

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta
Katedra fyziologie rostlin



diplomová práce

**Studium minerální výživy rostlin na středních školách:
nové experimenty a protokoly**

Lenka Moravcová

Praha 2009

Vedoucí diplomové práce: Doc. RNDr. Jana Albrechtová, PhD.

Konzultanti diplomové práce: RNDr. Edita Tylová, Doc. RNDr. Věra Čížková, CSc.

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím citované literatury pod vedením Doc. RNDr. Jana Albrechtová, PhD. a že nebyla předložena jako diplomová práce na žádné jiné vysoké škole.

V Praze 1. 9. 2009

Lenka Moravcová

PODĚKOVÁNÍ:

Ráda bych zde především poděkovala Doc. RNDr. Janě Albrechtové za trpělivé a laskavé vedení během mé práce na DP. Můj velký dík patří také RNDr. Editě Tylové za trpělivé konzultace, oborové zázemí a velmi cennou pomoc při tvorbě výukových materiálů pro střední školu. Dále bych chtěla poděkovat za vstřícnost a velkou trpělivost Doc. RNDr. Věře Čížkové, CSc., která dohlížela na správnost didaktické stránky mé diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat RNDr. Miroslavu Srbovi za podnětné nápady, pomoc při statistickém zhodnocení a velkou podporu, Bc. Monice Blažové za spolupráci během experimentů, Mgr. Evě Husákové a Mgr. Drahomíře Bartákové za zaučení v laboratoři, Dr. Lubomíru Daňkovi za pomoc s fotodokumentací a dalším členům katedry za vstřícnost a příjemnou atmosféru při práci. Chtěla bych zde poděkovat Báře Semerákové ze Sdružení TEREZA, která mi umožnila ověřování mých výukových materiálů na pilotních školách GLOBE. Na závěr bych chtěla poděkovat své rodině, mému příteli a nejbližším přátelům za podporu, zájem a velkou trpělivost po celou dobu mého studia.

Finanční zajištění práce: Projekt National Science Foundation, USA, #0627916, „Exploring Ecosystems and the Atmosphere in the K-12 Classroom: A Plan to Integrate NASA Carbon Cycle Science with GLOBE, hlavní řešitel Dr. Scott Ollinger, University of New Hampshire, Durham, USA, spoluřešitel v ČR doc. Jana Albrechtová

Obsah

Seznam použitých zkratek	1
Abstrakt.....	2
Abstract.....	4
1 Úvod.....	6
Cíle diplomové práce:.....	8
2 Literární úvod.....	9
2.1 Historie studia minerální výživy.....	9
2.1.1. Historie hnojení v raném zemědělství.....	9
2.1.2. Historie studia vlivu minerální výživy na rostliny.....	12
2.1.3. Hnojiva a jejich zdroje.....	14
2.2 Minerální výživa	15
2.2.1 Obecná charakteristika minerální výživy rostlin	15
2.2.1.1 Význam a rozdělení minerální výživy	15
2.2.1.2 Příjem a transport minerální výživy	16
2.2.2 Význam vybraných živin pro rostliny.....	21
2.2.2.1 Draslík.....	22
2.2.2.2 Hořčík	24
2.2.2.3 Vápník.....	25
2.2.2.4 Dusík	27
2.2.2.5 Fosfor	30
2.2.2.6 Železo.....	32
2.2.3 Techniky pro studium minerální výživy	33
2.2.4 Minerální výživa v učivu na gymnáziích a středních odborných školách.....	34
3 Materiál a metodika	36
3.1 Experimentální část.....	36
3.1.1 Rostlinný materiál.....	36
3.1.2 Kultivace rostlin.....	36
3.1.3 Experimentální uspořádání	38
3.1.4 Statistické zpracování	38
3.2 Didaktická část.....	38
3.2.1 Analýza učebnic.....	38
3.2.2 Klíč k určování k jednotlivým deficiencím prvků	39
3.2.3 Ověřování protokolů a PowerPointového klíče	39
4 Výsledky	40
4.1 Experimentální část.....	40
4.1.1 Testované pokusy.....	40
4.1.2 Vliv vybraných prvků na růst a vývoj rostlin	40
4.1.2.1 Nedostatek vápníku.....	40
4.1.2.2 Nedostatek dusíku.....	43
4.1.2.3 Nedostatek hořčíku	45
4.1.2.4 Nedostatek železa.....	46

4.1.2.5 Nedostatek fosforu	47
4.1.2.6 Nedostatek draslíku	49
4.1.3 Mimokořenové hnojení	50
4.2 Didaktická část	51
4.2.1 Analýza středoškolských učebnic	51
4.2.2 Protokoly, PowerPointový klíč	52
4.2.3 Práce s pilotními školami	53
4.2.3.1 Seminář GLOBE	53
4.2.3.2 Prezentace na pilotních školách	53
4.2.3.3 Dotazníky	53
4.2.4 Projekt GLOBE	54
5 Diskuze	55
5.1 Vybavení škol	55
5.2 Rostlinný materiál	56
5.3 Výběr experimentů	56
5.4. Spolupráce s programem GLOBE a Sdružením TEREZA: environmentální výchova dětí a mládeže	58
5.5. Výukové materiály o minerální výživě ve výuce biologie rostlin na středních školách	60
5.6. Význam pochopení konceptu minerální výživy a hnojení pro společnost	61
5.6. Hnojení v zemědělství	62
5.7 Geneticky modifikované rostlinky v zemědělství	65
5.8. Závěrečné zamýšlení	66
6 Závěry	68
7 Seznam použité literatury	70
8 Příloha	75
8.1 Výukový materiál	75
8.1.1 Deficience prvků	75
8.1.1.1 Pěstujeme rostlinky – deficience vybraných prvků - manuál projekt GLOBE	75
8.1.1.2. Protokoly pro žáky	80
8.1.1.3 Pracovní listy	85
8.1.1.4 Protokol pro učitele	102
8.1.2. Mimokořenové hnojení	105
8.1.2.1. Pěstujeme rostlinky – mimokořenové hnojení - manuál projektu GLOBE	105
8.1.2.2 Protokoly pro žáky	108
8.1.2.3 Pracovní listy	111
8.1.2.4. Protokol pro učitele	122
8.1.3 PowerPointový klíč, materiál pro určování deficience vybraného prvku	125
8.1.3.1 Klíč k určení deficiencí vybraných prvků	125
8.1.3.2 Materiál pro určování deficience vybraného prvku	134

8.2. Dotazníky	137
8.2.1 Dotazník - vybavenost Na školách	137
8.2.2 Dotazník – protokoly: Minerální výživa a mimokořenové hnojení, klíč k určování deficience minerálních prvků.....	140

Seznam použitých zkratek

cADPR	Cyklická adenosin-5'-difosforibóza
ČH	Čerstvá hmotnost
ČR	Česká republika
GLOBE	Global Learning and Observation to Benefit Environment – program environmentálního vzdělávání mládeže, http://www.globe.gov/
GMO	Geneticky modifikované organismy
GMP	Geneticky modifikované rostliny
IP3	Inozitoltrifosfát
JAR	Jihoafrická republika
NASA	National Aeronautics and Space
NSF	National Science foundation
PPi	Anorganický fosfát
PřF UK	Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy
R/S	Poměr délky kořene a prýtu
RNA	Ribonukleová kyselina
RVP G	Rámcového vzdělávacího programu pro gymnázia
SD	Směrodatná odchylka
SH	Suchá hmotnost
ŠVP	Školních vzdělávacích programů
TEREZA	sdružení pro ekologickou výuku, http://www.terezanet.cz/
USA	Spojené státy americké
α	Hladina významnosti testu

Abstrakt

Cílem mé diplomové práce bylo vypracovat protokoly a další podpůrné výukové materiály pro střední školy pro výuku experimentální biologie rostlin, ukazující význam minerální výživy pro růst a vývoj rostlin i význam celospolečenský. Tyto výukové materiály by současně měly studentům přiblížit základy vědecké práce a zvýšit zájem o experimentální biologii rostlin. Tato diplomová práce vznikla na základě zapojení týmu z Katedry fyziologie rostlin PřF UK do mezinárodního projektu GLOBE – koloběh uhlíku¹.

Literární úvod byl psán jako teoretický podklad pro praktickou část diplomové práce především ve smyslu, že má tento text sloužit jako studijní a faktografické zázemí k experimentům pro učitele (popř. pro zainteresované a nadané studenty). Shrnuje základní poznatky o historii minerální výživy, vlivu hnojení v zemědělství a vývoji civilizací, o vývoji představ v minerální výživě, a o příjmu, transportu prvků minerální výživy, které byly předmětem pokusů o vlivu jejich nedostatku na růst a vývoj rostlin, které byly obohaceny o rozšiřující informace z odborných článků.

Pro vytvoření protokolů a podpůrných výukových materiálů bylo potřeba vybrat a ověřit pokusy, které by navozovaly nedostatek daného prvku. Pro výběr pokusu muselo být splněno několik kritérií. Pokus musel být jednoduchý, 100% spolehlivý, finančně a materiálově nenáročný a na první pohled demonstrativní z hlediska pozorovaného jevu a z hlediska základů vědecké práce – tedy od procesu tvorby hypotézy, po její ověřování a závěr o její platnosti. Jako nejspolehlivější pokusy se ukázaly být ty, které navozovaly nedostatek dusíku, draslíku, fosforu, hořčíku, železa a vápníku. Pro tyto pokusy byly vytvořeny protokoly a další podpůrné výukové materiály. Tyto byly představeny a předány sedmi pilotním školám na semináři GLOBE v květnu 2008. Ověřování protokolů a jejich finalizace probíhala několika cestami ve spolupráci se sdružením TEREZA. Jednak materiály byly ověřovány při výjezdech a osobní prezentaci v pilotních školách a dále formou dotazníků zaslaných učitelům pilotních škol. Pomocí zpětné vazby byly protokoly upraveny, aby mohly být bez problémů proveditelné v podmínkách středních škol. Vypracované učební materiály v této diplomové práci byly po překladu do anglického jazyka předány do USA vedení projektu Koloběh uhlíku GLOBE a jsou testovány v pilotních GLOBE školách v USA.

¹ <http://www.globe.gov/projects/carbon>, <http://kfrserver.natur.cuni.cz/globe/index.html>

Na základě zpětné vazby pak přichází v úvahu jejich začlenění v určitém rozsahu do protokolů GLOBE ve více zemích světa.

Abstract

The aim of the diploma thesis was to design protocols and other subsidiary educational materials that could be used at secondary highschools for the purpose of teaching experimental plant biology, which demonstrates the importance of mineral nutrition necessary for growth of plants and for society. These educational materials should also help students better understand principles of scientific work and raise their interest in experimental plant biology. The diploma thesis was worked out on the basis of integration of our team from the Department of Plant Physiology in the international project GLOBE – Carbon cycle².

Literary introduction was written as a theoretical background for the practical part of the thesis as the text is supposed to serve as an educational and factual basis for teachers or interested and talented students. It summarises basic knowledge about the history of mineral nutrition, effects of fertilization on agriculture and on evolution of civilization. It also records the progress of ideas about mineral nutrition and resumes the basic findings about its importance for a plant, which includes the intake and transport of elements of mineral nutrition and the effect of their insufficiency on the growth of a plant. These findings were enriched with additional information from scientific journals.

For designing the protocols and educational materials it was necessary to select and verify experiments that would induce deficiency of a particular element of mineral nutrition. There had to be fulfilled several criteria for the selection of an experiment. The experiment had to be simple, 100% reliable, financially and materially modest, and demonstrative in terms of an observed effect and in terms of principles of scientific work, which includes the process of laying down and proving the hypothesis and conclusion about its validity. The experiments that induce deficiency of nitrogen, potassium, phosphorus, magnesium, iron and calcium proved to be the most reliable. Protocols created for these experiments were introduced to seven pilot schools at the GLOBE seminar in May 2008. Verification and finalization of the protocols proceeded in several ways in collaboration with the association TEREZA. Firstly the materials were verified during the personal presentations at pilot schools and secondly by questionnaires sent to teachers from pilot schools. The protocols were modified according to the feedback from the pilot schools in order to be feasible and in compliance with the conditions at secondary highschools. Educational materials in the

² <http://www.globe.gov/projects/carbon>, <http://kfrserver.natur.cuni.cz/globe/index.html>

diploma thesis were conveyed to the project management of the project GLOBE – Carbon cycle and they are tested at pilot GLOBE schools in the USA. According to the feedback it should be to some extent possible to incorporate the educational materials into GLOBE protocols in more countries all over the world.

1 Úvod

Příjem minerálních živin rostlinou je nezbytný pro její správný růst a vývoj. Jednotlivé minerální prvky mají různé klíčové role při metabolických procesech a vytváření funkčních struktur. Jejich nepostradatelný význam - tedy nezbytnost pro rostliny - lze ukázat na příkladech fyziologických procesů, kde minerální prvky hrají klíčovou roli – ve fotosyntéze, respiraci, správné funkci meristémů, regulaci hydratace, metabolismu sacharidů a dalších.

Již v rané fázi zemědělství lidé zjistili, že pravidelné obdělávaní pole snižuje jeho výnos. Brzy se naučili využívat různé agrotechnické metody, kterými udržovali svoje pole úrodná, a ta pak mohla uspokojovat poptávku po zemědělských plodinách. Starověké agrotechnické metody zahrnovaly například používání jílů, bobovitých rostlin a hnoje nebo například trojpolní systém obdělávání půd. Se zvyšujícím se růstem populace se zvyšovala potřeba zvýšení výnosu pěstovaných plodin a tím i potřeba účinného hnojení půd. Z hlediska praktického využití studia minerální výživy pro zemědělskou produkci je třeba zmínit příspěvek německého biologa rostlin Justuse von Liebiga, který se v 19. století zasloužil o pochopení nezbytnosti minerálního hnojení, rozšíření výroby a používání průmyslových hnojiv jako například superfosfátu, potaše a anorganického dusíku.

V dnešní době, kdy počet lidí na Zemi přesáhl hranici 6,78 miliard a počet obyvatel Země nadále roste exponenciální řadou, jsme z důvodu ohromné poptávky po potravinách nutni hospodářské plodiny cíleně přihnojovat a tak zefektivňovat zemědělskou produkci. V dnešní době lze rozeznat dva krajní směry zemědělství – konvenční a organické. Klasické konvenční zemědělství se řídí orientací na výnos, kdy se snaží o co největší úrodu a následný zisk a environmentální aspekty jsou až v další řadě zájmu. Při tomto hospodaření s půdou se využívají ve velké míře hlavně vysoké dávky minerálních hnojiv. Hlavní záporný aspekt tohoto zemědělství je bezohlednost na životní prostředí, ale také například zhoršené fyzikální vlastnosti půdy, porušení půdní úrodnosti a znečištění podzemních vod. V Evropě je snaha přecházet na zemědělství více orientované na udržitelnost životního prostředí, tedy zemědělství integrované. Ale jsou i další typy zemědělství šetrné vůči životnímu prostředí, jako je zemědělství ekologické, precizní, organické. Organické zemědělství má ve srovnání s konvenčním zemědělstvím prioritu kvalitních potravin a je založeno na zásadách ochrany životního prostředí, šetrnosti neobnovitelných zdrojů a udržení biodiverzity, nicméně jeho

produktivita je velmi nízká a s velkou pravděpodobností by toto zemědělství neuživilo současnou světovou populaci. Cílem této diplomové práce není jen vytvořit studijní materiál pro střední školy, ale doufám, že díky tomuto projektu a studijním materiálům vypracovaným během něho si studenti uvědomí význam minerální výživy pro růst a vývoj rostlin a následně si uvědomí nezastupitelný význam hnojení hospodářských plodin pro zajištění potravin pro lidstvo. Dalším záměrem mé diplomové práce je zvýšit obecný zájem studentů o experimentální rostlinnou biologii a motivovat tak studenty ke studiu fyziologie rostlin nebo jiných podobných oborů.

Diplomová práce je členěna na teoretickou část a praktickou část. Součástí teoretické části je literární úvod, který tvoří teoretický základ pro praktickou část diplomové práce a současně vytváří faktografický přehled tématu pro učitele středních škol. Náplní teoretické části je přehledně a stručně shrnout poznatky o používaných hnojivech v historii lidstva a významu jejich používání v rozvoji civilizací a společnosti, o vývoji představ o minerální výživě rostlin, o příjmu, transportu a významu jednotlivých prvků v rostlinách. V poslední kapitole literárního úvodu jsou představeny středoškolské učebnice biologie, které jsem analyzovala z hlediska začlenění výukových materiálů vypracovaných v této diplomové práci. Praktická část zahrnuje několik částí. První je návrh, výběr a ověření pokusů, následně vytvoření protokolů k vybraným experimentům, představení experimentů a výukových materiálů pro pilotní školy programu GLOBE a následně jejich ověření a dopracování pomocí našich pilotních škol. Vybrané experimenty musely splňovat několik důležitých kritérií. Pro úspěšné začlenění do výuky musely být 100% účinné, jednoduché, finančně a materiálově nenáročné a hlavně již na první pohled demonstrativní a osvětlující studentům základy vědecké práce. Závěrečná část diplomové práce obsahuje diskuzi a závěr.

Cíle diplomové práce:

1. Navrhnut a ověřit pokusy a metody pro demonstrování projevů nedostatku různých minerálních prvků
2. Vypracování výukových materiálů pro demonstrování projevů nedostatku různých minerálních prvků
3. Prezentace vytvořených experimentů a výukových materiálů pro pilotní školy programu GLOBE
4. Ověření materiálů a materiálního zázemí na pilotních školách a jejich dopracování na základě zpětné vazby formou dotazníkového šetření
5. Vypracování literárního úvodu, který bude tvořit učitelům zázemí pro vytvoření protokoly

2 Literární úvod

Tato diplomová práce vznikla na základě projektu GLOBE – koloběh uhlíku, jehož cílem je vytvořit vhodné studijní materiály pro rozvoj zájmu o biologii rostlin na středních školách. Z tohoto důvodu i literární úvod byl sepsán jako podpůrný studijní materiál pro učitele či zainteresované studenty, který má vytvořit zázemí k experimentům, pro které byly vypracovány protokoly. Z tohoto důvodu bylo pro napsání literárního úvodu použity vysokoškolské učebnice (Pavlová, 2005, Luštinec and Žárský, 2003, Vaněk et al., 2007, Bennett, 1993, Buchanan et al., 2000, Marschner, 1995, Nátr, 1998) a řada přehledových prací, které jsou dále citovány, obvykle s odkazem na přehled formou zkratky rev.. Pro rozšíření informací o vědecké poznatky byly použity vědecké články. Vzhledem k tomu, že se často jedná o poznatky obecnějšího charakteru, v následujícím přehledu uvádím zdrojové citace učebnicových či přehledových prací až na konci daného textu. V následujících kapitolách se pokusím přehledně a stručně shrnout historické poznatky o používaných hnojivech, o vývoji představ o minerální výživě, o příjmu, transportu a významu jednotlivých prvků v rostlinách.

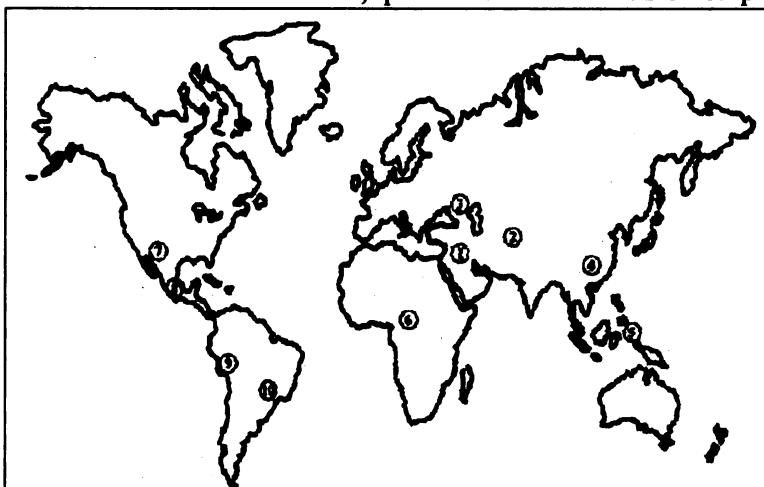
2.1 Historie studia minerální výživy

2.1.1. Historie hnojení v raném zemědělství

Vědní disciplína o výživě rostlin a hnojení má více než 150-tiletou tradici, ale dějiny hnojení započaly záhy po vzniku zemědělství.

V době mezolitu, přibližně 15 - 10 tisíc let př.n.l., se objevili na několika

místech na Zemi první zemědělské společnosti (Obr.2.1.1). Pro změnu dosud zaběhlého způsobu života sběračů a lovců k prvním zemědělcům vedlo několik důležitých okolností. Byla



Obr.2.1.1 – První centra zemědělství: 1) Blízký východ, 2) Střední Asie, 3) Kavkaz, 4) Dálný Východ, 5) Velké Sundy, 6) Afrika, 7) jižní část Severní Ameriky, 8) Střední Amerika, 9) Jižní Amerika – Andy, 10) východní část Jižní Ameriky. (převzato z Srba et al., 2002)

to úrodnost půdy, vhodné klima s dostatkem srážek a

nedostatek potravy, který nastal po době ledové, kdy vymizela velká zvířata vhodná pro lov. Nedostatek potravy se jeví zřejmě jako klíčová podmínka pro spontánní vznik zemědělství. První zemědělci se usidlovali na místa s dobrými zemědělskými předpoklady, kde se naučili vybrat první vhodné divoce rostoucí obiloviny a následně se o ně starat pletím nezajímavých rostlin, které nepřinášely užitek. V této době prvního počátku zemědělství se objevuje první šlechtění plodin. Lidé si často vybírali rostliny s různými mutacemi, které by se v přírodě bez jejich pomoci neudržely, ale pro člověka měly velký význam. Z divokých obilovin si pro setí vyselektovali jednoleté obiloviny s největšími obilkami, které se samovolně nevysypou z klásků. Díky těmto vlastnostem měli dostatek potravy každý rok a dostatek času na sklizeň. (rev. Srba et al., 2002)

Řecký historik Herodotus, poté, co navštívil Mezopotámii, předpokládal, že vysoká rostlinná produkce je výsledkem vyvinutých zavlažovacích kanálů a bohaté půdy, která je neustále obohacována pravidelnými záplavami.

Lidé postupně odpozorovali, že některé půdy po dlouhodobém využívání snižují svůj výnos. Brzy však zjistili, že přidáním zvířecích a rostlinných zbytků může dojít k obnovení úrodnosti



Obr.2.1.2 – Egyptská hrobka KV 11, 20.dynastie, (převzato z Aufre, 2004)

půdy. Ale dodnes není přesně známo, kdy s přihnojováním lidé začali, doklady přihnojování jsou již například ve starověkých civilizacích (Obr.2.1.2). Využití hnoje bylo zmíněno i v některých řeckých mýtech. Jeden z těchto mýtů a v dnešní době několikrát zdramatizovaný, je znám pod jménem „Augiášův chlív“. Král Augiáš měl ustájeno 3000 kusů skotu ve svých stájích, které nebyly po dobu 30ti let vyčištěny. Dal Herkulovi úkol, aby stáje od hnoje vyčistil. Herkules změnil tok řeky Alpheus, kterou nechal protéct skrz stáje a všechn trus odnesla řeka na přilehlá území. Další řecký epos Odyssea od známého autora Homéra ukazuje, že Řekové zřejmě již v 9. století př.n.l. přihnojovali své plodiny. Theophrastus (372-287 př.n.l.) doporučoval hnojení méně úrodných půd, ale zároveň doporučil bohaté půdy hnojit jen velmi opatrně. Zřejmě si již tehdy uvědomovali, že přehnojení rostlin může mít neblahý efekt na jejich růst. Další zajímavý závěr, který učinil, je, že rostlina, která má velký nutriční požadavek, má zároveň velký nárok na vodu. Doklady úspěšného přihnojování v Řecku byly pole a

olivové háje v blízkosti Atén, které byly přihnojovány kanalizačními splaškami a vinice přihnojované vodou, ve které nechávali rozpustit hnůj. Starověcí Řekové objevili i účinnost zeleného hnojení. Pro tuto agrotechniku si oblíbili obzvláště luštěniny. Theophrastus zaznamenal, že *Vicia faba* byla oblíbená plodina pro obohacení půd v centrální části Řecka Thesálie a Makedonie. Xenophon (okolo 400 př.n.l.) zjistil výhody zaorávání luštěnin na jaře a jedním z nich byl předpoklad, že zaorané rostliny můžou poskytovat živiny během celé sezóny. Cato (234 – 149 př.n.l.) označil fazole, vlčí bob a vikev za nejlepší plodiny pro zelené hnojení.

Další zajímavou technikou pro zúrodnění půdy bylo míchání půd, kdy neúrodná půda se smíchala s úrodnou. Došlo k obohacení chudé půdy, provzdušnění a zvýšila se dostupnost vody.

Starověké zemědělství využívalo pro obohacování půd i jíly. Doklady využívaní jílu můžeme najít na ostrově Aegina.

Další významná agrotechnika, která je zmíněná i ve Starém zákoně, je využití popele. Římský filosof Columella říkal, že popel a nebo vápenec není důležitý jen pro obohacování půdy, ale také snižuje kyselost půdy. V Bibli, ale také Plinius, a Theophrastus zmiňují důležitost ledku pro zvýšení výnosu.

Starověcí zemědělci také dokázali posoudit, zda půda bude vhodná pro obdělání. Dokázali odhadnout kyselost půd. Plinius (23 – 79 n.l.) uvedl, že kyselost půdy se dá určit podle rostlin, které na daném území rostou. V této době se předpokládalo, že kvalitu půdy lze rozpoznat podle barvy půdy. Černá půda byla více úrodná než světlá. S tímto nesouhlasil Columella. Jeho argumentem byly půdy v Libyi, kde černé půdy byly výrazně méně úrodné než půdy světlé a nabádal, aby se úrodnost půdy hodnotila podle jiných kritérií jako je struktura, textura nebo acidita půdy.

Z doby starověku se nám dochovalo mnoho písemnosti, které obohatily svět o mnoho nových agrotechnik a popisují faktory, které ovlivňují růst a vývoj rostlin (rev. Tisdale a Nelson, 1975).

V průběhu středověku si lidé začali uvědomovat význam obsahu živin v půdě pro rostlinnou produkci. Pietro de Crescenzi (1230-1307) vydal knihu *Opus ruralium commodorum*, která ovšem nepřináší žádné nové agrotechnologie, spíše se jedná o souhrn používaných agrotechnik v této době raného středověku. V raném středověku se u nás stále neobjevuje aktivní hnojení. Přičinou byl způsob chování dobytka. V této době nebyl dobytek ustájován, takže nemohlo docházet k akumulaci jeho trusu. Půda,

která již neuspokojovala svými výnosy, byla přeměněna na pastvinu, kde ji pasoucí dobytek pohnojil trusem. Takto odpočatá a zregenerovaná půda byla opět obdělána.

Pro zemědělství vrcholného středověku je typický trojpolní systém. Systém trojpolního hospodaření spočíval v ustáleném osevním plánu, kdy pole bylo každý rok obděláváno jinak. První rok byly vysazeny náročné rostliny, které potřebovaly pro svůj růst úrodnou půdu. Druhý rok byly vysazeny méně náročné rostliny a následující rok nechali pole ležet ladem, později se osvědčilo osévání pole pícninami jako byl hrášek a bobyl, kdy nejen obohatili půdu, ale také získali potravu pro dobytek. Střídavé osévání pole různě náročnými rostlinami zaručilo pravidelné výnosy při minimálním vyčerpání půdy.

V době pozdního středověku (14. – 15. století) se již běžně přihnojovala pole. Umožnila to změna způsobu chovu dobytka, který se začal nastálo ustájovat v blízkosti lidského obydlí, což umožnilo hromadění hnoje. (rev. Srba et al., 2002).

2.1.2. Historie studia vlivu minerální výživy na rostliny



Obr.2.1.3 - A. D. Thear (1752- 1828),
(převzato z Růžička, 2003)

Na začátku 17. století Francis Bacon (1561-1626) předpokládal, že rostliny přijímají živiny z vody a půda je nutná jen pro udržení rostliny ve vzpřímené poloze a ochranu před vysokými a nízkými teplotami. Další z pokusů, který potvrzoval tuto představu, provedl Jean Baptiste van Helmont (1577-1644). Podle van Helmonta byly dva základní elementy potřebné pro růst rostlin - vzduch a voda. Vzduch ho zaujal do takové míry, že se dal na studiu plynů, ovšem věnoval i určitou pozornost vodě. S vodou provedl dnes všeobecně známý pokus.

Zasadil dvoukilogramovou vrbu do devadesátikilogramové půdy. Rostlinu po dobu pěti

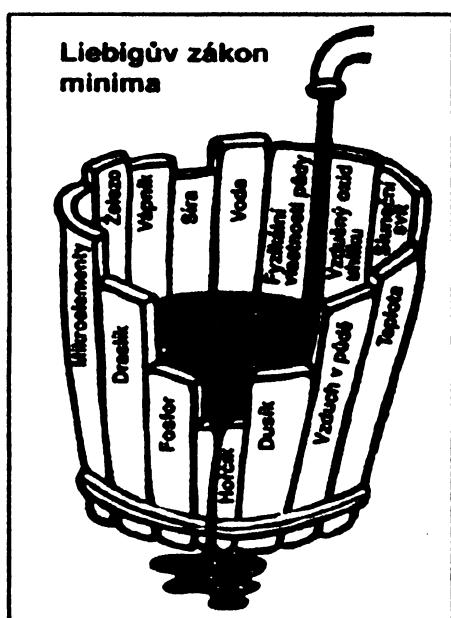
let zaléval čistou vodou a shromažďoval veškerý rostlinný odpad (suché větve, opadané listí). Po pěti letech opět zvážil hmotnost vrby a půdy. Vrba zvýšila svou váhu z 2 na 76 kg, zatímco hmotnost půdy se nijak významně nezměnila. van Helmont na základě tohoto pokusu chybně usoudil, že se voda „transmutovala“ na dřevo (rev. Karpenko,

2008). Důvodem jeho nesprávného výkladu byla neznalost fotosyntézy. Fotosyntéza byla objevena totiž později - až v 19. století.

V 16. a 17. století už existovaly názory, že výživa pro rostliny není jen voda, ale také soli v půdě. Jeden ze zastánců této představy byl B. Palissy (1511-1589). V roce 1563 Palissy na základě svého pozorování vyslovil domněnku, že ze složení rostlinného popelu můžeme určit, jaké látky rostlina přijímá z půdy. Následně vedle sebe stály dvě rozdílné představy. Theodore de Saussure (1767-1845) analytickými metodami určil složení popele rostliny. Na základě svých pokusů předpokládal, že výživou pro rostliny jsou anorganické soli v půdě a CO₂. Druhý směr názorů předpokládal, že důležitým zdrojem živin pro rostlinu jsou organické látky z rozkládajícího se humusu – tzv. humusová teorie. Zastáncem této představy byl Albert

Daniel Thear (1752-1828) (Obr.2.1.3) Carl Sprengel (1787-1859) (rev. Ploeg et al., 1999).

Jeden z nejvýznamnějších průkopníků a zakladatel minerální výživy jako vědní disciplíny byl Justus von Liebig (1803-1873) (Obr.2.1.4). V roce 1840 byla vydána jeho kniha "Die Organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie". Toto průlomové dílo zcela zbořilo humusovou teorii a položilo základy pro vznik nové minerální teorie. Jeho minerální teorie předkládala anorganické látky jako zdroj živin pro všechny rostliny. Vyvrátil humusovou teorii tvrzením, že humus nepůsobí přímo na růst rostlin, ale působí nepřímo, kdy dochází k rozkladu a uvolnění oxidu uhličitého, dusíku a amoniaku (rev. Růžička, 2003). Dále formuloval zákon minima (obr.2.1.5), který říká, že rostliny jsou životně



Obr.2.1.5 – Schéma Liebigova zákona minima: Sud s vodou má různě vysoké hrany, které představují množství živin přijatých rostlinou. Hladina vody je dána nejkratší dýhou, stejně tak představuje u rostlin limitující živinu, ta, která je v největším nedostatku.
(převzato z
<http://www.darius.cz/archeus/liebig.jpg>)



Obr.2.1.4 - Justus von Liebig (1803-1873). (převzato z Růžička, 2003)

závislé na tom prvku, který je v jejich životním prostředí obsažen v nejmenším množství. Liebig se svým pozorováním zasloužil o rozšíření výroby a používání průmyslových hnojiv jako například superfosfátu, potáše a anorganického dusíku (rev. Růžička, 2003).

Do 18. století byl význam jednotlivých prvků určen na základě pozorování, aniž by se prováděly experimenty. Následuje období intensivního experimentování ve vodních i pískových kulturách. V roce 1846 založením výzkumné stanice v Rothamstedu ve Velké Británii začínají intenzivní polní experimenty, které pokračují dodnes a tato stanice je dnes jedním z hlavních světových výzkumných zemědělských center. Současně v té době zažívala analytická chemie velký rozvoj, který vedl k objasnění významu mikroelementů pro rostlinu. V roce 1939 Arnon a Stout shrnuli kritéria nezbytnosti prvků pro rostlinu a vyslovili definici esenciálního elementu pro růst rostlin (rev. Richter, 2004).

Na základě znalosti prvků, které tvoří biomasu rostliny, byly připraveny první živné roztoky. První živný roztok byl připraven německým vědcem W. Knoppem. Na živný roztok použil jen KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KH_2PO_4 , MgSO_4 a soli železa. Rostliny v tomto živném roztoku dobře rostly a na základě toho vznikla mylná představa, že pouze tyto prvky jsou potřeba pro správný růst a vývoj rostlin. Chybou tohoto experimentu byly chemikálie, které byly použity. Byly kontaminovány dalšími prvky, které jsou také pro rostlinu esenciální, například borem a molybdenem. Až Dennis R. Hoagland vytvořil živný roztok, který obsahoval makroprvky i mikroprvky a jeho různě modifikované složení je používáno dodnes (rev. Procházka et al., 1998, rev. Marschner, 1995).

2.1.3. Hnojiva a jejich zdroje

Přihnojování má své kořeny již ve starověkém zemědělství a bylo využíváno pro zvýšení výnosu. Už starověcí zemědělci pozorovali, pozitivní vliv např. zeleného hnojení, že i mrtvá těla mohou zvýšit úrodnost a objevili i přínos rozemletých kostí pro hnojení rostlin. Zajímavá historická událost z hlediska hnojení v 19. století je tzv. koprolitová horečka, která během 19. století vzbudila velkou pozornost a Angličané jí zcela propadli. Koprolity jsou zkamenělé exkrementy, které můžou obsahovat v průměru 20 – 60 % fosfátu a dají se účinně využít jako hnojivo. Byly v malé míře využívány už během 18. století. Nástupu koprolitové horečky pomohl botanik z univerzity v Cambridge, UK, J. Henslow. Udělal mnoho analýz, které ukazovaly

bohatost koproliitu na fosfát. Dalším významným mužem této éry byl J.B. Lawes. Zjistil, že rozemletím koproliitu, jeho rozpuštěním v kyselině sírové a následným odpařením dostane superfosfát, který je velmi dobře rozpustný ve vodě. Po tomto objevu začala mohutná těžba koproliitu (rev. Cílek, 1995).

