

Mendelova univerzita v Brně

Agromická fakulta

Ústav agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin



**Účinek interakce deficitní výživy a výskytu bakterióz
na růst a vývoj rostlin rajčete jedlého (*Solanum
lycopersicum* L.)**

Diplomová práce

Vedoucí práce:
doc. Ing. Petr Škarpa, Ph.D.

Vypracovala:
Bc. Marie Školníková

Brno 2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatelka: **Bc. Marie Školníková**

Studijní program: Rostlinolékařství

Obor: Rostlinolékařství

Název tématu: **Účinek interakce deficitní výživy a výskytu bakterióz na růst a vývoj rostlin rajčete jedlého (*Solanum lycopersicum* L.)**

Rozsah práce: 50 – 60 stran

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literárního přehledu na zadané téma
2. Založení nádobového experimentu formou hydroponie s deficitními roztoky na živiny (vybrané makrobiogenní prvky) a inokulace bakterióz
3. Hodnocení vývoje a růstu rostlin rajčete (kořenového systému, nadzemní části) při deficitu vybraných živin v počátečních fázích vývoje a stanovení aktivní části kořenového systému na základě měření elektrické kapacity kořenů LCR-metrem (ECL-131D) na rostlinách zdravých a rostlinách napadených patogenem
4. Sledování projevů deficitu makrobiogenních prvků na habitu rostliny, hodnocení výnosu sušiny nadzemní i kořenové hmoty a jejich chemických analýz (ARR) u rostlin zdravých a rostlin napadených patogenem.
5. Navržení metody statistického zpracování

Seznam odborné literatury:

1. Licencované databáze: Biological Abstracts (online)
2. Licencované databáze: CAB abstract (online)
3. Licencované databáze: SCOPUS (online)
4. Licencované databáze: Web of Science (online)

Datum zadání diplomové práce: říjen 2016

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2017

L. S.

Bc. Marie Školníková
Autorka práce

doc. Ing. Petr Škarpa, Ph.D.
Vedoucí práce

doc. Ing. Petr Škarpa, Ph.D.
Vedoucí ústavu

doc. Ing. Pavel Ryant, Ph.D.
Děkan AF MENDELU

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem práci „Účinek interakce deficitní výživy a výskytu bakterióz na růst a vývoj rostlin rajčete jedlého (*Solanum lycopersicum* L.)“ vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnici o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Petru Škarpovi, Ph.D. za ochotu, poskytnutí potřebných materiálů pro vypracování, odborné vedení a rady při psaní této práce.

Výstupy a výsledky této práce byly zpracovány na přístrojovém vybavení financovaném z projektu OP VaVpI CZ.1.05/4.1.00/04.0135 Výukové a výzkumné kapacity pro biotechnologické obory a rozšíření infrastruktury.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá posouzením vlivu deficitní výživy makrobiogenními prvky v kombinaci s napadením bakterií *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* na růst a vývoj rostlin rajčete jedlého (*Solanum lycopersicum* L.). Pokus probíhal formou hydroponie, jako modelová rostlina byla pěstována keříčková odrůda rajčete Darinka v roztocích s nedostatkem N, P, K, Ca, Mg a v roztoku s úplným obsahem živin, který sloužil jako kontrolní varianta. Během počátečních fází vývoje rostlin byl hodnocen vliv deficitní výživy v interakci s patogenem na hmotnost sušiny kořenů a nadzemní části, aktivitu kořenového systému, jeho délku a plochu a obsah živin v rostlině. V 1. odběru byl u infikovaných rostlin zhodnocen také stupeň napadení bakterií, který byl nejvyšší u rostlin s nedostatkem P a Ca. U infikovaných i neinfikovaných rostlin byla největší redukce hmotnosti nadzemní části při absenci N a P, hmotnost kořenového systému byla nejvíce snížena u rostlin s deficitem Ca, N, P a Mg. Elektrická kořenová kapacita, délka i plocha měly v rámci infikovaných rostlin nejnižší hodnoty při nedostatku Ca, N a P. U neinfikované varianty byla aktivita kořenů a jejich délka a plocha velmi nízká u rostlin s deficitem Ca a N. Napadení bakterií vedlo k redukci všech pozorovaných parametrů v porovnání s variantou nenapadenou. Na základě výsledků rozboru rostlin byly potvrzeny antagonistické i synergické vztahy mezi sledovanými prvky.

Klíčová slova: rajče, *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*, kořenový systém, elektrická kořenová kapacita, příjem živin, hydroponie

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is determination of the influence of deficient nutrition in combination of *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* infection on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) growth and development. In hydroponic cultivation experiment, tomato variety Darinka was cultivated in solutions without N, P, K, Ca, Mg and in variant with all nutrition (control variant). The dry matter of root and stem was weighed and root length, density and electrical capacitance were set. The content of nutrition in plants was also assessed. The level of infection was determined in 1st term, the highest level had plants with insufficient of Ca and P. High reduction of root and stem dry matter was found in Ca, N, P and Mg deficient plants. The low root electrical capacitance, length and density was determined in plants with Ca, N a P deficiency within infected group and in Ca and N deficient plants within noninfected group. Bacterial infection caused the reduction of all observing parameters in contrast to the plants from noninfected group. The antagonism and synergism between the elements were also showed.

Key words: tomato, *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*, root system, root electrical capacitance, supply of nutrition, hydroponic cultivation

OBSAH

1	ÚVOD.....	9
2	CÍL PRÁCE.....	10
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED	11
3.1	Rajče jedlé (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	11
3.1.1	Botanická a biologická charakteristika	11
3.1.2	Anatomická a morfologická charakteristika	11
3.1.3	Nároky na prostředí	12
3.1.4	Choroby rajčete.....	13
3.2	Patogen <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i>	18
3.3	Kořenový systém.....	20
3.3.1	Stavba kořene.....	20
3.3.2	Transport a příjem živin.....	21
3.4	Výživa a hnojení	22
3.4.1	Dusík.....	22
3.4.2	Fosfor	25
3.4.3	Draslík.....	26
3.4.4	Vápník.....	27
3.4.5	Hořčík	29
4	MATERIÁL A METODIKA	30
5	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	36
5.1	Hodnocení napadení rostlin bakterií <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i> (<i>Pst</i>)	36
5.2	Hodnocení elektrické kořenové kapacity	38
5.3	Vliv deficitu živin na délku a plochu kořenového systému	39
5.4	Vliv deficitu živin na hmotnost sledovaných rostlin.....	44
5.5	Vliv deficitu živin na anorganický rozbor rostlin (ARR)	50
6	ZÁVĚR.....	54
7	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	56
8	SEZNAM TABULEK, GRAFŮ A OBRÁZKŮ	66
8.1	Seznam tabulek	66
8.2	Seznam grafů.....	67
8.3	Seznam obrázků	67

1 ÚVOD

Rajče jedlé (*Solanum lycopersicum* L.) bylo v Evropě dlouhou dobu považováno za jedovatou rostlinu, dnes ale patří mezi velmi oblíbenou plodovou zeleninou, která se pěstuje na celém světě. Plody rajčete jsou v lidské výživě důležitým zdrojem nutričních látek, obsahují také významný antioxidant lykopen.

Nároky na příjem živiny jsou u rajčete během vegetace odlišné, obecně se ale jako plodová zelenina řadí mezi plodiny s vysokými nároky na živiny. Výživa je jeden z faktorů, které významně ovlivňují růst a vývoj kořenového systému. Kvůli poklesu hnojení některými makrobiogenními živinami dochází ke snížení obsahu jejich přístupných forem v půdě, což negativně ovlivňuje růst kořenů a nadzemních částí, ale také působí na výnos a kvalitu produkce.

Dostupnost živin ovlivňuje celkový zdravotní stav rostliny, při nedostatku živin může docházet ke snížení odolnosti vůči patogenům a následnému rozvoji choroby. Bakterie *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* je původcem bakteriální tečkovitosti rajčete, která je v České republice velmi rozšířenou chorobou a může zapříčinit snížení výnosu a jakosti plodu

Tato práce má přispět k poznání interakcí deficitní výživy a napadení bakterií *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* na růst a vývoj rajčete jedlého (*Solanum lycopersicum* L.).

2 CÍL PRÁCE

Diplomová práce má za cíl přispět ke studiu výživy a hnojení rajčete jedlého (*Solanum lycopersicum* L.) při rozdílných úrovních zdravotního stavu rostlin., Zabývá se účinkem deficitní výživy makrobiogenními prvky na růst a vývoj kořenového systému a nadzemní části rostlin rajčete v kombinaci s vlivem patogenu *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*. Vegetační pokus byl proveden formou hydroponie ve fytotronech Ústavu agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin, AF Mendelovy univerzity v Brně.

Konkrétními cíle práce jsou uvedeny níže:

- vypracování literárního přehledu na zadané téma,
- vyhodnocení vlivu deficitní výživy na kořenový systém,
- vyhodnocení vlivu patogenu *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*.

Vědecké hypotézy byly koncipovány následovně:

- 1) Nepřítomnost makrobiogenního prvku ve výživě rajčete se projeví jeho deficitem v kořenech a v nadzemních částech rostliny.
- 2) Nepřítomnost makrobiogenního prvku ve výživě rajčete povede k redukci hmotnosti nadzemní části rostlin.
- 3) Nepřítomnost makrobiogenního prvku ve výživě rajčete bude mít vliv na elektrickou kapacitu kořenového systému rajčete.
- 4) Napadení patogenem *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* ovlivní účinek deficitní výživy ve vztahu k vývoji rostlin.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Rajče jedlé (*Solanum lycopersicum* L.)

