

GLOBE



Carbon Cycle

GLOBE Cyklus uhlíku

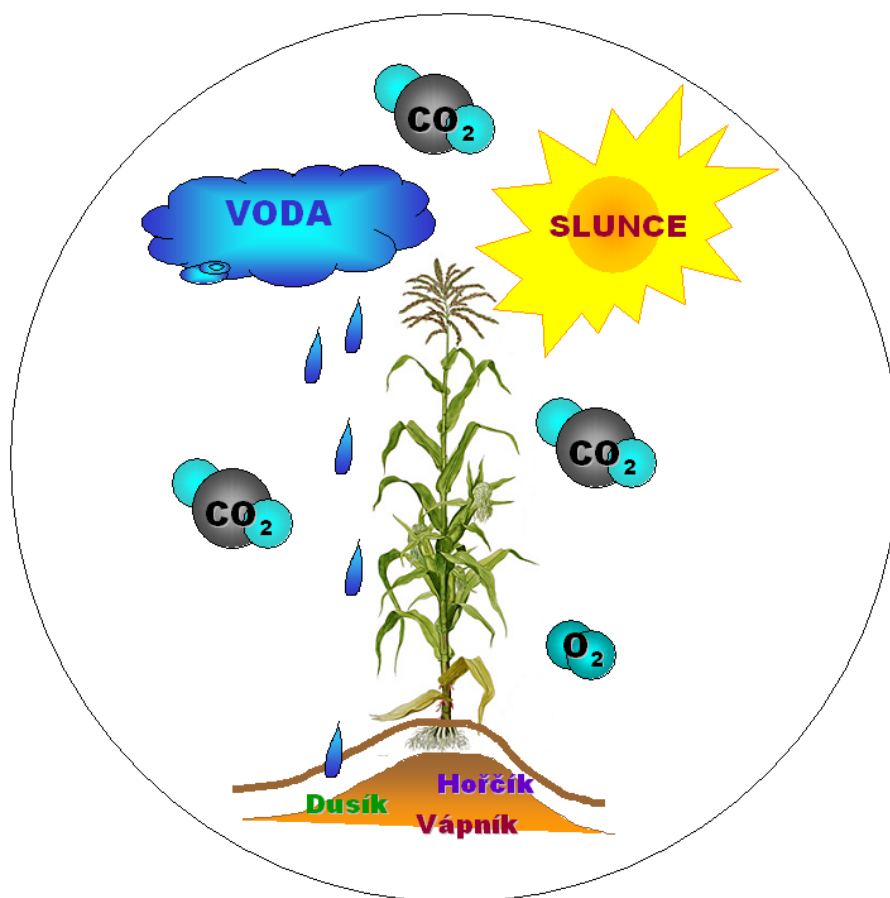
Pěstujte rostliny:

Praktické pokusy s fotosyntézou

Protokoly experimentů

Říjen, 2007, Pilotní verze

Co potřebují rostliny k růstu?



Jana Albrechtová¹, Zuzana Lhotáková¹, Luboš Daněk¹, Edita Tylová¹, Lubomír Nátr¹,
Barbora Semeráková², Dana Votápková², Scott Ollinger³, Sarah Silverberg³, Gary Randolph⁴

1 – Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyziologie rostlin, Praha, CZ;;

albrecht@natur.cuni.cz

2 – Sdružení TEREZA, Praha, CZ; dana.votapkova@terezanet.cz

3 - University of New Hampshire, Durham, NH, USA; scott.ollinger@unh.edu, sarah.silverberg@unh.edu

4 – GLOBE Program, Regional Consortia Coordinator and Carbon; randolph@globe.gov



Shrnutí:

Aktivita “Pěstujte rostliny” je vyvíjena jako součást GLOBE projektu Cyklus uhlíku (Carbon Cycle Project). Rostliny totiž tvoří velmi důležitý prvek v globálním cyklu uhlíku a mimo jiné rostlinná biomasa představuje i zásobník uhlíku.

Aktivita “Pěstujte rostliny” povede studenty ke zkoumání a ověření skutečnosti, že rostliny ke svému růstu potřebují určité zdroje a že oxid uhličitý je zabudováván do rostlinné biomasy. Tato aktivita pomůže studentům porozumět tomu, jak rostliny rostou a které zdroje potřebují k růstu a akumulaci biomasy.

V současné době se náš tým zaměřil na vývoj jednoduchých praktických pokusů, kdy studenti pěstují vlastní rostliny a různě mění podmínky pěstování např. omezením nebo změnou v dostupnosti základních zdrojů jako jsou oxid uhličitý, světlo, voda a minerální živiny. Výsledky experimentů mají ukázat nezbytnost těchto zdrojů pro rostliny. Nyní máte k dispozici první soubor ověřených pokusů.

Cíle aktivity “Pěstujte rostliny”

Aktivita povedou studenty ke schopnostem:

- Formulovat vlastní hypotézy o vlivu základních zdrojů na růst rostlin
- Plánovat, připravit a provést jednoduchý biologický experiment
- Zaznamenávat pozorování a měření
- Vyhodnotit získaná data
- Formulovat obecný závěr na základě získaných dat a ověřit platnost vlastní hypotézy

Plány a vyhlídky do budoucnosti:

- První sada pokusů bude testována na 10 pilotních školách v České Republice a USA během školního roku 2007/2008.
- Během školního roku 2007/2008 vývoj dalších experimentů týkajících se 4 základních zdrojů s různými stupni obtížnosti.

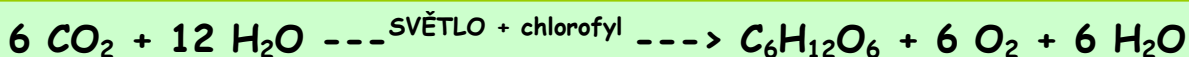


Úvodní informace:

Co potřebují rostliny k růstu?

Základními požadavky pro růst rostlin je přítomnost světla, vody a oxidu uhličitého. Ty jsou využívány při procesu zvaném fotosyntéza. Fotosyntéza (z řeckého fós, fotos – „světlo“ a synthesis – „skladba“) je děj, při kterém je pohlcené sluneční záření přeměněno na energii chemických vazeb, která je využita pro zabudování vody a oxidu uhličitého do uhlovodíků. Mezi uhlovodíky patří jednoduché i složité cukry, jako je např. celulóza, z které se skládá převážná část rostlinného těla. Tento děj, při kterém se odebírá CO₂ z atmosféry a přeměňuje se na uhlovodíky vlastně uzavírá uhlík v rostlinných pletivech, kde je uložen až do smrti rostliny. Pokud bychom zvážili usušenou rostlinu, zjistíme, že 45-50% hmotnosti rostlinné hmoty (neboli biomasy) je tvořeno uhlíkem.

FOTOSYNTÉZA FOTOSYNTÉZA



Vedle světla, vody a oxidu uhličitého vyžadují rostliny pro svůj růst a vývoj také malé množství dalších živin a minerálů. Např. bílkoviny obsahují dusík a síru, zatímco chlorofyl, nezbytný pro fotosyntézu, obsahuje hořčík. Z těchto živin je nejdůležitější dusík, který tvoří až 5% sušiny rostlin. Pokud rostliny nemají dostatek dusíku, bude jejich růst omezen, i pokud by měly světla, vody a oxidu uhličitého víc než dost.

Co ovlivňuje rychlost fotosyntézy?

Rychlost fotosyntézy je míra, popisující jaké množství uhlíku je využito listem, měřeno v jednotkách g (CO₂) /m². Rychlost fotosyntézy může být ovlivňována řadou faktorů. Nejdůležitějšími faktory jsou: sluneční světlo, teplota, voda, dostatek CO₂ a O₂ nebo jakýkoli jiný faktor, který ovlivňuje tvorbu chlorofylu a jiných chemických látek účastnících se fotosyntézy (tzn. dostatek dalších makro – a mikroprvků – dusíku, hořčíku).

Jak ovlivňuje fotosyntézu koncentrace CO₂ ve vzduchu?

