviva (chlorofylu) v listu na tělu vlastní látky. Fotosyntéza je proto rozhodující proces pro život na Zemi. Jen zelené rostliny jsou schopny vytvářet z anorganických látek organické látky. Přitom se v první řadě vytváří uhlohydráty (glukóza). V chloroplastech však není vlastní finální produkt glukóza, ale škrob. Proces probíhající v chloroplastech je redukce oxidu uhličitého pomocí vody jako redukčního prostředku.

K tomu bezpodmínečně potřebný oxid uhličitý, který vzniká v důsledku dýchání a biologického rozkladu organismů, je odebírán z atmosféry. Tak se uhlík nachází v koloběhu,

ktej je kvůli činnosti lidí stále více vychylován z rovnováhy, neboť oxid uhličitý vznikající spalováním fosilních paliv již nelze zcela spotřebovat pomocí fotosyntézy. Obohacuje tak stále více atmosféru, což přispívá ke změně klimatu na Zemi.

Všeobecná chemická reakční rovnice, která znázorňuje fotosyntézu ve velmi zjednodušené formě, zní:



Tato reakční rovnice shrnuje fotosyntézu, ale skutečně probíhající procesy jsou velmi složité. Fotosyntéza je rozdělena do 3 fází reakce.

### 2.1 Cyklická fotofosforylace (krok 1)

V tomto kroku je syntetizován adenosintrifosfát (**ATP**) z adenosindifosfát (**ADP**) v chloroplastech. Chloroplasty jsou buněčné organely v listech o velikosti 4 – 7 μm, které se velkém počtu vyskytují v buňkách zelených rostlin.

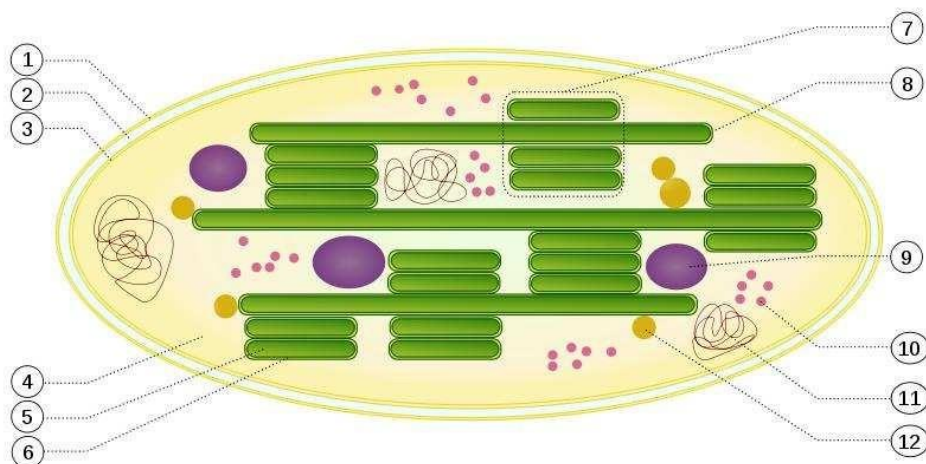
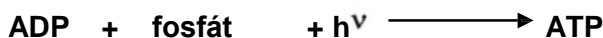


Schéma stavby chloroplastu (zdroj: Wikipedie)

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. Vnější membrána                             | 7. Granum             |
| 2. Mezimembránový prostor                      | 8. Thylakoid (lamela) |
| 3. Vnitřní membrána (1+2+3: obal)              | 9. Škrob              |
| 4. Stroma (vodný roztok)                       | 10. Ribozóm           |
| 5. Lumen thylakoidu (dutina uvnitř thylakoidu) | 11. DNA plastidu      |
| 6. Membrána thylakoidu                         | 12. Tukové kapénky    |

Přeměna z ADP na ATP probíhá na základě absorpce světla chlorofylu v plastidech, čímž se elektrony vybudí a pozvednou na vyšší energetickou

úroveň. Prostřednictvím řetězce redox katalyzátorů (plastochinon, cytochrom, ...) je poskytována energie pro fosforylaci ADP.