V dnešní době je spektrum používaných hnojiv velmi široká. Můžeme je rozdělit na statková a průmyslová hnojiva. Statková hnojiva jsou dlouhodobé univerzální hnojiva s dobrými fyzikálními vlastnostmi, která jsou vyráběna přímo na statcích. Tato hnojiva jsou velmi bohaté na živiny a díky jejich využití vracejí do půdy makro- a mikroprvky, organické látky a mikroorganismy. Mezi statková hnojiva se řadí chlévský hnůj, močůvka, kejda, sláma, zelené hnojení a komposty. Průmyslová hnojiva jsou vyráběna v chemických průmyslech z přírodních surovin jako jsou fosfáty, draselné minerály a vápence. Zdroj dusíku se získává syntézou amoniaku z dusíku a vodíku. Tyto hnojiva jsou vyráběna jako jedno- nebo vícesložková hnojiva, která obsahují danou látku ve vysoké koncentraci. Chemický průmysl poskytuje celou škálu těchto hnojiv jako je například ledek vápenatý, dusičnan amonný, superfosfát granulovaný a další. (rev. Vaněk et al., 2007)

2.2 Minerální výživa

2.2.1 Obecná charakteristika minerální výživy rostlin

2.2.1.1 Význam a rozdělení minerální výživy

Rostlinné tělo je tvořeno biogenními prvky, které tvoří základ organických látek. Tyto prvky se vyskytují v přírodě především v anorganických sloučeninách nebo jako ionty. Rostlinami jsou přijímány zpravidla kořeny a kořenovým vlášením. Některé mohou být přijímány listy nebo dalšími nadzemními orgány, což lze sledovat na kultivacích izolovaných pletiv v podmínkách *in vitro* a na mimokořenovém hnojení na list.

Pro rostlinu je životně důležité přijímat biogenní prvky (=minerální výživa), protože jsou důležité při metabolických procesech a vytváření funkčních struktur. Charakteristickým znakem biogenního prvku je jeho nepostradatelnost pro dokončení životního cyklu rostliny, nezastupitelnost jiným biogenním prvkem a jeho přímé zapojení do metabolismu rostlin (Arnon a Stout, 1939).

Doposud bylo identifikováno 16 biogenních esenciálních prvků, u kterých byla prokázána jejich nezbytnost pro růst a vývoj rostliny. Podle kvantitativního zastoupení v

pletivech se dělí na prvky makrobiogenní a mikrobiogenní. Mezi makrobiogenní prvky se řadí H, C, N, P, K, S, Mg, Ca. Funkce makroprvků je převážně stavební. Jejich množství v 1kg sušiny je větší než 1000mg. Mezi mikrobiogenní prvky se řadí Cl, Fe, B, Mn, Zn, Cu, Ni, Mo. Mikroprvky plní hlavně katalytickou funkci. Jejich množství v 1kg sušiny je menší než 100mg.

Nedostatek minerálních živin (=deficiency) vyvolá u rostliny morfologické nebo vývojové změny. Může se změnit tvar a barva určitých orgánů. Může dojít ke zpomalení a poruchám růstu a dalších fyziologických procesů. Při výrazném dlouhodobém nedostatku nemůže rostlina dokončit svůj vegetační cyklus.

Pro správný vývoj a růst rostliny je důležitá rovnováha těchto prvků. Rostlina má pro každý prvek svoje optimum. Nedostatek nebo jeho nadbytek působí na růst a vývoj rostlin negativně.

Vedle biogenních prvků se v rostlinách objevují prvky tzv. benefiční. Benefiční prvky působí pozitivně na růst rostliny, ale nesplňují obecná kriteria esenciality. Například jsou nezbytné jen pro některé rostliny (např. křemík pro přesličku) nebo jsou důležité jen při určitých podmínkách. Příkladem takových prvků jsou křemík, sodík, kobalt a selen. (rev. Pavlová, 2005, rev. Luštinec a Žáorský, 2003, rev. Vaněk et al., 2007, rev. Bennett, 1993, rev. Nátr, 1998).

2.2.1.2 Příjem a transport minerální výživy

Na minerální výživě rostlin se podílejí ionty minerálních solí rozpustné ve vodě. Do bezprostřední blízkosti kořene se dostávají třemi mechanizmy. Hromadným tokem spolu s pohybem půdního roztoku, který doplňuje vodu odčerpávanou rostlinou. Difúzí, která je zajištěna postupným rozpouštěním sloučenin, a růstem kořenů a prokořeňování půdního profilu, který umožní čerpání živin z nižších půdních horizontů. Pohyb iontů v půdním prostředí významně ovlivňuje přítomnost koloidních částic a výměna iontů na jejich povrchu.

Koloidní částice jsou charakteristické svým velkým vnějším povrchem vzhledem k hmotnosti. Povrchy koloidů mají pozitivní, tak i negativní elektrostatické náboje, které interagují s ionty minerálních živin, které jsou zde drženy elektrostatickými silami. Iont je uvolněn do roztoku v případě, že jeho místo zaujme jiný iont. Tato výměna iontů je proces, který klíčovým způsobem dokáže ovlivňovat koloběh živin a další procesy (rev. Brady a Weil, 2002).

Transport iontů z půdního roztoku do živých buněk kořene je složitý proces.

Pomocí difuze iontů je možná výměna iontů při styku kořenových vlásků s půdními

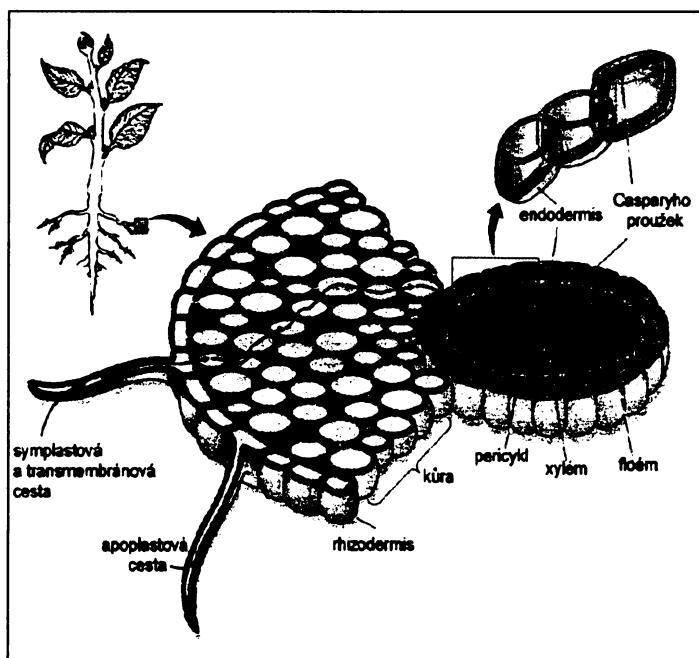
koloidními částicemi.

Dýchající kořeny vyprodukovují oxid uhličitý, který reaguje s vodou za vzniku kyseliny uhličité. Následně kyselina uhličitá disociuje na H^+ a HCO_3^- . H^+ se vyměňuje za kationty vázané na půdní částice a HCO_3^- je schopno se vyměnit za aniony, které jsou volně přítomné v půdním roztoku. Z rhizosféry se ionty

dostávají pomocí difuze nejprve do prostoru

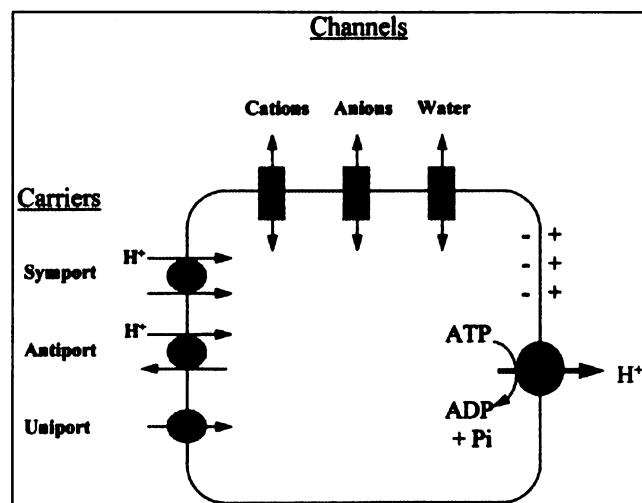
Obr.2.2.1 – Transport iontů z půdního roztoku do xylém
(převzato z Pavlová, 2005)

buněčných stěn kořenových vlásků a dalších rhizodermálních buněk a odtud se pohybují radiálním směrem do xylému (=apoplastická cesta). V místě apoplastické bariéry (endodermis či exodermis s Caspariho proužky) však musí přejít přes plazmatickou membránu do nitra buňky a dále se mohou pohybovat kontinuem cytoplazmy až do vodivých pletiv (=symplastická cesta). Do symplastu ionty vstupují už v kořenovém vlásku nebo až před Caspariho proužkem. Vstup do symplastu je nejdůležitější fází příjmu živin, obvykle probíhá aktivním transportem, který se vyznačuje svou selektivitou a regulovatelností. Některé přijaté živiny jsou zabudované do organických sloučenin již v kořeni, jiné živiny společně s vodou putují do xylému a xylémem jsou pak transportovány do nadzemních částí rostliny (Obr.2.2.1). V xylémovém parenchymu jsou minerální ionty aktivně transportovány ze symplastu do buněčných stěn a odtud dále vedeny do vnitřního prostoru cév, kde se pohybují spolu s transpiračním proudem do nadzemních částí rostliny. Některé živiny (ne však všechny) dokáže rostlina také retranslokovat v rámci svého těla. Ze senescentních orgánů přecházejí minerální ionty nebo organické látky (např. aminokyseliny) do floému a jsou odvedeny do míst aktivního růstu jako například rostoucí listy, vyvíjející se plod, kde jsou znova využity. Některé přijaté minerální živiny zůstávají v takové podobě v jaké



byly přijaté a plní své funkce v podobě anorganických iontů. Příkladem je Cl^- a K^+ . Jiné živiny – např. NO_3^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} a Fe^{2+} – mohou být přímo začleněny do organických sloučenin. Aby dusičnan a sírany mohly být metabolicky využity, musejí být nejdříve energeticky náročně redukovány. Předchozí odstavce byly vytvořeny na základě informací v učebnicích a přehledech (rev. Pavlová, 2005, rev. Luštinec a Žáorský, 2003, rev. Vaněk et al., 2007, rev. Bennett, 1993, rev. Votrubová, 2001, rev. Nátr, 1998).

Plasmatická membrána je selektivně propustná. Malé nenabité molekuly mohou být přes membránu do buňky přenášeny spontánně přes fosfolipidovou dvojvrstvu, ostatní látky prochází pomocí transportních membránových proteinů. Zda bude daný transport aktivní nebo pasivní rozhodne elektrochemický potenciál. Velikost elektrochemického



potenciálu je určena rozdílem chemického potenciálu na opačných stranách membrány.

Typicky je pH cytoplazmy kolem 7,5 a pH apoplastu kolem 5,5. Membránový potenciál plazmalemy se tedy pohybuje kolem -150 mV. Ostatní membrány jsou méně polarizovány. Membránový potenciál tonoplastu se obvykle pohybuje okolo -20 mV.

Minerální živiny jsou přijímané v iontové formě. Je-li hodnota elektrochemického potenciálu záporná jsou dané ionty přijímány přes membránu pasivně. Rovná-li se nule je stejný počet iontů přenášen oběma směry. Je-li hodnota elektrochemického potenciálu kladná je nutné pro transport iontů přes membránu dodat energii (rev. Pavlová, 2005). Na vzniku a udržení elektrochemického potenciálu se nejvíce podílí aktivní transport protonů z cytosolu pomocí protonových pump. Jejich aktivita způsobí hyperpolarizaci membrány a umožní transport kationů do cytosolu, který způsobí depolarizaci membrány.

Pro transport iontů přes membránu jsou v lipidové dvojvrstvě membrány přítomné transportní proteiny, které fungují jako pumpy, kanály a přenašeče (Obr.2.2.2).

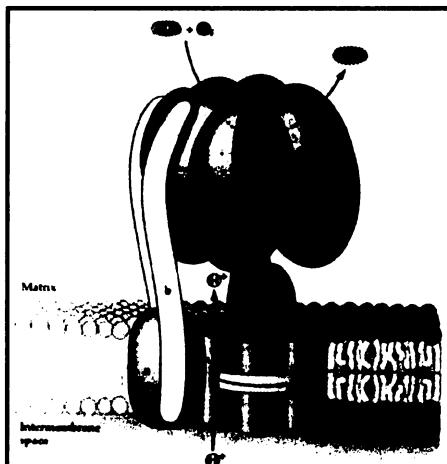
Tyto transportéry zajišťují rychlý, specifický a regulovaný příjem a výdej látek. Membránový transport je důležitý pro kompartmentaci metabolitů buňky, udržení turgoru, příjem živin z půdy a jejich distribuci po rostlině, vylučování odpadních látok, pro tvorbu ATP a přenos signálu (rev. Pavlová, 2005, rev. Luštinec a Žárský, 2003).

Pumpy přenášejí ionty, molekuly a komplexy na druhou stranu membrány proti koncentračnímu spádu. Pro průběh transportu je nutné dodat energii, která se získává

štěpením ATP nebo anorganického fosfátu PPi. V rostlinné buňce vyskytuje několik typů pump. Jsou to H^+ ATPázy F typu, P typu a V typu, H^+ PPázy a ABC-transportéry.

Membránové ATPázy jsou pumpy jenž využívají energie ATP pro transport iontů uniportem přes buněčnou membránu (Buchanan et al., 2000). Výjimkou jsou H^+ ATPázy F typu, které jsou přítomné na membránách, kde je gradient protonů využíván k syntéze ATP. Transmembránový gradient protonů je zde vytvářen elektrontransportním řetězcem, kde hnací

Obr.2.2.3 - H^+ ATPázy P typu.
(převzato z Buchanan et al., 2000)



silou celého procesu je redoxní potenciál nebo energie světla.

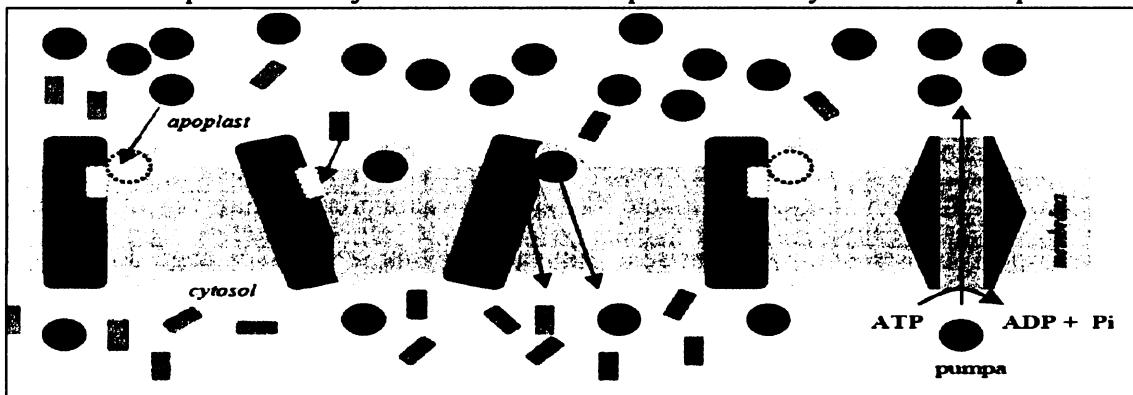
H^+ ATPázy P typu (Obr.2.2.3) jsou lokalizovány na plasmatické membráně. Hlavní úlohou je tvořit protonový gradient tj. transportovat protony proti jejich gradientu a tím energizovat sekundární aktivní transport všech ostatních látok a je jedním z prvních mechanismů pro auxinovou odpověď. Ve srovnání s F typem nedochází ke vzniku ATP, ale naopak je energie v podobě ATP spotřebována pro transport protonů přes plazmalemu. Vytváří protonmotorickou sílu, jenž je hnací silou pro transport ostatních iontů. ATPázy P typu mají společný mechanismus, kdy všechny vytváří přechodný stav, ve kterém je fosfát vázán na enzym. Tyto ATPázy mají hlavní roli pro membránový transport. Z tohoto důvodu jsou velmi přísně regulovány na úrovni transkripční, translační a post-translační. Aktivace enzymu je vyvolána např. auxinem, chloridem sodným, tmou a dalšími faktory, které vyvolají expresi příslušných genů. Naopak inhibice může být vyvolána aplikací orthovanadátu, který vytvoří analog přechodného stavu a tím zablokuje celý reakční cyklus (rev. Morsomme a Boutry, 2000).

H^+ ATPázy V typu jsou lokalizovány ve velkém počtu na tonoplastu, ale jsou přítomné i na membránách endoplazmatického retikula a golgiho aparátu. Hydrolýzou ATP vytváří elektrochemický potenciál nutný pro transport iontů přes tonoplast. Pumpováním protonů do vakuoly umožní udržet nízké pH vakuoly. V- ATPázy jsou velmi důležité pro udržení cytosolické iontové rovnováhy, udržení látkové výměny buňky a zapojují se i do stresové odpovědi rostlin (rev. Ratajczak, 2000).

Vedle V- ATPáz se na tonoplastu vyskytuje další typ pumpy - H^+ PPáza. Přenáší protony do vakuoly, čímž také sniže pH ve vakuole. Pro přenos protonů do vakuoly však využívá energii uvolňovanou štěpením anorganického pyrofosfátu (PPi) místo ATP. Tato pumpa je specifická pro rostliny, kde je lokalizována hlavně v mladých a vyvíjejících se částech rostliny a u několika druhů archebakterií. Byla objevena také na membránách mitochondrií a thylakoidů, ale nevykazuje aktivitu membránových pump (rev. Maeshima, 2000).

ABC – transportéry byly nejdříve nalezeny u mikroorganismů a savců a až později u rostlin. ABC transportéry jsou membránové pumpy získávající energii pro transport protonů hydrolýzou ATP. Ale bylo zjištěno, že jejich funkce je daleko širší. Mohou fungovat jako iontové kanály a nebo dokonce regulovat funkci kanálů. U rostlin jsou lokalizovány na tonoplastu. Umožňují transportovat degradační produkty, toxické metabolity a cizorodé látky do vakuoly. Byly objeveny i v plazmatické membráně a v mitochondriích (rev. Theodoulou, 2000).

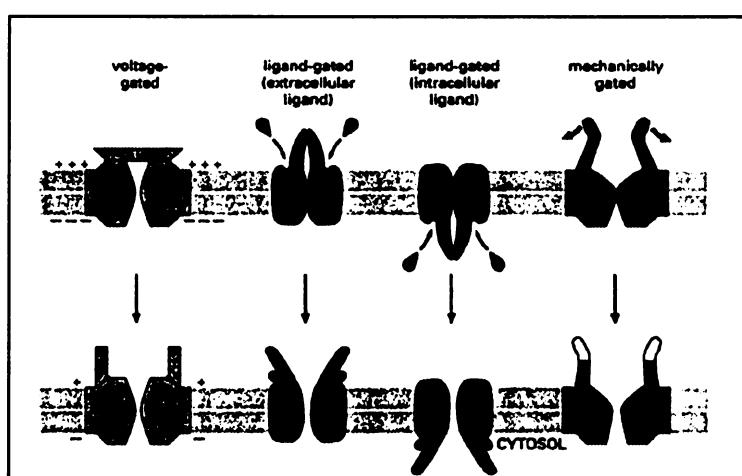
Přenašeče jsou integrální membránové proteiny, které na jedné straně váží solut a na druhé straně membrány dojde k jeho uvolnění. Přenašeče jsou saturovatelné a vykazují se značnou substrátovou specifitou. Během přenosu dojde ke změně konformace proteinu bez jakékoliv modifikace přenášené látky. Přenos může probíhat



Obr.2.2.4 – Schéma sekundárního aktivního transportu látek přenašečem přes membránu. Pumpa přenaší protony z cytosolu do apoplastu. Přenašeč naváže proton, změní konformaci a naváže přenášenou látku. Vazba změní strukturu přenašeče, která umožní na druhé straně membrány uvolnit přenášenou látku. (převzato z Pavlová, 2005)

aktivně nebo pasivně. Při aktivním přenosu je přenášený iont transportován proti jeho elektrochemickému potenciálu mechanismem sekundárního aktivního transportu (Obr.2.2.4). Pro uskutečnění aktivního přenosu je potřeba vytvořit protonmotorickou sílu pomocí H^+ ATPázy. Protony z apoplastu se vrací do cytosolu ve směru koncentračního spádu. Podle směru transportu iontu a protonu lze rozlišit symportery a antiportery (Obr.2.2.2). Transport látky ve stejném směru s protony je označován jako symport, v opačném směru jako antiport. Přenašeče transportují anorganické ionty a některé organické sloučeniny jako sacharózu a aminokyseliny. Pro pasivní přenos není třeba dodávat energii, jelikož transport probíhá po směru koncentračního spádu. Hraje důležitou roli v udržování optimální koncentrace látek v jednotlivých kompartmentech. (rev. Pavlová, 2005, rev. Taiz a Zeiger, 2003)

Iontové kanály umožňují pasivní průchod iontů pouze ve směru elektrochemického potenciálu. Kanály jsou buňkou regulovatelné a jsou různě selektivní. Během průchodu iontů nedochází k žádným konformačním změnám kanálů.



Obr. 2.2.5 - Regulace iontových kanálů – A) membránovým napětím, B,C) vaznou ligandů, D) mechanicky. (Převzato z Buchanan et al., 2000)

Kanál přechází pouze mezi dvěma konformačními stavy otevřený a uzavřený, přechod mezi těmito stavy je přísně regulován například membránovým napětím, vazbou ligandu nebo oběma způsoby (Obr.2.2.5). V rostlinách i u živočichů má klíčovou roli při osmoregulaci,

buněčné signalizaci a udržení membránového potenciálu (rev. Barier-Brogoo et al., 2000).

2.2.2 Význam vybraných živin pro rostlinky

Pro svoji experimentální spolehlivost a názornou demonstrativnost byly pro vytvoření protokolů vybrány experimenty navozující nedostatek draslíku, železa, vápníku, dusíku, hořčíku a fosforu. Z tohoto důvodu jsou v této kapitole zpracovány pouze tyto prvky.

2.2.2.1 Draslík

Draslík se v půdě nachází především v anorganických sloučeninách. Převážně se vyskytuje v primárních a sekundárních křemičitanech. Většina draslíku je pro rostlinu nedostupná, jelikož je pevně vázán (rev. Vaněk et al., 2007).

Rostlina přijímá draslík ve formě draselných iontů. Jako monovalentní kationt také plní své funkce v rostlině, přičemž jeho množství v buňce může být až 1000x vyšší než ve vnějším prostředí, a tím se stává nejhojnějším kationtem v rostlinách. Pro optimální růst rostliny je potřeba 2-5% K^+ suché hmotnosti rostliny. (rev. Luštinec a Žárský, 2003)

V rostlinách je velmi dobře pohyblivý jak v rámci buňky, tak také v rámci celé rostliny (rev. Buchanan et al., 2000, rev. Pavlová, 2005). Z kořenů se xylémem dostává do prýtu. Z oblasti starších listů do mladých listů je transport uskutečněn floémem (rev. Pavlová, 2005). Ovšem kvůli jeho značné pohyblivosti může docházet k jeho vymývání z listů (rev. Vaněk et al, 2007).

V rostlinách se vyskytuje volný a nebo tvoří slabé komplexy s organickými kyselinami ze kterých se může snadno uvolnit. Má mnoho významných rolí v rostlinách. Udržuje elektroneutralitu buňky, jeho pohyb přes membránu se podílí na vzniku membránového potenciálu, společně s dalšími anionty reguluje osmotický poměr buňky, udržuje turgor buněk. Hraje klíčovou roli v aktivaci enzymů, protože ovlivňuje míru jejich hydratace a prostorovou konformaci. Je důležitý pro fotosyntézu, floémový transport a proteosyntézu. Změna obsahu K^+ vede k reverzibilním změnám objemu buněk při pohybu orgánů, otevírání a zavírání průduchů, ale i k ireverzibilním změnám objemu při růstu buněk. Je nutná jeho přítomnost v kořeni, aby mohlo dojít k příjmu vody a vytvoření kořenového vztlaku. (rev. Cakmak, 2005, rev. Marschner, 1995).

Draslík je přijímán aktivně (při nižších koncentracích draslíku v půdním roztoku), i pasivně (při vysokých koncentracích draslíku v půdním roztoku) (rev. Vaněk et al., 2007) pomocí vysoko- i nízko-afinitního transportního mechanismu (Epstein, 70. léta). Příjem je multifázní a podílí se na něm značné množství transportních proteinů, které zajistí příjem draselných kationtů z půdního roztoku, zajistí jeho transport do xylému a následný export z xylému v prýtu (rev. Pavlová, 2005, rev. Buchanan et al, 2000).

Mezi prvními zjištěnými geny kódující tyto transportéry byly u *Arabidopsis* geny *KAT1* a *AKT1*. Oba kódují přítokové (inward) kanály. Protein AKT1 je lokalizován v epidermis a kortexu kořenů. Předpokládá se, že se účastní příjmu

z prostředí. *KAT1* je exprimovaný v listech ve svěracích buňkách průduchů, kde zřejmě hraje důležitou roli v regulaci otevřenosti. Dalším genem je *KOC1*, lokalizovaný v celé rostlině. Jeho protein tvoří K⁺ výtokový (outward) kanál. Pro jeho aktivaci je zřejmě nutná cytoplasmatická koncentrace Ca²⁺ vyšší než 150nM (Buchenan et al., 2000). Při nízké koncentraci K⁺ v prostředí je jeho příjem realizován vysokoafinitním mechanismem, identifikované transportéry jsou například HKT1 a AtKUP1. Příjem je elektrogenní za účasti symportu s protonem (1:1). Nízkoafinitní mechanizmus je představován rektifikačními kanály, jenž jsou dlouho otevřené a umožňují příjem K⁺ z půdního roztoku (rev. Pavlová, 2005, rev. Buchanan et al., 2000).

Celkový obsah draslíku se v jednotlivých částech rostliny a v jednotlivých kompartmentech liší. Vysoký obsah draslíku je typický pro mladé rostliny, mladé listy a meristemy a naopak ve stárnuocích pletivech se jeho obsah snižuje (rev. Vaněk et al., 2007). Největší obsah draslíku byl pozorován v cytoplazmě (80-200mM) a v chloroplastech (až 500mM) (rev. Buchanan et al., 2000, rev. Pavlová, 2005). Jeho přítomnost v těchto kompartmentech je vysoce důležitá a nezastupitelná žádným jiným kationtem. Ve vakuole je množství draslíku různá, závislá na funkci a stavu buňky (rev. Buchanan et al., 2000).

Deficience draslíku se může projevit i na stanovištích s relativním dostatkem draslíku. Nedostupnost je způsobena nepříznivými podmínkami (nař. sucho, chlad,



Obr.2.2.6 – Nedostatek draslíku u cukrovky. (převzato z Vaněk et al., 2007)

vlhko) pro jeho příjem (rev. Vaněk et al., 2007). Nedostatek draslíku se vizuálně projevuje při krátkodobém nedostatku světlými skvrnami v apikální části listu, na okrajích a mezi žilnatinou spodních listů

(Obr.2.2.6). Při dlouhotrvajícím nedostatku světlé skvrny nekrotizují, listy se mohou začít kroutit a nepravidelně ohýbat a opadávají. Přičinou je omezený transport draslíku do těchto míst, jelikož je draslík přednostně transportován do mladých listů a meristému. Snížená lignifikace cévních svazků způsobí, že stonky jsou tenké a slabé.

Internodia jsou zkrácená. Deficientní rostliny rychleji vadnou. Vadnutí je spojeno se zhoršeným hospodařením s vodou. (rev. Bennett, 1993, rev. Vaněk et al., 2007, rev. Buchanan et al., 2000, rev. Pavlová, 2005)

Nadbytek draslíku se vyskytuje velmi vzácně. Většinou se vyskytuje na místech, kde se skladují organická hnojiva. Rostliny rostoucí na těchto stanovištích jsou sytě zelené, rychle rostoucí a postupně jim zasychají a následně odumírají starší listy. Zvýšený příjem draslíku může způsobit nerovnováhu v příjmu osmotických kationtů (rev. Vaněk et al., 2007).

2.2.2.2 Hořčík

Obsah hořčíku v rostlině se pohybuje v rozmezí 0,15-0,35% suché hmotnosti (rev. Vaněk et al., 2007). Hořčík je přijímán kořeny ve formě Mg^{2+} . Příjem je zde



Obr.2.2.7 – Různé stupně nedostatku hořčíku na listech kukuřice. (převzato z Vaněk et al., 2007)

zprostředkován transportéry, které jsou kódované u *Arabidopsis* geny patřící do AtMGT rodiny (rev. Li et al., 2001). Příjem je inhibován přítomností ostatních kationtů v půdním roztoku (hlavně kationty draslíku, železa, hliníku, manganu, amonnými kationty a protony) (rev. Vaněk et al., 2007, rev. Pavlová, 2005).

Hořčík má mnoho významných rolí v rostlině. Má důležitou roli ve fotosyntéze, kde je součástí chlorofylu (rev. Buchanan et al., 2000), je nezbytný pro činnost Rubiska, je důležitý pro transport sacharidů z listů, aktivaci enzymů, syntézu ATP (rev. Cowan 2002), v proteosyntéze a syntéze RNA (rev. Marshner, 1995, rev. Sreedhara a Copan, 2002).

Hořčík je dobře transportován po rostlině a probíhá i jeho reutilizace. Z kořenů do prýtu je transportován ve formě Mg^{2+} xylémem. Pomocí floému je umožněn transport uvolňovaného hořčíku z odbouraného chlorofylu mezi staršími listy a mladými listy. Z tohoto důvodu je nedostatek hořčíku pozorován na starších listech. Odbourávání chlorofylu způsobuje nerovnoměrné rozložení chlorofylu, které se projevuje intervenozní chlorózou. Chlorotická místa postupně odumírají (Obr.2.2.7). Deficientní

rostliny vykazují omezený růst a vývoj (rev. Vaněk et al., 2007, rev. Bennett, 1993, rev. Pavlová, 2005).

2.2.2.3 Vápník

Obsah vápníku se u rostlin pohybuje okolo 0,4 až 1,5% suché hmotnosti. Obsah se liší u jednotlivých typů orgánu, ale také se mění v průběhu ontogeneze rostliny. V rostlinách má nezastupitelnou funkci ve stabilizaci membrán, strukturní funkci v buněčné stěně a účastní se přenosu signálu jako druhý posel (rev. Buchanan et al., 2000, rev. Pavlová, 2005).

V buněčné stěně vytváří iontové můstky mezi pektiny, určuje tím míru jejich zesiťování a následně i velikost pórů v buněčné stěně. Membrány stabilizuje tvorbou můstků mezi fosfáty, karboxylovými skupinami fosfolipidů a proteiny na povrchu membrány, a stabilizuje tak přesné postavení membránových proteinů (rev. Pavlová, 2005).

Vápník se účastní přenosu signálu. Prostřednictvím vazby na kalmodulin řídí aktivitu řady proteinů rostlinné buňky (kináz, fosfatáz, transkripčních faktorů, proteinů cytoskeletu, Ca^{2+} ATPáz a proteinů tvořící K^+ kanály ve svěracích buňkách). Pro přenos signálu musí být v cytosolu udržována velmi nízká koncentrace Ca^{2+} , která se pohybuje okolo 0,1-0,2 μM . V kompartmentech je obsah vápníku daleko vyšší (v jednotkách mM). Po přijetí signálu (např. vazba ligandu - inozitoltrifosfát IP₃, cyklická adenosin-5'-difosforibóza cADPR nebo změna membránového potenciálu) se otevřou vápenaté kanály. Otevření kanálů způsobí vylití vápníku do cytoplasmy a signál může být přenesen změnou elektrochemického potenciálu, jenž vyvolala tato zvýšená koncentrace vápníku v cytoplasmě. (Scrase-Field a Knight, 2003, Yang a Poovaiah, 2003, Evans et al., 2001)



Obr.2.2.8. – Lámání vegetačního vrcholu řepky při nedostatku vápníku. (převzato z Vaněk et al., 2002)

Klíčovou roli vápníku můžeme pozorovat u deficentních rostlin, které trpí sníženou tvorbou kořenů a poruchami prodlužovacího růstu, vykazují silné deformace

růstu apexu prýtu a v generativní fázi dochází k opadu květů (Obr.2.2.8) (rev. Bennett, 1993, rev. Vaněk et al, 2007).

Projevy toxicity v důsledku nadbytku vápníku se vyskytují relativně vzácně. Některé rostliny jsou schopné tolerovat větší obsah vápníku (až do 10% suché hmotnosti) bez příznaku toxicity. Rostliny s touto schopností se nazývají kalcikolní. Nadbytečný vápník rostliny ve svých pletivech nejčastěji ukládají do vakuol v podobě šťavelanu vápenatého. Rostliny citlivé vůči vyššímu obsahu vápníku v půdě se nazývají kalcifugní (rev. Vaněk et al., 2007).

Obsah vápníku v půdě se pohybuje od 0,15% (kyselé písčité půdy v humidních oblastech) až po 10% a více (karbonátové půdy). Většina je pro rostliny nedostupná. Je vázán ve špatně rozpustných sloučeninách jako jsou uhličitany, křemičitany, hlinitokřemičitany a sírany. Dostupnost vápníku pro rostlinu je závislá na pH půdy. Nejčastější sloučeninou vápníku v půdě je vápenec. Vyšší rozpustnost vápence je v kyselejších oblastech, kde velký vliv má i množství CO_2 , jehož vlivem se rozpouští na hydrogenuhličitanvápenatý, který je velmi dobře rozpustný ve vodě (rev. Vaněk et al., 2007).

Vápník je přijímán z půdního roztoku ve formě kationtu Ca^{2+} . Ca^{2+} je přijímán pasivně v oblasti kořenové špičky. Do cytosolu vstupuje prostřednictvím iontových kanálů po gradientu elektrochemického potenciálu. Z cytosolu je aktivně odčerpáván do kompartmentů (do prostoru buněčné stěny, do vakuoly nebo endoplazmatického retikula), pomocí membránových Ca^{2+} ATPáz, aby byla udržena jeho velmi nízká cytoplazmatická koncentrace, která je nutná pro přenos signálů. Jeho pohyb transpiračním proudem do nadzemní části rostliny je ovlivňován interakcí s negativními náboji na povrchu cév a vyvazováním v prostoru cév. Transport vápníku symplastem, ale i floémem se téměř nevyskytuje, což během jeho nedostatku neumožní žádnou jeho translokaci. (rev. McLaughlin a Wimmer, 1999)

Nedostatek vápníku se proto projevuje především v nejmladších částech rostliny. Ve starších částech rostliny je akumulován ve vakuolách ve formě nerozpustného šťavelanu vápenatého, který je pro rostlinu nedostupný. Omezený transport a jeho vazba do nedostupných sloučenin pro rostlinu naznačují, že rostliny pro svůj správný růst a vývoj potřebují relativně vysoký a kontinuální přísun tohoto prvku. Jeho příjem je negativně ovlivňován vyššími koncentracemi ostatních kationtů jako jsou K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , H^+ , Al^{3+} a Mn^{2+} , přičemž tento prvek má pozitivní efekt na příjem ostatních

iontů, díky jeho pozitivnímu vlivu na stabilitu membrán. (rev. McLaughlin a Wimmer, 1999, rev. Pavlová, 2005, rev. Bennett, 1993)

2.2.2.4 Dusík

Dusík společně s uhlíkem patří mezi nejdůležitější prvky v koloběhu živin v přírodě. Jeho nepostradatelnost lze pozorovat nejen u rostlin, ale u všech živých organismů. Příjem dusíku a jeho následná asimilace jsou úzce propojeny s ostatními metabolickými drahami v rostlinné buňce. Je základním stavebním kamenem bílkovin, těsně interaguje s fotosyntézou a pomáhá při utilizaci karbohydrátů (rev. Marshner, 1995).