3.1.1 Botanická a biologická charakteristika

Rajče jedlé (*Solanum lycopersicum* L.) patří dle Taylora (1986) do řádu lilkotvarých (*Solanales*), čeledi lilkovitých (*Solanaceae*), rodu lilek (*Solanum*) a má svůj původ v oblasti Peru, Bolívie a Ekvádoru. Je to jednoletá rostlina a řadí se k plodové zelenině (Petříková, 2006).

Odrůdy rajčat je možné rozdělit podle růstu hlavního stonku. Mezi odrůdy indeterminantní (tyčkové) se řadí ty, které mají neomezený růst stonku a zakládají květenství za 3. listem. Stonek determinantních (keříčkových) odrůd ukončují svůj růst ve výšce 0,4-0,7 m a květenství se u nich zakládá za každým 2. listem. Polodeterminantní (přechodový) typ na hlavním stonku vytváří 5-6 vijanů (Petříková et al., 2012).

3.1.2 Anatomická a morfologická charakteristika

Rajče tvoří bohatý kořenový systém, délka hlavního kořene závisí na způsobu pěstování. Při přímém výsevu mohou kořeny dosahovat hloubky 1 m i více, při pěstování z výsadby dochází především k horizontálnímu větvení kořene (Petříková et al., 2012). Rendon-Poblete (1980) píše, že až 60 % kořenového systému v půdě se nachází v hloubce do 0,3 m. Heuvelink (2005) uvádí, že nejvíce aktivní jsou kořeny, které se nachází ve svrchní vrstvě půdy. K tvorbě adventivních kořenů může docházet při vhodných podmínkách, vznikají na bázi lodyhy a jejich stavba je stejná jako u laterálních kořenů. Jejich tvorby se využívá během výsadby, při které se rostliny dávají šikmo do brázd (Malý et al., 1998). Pokud kořeny rostou při teplotě půdy kolem 14°C, jsou silnější, světlejší a větví se méně než kořeny rostoucí při vyšších teplotách. Nicméně tato morfologická změna nemá vliv na příjem živin (Gosselin, Trudel, 1982).

Vrchol hlavní lodyhy je tvořen apikálním meristémem, který zabezpečuje tvorbu nových listů a květních částí, má sympodiální větvení (Heuvelink 2005). Stonek je u mladých rostlin nejdříve dužnatý, později dřevnatí. Povrch stonku a listů pokrývají

žláznaté trichomy, které obsahují na vzduchu tuhnoucí látku, které dává rajčatům jejich charakteristický zápach (Petříková, 2006).

Listy rajčete jsou střídavé, přetřhovaně lichozpeřené, skládají se z krátkého řapíku a rozšířené čepele, která je rozdělena výřezy na páry lístků různé velikosti. Většina odrůd má mezi páry lístků vyvinuté listové úkrojky. V listech se nachází alkaloid tomatin a tomatidin, které mají antibakteriální účinky. U tyčkových odrůd se v úžlabí listů tvoří postranní výhony, které je nutné u tyčkových rajčat odstraňovat (Petříková et al., 2012). Květenství je vijan a podle konkrétní odrůdy se nachází za každým druhým nebo třetím listem (Petříková et al., 2012). Pětčetné květy jsou zbarveny žlutě a jejich kališní lístky jsou špičaté. Nitka u tyčinek chybí nebo je silně zkrácena, prašníky jsou dvoudílné a srůstají okolo čnělky, blizna má kulovitý tvar. Květy jsou samosprašné, vysoká vzdušná vlhkost, nízká teplota a nízká světelná intenzita průběh opylování zhoršuje (Malý et al., 1998).

Plodem je různě velká dužnatá bobule, která může mít kulovitý, protáhlý nebo i hruškovitý tvar. Menší bobule bývají rozděleny na dvě komory, větší bobule mají komor více (Jones, 2008). Petříková et al. (2012) píše, že nejčastěji je plod červený, může mít ale i žlutou nebo oranžovou barvu, některé odrůdy mají i vícebarevné plody. Nezralé plody obsahují alkaloid solanin, který se během dozrávání odbourává. Semena, u většiny odrůd pokrytá chloupky, jsou uložena ve slizovité hmotě (placentě). Podle Heuvelinka (2005) jsou plody v lidské výživě důležitým zdrojem vitamínu C, E, provitamínu A a některých vitamínů B (B1, B2, B3 a B6). Jones (2008) uvádí, že díky svému červenému barvivu lykopenu má rajče vynikající antioxidační účinky. Kvalitu plodu určují zejména fyzikální parametry, mezi které patří tvar, barva, velikost, kazivost a dále ji ovlivňuje pevnost plodu a chuť (Nařízení komise (ES) č. 790/2000).

3.1.3 Nároky na prostředí

Rajčata se řadí k teplomilné zelenině. Citlivě reagují na nízké teploty, k vysokým teplotám jsou ale tolerantní. Uváděná minimální teplota pro klíčení semen a růst rostlin je 10 °C, optimální teplota během pěstování je 18-28 °C (Petříková et al., 2012). Vyšší teploty mohou snížit kvalitu pylu a vést ke květním deformacím, což může mít za následek redukci plodů (Dorais et al., 2001). Pokud dlouhodobě klesne teplota pod

15 °C, rostliny nekvetou (Malý et al., 1998). Podle Glosera (1998) se rajče řadí mezi fotoperiodicky neutrální druhy, které zakládají květy nezávisle na délce fotoperiody.

Nejvhodnější jsou půdy záhřevné, humózní, hlinitopísčité až písčitohlinité. Rajčeti nevyhovují půdy těžké, extrémně lehké nebo zamokřené. Optimální pH půd je neutrální až mírně kyselé, rajčata jsou náchylná na vyšší koncentraci solí a chloridy (Petříková et al., 2012). Dostatek vláhy je důležitý zejména při přechodu z vegetativní do generativní fáze (Petříková et al., 2012). Malý et al. (1998) uvádějí, že výkyvy ve vodních poměrech mohou u rajčat způsobit praskání plodů. Nedostatek vody je lépe snášen rajčaty z přímého výsevu než vysazovanými rostlinami, které mívají kořenový systém v menší hloubce.

3.2 Choroby rajčete

3.2.1 Virózy

Virová mozaika rajčete (*Tobacco mosaic virus*)

Tento vir způsobuje několik typů poškození v závislosti na odrůdě, stáří rostliny nebo klimatických podmínkách. Mohou se objevit listové mozaiky, deformace listů, pruhovitost listů, stonků a plodů, může také dojít k hnědnutí dužiny (Petříková et al., 2012). Šíření infekce může probíhat prostřednictvím vody, půdy nebo kořenů, které přišly do styku s napadenými rostlinnými zbytky v půdě (Rod et al., 2005), vir je také přenosný osivem (Rod, 1997). Petříková et al. (2012) uvádějí, že většina současně pěstovaných odrůd je vůči tomuto viru odolná.

Virová bronzovitost rajčete (*Tobacco spotted wilt virus*)

Tato choroba se řadí mezi karanténní. První příznaky bývají malé oranžové skvrny na listech, které postupně žloutnou. Pro napadené rostliny jsou typické svěšené spodní listy, které následně odumírají. Vrcholové listy mívají bronzovitou barvu. Na nezralých plodech se objevují žluté skvrny (Rod et al., 2005), na zralých plodech jsou výraznější červenobílé nebo červenožluté koncentrické prstence (Csizinszky et al., 2005). Polyfágní vir je přenášen třásněnkou západní (*Frankliniella occidentalis*), která v našich podmínkách nepřežimuje, je tedy vázán pouze na skleníky (Hrudová, Víchová, 2012).

3.2.2 Bakteriózy

Bakteriální vadnutí rajčete (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*)

Je to karanténní choroba, která se kromě rajčete a papriky vyskytuje také na plevelných rostlinách rodu *Solanum*. Vyznačuje se tzv. unilaterálním vadnutím (vadnutí listů na jedné straně složených listů) a následných usycháním celých listů a rostliny (Petříková et al., 2012). Při řezu stonkem lze vidět hnědě zbarvené cévní svazky s bakteriálním slizem. Na lodyhách a listových řapících se mohou objevovat hnědé podélné pruhy a praskliny, ze kterých může za vlhka vytékat sliz (Rod et al., 2005). Na plodech vznikají tzv. ptačí oka, zpočátku vodnaté, později hnědé skvrny se světlým lemem. Patogen je přenosný osivem a je schopen zůstat 2-3 roky na rostlinných zbytcích. V porostu se rozšiřuje odstříkujícími kapkami vody při dešti nebo zálivce, do rostlin vniká ranami na kořenech nebo stoncích. V rámci prevence je vhodné používat zdravé osivo, při předpěstování sazenic dodržovat hygienická fytosanitární opatření nebo použít fungicid s bakteriocidními účinky (Schwarz et al., 1996).

Bakteriální tečkovitost rajčete (*Pseudomonas syringae* pv. *tomato*)

Patogen může napadnout všechny orgány rajčete, nejvýraznější příznaky se objevují na listech a plodech. Zpočátku se na listech vytváří vodnaté skvrny s chlorotickým halo, které jsou 1-3 mm velké. Mají tmavě hnědou až černou barvu, mohou splývat a zvětšovat se (Goode, Sasser, 1980). Petříková et al. (2012) uvádějí, že skvrny na listech bývají menší než u bakteriální skvrnitost rajčete. Napadené části rostliny krní, květy nebo mladé plody mohou opadávat (Schwarz et al., 1996). Jsou napadány pouze nezralé plody rajčat, zrající plody jsou kyselější a kyselé prostředí je pro množení bakterií nevhodné. Na infikovaných plodech se objevují malé tmavě hnědé až černé nekrotické skvrny (Goode, Sasser, 1980), které jsou mírně vyvýšené (Petříková et al., 2012) a nezasahují do dužniny plodu. Patogen je schopen přežít delší dobu na nadzemních orgánech v tzv. rezidentské fázi, aniž by vyvolal infekci (Preston, 2000).