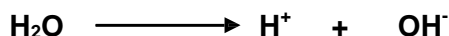


Nyní navazuje 2. fáze reakce.

### 2.2 Fotolýza vody (krok 2)

V tomto kroku probíhá světlem podmíněné štěpení vody s tvorbou kyslíku a redukováného nikotinamidadeninukleotidfosfátu (NADPH + H<sup>+</sup>) (primární proces). Tato redukováná forma NADPH + H<sup>+</sup> tak slouží k přenosu iontů vodíku a je k dispozici pro další vlastní asimilaci. Tuto reakci popsal Hill, takže se zapsala do teorie jako Hillova reakce (světelná reakce fotosyntézy).

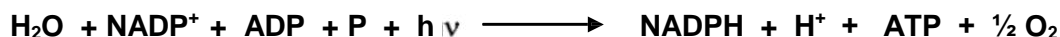
Ionty vodíku pro tuto reakci pocházejí z disociované vody



Ionty OH<sup>-</sup> rovněž pravděpodobně oxidují ve světelné reakci chlorofylu a vytvoří jako „odpadní produkt“ fotosyntézy uvolněný kyslík  
den als „Abfallprodukt“ der Photosynthese den freilwerdenden Sauerstoff nach der  
rovnice



Vybuzené elektrony jsou absorbovány řetězcem redox katalyzátorů, vytvoří při odevzdání energie ATP a nahradí v chlorofylu elektrony předtím poskytnuté NADP<sup>+</sup> a tím odebrané z koloběhu. V celkové rovnici lze tuto fotolytickou reakci rekapitulovat takto:

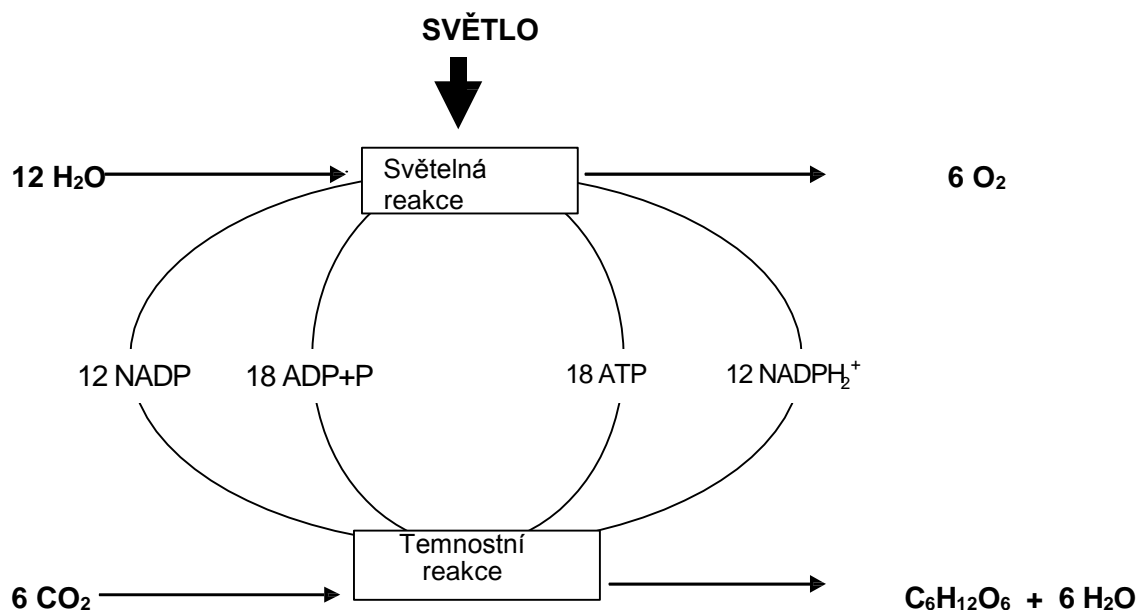


Poté navazuje 3. fáze reakce.