Obecně řečeno, čím více dostupného CO₂ je ve vzduchu, tím vyšší je rychlost fotosyntézy. Rostliny přijímají CO₂ prostřednictvím otvorů v listech zvaných průduchy (lat. stomata). Průduchy řídí rychlost, kterou do listu vstupují a z něj vystupují plyny, včetně CO₂. Tento děj se nazývá vodivost průduchů. Když jsou průduchy otevřené, dovolují, aby do listu vstupoval CO₂ potřebný pro fotosyntézu a zároveň umožňují unikat vodě (H₂O, v plynném skupenství) a volnému kyslíku (O₂). Podmínky prostředí mohou někdy zabránit přijímání CO₂ do listů navzdory jeho dostupnosti v okolí rostliny. Např. pokud rostliny potřebují zavřít průduchy, aby zabránily úniku vody, zabrání tak zároveň difúzi CO₂ do listů. Dalším případem, kdy CO₂ nemůže pronikat do listů, je v prostředí s vysokou vzdušnou vlhkostí. Pokud je okolní vzduch nasycený vodní parou, tak voda zevnitř listu nemůže projít difúzí přes průduchy do okolí a tím brání CO₂ v difúzi dovnitř listu. Za každých okolností, kdy je CO₂ zabráněno v proniknutí do listu, stává se CO₂ rychle limitujícím faktorem fotosyntézy.

*Poznámka: Bylo pozorováno, že zvýšená koncentrace CO₂ ve vzduchu potlačuje otevírání průduchů, tzn. snižuje vodivost průduchů. Když zůstávají průduchy častěji zavřené, vypařuje se voda pomaleji a rostliny jí pak potřebují méně.

Jak ovlivňuje zvýšená koncentrace CO₂ ve vzduchu jednotlivé rostliny a pevninské ekosystémy?

Zvýšená koncentrace CO₂ ve vzduchu ovlivňuje 3 základní fyziologické děje v rostlinách: fotosyntézu, která stoupá a fotorespiraci (světelné dýchání rostlin) a vodivost průduchů, která klesá. V začátcích výzkumu na toto téma se zdálo, že zvýšení koncentrace oxidu uhličitého bude pozitivní změnou v našem prostředí. Důsledky zvýšení koncentrace CO₂ pro zemědělce se zdály být úžasné – vyšší fotosyntéza povede k vyšší produkci biomasy, to znamená vyšší úrodu a současně nižší spotřeba vody dovolí zemědělcům omezit zavlažování a tím ušetřit peníze. Rostliny jsou však složité komplexní systémy a jejich reakce na změny prostředí bývají jen zřídka jednoduché a lineární.

Se stoupající koncentrací oxidu uhličitého se zvyšovala také intenzita výzkumu vlivů CO₂ na růst rostlin. K dnešnímu dni nalezneme stovky výzkumných prací na toto téma, řešených po celém světě. **Některé nepřímé důsledky zvýšené koncentrace CO₂ na rostliny zde probereme:**

1. **Kvalita biomasy uložené v rostlinách se mění.** Zatímco díky zvýšené koncentraci CO₂ je tvořeno při fotosyntéze více uhlovodíků, podíl ostatních živin v biomase se snižuje. Nejdůležitější z těchto živin je dusík, který je zabudováván do rostliny ve formě bílkovin. Úbytek rostlinných bílkovin v podstatě znamená



pokles nutriční hodnoty těchto rostlin, které tedy přestávají být hodnotným krmivem nebo potravinou. Protože CO₂ stoupá po celém světě, jsou ovlivněny jak zemědělské tak i přírodní ekosystémy. Lidé mohou mít přístup také k dalším zdrojům potravy, která tento pokles ve výživě vyváží, ale býložravci pasoucí se na těchto rostlinách mohou mít potíže s přežitím. V tomto kontextu je důležité si uvědomit, že změna na jedné úrovni potravního řetězce ovlivní celý ekosystém. Takže je možné, že pokles nutriční hodnoty biomasy způsobený zvýšením CO₂ může přispět k vyhynutí živočišných druhů v globálním měřítku.

2. **Zvýšená tvorba biomasy pravděpodobně zvýší požadavky na živiny a minerály.** Zvýšené požadavky na živiny a minerály povedou pravděpodobně k jejich rychlému vyčerpání z půdy. Silně vyčerpané půdy se mohou stát zcela neúrodnými. Nerovnováha v čerpání živin z půdy může mít komplexní následky, které se dají jen obtížně odhadovat.
3. **Byla pozorována zvýšená alokace (tj. nasměrování živin) do biomasy kořenů.** Zvýšené ukládání živin do kořenů může obohatit organickou půdní hmotu, což by mělo příznivé důsledky pro fyzikální a chemické vlastnosti půdy. Zároveň může zvýšená dostupnost organické hmoty v půdě stimulovat rozvoj půdní flóry a fauny. To může způsobit imobilizaci (zabránění v dalším využívání) minerálních živin pro kořeny rostlin nebo změnit rychlost dekompozice (rozkladu organické hmoty). Tyto potenciální vlivy, ostatně jako vše co souvisí s půdou, se dají velmi špatně vyčíslit a pochopit.

Navíc tady máme **nepřímé důsledky snížené vodivosti průduchů** způsobené zvýšenou koncentrací CO₂ ve vzduchu.

1. Nižší transpirační tok sníží přísun minerální výživy z kořenů do listů. To může vést k snížené produkci biomasy v důsledku nedostatku živin v nadzemních částech rostliny.
2. Nižší rychlost transpirace znamená také nižší evaporaci (odpařování) vody z povrchu listů. Zároveň však zvýšení koncentrace CO₂ vede k nárůstu celkové rostlinné biomasy a tedy i k zvýšení listového povrchu, odkud se voda může vypařovat. Je tedy velmi obtížné předvídat budoucí úroveň spotřeby vody na úrovni celých ekosystémů.
3. Evapotranspirace je důležitá pro ochlazování listového povrchu za vysokých teplot. Pokud je transpirace snížena, zvýší se teplota listového povrchu. Bylo dokázáno, že zvýšená teplota zvyšuje rychlost dýchání a růst rostlin. To může vést k předčasnému stárnutí (ztráta listů /smrt celé rostliny) ještě před vlastní úrodou (tvorba semen/plodů).

Praktické pokusy s fotosyntézou

Semeno rostliny obsahuje vlastní zásobní látky (škrob, bílkoviny a další). Když jsou semena stimulována ke klíčení, využívají k růstu klíčků vlastní zásoby a okolní kyslík. Klíčící rostlina (semenáček) je velmi jemná, často jedlá rostlinka.

Postupně se rostlina vyvíjí a spotřebovává svoji zásobu živin a stává se úplně závislou na zdrojích hmoty a energie v okolním prostředí. Rostliny potřebují světlo, oxid uhličitý, vodu a minerální živiny, aby mohly pokračovat v růstu po vyklíčení. Následují čtyři pokusy, které ukazují, jak různé zdroje prostředí ovlivňují růst rostlin.

Experiment 1 – OXID UHLIČITÝ

Otázka: Kolik CO₂ je potřeba pro růst rostlin?

CO₂ je limitujícím zdrojem pro fotosyntézu. Určitý zdroj je považován za limitující, pokud je i v případě, že ostatní zdroje jsou snadno přístupné, průběh fotosyntézy zpomalen nebo zastaven, není-li tento zdroj dostupný v dostatečné míře. Zpomalení fotosyntézy znamená, že hromadění biomasy se také zpomalí, čímž je v důsledku sníženo množství uhlíku, které může být uloženo v rostlině.

Vliv CO₂ na růst rostlin: Zahrádka v láhvi

Tento pokus je zaměřen na pozorování toho, jak množství CO₂ ovlivňuje růst kukuřice. Abychom zajistili, že zvýšení množství biomasy je opravdu důsledkem fotosyntetické produkce, odstraníme při přesazování semenáčků do lahve zbytek obilky obsahující vlastní zásobní systém rostliny. Množství vzduchu s CO₂ dostupným pro rostliny je určeno objemem plastové lahve, v které jsou rostliny pěstovány. V jedné lahvi neměníme obsah vzduchu a ponecháváme stejnou koncentraci CO₂ jako v okolním vzduchu. V druhé lahvi snížíme obsah CO₂ tím, že do lahve před uzavřením přidáme chemickou látku (NaOH), která absorbuje CO₂. Budeme zaznamenávat konkrétní pozorování velikosti rostlin, barvy listů a změny v přírůstku rostlinné biomasy.

Co budete potřebovat?