Csizinszky et al. (2005) uvádějí, že škodlivost napadení může být velmi vysoká, pokud je chladné počasí (18-24 °C) a vysoká vzdušná vlhkost. Sahin (2001) píše, že pokud průměrné denní teploty stoupnou nad 21 °C, rozvoj choroby bývá potlačen. Patogen je přenosný osivem, na které je schopen přežít až 20 roků (Bashan et al., 1982), zůstává v půdě a na posklizňových zbytcích (Schwarz et al., 1996). Do listů

proniká přes průduchy a otvory v místě odlomení trichomů. V rámci ochrany se doporučuje použití nenapadeného osiva, pěstování rezistentních odrůd nebo ošetření vhodnými měďnatými přípravky (Kůdela et al., 2002).

Bakteriální skvrnitost rajčete (*Xanthomonas vesicatoria*, *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria*)

Jde také o karanténní chorobu, která se projevuje na stoncích, listech i plodech. Listové léze jsou nejdříve vodnaté s úzkým žlutým lemem, pak se zbarví do šedofialova a mají černý střed, který nekrotizuje a trhá se. Pokud jsou napadeny květní části, plody opadávají. Na zelených plodech se objevují mírně vyvýšené skvrny, které mohou mít světle zelený lem. Vyvýšené středy hnědnou, propadají se a jejich povrch je strupovitý (Hrudová, Víchová, 2012). Patogen se přenáší osivem, přežívá i v rostlinných zbytcích, doporučuje se tedy používat zdravé osivo a likvidovat posklizňové zbytky. Pro rozvoj choroby je třeba teplého, deštivého a zároveň větrného počasí (Rod et al., 2005).

3.2.3 Fytoplazmy

Stolbur (*Potato stolbur phytoplasma*)

Tato karanténní choroba u rajčete způsobuje nitkovitost nadzemních částí, dochází také k nadměrnému větvení stonku a deformaci květů (Rod et al., 2005). Patogen je přenášen především žilnatkou vironosnou (*Hyalesthes obsoletus*) a také dalšími druhy kříšů (Petříková et al., 2012).

3.2.4 Houbové choroby

Plíseň rajčete (*Phytophthora infestans*)

Patogen napadá zejména brambory, škodí ale také na rajčatech. Pro rozvoj choroby je ideální vlhké počasí, zejména střídání chladných nocí a teplých dnů (Csizinszky et al., 2005). Rostliny ohrožuje především při déletrvajícím vlhkém počasí. Na plodech vznikají šedo zelené vrásčité skvrny, které později hnědnou. Dužnina plodu ale neměkne, zůstává tuhá. Na listech se objevují šedo zelené a hnědé skvrny, které následně černají a rychle se rozšiřují (Böhmer, Wohanka, 2003). Na spodní straně listů lze po obvodu skvrn vidět bělavý povlak mycelia a fruktifikačních orgánů (Hrudová, Víchová, 2012). Na stonku se objevují ostře ohraničené hnědé skvrny. Patogen přezimuje

v napadených bramborových hlízách, v průběhu vegetace jsou sporangia přenášena větrem z primárních zdrojů do porostů (Schwarz et al., 1996). Pro infekci je nutná vysoká relativní vzdušná vlhkost a ovlhčení listů. Při častých deštích se spory smývají do půdy, kde infikují hlízy. V rámci prevence se doporučuje nepřehustěná výsadba, zavlažování podmokem a odstraňování napadených částí, podle průběhu počasí a zdravotního stavu porostu je vhodné aplikovat fungicid (Hrudová, Víchová, 2012).

Alternáriová skvrnitost listů rajčete (*Alternaria solani*)

Na listech se objevují skvrny s koncentrickými kruhy, na plodech se tvoří velké tmavé vpadlé skvrny, nejčastěji se vyskytují v blízkosti stopky (Petříková et al., 2012). Rod et al. (2005) popisují hnědé skvrny na stoncích jako protáhlé. Často také dochází k lámání stonků. Mohou se také objevovat skvrny na květních stopkách a plodech. Na plodech vznikají skvrny nejčastěji v kališní části, jsou velké, tmavě ohraničené a propadlé, za vlhka se na nich tvoří černý povlak výtrusů. Zdrojem infekce je napadené osivo a posklizňové zbytky, patogen se může také šířit z napadených plevelných rostlin. Schwarz et al. (1996) uvádějí, že během vegetace se patogen šíří konidii pomocí větru a deště. V rámci ochrany je vhodné likvidovat posklizňové zbytky, používat zdravé osivo a případně aplikovat fungicidy.

Septoriová skvrnitost listů rajčete (*Septoria lycopersici*)

Choroba se neprojevuje na plodech, skvrny se mohou vyskytovat na listech, květních stopkách nebo lodyhách. Patogen svým působením snižuje násadu plodů a může způsobit předčasné ukončení vegetace. Nejprve se skvrny objevují na starších listech (Rod et al. 2005), jsou drobné, se žlutým středem a tmavě hnědým okrajem. Později splývají a dochází k uschnutí celých listů, které obvykle zůstávají viset na rostlině (Petříková et al., 2012). Patogen se šíří konidii, přezimuje na napadených rostlinných zbytcích v půdě. V rámci ochrany je tedy vhodná jejich likvidace (Schwarz et al., 1996), dodržování osevního postupu nebo použití vhodného fungicidu (Rod et al. 2005).

Antraknóza rajčete (*Colletotrichum coccodes*)

Patogen je polyfág, u rajčat postihuje především zralé nebo přezrálé plody, na kterých se objevují tmavé mírně propadlé skvrny (Petříková et al., 2012) s černými tečkami (mikrosklerocii) ve středu. Při vlhkém počasí se na skvrnách objevuje narůžovělý povlak spor. Patogen přežívá na posklizňových zbytcích a osivu (Rod et al. 2005), během vegetace se šíří konidiiemi v odstříkujících kapkách vody (Csizinszky et al., 2005). Ochrana zahrnuje likvidaci posklizňových zbytků a šlechtění na rezistenci (Víchová, Vícha, 2015).

Čerň rajčatová (*Cladosporium fulvum*, syn. *Fulvia fulva*)

Patogen způsobuje na horní straně listů žluté skvrny s difúzním okrajem (Schwarz et al., 1996), na rubové straně listů je olivově hnědý povlak konidioforů. Skvrny splývají, listy postupně zasychají a opadávají (Hrudová, Víchová, 2012). Pokud je infekce silná, jsou všechny listy na rostlině suché, svěšené, ale většinou neopadávají (Rod et al. 2005). Konidie přežívají na posklizňových zbytcích a osivu, které jsou během vegetace přenášeny větrem. Patogen potřebuje k vývoji vysokou vzdušnou vlhkost, choroba se tedy objevuje především ve sklenících a fóliovnících (Schwarz et al., 1996). Ochrana spočívá v odstraňování posklizňových zbytků, snížení vzdušné vlhkosti ve skleníku větráním, zaléváním podmokem, případně v aplikaci vhodných fungicidů (Hrudová, Víchová, 2012).

Padlí rajčete (*Oidium lycopersici*)

Na nadzemních částech dochází k tvorbě moučnatých povlaků, které se objevují především na svrchní straně listů (Petříková et al., 2012), napadené listy nekrotizují a usychají. Výskyt této houby je vázán na skleníky a fóliovníky (Hrudová, Víchová 2012). Šíření podporuje nižší nebo střídavá vzdušná vlhkost a vyšší teplota. K potlačení rozvoje pomáhá jemné a časté rosení listů (Rod et al. 2005). Během vegetace se patogen šíří konidiiemi, v rámci ochrany je vhodná likvidace posklizňových zbytků, případně použití fungicidů (Víchová, Vícha, 2015).

Rakovina rajčat (*Didymella lycopersici*)

Patogen může napadat stonky, listy, květy nebo plody rajčat. Báze stonků starších rostlin jsou tmavě hnědé, zaškrbené. Dochází k rozkladu cévních svazků a následnému vadnutí a odumírání rostlin (Schwarz et al., 1996). Na plodech se mohou v okolí stopky objevovat černé skvrny s pyknidami, plody předčasně opadávají. Na listech dochází ke vzniku hnědých koncentrických skvrn. Zdrojem infekce je infikované osivo a půda, rostlinné zbytky (Rod et al. 2005). Během vegetace se patogen šíří konidii (Víchová, Vícha, 2015), prevence před napadením spočívá v používání zdravého osiva, odstraňování napadených rostlinných zbytků a desinfekci půdy (Schwarz et al., 1996).