### 2.3 Vázání oxidu uhličitého a redukce (krok 3)

V tomto kroku je popsáno chemické vázání oxidu uhličitého přijatého z atmosféry na akceptor a jeho přeměna na uhlohydrát. To se děje v nefotochemické reakci nezávislé na světle (sekundární proces), kterou popsal americký biochemik Melvin Calvin a která se do teorie zapsala jako Calvinův cyklus. V průběhu celé řady mezireakcí se labilní primární produkt štěpí pomocí několika známých mezistupňů na dvě částice C<sub>3</sub>, fosfoglycerovou kyselinu. V dalším průběhu biosyntézy se nyní 2 molekuly triózy 3-fosfátu přemění na molekulu C<sub>6</sub>, hexózu, s uvolněním kyseliny fosforečné a použijí se k vytvoření sacharózy, škrobu, celulózy a dalších uhlohydrátů.

Při fotosyntéze hrají tedy v podstatě rozhodující roli světelná a temnostní reakce. V níže uvedeném přehledu jsou stručně znázorněny důležité procesy:



Z popsané obecné základní rovnice vyplývá, že asimilační výkon zelených rostlin lze měřit z více hledisek:

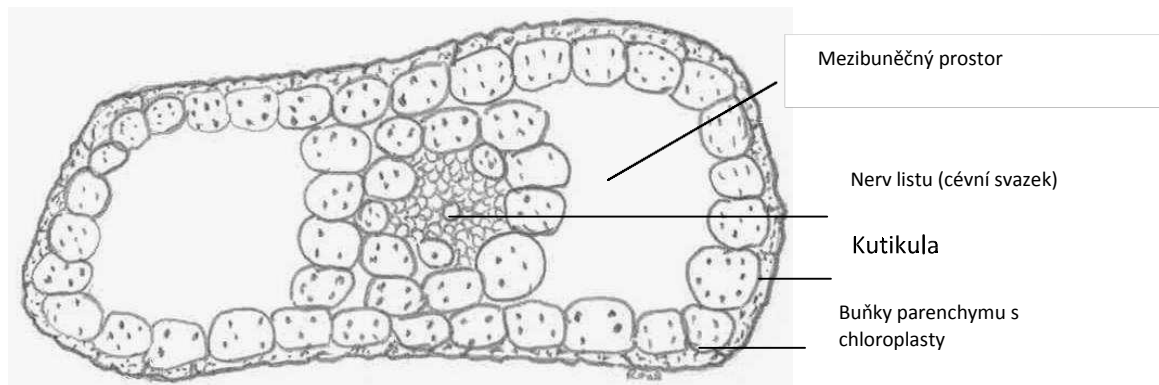
- určením tvorby asimilátu
- měřením spotřeby oxidu uhličitého zjištěním
- množství vzniklého kyslíku

Velmi dobrou možností přímého sledování asimilace je pozorování tvorby kyslíku. Kyslík vylučuje rostlina při asimilaci jako „odpadní produkt“. Pokud tento kyslík zachytíme a prokážeme, je to důkazem probíhající asimilace. Bohužel to u suchozemských rostlin není tak jednoduché. U vodních rostlin v akváriu naproti tomu můžeme pozorovat vypouštění malých bublinek plynu. Pokud tyto bublinky zachytíme, lze tento plyn identifikovat jako kyslík.

Pomocí jednoduché experimentální konstrukce můžete při vyučování realizovat asimilační činnost vodních rostlin. Potřebujete jednu kádinku, jeden trychtýř a jednu malou zkumavku (pokud možno s vyznačenou stupnicí) pro zachycení kyslíku. Před provedením pokusu je nutno vysvětlit zvláštní stavbu vodních rostlin. Na rozdíl od suchozemských rostlin nemají zcela ponořené vodní rostliny žádné průduchy, které mohou přijímat oxid uhličitý a vypouštět kyslík. U vodních rostlin, které mají plovoucí listy, se na svrchní straně listu samozřejmě průduchy nacházejí. Ty jsou však pro provedení pokusu pro znázornění asimilační činnosti stejně nevhodné jako suchozemské rostliny. Proto jsou pro praktické pozorování asimilační činnosti důležité zcela ponořené vodní rostliny jako *Elodea canadensis* (kanadský vodní mor), *Elodea densa* (douška hustolistá),

Ceratophyllum demersum (růžkatec ponořený), Myriophyllum verticillatum (stolístek přeslenatý) a Najas maritima (řečanka přímořská) (popis druhů je uveden v následujícím textu).