- osivo – obilky kukuřice
- váhy (přesnost na 0,01 g)
- ploché neprůhledné plastové misky nebo tácky na klíčení obilky
- zahradnický perlit nebo sklářský písek (nemáte-li, tak obyčejný písek důkladně propláchnutý vodovodní vodou)
- plastové průhledné láhve o objemu 1 litr se širokým hrdlem (doporučujeme láhve od mléka).
- komplexní hnojivo s obsahem mikroprvků (doporučujeme Kristalon Start – dostanete v zahradnictví či květinářství (Složení viz Tabulka 1).
- destilovaná voda
- hydroxid sodný (sorbenť oxidu uhličitého)
- alobal

Stručný postup:

1. Odpočítejte 200 obilek kukuřice a zvažte všechny dohromady. (hmotnost obilky se pohybuje mezi 0,25-0,40g). Určete průměrnou hmotnost obilky.
2. Plastové neprůsvitné tácy nebo mělké misky pokryjte 1-2 cm vrstvou zahradnického perlitu nebo promytého písku.
3. Nasyťte perlit nebo písek vodovodní vodou.
4. Umístěte obilky kukuřice (v rozestupech cca 2 cm) na připravený tác nebo misku. Použijte ještě jeden tác či misku stejné velikosti, otočte ji dnem vzhůru a přikryjte nádobu s obilkami. V takto přikrytém prostoru se zvýší vzdušná vlhkost a urychlí klíčení obilek.
5. Za 7 dní (při pokojové teplotě) by měly obilky naklíčit a mít klíček dlouhý 2-3 cm a být připraveny k zasazení.
6. Namíchejte si 100 ml roztoku hnojiva o koncentraci 0,2 g/l.
7. Nalijte 50 ml živného roztoku do každé pokusné láhve.
8. Ostrým skalpelem nebo žiletkou opatrně odřízněte dělohu – zbytek obilky, aby byla klíčící rostlina od počátku závislá na fotosyntéze.
9. Do každé láhve vasaďte 6 klíčících rostlin.
10. Do zkumavky nebo malé lahvičky odvážíme 2g NaOH a zkumavku nebo lahvičku opatrně pinzetou umístíme na dno láhve s živným roztokem.
11. Následujících 14 dní sledujte růst rostlin v jednotlivých variantách a zaznamenávejte rozdíly mezi rostlinami do pracovních listů.
12. Rostliny sklíďte po 14 dnech kultivace.
13. Rostlinu nůžkami rozdělňte na prýť a kořeny.
14. Určete čerstvou hmotnost částí rostlin.
15. Nastříhejte si alobal na čtverečky (přibližně 15 x 15 cm), označte je předem lihovým fixem, zvažte a zapište na něj hmotnosti
16. Alobalové balíčky s částmi rostlin na několika místech propíchněte a při teplotě 90°C nechte do druhého dne usušit (8-12 hodin) v sušárně nebo horkovzdušné troubě.
17. Pomocí výpočtů v pracovním listu „Sklizeň“ pro danou úlohu určete následující charakteristiky rostlin:
 - čerstvá hmotnost celé rostliny
 - suchá hmotnost celé rostliny
 - podíl vody v čerstvé rostlinné biomase (v %) pro celou rostlinu a její jednotlivé části
 - přírůstek biomasy (v gramech suché hmotnosti, v %)
 - poměr suché hmotnosti kořenů a prýtu
18. Porovnejte výsledky mezi variantami experimentálního ošetření rostlin. Odpovězte si na otázky, které jste si položili před založením experimentu.

Položte si otázky, dříve než začnete! (Formulujte vlastní hypotézu)

1. Kolik CO₂ obsahuje vzduch?
2. Jak ovlivňuje snížená koncentrace CO₂ ve vzduchu růst rostlin?
3. Kde a jak je CO₂ ukládán v rostlinném těle?
4. Jak se dostane CO₂ ze vzduchu do buněk listů?
5. Potřebují CO₂ také kořeny ?

Experiment 2 – SVĚTLO

Otázka: Potřebují rostliny světlo?

Podle fyzikální definice je světlo elektromagnetické záření, které má vlnovou délku v rozsahu od 400 (fialová) do 770 (červená) nm a může být pozorováno normálním lidským okem bez pomoci přístrojů jako barva nebo jako světlo. *Poznámka– jeden nanometr odpovídá 10^{-9} m.

Vzhledem k zavedené terminologii by měl být pojem světlo používán v souvislosti s vnímáním lidským zrakem. V souvislosti s rostlinami by měl být používán spíše fyzikální termín záření nebo ozáření. Sluneční záření vstupující do vnější atmosféry může být rozděleno na tři hlavní spektrální oblasti vzhledem ke své vlnové délce:

1. **Ultrafialové (UV) záření:** vlnová délka kratší než 380 nanometrů. Většina tohoto záření je zachycena ozonovou vrstvou v horní části atmosféry a pouze 1 - 2 % dosáhne povrchu Země. UV záření poškozuje všechno živé, přičemž kratší vlnové délky jsou ničivější pro důležité složky živých organismů.

2. **Viditelné záření:** vlnová délka od 360 do 720 nm. Toto je jediné záření, které může být využito rostlinami k fotosyntéze, a proto se nazývá **fotosynteticky aktivní záření** (photosynthetically active radiation PAR) a má rozsah 400 – 700 nm.

45% vstupujícího záření tvoří viditelné záření.

3. **Infračervené záření:** vlnová délka vyšší než 700nm. Více než polovina vstupujícího záření je tvořena infračervenými vlnovými délkami.

Při průchodu atmosférou Země je sluneční záření částečně rozptýlováno různými částicemi ve vzduchu, jako jsou např. molekuly oxidu uhličitého nebo vodní páry. Částečně je odraženo zpět do vesmíru a pouze přibližně jedna polovina dosáhne povrchu Země. Část je pohlcena zemským povrchem a část (10 – 25%) je opět odražena do atmosféry.

Sluneční záření ovlivňuje rostliny přímo i nepřímo. Přímo umožňuje fotosyntézu, slouží jako signál pro řadu fyziologických procesů, určuje to, jak se budou rostliny vyvíjet včetně jejich velikosti a stavby, a určuje směr jejich růstu. Příliš mnoho světla může ale rostlinám také škodit, zvláště pokud je jeho velká část v UV vlnových délkách. Nepřímý vliv na rostliny je zprostředkováván počasím a klimatem Země a mikroklimatem daného ekosystému nebo lokality. Obecně řečeno, fotosyntetický aparát rostlin může správně fungovat pouze v úzkém rozsahu teplot. Pokud jsou molekuly účastníci se procesem fotosyntézy (např. v pigmentech a membránách) přehřáté, rychle denaturují (vlastně se uvaří).

Světlo je zodpovědné za zelenou barvu listů prostřednictvím tvorby chlorofylu: Vliv světla na růst a vývoj rostlin.

Světlo je zásadním zdrojem energie pro růst rostlin, tj. pro produkci biomasy prostřednictvím fotosyntetických reakcí. Dále světlo spouští tvorbu zeleného listového barviva – chlorofylu, který hraje zásadní roli v procesu fotosyntézy.

Následující pokus je navržen tak, aby umožnil prozkoumat, jak nepřítomnost světla ovlivňuje růst kukuřice. Budeme pozorovat velikost rostliny, barvu listů a nárůst biomasy.

Co budete potřebovat?

- osivo – obilky kukuřice
- váhy (přesnost na 0,01 g)
- ploché neprůhledné plastové misky nebo tácky na klíčení obilek
- zahradnický perlit nebo sklářský písek (nemáte-li, tak obyčejný písek důkladně propláchnutý vodovodní vodou)
- květináče o objemu cca 0,75 litru
- komplexní hnojivo s obsahem mikroprvků (doporučujeme Kristalon Start – dostanete v zahradnictví či květinářství (Složení viz Tabulka 1).
- destilovaná voda
- velká papírová krabice (hloubka cca 30 cm)
- alobal
- malé květináčky nebo krabičky (např. od čaje)
- černé papíry nebo kus černé látky (50 x 50 cm)

Stručný postup:

1. Odpočítejte 200 obilek kukuřice a zvažte všechny dohromady. (hmotnost obilky se pohybuje mezi 0,25-0,40g). Určete průměrnou hmotnost obilky.
2. Plastové neprůsvitné tácky nebo mělké misky pokryjte 1-2 cm vrstvou zahradnického perlitu nebo promytého písku.
3. Nasyťte perlit nebo písek vodovodní vodou.
4. Umístěte obilky kukuřice (v rozestupech cca 2 cm) na připravený tác nebo misku. Použijte ještě jeden tác či misku stejné velikosti, otočte ji dnem vzhůru a přikryjte nádobu s obilkami. V takto přikrytém prostoru se zvýší vzdušná vlhkost a urychlí klíčení obilek.
5. Za 7 dní (při pokojové teplotě) by měly obilky naklíčit a mít klíček dlouhý 2-3 cm a být připraveny k zasazení.
6. Namíchejte si na zálivku zásobní roztok o koncentraci hnojiva: 0,5g/l.
7. Květináče a naplňte je (asi 2 cm pod okraj) zahradnickým perlitem nebo sklářským pískem. Zasadte vždy 5-6 klíčících rostlin do jednoho květináče a pečlivě květináče opatřete štítky se jménem nebo značkou pokusného ošetření – budete mít 2 různá ošetření SVĚTLO a TMA.
8. Velkou papírovou krabicí z venku polepte alobalem.
9. Umístěte květináče na černou podložku a přikryjte krabicí. Rohy krabice podložte malými květináči či krabičkami, vzniklou mezerou (5-10 cm) mezi podložkou a okrajem krabice bude docházet k výměně vzduchu.
10. Pěstujte rostliny při pokojové teplotě na světlém místě (nejlépe na okenním parapetu) 11 dní. Rostliny zalévejte každý druhý den 100 ml živného roztoku.
11. Rostliny sklíďte po 11 dnech kultivace.
12. Rostlinu nůžkami rozdělte na prýt, kořeny a zbytek obilky.
13. Určete čerstvou hmotnost částí rostlin.
14. Nastříhejte si alobal na čtverečky (přibližně 15 x 15 cm), označte je předem lihovým fixem, zvažte a zapište na něj hmotnosti
15. Alobalové balíčky s částmi rostlin na několika místech propíchněte a při teplotě 90°C nechte do druhého dne usušit (8-12 hodin) v sušárně nebo horkovzdušné troubě.