Celkové množství dusíku na Zemi je $2,17 \times 10^{17}$ (rev. Vaněk et al., 2007). Největší procento dusíku je vázáno v litosféře, ale nejdůležitější část pro koloběh dusíku je vzdušný dusík v atmosféře. Dusík je nedostatková živina mnoha půd. Plynný dusík se stává dostupný pro rostliny až po jeho fixaci do půdy pomocí mikroorganismů (Fernandes a Rossiello, 1995). Další možnou cestou jak zvýšit obsah dusíku v půdě je hnojení. Přísun dusíku do půdy prostřednictvím fixace je závislý na ploše bobovitých plodin (rev. Vaněk et al., 2007).

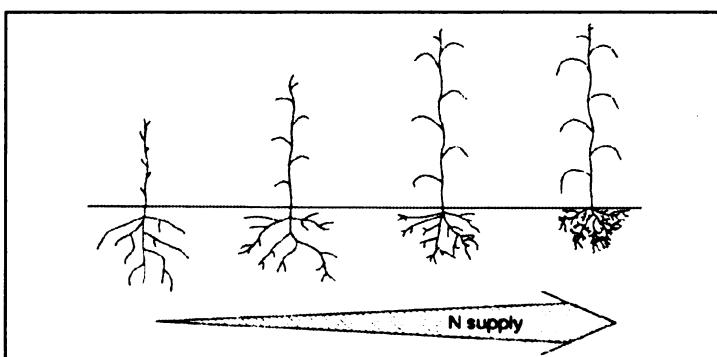
V koloběhu dusíku lze pozorovat dva důležité procesy. Je to mineralizace a imobilizace. Tyto dva procesy ovlivňují množství dostupného dusíku pro rostlinu. Během mineralizace organických látek vznikají minerální formy dusíku přijatelné pro rostliny. Nejdůležitějším zdrojem pro rostlinu je NH_4^+ a NO_3^- (Fernandes a Rossiello, 1995). Mineralizace je v zaplavených půdách zastavena. Přičinou je nedostatek kyslíku u NH_4^+ . NH_4^+ vzniká hydratací amoniaku, který vzniká v průběhu deaminace aminokyselina a degradaci purinů a dalších dusíkatých organických látek v závislosti na okolních faktorech jako jsou (kvalita substrátu, teplota a kolísání vodní hladiny). NH_4^+ je během imobilizace vázán do organických těl mikrobů a tím se stávají pro rostliny nedostupné (rev. Vaněk et al., 2007).

Rostlinné a živočišné zbytky, biomasa a metabolity mikrobů, humusové látky jsou pro rostliny dostupné až po jejich mineralizaci a vzniku přijímaných forem dusíku rostlinou - NH_4^+ , NO_3^- . V procesu nitrifikace aerobními chemolitotrofními nitrifikačními bakteriemi oxidují NH_3 na NO_2^- (rod *Nitrosomonas*) a NO_2^- na NO_3^- (rod *Nitrobacter*) (Norton, 1999, Pavlová, 2005). Proces je citlivý na vnější podmínky jako např. dostatek kyslíku, pH prostředí a teplotu (vyšší než 5°C) (rev. Vaněk et al., 2007). Nitrifikace lze rozdělit do dvou kroků. V prvním kroku dojde ke změně amoniaku na

nitrit: $\text{NH}_3 + \text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{NH}_2\text{OH} + \text{H}_2\text{O} + \text{NO}_2^- + 5\text{H}^+ + 4\text{e}^-$. Tuto změnu umožňují např. bakterie *Nitrosomonas*, *Nitrospira*. Ve druhém kroku pomocí bakterií *Nitrobacter* dojde ke změně nitritu na nitrát (rev. Norton, 1999). Během denitrifikace dochází k redukci nitrátů na oxidy dusíky nebo až na elementární dusík.

Disimilační procesy jsou procesy, ve kterých je nitrát akceptorem elektronů v oxidačně-redukčních reakcích v anaerobním prostředí za vzniku redukovaných forem dusíku (NO_2^- , oxid dusíku, N_2 a NH_4^+). Zahrnuje dva procesy: denitrifikaci a amonifikaci. Denitrifikace je respirační redukce NO_3^- , NO_2^- na plynný dusík. Pro průběh denitrifikace jsou nutné chemolithotrofní nebo chemoheterotrofní denitrifikační bakterie, nedostatek kyslíku, dostatečné množství nitrátů, dostatek lehce rozložitelných látek (rev. Pavlová, 2005). V případě velkého množství NO_3^- v půdě může tento proces způsobit značné ztráty dusíků z půdy (rev. Vaněk et al., 2007). Amonifikace je umožněna fermentačními reakcemi fakultativně nebo obligátně anaerobními mikroorganismy (redukční prostředí), které redukují NO_3^- na NO_2^- na NH_4^+ (rev. Nijburg a Laanbroek, 1997).

Rostlina přijímá dusík ve formě NH_4^+ a NO_3^- . Jednotlivé rostliny se můžou lišit v preferencích konkrétní formy dusíku v závislosti na typu stanoviště, na které jsou dlouhodobě adaptovány. Rostlina však přijímá obě formy dusíku. Na výběr přijímané formy má vliv také pH, množství a dostupnost jednotlivých forem v substrátu a teplota okolního prostředí (von Wirén et al., 2000). V kyselém prostředí převládá příjem NH_4^+ a v neutrálním až zásaditým prostředí převládá příjem NO_3^- a nebo je příjem obou forem srovnatelný. Při nižších teplotách klesá příjem NO_3^- . V biologicky činných půdách dochází k rychlé nitrifikaci - přeměně NH_4^+ na NO_3^- . NO_3^- je v půdě pohyblivější a



Obr.2.2.9 – Vliv zvyšující se hladiny dusíku na růst kořene a prýtu u obilivin. (převzato z Marschner, 1995)

snadněji se dostává do rhizoféry. Příjem a využití NH_4^+ a NO_3^- ovlivňuje příjem dalších iontů. Při jednostranném příjmu NO_3^- rostlinou se zvýší příjem

kationtů hlavně K^+ , Ca^{2+} a Mg^{2+} pro udržení iontové

rovnováhy. Naopak při převažujícím příjmu NH_4^+ dojde k celkovému snížení příjmu iontů a to hlavně kationtů. Rostlina používá dusík pro tvorbu organických dusíkatých

sloučenin. NH_4^+ může být okamžitě použit pro syntézu aminokyselin. NO_3^- je možné metabolicky využít až po jeho redukci na NH_4^+ . NH_4^+ je ve vyšší koncentraci pro rostlinu toxicický. Rostlina dokáže zabránit jeho hromadění rychlým metabolickým zpracováním nebo jeho uložením do vakuol (rev. Marschner, 1995).

Redukce NO_3^- probíhá ve dvou samostatných oddělených reakcích především v listech za pomocí enzymů a dostatku energie. První reakce je redukce NO_3^- na NO_2^- , katalyzována nitrátreduktázou, která přenáší dva elektrony z NADH za vzniku NO_2^- a NAD^+ a H_2O . Reakci lze popsat rovnicí: $\text{NO}_3^- + \text{NADH} + \text{H}^+ \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{NAD}^+ + \text{H}_2\text{O}$. Druhá reakce je redukce NO_2^- na NH_4^+ , katalyzována enzymem nitritreduktázou. Při redukci je spotřebováno šest elektronů. Zdrojem redukčních ekvivalentů je redukovaný ferredoxin, který přenese elektrony na nitritreduktázu, které díla putují přes Fe-S klastr a sirohem na NO_2^- . Rovnice této reakce je: $\text{NO}_2^- + 6\text{Fd}(\text{Fe}^{2+}) + 8\text{e}^- \rightarrow \text{NH}_4^+ + 6\text{Fd}(\text{Fe}^{3+}) + 2\text{H}_2\text{O}$. Následně je NH_4^+ zabudován do organických sloučenin. Je přenesen na kyselinu glutamovou za vzniku glutaminu (glutaminsyntetáza). Kyselina glutamová vzniká přenesením aminoskupiny glutaminu glutamátsyntázou na karbonyl kyseliny α -ketoglutarové za vzniku dvou molekul kyseliny glutamové. Celou redukci dusičnanů lze zapsat touto rovnicí: $\text{NO}_3^- + 8\text{e}^- + 10\text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+ + 3\text{H}_2\text{O}$. Během tohoto procesu je nutné dorovnat deficit H^+ . Část je dorovnána zabudováním NH_4^+ do aminokyselin, kdy dojde k uvolnění jednoho H^+ při zabudování jednoho NH_4^+ . Další část je dorovnaná příjemem H^+ z prostředí a nebo vyloučením OH^- do prostředí. V nadzemní části je H^+ nahrazován kyselinou jablečnou, která vzniká z cukru nebo škrobu a nebo vznikem fotosyntetickou fixací CO_2 (rev. Marschner, 1995, rev. Luštinec a Žáský, 2003, rev. Pavlová, 2005).

Nedostatečný nebo nadměrný přísun dusíku z půdy se díky transkripčním a posttranskripčním regulačním mechanismům projeví na mnoha úrovních (Crawford, 1995). Změna přísunu dusíku ovlivní metabolismus uhlíku (Kubín a Melzer, 1996), rychlosť fotosyntézy a transport látek (Peuke et al., 1998), morfologii rostliny (rev. Marschner, 1995), ontogenezi a produkci biomasy (McKenzie, 1998, rev. Vaněk et al., 2007). Deficientní rostliny jsou ve srovnání s kontrolními rostlinami obvykle nižší, slabší, mají menší produkci biomasy, kratší vegetační dobu, rychleji dozrávají a mají nižší výnos a kvalitu produkce. U deficientních rostlin také pozorujeme chlorózy (žloutnutí) listů a zrychlenou senescenci starších listů (rev. Bennett, 1993, rev. Vaněk et al., 2007).

Nadbytek dusíku je méně častý jev a každá rostlina ho snáší jinak. Projevem nadbytku je většinou latentní forma. Kořeny se méně větví. To má za následek snížení absorpční plochy. Rostliny jsou vyššího vzrůstu, jsou sytě zelené, bohatě olistěné, mají delší dobu dozrávání a nižší pevnost mechanických pletiv. U citlivých druhů může dojít k akumulaci dusíku ve formě NH_4^+ , který může být pro rostlinu toxicí a může způsobit odumírání jednotlivých rostlinných částí (rev. Bennett, 1993, rev. Vaněk et al., 2007).

2.2.2.5 Fosfor

Druhou nejčastěji limitující živinou v půdě je po dusíku fosfor. Převážná část fosforu v půdě je vázána v komplexech pro rostlinu nedostupných. V půdě se vyskytuje v organických sloučeninách i v minerální formě. Minerální formy fosforu jsou v půdě zastoupeny primárními fosforečnanovými minerály – apatity a sekundárně vysrážené a adsorbované fosforečnany – CaHPO_4 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Dostupnost fosforu pro rostliny závisí na pH půdy, přítomnosti dalších iontů hliníku, železa a vápníku v půdě. V kyselých půdách dominují těžce rozpustné fosforečnany hliníku, železa a mangani (Sanchez a Uehara, 1980). V alkalických půdách se vyskytuje nerozpustný fosforečnan vápenatý. Z minerálních vápenatých sloučenin fosforu je za optimálních podmínek fosfor postupně uvolňován do půdního roztoku (rev. Luštinec a Žárský, 2003, rev. Vaněk et al., 2007).

Tento důležitý makoprvek představuje 0,05 až 0,50% suché hmotnosti rostliny. Fosfor má v rostlinách jednak funkce strukturní (je např. součástí fosfolipidů a nukleových kyselin) a jednak mají velký význam jeho funkce v přenosu energie a v regulačních funkcích (je součástí fosfátových esterů, energeticky bohatých fosfátů). Je důležitým komponentem řady důležitých procesů jako je fotosyntéza, respirace, elektronový transport v oxidačně redukčních reakcích, přenos energie v buňce, syntéza a stabilizace membrány, aktivace a inaktivace řady enzymů, fixace vzdušného dusíku a je komponentem řady důležitých molekul a makromolekul jako je ATP a nukleové kyseliny (Schachtman et al., 1998) a podílí se na přenosu signálu v kinázových kaskádách (rev. Buchenan et al., 2000).

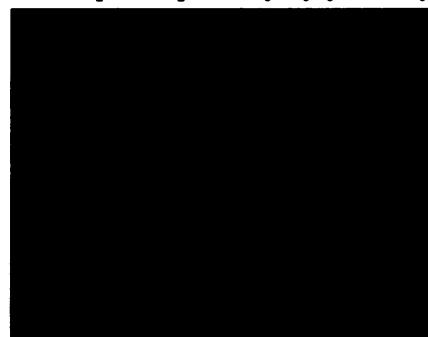
Fosfor je přijímán rostlinou ve formě aniontů H_2PO_4^- a HPO_4^{2-} . Při pH půdy nižším než 7,2 převládá příjem H_2PO_4^- , při pH vyšším než 7,2 převládá příjem HPO_4^{2-} (Tisdale et al., 1985). Jeho koncentrace v půdním roztoku je obvykle nižší než 1 μM a je záhy odčerpána (Schachtman, et al., 1998). Tato vlastnost způsobí vytvoření

vyčerpané zóny v nejbližším okolí kořenů, proto je fosfor limitujícím prvkem, který silně ovlivňuje rozvoj kořenového systému (rev. Marschner, 1995).

Rostlina během evoluce vytvořila řadu mechanismů, které zajistí dostatečný příjem fosforu. Příkladem je stimulace růstu kořenových vlásků (vyšší hustota a délka), tvorby mykorrhizy, která zvyšuje především příjem fosforu, vylučování organických kyselin a protonů do rhizosféry za účelem solibilizace fosforu, vylučování kyselých fosfatáz pro uvolnění organicky vázaného fosforu a zvýšení vysokoafinitního transportního systému na plazmalemě buňky (Vance et al., 2002, rev. Raghorthama, 1999). Některé rostlinné druhy čeledi Proteacea, jako např. Hakea nebo Banksia, jsou v reakci na nedostatek fosforu také schopny tvořit specifické struktury - kořenové klastry (tvoří se i při nedostatku železa a zinku). Tyto kartáčkovité struktury vznikají intenzivním větvením laterálních kořenů druhého řádu a jejich hlavní funkce je sekretorická - vylučují velké množství protonů a organických kyselin a napomáhají solubilizaci fosfátů (Shishkova, 2007, rev. Raghorthama, 1999).

Fosfáty jsou přijímané aktivním procesem skrze přenašeče. Většina těchto transportních proteinů je lokalizována v rhizodermis. Pro transport jedné molekuly fosfátu do rostlinné buňky je potřeba energie 25-40 kJ. Transportní proteiny byly určeny prozatím jen dva, PT1 a PT2 (phosphate transporter). Příjem fosforu je řízen hladinou fosforu v cytosolu (rev. Rausch a Bucher, 2002, rev. Buchanan et al., 2000). Přijatý fosfor se může v rostlině vyskytovat jako volný anorganický iont (P_i) nebo je vázaný do organických sloučenin. V rostlině je volný ýnebo vázaný (nukleové kyseliny, fosfolipidy), je asimilován v kořeni i v nadzemní části, a ve velkém množství ukládán do vakuoly (rev. Pavlová, 2005).

Toxicita fosforu je u rostlin málo častá a. projeví se až při obsahu fosforu vyšším než 1% suché hmotnosti rostliny. Z důvodu malé dostupnosti fosforu se častěji vyskytuje deficience. Nedostatek fosforu se projeví na celé rostlině. Deficientní rostlina ve srovnání s kontrolní rostlinou má nižší prýt a delší kořeny, tedy zvýší se poměr R:S, tj. poměr sušiny nadzemní části ku hmotnosti sušiny kořene. Dále se vyskytují listové malformace, tvoří se nižší počet listů, dochází ke snížení rychlosti fotosyntézy, omezení tvorby reprodukčních orgánů a ke zpoždění zakládání květů. Listy mají tmavě zelenou



Obr.2.2.10 – Antokyanové zabarvení listu jahodníku (převzato z Buchanan et al., 2007)

barvu a často barva listů přechází do typického červeného až fialového zabarvení (Obr.2.2.10), které je způsobeno vyšší tvorbou antokyanů (rev. Vaněk et al., 2007, rev. Bennett, 1993), což je jeden z makroskopických ukazatelů deficience fosforu..

2.2.2.6 Železo

V půdě je dostatek železa, ale jeho dostupnost pro rostliny je ovlivněna vlastnostmi půdy. Dobře provzdušněné půdy obsahují převážně špatně rozpustné kationty Fe^{3+} . Pro rostliny jsou daleko dostupnější redukovaná forma Fe^{2+} . Pro dostupnost tohoto prvku je důležité také pH půdy. Deficience fosforu lze často pozorovat obvykle v dobře provzdušněných půdách a půdách s vyšším pH (rev. Vaněk et al., 2007). Rostliny si během evoluce vytvořily několik strategií pro mobilizaci železa. U rostlin travního typu dochází k vylučování fytosideroforů (neproteinogenních aminokyselin), které chelatují Fe^{3+} v rhizosféře a komplex fytosiderofor- Fe^{3+} je přijímán rostlinou. U dvouděložných a jednoděložných rostlin netravního typu je Fe^{3+} redukováno přímo v rhizosféře na Fe^{2+} činností Fe^{3+} reduktázy přítomné na plazmalemě kořenových buněk. Solubilizaci napomáhá také aktivita protonové pumpy vedoucí k okyselování rhizosféry. Dochází k akumulaci redukované formy Fe^{2+} a jejímu přímu pomocí specifického transportéru (gen *IRT1*) (rev. Schmidt, 2003).

V rostlině je železo organicky vázáno a valná většina železa v rostlině je lokalizována v chloroplastech a mitochondriích. Transport po rostlině je omezený. Z kořenů do prýtu je Fe^{3+} v komplexu s citrátém transportován xylémem (Curie a Briat,



Obr.2.2.11 – Detail symptomů nedostatku železa na listech kukuřice. (převzato z Vaněk et al., 2007)

2003). Redistribuce ze starších částí rostlin do mladších částí neprobíhá. Železo může být v rostlině uloženo ve stromatu plastidů ve formě fytoferritinu (rev. Briat a Lobreaux, 1997).

Železo má v rostlině mnoho důležitých rolí souvisejících s přenosem redukčních ekvivalentů v oxido-redukčních reakcích. Má klíčovou roli při respiraci,

fotosyntéze, DNA syntéze, fixaci dusíku a produkci hormonů (Vert et al., 2002).

Většina našich půd obsahuje dostatečné množství železa pro rostliny. Nedostatek železa se projevuje v hydroponiích a na půdách karbonátových nebo s vysokým obsahem mědi. Nedostatek železa se projevuje při obsahu méně než 50 µg/g suché hmotnosti charakteristickou chlorózou především v apikálních částech rostliny. Chloróza zasahuje celou plochu listu, ale nejvýrazněji oblasti mezi žilnatinou (Obr.2.2.8) (rev. Bennett, 1993, rev. Vaněk et al., 2007). Nedostatek železa inhibuje vývoj chloroplastů, snižuje rychlosť růstu kořenů. Rostlina odpovídá na nedostatek stimulací rozvoje kořenových vlásků, aktivací H^+ ATPázy v plazmatické membráně rhizodermis a zvýšením transportu protonů a organických kyselin do okolí kořene, které způsobí lokální okyselení. Vyloučené organické kyseliny navíc působí jako chelátory, které mají schopnost navázat železitý kationt v chelátech. Některé rostliny během nedostatku železa vytvářejí speciální kořeny, tzv. protonoidní kořeny, které zvyšují příjem železa (rev. Pavlová, 2005, rev. Schmidt, 2003).

Po zvrácení příznaků chlorózy je možné aplikovat Fe na list - tzv. mimokořenové hnojení. Fe citrát nebo speciální hnojiva, jako jsou fytovit, ferrovit, Tenso-Fe a další, jsou použita na pravidelné postříky v obvyklé koncentraci 0,1-0,2% (rev. Vaněk et al., 2007).

Nadbytek železa se může projevovat na kyselých půdách nebo půdách s vysokou rozpustností železa (např. zaplavených půdách). Nadbytek železa může na rostlinu působit až toxicky. Toxicita se projevuje při obsahu vyšším 500 µg/g suché hmotnosti. Dochází k poškození chloroplastů. Listy získávají bronzový odstín. (rev. Vaněk et al., 2007, rev. Pavlová, 2005, rev. Bennett, 1993)

2.2.3 Techniky pro studium minerální výživy

Zjištění důležitosti prvků pro růst a vývoj rostlin zaujala už několik vědců v 19. století. Prvními průkopníky byl De Saussure, Sachs, Boussingault a Knop. Pro studium této otázky nechali rostliny růst v živných roztocích obsahujících anorganické soli. Těmito pokusy dokázali, že rostlina může růst bez půdy a organických látek a že potřebuje pro svůj růst a vývoj světlo a anorganické látky. Pro demonstraci, zda je daný prvek esenciální pro růst rostlin, musí být rostlina kultivována v mediu, kde je konkrétní prvek vyneschán.

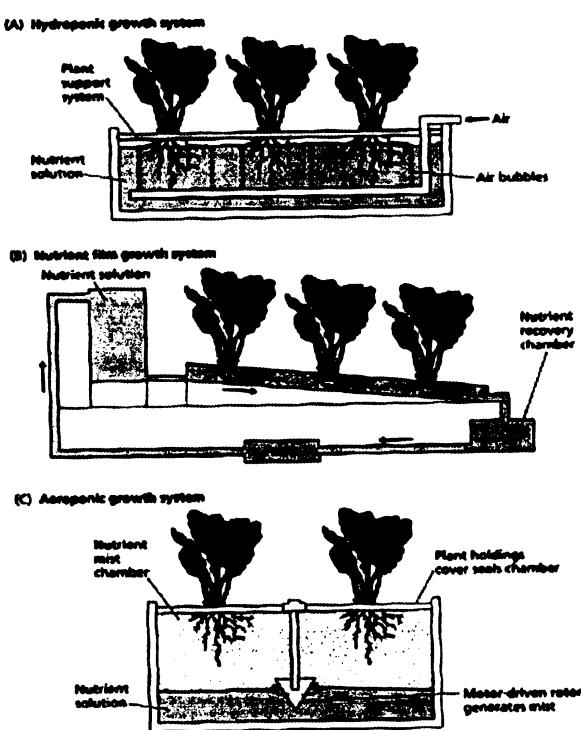
Navození deficience jen jednoho prvku v komplexním médiu jako je půda je velmi obtížné. Dalším úskalím kultivace rostlin v půdě je problém s viry a jinými

bakteriálními či houbovými nemocemi. Pro navození deficience jen jednoho prvku, která se projeví charakteristickými symptomy, se osvědčila hydroponie.

Hydroponie je kultivace rostlin v živném roztoku. Pro úspěšnou kultivaci je potřeba dostatečné množství roztoku nebo jeho častá úprava, popřípadě výměna a zásobování kořenového systému kyslíkem pomocí probublávání média. Existuje několik druhů hydroponie. Klasická hydroponie (Obr.2.2.12.A), která byla použita i pro

Obr.2.2.12 – Druhy hydroponické kultivace rostlin.
A) klasická hydroponie, B) „modifikovaná hydroponie“, C) aeroponie. (převzato z Arnon a Stout, 1939)

vypracování této diplomové práce je založena na dostatečném



množství média a kontinuálním provzdušňování. Jedna z forem komerčních hydroponií používá písek nebo štěrk jako podpěrný materiál, kterým protéká živný roztok. V jiném typu hydroponie kořeny leží na povrchu, přes který teče živné médium (Obr.2.2.12.B). Výhodou této kultivace je dostatečné zásobování kořenů kyslíkem. Jednou ze zajímavých alternativních kultivací je aerolinie (Obr.2.2.12.C). Během kultivace jsou rostliny včetně kořenů zavřeny ve vzduchu a minerální roztok je kontinuálně rozprašován do kořenového prostoru. Živný roztok musí v tomto případě obsahovat vyšší hladinu minerálních látek než roztok pro hydroponii. Výhodou této kultivace je snadná manipulace s plyny v okolí kořenů. (rev. Marschner, 1995, Arnon a Stout, 1939)

množství média a kontinuálním provzdušňování. Jedna z forem komerčních hydroponií používá písek nebo štěrk jako podpěrný materiál, kterým protéká živný roztok. V jiném typu hydroponie kořeny leží na povrchu, přes který teče živné médium (Obr.2.2.12.B). Výhodou této kultivace je dostatečné zásobování kořenů kyslíkem. Jednou ze zajímavých alternativních kultivací je aerolinie (Obr.2.2.12.C). Během kultivace jsou rostliny včetně kořenů zavřeny ve vzduchu a minerální

2.2.4 Minerální výživa v učivu na gymnáziích a středních odborných školách

Minerální výživa spadá podle Rámkového vzdělávacího programu pro gymnázia (RVP G) do vzdělávací oblasti Člověk a příroda, do oboru Biologie a vzdělávacího obsahu Biologie rostlin. Od 1.9. 2009 vstupuje výuka podle RVP G v platnost a školy budou vyučovat na základě svých Školních vzdělávacích programů (ŠVP) vytvořených

v souladu s RVP G. Výuka jednotlivých oborů na gymnáziu, tedy i biologie, nebude jednotná, každá škola bude mít ve své kompetenci probírat jednotlivé biologické celky v různých ročnících a s různou časovou dotací. Podmínkou je pouze splnění očekávaných výstupů formulovaných v RVP.

Z hlediska využívání učebnic obsahujících téma minerální výživy jsou na gymnáziu nejčastěji používány učebnice Biologie rostlin pro gymnázia, Kincl et al. (2000), Biologie pro gymnázia, Jelínek a Zicháček (1999) a Botanika, Kubát et al. (1998). Na středních odborných školách se nejčastěji používá učebnice Biologie pro střední odborné školy 1. a 2.díl., Bumerl et al. (1997) (Lustigová a Čížková, 2009). Podrobná analýza těchto učebnic ve vztahu k tématu práce je uvedena v kapitole výsledky.

3 Materiál a metodika

3.1 Experimentální část

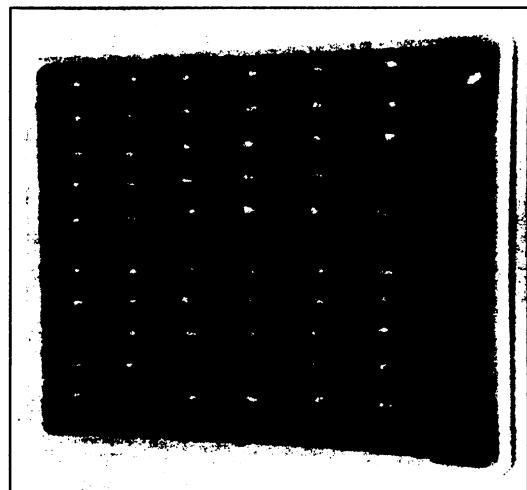
3.1.1 Rostlinný materiál

Jako rostlinný materiál byla použita kukuřice setá, *Zea mays*, kultivar Cefran, Oseva Bzenec.

3.1.2 Kultivace rostlin

a) sterilizace a klíčení

Obilky byly ponořeny na 10 minut do vody o teplotě přibližně 70° C a následně po dobu 15 minut sterilizovány ve 20% SAVU (modifikován postup Stehlíkové, (2005)). Po sterilizaci byly obilky rovnoměrně rozprostřeny s 2 cm rozestupy na misku s perlitem nasyceným vodou (Obr.3.1.1). Pro zvýšení vzdušné vlhkosti byla miska přikryta neprůhledným víkem a obilky ponechány klíčit po dobu 4-5 dnů při pokojové teplotě. Po 4-5 dnech klíčení měly obilky klíček dlouhý přibližně 2-3 cm a byly připraveny k zasazení.



Obr.3.1.1 – Klíčení obilek kukuřice (foto Dr. Daněk, Katedra fyziologie rostlin, PřF UK)

b) typ kultivace a kultivační podmínky

Naklíčené obilky byly vysazeny do kultivačních nádob. Jako kultivační nádoby byla zvolena skleněná pětilitrová akvária s neprůhlednými skly, které zabránily průniku



Obr.3.1.2 – Osázení kultivační nádoby

světla ke kořenům. Přístupu světla shora bylo zabráněno přikrytím alabalovou folií s otvory pouze pro vysazení naklíčených obilek (Obr.3.1.2). V jedné nádobě bylo kultivováno vždy deset rostlin.

Nádoby byly před začátkem

experimentu dezinfikovány (SAVO). Rostliny byly kultivovány v živném roztoku Hoagland 3 s mikroelementy, zředěném na $\frac{1}{4}$. Živné roztoky pro navození jednotlivých deficiencí byly připraveny dle tabulky (Tab.3.1.1). Pro přípravu byla použita destilovaná voda. Obsah mikroprvků se mezi jednotlivými variantami nelišil. Vypařující se roztok byl denně doléván destilovanou vodou.

Tab.3.1.1. – Složení kultivačních roztoků pro jednotlivé deficiece. Tab.A – makroelementy (mg/l) – složení odpovídá následující koncentraci makroprvků: 3,75 mM N; 0,25 mM P; 1,25 mM Ca; 0,25 mM Mg; 1,5 mM K; 0,01 mM Fe, Tab.B – mikroelementy (μg/l)

Tab.A

Makroelementy	Kontrola	def. N	def. Fe	def. Ca	def. Mg	def. K	def. P
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	295,5	0	295,5	0	295,5	442,7	295,5
KNO ₃	126,5	0	126,5	379	126,5	0	126,5
KH ₂ PO ₄	34	34	34	34	34	0	0
MgSO ₄ · 7H ₂ O	61,4	61,4	61,4	61,4	0	61,4	61,4
Fe citrát	2,5	2,5	0	2,5	2,5	2,5	2,5
CaCl ₂ · H ₂ O	0	273,9	0	0	0	0	0
K ₂ SO ₄	0	108,8	0	0	43,4	0	21,8
NaH ₂ PO ₄ · 2H ₂ O	0	0	0	0	0	38,7	0

Tab.B

Mikroelementy	Obsah (μg/l)
H ₃ BO ₄	3,575
MnCl ₂	22,5
ZnSO ₄	0,375
(NH ₄) ₂ Mo ₇ O ₂₄	0,175
CuSO ₄	0,1

Kultivace probíhala nejdříve v kultivační místnosti s konstantními podmínkami. Délka světelné periody byla 16 hodin s osvětlením 435 W.m⁻² a teplotou 25° C. Relativní vzdušná vlhkost byla udržována mezi 50 - 60%. Během temné periody trvající 8 hodin klesla teplota na 18° C. Jako vhodná délka kultivace se ukázalo 14-16 dní. Po této době se projevily symptomy deficiencí jednotlivých prvků. Vzhledem k hlavnímu cíli práce (zařazení experimentů do výuky středních škol) probíhaly následující experimenty při pokojové teplotě na světlém místě na okenním parapetu. Po

14-16 dnech kultivace byly rostliny odebrány z akvárií a nebo z pet lahví a dále zpracovány.

V experimentu, který ukazoval možnost přijímat minerální výživu listy, byly rostliny po navození chlorózy v důsledku nedostatku železa (po 14-16 dnech) stříkány na list připraveným roztokem citrátu železitého po dobu 7-10 dnů. Po této době došlo ke zvrácení příznaku, tj. k obnovení zeleného zbarvení původně chlorotických rostlin.

3.1.3 Experimentální usporádání

Pokus obsahoval vždy kontrolní rostliny pěstované v kompletním živném roztoku se všemi makroelementy a mikroelementy. Za stejných světelných a teplotních podmínek byly pěstovány varianty navozující deficienci dusíku, vápníku, železa, hořčíku, draslíku a fosforu (Tab.3.1.2.1). Celý experiment byl opakován 3x. U všech rostlin jednotlivých variant byla změřena délka kořene, délka prýtu a určen jejich poměr. Dále byla stanovena čerstvá a suchá hmotnost celé rostliny po usušení při 70°C, poměr suché hmotnosti kořene a prýtu. Pro dokumentaci celkového vzhledu rostlin byl použit fotoaparát Canon 300D.

3.1.4 Statistické zpracování

Ke statistickému hodnocení dat byl použit program NCSS 1997. U všech morfometrických dat bylo testování nulových hypotéz provedeno dvouvýběrovým T-testem. Tento test byl použit pro analýzu všech měřených dat. Test T-test byl nastaven na hladinu významnosti $\alpha = 0,05$. Při grafickém znázornění dat byla chybovými úsečkami znázorněna směrodatná odchylka.

3.2 Didaktická část

3.2.1 Analýza učebnic

Pro analýzu učebnic byly vybrány nejpoužívanější učebnice na gymnáziích a odborných středních školách obsahující téma minerální výživa rostlin (Bumerl et al., 1997, Kubát et al., 1998, Jelínek a Zicháček, 1999, Kincl et al., 2000). Učebnice byly srovnávány z hlediska obsahu a rozsahu učiva, terminologie, zařazení obrazového a tabelárního materiálu a z hlediska zastoupení námětů pro praktická cvičení.

3.2.2 Klíč k určování k jednotlivým deficiencím prvků

Pro ověřené experimenty byl vypracován klíč pro určení chybějících prvků. Klíč byl vytvořen na základě typických odlišností v morfologii nebo zbarvení, kterými se deficientní rostliny v průběhu experimentů lišily od kontrolních rostlin. Klíč pro určování nedostatku prvků byl vytvořen v programu PowerPoint.

3.2.3 Ověřování protokolů a PowerPointového klíče

Ověřování protokolů a PowerPointového klíče bylo zprostředkováno pomocí sdružení TEREZA v sedmi pilotních školách zapojených do projektu GLOBE a probíhalo dvěma způsoby. Prvním byly výjezdy na pilotní školy GLOBE a semináře GLOBE na PřF UK, kde bylo možno vyzkoušet PowerPointový klíč a přímo diskutovat s učiteli a studenty o problémech vyskytující se během realizace experimentů na školách. Druhý způsob spočíval v dotazníkovém šetření zaměřeném na srozumitelnost protokolů a na využitelnost PowerPointového klíče. Sestaveny byly dva typy dotazníků. Jeden zjišťoval materiální zajištění škol pro experimentální výuku v biologii a druhý byl zaměřen na průběh a obtížnost jednotlivých kroků v navržených pokusech.