Jak ukazuje obrázek, skutečně chybí průduchy. List je kolem dokola vybaven tenkou kutikulou. Pod ní se nacházejí buňky parenchymu s chloroplasty a velké mezibuněčné prostory. Palisádové buňky a houbový parenchym se zde nevyskytují.



*Průřez listem vodní rostliny*

Nyní je však nutno si položit otázku, jak přijímá zcela ponořená vodní rostlina oxid uhličitý a jak odevzdává kyslík do okolí?

Zvláštní stavbu mají submerzní stonky a listy. Díky ní jsou hydrofyty (vodní rostliny) schopné přijímat oxid uhličitý rozpuštěný ve vodě, vodu a živné soli přímo z vody pomocí osmózy. To se daří díky tenkým stěnám epidermis a slabě vyvinuté kutikule. Podíl oxidu uhličitého ve vodě odpovídá množství oxidu uhličitého, který se za normálních podmínek vyskytuje také ve vzduchu, cca 0,3 cm<sup>3</sup> na litr. Vodní rostliny proto nemají k dispozici méně oxidu uhličitého než suchozemské rostliny.

Kyslík vznikající při asimilaci putuje buňkami parenchymu a kutikulou do vody obklopující vodní rostlinu. Tento proces lze pozorovat podle malých stoupajících bublinek plynu. U poraněných vodních rostlin, např. na stonku, můžeme pozorovat výrazně intenzivnější vypouštění plynu. Této skutečnosti můžete využít v následných pokusech tak, že pro určení vypouštění plynu použijete menší nařezané výhonky rostliny.

Níže uvedené pokusy lze provádět s celou řadou různých vodních rostlin, které jsou zde stručně popsány.

#### **2.4 Popis vodních rostlin čeledi vodňankovité (*Hydrocharitaceae*) k použití v praktické části**

Jsou to vytrvalé ponořené, vzácněji jednoleté vodní rostliny, které se mohou vyskytovat ve sladké i slané vodě. Listy jsou celistvé a jsou ke stonku uchyceny pomocí



malých řapíků. Vedle přízemních růžic listů mohou mít také přeslenovité listy uspořádané na stonku v patrech, některé jsou ale na stonku uspořádány do spirály. Květy jsou většinou jednopohlavní, vzácněji oboupohlavní. Květy jsou malé, nenápadné a ponořené. Z této čeledi rostlin lze jako rostliny vhodné pro pokusy uvést rody *Vallisneria*, *Lagarosiphon* a především *Elodea*.

### Vodní mor (*Elodea*)

Anatomie vodního moru je velmi jednoduchá a má velkou morfologickou mnohotvárnost. Proto se může bez problémů přizpůsobit téměř jakémukoli prostředí. Vedle vod v mírných pásmech se vyskytuje také ve vodách tropických oblastí.

### Kanadský vodní mor (*Elodea canadensis* L.C. Richard in Michaux fil.)



Ponořená, plovoucí nebo plazivá vodní rostlina, jejíž výhonek může být mírně až silně rozvětvený. Rostlina dosahuje délky výhonů 30-300 cm. Listy jsou přisedlé, v dolní části výhonu vstřícné, malé a vejčitě kopinaté. V horní části výhonu přecházejí listy do přeslenů.

#### **Výskyt:**

Pochází ze Severní Ameriky, od roku 1836 se vyskytuje také v Evropě směrem na sever až k polárnímu kruhu. Vodní mor najdeme ve stojatých i tekoucích vodách, bohatých na zásadité prvky a živiny, především v rybnících, pomalu tekoucích potocích, strouhách a tůních. Do určitého stupně dokáže také snášet znečištění vody.

Tato rostlina se skvěle hodí pro níže uvedené pokusy.

### Douška hustolistá (*Elodea densa* Caspary)



Ponořená rostlina s bohatým větvením, výhony jsou hustě pokryté listy. Listy jsou uspořádány do přeslenů, mají lineální až kopinatý tvar a jsou tenké a světle zelené.