16. Pomocí výpočtů v pracovním listu „Sklizeň“ pro danou úlohu určete následující charakteristiky rostlin:
- čerstvá hmotnost celé rostliny
 - suchá hmotnost celé rostliny
 - podíl vody v čerstvé rostlinné biomase (v %) pro celou rostlinu a její jednotlivé části
 - přírůstek biomasy (v gramech suché hmotnosti, v %)
 - poměr suché hmotnosti kořenů a prýtu
17. Porovnejte výsledky mezi variantami experimentálního ošetření rostlin. Odpovězte si na otázky, které jste si položili před založením experimentu.

Položte si otázky, dříve než začnete! (Formulujte vlastní hypotézu)

1. Co je to světlo?
2. Co dává světlo rostlinám?
3. Potřebují rostliny jen světlo ze Slunce?
4. Je světlo pro rostliny surovina nebo energie?
5. Rostou rostliny také v noci?
6. Jak to, že v noci rostliny světlo nepotřebují?

Experiment 3 – VODA

Otázka: Proč musí rostliny pít, aby zůstaly naživu?

Nejprve si vysvětlíme některé pojmy. **Evapotranspirace** (ET) je součtem evaporace (vypařování z volného povrchu) a transpirace (uvolňování vodní páry rostlinami). **Transpirace** je pohyb vody v rostlině od kořenů k listům následná ztráta vody skrze průduchy. **Evaporace** je přechod vody v podobě vodní páry do vzduchu z povrchu různých předmětů, jako je půda, vodní plochy atd.

Evapotranspirace je důležitou částí vodního koloběhu.

Rostliny jsou složeny hlavně z vody. Listy jsou tvořeny až z 60-90% vody a některé mechy se skládají téměř výhradně z vody, až z 99%! Naproti tomu zrna obilnin se skládají pouze z 12% vody a přesto jsou stále schopné klíčení, růstu a vývoje v semenáček.

Během růstu však rostliny spotřebovávají mnohem více vody než samy obsahují.

Transpirační koeficient (T_c) vyjadřuje množství vody, které rostlina přijme z půdy a ve formě vodní páry vydá svými listy do vzduchu za dobu, kdy vytvoří určité množství své biomasy (vyjádřené hmotností sušiny). Transpirační koeficient dosahuje hodnot mezi 300 a 12 000.

Další často používanou veličinou pro spotřebu vody rostlinami je **účinnost využití vody** (**water use efficiency** (WUE)). WUE je obrácená hodnota transpiračního koeficientu a vyjadřuje množství nově vytvořené biomasy za dobu, kdy rostlinami projde určité množství vody.

Význam vody pro rostliny:

1. Voda je prostředím pro metabolické děje v rostlinných buňkách.
2. Voda zprostředkovává příjem živin z půdy a jejich přenos v rostlinném těle.
3. Voda se účastní regulace teploty rostliny tím, že ochlazuje povrch rostliny během transpirace.
4. Voda je dárce elektronů a protonů během fotosyntézy.
5. Voda je zdrojem kyslíku.

Vliv vody na růst rostlin.

Následující pokus ukazuje, jak množství vody ovlivňuje růst kukuřice. Budeme pozorovat růst rostlin a zaznamenávat dobu, za kterou je spotřebováno dané množství vody. Výsledky budou vyhodnoceny porovnáním velikosti a hmotnosti rostlin.

Co budete potřebovat?

- osivo – obilky kukuřice
- váhy (přesnost na 0,01 g)
- ploché neprůhledné plastové misky nebo tácky na klíčení obilek
- zahradnický perlit nebo sklářský písek (nemáte-li, tak obyčejný písek důkladně propláchnutý vodovodní vodou)
- misky od květináčů o průměru 12-15 cm
- kádinky nebo sklenice o objemu 400 ml
- komplexní hnojivo s obsahem mikroprvků (doporučujeme Kristalon Start – dostanete v zahradnictví či květinářství (Složení viz Tabulka 1).
- destilovaná voda
- platové akvaristické trubičky
- alobal

Stručný postup:

1. Odpočítejte 200 obilek kukuřice a zvažte všechny dohromady. (hmotnost obilky se pohybuje mezi 0,25-0,40g). Určete průměrnou hmotnost obilky.
2. Plastové neprůsvitné tácy nebo mělké misky pokryjte 1-2 cm vrstvou zahradnického perlitu nebo promytého písku.
3. Nasyťte perlit nebo písek vodovodní vodou.
4. Umístěte obilky kukuřice (v rozestupech cca 2 cm) na připravený tác nebo misku. Použijte ještě jeden tác či misku stejné velikosti, otočte ji dnem vzhůru a přikryjte nádobu s obilkami. V takto přikrytém prostoru se zvýší vzdušná vlhkost a urychlí klíčení obilek.
5. Za 7 dní (při pokojové teplotě) by měly obilky naklíčit a mít klíček dlouhý 2-3 cm a být připraveny k zasazení.
6. Namíchejte si živný roztok o koncentraci hnojiva: 0,2g/l.
7. Prepare 0.2g/l fertilizer solution.
8. Rozdělte kádinky do 3 skupin a nalijte do nich živný roztok:
 - 150 ml roztoku (kontrola bez rostlin),
 - 150 ml roztoku (s rostlinami),
 - 300 ml roztoku (s rostlinami).
9. Přes hrdlo každé kádinky nebo sklenice položte 2 kousky akvaristické hadičky tak, aby vždy konce přesahovaly okraj kádinky. Poté kádinku opatrně přiklopte miskou – dávejte pozor, aby hadičky zůstaly na svém místě!
10. Celý systém obraťte dnem vzhůru. Po obrácení by měla většina roztoku zůstat v kádince, která stojí na akvaristických hadičkách. Štěrbina mezi dnem misky a hrdlem kádinky zajišťuje vytékání roztoku do misky (Obrázková příloha 4, A, B).
11. Mezikruží mezi obrácenou kádinkou a okrajem misky) vyplňte tenkou vrstvou perlitu nebo písku. Do dvou ze tří experimentálních soustav zasadte do písku či perlitu do každé 10 klíčících rostlin kukuřice.
12. Jednu experimentální soustavu se 150 ml roztoku nechte bez rostlin – zde budete sledovat pozorovat úbytek vody díky vypařování z volného povrchu písku či perlitu.
13. Jakmile budou rostliny suché, sklidte je a určete přírůstek biomasy.
14. Rostlinu nůžkami rozdělte na prýt, kořeny a zbytek obilky.
15. Určete čerstvou hmotnost částí rostlin.
16. Nastříhejte si alobal na čtverečky (přibližně 15 x 15 cm), označte je předem lihovým fixem, zvažte a zapište na něj hmotnosti
17. Alobalové balíčky s částmi rostlin na několika místech propíchněte a při teplotě 90°C nechte do druhého dne usušit (8-12 hodin) v sušárně nebo horkovzdušné troubě.
18. Pomocí výpočtů v pracovním listu „Sklizeň“ pro danou úlohu určete následující charakteristiky rostlin:
 - suchá hmotnost celé rostliny
 - přírůstek biomasy (v gramech suché hmotnosti, v %)
 - poměr suché hmotnosti kořenů a prýtu
18. Porovnejte výsledky mezi variantami experimentálního ošetření rostlin. Odpovězte si na otázky, které jste si položili před založením experimentu.