Dotazník – vybavenost na školách obsahuje devět otázek. Osm otázek je uzavřených a jedna otázka je otevřená. **Dotazník - protokoly: Minerální výživa a mimokořenové hnojení** obsahuje sedm otázek. Šest otázek je uzavřených a jedna otázka je rozdělena na dvě části. Škálovací pro ohodnocení jednotlivých částí protokolu a druhá část má zjistit subjektivní názor učitelů a studentů na srozumitelnost protokolů a proveditelnost jednotlivých částí pokusu podle protokolů.

Dotazníky – viz Přílohy, kap. 8., viz níže očíslované podkapitoly:

8.2. Dotazníky

8.2.1 **Dotazník - vybavenost Na školách**

8.2.2 **Dotazník – protokoly: Minerální výživa a mimokořenové hnojení, klíč k určování deficience minerálních prvků**

4 Výsledky

4.1 Experimentální část

4.1.1 Testované pokusy

Na základě typických projevů některých prvků na zdravý růst a vývoj rostliny, které jsou patrné již na první pohled a zároveň mají rozdílný vizuální projev na rostlinu, bylo pro pokusy vybráno šest prvků – dusík, fosfor, hořčík, vápník, železo a draslík.

Bylo snahou navodit nedostatek všech vybraných prvků u kukuřice a pšenice, aby bylo možné zhodnotit a porovnat vlivy minerálních živin u C3 a C4 rostlin.

U pšenice se nezdařilo navodit nedostatek všech vybraných prvků. Deficientní rostliny vykazovaly o něco horší růst než kontroly, ale typické symptomy daných prvků se projevily pouze u rostlin s nedostatkem draslíku. Výsledky těchto pokusů nejsou uvedeny.

Kukuřice se ukázala být spolehlivá při navozování nedostatku minerálních prvků, proto byly na tyto pokusy vytvořeny výukové materiály.

Pro demonstraci mimokořenového hnojení byla vybrána kukuřice. Během 10-denního postřiku listů Fe deficientní rostliny došlo k zezelenání původně chlorotických listů. Pro tento pokus byl vytvořen výukový materiál.

4.1.2 Vliv vybraných prvků na růst a vývoj rostlin

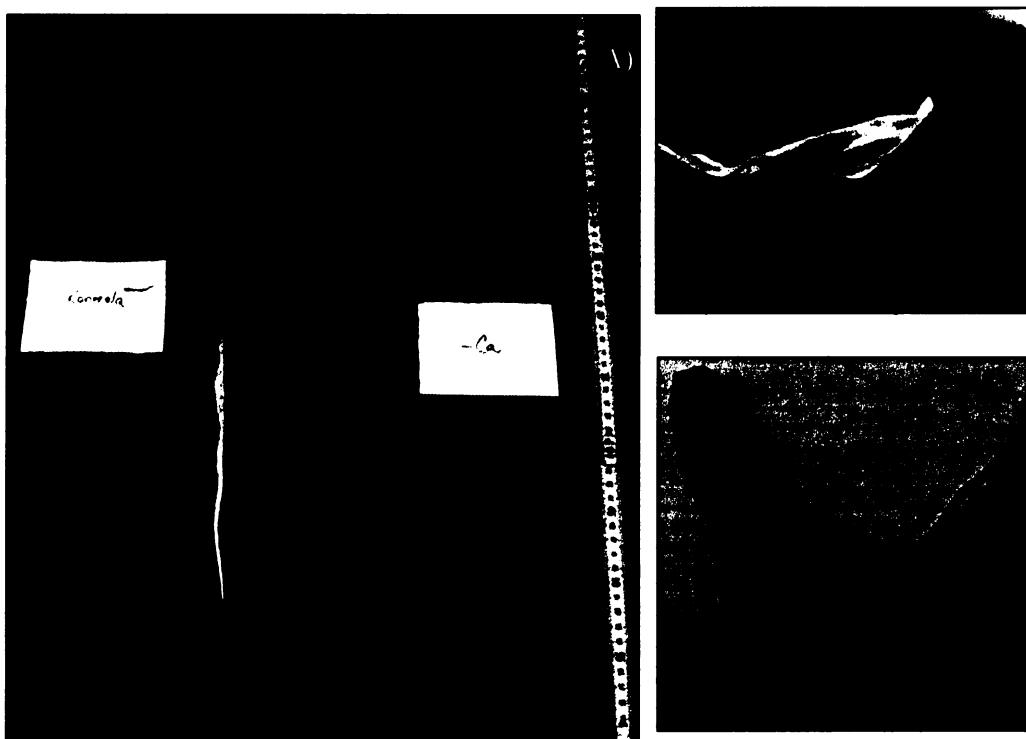
Pro finální pokusy a následně pro přípravu protokolů byly vybrány pokusy navozující nedostatek dusíku, fosforu, železa, vápníku, hořčíku a draslíku u kukuřice seté. Během ověřovací fáze (3-4 opakování) se ukázaly celoročně spolehlivé pokusy, které navozovaly nedostatek dusíku, železa a vápníku. Typické symptomy nedostatku zbylých prvků se projevovaly sezóně a to jen v období od dubna do července.

Všechny grafy v této kapitole znázorňují průměrné hodnoty všech naměřených dat u 3 opakování. Jen v podkapitole 4.1.2.1 Nedostatek vápníku jsou uvedeny grafy všech 3 opakování.

4.1.2.1 Nedostatek vápníku

Po 14 dnech kultivace byly zjištěny morfologické změny mezi kontrolní rostlinou a Ca deficientní rostlinou. Vizuálními projevy nedostatku vápníku byly snížená produkce biomasy (Tab.4.1.1, Graf 4.1.1), rostliny byly výrazně menší ve srovnání

s kontrolou (Obr.4.1.1.A), zasychání koncových částí listů (Obr.4.1.1.B) a bylo patrné zasychání a tvarové deformace apikální části rostliny (obr.4.1.1.C).



Obr.4.1.1 – Ca deficentní rostlina. A) porovnání Ca deficentní rostliny s kontrolou, B) zasychání koncových částí C) zasychání a tvarové deformace apikální části rostliny.

Tab.4.1.1 - Biometrické charakteristiky kontroly a Ca deficentní rostliny (uvezeny průměrné hodnoty a směrosatná odchylka SD). ČH – čerstvá hmotnost, SH – suchá hmotnost A)
I.opakování, B) II.opakování, C) III.opakování

A) I. Opakování (7 rostlin)

	kontrola	deficience vápníku
ČH prýtu [g]	$3,2318 \pm 0,4708$	$0,3478 \pm 0,1645$
ČH kořene [g]	$0,5802 \pm 0,0367$	$0,2030 \pm 0,0325$
ČH rostliny [g]	$3,8120 \pm 0,2856$	$0,5558 \pm 0,4336$
ČH R/S	$0,1795 \pm 0,1251$	$0,6558 \pm 0,2551$
SH prýtu [g]	$0,3195 \pm 0,0283$	$0,0511 \pm 0,0159$
SH kořene [g]	$0,0382 \pm 0,0241$	$0,0196 \pm 0,0225$
SH rostliny [g]	$0,3580 \pm 0,0377$	$0,0899 \pm 0,0377$
SH R/S	$0,1211 \pm 0,0830$	$0,4581 \pm 0,2320$
poměr R/S	$1,1953 \pm 0,0850$	$3,0799 \pm 0,0831$

B) II.opakování (6 rostlin)

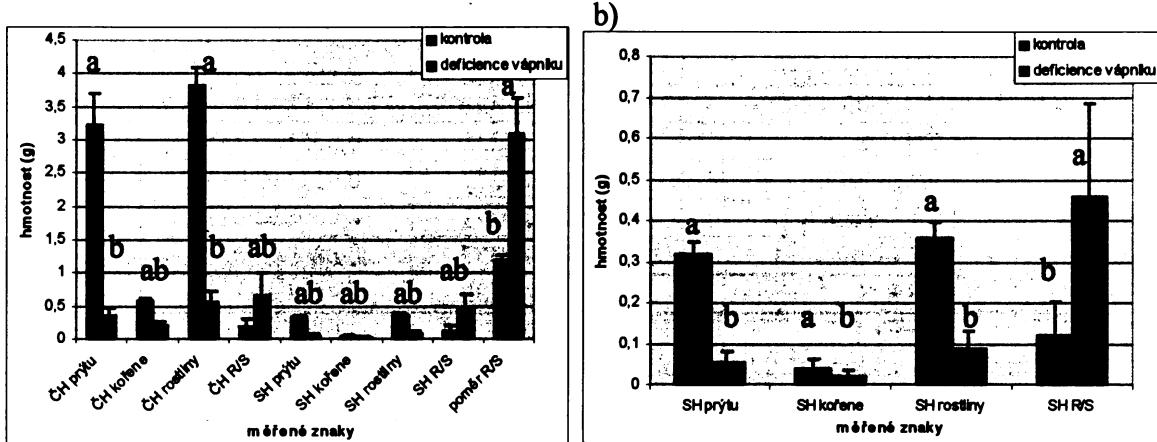
	kontrola	Deficience vápníku
ČH prýtu [g]	2,4279± 0,3351	0,4591±0,0433
ČH kořene [g]	0,5056±0,1070	0,2579±0,0503
ČH rostliny [g]	2,9335±0,4381	0,7170±0,0820
ČH R/S	0,2082±0,0276	0,5609±0,0964
SH prýtu [g]	0,2081±0,0241	0,0418±0,0044
SH kořene [g]	0,0333±0,0062	0,0174±0,0022
SH rostliny [g]	0,2414±0,0301	0,0593±0,0056
SH R/S	0,1599±0,0179	0,4185±0,0540
poměr R/S	0,9861±0,0850	2,8523 ±0,5623

C) III.opakování (6 rostlin)

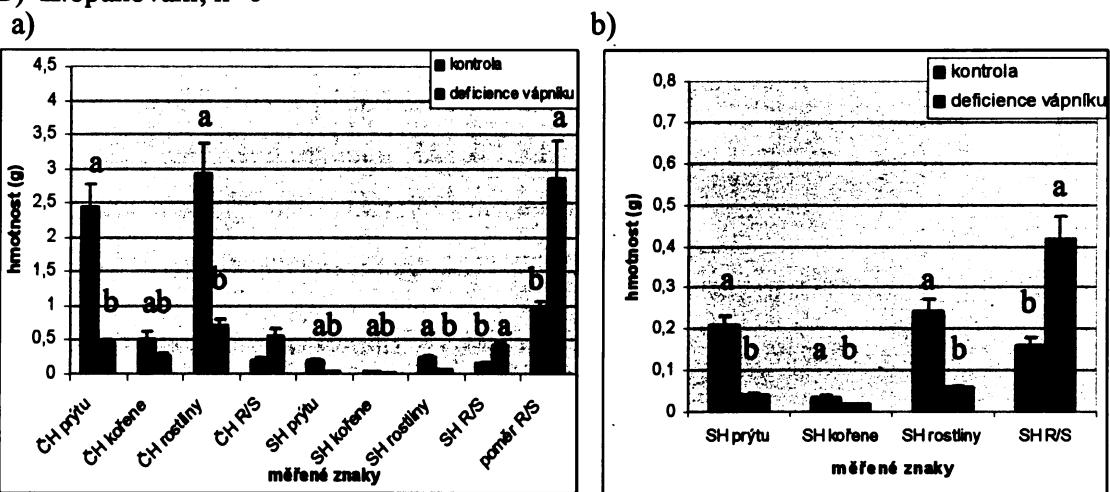
	kontrola	deficience vápníku
ČH prýtu [g]	5,2812±1,3174	0,7535±0,3295
ČH kořene [g]	0,7395±0,2062	0,5390±0,2478
ČH rostliny [g]	6,0208±1,4753	1,2925±0,5467
ČH R/S	0,1405±0,0236	0,7232±0,2233
SH prýtu [g]	0,4541±0,1311	0,0876±0,0303
SH kořene [g]	0,0695±0,0210	0,0383±0,0166
SH rostliny [g]	0,5236±0,1504	0,1259±0,0447
SH R/S	0,1528±0,0172	0,4376±0,1196
poměr R/S	1,2167±0,0850	2,7912±0,5623

Graf.4.1.1- Porovnání biometrických charakteristik. A) I.opakování, B) II.opakování, C) III.opakování, a) porovnání průměrných hodnot všech měřených znaků b) detailnější porovnání průměrné suché hmotnosti rostlin. Úsečky nad sloupci znázorňují směrodatnou odchylku, rozdílná písmena značí statistickou průkaznost na $\alpha=0,05$. ČH – čerstvá hmotnost, SH – suchá hmotnost.

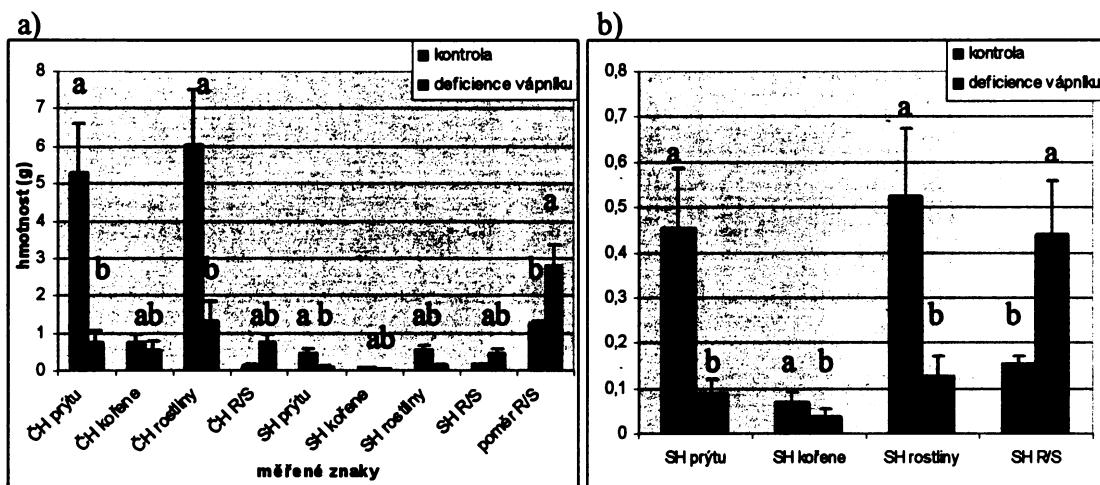
a)
A) I.opakování, n=7



B) II. opakování, n=6

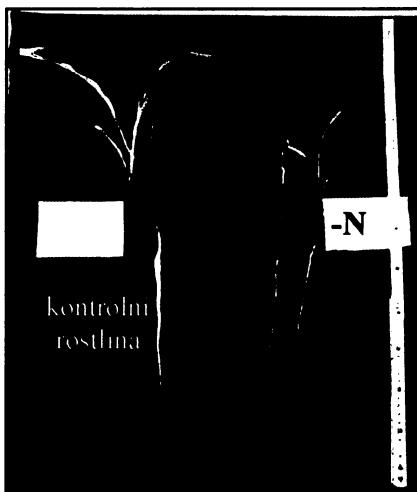


C) III. opakování, n=8



4.1.2.2 Nedostatek dusíku

Po 14 dnech kultivace byly zjištěny morfologické rozdíly mezi kontrolní rostlinou a N deficientní rostlinou (Tab.4.1.2). Vizuálním projevem deficiency byla snížená produkce biomasy (Graf 4.1.2) a částečná chloróza listů, která vedla až k zasychání listových čepelí, které přednostně postihuje nejstarší listy. Deficientní rostliny měly nadzemní část kratší ve srovnání s podzemní částí rostliny. Kořeny byly delší oproti kontrolním rostlinám (Obr.4.1.2).

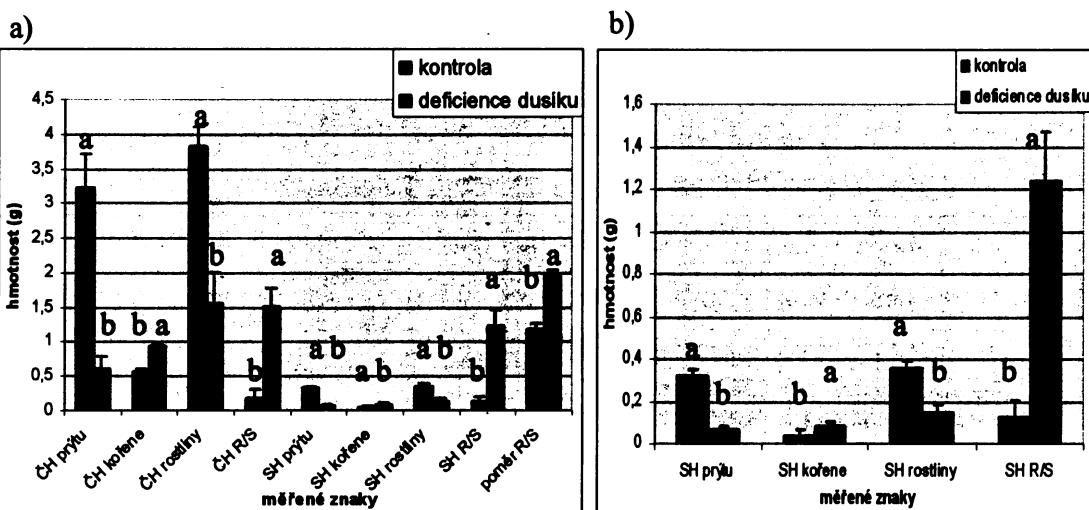


Obr.4.1.1. - Porovnání celkového vzhledu rostlin N deficientní rostliny s kontrolní rostlinou

Tab.4.1.2 - Biometrické charakteristiky kontroly a N deficientní rostliny (uvezeny průměrné hodnoty a SD). ČH – čerstvá hmotnost, SH – suchá hmotnost, n=21.

	kontrola	deficience dusíku
ČH prýtu [g]	3,2318±0,4708	0,6211±0,4771
ČH kořene [g]	0,5802±0,0367	0,9416±0,0366
ČH rostliny [g]	3,8120±0,2856	1,5627±0,2858
ČH R/S	0,1795±0,1251	1,5160±0,1251
SH prýtu [g]	0,3195±0,0283	0,0636±0,0283
SH kořene [g]	0,0382±0,0241	0,0785±0,0241
SH rostliny [g]	0,3580±0,0377	0,1420±0,0377
SH R/S	0,1211±0,0830	1,2345±0,0830
poměr R/S	1,1953±0,0850	1,9514±0,0850

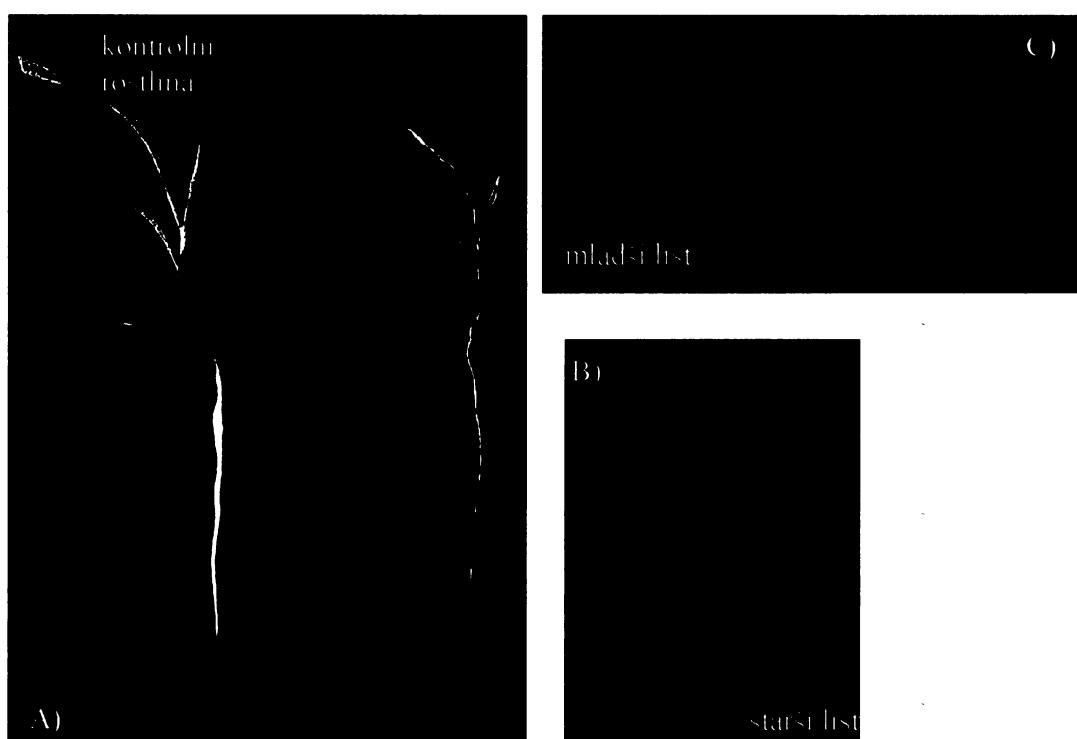
Graf.4.1.1- Porovnání biometrických charakteristik. a) porovnání průměrných hodnot všech měřených znaků, b) detailnější porovnání průměrné suché hmotnosti rostlin. n=21. Úsečky nad sloupcem znázorňují směrodatnou odchylku, rozdílná písmena značí statistickou průkaznost na $\alpha=0,05$. ČH – čerstvá hmotnost, SH – suchá hmotnost.



4.1.2.3 Nedostatek hořčíku

Po 14-ti denní kultivaci se objevily příznaky nedostatku hořčíku. Rostliny s nedostatkem hořčíku vykazovaly na první pohled, v porovnání s kontrolními rostlinami, menší vzrůst (Obr.4.1.3.A) a výskyt chlorózy, která postihovala především oblasti mezi listovou žilnatinou (Obr.4.1.3.B). V pozdější fázi chlorotické oblasti mezi žilkami zasychaly (Obr.4.1.3.C). Při porovnání čerstvé a suché hmotnosti byla zjištěna u deficentních rostlin snížená produkce biomasy (Tab.4.1.3, Graf 4.1.3).

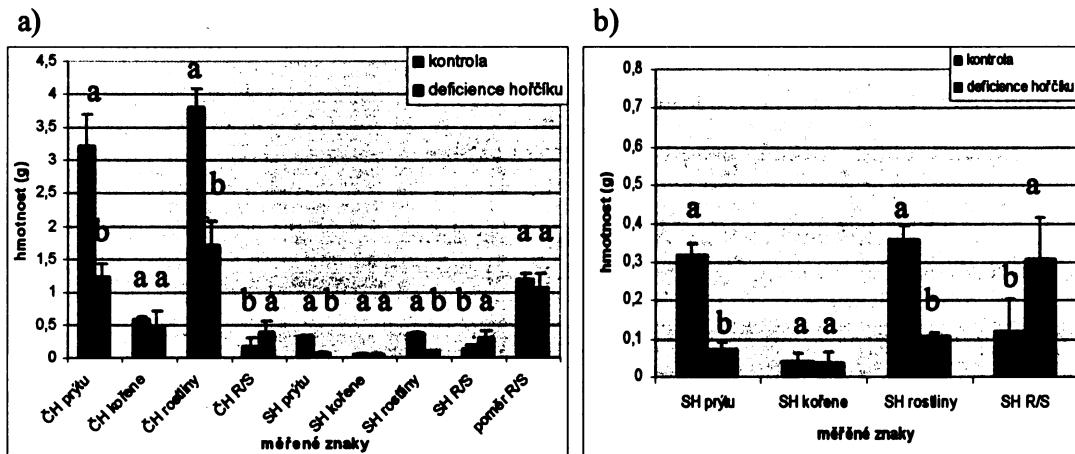
Obr.4.1.3 – Mg deficientní rostlina. A) porovnání Mg deficientní rostliny s kontrolou, B) intervenozní chloróza listu, C) zasychání chlorotické oblasti listu.



Tab.4.1.3. - Biometrické charakteristiky kontroly a N deficientní rostliny (uvezeny průměrné hodnoty a SD). ČH – čerstvá hmotnost, SH – suchá hmotnost, n=23.

	kontrola	deficience hořčíku
ČH prýtu [g]	3,2318±0,4708	1,2321±0,1994
ČH kořene [g]	0,5802±0,0367	0,4861±0,2292
ČH rostliny [g]	3,8120±0,2856	1,7182±0,3533
ČH R/S	0,1795±0,1251	0,3936±0,1633
SH prýtu [g]	0,3195±0,0283	0,0713±0,0189
SH kořene [g]	0,0382±0,0241	0,0381±0,0274
SH rostliny [g]	0,3580±0,0377	0,1077±0,0096
SH R/S	0,1211±0,0830	0,3075±0,1091
poměr R/S	1,1953±0,0850	1,0638±0,2130

Graf 4.1.3 - Porovnání biometrických charakteristik. a) porovnání průměrných hodnot všech měřených znaků, b) detailnější porovnání průměrné suché hmotnosti rostlin. n=23. Úsečky nad sloupci znázorňují směrodatnou odchylku, rozdílná písmena značí statistickou průkaznost na $\alpha=0,05$. ČH – čerstvá hmotnost, SH – suchá hmotnost.



4.1.2.4 Nedostatek železa

Po 16 dnech kultivace byly pozorovány symptomy nedostatku železa. Rostlina s nedostatkem železa se od kontrolní rostliny výrazně neodlišovaly velikostí ani tvarem, ale Fe deficientní rostliny nebyly tak statné jako kontrolní (Obr.4.1.4.A). Hlavními vizuálními znaky byla snížená produkce biomasy (Tab.4.1.4, Graf 4.1.4) a výskyt výrazné chlorózy. Chloróza zasahovala téměř celou plochu listové čepele mladých listů, listy byly slabě pruhované (Obr.4.1.4.B).

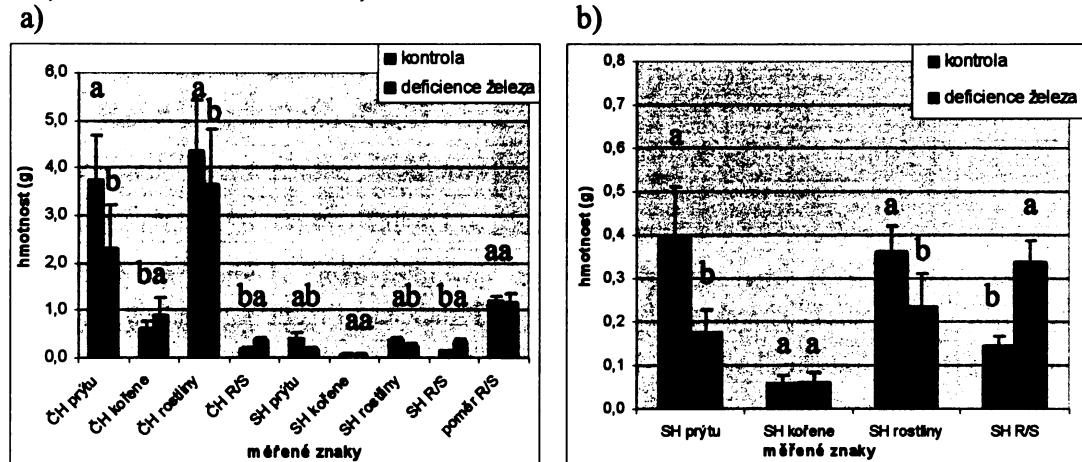
Obr.4.1.4 – Fe deficientní rostlina. A) porovnání Fe deficientní rostliny s kontrolou, B) chloróza listu u Fe deficientní rostliny



Tab.4.1.4. - Biometrické charakteristiky kontroly a Fe deficientní rostliny (uvezeny průměrné hodnoty a SD). ČH – čerstvá hmotnost, SH – suchá hmotnost, n=20.

	kontrola	deficience železa
ČH prýtu [g]	3,2318±0,4708	2,2871±0,9362
ČH kořene [g]	0,5802±0,0367	0,8905±0,3665
ČH rostliny [g]	3,8120±0,2856	3,6290±1,1821
ČH R/S	0,1795±0,1251	0,3641±0,0564
SH prýtu [g]	0,3195±0,0283	0,1743±0,0515
SH kořene [g]	0,0382±0,0241	0,0595±0,0241
SH rostliny [g]	0,3580±0,0377	0,2339±0,0745
SH R/S	0,1211±0,0830	0,3353±0,0515
poměr R/S	1,1953±0,0850	1,1597±0,1915

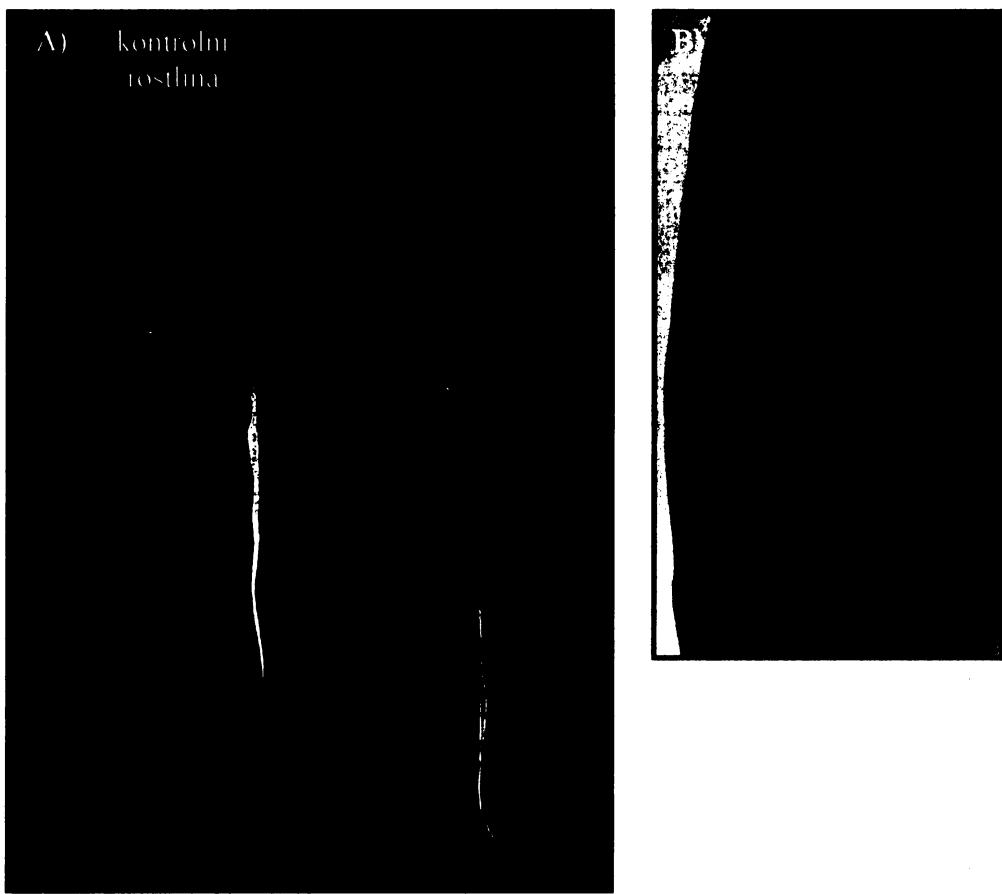
Graf 4.1.4. - Porovnání biometrických charakteristik. a) porovnání průměrných hodnot všech měřených znaků, b) detailnější porovnání průměrné suché hmotnosti rostlin. n=20. Úsečky nad sloupci znázorňují směrodatnou odchylku, rozdílná písmena značí statistickou průkaznost na $\alpha=0,05$. ČH – čerstvá hmotnost, SH – suchá hmotnost



4.1.2.5 Nedostatek fosforu

Po 16 dnech kultivace se projevily příznaky nedostatku fosforu. Ve srovnání s kontrolními rostlinami byla u deficientních rostlin zjištěna snížená produkce biomasy (Obr.4.1.5.A, Tab.4.1.5, Graf 4.1.5) a červenání, které bylo patrné především na obvodu a ve střední části listů, ale i u kořenů (Obr.4.1.5.B). Dalším pozorovaným znakem určující nedostatek fosforu byla délka kořenů. Deficientní rostliny měly delší kořeny oproti kontrolním rostlinám (Obr.4.1.5.A).

Obr.4.1.5 – P deficientní rostlina. A) porovnání P deficientní rostliny s kontrolou, B) antokyanové zabarvení listu



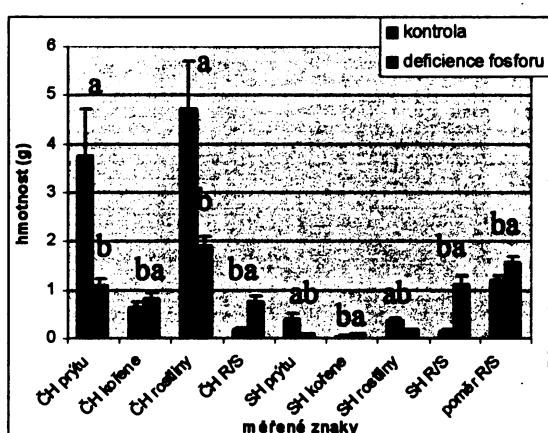
Tab.4.1.5. - Biometrické charakteristiky kontroly a P deficientní rostliny (uvedeny průměrné hodnoty a SD). ČH – čerstvá hmotnost, SH – suchá hmotnost

	kontrola	deficience fosforu
ČH prýtu [g]	$3,2318 \pm 0,4708$	$1,0816 \pm 0,1409$
ČH kořene [g]	$0,5802 \pm 0,0367$	$0,8004 \pm 0,1281$
ČH rostliny [g]	$3,8120 \pm 0,2856$	$1,8820 \pm 0,2252$
ČH R/S	$0,1795 \pm 0,1251$	$0,7467 \pm 0,1296$
SH prýtu [g]	$0,3195 \pm 0,0283$	$0,0780 \pm 0,0087$
SH kořene [g]	$0,0382 \pm 0,0241$	$0,0871 \pm 0,0146$
SH rostliny [g]	$0,3580 \pm 0,0377$	$0,1650 \pm 0,0204$
SH R/S	$0,1211 \pm 0,0830$	$1,1208 \pm 0,1571$
poměr R/S	$1,1953 \pm 0,0850$	$1,5589 \pm 0,1339$

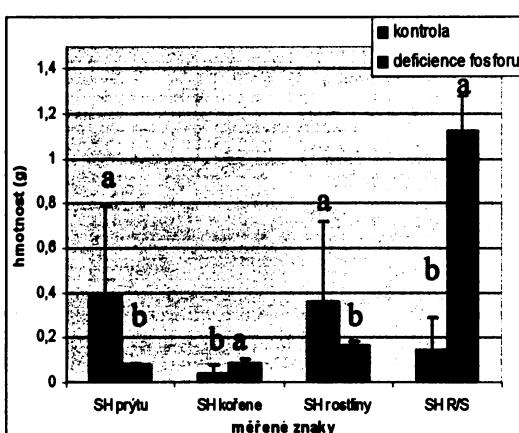
Graf 4.1.4. - Porovnání biometrických charakteristik. a) porovnání průměrných hodnot všech měřených znaků, b) porovnání průměrné suché hmotnosti rostlin. n=24. Úsečky nad sloupci znázorňují směrodatnou odchylku, rozdílná písmena značí statistickou průkaznost na $\alpha=0,05$.