Šedá hniloba rajčete (telemorfa: *Botrytis fuckeliana*, anamorfa: *Botrytis cinerea*)

Houba napadá všechny nadzemní části, na stonku a řapících se objevují šedo zelené vodnaté skvrny, které zasychají a pokrývají se šedým povlakem konidií. Pokud jsou plody rajčat napadeny přes stopku, opadávají (Schwarz et al., 1996). Rod et al. (2005) uvádějí jeden atypický příznak této choroby na rajčatech, a to drobné „prstýnky“. Ty mají na nezralých plodech světle zelenou a na zralých plodech žlutou barvu a ve svém středu mají velmi malou černou skvrnu. Tato černá skvrnka je důsledek infekce vyklíčených výtrusů na povrchu plodu, která byla však na svém počátku zastavena. Tyto skvrny nemají vliv na kvalitu plodu, pouze snižují jeho tržní hodnotu. Patogen přežívá v napadených pletivech a posklizňových zbytcích, vyskytuje se převážně za vlhkého počasí. Doporučuje se používat zdravé osivo a odolné odrůdy a likvidovat posklizňové zbytky (Víchová, Vícha, 2015).

3.3 Patogen *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*

Bakteriální tečkovitosti rajčete, kterou způsobuje *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*, poprvé popsal v roce 1933 Okabe na Tchaj-wanu, patogen nazval *Bacterium tomato*. Ve stejném roce ji také popsala Bryanová v USA, která jej pojmenovala *Bacterium punctulans* (Baudyš et al., 1961). Přirozený hostitel bakterie *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* je rajče, při umělých infekcích se již podařilo infikovat také brambor. Bakterie mají tvar krátkých rovných tyčinek o rozměrech 0,5-1 x 1,5-5 μm, jsou aerobní a gramnegativní, nesporulují. Jsou pohyblivé, mají jeden nebo více polárních bičků.

Vytváří šedobílé průhledné kolonie. Při kultivaci na médiu King B tvoří žlutozelený difúzní pigment fluorescein (Kúdela et al., 2002).

Po průniku bakterie do hostitelských pletiv přes přirozené otvory nebo poranění se po 3-5 dnech objeví první příznaky (Sahin, 2001). Saad et al. (2000) uvádějí, že 48 hodin po inokulaci se bakterie byly schopny dostat do mezibuněčných prostor rostliny a způsobily kolaps rostlinných buněk. Po uplynutí 72 hodin od inokulace již byly znatelné nekrotické léze vyplněné bakteriálními buňkami.

Významnost a četnost výskytu bakteriální tečkovitosti rajčete stoupá od poloviny 70. let minulého století (Agrios, 1997). V rámci průzkumu, který v letech 1993-1995 zjišťoval spektrum patogenních bakterií u rajčete na území naší republiky, bylo zjištěno, že porosty nejčastěji ohrožovala bakterie *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* (Kokošková, Pánková, 2000). Současně pěstované odrůdy rajčat jsou oproti dříve pěstovaným sice výnosnější, ale také náchylnější k bakteriální tečkovitosti. Tato změna v sortimentu pěstovaných odrůd přispěla k zvyšování významu této choroby (Kokošková, Pouvová, 2012).



Obrázek 1: Příznaky bakteriální tečkovitosti na listech a plodech (Babadoost, 2009)

3.4 Kořenový systém

3.4.1 Stavba kořene

Kořen se rozděluje na 3 hlavní části – pokožku, primární kůru a střední válec. Kořenovou pokožku (rhizodermis) tvoří pouze jedna vrstva buněk, která není krytá kutikulou. V oblasti pokožky se formují kořenové vlásky (Procházka et al., 2009), Kincl a Krpeš (2000) popisují jejich buněčnou stěnu jako bobtnavý systém. Životnost kořenových vlásků je omezená, během vývoje rostliny dochází neustále k jejich obnově a jejich vývin závisí zejména na provzdušnění půdy (Richter, 2004).

Mnohvrstevnatá primární kůra (cortex) se dělí na 3 vrstvy. Vnější vrstva (exodermis) nahrazuje odumřelou pokožku a je tvořena jednou nebo více vrstvami buněk. Zejména u jednoděložných rostlin, které sekundárně netloustnou, má vnější vrstva důležitý význam (Kincl, 1997, Slavíková, 2002). Na ni navazuje střední vrstva kořene (mezodermis). V této části pokožky se u jednoděložných rostlin často tvoří sklerenchym (Procházka et al., 2009). Vnitřní vrstva (endodermis) je obvykle jednovrstevná a nachází se v ní Casparyho proužky, ve kterých dochází k ukládání ligninu a suberinu, což zabraňuje zpětnému pohybu vody z cévních svazků. Pohyb vody do cévních svazků kořene probíhá přes propustné buňky (Slavíková, 2002).

Střední válec (stéle) je tvořen vodivým systémem a dřevem. Vodivý systém ohraničuje pericykl (perikambium), v kterém dochází ke tvorbě postranních kořenů a adventivních pupenů (Procházka et al., 2009).

Kořen se podélně dělí na zóny. Na spodní část kořene, kořenovou čepičku (kalyptru), navazuje dělivá (meristematická) zóna a následně prodlužovací (elongační) zóna, ve které dochází k prodlužovacímu růstu buněk (Kincl, 1997). V poslední absorpční zóně se tvoří kořenové vlášení a zóna obsahuje plně diferencovaná trvalá pletiva (Lack, Evans, 2005).

Lack, Evans (2005) uvádějí, že k obnově kořenové čepičky dochází téměř neustále, má zhruba týdenní životnost. Některé buňky kořenové čepičky obsahují diktyozómy, které tvoří sliz, jenž napomáhá k lepšímu pronikání kořene půdou, zlepšuje přilnavost k půdním částicím a může na sebe také vázat ionty při výměně z půdy. Uvádí se, že sliz

uvolňovaný diktiózomy také ovlivňuje rozpustnost některých minerálních sloučenin a vývoj půdní mikroflóry (Richter, 2004).

Mezi významné faktory ovlivňující růst, vývoj kořene a jeho schopnost absorbovat a translokovat živiny patří především provzdušnění půdy, dostupnost vláhy, teplota a také nedostatek živin (Baligar et al., 1998, Mengel et al., 2001). Fageria (2013) uvádí, že deficitní výživa ovlivňuje nejenom morfologii kořene, jeho tloušťku a délku, ale také hustotu postranních kořenů a počet kořenových vlásků.

3.4.2 Transport a příjem živin

Mezi ionty v půdním roztoku a poutanými ionty je udržována dynamická rovnováha, která umožňuje, aby byly ionty po odčerpání rostlinou doplňovány z organických látek, krystalových mřížek a sorpčních vazeb (Richter, 2004). Udržení této rovnováhy je ovlivňováno především koncentrací vodíkových iontů v půdě neboli pH (Kincl, Krpeš, 2000). Hlavními mechanismy pro dopravování živin ke kořenům jsou objemový tok a difúze. Objemový tok využívá rozdílného vodního potenciálu. Kořen odčerpává vodu, díky čemuž je v jeho blízkosti nižší vlhkost, a následně dochází k doplňování vody z okolního půdního prostředí (Vaněk et al., 2012). Během difúze dochází k přesunu iontů z místa s vyšší koncentrací do místa s nižší koncentrací (Slamka, 2011).

Samotný příjem živin kořeny může být pasivní nebo aktivní. Pasivní příjem probíhá nejčastěji difúzí, která využívá rozdílného elektrochemického potenciálu mezi vnějším a vnitřním prostorem buňky (Fecenko, 2000). Pro aktivní příjem rostlina využívá iontově selektivních přenašeče, které přenášejí ionty do vnitřní části buňky. Tento typ přenosu oproti pasivnímu příjmu vyžaduje dodání energie (Richter, 2004).

Z buněk kořenového vlášení se voda a minerální látky transportují k vodivým drahám kořene, a to buď apoplastickou nebo symplastickou cestou. Apoplastická cesta je vedena přes rhizodermis a primární kůru a zastavuje se u endodermis, která umožňuje transport pouze symplastem. Symplastická cesta probíhá pomocí plazmodesmat (Kincl, Krpeš, 2000), která procházejí skrz buněčné stěny. Vodivými drahami dále dochází k transportu živin s vodou do nadzemních orgánů. Většina živin je transportována v iontové formě, některé jsou ale již v kořeni začleněny do organických sloučenin a následně jsou přenášeny v této podobě (Vaněk et al., 2012).

K příjmu živin dochází ve všech mladých částech kořenů, nejintenzivněji probíhá v oblasti kořenového vlášení (Richter, 2004). Morfologie kořene, zejména laterální větvení kořene a množství kořenových vlásků, výrazně ovlivňuje celkový příjem živin (Vose, 1990). Příjem živin také závisí na dostupnosti živin a konkrétní fázi vývoje rostliny (Fageria, 2013). Je mnoho faktorů, které ovlivňují přijatelnost živin v půdním roztoku, patří mezi ně transpirace rostlin, půdní faktory jako teplota půdy, obsah vody či vzduchu v půdě a další (Kincl, Krpeš, 2000). Richter (2004) jako další faktory uvádí například chemický potenciál iontů v půdním roztoku, pohyblivost iontů, koncentraci a aktivitu iontů v půdním roztoku nebo kapacitu půdy pro vázání iontů.

3.5 Výživa a hnojení

Rajče patří k plodové zelenině, která je velmi náročná na živiny. Po vytvoření nadzemních orgánů a plodů snižuje příjem živin, ke konci vegetace probíhá v rostlině transport živin ze starších orgánů do plodů a příjem živin je už velmi omezený. Odběr živin pro 1 t výnosu je 2,7 kg N, 0,8 kg P, 3 kg K, 2,3 kg Ca, 0,3 kg Mg (Vaněk et al., 2012).