Položte si otázky, dříve než začnete! (Formulujte vlastní hypotézu)

1. Mohou rostliny přijímat vodu jen listy ze vzduchu?
2. Kolik vody je třeba k vytvoření 1 kg rostlinné sušiny?
3. Jak velká část listu je tvořena vodou?

Experiment 4 – MINERÁLNÍ VÝŽIVA

Otázka: Proč jsou živiny důležité pro růst rostlin?

Minerální prvky tvoří velkou část těla rostlin. Hmotnost živé rostlinné biomasy je tvořena hlavně vodou (až z 95 %). Část biomasy, která zůstane po vysušení, představuje **rostlinnou sušinu** neboli suchou hmotnost rostlin. Sušina rostlinné biomasy je tvořena hlavně organickými sloučeninami (uhlovodíky, proteiny, lipidy atd.) a zbývajících 10% jsou anorganické sloučeniny. Hlavní část prvků v biomase tvoří uhlík (45%), kyslík (44%) a vodík (6%). Všechny tyto prvky jsou získávány rostlinami v průběhu fotosyntézy. Studie minerální výživy rostlin se zaměřují na příjem jiných prvků, které jsou zásadní pro život rostlin, ale tvoří daleko menší část hmotnosti rostlin.

Biogenní neboli **esenciální prvky** požadované rostlinami v relativně velkém množství se nazývají **makroelementy** neboli **makrobiogenní prvky** a zahrnují dusík (tvořící průměrně 1.5% rostlinného těla), draslík (1.0%), vápník (0.5%), fosfor (0.2%), hořčík (0.2%), síra (0.1%), a křemík (0.1%).

Mikroelementy neboli **mikrobiogenní prvky** jsou vyžadovány rostlinami v daleko menším množství, ale jejich příjem je přesto velmi důležitý. Mikroelementy zahrnují chlór (tvořící průměrně 100 ppm* rostlinného těla, železo (100 ppm), bor (20 ppm), mangan (50 ppm), zinek (20 ppm), sodík (10 ppm), měď (6 ppm), nikl (0.1 ppm), molybden (0.1 ppm). Rostlinami jsou dále přijímány další prvky, které nejsou esenciální, jako např. hliník a těžké kovy. V některých případech mohou být tyto nadbytečné mikroelementy pro rostliny přímo jedovaté.

*(ppm znamená počet dílů v milionu, anglicky parts per million = 0.000001 nebo 0.00000001 %)

Je nasnadě otázka, jak poznat, které prvky rostlina ke svému životu potřebuje a které jsou v ní obsaženy jen proto, že je kořeny rostlin přijaly „omylem“, protože pro danou rostlinu nejsou nezbytné. Je tedy důležité definovat, jaké podmínky určují, že je prvek pro rostlinu esenciální (nezbytný). tyto podmínky jsou:

1. Pokud v nepřítomnosti tohoto prvku není rostlina schopná dokončit svůj životní cyklus nebo se vyvíjí nenormálně.
2. Tento prvek nemůže být zastoupen jiným prvkem.
3. Prvek plní funkci v rostlinném metabolismu a fyziologii. Tato poslední podmínka je nejdůležitější – právě pochopení funkce určitého prvku nebo sloučeniny v rostlině dokazuje jeho esenciální význam pro rostlinu.

Živiny důležité jako výživa pro růst rostlin: Vliv dostupnosti živin na růst rostlin

V tomto pokusu uvažujeme nad tím, jak nepřítomnost nebo přidání základních živin ovlivní růst kukuřice. Budeme pozorovat velikost rostliny, přítomnost příznaků nedostatku živin, jako je žloutnutí listů, a vyhodnocovat přírůstek rostlinné sušiny v čase.

Co budete potřebovat?

- osivo – obilky kukuřice
- váhy (přesnost na 0,01 g)
- ploché neprůhledné plastové misky nebo tácky na klíčení obilky
- zahradnický perlit nebo sklářský písek (nemáte-li, tak obyčejný písek důkladně propláchnutý vodovodní vodou)
- květináče o objemu cca 0,75 litru
- komplexní hnojivo s obsahem mikroprvků (doporučujeme Kristalon Start – dostanete v zahradnictví či květinářství (Složení viz Tabulka 1).
- destilovaná voda
- alobal

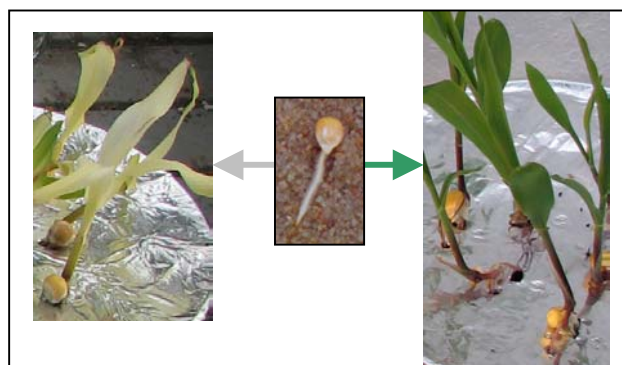


Tabulka 1: Detailní prvkové složení použitého hnojiva Kristalon Start .

Prvek	Forma	%	Prvek	Forma	%
N	celkový	19,0	B	nespecifikováno	0,025
	NO ₃ ⁻	11,8	Mo	nespecifikováno	0,004
	NH ₄ ⁺	7,2	Fe	nespecifikováno	0,07
P	rozpuštěný	6,0	Cu	nespecifikováno	0,01
	v minerální kyselině jako P ₂ O ₅				
K	K ₂ O	20,2	Mn	nespecifikováno	0,04
Mg	MgO	3,0	Zn	nespecifikováno	0,025



Zahradnický perlit



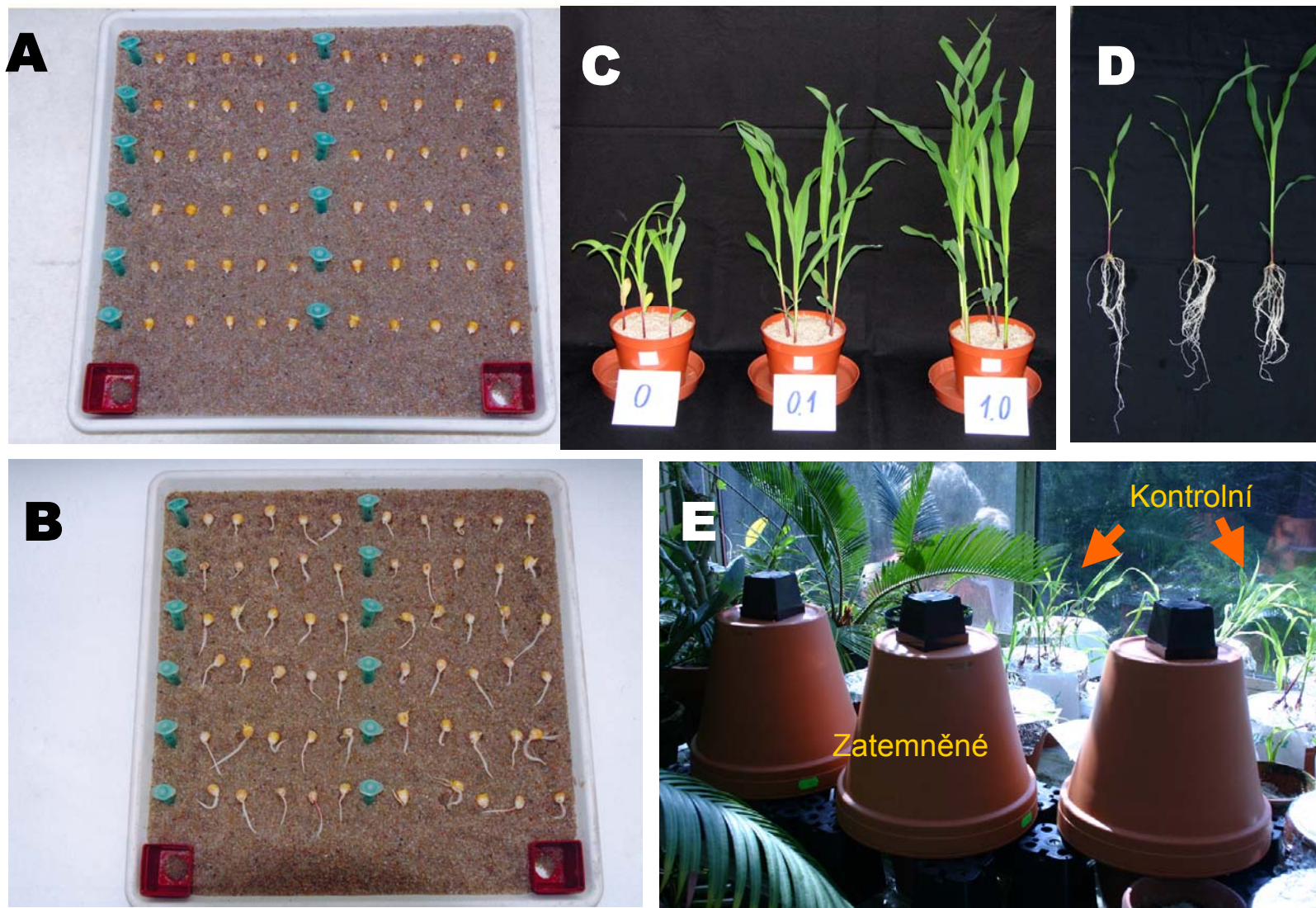
Stručný postup:

1. Odpočítejte 200 obilek kukuřice a zvažte všechny dohromady. (hmotnost obilky se pohybuje mezi 0,25-0,40g). Určete průměrnou hmotnost obilky.
2. Plastové neprůsvitné tácy nebo mělké misky pokryjte 1-2 cm vrstvou zahradnického perlitu nebo promytého písku.
3. Nasyťte perlit nebo písek vodovodní vodou.
4. Umístěte obilky kukuřice (v rozestupech cca 2 cm) na připravený tác nebo misku. Použijte ještě jeden tác či misku stejné velikosti, otočte ji dnem vzhůru a přikryjte nádobu s obilkami. V takto přikrytém prostoru se zvýší vzdušná vlhkost a urychlí klíčení obilek.
5. Za 7 dní (při pokojové teplotě) by měly obilky naklíčit a mít klíček dlouhý 2-3 cm a být připraveny k zasazení.
6. Namíchejte si na zálivku zásobní roztoky s následujícími koncentracemi hnojiva: 0,1 g/l; 0,5g/l a 1,0 g/l. Nezapomeňte, že v jedné lahvi zůstane čistá destilovaná voda!
7. Květináče a naplňte je (asi 2 cm pod okraj) zahradnickým perlitem nebo sklářským pískem. Zasadte vždy 5-6 klíčících rostlin do jednoho květináče a pečlivě květináče opatřete štítky se jménem nebo značkou pokusného ošetření.
8. Pěstujte rostliny při pokojové teplotě na světlém místě (nejlépe na okenním parapetu) 13-16 dní. Rostliny zalévejte každý druhý den 100 ml živného roztoku.
9. Rostliny sklíďte po 13-16 dnech kultivace.
10. Rostlinu nůžkami rozdělte na prýt, kořeny a zbytek obilky.
11. Určete čerstvou hmotnost částí rostlin.
12. Nastříhejte si alobal na čtverečky (přibližně 15 x 15 cm), označte je předem lihovým fixem, zvažte a zapište na něj hmotnosti
13. Alobalové balíčky s částmi rostlin na několika místech propíchněte a při teplotě 90°C nechte do druhého dne usušit (8-12 hodin) v sušárně nebo horkovzdušné troubě.
14. Pomocí výpočtů v pracovním listu „Sklizeň“ pro danou úlohu určete následující charakteristiky rostlin:
 - čerstvá hmotnost celé rostliny
 - suchá hmotnost celé rostliny
 - podíl vody v čerstvé rostlinné biomase (v %) pro celou rostlinu a její jednotlivé části
 - přírůstek biomasy (v gramech suché hmotnosti, v %)
 - poměr suché hmotnosti kořenů a prýtu
19. Porovnejte výsledky mezi variantami experimentálního ošetření rostlin. Odpovězte si na otázky, které jste si položili před založením experimentu.

Položte si otázky, dříve než začnete! (Formulujte vlastní hypotézu)

1. Stačí rostlinám k růstu čistá voda a vzduch?
3. Jaké je minimální množství příslušné soli dusíku, které stačí rostlině na vytvoření 1 kg biomasy (svěží hmotnost)?
4. Je některý biogenní prvek důležitější než jiné?
5. Je koncentrace solí v živném roztoku pro rostliny důležitá?

Obrázková příloha 1



- A) Obilky kukuřice připravené k naklíčení na tácu s pískem.
- B) Po 7 dnech je kořínek dost dlouhý a klíčící rostliny připraveny k sázení.
- C) Rostliny kukuřice po 16 dnech kultivace v písku, zálivka různou koncentrací hnojiva, viz popisky květináčů (g/l).
- D) Jedinci pěstovaní při různé koncentraci hnojiva v zálivce – všimněte si do jaké míry je vyvinuta nadzemní část a kořenový systém.
- E) Kukuřice kultivovaná v zatemnění – použití velkých květináčů.

Obrázková příloha 2



- A) Kukuřice pěstovaná dva týdny na světle a za tmy. Všimněte si barvy listů.
- B) Jedinci po dvou týdnech pěstování na světle a za tmy. Všimněte si rozdílu ve velikosti nadzemní části i kořenového systému rostlin.

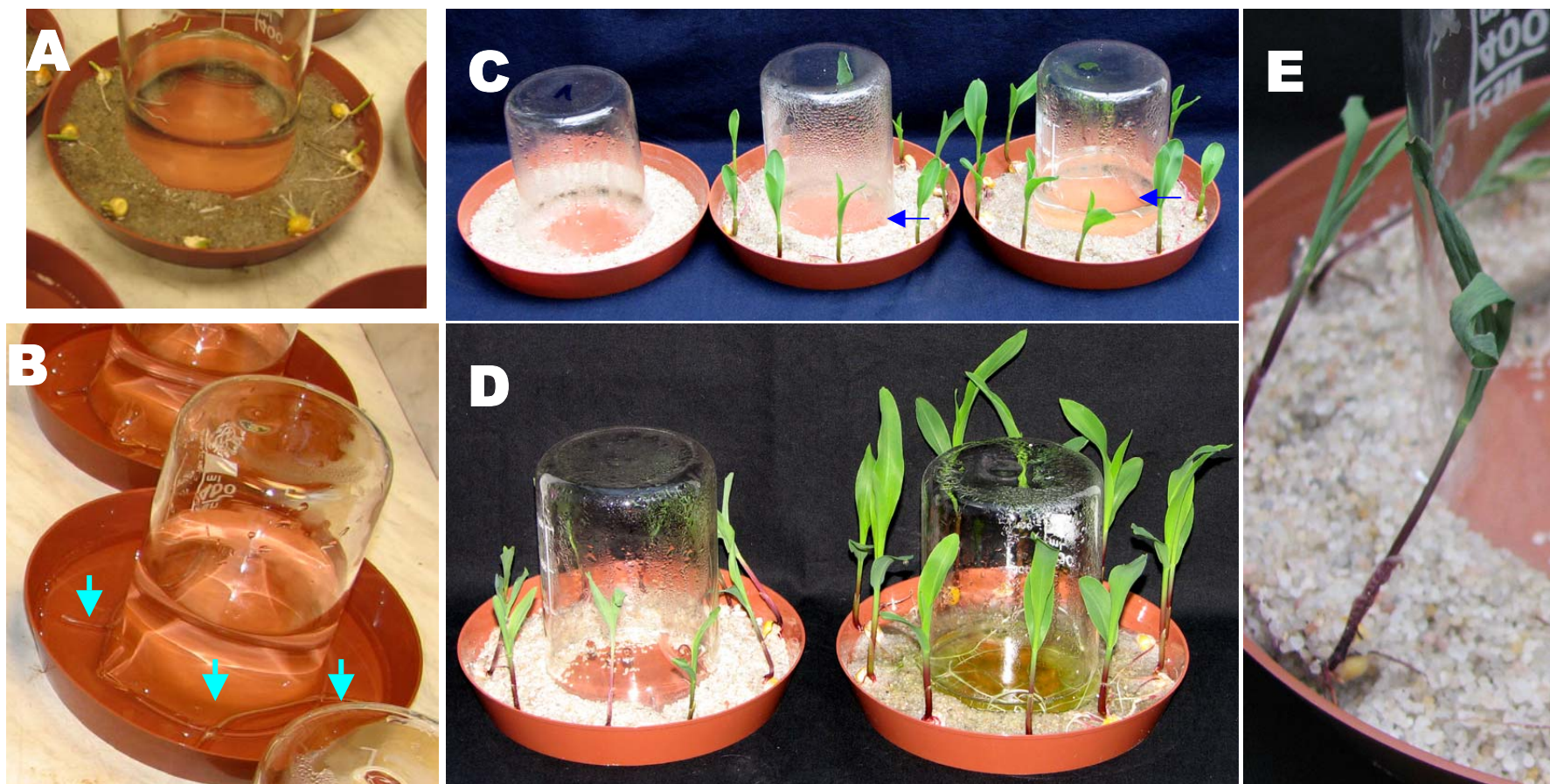
Obrázková příloha 3



- A) Kukuřice pěstovaná v 1 litrové plastové láhvi. Všimněte si zkumavky se sorbentem CO₂ (NaOH) na dně levé láhve.
- B) Detail zkumavky se sorbentem CO₂ (NaOH). NaOH nesmí být v kontaktu s živným roztokem či rostlinami!
- C) Rostliny po 2 týdnech pěstování v lahvích. Vpravo kontrola, vlevo snížená koncentrace CO₂. Všimněte si velikosti a barvy rostlin.