ČH – čerstvá hmotnost, SH – suchá hmotnost

a)



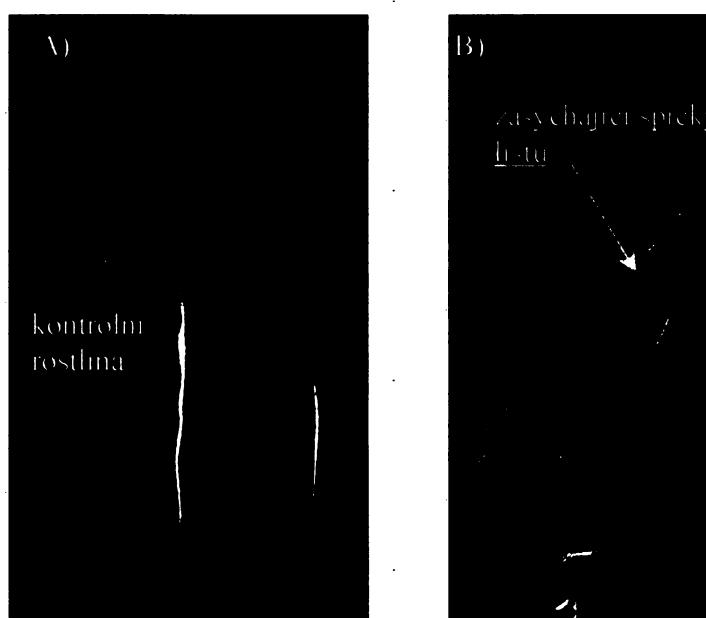
b)



4.1.2.6 Nedostatek draslíku

Projevy nedostatku draslíku bylo na rostlinách možno pozorovat po 14. dnech. Ve srovnání s kontrolními rostlinami bylo možné u deficientních rostlin pozorovat snížení produkce biomasy (Tab.4.1.6., Graf 4.1.6), nižší vzrůst rostliny a hnědnutí až zasychání okrajových částí listových čepelí a špiček listů (Obr.4.1.6). Zasychání postihovalo i mladší listy.

Obr.4.1.6 – K deficientní rostlina. A) porovnání K deficientní rostliny s kontrolou, B) zasychání špiček listů



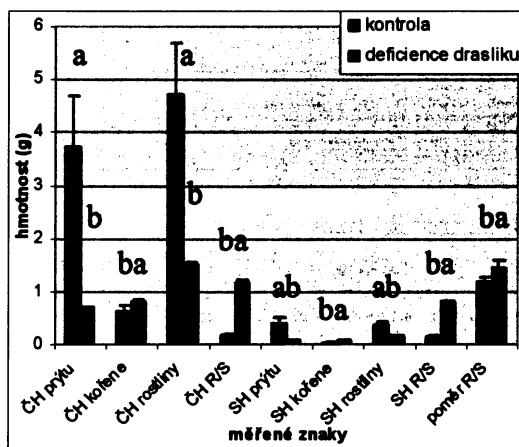
Tab.4.1.5. - Biometrické charakteristiky kontroly a P deficientní rostliny (uvezeny průměrné hodnoty a SD). ČH – čerstvá hmotnost, SH – suchá hmotnost

	kontrola	deficiency drasliku
ČH prýtu	3,2318±0,4708	0,7031±0,0143
ČH kořene	0,5802±0,0367	0,8150±0,0412
ČH rostliny	3,8120±0,2856	1,5181±0,0403
ČH R/S	0,1795±0,1251	1,1599±0,0673
SH prýtu	0,3195±0,0283	0,0878±0,0029
SH kořene	0,0382±0,0241	0,0718±0,0022
SH rostliny	0,3580±0,0377	0,1596±0,0051
SH R/S	0,1211±0,0830	0,8186±0,0064
poměr R/S	1,1953±0,0850	1,4367±0,1646

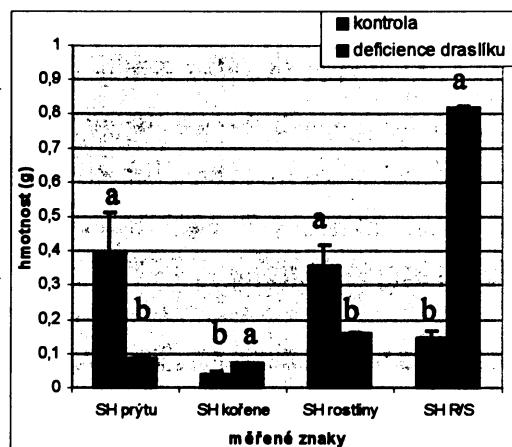
Graf 4.1.4. - Porovnání biometrických charakteristik. a) porovnání průměrných hodnot všech měřených znaků, b) porovnání průměrné suché hmotnosti rostlin. n=19. Úsečky nad sloupci znázorňují směrodatnou odchylku, rozdílná písmena značí statistickou průkaznost na $\alpha=0,05$.

ČH – čerstvá hmotnost, SH – suchá hmotnost

a)



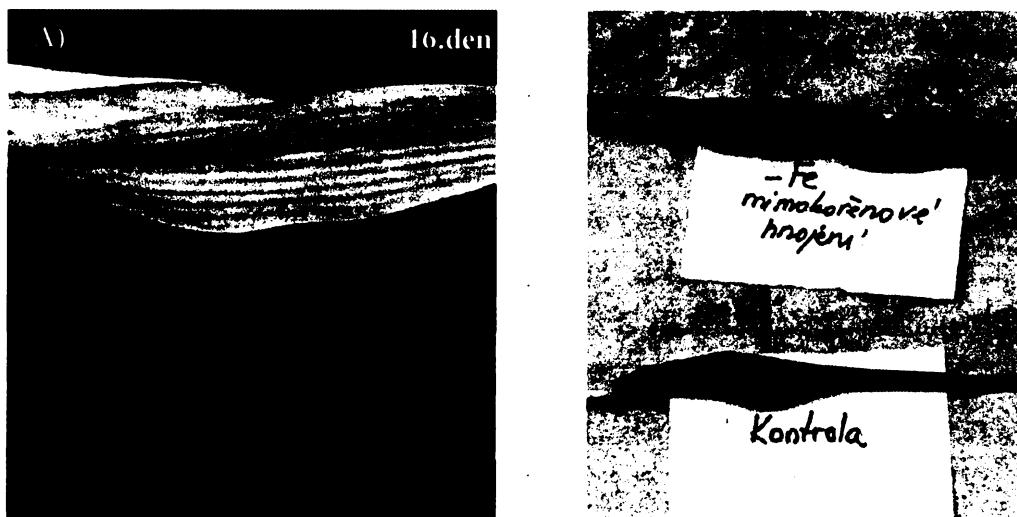
b)



4.1.3 Mimokořenové hnojení

Po navození deficience železa (16.dnů) byly rostliny stříkány na list po dobu deseti dnů roztokem citrátu železitého. Aplikací citrátu železitého došlo ke zvrácení příznaků deficience, které bylo možné pozorovat ze zelenáním původně chlorotických listů (Obr.4.1.7).

Obr.4.1.6 – Mimokořenové hnojení. A) Fe deficientní rostlina, 16.den, B) stříkaná Fe deficientní rostlina, 26.den



4.2 Didaktická část

4.2.1 Analýza středoškolských učebnic

Učebnice byly hodnoceny z několika hledisek: obsah, pojmy, obrazový materiál a náměty na praktická cvičení.

Z hlediska obsahového hodnotím nejlépe učebnici Kubát et al. (1998). Text je srozumitelný, logický a z hlediska pojmu i odborně správný. Obsahuje základní informace odlišené velikostí písma od informací rozšiřujících. Nejhůře si stojí téma minerální výživy v učebnici Bumerla et al. (1997). V této učebnici nemá minerální výživa svoji kapitolu a je začleněna do kapitoly o půdách. O minerální výživě je zde psáno jen v názncích. Často jsou zmíněny termíny, ale málo který z nich je vysvětlen. Tuto knihu bych nedoporučila pro studium minerální výživy.

Srovnáním terminologie využívané v učebnicích s vysokoškolskou terminologií je patrné, že již na středních školách je dobrá terminologická znalost. V Kubátovi et al. (1998) je použito nejvíce termínu (celkem 26), které jsou i náležitě vysvětleny.

Velmi kritická jsem byla při hodnocení obrazového materiálu. Jelínek a Zicháček (1999) ani Bumerl et al. (1997) neobsahuje jediný obrázek, schéma ani tabulku, která by přibližovala sledované téma. V učebnici Kincl et al. (2000) je zařazeno schéma hydroponie a koloběh uhlíku. Nejlepší učebnice po obrazové stránce se opět

ukázal být Kubát et al. (1998). Význam minerálních prvků je přehledně znázorněn v tabulce, graf názorně ukazuje procentuální zastoupení nejdůležitějších chemických látek v organismu a jako jediná učebnice názorně ukazuje pomocí kresleného obrázku důsledek nedostatku některého minerálního prvku.

Celkově se ve sledovaných učebnicích vyskytuje řada námětů pro praktické cvičení, ale minerální výživě se z nich věnuje jen velmi malý zlomek. Žádný z navrhovaných pokusů se nevěnuje významu minerální výživy na růst a vývoj rostliny. Kincl et al. (2000) navrhuje pokus, kde je cílem dokázat, že vápník a železo je součástí rostlinného popelu. Bumerl et al. (1997) navrhuje pokus pro určování obsahu minerálních prvků v půdě na základě výskytu typických rostlinných druhů. Kubát et al. (1998) a Jelínek a Zicháček (1999) nenabízejí žádné pokusy na téma minerální výživy.

Z výsledku analýzy vyplývá, že nejlépe zpracované téma minerální výživy je v učebnici od Kubáta et al. (1998) a to jak po obsahové stránce, tak i terminologické a obrazové.

4.2.2 Protokoly, PowerPointový klíč

Pro ověřené pokusy byly vypracovány protokoly. Pro studenty byl připraven podrobný postup pro založení, kultivaci a sklizeň rostlin: Pěstování rostlin – MINERÁLNÍ VÝŽIVA a pro zaznamenání jejich pozorování byly vytvořeny pracovní listy. Pro učitele byl sepisán protokol: Pěstujte rostliny – Protokol MINERÁLNÍ VÝŽIVA, který obsahuje informace a řešení problematických kroků.

Pro školy, které nemají časový prostor nebo dostatek finančního a materiálního zázemí pro včlenění pokusů do výuky, byl vytvořen PowerPointový klíč pro určování deficiencí a obrazový materiál: Co chybí rostlině?

Protokoly, PowerPointový klíč s obrazovým materiálem – viz Přílohy, kap. 8., viz níže očíslované podkapitoly:

8.1 Výukový materiál

8.1.1 Deficience prvků

8.1.1.1 Pěstujeme rostliny – deficience vybraných prvků - manuál projekt
GlobeGLOBE

8.1.1.2. Protokoly pro žáky

8.1.1.3 Pracovní listy

8.1.1.4 Protokol pro učitele

8.1.2. Mimokořenové hnojení

- 8.1.2.1. Pěstujeme rostliny – mimokořenové hnojení - manuál projektu **GlobeGLOBE**
- 8.1.2.2 Protokoly pro žáky
- 8.1.2.3 Pracovní listy
- 8.1.2.4. Protokol pro učitele
- 8.1.3 PowerPointový klíč, materiál pro určování deficience vybraného prvku
 - 8.1.3.1 Klíč k určení deficiencí vybraných prvků
 - 8.1.3.2 Materiál pro určování deficience vybraného prvku

4.2.3 Práce s pilotními školami

Pro vytvoření kvalitních a použitelných protokolů bylo třeba vypracované materiály ověřit a získat zpětnou vazbu, na základě které by je byly možno upravit. Ověřovací fáze se účastnilo 7 pilotních škol GLOBE.

4.2.3.1 Seminář GLOBE

První vypracované protokoly byly představeny a předány pro ověření 7 pilotním školám na semináři GLOBE 4.-5.4. 2008.

4.2.3.2 Prezentace na pilotních školách

V červnu a v září 2008 jsem se účastnila výjezdů do pilotních škol, kde jsem předala nové protokoly a rozdala dotazníky zaměřené na zjištění vybavenosti škol a problémů během probíhajícího pokusu. V krátké přednášce jsem vysvětlila a demonstrovala založení pokusů a prakticky jsem si ověřila spolehlivost PowerPointového klíče.

4.2.3.3 Dotazníky

Na dotazníky mi odpovědělo všech sedm pilotních škol GLOBE. Z časových důvodů nebyly schopný pokusy ověřit a proto mi dotazníky vyplnily jen částečně. Z tohoto důvodu jsem se rozhodla je vyhodnocovat dohromady. Jejich vyhodnocením jsem získala představu o technickém zázemí škol, ale bohužel mi nebyla poskytnuta dostatečná zpětná vazba k vytvořeným protokolům.

Na základě mých protokolů vypracoval student Ondřej Vošta z pilotní školy GLOBE (Česko – anglického gymnázia s.r.o, České Budějovice) práci SOČ - Vliv železa, dusíku a vápníku na růst rostliny kukuřice. Jedním z cílů bylo ověřit moje vypracované

protokoly na minerální výživu. Na základě této práce můžu usuzovat, že pokusy jsou proveditelném a 100% spolehlivé i ve školních podmínkách a protokoly se zdají být srozumitelné.

Největším problémem na školách je vybavení škol (Tab. 4.2.1). Dle dotazníku školy téměř vůbec nedisponují sušárnou a přesnými váhami a nemají dostatek financí na zakoupení vzduchovacích zařízení. Bylo poukázáno dvěma školami na špatnou dostupnost Fe citrátu, který ovšem nakonec sehnaly.

Tab. 4.2.1 – Vybavenost sedmi pilotních škol GLOBE

Problémový vybavení a materiál	Zjištění na základě dotazníku
Těžce dostupné chemikálie	Fe citrát – vlastní 3 školy, 4 školy zatím nesháněly
Vzduchovací motorek	vlastní 2 školy
Sušárna, horkovzdušná trouba	sušárnou vlastní 2 školy horkovzdušnou troubu vlastní 2 školy
Váhy	vlastní 7 škol přesnost váhy 1g – vlastní 1 škola přesnost váhy 0,1 g – vlastní 2 školy přesnost váhy 0,01g – vlastní 3 školy přesnost váhy 0,001 g – vlastní 1 škola

4.2.4 Projekt GLOBE

Protokoly byly na podzim 2008 prezentovány posterem v JAR na konferenci GLOBE-Koloběh uhlíku, byly předány do celosvětové sítě a jsou ve výběru do začlenění do programu GLOBE. Nyní jsou protokoly paralelně ověřovány na pilotních školách v ČR a USA.

5 Diskuze

5.1 Vybavení škol

Největším úskalím této diplomové práce při tvorbě výukových materiálů zaměřených na minerální výživu bylo vybrat vhodné úlohy a zároveň vybrat vhodné metody v závislosti na proveditelnosti pokusů v podmínkách středních škol. Valná většina škol je obvykle značně finančně limitována a proto nedisponují přístroji, které jsou v laboratoři běžně využívány.

Z dotazníků byla zjištěna vybavenost sedmi pilotních škol GLOBE. Pouze jedna škola disponuje sušárnou. Bylo potřeba vymyslet alternativní možnosti sušení. V průběhu mé práce nás tým připravil postup pro sušení rostlin v horkovzdušné troubě, ale ani tato metoda nebyla zcela přijatelná pro školní podmínky. Zřejmě v tuto chvíli nejdostupnější metodou sušení rostlinné biomasy pro střední školy se zdá být využití mikrovlnné trouby, kterou jsme nedávno v týmu ověřili, nevyžaduje zapnutý elektrický přístroj bez dohledu – skládá se z několikaminutových sušících cyklů v průběhu půl hodiny (Albrechtová a Bartáková, nepublikováno).

Dalším nedostatkem ve školních podmínkách je dostupnost vah, které by vážily s přesností vyšší než 0,01g. V těchto podmínkách bylo ověřeno a je doporučeno, aby jednotlivé varianty byly váženy jako jeden celek a následně naměřené hodnoty byly porovnány s hodnotami ostatních variant. Pro hydroponickou kultivaci se ve výzkumu často používají akvária nebo nádoby s provzdušňovací technikou. Při představení protokolů pilotním školám na semináři GLOBE, jsem byla požádána učiteli, abych vyzkoušela modifikovat tuto hydroponickou kultivaci z důvodu finanční náročnosti (pořizovací cena v řádu stovek Kč a spotřeba elektrické energie během provozu). Pro snížení nákladů školy na tyto experimenty jsem ověřila nahrazení akvárií 1,5l pet-lahvemi a vzduchovací techniku jsem nahradila pravidelnou výměnou média. I tato alternativa vedla k průkazným a použitelným výsledkům.

Bylo pro mě velmi důležité hledat různé alternativy, aby mé pokusy byly proveditelné a funkční ve školních podmínkách. Tyto výukové materiály byly vypracovány v rámci projektu NSF a programu GLOBE, řešeného na Katedře fyziologie rostlin a jsou součástí sady protokolů s názvem „Pěstujme rostlinky“. V případě, že tyto experimenty budou ověřeny a pozitivně ohodnoceny mohou se stát součástí protokolů mezinárodního programu GLOBE (www.globe.gov), který probíhá ve více než 100 zemích světa. Pak tyto protokoly musí mít nízkou finanční náročnost

pro včlenění do vzdělávání i do zemí rozvojových, kde materiální a finanční zázemí bude ještě nižší než na školách v ČR.

5.2 Rostlinný materiál

Z důvodu potenciálně mezinárodního využití protokolů jsem musela volit rostliny, které jsou snadno dostupné v ČR, ale i v jiných zemích světa při případném rozšíření protokolů v rámci programu GLOBE. Na výběr rostliny bylo kladeno několik podmínek. Rostlina musela mít krátký životní cyklus, relativně rychlý růst a musela být responsivní vůči stresovým vlivům. V experimentální botanice se používá řada modelových rostlin, jako je kukuřice, tabák, pšenice, fazol, huseníček, apod. Pro využití hydroponické kultivace jsem si vybrala kukuřici (C4 rostlina), která tyto nestandardní podmínky kultivace dobře snáší. Navíc se jedná o rostlinu s celosvětovým rozšířením a osivo je snadno dostupné i v obchodech pro výživu domácích zvířat. U C3 a C4 rostlin byla pozorována různá interference s minerální výživou. C4 rostliny pěstované při zvýšené koncentraci CO₂ měly větší nárůst biomasy při vyšším množství dusíku než C3 rostliny (Hocking a Meyer, 1991). Z důvodu možné jiné interference s minerální výživou u C4 a C3 rostlin byla vyzkoušena i pšenice, která patří mezi C3 rostliny.

Použití pšenice pro navržené experimenty se ale ukázalo být nevhodné. Při pokusu navodit sérii navozující deficienci dusíku, draslíku, hořčíku, fosforu, vápníku a železa vykazovaly sice rostliny horší růst, ale typickými symptomy se na rostlině projevil pouze nedostatek draslíku. Důvod nekonzistence výsledků pokusů s pšenicí se nepodařilo určit. Jelikož vytyčeným cílem bylo vytvořit sérii pokusů u jednoho rostlinného druhu, rozhodli jsme se tuto rostlinu nadále nepoužívat.

Jako vhodný rostlinný materiál se ukázala kukuřice. U kukuřice bylo možné demonstrativně ukázat deficienci draslíku, vápníku, hořčíku, dusíku, fosforu a železa. Navíc tato rostlina byla zvolena jako modelová i pro další protokoly vyvíjené pro projekt GLOBE.

5.3 Výběr experimentů

Prvním cílem mé diplomové práce bylo navrhnut a ověřit pokusy a metody pro demonstrování projevů nedostatku různých minerálních prvků na růst a vývoj rostliny. Prioritou bylo možnost navodit různých deficiencí u stejné rostliny a tak vytvořit sérii pokusů, která by komplexněji ukazovala význam minerální výživy. Vybrané pokusy

musely být jednoduché, 100% spolehlivé, na první pohled demonstrativní, a jak již bylo podrobně probráno, materiálně a finančně nenáročné.

Problémem 100% spolehlivosti a proveditelnosti série hydroponických experimentů zaměřených na nedostatek prvků minerální výživy je z části pouze sezonné spolehlivost. Navození deficience dusíku, železa, vápníku a demonstrace mimokořenového hnojení se ukázaly jako 100% spolehlivé v průběhu celého roku. Deficience fosforu, draslíku a hořčíku byly spolehlivé jen v průběhu vegetační sezóny, tj. na jaře a v létě (od poloviny dubna), ale z důvodu jejich názornosti a spolehlivosti byly vybrány a do protokolů byla uvedena poznámka o vhodnosti časování pokusu během školního roku.

Význam minerálních prvků na rostliny lze pozorovat různými druhy kultivace rostlin – hydroponie a její různé modifikované podoby je jeden typ systému a kultivace v půdě či jiných substrátech je typ druhý. Navození deficience jen jednoho prvku v komplexním médiu, jako je půda, je velmi obtížné až nemožné. Pokud bychom chtěli pěstovat rostliny v nějakém substrátu, pak by bylo třeba, aby byl inertní a neinterferoval s dodávanou minerální výživou, jako třeba krystalický písek, apod. Dále rostliny pěstované s půdě lehce můžou onemocnět virovým, bakteriálním či houbovým nemocněním. Pro kultivaci rostlin byla tedy vybrána hydroponická kultivace. Výhodou této metody je pro rostlinu stálý přístup přesně definovaného média, lehká kontrolovatelnost kořenového systému během průběhu experimentu a není potřeba brát v úvahu fyzikální a chemické vlastnosti půdy, které ovlivňují příjem minerální výživy (rev. Marschner, 1995). Dalším pozitivem je čistá a snadná práce během dalšího zpracování rostlinného materiálu. Z důvodu ověření vybraných experimentů byly první experimenty prováděny hydroponickou kultivací, kdy médium bylo provzdušňováno. Z důvodu finančních možností středních škol byly následně kukuřice pěstovány v neokysličeném médiu. Ukázalo se, že pro zdravý vzhled rostlin v neokysličovaném médiu je potřeba médium jednou týdně vyměnit.

5.4. Spolupráce s programem GLOBE a Sdružením TEREZA:

environmentální výchova dětí a mládeže

V rámci své diplomové práce jsem využila možnosti dlouholeté spolupráce týmu doc. Albrechtové se Sdružením TEREZA <http://www.terezanet.cz/> (Obr.5.1), která má mnoholeté zkušenosti s organizováním výukových projektů a programů. Například program Ekoškola, Les ve škole, GLOBE a další. Tato organizace od roku 1990 vytváří vzdělávací programy a materiály, které s využitím metod aktivního učení pomáhají učitelům realizovat environmentální výchovu na základních a středních školách. V současné době je do jejich projektů a programů zapojeno přes 50 000 českých žáků z více než 500 škol. Sdružení TEREZA dodává školám podnětné materiály k jednotlivým projektům, zaškoluje učitele a představuje jim projekty, do kterých se můžou společně se žáky zapojit. Žáci plní a vyhodnocují konkrétní úkoly pod vedením svých učitelů a s pomocí koordinátora ze Sdružení TEREZA jsou jednotlivé výsledky porovnávány s ostatními školami v ČR. Školy také organizují různé akce pro zlepšení životního prostředí a motivují své blízké okolí ke změně jednání a postojů směrem k trvale udržitelnému rozvoji.



Obr.5.1 – Logo Sdružení TEREZA

Tým doc. Albrechtové spolupracuje se sdružením TEREZA již více než 10 let. V rámci spolupráce byl vytvořen vzdělávací ekologický program „Jak se mají smrky?“, který skrze sdružení TEREZA získal po několik let podporu MŠMT a byl prováděn na více než 20 školách v ČR. Projekt byl součástí diplomové práce Tomáše Poláka (2000) „Statistické hodnocení makroskopických markerů poškození smrku ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.) a jejich využití v ekologické výuce“. Za tuto diplomovou práci získal v roce 2000 cenu Josefa Vavrouška – 1. místo, kterou uděluje Univerzita Karlova v Praze za nejlepší diplomové práce.

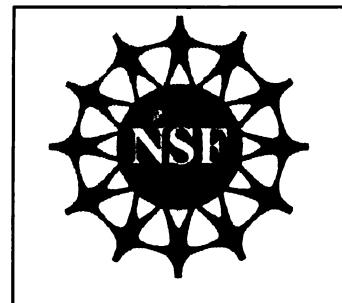
Sdružení TEREZA se stalo koordinátorem komunikace s pilotními školami v rámci řešení projektu NSF/GLOBE Koloběh uhlíku (Project National Science foundation, USA, #0627916, „Exploring Ecosystems and the Atmosphere in the K-12 Classroom: A Plan to Integrate NASA Carbon Cycle Science with GLOBE“) (Obr5.2), který

v ČR řeší a koordinuje tým doc. Albrechtové z Katedry fyziologie rostlin, PřF UK. Do tohoto projektu je od roku 2006 zapojeno celkem 7 aktivních středních škol, účastnících se programu GLOBE již více let, a tyto školy byly zvoleny jako pilotní pro daný projekt. Učitelé a žáci pilotních škol testují vytvořené materiály, úlohy a experimenty. Sdružení TEREZA zprostředkovává komunikaci mezi PřF UK a pilotními školami. Pomocí Za přispění sdružení TEREZA docházelo k setkáním, kde bylo možno přímo komunikovat s učiteli a studenty a bylo možné okamžitě řešit problémy a hledat různé alternativy.

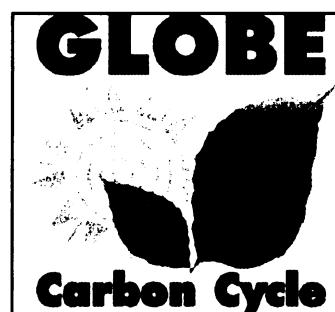
GLOBE (Obr.5.2) je dlouhodobý mezinárodní program, kterého se v současné době účastní 111 zemí z celého světa. Hlavním cílem mezinárodního programu GLOBE je posílit povědomí obyvatel celého světa o stavu životního prostředí, zvýšit úroveň poznání planety Země a zároveň podpořit studenty a žáky v prohlubování jejich znalostí v oblasti přírodních věd a techniky. Nabízí žákům praktické přístupy pro zkoumání svého okolí a studenti využívají předkládané vědecké postupy a výsledky vlastního pozorování k identifikaci a řešení environmentálních problémů ve svém okolí.

Moje diplomová práce vznikla na základě projektu Koloběh uhlíku, který je součástí programu GLOBE. Američtí spoluřešitelé tohoto projektu mají za cíl modelování toku uhlíku v lesních ekosystémech. Cílem tohoto projektu v ČR je názorně vést studenty skrze pečlivě vybrané pokusy ke skutečnosti, že rostliny ke svému růstu potřebují určité zdroje a že oxid uhličitý je zabudováván do rostlinné biomasy. Pokusy tvoří ucelený celek s názvem „Pěstujme rostliny“ (v angličtině „Plan-A-Plant“) a jsou rozděleny do 4 tématických okruhů: voda, světlo, minerální výživa a oxid uhličitý.

Do roku 2010 bude probíhat ověřování vyprodukovaných materiálů na pilotních školách GLOBE v ČR a USA. V případě, že budou naše protokoly vybrány, budou začleněny do obecných protokolů programu GLOBE a tedy mohlo by dojít k jejich rozšíření do mnoha zemí světa. Jsem si však plně vědoma ještě dlouhé cesty k uskutečnění tohoto cíle, ale doufám, že alespoň některé části mé práce budou přijaty a v programu GLOBE využity.



Obr.5.2. – logo NSF



Obr.5.3 – logo projektu
GLOBE – Carbon Cycle

5.5. Výukové materiály o minerální výživě ve výuce biologie rostlin na středních školách

Jak již bylo zmíněno v literárním úvodu, spadá minerální výživa z hlediska RVP G do vzdělávací oblasti Člověk a příroda, do oboru Biologie a do vzdělávacího obsahu Biologie rostlin. Od 1.9.2009 budou muset všechny školy začít učit podle svých ŠVP, zpracovaných na základě požadavků RVP G. Z tohoto důvodu nelze přesně říci, ve kterém ročníku a v jakém časovém rozsahu se bude probírat fyziologie rostlin a hlavně minerální výživa. Na gymnáziích bylo zvykem probírat biologii rostlin v prvním ročníku. Bohužel, dle své vlastní krátké pedagogické praxe, se ovšem učitel nemohl spolehnout na chemické a biochemické znalosti, takže docházelo ke značnému zjednodušování dané látky a nebyly realizovány žádné pokusy, což se projevovalo jen malým zájmem studentů o tuto problematiku. Je nutné celkové zatraktivnění výuky biologie rostlin. Tuto nutnost potvrzuje studie Schüssler et al., 2008, kdy porovnávali u vysokoškolských studentů jejich představivost týkající se zvířat a rostlin. Zjistili, že studenti si spíše vybaví živočichy než rostliny.

Na základě zavedení ŠVP, které umožňují školám vytvořit si vlastní učební plán, lze doufat ve vhodnou synchronizaci látky biologie a chemie. Pro učitele byl v rámci této diplomové práce vytvořen metodický materiál a pro studenty podrobný protokol a pracovní listy. Doufám, že na základě vypracování všech materiálů, které usnadňují práci učitele a mají potenciál zatraktivnit výuku, budou učitelé a studenti věnovat více času této problematice.

V případě, že pro tyto experimenty nebude místo v praktických cvičeních realizovaných v rámci biologie, navrhoji využít experimenty v biologickém semináři nebo v jiných mimoškolních aktivitách – např. biologické kroužky.

Velkým přínosem této práce je možnost prakticky přiblížit význam minerální výživy v ČR, jelikož ve středoškolských učebnicích není žádné praktické cvičení na téma vlivu minerální výživy na růst a vývoj rostliny. Nevýhodou vybraných experimentů, která by mohla odradit vyučující, je časová náročnost a sezónní fungování pokusů zaměřených na nedostatek fosforu, draslíku a hořčíku. Nicméně pokusy jsou rozložené do 5 aktivit s různým časovým odstupem-klíčením, založení pokusu, péče o rostliny během hydroponické kultivace, sklizení rostlin a hodnocení pokusu. Jednotlivé aktivity jsou proveditelné během 1 – 2 vyučovacích hodin. Práce Randler et al., 2008

poukazuje na vyšší efektivitu práce studentů při tomto rozdělení činností do několika úseků oproti blokovému vyučování.

Na téma minerální výživy jsem vypracovala PowerPointový klíč k určování vlivu nedostatku vybraných prvků na rostlinu. Myslím si, že tento klíč může zastoupit experimenty v klasické hodině při nedostatku času nebo problému materiálního nebo finančního zázemí školy. Žáci si během určování pomocí klíče uvědomí jak symptomy souvisejí s jeho významem pro růst a vývoj rostliny a uvidí obrazový materiál deficentních rostlin, který ve většině středoškolských učebnic zcela chybí a nebo je nakreslen jen schematicky. Mikropoulos et al., 2003 ve své studii hodnotí přínos virtuálních biologických programů na školách velmi kladně. Kdy pomocí interakce počítač-učitel-student je předložena názorně a více srozumitelně probíraná látka. Zároveň poukazuje na problém nepřipravenosti učitelů odpovědět na všechny otázky kladené studentům, proto by měl být kladen důraz, aby součástí výukových programů byl i studijní materiál.

5.6. Význam pochopení konceptu minerální výživy a hnojení pro společnost

Dle mého názoru je v dnešní době nutné zvýšit zájem o biologii rostlin ve výuce na středních školách, aby si žáci byli schopni uvědomit, jaký je význam rostlin pro životní prostředí a proč se rostliny hnojí. Význam minerální výživy rostlin by měl být studentům jasný alespoň na bazální úrovni. Měli by si uvědomit, že pro správný růst a vývoj rostliny není zapotřebí jen světlo, teplo, vzduch, voda, ale i vhodná minerální výživa. Měli by si uvědomit, že rostliny potřebují pro svůj správný růst všechny podmínky a ne jen některé z nich a také, že nedostatek jednoho zdroje není možné nahradit nadbytkem jiného. Toto uvědomění je nutné ze dvou důvodů. Prvním důvodem, který mě k tomuto tvrzení vede, je přítomnost rostlin všude kolem nás. Téměř všichni lidé mají ve svých domovech rostliny nebo vlastní zahrady a proto je potřeba, aby věděli, jak mají o rostliny pečovat a umět diagnostikovat základní příčiny nezdravě vyhlížející rostliny, což často způsobeno nedostatkem minerálních živin. Druhým důvodem, který mě k tomuto závěru vede, je nutnost pochopit význam rostlin pro člověka v době velkého populačního růstu.

Se zvyšujícím se počtem obyvatel na Zemi je kladen velký důraz na výnosnost hospodářských plodin. Je nutno společně s populačním růstem zvyšovat produktivitu rostlin. Už v dnešní době na Zemi trpí hladem přes 800 milionů lidí (OSN, <http://www.osn.cz/>). Předpokládá se, že do roku 2050 se zvýší počet obyvatel na Zemi na 8,7 miliardy a do roku 2100 dosáhne lidstvo počtu 10,4 až 15 miliard (Lovejoy a Hannah, 2005). Tento velký populační růst bude hlavně probíhat v oblastech Jižní Asie a sub-Saharské Afriky. Pro uživení 10,4 miliard lidí, možná i více, je nutná do budoucna inovovat metody půdního managmentu (Lal, 2008).

Země není schopna užít 10 miliard lidí, proto je důležité, aby byla zvyšována vzdělanost lidí v oboru rostlinné biologie a byla získána povědomost konceptu hnojení v zemědělství. Ve světě vniká mnoho projektů, které se zaměřují hlavně na studenty základních a středních škol. Jejich hlavním cílem je u studentů zvýšit zájem o životní prostřední, trvale udržitelný rozvoj a o obor biologie. Vytváří výukové materiály, které snaží přiblížit danou látku nebo konkrétní problém. Vypracovávání těchto materiálů je vede k samostatnosti, vytváření hypotéz, hodnocení výsledků a přiblížení tématu (Albarracin et al., 2009, <http://www.terezanet.cz/>). Na problematiku zemědělství byl v USA vydán článek pro učitele, který dává návrhy na různé pokusy a cvičení, která by studentům měla vysvětlit pozitiva a negativa organického a konvenčního zemědělství (Goodman, 2004).

5.6. Hnojení v zemědělství

V současnosti je aplikována celá řada způsobů hospodaření se zemědělskou půdou. Zemědělsky významné jsou určitě zemědělství konvenční, organické, integrované a precizní.

V minulosti a především v minulém století vlivem rychlého růstu populace se začalo ve velké míře využívat konvenční zemědělství. Pro uživení rychle rostoucí populace bylo potřeba využít hnojiva, zavlažování, zemědělských strojů, pesticidy a další regulační látky (Pretty, 2008). Tento způsob hospodaření je rozšířen ve velké míře i dnes. Jeho velkým pozitivem je velký zisk, kterého dosahují šlechtěním plodin s vysokou responsibilitou na vysoký obsah hnojiv v půdě, používání vysokého množství rozpustných anorganických hnojiv a aplikace různých agrochemikálií, biocidů a regulátorů. Hlavní problém konvenčního zemědělství lze spatřovat v jeho nešetrnosti k životnímu prostředí. Při dlouhodobém konvenčním zemědělství dochází ke změzení

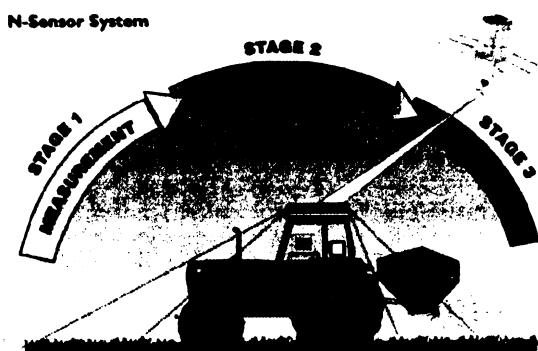
pestré mozaiky mezí, remízků, luk a strání, která poskytují útočiště mnoha rostlinným a živočišným druhům a brání půdu proti erozi (Beus a Dumlap, 1990). Na polích jsou každoročně pěstovány obvykle stejné plodiny s malými obměnami, které způsobují rychlé vyčerpání půdy a umožňují vyšší výskyt rostlinných škůdců, bakteriální a houbových onemocnění. Pro udržení půdní úrodnosti musejí používat velké množství hnojiv a pesticidů, která jsou příčinou znečištění povrchových i podzemních (Beus a Dumlap, 1990).