3.5.1 Dusík

Dusík je důležitá součást aminokyselin, bílkovin, nukleových kyselin, chlorofylu, enzymů a dalších látek. Podílí se tedy na růstových procesech a ovlivňuje odolnost rostlin k chorobám (Huber, Thompson, 2009). Významně ovlivňuje tvorbu vitamínů a karotenu, což je u plodové zeleniny důležité (Hlušek et al., 2002). Jeho obsah v rostlinách je proměnlivý, v počátečním vývoji bývá dusík v rostlinách obsažen ve velkém množství, s tvorbou biomasy dochází k snížení jeho obsahu (Richter, 2004). Největší nároky na dusík mají rajčata do fáze kvetení (Kóňa, Kóňová, 2009), ke konci vegetaci jim stačí omezené množství (Vaněk et al., 2007).

Richter (2004) uvádí, že rostlina je schopna dusík přijímat ze dvou forem, a to jako NO_3^- nebo NH_4^+ ionty. Vaněk et al. (2007) píše, že o tom, kterou z těchto forem rostlina přednostně přijme, rozhodují hlavně vnější podmínky, zejména pH prostředí. Při kyseljším pH dochází k vyššímu příjmu NO_3^- , při neutrálním až alkalickém pH se příjem obou iontů vyrovnává, případně převažuje příjem NH_4^+ .

Kořeny přijímají nitrátový dusík aktivně ve směru elektrochemického gradientu (Richter, 2004). V běžných podmínkách má hlavní význam pro výživu rostliny nitrátová forma. Nitrát je v rostlině mobilní a může být skladován ve vakuole (Evans, Nason, 1953; Beevers, Hageman, 1969). Aby mohl být nitrát metabolicky využit, musí dojít k jeho redukcí. Proces přeměny probíhá ve 2 krocích, nejdříve dojde k redukce NO_3^- na NO_2^- a následně k další redukci NO_2^- na NH_3 (Vaněk et al., 2007). Nepostradatelnou součástí nitrátoreduktázového systému jsou enzymy nitrátoreduktáza a nitritoreduktáza (Procházka et al. 2009), průběh redukcí je závislý na přítomnosti redukujících látek (NADPH) a energie (ATP). Činnost tohoto systému je také ovlivněna světlem, při umístění rostlin do tmy je aktivita nitrátoreduktázy výrazně potlačena, a to i pokud je NO_3^- přítomen v dostatečné míře. Při nedostatku světla tedy dochází k akumulaci nitrátů. (Richter, 2004). Mezi další faktory ovlivňující redukcí nitrátů patří zejména dostupnost dusíku v půdě, druh a stáří rostliny nebo teplota (Adrews, 1989). Richter (2004) dospěl k závěru, že nejintenzivnější příjem NO_3^- bývá při teplotě kořenů okolo 30 °C, přičemž ale zároveň dochází ke snížení aktivity nitrátoreduktázy. Vliv na redukcí nitrátů má také minerální výživa, zvláště příjem molybdenu. Pokud by rostlina měla nedostatek Mo, kumulovala by nitráty za současného snížení aktivity nitrátoreduktázy. Redukce je také ovlivňována hořčíkem, jeho nadbytečný příjem by způsobil snížení redukcí, naopak zvýšený příjem vápníku a draslíku by způsobil její zvýšení. Hawkesford et al. (2012) uvádějí, že většina rostlin je schopna redukovat nitráty v kořenech i stoncích. Pokud je omezený příjem nitrátů z vnějšího prostředí, bude redukcí většiny nitrátů probíhat v kořenech. Podle Richtera (2004) následný transport NO_3^- z kořenů do nadzemních orgánů ovlivňuje aktivita nitrátoreduktázy, vyšší rostliny dusík translokují hlavně ve formě aminokyselin a nitrátů.

Dusík v amoniakální formě může na rostlinu působit toxicky, míra toxicity se liší v závislosti na rostlinném druhu a růstových podmínkách (Hawkesford et al., 2012). Dle Richtera (2004) může být toxicita NH_4^+ zvýšena při zásaditém pH živného roztoku a k poškození kořenů může dojít již při nízkých koncentracích. Názory na to, zda rostlina dusík přijímá jako NH_4^+ kationt nebo ve formě neutrální molekuly NH_3 , se liší. Předpokládá se, že NH_3 je přednostně přijímán při vyšším pH. Ionty NH_4^+ jsou asimilovány v kořenech. Při asimilaci amoniakálního dusíku je malá spotřeba energie, dochází pouze k odštěpení H^+ z kationtu NH_4^+ (Matula, 1977; Richter, 2004). Dusík je

po asimilaci transportován xylémem ve formě aminokyselin a amidů do nadzemních orgánů (Richter, 2004). Výživa amoniakálním dusíkem také způsobuje nižší příjem většiny iontů, zvláště kationtů Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ a organických iontů. Petříková, Hlušek, et al. (2012) uvádějí, že rajčata preferují amonnou formu dusíku.

Rostliny jsou schopny dusík reutilizovat, využívají transaminační metabolismus, který umožňuje vratný přenos aminoskupin přes mnoho meziproduktů. I když byl dusík již součástí organický látek, může být dále snadno metabolizován (Richter, 2004).

Deficience dusíku

Při nedostatku dusíku dochází k omezení růstu nadzemních orgánů i kořenů. Kořeny snižují svou příjmovou kapacitu, což negativně ovlivňuje příjem dalších živin (Vaněk et al., 2007). Plody jsou malé a před dozráním mají světle zelenou barvu (Wilcox, 1996).

Nadbytek dusíku vede k omezené násadě květů a plodů (Vaněk et al., 2007), v pozdějších fázích způsobuje přebujení natě a vodnatosti plodů. Pokud jsou rajčata pěstována ve skleníku a jsou vystavena vysokým dávkám nitrátového dusíku za současného nedostatku slunečního záření, mohou mírně akumulovat nitráty v plodech (Hlušek et al., 2002).



Obrázek 2: Porovnání zdravé rostliny (vlevo) s rostlinou vystavenou nedostatku N (Knudsen, 2017)

3.5.2 Fosfor

Fosfor plní důležitou funkci při přenosu a uchování energie, průběhu fotosyntézy a dýchání. Bývá také nazýván prvkem plodnosti (Procházka et al., 2009). Během fotosyntézy má fosfor nenahraditelný význam ve fosforylačních reakcích fotosyntézy. Jako ortofosforečnanový anion je schopen díky své vysoké afinitě k elektronům odčerpávat energii a ukládat ji v makroergických vazbách sloučenin typu ATP. Fosfor má v rostlině rovněž stavební funkci, účastní se stavby nukleových kyselin, je také složkou enzymů s oxidativním charakterem (FAD, CoA, NAD, NADP, atd.), aminokyselin, fosfoglyceridů, fosfolipidů a dalších látek (Dvořák, 1976; Matula, 1977; Fecenko, 2000). Fosfor působí pozitivně na zvýšenou odolnost rostlin vůči nízkým teplotám a na správný rozvoj kořenového systému (Hlušek et al., 2002)

Rostliny jsou schopny přijímat fosfor ve formě aniontů H_2PO_4^- nebo HPO_4^{2-} . K příjmu dochází tehdy, pokud je koncentrace fosforu v cytoplazmě vyšší než jeho obsah v živném prostředí, takže ho rostliny přijímají aktivně proti koncentračnímu gradientu. Intenzitu příjmu ovlivňuje obsah kyslíku v živném prostředí, světlo, teplota, poměr H_2PO_4^- ku HPO_4^{2-} . Ionty OH^- mají na příjem P inhibiční vliv (Richter, 2004), naopak kationty působí na jeho příjem pozitivně (Fecenko, 2000).

Fosfor patří mezi velmi pohyblivé prvky a jeho schopnost reutilizace je vysoká (Richter 2004). Rostliny jsou schopny fosfor skladovat v rezervních formách, například jako anorganický polyfosfát (Seufferheld, Curzi, 2010) nebo ve formě fytinu (Lott et al., 2000). Polyfosfáty se nacházejí ve vakuolách, a pokud jsou štěpeny, uvolňuje se energie (Richter, 2004).

Deficience fosforu

Rajčata jako plodová zelenina vyžadují nejvíce fosforu v počátcích svého vývoje (Kóňa, Kóňová, 2009). Při nedostatku fosforu u klíčících rostlin první dva lístky svírají tupý úhel a spodní strana listů má anthokyanové zbarvení (Hlušek et al., 2002). Při dlouhotrvající deficienci jsou rostliny nízké, listy jsou menší a užší (Vaněk et al., 2007).

Hlušek et al. (2002) uvádějí, že přehnojení rajčat fosforem způsobí, že plody jsou méně šťavnaté, mají vyšší obsah sušiny a jsou také méně chutné.



Obrázek 3: Symptomy deficience P (Simmes, 2017)

3.5.3 Draslík

Draslík rostlina potřebuje ke správnému průběhu fotosyntézy a dýchání. V chloroplastech vytváří optimální stav pro průběh enzymatických reakcí a je důležitým prvkem pro regulaci otevírání a zavírání stomat. Při světelné expozici se draslík v rostlině hromadí ve svěřacích buňkách průduchů, nza tmy draslíku v rostlině ubývá. Transport draslíku do svěřacích buněk způsobí otevření průduchů a zpětný transport má za následek jejich uzavření (Richter 2004). Velké množství draslíku je také potřebné pro syntéze polypeptidů na ribozomech (Wyn Jones, Pollard, 1983).