Obrázková příloha 4



- A) Experimentální systém: Plochá miska s kádinkou naplněnou živným roztokem obrácenou dnem vzhůru.
- B) Detail experimentálního systému: Modré šipky ukazují na akvaristické hadičky, které podpirají okraje kádinky. Vzniklou štěrbinou vytéká živný roztok do písku s rostlinami.
- C) Zleva: Kontrola bez rostlin (vodní hladina klesá díky evaporaci). Rostliny s menší dávkou vody a rostliny s větší dávkou vody. Modré šipky zvyraňují výšku hladiny živného roztoku.
- D) Rostliny po 7 dnech kultivace. Vlevo: Nízká dávka vody- rostliny vyčerpaly všechny živný roztok a uschly. Vpravo: Vyšší dávka vody – rostliny ještě mají zásobu živného roztoku a rostou.
- E) Detail suché rostliny připravené ke sklizení.

Shrnutí pro vyučujícího k jednotlivým protokolům

Ke každému experimentu najdete stručně následující body:

- Cíl aktivity
- Výstupy studentů
- Frekvence
- Materiál a pomůcky
- Množství materiálu
- Co je potřeba připravit

Pěstujte rostliny – Protokol OXID UHLIČITÝ

Cíl aktivity

Vypěstovat si vlastní rostliny kukuřice v uzavřeném systému v nezměněné a snížené koncentraci CO₂ a zhodnotit, jak snížení koncentrace CO₂ ovlivňuje růst kukuřice.

Výstupy studentů

Studenti se naučí vypěstovat rostliny kukuřice, naplánovat, založit a vyhodnotit jednoduchý biologický experiment.

Časová náročnost aktivity

Předpokládaná celková délka experimentu je 24 dní. Jednotlivé části experimentu se mohou mírně časově lišit, v závislosti na místních podmínkách nebo čase ve vegetační sezóně. Klíčení semen obvykle zabere 7 dní, pěstování rostlin 14 dní, sklizeň, stanovení suché hmotnosti biomasy a vyhodnocení experimentu 2 dny.

Fáze experimentu	Časová náročnost (dny)
Klíčení	7
Kultivace	14
Sklizeň	1
Sušení	2

Frekvence

Příprava semen na klíčení 1-2 vyučovací hodiny (vcelku).

V průběhu 7 dní klíčení, každý den kontrola dostupnosti vody a zaznamenávání pokroku klíčení – každý den 15 minut (možno o víkendu vynechat).

Příprava experimentálního systému a výsadba rostlin 1-2 vyučovací hodiny (vcelku).

V průběhu kultivace rostlin zaznamenávání stavu a velikosti rostlin (5 minut, možno o víkendu vynechat).

Sklizeň – zpracování rostlin k přípravě na sušení 1-2 vyučovací hodiny vcelku.

Sušení rostlin – 8-12 h v sušárně nebo horkovzdušné troubě při 90°C.

Materiál a pomůcky

- obilky kukuřice (200-300 kusů, záleží na kolik opakování experimentu se chystáte)
- laboratorní váhy (přesnost 0,01 g)
- plastové tácy nebo mísy s plochým dnem na klíčení semen

- plastové průhledné láhve o objemu 1 litr se širokým hrdlem (doporučujeme láhve od mléka).
- odměrný válec, kádinka
- komplexní hnojivo s obsahem mikroprvků (doporučujeme Kristalon Start (NU3 B.V. Vlaardingen, Nizozemí; k dostání v zahradnictví či květinářství)
- destilovaná voda
- vodovodní voda
- sušárna nebo horkovzdušná trouba
- alobal
- zkumavka nebo malá lahvička (např. od léků) objem 10-15 ml
- žiletka nebo ostrý skalpel
- hydroxid sodný

Množství materiálu

Na jednu experimentální sadu (jedno opakování) budete potřebovat:

20 klíčnicích rostlin kukuřice – vysazovat budete 12 jedinců, rezerva je z důvodu ne vždy úspěšného oddělování obilky od klíčnicí rostliny

2 plastové čiré lahve

1 zkumavka nebo malá lahvička (např. od léků) objem 10-15 ml

2g NaOH

1 litr destilované vody

Doporučujeme experiment provádět aspoň ve dvou opakováních.

Co je potřeba připravit

Nakopírovat pro studenty příslušné pracovní listy pro experiment.

Obstarat materiál na klíčení a kultivaci.

Vybrat vhodné místo na klíčení a kultivaci rostlin - např. okenní parapet ve světlé a dobře větrané třídě či laboratoři, vyvarujte se přímému slunečnímu světlu, aby se obsa lahvi nepřehříval.

Naučit studenty pracovat s laboratorní váhou.

Vyzkoušet si před výsadbou rostlin odřezávání obilky.

Pěstujte rostliny – Protokol SVĚTLO

Cíl aktivity

Vypěstovat si vlastní rostliny kukuřice na světle a ve tmě a zhodnotit, jak nedostupnost či světla ovlivňuje růst kukuřice.

Výstupy studentů

Studenti se naučí vypěstovat rostliny kukuřice, naplánovat, založit a vyhodnotit jednoduchý biologický experiment.

Časová náročnost aktivity

Předpokládaná celková délka experimentu je 21 dní. Jednotlivé části experimentu se mohou mírně časově lišit, v závislosti na místních podmínkách nebo čase ve vegetační sezóně. Klíčení semen obvykle zabere 7 dní, pěstování rostlin 11 dní, sklizeň, stanovení suché hmotnosti biomasy a vyhodnocení experimentu 2 dny.

Fáze experimentu	Časová náročnost (dny)
Klíčení	7
Kultivace	11
Sklizeň	1
Sušení	2

Frekvence

Příprava semen na klíčení 1-2 vyučovací hodiny (vcelku).

V průběhu 7 dní klíčení, každý den kontrola dostupnosti vody a zaznamenávání pokroku klíčení – každý den 15 minut (možno o víkendu vynechat).

Příprava experimentálního systému a výsadba rostlin 1-2 vyučovací hodiny (vcelku).

V průběhu kultivace rostlin každý druhý den záливka, zaznamenávání stavu a velikosti rostlin (15 minut, možno o víkendu vynechat – zvýšit záливku předem).

Sklizeň – zpracování rostlin k přípravě na sušení 1-2 vyučovací hodiny vcelku.

Sušení rostlin – 8-12 h v sušárně nebo horkovzdušné troubě při 90°C.

Materiál a pomůcky

- obilky kukuřice (200-300 kusů, záleží na kolik opakování experimentu se chystáte)
- laboratorní váhy (přesnost 0,01 g)
- plastové tácy nebo mísy s plochým dnem na klíčení semen
- zahradnický perlit nebo sklářský písek (Pokud používáte písek, jiný než sklářský, je nutno jej předem velmi pečlivě promýt vodou.

- květináče o objemu cca 0,75 l
- odměrný válec, kádinka, láhev na zásobní roztok
- komplexní hnojivo s obsahem mikroprvků (doporučujeme Kristalon Start (NU3 B.V. Vlaardingen, Nizozemí; k dostání v zahradnictví či květinářství)
- destilovaná voda
- vodovodní voda
- sušárna nebo horkovzdušná trouba
- alobal
- velká papírová krabice
- malé květináčky nebo krabičky (např. od čaje)
- černé papíry nebo kus černé látky (50 x 50 cm)

Množství materiálu

Na jednu experimentální sadu (jedno opakování) budete potřebovat:

12 klíčnicích rostlin kukuřice

2 květináče

2 l perlitu nebo písku

1 litr destilované vody

1 velká krabice a 4 malé krabičky na její podložení

černý papír nebo látka na pokrytí plochy pod krabicí

Doporučujeme experiment provádět aspoň ve dvou opakováních.

Co je potřeba připravit

Nakopírovat pro studenty příslušné pracovní listy pro experiment.