V dnešní době si svět začíná uvědomovat význam a špatnou obnovitelnost životního prostředí, přírodních zdrojů. Proto i zemědělství musí přecházet na šetrnější obhospodařování půd. Mezi tyto šetrnější způsoby vzhledem k životnímu prostředí se řadí ekologické, integrované a precizní zemědělství.

Protipólem konvenčního zemědělství je ekologické zemědělství, které má za prioritu ekologickou kvalitu, které docílí nepoužíváním umělých hnojiv a pesticidů a odmítá též pěstování geneticky modifikovaných rostlin, jako organizmů nebezpečných pro ekosystém. Ekologické zemědělství je charakteristické agrotechnikou, kdy základem je mnohostranná produkce a pest्रý osevní systém. Obohacování půdy se uskutečňuje organickými hnojivy včetně zeleného hnojení (Elfstrand, 2006) a nebo používáním pomalu rozpustných hnojiv (Petr a Dlouhý, 1992). Takto vyprodukované plodiny jsou poté prodávány jako Bio potraviny. Jejich ceny jsou v porovnání s ostatními potravinami výrazně vyšší. Ovšem konzument, které tyto potraviny kupuje, chrání své zdraví (před zbytky pesticidů) a podporuje ohleduplnější hospodaření s půdou (Dlouhý, 2009). Tlakem růstu populace však toto zemědělství nenabízí možnost nahrazení konvenčního zemědělství. Podrobná studie, která analyzovala stav prostředí a porovnávala výnosnost konvenčního a ekologického zemědělství, ukazuje, že i v případě velkoplošného pěstování plodin by ekologické zemědělství rychle rostoucí světovou populaci neuživilo (Conner, 2008).

Zachování ekologické povahy zemědělství, ale zároveň udržení nutného výnosu pro uživení planety přináší integrované zemědělství. Toto hospodaření je skloubením obou výše zmíněných typů zemědělství. Integrované zemědělství je charakteristické integrací dostupných technických, biologických, chemických a ekologických poznatků, které naplňují podmínky udržitelného zemědělství. Je zachována druhová pestrost rostlin a šetrnost k půdě. Pro hnojení jsou používána i hnojiva průmyslová, ale aplikace je prováděna dle potřeby rostlin a možnosti půdy (Hendrickson et al., 2008).

Zcela novým technickým přístupem ve využívání půd je precizní zemědělství. Posouvá zemědělství do moderního světa digitalizace a informatiky. Hlavním znakem současného zemědělství je snižování nákladů a uplatnění technologií, které představují ekologický přínos ve srovnání s konvenčními technologiemi. Tento požadavek je zde splněn, jelikož precizní zemědělství spočívají v respektování lokálně variabilních požadavků plodin na jednotlivé vstupy. Základem je podchycení různorodosti prostředí a následné vhodné reakci na danou variabilitu. Aplikací zemědělských vstupů dle potřeby dané zóny snižuje náklady a redukuje riziko hnojiv na životní prostředí. Využívá podrobné lokálně specifické informace o půdách a plodinách na jejichž podkladě může optimalizovat pro jednotlivé polní zóny množství hnojiva, pesticidů a osiva. Rozdělení pole do jednotlivých zón umožňují dvě metody: 1) buď na základě výnosových map, které jsou vytvořeny na základě měření výnosovými senzory a snímkováním porostu, anebo 2) pomocí vzorkováním půd v určité síti. Na základě výnosové mapy mohou zemědělci vybrat vhodné plodiny. Pro umožnění precizního zemědělství je zapotřebí variabilní aplikační stroj, které na základě své polohy a aplikační mapy bude automaticky měnit dávky (rev. Lipavský a Slezška, 2002).



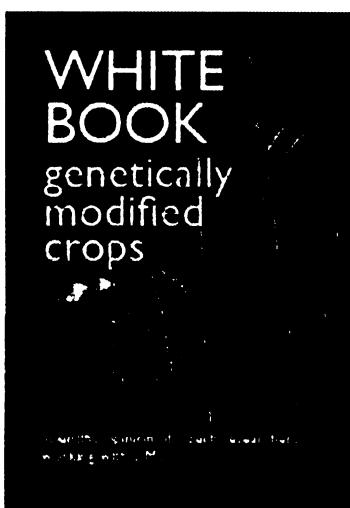
Obr.5.3– Fáze precizního zemědělství. STAGE 1 – změření parametrů půdy, STAGE 2 – zpracování naměřených dat, STAGE 3 – aplikace hnojiva dle požadavků konkrétní části půdy. (poskytnuto Dr. Lipavským)

Mnoho hospodářsky obdělávaných půd trpí nedostatkem minerálních živin. Lidé tento problém řeší hnojením, ale v rozvojových zemích často farmáři nemají finanční prostředky na nákup hnojiv. Zajímavou možností pro zvýšení produkce plodin se zdá být využívání symbiotické interakce rostlin a mykorhizních organismů, které umožňuje pěstovat plodiny při nižších koncentracích živin a tedy nižším hnojení, a z důvodu pozitivního vlivu mykorhizy na růstové a výnosové vlastnosti nemusí docházet ke snížení produkce plodin. Mnoho prací ukázalo pozitivní význam mykorhizních organismů na rostlinou produkci. Je prokázáno, že rostliny vyšlechtěné pro zvýšení využití interakce s mykorhizními organismy, vykazovaly stejnou a nebo dokonce vyšší produkci rostlin než při konvenčním zemědělství (rev. Khan et al., 2006, rev. Vosátka a Albrechtová, 2008, rev. Vosátka a Albrechtová, in press, rev. Sawers 2008). Tato

možnost by mohla zvýšit rostlinou produkci v rozvojových zemích a tím, by mohlo být sníženo množství hladovějících lidí.

5.7 Geneticky modifikované rostliny v zemědělství

Pro uživení nové populace nebude stačit rozšíření zemědělské půdy, výběr nových vhodných odrůd, ale bude nutné zvýšit výnos nebo nutriční hodnotu jednotlivých rostlin a to přirozeným šlechtěním a nebo i genetickou manipulací rostlin GMP (anglicky „genetically modified plants“).



Geneticky modifikované organismy (GMO) otevírají nové možnosti, ale bohužel toto téma často není v současnosti nezasvěcenou veřejností dobře přijímáno. Široká veřejnost na základě některých ekologických hnutí, jako je například Greenpeace (<http://www.greenpeace.org/czech/kampane2/geneticke-modifikace>), se obává zdravotního dopadu GMO a negativního vlivu na životní prostředí, kdy v důsledku horizontálního či vertikálního přenosu genů může dojít ke vzniku nových genotypů, např. vysoce rezistentních plevelů. Vědci, kteří mají dlouholetou zkušenosť s GM rostlinami, tyto obavy odmítají na základě výsledků výzkumu a již před lety zahájili kampaň, která se snaží podat veřejnosti chybějící informace a zlepšit názor na rostliny GM. Například čeští vědci na podporu osvěty široké veřejnosti vydali v letošním roce tzv. Bílou knihu ve které uvádějí své zkušenosti s GM rostlinami, podávají vysvětlení pozitiv GM rostlin a jejího významu pro životní prostředí a stále narůstající populaci (Sehnal a Drobník, 2009).

Zemědělství v ČR má kladný postoj ke GM plodinám. Zemědělci se opírají o kvalitní vědecký výzkum, který se zabývá vývojem nových odrůd a jejich bezpečnostní kontrolou (rev. Drobník, 2006).

Z GM plodin v dnešní době dominuje sója, která je necitlivá na herbicid glyfosfát. Takto geneticky modifikovaná sója přesáhla v roce 2005 už 60% světové produkce (<http://www.isaaa.org>). Dalšími hojně pěstovanými GM plodinami je kukuřice, bavlník a řepka. Genetická modifikace těchto rostlin spočívá v toleranci na herbicid nejčastěji glyfosfát a glufosinát a nebo v tvorbě bílkovin bakterie *Bacillus thuringiensis*, která je toxická pro některé skupiny hmyzu (tzv. Bt plodiny) (rev.

Drobník, 2006). Rozšíření Bt plodin by mohlo pomoci rozvojových zemím. V těchto zemích dochází k aplikaci insekticidů bez ochranných pomůcek, které vážně ohrožují jejich zdraví a nebo vůbec rolníci nemají dostatek financí na nákup insekticidů, takže ztráty na úrodě vinou škůdců jsou vysoké. (rev. Drobník, 2003).

V roce 2002 se Bt plodiny pěstovaly na 14,5 mil. hektarech. Využitím Bt plodin ušetřilo např. USA přes 20 000 t herbicidů. Z Bt rostlin čeští zemědělci preferují kukuřici. Pěstováním Bt kukuřice se nemusejí potýkat s velkými ztrátami, které způsoboval např. zavíječ kukuřičný (Drobník, 2006, Čeřovská, 2005). V tomto roce 2009 bylo v ČR osázeno Bt kukuřicí 6 480 hektarů což je téměř o 2 000 hektarů méně než v minulém roce. Hlavním důvodem snížení je problematický odbyt, který je způsoben nutností oddělení klasické produkce kukuřice a jejich označováním jako GMO, díky předpisům Evropské unie, jejíž je ČR součástí (Mze, <http://www.mze.cz/index.aspx?typ=1&ids=0&val=44813>). Tento případ opět poukazuje na nedostatečnou informovanost veřejnosti. Je nutné předložit veřejnosti pádné a srozumitelné argumenty, která vysvětlí jejich význam pro životní prostředí, ale hlavně pro ně samotné.

5.8. Závěrečné zamýšlení

Předložená diplomová práce je zaměřena na vypracování výukových materiálů pro rozšíření a doplnění výuky tématu minerální výživy rostlin na středních školách. Vypracované výukové materiály byly dopracovány na základě zpětné vazby z pilotních škol GLOBE.

Veškeré vypracované výukové materiály byly přeloženy a předány spoluřešitelům projektu GLOBE – Carbon Cycle (Finanční zajištění práce: Project National Science foundation, USA, #0627916, Exploring Ecosystems and the Atmosphere in the K-12 Classroom: A Plan to Integrate NASA Carbon Cycle Science with GLOBE) do USA, kde budou testovány tento školní rok 2009/2010. V případě pozitivní zpětné vazby může dojít k začlenění těchto protokolů do celosvětového manuálu programu GLOBE a mohly by být nabídnuty do více než 100 zemí světa. Velmi doufám, že v tomto školním roce protokoly obstojí při ověřování v USA. Budu považovat za velký úspěch i začlenění jen části výukových materiálů do celosvětového manuálu programu GLOBE. Nicméně na základě absence pokusů ve výuce na českých

středních školách na téma význam minerální výživy rostlin, doufám, že vyprodukované výukové materiály by mohly být použity alespoň na středních školách v ČR.

V době velkého populačního růstu je nutné si uvědomit význam rostlin a jejich výživy pro uživení celé naší budoucí populace. Doufám, že moje práce přispěje k pochopení významu minerální výživy pro rostlinu širší veřejnosti, čehož chci dosáhnout včleněním výukových materiálů do výuky středních škol.

6 Závěry

Předložená diplomová práce je zaměřena na vypracování výukových materiálů pro rozšíření a doplnění výuky tématu minerální výživy rostlin na středních školách. Tyto výukové materiály byly vypracovány v rámci projektu NSF a programu GLOBE Cycle (Finanční zajištění práce: Project National Science foundation, USA, #0627916, Exploring Ecosystems and the Atmosphere in the K-12 Classroom: A Plan to Integrate NASA Carbon Cycle Science with GLOBE), řešeného na Katedře fyziologie rostlin a jsou součástí sady protokolů s názvem „Pěstujme rostliny“.

V průběhu diplomové práce se podařilo:

1. Navrhnout a ověřit pokusy a metody pro demonstrování projevů nedostatku různých minerálních prvků, konkrétně N, P, K, Mg, Ca a Fe.
2. Vypracovat výukové materiály pro demonstrování projevů nedostatku různých minerálních prvků, viz Přílohy, kap. 8., viz níže očíslované podkapitoly:
 - 8.1.1 Deficience prvků
 - 8.1.1.1 Pěstujeme rostliny – deficience vybraných prvků - manuál projekt GlobeGLOBE
 - 8.1.1.2. Protokoly pro žáky
 - 8.1.1.3 Pracovní listy
 - 8.1.1.4 Protokol pro učitele
 - 8.1.2. Mimokořenové hnojení
 - 8.1.2.1. Pěstujeme rostliny – mimokořenové hnojení - manuál projektu GlobeGLOBE
 - 8.1.2.2 Protokoly pro žáky
 - 8.1.2.3 Pracovní listy
 - 8.1.2.4. Protokol pro učitele
 - 8.1.3 PowerPointový klíč, materiál pro určování deficience vybraného prvku
 - 8.1.3.1 Klíč k určení deficiencí vybraných prvků
 - 8.1.3.2 Materiál pro určování deficience vybraného prvku
3. Vytvořené experimenty a výukové materiály byly osobně prezentovány pro pilotní školy programu GLOBE v rámci.
 - a. 2-denního semináře na PřF UK dne 4.-5.4. 2008
 - b. osobních prezentací na 5 pilotních školách
4. Ověřit výukové materiály a materiální zázemí na pilotních školách na základě zpětné vazby z pilotních škol GLOBE formou dotazníkového šetření. Na základě vyhodnocení toho štětření byly materiály dopracovány.

5. Vypracovat přehledný literární úvod, který rozšiřuje středoškolské znalosti o minerální výživě o poznatky, které budou pro studenta dobrým základem pro studium oboru experimentální biologie rostlin na univerzitě a zároveň bude tvořit učitelům teoretické zázemí pro vytvořené protokoly.

Veškeré vypracované výukové materiály byly přeloženy a předány spoluřešitelům projektu GLOBE – Carbon Cycle (Finanční zajištění práce: Project National Science foundation, USA, #0627916, Exploring Ecosystems and the Atmosphere in the K-12 Classroom: A Plan to Integrate NASA Carbon Cycle Science with GLOBE) do USA, kde budou testovány tento školní rok 2009/2010. V případě, že tyto experimenty budou ověřeny a pozitivně ohodnoceny mohou se stát součástí protokolů mezinárodního programu GLOBE (www.globe.gov), který probíhá ve více než 100 zemích světa.

7 Seznam použité literatury

1. **Albarracin, A.L., Farfan, D.F., Felice, C.** (2009). Laboratory experience for teaching sensory physiology. *Advan.Physiol.Edu.* **33**: 115 – 120.
2. **Arnon, D.I., Stout, P.R.** (1939). Molybdenum as an essential element for higher plants. *Plant Physiology* **14**:599-602.
3. **Aufrere, S.H.** (2004). *Description De L'Egypte: Ou Recueil Des Observations Et Des Recherches*. Art Stock.
4. **Ayers R.S. and Branson R.L.** (1973). Nitrates in the upper Santa Ana River Basin in relation to groundwater pollution. California Agriculture Experiment Station Bulletin 861, Kalifornia, USA.
5. **Barbier-Brygoo, H., Vinauger, M., Colcombet, J., Ephritikhine, G., Frachisse, J.-M., Maurel, Ch.** (2000). Review: Anion channels in higher plants: functional characterization, molecular structure and physiological role. *Biochimica et Biophysica Acta* **1465**: 199-218.
6. **Bennett, W.F** (1993). Nutrient Deficiencies & Toxicities In Crop Plants. APS PRESS, Minnesota, USA.
7. **Beus, C.E, Dumal, R.E.** (1990). Conventional versus Alternative Agriculture : The Paradigmatic Roots of the Debate. *Rural sociology* **55**(4):590 – 616.
8. **Brady, N.C., Weil, R.R.** (2002). The Nature and Properties of Soils, Macmillan Publishing Co., New York.
9. **Briat, J.F., Lobréaux, S.** (1997). Iron transport and storage in plants. *TRENDS in Plant Science* **2**: 187 – 193.
10. **Buchanan, B., Gruissem, W., Jones, R.**, (2000). Biochemistry & Molecular Biology of Plants. American Society of Plant Physiologists.
11. **Bumerl, J. a kol.** (1997). Biologie 2 pro střední odborné školy. SPN. Praha.
12. **Cakmak, I.** (2005). The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **168**: 521 – 530.
13. **Cílek, V.** (1995/6). Koprolitová horečka. *Vesmír* **74**: 311.
14. **Cowan, J.A.** (2002). Structural a catalytic chemistry of magnesium-dependent enzymes. *BioMetals* **15**: 225 – 235.
15. **Crawford, N.M.** (1995). Nitrate: nutrient and signal for plant growth. *The Plant cell* **7**: 859-68.
16. **Curie, C., Briat, J-F.** (2003). Iron Transport and Signaling in Plants. *Annu. Rev. Plant Biol* **54**: 183-206.

17. Čeřovská, M. (2005). <http://www.mze.cz/attachments/zemedtydenik3.pdf>
18. Dlouhý, J.:
http://www.enviweb.cz/?env=puda_archiv_hhheh/Neodepisujme_biopotraviny.html
19. Drobník, J. (2006). Co nabízí biotechnologie. Revue Politika 3.
20. Evans, N.H., McAinsh, M.R., Hetherington, A.M. (2001). Calcium oscillations in higher plants. Current Opinion in Plant Biology 4: 415-420.
21. Fernandes, M.S., Rosiello, R.O.P. (1995). Mineral nitrogen in plant physiology and plant nutritio. Crit. Rev. Plant Sci. 14: 111-148.
22. Fischer G., Heilig G.K. (1997). Population momentum and the demand on land and water resources, Philos. T. Roy. Soc. B 352: 869–889.
23. Goodman, D. (2000). Organic and conventional agriculture: Materializing discourse and agro-ecological managerialism. Agriculture and Human Values 17(3): 215 -219.
24. Greenpeace, <http://www.greenpeace.org/czech/kampane2/geneticke-modifikace>
25. Hájek, J., Koutecký, P., Libus, J., Lišková, J., Srba, M., Strádalová, V., Švejnohová, L., Šípek, P. (2002). Člověk a ostatní organismy. Institut dětí a mládeže MŠMT ČR, Praha.
26. Hendrickson, J.R., Hanson, J.D., Tanaka, D.L., Sassenrath, G. (2008). Principles of integrated agricultural systéme: Introduction to processes and defibition. Renewable Agriculture and Food Systems 23: 265-271
27. Hocking, P.J., Meyer, C.P. (1991). Effect of CO₂ Enrichment and Nitrogen Stress on Growth, and Partitioning of Dry-matter and Nitrogen in Wheat and Maize. Journal of Plant Physiology 18: 339 - 356
28. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications
<http://www.isaaa.org/>
29. Jelínek, J., Zicháček, V. (1999). Biologie pro gymnázia. Nakladatelství Olomouc. Olomouc.
30. Karpenko, V. (2008). Alchymie: svět pohádek a legend. Academia. Praha
31. Kincl, L., Kincl, M., Jaklová, J. (2000). Biologie rostlin pro 1.ročník gymnázií. Fortuna. Praha.
32. Kubát, K., Kalina, T., Kováč, J., Kubátová, D., Prach, K., Urban, Z. (1998). Botanika. Scientia. Praha.
33. Kubin, P., Melzer, A. (1996). Does ammonium affect accumulation of starch in rhizomes of *Phragmites Austrális* (Cav.) Trin. ex Steud.? Folia Geobot. Phytotax. 31: 99–109.

34. Li, L., Tutone, A.F., Drummond, R.S.M., Gardner, R.C., Luan, S. (2001). A Novel Family of Magnesium Transport Genes in *Arabidopsis*. *The Plant Cell* **13**: 2761-2775.
35. Lipavský, J., Slejška, A. (2002). Principles of collection, evaluation and utilisation of data for applications in precision farming. *Sborník z konference ČZU, Praha* 25.-26.2002, p.11
36. Lovejoy, T.E., Hannah, L.J. (2005). Climate change and biodiversity. Yale Univerzity. Sheridan.
37. Lustigová, V., Čížková, V. (2009). Analýza učebních úloh v učebnicích biologie pro základní školy a gymnázia. Biologie, chemie, zeměpis, (2).
38. Luštinec, J., Žářský, V. (2003). Úvod do fyziologie vyšších rostlin. Karolinum, Praha.
39. Maeshima, M. (2000). Review: Vacuolar H⁺ - pyrophosphatase. *Biochimica et Biophysica Acta* **1465**: 37-51.
40. Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants, second edition, Academic Press, London.
41. McKenzie, F.R. (1998). Influence of applied nitrogen on vegetative, reproductive, and aerial tiller densities in *Lolium perenne* L. during the establishment year. *Australian Journal of Agricultural Research* **49**(4): 707-712.
42. McLaughlin, S.B., Wimmer, R. (1999). Calcium physiology and terrestrial ecosystem processes. *New Phytol.* **142**: 373-417.
43. Mikropoulos, T.A., Katsikis, A., Nikolou, E., Tsakalis, P. (2003). Virtual environments in biology teaching. *Journal of biological education* **37**(4): 176-181.
44. Ministerstvo zemědělství
(2009). <http://www.mze.cz/index.aspx?typ=1&ids=0&val=44813>
45. Morsomme, P., Boutry, M. (2000). Review: The plant plasma membrane H⁺-ATPase: structure, function and regulation. *Biochimica et Biophysaca Acta* **1465**:1-16.
46. Nátr, L. (1998). Minerální výživa. In: Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J., Šebánek, J. (1998). *Fyziologie rostlin*. Academia Praha.
47. Nijburg, J.W., Laanbroek, H.J. (1997). The fate of ¹⁵N-nitrate in healthy and declining *Phragmites australis* stands. *Microbial Ecology* **34**: 254-262.
48. Norton, J.M. (1999). Nitrification. p. C160-180. In M.E. Sumer (ed.) *Handbook of soil science*. CRC Press, Boca Raton, Fl.
49. OSN: <http://www.osn.cz/>
50. Pavlová, L. (2005). *Fyziologie rostlin*. Karolinum, Praha.

51. Petr, J., Dlouhý, J. (1992). Ekologické zemědělství. SZN, Praha.
52. Peuke, A.D., Jeschke, W.D., Hartung, W. (1998). Folia application of nitrate or ammonium as sole nitrogen supply in *Ricinus communis*. II. The flows of cation, chloride and abscisic acid. *New Phytologist* **140**: 625-636.
53. Ploeg, R.R., Böhm, W., Kirkham, M.B. (1999). History of soil science: On the Origin of the Theory of Mineral Nutrition of Plants and Law of the Minimum. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **63**:1055-1062.
54. Polák T. Statistické hodnocení makroskopických markerů poškození smrků ztepilého (*Picea abies* (L.) Karst.) a jejich využití v ekologické výuce. Diplomová práce, Katedra fyziologie rostlin, PřF UK v Praze, 2000
55. Procházka, S. et al. (1998). Fyziologie rostlin. Academia. Praha.
56. Raghothama, K.G. (1999). Phosphate acquisition. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* **50**: 665-693.
57. Randler, C., Krajíčh, K., Eisele, M. (2008) Block scheduled versus traditional biology teaching - an educational experiment using the water lily. *Instructional science* **36**(1): 17-25.
58. Ratajczak, R. (2000). Review: Structure, function and regulation of the plant vacuolar H⁺-translocating ATPase. *Biochimica et Biophysica Acta* **1465**: 17-36.
59. Rausch, C., Bucher, C.M. (2002). Molecular mechanisms of phosphate transport in plants. *Planta* **216**: 23-37.
60. Richter, R.. Historický vývoj výživy a hnojení rostlin. In: Multimediální učební text z výživy rostlin. Webový učební text. MZLU v Brně, Agronomická fakulta. http://old.af.mendelu.cz/agrochem/multitexty/html/historie/A_index_historie.htm
61. Růžička, C. (2003). Dvě osobnosti, dvě teorie. *Úroda* **10**: 40–41.
62. Sanchez P.A, Uehara G. (1980). Management consideration for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: Knasawneh FE, Sample, E.C., Kamrath, E.J., eds. *The role of phosphorus in agriculture*. Madison, WI, USA
63. Sawers, R.J.H., Gutjahr, C., Paszkowski, U. (2008). Cereal mycorrhiza: an ancient symbiosis in modern agriculture. *Trends in Plant Science* **13**(2): 93 – 97.
64. Scrase-Field, S.A.M.G., Knight, H.R. (2003). Calcium: just a chemical switch? *Current Opinion in Plant Biology* **6**: 500-506.
65. Sdružení TEREZA: <http://www.terezanet.cz/>
66. Sehnal, F., Drobník, J. (2009). WHITE BOOK genetically modified crops. Biology Centre of the Academy of Sciences of the Czech Republic. České Budějovice.

67. **Shishkova, S., Rost, T.L., Dubrovsky, J.G** (2007). Determinate root growth and meristem maintenance in angiosperm. *Annals of Botany*: 1-22.
68. **Schachtman, D.P., Reid, R.J., Ayling, S.M.** (1998). Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology* **116**: 447–453.
69. **Schéma Liebigova zákona minima:** <http://www.darius.cz/archeus/liebig.jpg>
70. **Schussler, E.E., Olzak, L.A.** (2008). It's not easy being green: student recall of plant and animal images. *Journal of biological education* **42**(3): 112-118.
71. **Smidth, W.** (2003). Iron solutions: acquisition strategies and signaling pathways in plants. *TRENDS in Plant Science* **8**: 188 – 193.
72. **Sreedhara, A., Copan, J.A.** (2002). Structural and catalytic roles for divalent magnesium in nucleic acid biochemistry. *BioMetals* **15**: 211 – 223.
73. **Stehliková, B.** (2005). Vliv pH na růst rostlin a strukturu kořenů kukuřice seté *Zea mays* L. *Diplomová práce*, Praha.
74. **Taiz, L., Zeiger, E.** (2002). *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Inc. Publ., Sunderland, Massachusetts.
75. **Theodoulou, F.L** (2000). Review: Plant ABC transporté. *Biochimica et Biophysica Acta* **1456**: 79 – 103.
76. **Tisdale, S.L., Nelson, W.L** (1975). *Soil Fertility and Fertilizers*, Third Edition, Macmillan Publ. Co., New York.
77. **Vance, C.P., Uhde-Stone, C., Allan, D.L.** (2002). Tansley review: Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist* **157**: 423–447.
78. **Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P.** (2007). *Výživa polních a zahradních plodin*. Profi Press, Praha.
79. **Vert, G., Grotz, N., Dédaldéchamp, F., Gaymard, F., Guerinot, M.L., Briat, J.F., Curie, C.** (2002). IRT1, an *Arabidopsis* Transporter Essential for Iron Uptake from the Soil and for Plant Growth. *The Plant Cell* **14**: 1223-1233.
80. **Von Wirén, N., Gazzarrini, S., Gojont, A., Frommer, W.B.** (2000). The molecular physiology of ammonium uptake and retrieval. *Current Opinion in Plant Biology* **3**: 254-261.
81. **Votrubová, O.** (2001). *Anatomie rostlin*, Karolinum, Praha.
82. **Yang, T., Poovaiah, B.W.** (2003). Calcium/calmodulin-mediated signal network in plants. *TRENDS in Plant Science* **8**: 505-512.

8 Příloha

8.1 Výukový materiál

8.1.1 Deficience prvků

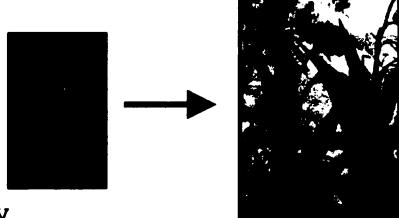
8.1.1.1 Pěstujeme rostliny – deficience vybraných prvků - manuál projekt GLOBE

Vliv dostupnosti N, Fe, Ca, Mg, P a K na růst a vývoj rostliny

V tomto pokusu si na příkladu železa, vápníku, dusíku, hořčíku, fosforu a draslíku ukážeme, jakým způsobem ovlivní nedostatek (deficience) jediné živiny růst rostliny. Budeme pozorovat velikost rostliny, délku kořene a prýtů, vizuální projevy nedostatku živiny (změny zbarvení listů (chlorózy)), zasychání rostlinných částí a vyhodnocovat přírůstek rostlinné sušiny v čase.

Co budete potřebovat?

- osivo – obilky kukuřice
- váhy (přesnost na 0,01 g)
- sušárna nebo horkovzdušná trouba
- ploché neprůhledné plastové misky nebo tázky na klíčení obilek
- zahradnický perlit nebo sklářský písek
- akvária o objemu cca 5 litrů, vzduchovací motorky, akvaristické hadičky
- chemikálie: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, KNO_3 , KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, K_2SO_4 , $\text{C}_6\text{H}_5\text{FeO}_7$ (citrát železitý), $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_4 , MnCl_2 , ZnSO_4 , CuSO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{Mo}_7\text{O}_{24}$, SAVO
- destilovaná a vodovodní voda
- albal
- láhve o objemu cca 0,5 l pro přípravu zásobních roztoků
- odměrné válce
- skalpel, odměrný válec, kádinky, pipeta, 10 lahví (objem 0,5 litru) na zásobní roztoky, tužka, permanentní lihový fix, štítky na popis akvárií, izolepa



Tabulka 1: Navážky (v gramech na 100 ml dest. vody) pro zásobní roztoky jednotlivých živin

makroelementy	navážka pro zásobní roztoky (g / 100 ml)	mikroelementy	navážka pro zásobní roztok A (g / 100 ml)
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	29,6	H_3BO_4	0,72
KNO_3	12,7	MnCl_2	4,5
KH_2PO_4	3,4	ZnSO_4	0,08
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	6,1	$(\text{NH}_4)_2\text{Mo}_7\text{O}_{24}$	0,04
$\text{C}_6\text{H}_5\text{FeO}_7$	0,5	CuSO_4	0,02
$\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	27,4		

K ₂ SO ₄	10,9		
Na ₂ HPO ₄ . 2H ₂ O	3,87		

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. Nasýťte perlit nebo písek vodovodní vodou.
 4. Vysterilizujte obilky: 10 min v horké vodě cca 60°C, 15 min ve 20% SAVU, rádně propláchněte dest. vodou.
 5. Umístěte obilky kukuřice (v rozestupech cca 2 cm) na připravený tac nebo misku. Použijte ještě jeden tac 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.
 6. Za 4-5 dní (při pokojové teplotě) by měly obilky nakláčit, mít klíček dlouhý 2-3 cm a být připraveny k zasazení.
 7. Připravte si zásobní roztoky jednotlivých živin (viz. Tabulka 1). Uchovávejte je na temném a chladném místě.
 8. Připravte si akvária. Jejich stěny musí být opatřeny neprůsvitným nátěrem nebo obalem (např. alobalovou folií), který brání přístupu světla ke kořenům rostlin. Vymyjte akvária SAVEM. Nechte SAVO působit. Přibližně za 1 hodinu akvária rádně vymyjte vodou a zavedte vzduchování.
- poznámka: Kukuřice může být pěstována v hydroponii i bez vzduchování (ALE! je nutné po týdnu vyměnit roztok)*
9. Akvárium naplňte destilovanou vodou a pomocí pipety přidejte jednotlivé zásobní roztoky (viz. Tabulka 2). Zasaděte vždy 10 klíčních rostlin do jednoho akvária a pečlivě akvária opatřete štítky se jménem nebo značkou pokusného ošetření.
 10. Pěstujte rostliny při pokojové teplotě na světlém místě (nejlépe na okenním parapetu) 14-16 dní. V průběhu kultivace hlídajte hladinu roztoku v akváriu. Dolévejte do akvária takové množství destilované vody, aby voda dosahovala až k obilce.
 11. Rostliny skliděte po 14-16 dnech kultivace.
 12. Při sklizni si nejprve všimejte vizuálních odlišností deficentních rostlin oproti kontrolním rostlinám. Odlišnosti si zaznamenejte.
 13. Rostlinu nůžkami rozdělte na prýt, kořeny a obilky.
 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.

Tabulka 2. Pipetování zásobních roztoků (v ml na 1 litr kultivačního roztoku) pro přípravu jednotlivých variant

	pipetování do jednotlivých variant (ml na 1 l kultivačního roztoku)					
	kontrola	deficiency				
		N	Fe	Ca	Mg	K
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	1	0	1	0	1	1,5
KNO ₃	1	0	1	3	1	0
KH ₂ PO ₄	1	1	1	1	1	0
MgSO ₄ · 7H ₂ O	1	1	1	1	0	1
C ₆ H ₅ FeO ₇	0,5	0,5	0	0,5	0,5	0,5
CaCl ₂ · H ₂ O	0	1	0	0	0	0
K ₂ SO ₄	0	1	0	0	0,4	0
NaH ₂ PO ₄ · 2H ₂ O	0	0	0	0	0	1
mikroelementy B*	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

*zásobní roztok mikroelementů B je připraven naředním zásobním roztoku A (1000x)

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

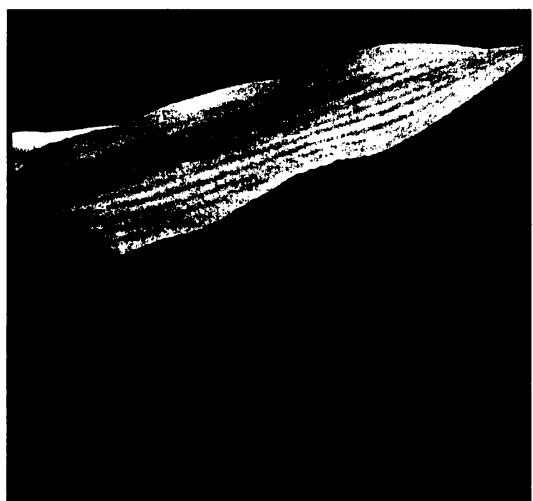
1. Projeví se nedostatek živin vždy jen snížením rychlosti růstu rostliny?
2. Je možné vizuálně rozpoznat nedostatek konkrétní živiny?
3. Pokud ano, proč tomu tak je?