Rostlina draslík přijímá ve formě monovalentního kationtu. Při nižších koncentracích probíhá aktivní příjem, při vyšších koncentracích pasivní. Zvyšující se koncentrace K působí antagonisticky na příjem Mg^{2+} , Ca^{2+} , NH_4^+ , Zn^{2+} , Mn^{2+} a zároveň stimuluje příjem NO_3^- , $H_2PO_4^-$, Cl^- , SO_4^{2-} . Na příjem draslíku pozitivně působí vnější faktory jako je přístup vzduchu, teplota půdy nebo intenzita osvětlení (Richter, 2004). Draslík má schopnost být v rostlině pohyblivý, může také docházet k jeho reutilizaci. Je schopen průniku přes buněčné membrány, ovlivňuje osmotickou hodnotu a bobtnání koloidů (Matula, 1977; Richter, 2004). Rajče má vysoké nároky na draslík, který u něj ovlivňuje velikost a trvanlivost plodu (Vaněk et al., 2012)

Deficience draslíku

Největší nároky na draslík mají rajčata v době tvorby plodů (Kóňa, Kóňová, 2009). Jeho nedostatek se u listů projevuje hnědočervenými okraji a světlými skvrnami podél žilnatiny. Pletivo listů se následně rozkládá a odumírá. Plody jsou pokryty

žlutozelenými skvrnami, mohou se na nich objevovat praskliny a dochází v nich ke snížení obsahu cukru, což vede ke zhoršení jejich chuti (Hlušek et al., 2002). Wilcox (1996) uvádí, že plody rostlin s nedostatkem K dozrávají nerovnoměrně a brzy po svém dozrání opadávají.

Rajčata mají velké nároky na příjem draslíku (Vaněk et al. 2012), přehnojení draslíkem ale může negativně ovlivnit příjem vápníku (Richter, 2004).



Obrázek 4: Symptomy deficiencie K (Simmes, 2017)

3.5.4 Vápník

Vápník má v rostlině důležitou stavební funkci, ve formě pektátů zpevňuje buněčné stěny. Výrazně ovlivňuje také růst kořenových vlásků a pylové láčky, které nejsou tvořeny typickou celulózní stěnou (Dvořák, 1976). Vápník je nepostradatelný pro růst kořenového systému a listů (Rahman, Punja, 2009). Působí také buněčné membrány a buněčné stěny (Willats et al., 2001), a to tak, že stabilizuje jejich strukturu, prostorové uspořádání a tím i permeabilitu. Působí také na stabilitu a integritu pletiv, která mají vliv na skladovatelnost plodů. Při enzymatických reakcích funguje jako přenašeč signálů (Richer, 2004). Vápník má rovněž konformační a stabilizační vliv na bílkovinu, dokáže neutralizovat a vázat některé organické kyseliny, obzvláště kyselinu šťavelovou, díky čemuž vápník rostlině poskytuje významný detoxikační efekt (Matula, 1977; Richter, 2004).

Rostlina přijímá vápník po celý svůj vývoj, a to aktivně ve formě Ca^{2+} přes biologické membrány pomocí elektrochemického gradientu. Pokud jsou nízké

koncentrace vápníku, rostlina ho přijímá pod metabolickou kontrolou, při vysokých koncentracích je přijímán pasivně. Pozitivní vliv na příjem Ca mají anionty, zejména NO_3^- , ale také Cl^- a SO_4^{2-} , naopak kationty jeho příjem omezují. Také se uvádí, že nižší vlhkost příjem Ca zvyšuje, oproti tomu vyšší vlhkost ho snižuje. Vápník v rostlině není pohyblivý, reutilizace tedy nemůže probíhat (Richter, 2004).

Deficience vápníku

Nedostatek vápníku výrazně ovlivňuje tvorbu a funkci kořenového systému, kořeny jsou slabé, černají a zahnívají. Obdobné příznaky bývají i na stoncích rajčete, které se v zaškrcených místech ohýbají. Při deficitu vápníku také dochází k tvorbě sterilního pylu a malých semen, která zasychají. Květy rajčat zahnívají a na nezralých i zralých plodech se mohou objevovat hnědočerné skvrny. Nadbytek vápníku je pro rajčata neškodný (Hlušek et al., 2002).

Deficit Ca způsobuje fyziologickou poruchu, která se nazývá vrcholová hniloba rajčat. Na květních částech plodu se objevují vodnaté skvrny, které později černají. Místa, kde se objevují tyto skvrny, později tvrdnou a propadají se (Böhmer, Wohanka, 2003). Nekrotické skvrny se nachází v povrchové části pletiva na vrcholové části plodu, plod není tedy znehodnocen celý, ale jeho tržní hodnota je výrazně snížena. Za suchého počasí nekrotická část zasychá, za vlhkého je napadena hnilobou. Při mírném výskytu se příznaky objevují převážně na nejranějších plodech (Vaněk et al., 2007).



Obrázek 5: Symptomy deficience Ca na plodech (Bully, 2017)

3.5.5 Hořčík

Hořčík tvoří významnou složku chlorofylu, v němž je vázán v porfytinovém jádře. V rostlině se také může nacházet jako sůl Mg-oxalacetát, fyтин nebo sorpčně vázaný iont (Richter, 2004). Má stavební funkci, ale je také významným aktivátorem enzymů. Aktivuje zejména enzymy účastnící se energetického metabolismu (Cowan, 2002; Matula, 1977). Ovlivňuje také zabudovávání dusíku do aminokyselin (Richter, 2005), je také nezbytnou složkou pro průběh syntézy proteinů (Sperrazza, Spemulli, 1983). Hořčík se rovněž podílí na vyrovnávání optimálního pH reakcí (Hawkesford et al., 2012). Je rostlinami přijímán pasivně ve formě kationtu Mg^{2+} . Příjem hořčíku antagonisticky ovlivňují ionty K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mn^{2+} , H^+ , pozitivně na jeho příjem působí NO_3^- . Rostliny ho jsou schopny transponovat ve formě chelátů (Richter, 2004).

Deficience hořčíku

Dostatek hořčíku vyžadují především rajčata pěstovaná ve sklenících. Při jeho nedostatku se na listech objevují tmavě zelené skvrny, které postupně žloutnou a vzniká tzv. mezižeberní chloróza (Wilcox, 1996). Tím dochází ke snížení asimilační plochy a následnému výraznému poklesu výnosu (Hlušek et al., 2002). Schwarz et al. (1996) uvádějí, že nedostatek hořčíku se může projevat také při přehnojení dusíkem nebo draslíkem.

Při vysokých koncentracích hořčíku je redukována délka hlavního kořene, velikost postranních kořenů a kořenového vlášení je rovněž zmenšena. Dochází také k redukcí nadzemní hmoty (Richter, 2004).



Obrázek 6: Symptomy deficience Mg (Simmes, 2017)

4 MATERIÁL A METODIKA

V roce 2016 byl ve fytotronech Ústavu agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin AF MENDELU založen přesný nádobový pokus formou hydroponie, ve kterém byl pozorován účinek interakce deficitní výživy a výskytu bakterióz na růst a vývoj rostlin rajčete jedlého (*Solanum lycopersicum* L.). V pokusu bylo hodnoceno 6 variant infikovaných (infik) bakterií *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* (*Pst*) a 6 variant neinfikovaných (neinfik). Varianty měly odlišné složení živného roztoku (tab 1).

Tab. 1: Schéma pokusu

infikováno		neinfikováno	
č. varianty	živný roztok	č. varianty	živný roztok
1	úplný	7	úplný
2	deficitní dusíkem	8	deficitní dusíkem
3	deficitní fosforem	9	deficitní fosforem
4	deficitní draslíkem	10	deficitní draslíkem
5	deficitní hořčíkem	11	deficitní hořčíkem
6	deficitní vápníkem	12	deficitní vápníkem

Roztoky byly připraveny dle metodiky Hoaglanda a Arnona (1939), jak uvádí tabulka 2.

Tab. 2 Navážky chemikálií v g na 1 litr roztoku dle Hoaglanda a Arnona (1939)

chemikálie	roztok					
	úplný	deficitní				
		N	P	K	Mg	Ca
Ca (NO ₃) ₂	0,821	-	1,231	1,231	0,821	-
KNO ₃	0,506	-	-	-	0,506	1,518
K ₂ SO ₄	-	0,871	0,861	-	0,436	-
KH ₂ PO ₄	0,136	-	-	-	0,136	0,136
Ca (H ₂ PO ₄) ₂	-	0,117	-	0,117	-	-
CaSO ₄ · 2H ₂ O	-	0,344	-	-	-	-
MgSO ₄	0,12	0,06	0,241	0,241	-	0,241
koncent.	1,583	1,392	2,343	1,589	1,899	1,895

Do všech živných roztoků bylo při založení pokusu přidáno železo ve formě 0,5 % roztoku chloridu železitého v dávce 5 ml na nádobu (Laštůvka, Minář, 1967). Jako modelová plodina bylo v nádobovém experimentu využito keříčkové rajče odrůdy Darinka, která je charakterizována jako velmi raný hybrid s kulatými plody, které málo podléhají praskání. Má rychlou dynamiku zrání a při vhodné agrotechnice je velmi výnosná (Semo, 2017).

Před založením pokusu v nádobách byla nemořená semena rajčete vyseta do perlitu v termínu 24. 10. 2016. Po naklíčení na délku kořene cca 8 cm byly rostlinky vloženy do vegetačních nádob s vodní kulturou, jako nádoby byly použity neprůhledné plastové boxy o objemu 45 l (obr. 7). V každém boxu bylo kultivováno 17 rostlin. Nejprve byly všechny rostliny 14 dnů ponechány v úplném živném roztoku, poté byly dány do deficitních roztoků a ve stejném termínu byly také infikovány bakterií *Pst*.