Obstarat materiál na klíčení a kultivaci.

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

Naučit studenty pracovat s laboratorní váhou.

Pěstujte rostliny – Protokol VODA

Cíl aktivity

Vypěstovat si vlastní rostliny kukuřice s různou dostupností vody a zhodnotit, jak množství dostupné vody ovlivňuje růst kukuřice. Ukázat si, že úbytek vody v experimentálním systému je dán jednak tím, že rostliny vodu využijí a také že dochází k evaporaci (vypařování) vody z volného povrchu substrátu.

Výstupy studentů

Studenti se naučí vypěstovat rostliny kukuřice, naplánovat, založit a vyhodnotit jednoduchý biologický experiment.

Časová náročnost aktivity

Předpokládaná celková délka experimentu je 21 dní. Jednotlivé části experimentu se mohou mírně časově lišit, v závislosti na místních podmínkách nebo čase ve vegetační sezóně. Klíčení semen obvykle zabere 7 dní, pěstování rostlin s nižší vstupní dávkou vody 7 dní, pěstování rostlin s vyšší vstupní dávkou vody 11 dní Sklizeň, stanovení suché hmotnosti biomasy a vyhodnocení experimentu 2 dny.

Fáze experimentu	Časová náročnost (dny)
Klíčení	7
Kultivace	11
Sklizeň	1
Sušení	2

Frekvence

Příprava semen na klíčení 1-2 vyučovací hodiny (vcelku).

V průběhu 7 dní klíčení, každý den kontrola dostupnosti vody a zaznamenávání pokroku klíčení – každý den 15 minut (možno o víkendu vynechat).

Příprava experimentálního systému a výsadba rostlin 1-2 vyučovací hodiny (vcelku).

V průběhu kultivace rostlin každý den zaznamenávání výšky hladiny roztoku, stavu a velikosti rostlin.

Přibližně 7. den od zasazení sklizeň rostlin varianty s nižší dávkou vody, přibližně 11. den od zasazení sklizeň rostlin varianty s vyšší dávkou vody.

Sklizeň – zpracování rostlin každé varianty k přípravě na sušení 1 vyučovací hodina.

Sušení rostlin – 1 den v sušárně nebo horkovzdušné troubě při 90°C.

Materiál a pomůcky

- obilky kukuřice (200-300 kusů, záleží na kolik opakování experimentu se chystáte)
- laboratorní váhy (přesnost 0,01 g)
- plastové tácy nebo misky s plochým dnem na klíčení semen
- zahradnický perlit nebo sklářský písek (Pokud používáte písek, jiný než sklářský, je nutno jej předem velmi pečlivě promýt vodou. Vystavujete se riziku, že v písku budou obsaženy minerální živiny, které mohou zkreslit vliv experimentálního opatření).
- pro jeden experimentální set 3 misky od květináčů o průměru 12-15 cm
- 3 kádinky nebo sklenice o objemu 400 ml
- plastové akvaristické hadičky (6 ks o délce 10 cm) nebo skleněné tyčinky, popřípadě špejle na podložení kádinek s živným roztokem
- komplexní hnojivo s obsahem mikroprvků (doporučujeme Kristalon Start (NU3 B.V. Vlaardingen, Nizozemí; k dostání v zahradnictví či květinářství)
- destilovaná voda (1l)
- vodovodní voda
- sušárna nebo horkovzdušná trouba
- allobal
- odměrné válce

Množství materiálu

Na jednu experimentální sadu (jedno opakování) budete potřebovat:

20 klíčnicích rostlin kukuřice

3 misky od květináčů o průměru 12-15 cm

3 kádinky nebo sklenice o objemu 400 ml

0,5 l perlitu nebo písku

1 litr destilované vody

Doporučujeme experiment provádět aspoň ve dvou opakováních.

Co je potřeba připravit

Nakopírovat pro studenty příslušné pracovní listy pro experiment.

Obstarat materiál na klíčení a kultivaci.

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

Naučit studenty pracovat s laboratorní váhou.

Doporučujeme také vyzkoušet přípravu experimentálního systému nejdřív nanečisto s vodou - podle šikovnosti studentů ;-)

Pěstujte rostliny – Protokol MINERÁLNÍ VÝŽIVA

Cíl aktivity

Vypěstovat si vlastní rostliny kukuřice s různou dostupností minerálních živin a zhodnotit, jak nepřítomnost či nadbytek základních minerálních živin ovlivňuje růst kukuřice.

Výstupy studentů

Studenti se naučí vypěstovat rostliny kukuřice, naplánovat, založit a vyhodnotit jednoduchý biologický experiment.

Časová náročnost aktivity

Předpokládaná celková délka experimentu je 26 dní. Jednotlivé části experimentu se mohou mírně časově lišit, v závislosti na místních podmínkách nebo čase ve vegetační sezóně. Klíčení semen obvykle zabere 7 dní, pěstování rostlin 16 dní, sklizeň, stanovení suché hmotnosti biomasy a vyhodnocení experimentu 2 dny.

Fáze experimentu	Časová náročnost (dny)
Klíčení	7
Kultivace	16
Sklizeň	1
Sušení	2

Frekvence

Příprava semen na klíčení 1-2 vyučovací hodiny (vcelku).

V průběhu 7 dní klíčení, každý den kontrola dostupnosti vody a zaznamenávání pokroku klíčení – každý den 15 minut (možno o víkendu vynechat).

Příprava experimentálního systému a výsadba rostlin 1-2 vyučovací hodiny (vcelku).

V průběhu kultivace rostlin každý druhý den záливka, zaznamenávání stavu a velikosti rostlin (15 minut, možno o víkendu vynechat – zvýšit záливku předem).

Sklizeň – zpracování rostlin k přípravě na sušení 1-2 vyučovací hodiny vcelku.

Sušení rostlin – 8-12 h v sušárně nebo horkovzdušné troubě při 90°C.

Materiál a pomůcky

- obilky kukuřice (200-300 kusů, záleží na kolik opakování experimentu se chystáte)
- laboratorní váhy (přesnost 0,01 g)
- plastové tácy nebo mísy s plochým dnem na klíčení semen
- zahradnický perlit nebo sklářský písek (Pokud používáte písek, jiný než sklářský, je nutno jej předem velmi pečlivě promýt vodou. Vystavujete se riziku, že v písku budou obsaženy minerální živiny, které mohou zkreslit vliv experimentálního opatření).
- pro jeden experimentální set 4 květináče o objemu cca 0,75 l
- odměrný válec, kádinky, láhve na zásobní roztoky
- komplexní hnojivo s obsahem mikroprvků (doporučujeme Kristalon Start (NU3 B.V. Vlaardingen, Nizozemí; k dostání v zahradnictví či květinářství)
- destilovaná voda
- vodovodní voda
- sušárna nebo horkovzdušná trouba
- alobal

Množství materiálu

Na jednu experimentální sadu (jedno opakování) budete potřebovat:

24 klíčnicích rostlin kukuřice

4 květináče

4-5 l perlitu nebo písku

4 litry destilované vody

Doporučujeme experiment provádět aspoň ve dvou opakováních.

Co je potřeba připravit

Nakopírovat pro studenty příslušné pracovní listy pro experiment.

Obstarat materiál na klíčení a kultivaci – u experimentu s živinami je velmi důležité pracovat s **čistým substrátem** (perlitem či sklářským pískem), **substrát obsahující minerální živiny sám o sobě nekontrolovaně ovlivní výsledky pokusů.**

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

Naučit studenty pracovat s laboratorní váhou.

Zopakovat míchání roztoku o určité koncentraci.

OBSAH

Shrnutí:.....	1
Shrnutí:.....	2
Úvodní informace:	3
Co potřebují rostliny k růstu?	3
Praktické pokusy s fotosyntézou	6
Otázka: Kolik CO ₂ je potřeba pro růst rostlin?	6
Otázka: Potřebují rostliny světlo?	8
Otázka: Proč musí rostliny pít, aby zůstaly naživu?	11
Otázka: Proč jsou živiny důležité pro růst rostlin?.....	14
Obrázková příloha 1	17
Obrázková příloha 2	17
Obrázková příloha 2	18
Obrázková příloha 3.....	19
Obrázková příloha 4.....	20
Shrnutí pro vyučujícího k jednotlivým protokolům	21
Pěstujte rostliny – Protokol OXID UHLIČITÝ	22
Pěstujte rostliny – Protokol SVĚTLO.....	24
Pěstujte rostliny – Protokol VODA.....	26
Pěstujte rostliny – Protokol MINERÁLNÍ VÝŽIVA.....	28