Obrázková příloha 1

A) kontrola x nedostatek dusíku



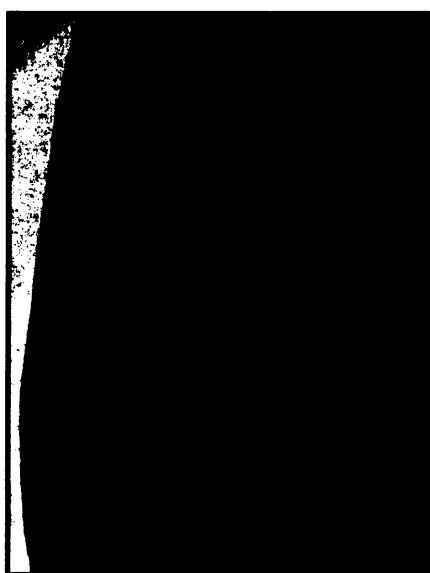
B) kontrola x nedostatek železa



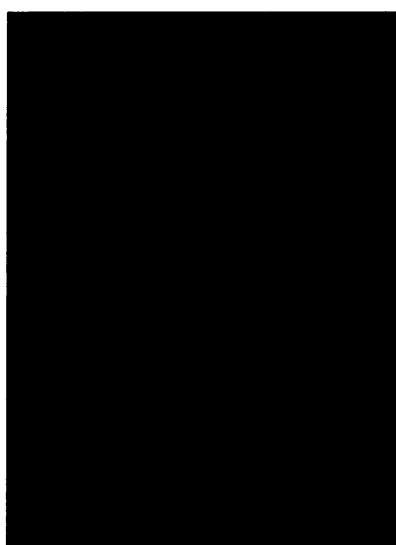
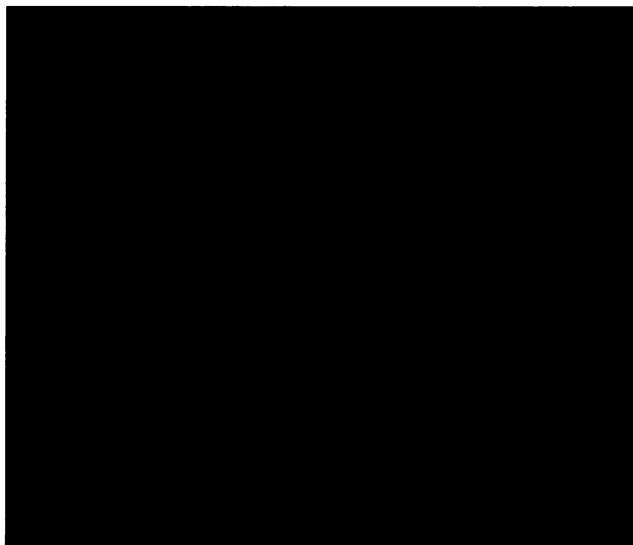
C) kontrola x nedostatek vápníku



D) nedostatek fosforu



E) nedostatek hořčíku



F) nedostatek draslíku



8.1.1.2. Protokoly pro žáky

Pěstování rostlin – MINERÁLNÍ VÝŽIVA

Laboratorní průvodce

Úloha

Zjistěte jak se projeví na kukurici deficience konkrétního prvku. Připravte podmínky pro pěstování kukurice. Vysadte klíčně rostlinky kukurice do akvaria s připraveným živným roztokem navozujícím deficenci určitého esenciálního prvku. Po 14–16 dnech hydroponické kultivace sklidte rostlinky a porovnejte charakteristiky deficitních rostlin s kontrolou.

Co budete potřebovat – materiál a pomůcky

- klíční rostlinky kukurice (10 rostlin na jednu variantu)
- akvária o objemu cca 5l (1 ks pro jednu variantu - 7 pro sadu experimentů)
- vzduchovací motorek (1ks na dvě akvária), akvaristické hadičky, rozpojky na hadičky (kultivaci je možné provést i bez vzduchování)
- alobal
- zásobní roztoky připravené podle Tab.1
- destilovaná voda cca 5 litrů pro každé akvárium + cca 2 litry pro přípravu zásobních roztoků jednotlivých prvků
- pipety, odměrný válec
- laboratorní váhy (přesnost 0,01 g)
- tužka, permanentní lihový fix
- štítky na popis akvárií, izolepa
- 1 kádinka o objemu 1litr
- 10 lahví (objem 0,5 litru) na zásobní roztoky

Ve třídě / v laboratoři

1 Kličení

- Odpočítejte 200 obilek kukuřice a zvažte všechny dohromady (hmotnost obilky se pohybuje mezi 0,25-0,40g). Určete průměrnou hmotnost obilky.
- Plastové neprůsvitné tácy nebo mělké misky pokryjte 1-2 cm vrstvou zahradnického perlitu nebo promytého písku
- Nasyťte perlit nebo písek vodovodní vodou.
- Vysterilujte obilky: 10 min v horké vodě cca 60°C, 15 min ve 20% SAVU, rádně propláchněte destilovanou vodou.
- Umístěte obilky kukuřice (v rozestupech cca 2 cm) na připravený tac nebo misku. Použijte ještě jeden tac či misku stejně velikosti, otočte ji dnem vzhůru a přikryjte nádobu s obilkami. V takto přikrytém prostoru se zvýší vzdušná vlhkost a urychlí kličení obilek.
- Za 4-5 dní (při pokojové teplotě) by měly obilky naklítit, mít klíček dlouhý 2-3 cm a být připraveny k zasazení

2 Příprava kultivačních roztoků

- Množství jednotlivých prvků, které je nutno aplikovat do kultivačního roztoku je velmi malé a bylo by obtížné je přesně navázit. Je proto nutné připravit nejprve zásobní roztoky. V případě **makroelementů** rozpustěte každou sloučeninu v 100ml destilované vody (viz. Tabulka 1), roztok uchovajte v láhvi na temném a chladném místě. Jednotlivé láhve pečlivě popište názvem chemikálie. Rozpouštějte každou sloučeninu zvlášť, aby nedošlo k jejich vzájemnému vysrážení. **Mikroelementy** je možno navázit do společného roztoku. Vzniká tak zásobní roztok A, který je nutné dále ředit 1:1000 (tj. pipetovat 1ml do litru) na zásobní roztok B. Pozor, některé chemikálie (např. citrát železitý) je nutné během rozpouštění zahřívat!

Tabulka 1. Navážky (v gramech na 100ml dest. vody) pro zásobní roztoky jednotlivých živin

<u>makroelementy</u>	navážka pro zásobní roztoky (g / 100 ml)	<u>mikroelementy</u>	navážka pro zásobní roztok A (g / 100 ml)
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	29,6	H ₃ BO ₄	0,72
KNO ₃	12,7	MnCl ₂	4,5
KH ₂ PO ₄	3,4	ZnSO ₄	0,08
MgSO ₄ · 7H ₂ O	6,1	(NH ₄) ₂ Mo ₇ O ₂₄	0,04
C ₆ H ₅ FeO ₇	0,5	CuSO ₄	0,02
CaCl ₂ · H ₂ O	27,4		
K ₂ SO ₄	10,9		
Na ₂ HPO ₄ · 2H ₂ O	3,87		

3. Příprava akvárií

- Připravte akvária, jejich stěny natřete černou barvou nebo překryjte alobalovou folií, aby se zabránilo přístupu světla ke kořenům rostlin. Před každým pokusem vymyjte akvária SAVEM a nechte ho působit 1 hodinu. Po 1 hodině akvária rádně vymyjte vodou. Zaveděte vzduchování. Jeden vzduchovací motorek můžete použít pro dvě akvária pokud použijete rozpojku (viz. fotka 1). Akvaristickou hadičku upevněte ke dnu akvária tak, aby vedla po celé jeho délce (viz. fotka 2). Na několika místech ji propíchněte špendlíkem, aby vzduchování

bylo rovnoměrné. Před osazením akvária rostlinami je vhodné vzduchování otestovat, tj. naplnit akvárium vodou přibližně do poloviny, spustit motorek a ujistit se, že vzduch uniká rovnoměrně všemi otvory.

poznámka: Kukuřice v hydroponii může být kultivována i bez vzduchování (ALE! po týdnu vyměnit roztok)

Fotka 1: vzduchování a osazení akvárií rostlinami



Fotka 2: příprava vzduchování



- b) Naplňte akvárium destilovanou vodou až po jeho horní okraj (objem vody musíte přesně znát). Pomocí pipety přidejte jednotlivé zásobní roztoky v množství odpovídajícím celkovému objemu vody v akváriu (viz. Tabulka 2). V případě mikroelementů pipetujte pouze zásobní roztok B! Vzniklý kultivační roztok dobře promíchejte.

Tabulka 2. Pipetování zásobních roztoků (v ml na 1 litr kultivačního roztoku) pro přípravu jednotlivých variant

kontrola	pipetování do jednotlivých variant (ml na 1 l kultivačního roztoku)					
	deficiency					
	N	Fe	Ca	Mg	K	P
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	1	0	1	0	1	1,5
KNO ₃	1	0	1	3	1	0
KH ₂ PO ₄	1	1	1	1	1	0
MgSO ₄ · 7H ₂ O	1	1	1	1	0	1
C ₆ H ₅ FeO ₇	0,5	0,5	0	0,5	0,5	0,5
CaCl ₂ · H ₂ O	0	1	0	0	0	0
K ₂ SO ₄	0	1	0	0	0,4	0
NaH ₂ PO ₄ · 2H ₂ O	0	0	0	0	0	0
mikroelementy B*	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

*zásobní roztok mikroelementů B je připraven naředením zásobního roztoku A

4. Výsadba klíčních rostlin

- a) Dvojitým alobalem přikryjte hladinu každého akvária. Do alobalu udělejte ve dvou řadách rovnoměrně po celé ploše 10 děr na klíční rostliny.
- b) Pomocí nůžek a nebo žiletky odstraňte velmi opatrně obilku, aniž by jste poškodili rostlinu.
- c) Do jednoho akvária zasaděte 10 klíčních rostlin a pečlivě si označte jednotlivé varianty štítky.
- d) V průběhu kultivace hlídejte hladinu roztoku v akváriu. Dolévejte do akvária takové množství destilované vody, aby voda dosahovala až k obilce.
- e) Pěstujte rostliny při pokojové teplotě na světlém místě (nejlépe na okenním parapetu) 14-16 dní.

5. Sklizeň

- a) Připravte si alobal. Nastříhejte alobal na čtverečky o velikosti 15x15cm, zvažte každý čtvereček, zaznamenejte jeho hmotnost do pracovního sešitu a lihovou fixou si tento údaj napište na alobal. Na alobal si poznamenejte s kterou variantou a částí rostliny pracujete (př. 1No = první měřená obilka u deficience dusíku)
- b) Vyjměte rostliny z akvária. Rostlinky dejte do misky s vodou (rostlinky nesmí vyschnout!!!). Každou variantu do své misky.
- c) Porovnejte deficientní rostliny s kontrolou. Zaměřte se na celkovou velikost rostliny, délku prýt x kořen, barvu listů a na případné zasychání částí rostlin. Vaše pozorování zaznamenejte do protokolu.
- d) Z 10 rostlin jedné varianty skliděte 6 stejně velkých rostlin.
- e) Těsně před zvážením rostliny ji osušte buničinou (kapky v listových pochvách nebo mezi kořen.vlásky by ovlivnily výsledky).
- f) Nůžkami ustříhněte kořen a prýt.
- g) Změřte délku prýtu a kořene. Hodnoty si zaznamenejte do pracovního sešitu.
- h) Jednotlivé části zabalte do alobalu a zvažte je. Hmotnosti si zaznamenejte do pracovního sešitu.

poznámka: Máte-li příliš dlouhé kořeny nebo prýty, můžete je nastříhat na menší kousky. Dávejte si pozor, abyste neztratili některou z ustřížených částí. Rostlinné části balte do alobalu tak, abyste měli popisky dobře viditelné

- i) Do připravených alobalových balíčků uděláme pář drobných děr nůžkami.
- j) Alobalové balíčky necháme sušit v sušárně a nebo v horkovzdušné troubě při 90°C po dobu 8-12 hodin.
- k) Pro určení suché hmotnosti rostlinné části zvažte každý alobalový balíček. Hmotnost si zaznamenejte do pracovního sešitu.
- l) Pomocí výpočtů v pracovním listu „Sklizeň“ 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
 - poměr délky kořene a prýtu
- m) Porovnejte výsledky deficiencí s výsledky kontroly

8.1.1.3 Pracovní listy

Sklizeň: Minerální výživa-deficience N, Fe, Ca, Mg, K a P

Experiment: _____	Datum: _____
Číslo opakování: _____	Student: _____

1. Než začnete sklízet, položte si vedle sebe rostlinky pěstované v deficientních roztocích a porovnejte je s kontrolou. Příznaky deficiencí si zaznamenejte. Zaměřte se na velikost prýtu a kořene (vypočítejte si poměr délky kořene x prýtu), počet listů, barvu listů, zasychání špiček,...

kontrola x deficience dusíku

kontrola x deficience vápníku

kontrola x deficience železa

kontrola x deficience fosforu

kontrola x deficience draslíku

kontrola x deficience hořčíku

Naměřené délky uvádějte v milimetrech, navážené hmotnosti uvádějte v gramech

- 2. Změřte délku kořene a prýtu. Vypočítejte průměrnou délku kořene a prýtu. Výsledky zaznamenejte do tabulky.**

Tab.1 :Délka kořene a prýtu

a) kontrola

číslo rostliny	délka kořene	délka prýtu
1		
2		
3		
4		
5		
6		
průměr	_____	_____

Průměrná délka kořene je _____.

Průměrná délka prýtu je _____.

b) deficience dusíku

číslo rostliny	délka kořene	délka prýtu
1		
2		
3		
4		
5		
6		
průměr	_____	_____

Průměrná délka kořene je _____.

Průměrná délka prýtu je _____.

c) deficience vápníku

číslo rostliny	délka kořene	délka prýtu
1		
2		
3		
4		
5		
6		
průměr	_____	_____

Průměrná délka kořene je _____.

Průměrná délka prýtu je _____.

d) deficience železa

číslo rostliny	délka kořene	délka prýtu
1		
2		
3		
4		
5		
6		

průměr _____

Průměrná délka kořene je _____.

Průměrná délka prýtu je _____.

e) deficience fosforu

číslo rostliny	délka kořene	délka prýtu
1		
2		
3		
4		
5		
6		

průměr _____

Průměrná délka kořene je _____.

Průměrná délka prýtu je _____.

f) deficience draslíku

číslo rostliny	délka kořene	délka prýtu
1		
2		
3		
4		
5		
6		

průměr _____

Průměrná délka kořene je _____.

Průměrná délka prýtu je _____.

g) deficience hořčíku

číslo rostliny	délka kořene	délka prýtu
1		
2		
3		
4		
5		
6		
průměr	_____	_____

Průměrná délka kořene je _____.

Průměrná délka prýtu je _____.

Nejdelší průměrnou délku kořene má _____.

Nejdelší průměrnou délku prýtu má _____.

3. Vypočítejte čerstvou hmotnost celé rostliny. Výsledky zaznamenejte do tabulky.

Tab.2: Čerstvá hmotnost celé rostliny

- ✓ Zvaž si alobal. Hmotnost napiš lihovou fixou na alobal.
- ✓ Rostlinnou část zabal do alobalu a zvaž ji. Do protokolu si zapiš hmotnost alobalu a hmotnost rostlinné části v alobalu.
- ✓ Vypočítej čerstvou hmotnost rostliny (Sečti čerstvou hmotnost kořene a prýtu.)
výpočet: čerstvá hmotnost jednotlivých částí = hmotnost rostlinných částí v alobalu – alobal

a) kontrola

číslo rostliny	kořen			prýt		
	hmotnost alobal	hmotnost alobal+kořen	čerstvá hmotnost	hmotnost alobal	hmotnost alobal+prýt	čerstvá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						

průměr _____

Průměrná čerstvá hmotnost kořene je _____.

Průměrná čerstvá hmotnost prýtu je _____.

Průměrná čerstvá hmotnost rostliny je _____.

b)deficience dusíku

číslo rostliny	kořen			prýt		
	hmotnost alobal	hmotnost alobal+kořen	čerstvá hmotnost	hmotnost alobal	hmotnost alobal+prýt	čerstvá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						

průměr _____

Průměrná čerstvá hmotnost kořene je _____.

Průměrná čerstvá hmotnost prýtu je _____.

Průměrná čerstvá hmotnost rostliny je _____.

c)deficience vápníku

číslo rostliny	kořen			prýt		
	hmotnost alobal	hmotnost alobal+kořen	čerstvá hmotnost	hmotnost alobal	hmotnost alobal+prýt	čerstvá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						
průměr		_____			_____	

Průměrná čerstvá hmotnost kořene je _____.

Průměrná čerstvá hmotnost prýtu je _____.

Průměrná čerstvá hmotnost rostliny je _____.

d)deficience železa

číslo rostliny	kořen			prýt		
	hmotnost alobal	hmotnost alobal+kořen	čerstvá hmotnost	hmotnost alobal	hmotnost alobal+prýt	čerstvá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						
průměr		_____			_____	

Průměrná čerstvá hmotnost kořene je _____.

Průměrná čerstvá hmotnost prýtu je _____.

Průměrná čerstvá hmotnost rostliny je _____.

a) deficience fosforu

číslo rostliny	kořen			prýt		
	hmotnost alobal	hmotnost alobal+kořen	čerstvá hmotnost	hmotnost alobal	hmotnost alobal+prýt	čerstvá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						
průměr		_____			_____	

Průměrná čerstvá hmotnost kořene je _____.

Průměrná čerstvá hmotnost prýtu je _____.

Průměrná čerstvá hmotnost rostliny je _____.

a) deficiece draslíku

číslo rostliny	kořen			prýt		
	hmotnost alobal	hmotnost alobal+kořen	čerstvá hmotnost	hmotnost alobal	hmotnost alobal+prýt	čerstvá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						

průměr _____

Průměrná čerstvá hmotnost kořene je _____.

Průměrná čerstvá hmotnost prýtu je _____.

Průměrná čerstvá hmotnost rostliny je _____.

a) deficiece hořčíku

číslo rostliny	kořen			prýt		
	hmotnost alobal	hmotnost alobal+kořen	čerstvá hmotnost	hmotnost alobal	hmotnost alobal+prýt	čerstvá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						

průměr _____

Průměrná čerstvá hmotnost kořene je _____.

Průměrná čerstvá hmotnost prýtu je _____.

Průměrná čerstvá hmotnost rostliny je _____.

Největší průměrnou čerstvou hmotnost celé rostliny má _____.

4. Vypočítejte jaký je podíl vody v rostlinné biomase. Výsledky zaznamenejte do tabulky.

Tab.3 : Podíl vody v rostlinné biomase

Pro výpočet podílu vody v rostlinné biomasy potřebujete znát čerstvou hmotnost rostliny a suchou hmotnost rostliny.

✓ Vypočítejte suchou hmotnost rostliny.

výpočet: $(hm\ alobal + rostlinná\ část) - hm\ alobal = čistá\ hmotnost\ sušiny$

$suchá\ hmotnost\ rostliny = průměr\ suchá\ hm\ kořen + průměr\ suchá\ hm\ prýt$

✓ Vypočítejte podíl vody v biomase.

výpočet: $(suchá\ hmotnost\ celé\ rostliny / čerstvá\ hmotnost\ celé\ rostliny) * 100$

Suchá hmotnost rostliny

a) kontrola

číslo rostliny	kořen			prýt		
	hmotnost allobal	hmotnost allobal+kořen	suchá hmotnost	hmotnost allobal	hmotnost allobal+prýt	suchá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						

průměr _____

Průměrná suchá hmotnost kořene je _____.

Průměrná suchá hmotnost prýtu je _____.

Průměrná suchá hmotnost rostliny je _____.

b) deficience dusíku

číslo rostliny	kořen			prýt		
	hmotnost allobal	hmotnost allobal+kořen	suchá hmotnost	hmotnost allobal	hmotnost allobal+prýt	suchá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						

průměr _____

Průměrná suchá hmotnost kořene je _____.

Průměrná suchá hmotnost prýtu je _____.

Průměrná suchá hmotnost rostliny je _____.

c) deficience vápníku

číslo rostliny	kořen			prýt		
	hmotnost alobal	hmotnost alobal+kořen	suchá hmotnost	hmotnost alobal	hmotnost alobal+prýt	suchá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						

průměr _____

Průměrná suchá hmotnost kořene je _____.

Průměrná suchá hmotnost prýtu je _____.

Průměrná suchá hmotnost rostliny je _____.

d) deficience železa

číslo rostliny	kořen			prýt		
	hmotnost alobal	hmotnost alobal+kořen	suchá hmotnost	hmotnost alobal	hmotnost alobal+prýt	suchá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						

průměr _____

Průměrná suchá hmotnost kořene je _____.

Průměrná suchá hmotnost prýtu je _____.

Průměrná suchá hmotnost rostliny je _____.

d) deficience fosforu

číslo rostliny	kořen			prýt		
	hmotnost alobal	hmotnost alobal+kořen	suchá hmotnost	hmotnost alobal	hmotnost alobal+prýt	suchá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						

průměr _____

Průměrná suchá hmotnost kořene je _____.

Průměrná suchá hmotnost prýtu je _____.

Průměrná suchá hmotnost rostliny je _____.

f) deficience draslíku

číslo rostliny	kořen			prýt		
	hmotnost alobal	hmotnost alobal+kořen	suchá hmotnost	hmotnost alobal	hmotnost alobal+prýt	suchá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						

průměr _____

Průměrná suchá hmotnost kořene je _____.

Průměrná suchá hmotnost prýtu je _____.

Průměrná suchá hmotnost rostliny je _____.

g) deficience hořčíku

číslo rostliny	kořen			prýt		
	hmotnost alobal	hmotnost alobal+kořen	suchá hmotnost	hmotnost alobal	hmotnost alobal+prýt	suchá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						

průměr _____

Průměrná suchá hmotnost kořene je _____.

Průměrná suchá hmotnost prýtu je _____.

Průměrná suchá hmotnost rostliny je _____.

Podíl vody v rostlinné biomase

a) kontrola

	Čerstvá hmotnost (g)	Suchá hmotnost (g)	% vody	% sušiny
1				
2				
3				
4				
5				
6				

průměr _____

Podíl vody v rostlinné biomase je _____.

b) deficience dusíku

	Čerstvá hmotnost (g)	Suchá hmotnost (g)	% vody	% sušiny
1				
2				
3				
4				
5				
6				

průměr _____

Podíl vody v rostlinné biomase je _____.

c) deficience vápníku

	Čerstvá hmotnost (g)	Suchá hmotnost (g)	% vody	% sušiny
1				
2				
3				
4				
5				
6				

průměr _____

Podíl vody v rostlinné biomase je _____.

d) deficience železa

	Čerstvá hmotnost (g)	Suchá hmotnost (g)	% vody	% sušiny
1				
2				
3				
4				
5				
6				

průměr _____

Podíl vody v rostlinné biomase je _____.

e) deficience fosforu

	Čerstvá hmotnost (g)	Suchá hmotnost (g)	% vody	% sušiny
1				
2				
3				
4				
5				
6				

průměr _____

Podíl vody v rostlinné biomase je _____.

f) deficience draslíku

	Čerstvá hmotnost (g)	Suchá hmotnost (g)	% vody	% sušiny
1				
2				
3				
4				
5				
6				

průměr _____

Podíl vody v rostlinné biomase je _____.

g) deficiece hořčíku

	Čerstvá hmotnost (g)	Suchá hmotnost (g)	% vody	% sušiny
1				
2				
3				
4				
5				
6				
průměr				

Podíl vody v rostlinné biomase je _____.

	kontrola	deficiece N	deficiece Ca	deficiece Fe	deficiece P	deficiece K	deficiece Mg
podíl vody v rostlině (%)							

- 5. Vypočítejte poměr suché hmotnosti kořene a prýtu. Výsledky zaznamenejte do tabulky.**

Tab.4: Poměr hmotnosti kořen x prýt

✓ Vypočítejte poměr hmotnosti sušiny kořene x prýt.
výpočet: hm sušiny kořene / hm sušiny prýtu

a) kontrola

	Suchá hmotnost kořene (g)	Suchá hmotnost prýtu (g)	Poměr kořen : prýt
1			
2			
3			
4			
5			
6			
průměr	_____	_____	_____

Průměrná suchá hmotnost kořene je _____.

Průměrná suchá hmotnost prýtu je _____.

Průměrný poměr hmotnosti sušiny kořen x prýt je _____.

b) deficience dusíku

	Suchá hmotnost kořene (g)	Suchá hmotnost prýtu (g)	Poměr kořen : prýt
1			
2			
3			
4			
5			
6			
průměr	_____	_____	_____

Průměrná suchá hmotnost kořene je _____.

Průměrná suchá hmotnost prýtu je _____.

Průměrný poměr hmotnosti sušiny kořen x prýt je _____.

c) deficience vápníku

	Suchá hmotnost kořene (g)	Suchá hmotnost prýtu (g)	Poměr kořen : prýt
1			
2			
3			
4			
5			
6			
průměr	_____	_____	_____

Průměrná suchá hmotnost kořene je _____.

Průměrná suchá hmotnost prýtu je _____.

Průměrný poměr hmotnosti sušiny kořen x prýt je _____.

d) deficience železa

	Suchá hmotnost kořene (g)	Suchá hmotnost prýtu (g)	Poměr kořen : prýt
1			
2			
3			
4			
5			
6			

průměr _____

Průměrná suchá hmotnost kořene je _____.

Průměrná suchá hmotnost prýtu je _____.

Průměrný poměr hmotnosti sušiny kořen x prýt je _____.

e) deficience fosforu

	Suchá hmotnost kořene (g)	Suchá hmotnost prýtu (g)	Poměr kořen : prýt
1			
2			
3			
4			
5			
6			

průměr _____

Průměrná suchá hmotnost kořene je _____.

Průměrná suchá hmotnost prýtu je _____.

Průměrný poměr hmotnosti sušiny kořen x prýt je _____.

f) deficience draslíku

	Suchá hmotnost kořene (g)	Suchá hmotnost prýtu (g)	Poměr kořen : prýt
1			
2			
3			
4			
5			
6			

průměr _____

Průměrná suchá hmotnost kořene je _____.

Průměrná suchá hmotnost prýtu je _____.

Průměrný poměr hmotnosti sušiny kořen x prýt je _____.

g) deficience hořčíku

	Suchá hmotnost kořene (g)	Suchá hmotnost prýtu (g)	Poměr kořen : prýt
1			
2			
3			
4			
5			
6			

průměr _____

Průměrná suchá hmotnost kořene je _____.

Průměrná suchá hmotnost prýtu je _____.

Průměrný poměr hmotnosti sušiny kořen x prýt je _____.

	kontrola	deficience N	deficience Ca	deficience Fe	deficience P	deficience K	deficience Mg
poměr sušiny kořen x prýt							

Závěry:

8.1.1.4 Protokol pro učitele

Pěstujte rostliny – Protokol MINERÁLNÍ VÝŽIVA

Cíl aktivity

Navodit u rostlin deficienci konkrétních živin (N, Ca, Fe, K, P, Mg) a zhodnotit, jaké jsou důsledky jejich nedostatku.

Výstupy studentů

Studenti se naučí připravit kultivační roztoky, vypěstovat rostliny kukuřice v hydroponické kultuře, naplánovat, založit a vyhodnotit jednoduchý biologický experiment. Student vyjmenuje základní prvky, které jsou pro růst rostliny důležité.

Časová náročnost aktivity

Předpokládaná celková délka experimentu je 20-22 dní. Jednotlivé části experimentu se mohou mírně časově lišit, v závislosti na místních podmínkách nebo čase ve vegetační sezóně. Klíčení semen obvykle zabere 4 dny, pěstování rostlin 14 -16 dní, sklizeň, stanovení suché hmotnosti biomasy a vyhodnocení experimentu 2 dny.

Fáze experimentu	Časová náročnost (dny)
Klíčení	4
Kultivace	14-16
Sklizeň	1
Sušení	1

pozn. Nedoporučujeme provádět tento experiment během zimy.

Možnosti založení experimentů:

- **varianta 1)** najednou na všechny prvky (paralelně), náročnější na materiální vybavení (7 akvárek místo 2, víc vzduchování) i na prostor.,
- **varianta 2)** zvlášť pro každý prvek (v průběhu celého roku), méně materiálně náročné
- **varianta 3)** jen na některé vybrané deficience prvků.

Frekvence

Příprava semen na klíčení a příprava zásobních roztoků 2 vyučovací hodiny (vcelku). V průběhu klíčení (4dny) kontrolujte dostupnost vody – každý den 10 minut. Příprava experimentálního systému a výsadba rostlin 1-2 vyučovací hodiny (vcelku). V průběhu kultivace rostlin dorovnávat hladinu akvária (5minut / každý druhý den, 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 (300 ks/experiment pro navození deficience všech prvků)
- chemikálie: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, KNO_3 , KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{C}_6\text{H}_5\text{FeO}_7$ (citrát železitý), $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, K_2SO_4 , $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_4 , MnCl_2 , ZnSO_4 , $(\text{NH}_4)\text{Mo}_7\text{O}_24$, CuSO_4 , SAVO
- laboratorní váhy (přesnost 0,01 g)
- neprůhledné plastové tácy nebo misky s plochým dnem na klíčení semen
- zahradnický perlit nebo sklářský písek
- pro jeden experiment 2-7 akvárií (kontrola + n počet deficiencí) o objemu cca 5l, vzduchovací motorky, akvaristické hadičky opatřené několika otvory, rozpojky (možno provést i bez vzduchování)
- skalpel, odměrný válec, kádinky, pipeta, 10 lahví (objem 0,5 litru) na zásobní roztoky
- destilovaná voda
- vodovodní voda

- tužka, permanentní lihový fix
- štítky na popis akvárií, izolepa
- sušárna nebo horkovzdušná trouba
- allobal
- pracovní listy
- digitální fotoaparát (pro možnou fotodokumentaci)

Množství materiálu

Na jednu experimentální sadu se všemi prvky (jedno opakování) budete potřebovat:

70 klíčních rostlin kukuřice (naklíčíme cca 150-200 obilek)

7 akvárií

4-5 l perlitu nebo písku

40 litrů 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.
- Zopakovat připravování roztoku o určité koncentraci.

Důležitá poznámka: Chcete-li založit experimenty během zimy, založte hydroponickou kultivaci jen pro navození nedostatku železa, dusíku a vápníku. Během jara a léta se při kultivaci projeví všechny deficience.

8.1.2. Mimokořenové hnojení

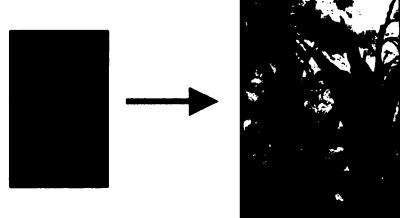
8.1.2.1. Pěstujeme rostliny – mimokořenové hnojení - manuál projektu GLOBE

Mimokořenové hnojení rostlin

V tomto pokusu se pokusíme ukázat, že deficience je jev zvratný a že pro příjem minerálních látek nejsou nutné jen kořeny, ale i listy může dojít k příjmu těchto látek. Budeme pozorovat, jak postupně zelenají chlorotické listy Fe deficientní rostliny po pravidelné aplikaci roztoku obsahující železo.

Co budete potřebovat?

- osivo – obilky kukuřice
- váhy (přesnost na 0,01 g)
- ploché neprůhledné plastové misky nebo tacky na klíčení obilek
- zahradnický perlit nebo sklářský písek
- akvária o objemu cca 5litrů, vzduchovací motorky, akvaristické hadičky
- chemikálie: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, KNO_3 , KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{C}_6\text{H}_5\text{FeO}_7$ (citrát železitý), H_3BO_4 , MnCl_2 , ZnSO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{Mo}_7\text{O}_{24}$, CuSO_4 , SAVO
- destilovaná voda
- allobal
- pipety, odměrné válce, neprůhledné plastové misky
- nůžky, lihová fix, štítky na popis akvárií
- láhve o objemu cca 0,5 l pro přípravu zásobních roztoků



Tabulka 1: Navážky (v gramech na 100 ml dest. vody) pro zásobní roztoky jednotlivých živin

<u>makroelementy</u>	navážka pro zásobní roztoky (g / 100 ml)	<u>mikroelementy</u>	navážka pro zásobní roztok A (g / 100 ml)
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	29,6	H_3BO_4	0,72
KNO_3	12,7	MnCl_2	4,5
KH_2PO_4	3,4	ZnSO_4	0,08
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	6,1	$(\text{NH}_4)_2\text{Mo}_7\text{O}_{24}$	0,04
Fe citrát	0,5	CuSO_4	0,02

Roztok pro postrík: Pipetujte za zásobního roztoku Fe citrátu (5g/l) 0,5ml do 1litru destilované vody



Hydroponická kultivace rostlin



Zahradnický perlit

Stručný postup:

1. Odpočítejte cca 60 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. Nasyste'te perlit nebo písek vodovodní vodou.
4. Vysterilizujte obilky: 10 min v horké vodě cca 60°C, 15 min ve 20% SAVU, rádně propláchněte destilovanou vodou.
5. Umístěte obilky kukuřice (v rozestupech cca 2 cm) na připravený tac nebo misku. Použijte ještě jeden tac 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.
6. Za 4-5 dní (při pokojové teplotě) by měly obilky naklítit, mít klíček dlouhý 2-3 cm a být připraveny k zasazení.
7. Připravte si zásobní roztoky jednotlivých živin (viz. Tabulka 1). Uchovávejte je na temném a chladném místě.
8. Připravte si akvária. Jejich stěny musí být opatřeny neprůsvitným nátěrem nebo obalem (např. alabalovou folií), který brání přístupu světla ke kořenům rostlin. Vymyjte akvária SAVEM. Nechte SAVO působit. Přibližně za 1 hodinu akvária rádně vymyjte vodou a zaveděte vzduchování.

poznámka: Kukuřice může být pěstována v hydroponii i bez vzduchování (ALE! je nutné po týdnu vyměnit roztok)

9. Akvárium naplňte destilovanou vodou a pomocí pipety přidejte jednotlivé zásobní roztoky (viz. Tabulka 2). Zasaděte vždy 12-14 klíčních rostlin do jednoho akvária a pečlivě akvária opatřete štítky se jménem nebo značkou pokusného ošetření.
10. Pěstujte rostliny při pokojové teplotě na světlém místě (nejlépe na okenním parapetu) 14-16 dní. V průběhu kultivace hlídejte hladinu roztoku v akváriu. Dolévejte do akvária takové množství destilované vody, aby voda dosahovala až k obilce.
11. Po 14-16 dnech kultivace si zaznamenejte jak vypadají rostliny Fe deficientní a kontrolní. Skliděte polovinu Fe deficientních a polovinu kontrolních rostlin.
12. Následujících 7-10 dní stříkejte zbytek Fe deficientní rostliny na list připraveným roztokem citrátu železitého.
13. Po 7-10 dnech porovnejte stříkanou Fe deficientní rostlinou s kontrolou a své pozorovaní si zaznamenejte. Rostliny skliděte.
14. Porovnejte výsledky z 1. a 2. sklizně.

Tabulka 2. Pipetování zásobních roztoků (v ml na 1 litr kultivačního roztoku) pro přípravu jednotlivých variant

	pipetování do jednotlivých variant (ml na 1 l kult. roztoku)	
	kontrola	deficience Fe
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	1	1
KNO ₃	1	1
KH ₂ PO ₄	1	1
MgSO ₄ · 7H ₂ O	1	1
Fe citrát	0,5	0
mikroelementy B*	0,5	0,5

*zásobní roztok mikroelementů B je připraven naředním zásobním roztoku A (1000x)

Příprava roztoku čitrátu železitého

Ze zásobního roztoku Fe citrátu 5 g/l nepipetujte 0,5 ml/l do roztríkovače s destilovanou vodou.