Obrázek 7: Kultivace rostlin ve fytotronu (vlastní foto)

Bakterie *Pst* (kmen 111 a 214 ze sbírky Ústavu pěstování, šlechtění rostlin a rostlinolékařství) byly kultivovány na médiu King B po dobu 2 dnů při teplotě 23 °C. Rostliny byly ve fázi prvního pravého listu inokulovány směsnou bakteriální suspenzí o koncentraci 10^6 cfu.ml⁻¹ pod tlakem 0,5 MPa na horní stranu čepele. Po inokulaci byly rostliny kvůli zvýšení relativní vlhkosti zakryty polyethylenovou folií po dobu 48 hodin (obr. 8).



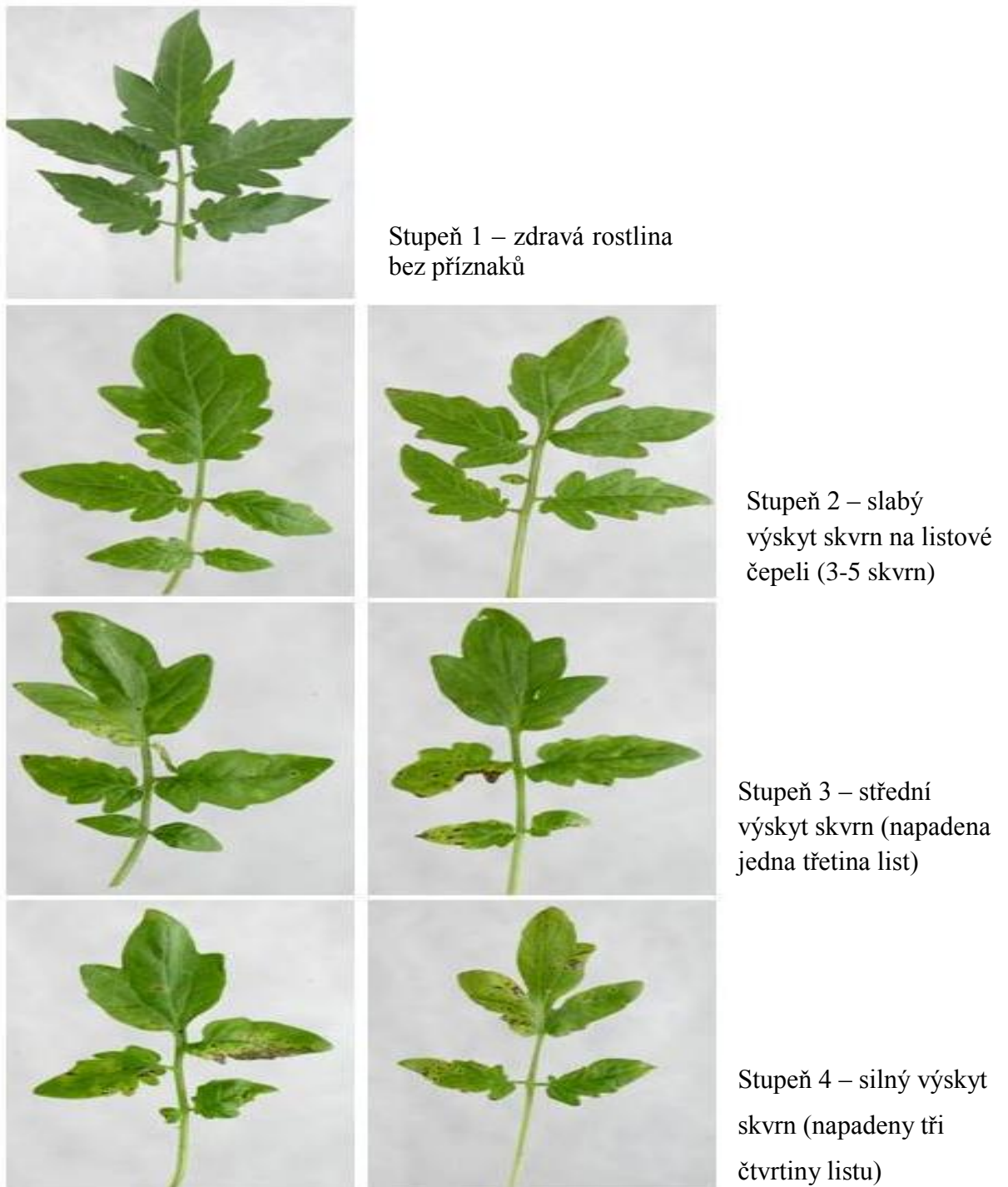
Obrázek 8: Zakrytí infikovaných rostlin pro optimální rozvoj patogena (vlastní foto)

Nádoby s roztoky byly provzdušňovány (vzduchovací motorek pro akvária) po dobu 30 minut v pravidelném intervalu 2 hodin. Nádoby byly ponechány ve fytotronech v regulovaném teplotním, vlhkostním a světelném režimu (teplota: 8 - 20 hod. 23 °C, 20 - 8 hod. 18 °C; vlhkost: 8 - 20 hod. 55 %, 20 - 8 hod. 70 %; světelný režim: 6 - 18 hod. 350 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, 18 - 6 hod. 0 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). Během experimentu byly provedeny 3 odběry v pravidelném intervalu 7 dnů (23. 11. 2016, 30. 11. 2016, 7. 12. 2016), pokaždé bylo odebráno 5 rostliny z každé varianty.

Ihned po odběru byla u rostlin rajčete pomocí LCR metru změřena elektrická kapacita kořenového systému (Chloupek, 1977; Dalton, 1995). Po jejím stanovení byl u infikovaných rostlin vizuálně určen stupeň napadení bakterií *Pst.* Nadzemní část infikovaných rostlin byla naskenována a ze skenů bylo programem Assess 2.0 (APS, Canada) vyhodnoceno procentuální zastoupení lézí rostlin. Nicméně tento způsob zhodnocení napadení se následně ukázal jako nevhodný, protože výsledky byly zkresleny projevy deficitů živin. Kořenová část rostlin byla také naskenována a zhodnocena velikost kořenového systému analýzou obrazu programem WinRHIZO. Dále byla stanovena hmotnost sušiny nadzemních částí a kořenů. Anorganický rozbor rostlin (ARR) byl v 1. a 2. odběru stanoven pro celou rostlinu, ve 3. odběru byl stanoven zvlášť u kořenů a nadzemní části. V rámci ARR byly sledovány obsahy N, P, K, Ca a Mg, obsah síry nebyl pro vysokou finanční nákladnost jeho stanovení zjišťován.

Stupeň napadení

Zdravotní stav byl vizuálně hodnocen 7 dní po inokulaci podle čtyřbodové stupnice napadení rostlin znázorněné na obrázku 9 (Víchová, 2004).



Obrázek 9: Obrazová stupnice pro hodnocení napadení (Víchová, 2004)

Elektrická kořenová kapacita

Kapacita kořenového systému byla stanovena pomocí přístroje LCR METER 131D při frekvenci 1 kHz v nanofaradech (nF) v destilované vodě v láhvi dle Woulfa (obr. 9). Jedna elektroda (kleště) byla přichycena na rostlinu, druhá elektroda byla upevněna do konstantní polohy u dna nádoby, čímž vznikl elektrický obvod, který umožnil procházení střídavého proudu mezi kořenovým systémem a vodou. Rostlinné pletivo funguje jako kondenzátor a je tedy možné změřit jeho paralelní kapacitu (C_p). V živé části kořene probíhá polarizace živých membrán nebo buněk, tato metoda zjišťuje pouze živou část kořene, protože měří probíhající elektrickou aktivitu na membránách mezi buňkami (Středa, Klimešová, 2016).



Obrázek 10: Uchycení rostlin pro stanovení elektrické kapacity kořenového systému (vlastní foto)

Analýza obrazu kořenového systému

Pomocí metody měření kořenového systému prostřednictvím analýzy obrazu vyplavených a naskenovaných obrazů, která je vhodná pro posuzování architektury kořenového systému v různých podmínkách (Dostál et al., 2010), bylo možné zjistit hodnoty pro celkovou délku a plochu kořenového systému.

Po stanovení elektrické kapacity se vzorky oddělily na nadzemní a kořenovou část, která byla následně rozdělena na dílčí vzorky. Ty byly rozprostřeny v tenké vodní vrstvě (2 - 3 mm) na plastovém rámečku a byla snaha o to, aby se kořeny co nejméně překrývaly. Po naskenování (skener Epson Perfection 700 Photo) byly kořeny analyzovány programem WinRHIZO, verze Basic (Régent Instruments Inc., Quebec, Kanada). Délka a průměr kořenů je hodnocena statistickou metodou Tennant. Po této analýze byly kořeny vysušeny a následně zvaženy.

Anorganický rozbor rostlin

Pro ARR byly vzorky rostlinné hmoty nejprve vysušeny při teplotě 50 °C, následně rozemlety na mlýnku a homogenizovány. Po této přípravě byla rostlinná hmota mineralizována na mokré cestě v mikrovlnném uzavřeném systému v prostředí H₂SO₄ and H₂O₂ (Zbíral a kol. 2005) v přístroji Ethos 1 (Milestone S.r.l., Sorisole, Itálie). Obsahy draslíku, vápníku a hořčíku byly stanoveny v mineralizátu rostlinné hmoty pomocí atomové absorpční spektrofotometrie (AAS) na přístroji ContrAA 700 (Analytik Jena AG, Jena, Německo). Po spálení rostlinné hmoty byl kolorimetricky určen obsah fosforu na přístroji UV/VIS spektrofotometr ATI Unicam 8625 (Cambridge, Velká Británie). Dusík byl v rostlinné hmotě stanoven metodou dle Kjeldahla na přístroji KjeltectTM 2300 (FOSS Analytical, Dánsko).