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

1. Jsou příznaky deficience zvratné?
2. Je možné listy přijímat minerální látky?

8.1.2.2 Protokoly pro žáky

Pěstování rostlin – Mimokořenové hnojení

Laboratorní průvodce

Úloha

Připravte podmínky pro pěstování kukurice. Vysaděte klíční rostlinky kukurice do černých akvárií s připraveným roztokem navozujícím deficience železa. Po 14–16 dnech hydroponie si zaznamenejte, jak rostlina vypadá a začněte listy Fe deficientní rostliny stříkat roztokem obsahující železo. Po 7–10 dnech porovnejte takto stříkané rostliny s kontrolou.

Co budete potřebovat – materiál a pomůcky

- klíční rostlinky kukurice (28 rostlin)
- 2 akvária- cca 5l, černé, vzduchovací motorky, akvaristické hadičky
- alobal
- zásobní roztoky připravené podle Tab.1
- destilovaná voda cca 5 litrů pro jedno akvárium
- pipety, nůžky
- laboratorní váhy (přesnost 0,01 g)
- tužka, permanentní lihový fix
- štítky na popis akvárií, izolepa
- 1 kádinka o objemu 1litr
- ploché neprůhledné plastové misky nebo tácy na kličení obilek
- zahradnický perlit/sklářský písek
- chemikálie: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, KNO_3 , KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{C}_6\text{H}_5\text{FeO}_7$ (citrát železitý), H_3BO_4 , MnCl_2 , ZnSO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{Mo}_7\text{O}_{24}$, CuSO_4 , SAVO
- pracovní listy
- digitální fotoaparát (není nutný)

Ve třídě / v laboratoři

1. Výsadba klíčních rostlin

- a) Připravte akvária a nalijte do nich kultivační roztoky. Podrobný popis přípravy roztoků najdete v úloze „Minerální výživa“. Pro tento experiment budete potřebovat pouze roztok kontrolní a roztok navozující deficience Fe (roztok bez citrátu železitého). Složení zásobních roztoků a jejich pipetování shrnuje tabulka 1. Dvojitým alobalem přikryjte hladinu. Do alobalu udělejte rovnoměrně po celé ploše díry na klíční rostliny.
- b) Do jednoho akvária zasaděte 12-14 klíčních rostlin a pečlivě si označte jednotlivé varianty štítky.
- c) V průběhu kultivace hlídejte hladinu v akváriu. Dolévejte do akvária takové množství destilované vody, aby voda dosahovala až k obilce.
- d) Pěstujte rostliny při pokojové teplotě na světlém místě (nejlépe na okenním parapetu) 14-16 dní.
- e) Po 14-16 dnech si do pracovního listu zaznamenejte, jak vypadá deficientní rostlina a kontrola, polovinu rostlin od každé varianty skliděte (1.sklizeň).
- f) Listy zbylých deficientních rostlin začněte denně stříkat připraveným roztokem (Napijetujte 0,5 ml ze zásobního roztoku Fe citrátu do rozstřikovače s destilovanou vodou).
- g) Po dalších 7-10 dnech porovnejte stříkanou deficientní rostlinu s kontrolou a s poznámkami (před mimokořenovým hnojením). Své pozorování si zaznamenejte a rostliny skliděte (2. sklizeň).
- h) Porovnejte obě sklizně.

Tab.1- Zásobní roztoky jednotlivých živin a jejich pipetování do 1 l kultivačního roztoku

	navážka pro zásobní roztoky (g / 100 ml dest. vody)	pipetování zás. roztoků (ml na 1 l kultivačního roztoku)	
		kontrola	def. Fe
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	29,6	1	1
KNO ₃	12,7	1	1
KH ₂ PO ₄	3,4	1	1
MgSO ₄ · 7H ₂ O	6,1	1	1
Fe citrát	0,5	0,5	0
mikroelementy B	*	0,5	0,5

*zásobní roztok mikroelementů B je připraven naředěním zásobního roztoku A (1000x) - podrobný návod přípravy najdete v úloze „Minerální výživa“

2. Sklizeně

- a) Vyjměte rostliny z akvária a dejte je do misky s vodou.
- b) Položte si vedle sebe kontrolní a Fe deficientní rostlinu (při 1.sklizení) a kontrolní a stříkanou Fe deficientní rostlinu (při 2.sklizení) a porovnejte jejich morfologii, barvu... Své pozorování si zaznamenejte do pracovního listu. Rostliny skliďte. Podrobný popis jak sklidit rostliny najdete v úloze „Minerální výživa“.
- c) Porovnejte své záznamy před postřikem Fe deficientních rostlin a po 7-10 denním postřiku Fe deficientních rostlin.

8.1.2.3 Pracovní listy

Sklizeň: Minerální výživa - mimokořenové hnojení

Experiment: _____

Datum: _____

Číslo opakování: _____

Student: _____

Než začnete stříkat Fe deficitní rostliny, sklid'te polovinu Fe deficientních rostlin a polovinu kontrolních rostlin.

SKLIZEŇ 1

1. Položte si vedle sebe Fe deficientní rostlinu a kontrolní rostlinu. Zaznamenejte si, v čem se tyto rostliny liší.

Návod: Zaměřte se na velikost prýtu a kořene, počet listů, barvu listů, zasychání špiček, ...

Kontrola

Fe deficientní rostlina (nestříkaná)

Naměřené délky uvádějte v milimetrech, navážené hmotnosti uvádějte v gramech

Tab.1: Délka kořene a prýtu
a) kontrola

číslo rostliny	délka kořene	délka prýtu
1		
2		
3		
4		
5		
6		
průměr	_____	_____

Průměrná délka kořene je _____.
Průměrná délka prýtu je _____.

b) Fe deficentní rostliny

číslo rostliny	délka kořene	délka prýtu
1		
2		
3		
4		
5		
6		
průměr	_____	_____

Průměrná délka kořene je _____.
Průměrná délka prýtu je _____.

Nejdelší průměrnou délku kořene má _____.
Nejdelší průměrnou délku prýtu má _____.

Tab.2: Čerstvá hmotnost celé rostliny

- ✓ Zvaž si alobal. Hmotnost napiš lihovou fixou na alobal.
- ✓ Rostlinnou část zabal do alobalu a zvaž ji. Do protokolu si zapiš hmotnost alobalu a hmotnost rostlinné části v alobalu.
- ✓ Vypočítej čerstvou hmotnost rostliny (Sečti čerstvou hmotnost kořene a prýtu.)

výpočet: čerstvá hmotnost jednotlivých částí = hmotnost rostlinných částí v alobalu – alobal

a) kontrola

číslo rostiny	kořen			Prýt		
	hmotnost alobalu	hmotnost alobal+kořen	čerstvá hmotnost	hmotnost alobalu	hmotnost alobal+prýt	čerstvá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						

průměr _____

Průměrná čerstvá hmotnost rostliny je _____.

b) Fe deficientní rostliny

číslo rostiny	kořen			Prýt		
	hmotnost alobalu	hmotnost alobal+kořen	čerstvá hmotnost	hmotnost alobalu	hmotnost alobal+prýt	čerstvá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						

průměr _____

Průměrná čerstvá hmotnost rostliny je _____.

Největší průměrnou čerstvou hmotnost celé rostliny má _____.

Tab.3 : Podíl vody v rostlinné biomase

Pro výpočet podílu vody v rostlinné biomasy potřebujete znát čerstvou hmotnost rostliny a suchou hmotnost rostliny.

✓ Vypočítejte suchou hmotnost rostliny.

výpočet: $(hm\ alobal + rostlinná\ část) - hm\ alobal = čistá\ hmotnost\ sušiny$
 $suchá\ hmotnost\ rostliny = průměr\ suchá\ hm\ kořen + průměr\ suchá\ hm\ prýt$

✓ Vypočítejte podíl vody v biomase.

výpočet: $(suchá\ hmotnost\ celé\ rostliny / čerstvá\ hmotnost\ celé\ rostliny) * 100$

Suchá hmotnost rostliny

a) kontrola

číslo rostiny	kořen			prýt		
	hmotnost alobalu	hmotnost alobal+kořen	Suchá hmotnost	hmotnost alobalu	hmotnost alobal+prýt	Suchá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						

průměr _____

Průměrná suchá hmotnost kořene je _____.

Průměrná suchá hmotnost prýtu je _____.

Průměrná suchá hmotnost rostliny je _____.

b) Fe deficentní rostlina

číslo rostiny	kořen			prýt		
	hmotnost alobalu	hmotnost alobal+kořen	suchá hmotnost	hmotnost alobalu	hmotnost alobal+prýt	suchá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						

průměr _____

Průměrná suchá hmotnost kořene je _____.

Průměrná suchá hmotnost prýtu je _____.

Průměrná suchá hmotnost rostliny je _____.

Podíl vody v rostlinné biomase

výpočet: $(\text{suchá hmotnost celé rostliny}/\text{čerstvá hmotnost celé rostliny}) * 100$

a) kontrola

	Čerstvá hmotnost (g)	Suchá hmotnost (g)	% vody	% sušiny
1				
2				
3				
4				
5				
6				

průměr

Podíl vody v rostlinné biomase je _____.

b) Fe deficientní rostlina

	Čerstvá hmotnost (g)	Suchá hmotnost (g)	% vody	% sušiny
1				
2				
3				
4				
5				
6				

průměr

Podíl vody v rostlinné biomase je _____.

	kontrola	stříkaná Fe deficientní rostlina
podíl vody v rostlině (%)		

Sklizeň 2

Než začnete sklízet, položte si vedle sebe stříkané Fe deficentní rostliny a kontrolní rostliny a porovnejte je. Své pozorování si zaznamenejte. Zaměřte se na velikost prýtu a kořene ,počet listů, barvu listů,...

Kontrola

Stříkaná Fe deficentní rostlina

Tab.1 :Délka kořene a prýtu

a) kontrola

číslo rostliny	délka kořene	délka prýtu
1		
2		
3		
4		
5		
6		

průměr _____

Průměrná délka kořene je _____.

Průměrná délka prýtu je _____.

b) stříkané Fe deficientní rostliny

číslo rostliny	délka kořene	délka prýtu
1		
2		
3		
4		
5		
6		

průměr _____

Průměrná délka kořene je _____.

Průměrná délka prýtu je _____.

Nejdelší průměrnou délku kořene má _____.
Nejdelší průměrnou délku prýtu má _____.

Tab.2: Čerstvá hmotnost celé rostliny

- ✓ Zvaž si alobal. Hmotnost napiš lihovou fixou na alobal.
- ✓ Rostlinnou část zabal do alobalu a zvaž ji. Do protokolu si zapiš hmotnost alobalu a hmotnost rostlinné části v alobalu.
- ✓ Vypočítej čerstvou hmotnost rostliny (Sečti čerstvou hmotnost kořene a prýtu.)

výpočet: čerstvá hmotnost jednotlivých částí = hmotnost rostlinných částí v alobalu – alobal

a) kontrola

číslo rostiny	kořen			prýt		
	hmotnost alobalu	hmotnost alobal+kořen	čerstvá hmotnost	hmotnost alobalu	hmotnost alobal+prýt	čerstvá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						

průměr _____

Průměrná čerstvá hmotnost rostliny je _____.

b) stříkaná Fe deficientní rostliny

číslo rostiny	kořen			prýt		
	hmotnost alobalu	hmotnost alobal+kořen	čerstvá hmotnost	hmotnost alobalu	hmotnost alobal+prýt	čerstvá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						

průměr _____

Průměrná čerstvá hmotnost rostliny je _____.

Největší průměrnou čerstvou hmotnost celé rostliny má _____.

Tab.3 : Podíl vody v rostlinné biomase

Pro výpočet podílu vody v rostlinné biomasy potřebujete znát čerstvou hmotnost rostliny a suchou hmotnost rostliny.

- ✓ Vypočítejte suchou hmotnost rostliny.

výpočet: $(hm\ alobal+rostlinná\ část)-hm\ alobal = čistá\ hmotnost\ sušiny$

$suchá\ hmotnost\ rostliny = průměr\ suchá\ hm\ kořen + průměr\ suchá\ hm\ prýt$

- ✓ Vypočítejte podíl vody v biomase.

výpočet: $(suchá\ hmotnost\ celé\ rostliny/čerstvá\ hmotnost\ celé\ rostliny) * 100$

Suchá hmotnost rostliny**a) kontrola**

číslo rostiny	kořen			prýt		
	hmotnost alobalu	hmotnost alobal+kořen	suchá hmotnost	hmotnost alobalu	hmotnost alobal+prýt	suchá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						

průměr _____

Průměrná suchá hmotnost kořene je _____.

Průměrná suchá hmotnost prýtu je _____.

Průměrná suchá hmotnost rostliny je _____.

b) stříkaná Fe deficientní rostlina

číslo rostiny	kořen			prýt		
	hmotnost alobalu	hmotnost alobal+kořen	suchá hmotnost	hmotnost alobalu	hmotnost alobal+prýt	suchá hmotnost
1						
2						
3						
4						
5						
6						

průměr _____

Průměrná suchá hmotnost kořene je _____.

Průměrná suchá hmotnost prýtu je _____.

Průměrná suchá hmotnost rostliny je _____.

Podíl vody v rostlinné biomase

a) kontrola

	Čerstvá hmotnost (g)	Suchá hmotnost (g)	% vody	% sušiny
1				
2				
3				
4				
5				
6				

průměr _____

Podíl vody v rostlinné biomase je _____.

b) stříkaná Fe deficientní rostlina

	Čerstvá hmotnost (g)	Suchá hmotnost (g)	% vody	% sušiny
1				
2				
3				
4				
5				
6				

průměr _____

Podíl vody v rostlinné biomase je _____.

	kontrola	Stříkaná Fe deficientní rostlina
podíl vody v rostlině (%)		

Závěry:

8.1.2.4. Protokol pro učitele

Pěstujte rostliny – Protokol MINERÁLNÍ VÝŽIVA - mimokořenové hnojení

Cíl aktivity

Navodit u rostlin deficienci železa a zvrátit deficienci pomocí mimokořenového hnojení na list.

Výstupy studentů

Studenti se naučí připravit kultivační roztoky, vypěstovat rostliny kukuřice v hydroponické kultuře, naplánovat, založit a vyhodnotit jednoduchý biologický experiment. Student popíše vliv mimokořenového hnojení na rostlinu. Student vyjmenuje základní prvky, které jsou pro růst rostliny důležité.

Časová náročnost aktivity

Předpokládaná celková délka experimentu je 29-32 dní. Jednotlivé části experimentu se mohou mírně časově lišit, v závislosti na místních podmínkách nebo čase ve vegetační sezóně. Klíčení semen obvykle zabere 4 dny, pěstování rostlin 23-26 dní.

Fáze experimentu	Časová náročnost (dny)
Klíčení	4
Kultivace	21-24
Sklizeň	2

Frekvence

- Příprava semen na klíčení a příprava zásobních roztoků 2 vyučovací hodiny (vcelku).
- V průběhu 4 dní klíčení, každý den kontrola dostupnosti vody - každý den 10 minut (možno o víkendu vynechat).
- Příprava experimentálního systému a výsadba rostlin 1-2 vyučovací hodiny (vcelku).
- V průběhu kultivace rostlin dorovnávat hladinu akvária (5minut / každý druhý den, možno o víkendu vynechat).
- Denní postřik listů Fe deficitní rostliny (o víkendu možno vynechat).
- Dvě sklizně – první sklizeň před postříkem a druhá sklizeň po 7-10 dnech postřiku zabere 1-2 vyučovací hodiny/1sklizeň.
- Sušení rostlin 8-12 hodin v sušárně nebo horkovzdušné troubě při 90°C.

Materiál a pomůcky

- obilky kukuřice (cca 180 kusů/ 3 experimenty, záleží na kolik opakování experimentu se chystáte)
- chemikálie: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, KNO_3 , KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{C}_6\text{H}_5\text{FeO}_7$ (citrát železitý), H_3BO_4 , MnCl_2 , ZnSO_4 , $(\text{NH}_4)\text{Mo}_7\text{O}_{24}$, CuSO_4 , SAVO
- laboratorní váhy (přesnost 0,01 g)
- neprůhledné plastové tácy nebo mísy s plochým dnem na klíčení semen
- zahradnický perlit nebo sklářský písek
- pro jeden experiment 2 akvária o objemu cca 5l, 1 vzduchovací motorek, akvaristické hadičky opatřené několika otvory, rozpojky (možno provést i bez vzduchování)
- odměrný válec, kádinky, pipeta, 7 lahví na zásobní roztoky
- tužka, permanentní lihový fix
- štítky na popis akvárií, izolepa
- 1 kádinka o objemu 1litr
- destilovaná voda

- vodovodní voda
- albal, nůžky
- sušárna nebo horkovzdušná trouba
- pracovní listy
- digitální fotoaparát (není nutné)

Množství materiálu

Na jednu experimentální sadu (jedno opakování) budete potřebovat:

28 klíčních rostlin kukuřice (naklíčíme cca 60 obilek)

2 akvária

4-5 l perlitu nebo písku

10 litrů 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.
- Zopakovat přípravování roztoku o určité koncentraci.

8.1.3 PowerPointový klíč, materiál pro určování deficience vybraného prvku

8.1.3.1 Klíč k určení deficiencí vybraných prvků

Určete chybějící živinu podle vzhledu rostlinky!



Takto vypadají kontrolní rostlinky.

Pokud se vaše rostlinka vizuálně liší,
klikněte sem

Psanáček: Ne které symptomy se náležně prokrývají, tj. vyskytují se u vše deficiencí. Navíc je rostlina maticí vždy variabilní.
Nebude proto smíšit, pokud se vám určení nepovede hned na první polohu :)

**Výrazně se odlišuje od kontrolní rostlinky velikostí a
tvarem?**

ANO



NE



vrátit se o krok zpět
 vrátit se na začátek

Odlišuje se od kontrolní rostliny barvou listů?

(klikněte na příslušné tlačítko)

ANO

NE

vrat' se o krok zpět

vrat' se na začátek

Jak výrazné jsou odlišnosti ve velikosti a tvaru?

rostliny jsou výrazně menší oproti kontrole, mají
zaschlé nebo tvarově deformované vzrostné vrcholy
a zaschlé apikální části listů

rozdíl velikosti oproti kontrole je méně výrazný,
vzrostné vrcholy nejsou deformované

vrat' se o krok zpět

vrat' se na začátek

Jak můžete rostlinu dále charakterizovat?

lze pozorovat hnědnutí až zasychání okrajových částí listových čepelí a špiček listů, zasychání postihuje i mladší listy, kořeny nejsou delší oproti kontrolním rostlinám



je možné pozorovat žloutnutí (chlorózu) až zasychání listových čepelí, které postihuje přednostně nejstarší listy, kořeny jsou delší oproti kontrolním rostlinám



- vrát' se o krok zpět
- vrát' se na začátek

Jaká je tato změna barvy?

Žloutnutí (chloróza)



červenání, patrné především na obvodu a ve střední části listů, rostliny mají delší kořeny oproti kontrolním rostlinám



- vrát' se o krok zpět
- vrát' se na začátek

O jaký typ chlorózy se jedná?

chloróza zasahuje téměř celou plochu listové čepele
(listy jsou jen slabě pruhované), je velmi výrazná



chloróza postihuje především oblasti mezi žilnatinou
(listy jsou výrazně pruhované), v pozdější fázi mohou
oblasti mezi žilkami zasychat



vrať' se o krok zpět
 vrať' se na začátek

Vaši rostlině chybí: Železo (Fe)



vrať' se o krok zpět
 vrať' se na začátek



Význam: -: žlutavé nebo
rostliny mívají nedostatek železa

Význam pro rostlinu

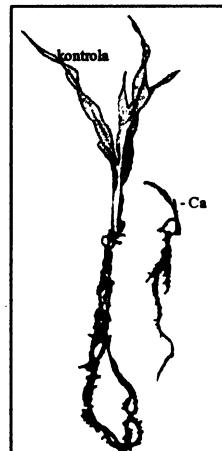
Vaši rostlině chybí: hořčík (Mg)



Význam pro rostlinu

vrát' se o krok zpět
 vrát' se na začátek

Vaši rostlině chybí: vápník (Ca)



Význam pro rostlinu

vrát' se o krok zpět
 vrát' se na začátek

Vaši rostlině chybí: draslík (K)

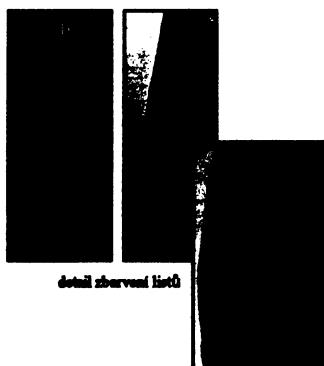
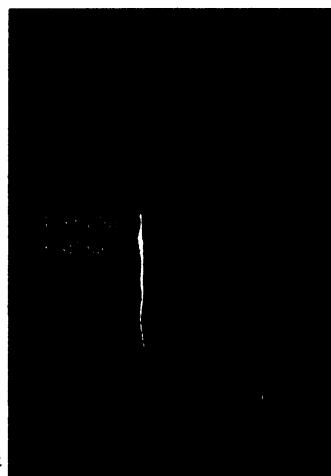


zasychní špičky
listů

vrat' se o krok zpět
 vrat' se na začátek

Význam pro rostlinu

Vaši rostlině chybí: fosfor (P)



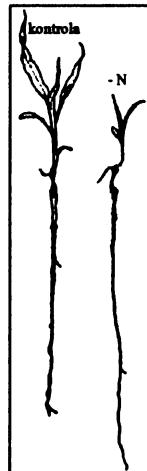
detail zbercené listů

Vinnouci si, že rostiny bez P mají delší kořeny oproti zdrojnicím rostlinám, přestože velikost prým je menší!

vrat' se o krok zpět
 vrat' se na začátek

Význam pro rostlinu

Vaši rostlině chybí: dusík (N)



Vímejte si, že rostliny bez N mají výrazně delší kořeny
srovnatelné srostlinami, přestože velikost prýta je
stejná.

 vrat' se o krok zpět
 vrat' se na za  tek

Význam pro rostlinu

Železo

- $\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}$
 - Součást enzymů redoxních reakcí (fotosyntéza, dýchání), syntéza chlorofylu
 - Chloróza, potlačení tvorby vrcholových pupenů

Dusík

- NO^3- , NH^4+
- Složka bílkovin a enzymů, součást chlorofylu
- Zakrnělý vzrůst, chloróza, převaha kořenové soustavy nad prýtem

 vrat' se o krok zpět
 vrat' se na začátek

Vápník

- Ca^{2+}
- Regulace hydratace, dlouživého rustu a pH bunecné štávy, udržení struktury bun. Membrány, prenos signálu, strukturní fce v bunecné stene
- Degenerace meristému, deformace listu, zpomalený rust korene, porucha propustnosti membrán

 vrat' se o krok zpět
 vrat' se na začátek

Hořčík

- Mg^{2+}
- Součást molekuly chlorofylu, aktivace enzymů, nutný pro syntézu nukleových kyselin a bílkovin, ...
- intervenózní chlorózy, pokles rychlosti fotosyntézy, snížený růst

 [vrať se o krok zpět](#)
 [vrať se na začátek](#)

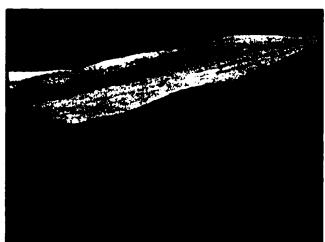
Fosfor

- $H_2PO_4^{2-}$
- Součást nukleových kyselin, ATP, vitaminů atd.
- tmavé zbarvení listů, snížená účinnost fotosyntézy, omezení tvorby reproduktivních orgánů, u kukurice-červenání

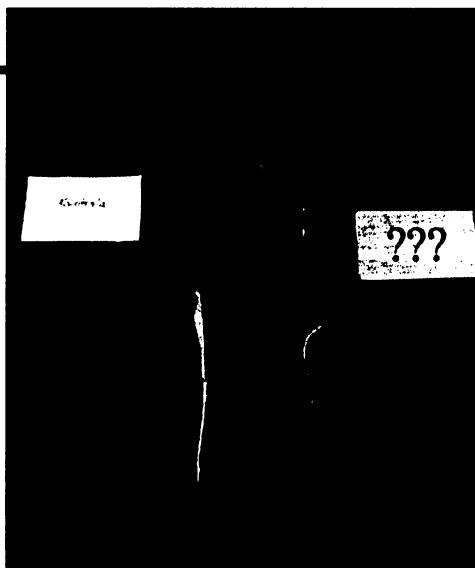
 [vrať se o krok zpět](#)
 [vrať se na začátek](#)

8.1.3.2 Materiál pro určování deficience vybraného prvku

Co chybí rostlině?



10.9.2009

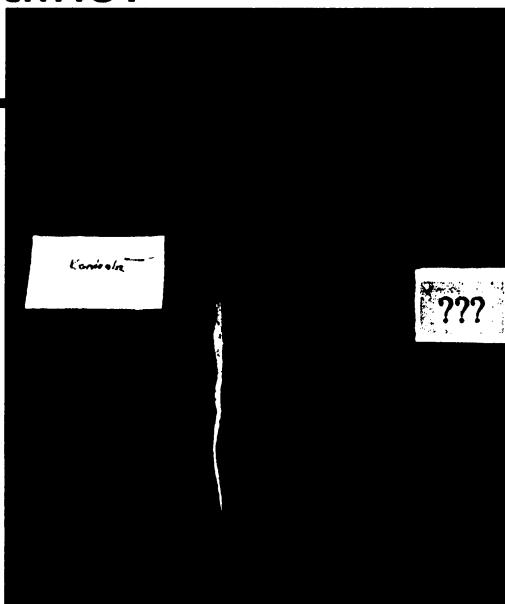


1

Co chybí rostlině?



10.9.2009

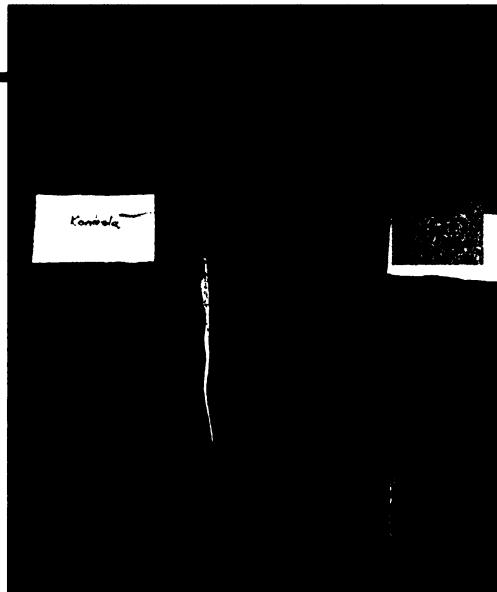


2

Co chybí rostlině?



10.9.2009



Co chybí rostlině

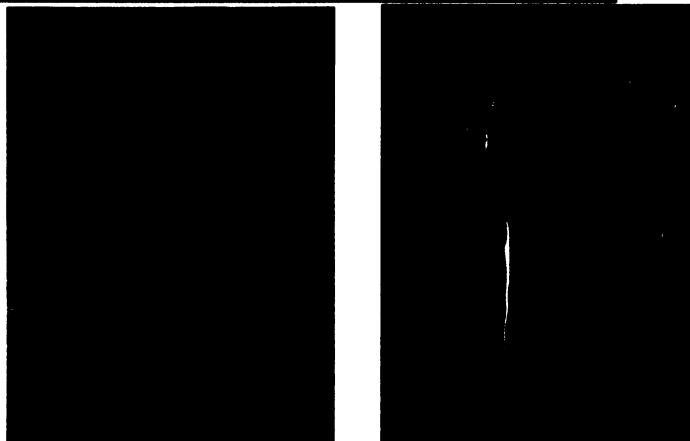


10.9.2009



4

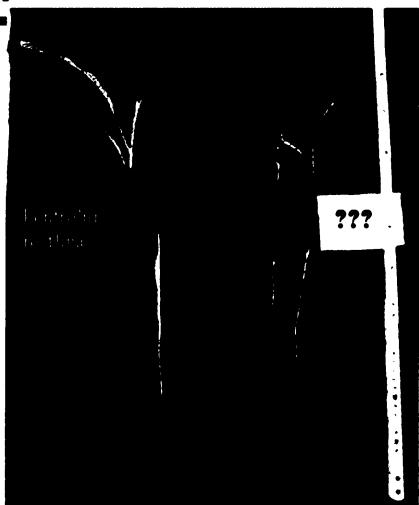
Co chybí rostlině



10.9.2009

5

Co chybí rostlině



10.9.2009

6

8.2. Dotazníky

8.2.1 Dotazník - vybavenost Na školách

Název pilotní školy GLOBE:

Dotazník – vybavenost na školách

Vážená paní profesorko, vážený pane profesore.

Jmenuji se Lenka Moravcová. Jsem studentka navazujícího magisterského studia oboru Biologie se zaměřením na vzdělávání na Přírodovědecké fakultě v Praze. Cílem mé diplomové práce je vytvořit protokoly a výukové materiály pro střední školy, které by demonstrovaly důležitost minerální výživy pro růst a vývoj rostlin. Aby tyto materiály opravdu bylo možné použít pro školní účely, potřebuji Vaši zpětnou vazbu, díky které budu moci své materiály upravit. Předem děkuji za vyplnění tohoto dotazníku a doufám, že s Vaší pomocí vytvoříme plnohodnotné a zajímavé výukové materiály, které studenty zaujmou a názorně vyloží látku.

Údaje budou použit pouze pro účely výzkumného projektu.

Srdečně zdraví Lenka Moravcová

1. Pro namíchání kultivačního roztoku jsou zapotřebí tyto chemikálie: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, KNO_3 , KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{C}_6\text{H}_5\text{FeO}_7$ (citrát železitý), $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, K_2SO_4 , $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_4 , MnCl_2 , ZnSO_4 , $(\text{NH}_4)\text{Mo}_7\text{O}_{24}$, CuSO_4 , SAVO. Zaškrtněte chemikálie, které máte a nebo si je můžete pořídit.

Chemikálie	Ano	Ne	Chemikálie	Ano	Ne
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$			$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		
KNO_3			H_3BO_4		
KH_2PO_4			MnCl_2		
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$			ZnSO_4		
$\text{C}_6\text{H}_5\text{FeO}_7$			$(\text{NH}_4)\text{Mo}_7\text{O}_{24}$		
$\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$			CuSO_4		
K_2SO_4			SAVO		

2. Osivo-kukuřice:

- a) Kde jste si obstarali osivo? _____
- b) Od jaké firmy a jaký typ osiva používáte? _____
- c) Kolik stál váš vybraný typ osiva? _____
- d) Zplesnivěly obilky během hydroponické kultivace? _____

3. Pro naklícení obilek je potřeba dva neprůhledné tácy s plochým dnem, zahradnický perlit a nebo sklářský písek. Máte problém s pořízením některých těchto věcí?

	Ano	Ne
neprůhledné tácy		
zahradnický perlit		
sklářský písek		

4. Pro jeden experiment je potřeba 7 akvárií o objemu okolo 5 litrů.

- a) Máte k dispozici akvária? Jaký mají objem? _____
- b) Akvárium lze alternativně nahradit jinou nádobou. Zaškrtněte alternativu, kterou jste použili.

	Ano	Ne
velká zavařovací sklenice		
PET láhev		
jiné		

5. Máte k dispozici pro pěstování rostlin v hydroponii vzduchovací motorek?

6. Pro navážení chemikálií je zapotřebí vah s přesností na dvě desetinná místa. Zaškrtněte váhu, kterou disponujete.

	Ano	Ne
váhy		
váhy s přesností na 1g		
váhy s přesností na 0,1g		
váhy s přesností na 0,01g		
váhy s přesností na 0,001g		

7. Pro přípravu hydroponické kultivace je zapotřebí odměrného válce a pipety. Jaké velikosti odměrných válců máte k dispozici? Máte na škole k dispozici pipety?

	Ano	Ne
pipeta do 1ml		
odměrný válec do 10 ml		
odměrný válec do 100 ml		

8. Pro určení suché hmotnosti rostlin je zapotřebí sklizené rostliny usušit v sušárně a nebo v horko vzdušné troubě. Vlastní vaše škola některé z těchto zařízení?

	Ano	Ne
sušárna		
horkovzdušná trouba		
jiné		

9. Pro přípravu kultivačního roztoku je potřeba relativně velké množství destilované vody. Máte možnost si ve škole udělat vlastní destilovanou vodu a nebo ji musíte kupovat? V případě, že musíte destilovanou vodu kupovat je to pro Vaši školu nákladné?

	Ano	Ne
destilovací zařízení		
obchod		
koupě je nákladná		

8.2.2 Dotazník – protokoly: Minerální výživa a mimokořenové hnojení, klíč k určování deficience minerálních prvků

Název pilotní školy GLOBE:

Dotazník – protokoly: Minerální výživa a mimokořenové hnojení, klíč k určení deficience minerálních prvků

Vážená paní profesorko, vážený pane profesore.

Jmenuji se Lenka Moravcová. Jsem studentka navazujícího magisterského studia oboru Biologie se zaměřením na vzdělávání na Přírodovědecké fakultě v Praze. Cílem mé diplomové práce je vytvořit protokoly a výukové materiály pro střední školy, které by demonstrovaly důležitost minerální výživy pro růst a vývoj rostlin. Aby tyto materiály opravdu bylo možné použít pro školní účely, potřebuji Vaši zpětnou vazbu, díky které budu moci své materiály upravit. Předem děkuji za vyplnění tohoto dotazníku a doufám, že s Vaší pomocí vytvoříme plnohodnotné a zajímavé výukové materiály, které studenty zaujmou a názorně vyloží látku.

Údaje budou použit pouze pro účely výzkumného projektu.

Srdečně zdraví Lenka Moravcová

1. Myslíte si, že tyto pokusy můžou zatraktivnit výuku biologie?

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

2. Jsou experimenty dostatečně demonstrativní?

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

3. Jsou tyto experimenty pro Vás využitelné?

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

4. Jsou protokoly srozumitelné? Prosím, označujte jednotlivé kroky a vyjádřete se k nim. (1 – výborné, 2 – velmi dobré, 3 – dobré, 4 – dostatečné, 5 – nepoužitelné)

	1	2	3	4	5
Klíčení					
Příprava kult. roztoku					

Příprava akvárií					
Založení pokusu					
Sklizeň					

- Klíčení:
- Příprava kultivačních roztoků:
- Příprava akvárií:
- Založení pokusu:
- Sklizeň:

5. U kterých z výše uvedených kroků pokusu by jste uvítali demonstrativní video?

	Ano	Ne
Klíčení		
Příprava kult. roztoku		
Příprava akvárií		
Založení pokusu		
Sklizeň		

6. Je powerpointový klíč k určování deficience minerálního prvku použitelný? Co by jste na něm změnili nebo vylepšili?

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

Návrhy na vylepšení:

7. Chtěli bychom připravit powerpointovou prezentaci pro výklad minerální výživy, která by vysvětlila důležitost základních makrobiogenních prvků pro růst a vývoj rostlin (význam pro rostlinu, projev deficiente daného prvku, obrazový materiál). Využili by jste tento materiál?

- ANO, protože _____

- NE, protože _____
- NEVÍM, protože _____