Statistické hodnocení

Pro statistické hodnocení elektrické kapacity kořenového systému a kořenového obrazu byl použit program Statistica 12 CZ.

Vliv deficitu živin na aktivitu a tvorbu kořenového systému byl hodnocen vícefaktorovou analýzou variance (ANOVA). Rozdíly mezi jednotlivými variantami byly hodnoceny následným testováním dle Fishera (LSD test) při 95 % ($p < 0,05$) hladině významnosti.

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

5.1 Hodnocení napadení rostlin bakterií *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* (*Pst*)

Tab. 3: Statistické zpracování vizuálního hodnocení stupňů napadení rajčete bakterií *Pst*

ÚP	1,8 ^a ± 0,55
def N	2,2 ^{ab} ± 0,45
def P	3,4 ^c ± 0,89
def K	2,8 ^{bc} ± 0,84
def Ca	3,4 ^c ± 0,55
def Mg	2,4 ^{ab} ± 0,89

Následné testování (Fisherův LSD test) - a, b, c – stupně napadení – mezi variantami deficitů není statisticky průkazný rozdíl ($p \leq 0,05$) v případě, jsou-li písmena stejná.

Rostliny s deficitní výživou jsou náchylnější k napadení patogeny a škůdci (Huber et al., 2012). U všech rostlin pěstovaných v deficitních roztocích byl stupeň napadení bakterií *Pst* vyšší než u kontrolních rostlin, které byly pěstovány v úplném živném roztoku (ÚP). Nejvíce byly napadeny rostliny deficitní na P a Ca (obr. 10), jejich stupeň napadení bakterií *Pst* byl signifikantně vyšší ($p \leq 0,05$) v porovnání s rostlinami z úplného živného roztoku. Reuveni et al. (2000) ve svém hydroponickém experimentu vyzorovali, že po přidání fosforu došlo k zvýšení odolnosti okurek vůči padlí. I rostliny rajčete vystavené deficitu P byly náchylnější k napadení *Pst*. Vápník významně ovlivňuje pevnost buněčné stěny (Huber et al., 2012) a podílí se také na inhibici enzymů, které napomáhají patogenu v průniku do rostlinných buněk (Huber, 1980), proto byly rostliny s nedostatkem vápníku méně odolné k napadení.

Pokud má rostlina dostatek K, dochází u ní k menšímu výskytu chorob a škůdců (Fuchs, Grossmann, 1972), Amtmann et al. (2008) uvádějí, že draslík nejvíce ovlivňuje odolnost rostlin vůči houbovým a bakteriálním chorobám. V rostlinách deficitních na K nedochází ke správnému průběhu syntézy proteinů a nastává akumulace jednoduchých dusíkatých sloučenin, kterých při napadení rostliny využívá patogen ve svůj prospěch (Huber et al., 2012). Rostliny s deficitem K tedy měly sníženou odolnost

vůči bakterii *Pst*, stupeň napadení byl u těchto rostlin průkazně vyšší ($p \leq 0,05$) u kontrolní rostliny.

Hoffland et al. (2000) uvádějí, že nízký obsah N v rostlině přispívá k snížení projevu napadení *Pseudomonas syringae*, naopak vysoký obsah N působí příznivě na vývoj tohoto patogenu. U rostlin s deficitem dusíku byl zaznamenán vyšší stupeň napadení než u kontroly, který sice nebyl signifikantní ($p \leq 0,05$), ale v porovnání s ostatními deficitními rostlinami byly tyto rostliny napadeny nejméně. Z výsledků uvedených v tabulce 3 je patrné, že rajčata pěstovaná v nedostatku hořčíku měly nízký stupeň napadení, také Woltz a Jonas (1979) zaznamenali, že při nižším obsahu hořčíku v rostlině se u rajčat a paprik méně projevila bakteriální skvrnitost.



Obrázek 11: Projev napadení *Pst* na rostlinách s deficitem Ca (vlastní foto)

5.2 Hodnocení elektrické kořenové kapacity

V rámci měření elektrické kapacity kořenového systému (EKK) byly za kontrolní rostliny pro každou variantu považovány rostliny z úplného roztoku (ÚP).

U neinfikované varianty byla v 1. odběru kapacita u rostlin s deficitem P a rostlin deficitních na Mg statisticky průkazně vyšší ($p \leq 0,05$) než u kontrolních rostlin. U rostlin při nedostatku P dochází k nárůstu délky a plochy kořenového vlášení (Ma et al., 2001), což mohlo způsobit zvýšení hodnot EKK. Ve 2. odběru už hodnotu EKK neinfikovaných kontrolních rostlin (0,743 nF) nepřevyšovala žádná deficitní varianta, u kterých navíc došlo k výraznému poklesu hodnot kapacity oproti předchozímu odběru. Ve 3. odběru byla u neinfik deficitních rostlin zjištěna nejvyšší kapacita kořenů u rostlin s deficitem Mg, oproti kontrole byla snížena o 36,1 %, jak je patrné z hodnot uvedených v tabulce 4. U infik rostlin byla v rámci deficitní rostlin nejvyšší hodnota EKK u kořenů rostoucích v nedostatku K, její hodnota byla o 44,7 % nižší než kapacita kontroly. Ve 2. a 3. odběru byla aktivita kořenů vyjádřená pomocí EKK u všech deficitních variant (neinfik i infik) statisticky významně ($p \leq 0,05$) nižší než kapacita kontrolních rostlin.

Tab. 4: Hodnoty kapacity kořenového systému u neinfikovaných a infikovaných rostlin naměřené LCR metrem (nF)

	1. odběr		2. odběr		3. odběr	
	neinfik	infik	neinfik	infik	neinfik	infik
ÚP	0,617 ^c ±0,04	0,408 ^c ±0,03	0,743 ^c ±0,11	0,654 ^d ±0,05	0,623 ^d ±0,05	0,570 ^d ±0,04
def N	0,464 ^b ±0,02	0,409 ^c ±0,03	0,289 ^b ±0,02	0,266 ^b ±0,03	0,282 ^b ±0,03	0,262 ^{bc} ±0,02
def P	0,733 ^d ±0,05	0,300 ^b ±0,02	0,376 ^b ±0,02	0,313 ^{bc} ±0,03	0,376 ^{bc} ±0,02	0,224 ^b ±0,01
def K	0,544 ^{bc} ±0,03	0,406 ^c ±0,03	0,265 ^b ±0,03	0,383 ^c ±0,02	0,443 ^c ±0,04	0,315 ^c ±0,04
def Ca	0,240 ^a ±0,02	0,208 ^a ±0,01	0,083 ^a ±0,02	0,106 ^a ±0,01	0,148 ^a ±0,01	0,113 ^a ±0,01
def Mg	0,766 ^d ±0,04	0,295 ^b ±0,01	0,301 ^b ±0,01	0,359 ^{bc} ±0,04	0,398 ^c ±0,04	0,294 ^{bc} ±0,01

Následné testování (Fisherův LSD test) - a, b, c, d – kapacity – mezi variantami deficitů není statisticky průkazný rozdíl ($p \leq 0,05$) v případě, jsou-li písmena stejná.

Během všech odběrů dosahovaly u neinfikované i infikované varianty nejnižších hodnot EKK rostliny s deficitem vápníku, kapacita jejich kořenů byla ve všech odběrech průkazně nižší ($p \leq 0,05$) než hodnoty EKK kontrolních rostlin z dané varianty. Rostliny s nedostatečnou výživou Ca redukuje růst kořenů (Baligar et al., 1998), takže budou vykazovat nižší elektrickou kapacitu než neredukované kořeny rostlin z úplného živného roztoku.

Neinfikované kontrolní rostliny a rostliny s deficitem P a N vykazovaly ve všech odběrech vyšší kapacitu kořenového systému než rostliny napadené *Pst*. V 1. odběru byl výrazný rozdíl mezi neinfik a infik variantou zjištěn u rostlin s deficitem P, u infikovaných rostlin byla hodnota EKK o 59 % nižší než u neinfikovaných. Fosfor přispívá k odolnosti rostlin vůči napadení (Prabhu et al., 2007), jeho nedostatek tedy umožnil větší rozvoj bakterie *Pst*, což se projevilo i na aktivitě kořenového systému. Ještě výraznější rozdíl mezi neinfik a infik variantou byl u rostlin s deficitem Mg, zde byla kapacita infikovaných rostlin o 61,5 % nižší než neinfikovaných. Ve 3. odběru se rozdíl mezi neinfik a infik variantou snížil, u rostlin s nedostatkem P byla EKK infik rostlin nižší o 40,4 %, u rostlin s deficitem Mg o 26,1 %. Statisticky průkazný vliv výživy na variabilitu elektrické kořenové kapacity byl v posledním odběru na úrovni 67,6 %, efekt zdravotního stavu se podílel na EKK 29 %.

5.3 Vliv deficitu živin na délku a plochu kořenového systému

Analýzou obrazu kořenového systému byla určena délka a plocha kořenů. Rostliny z úplného roztoku (ÚP) byly opět brány jako kontrolní rostliny.

Baligar et al. (1998) uvádějí, že velikost kořenů je prokazatelně ovlivněna rozdílným příjmem živin. Rozdíly mezi kořeny jednotlivých deficitních variant se projevily již v 1. odběru (tab. 5), kdy nejmenší délku kořenů vykazovaly rostliny deficitní na vápník, a to jak u infikované tak i u neinfikované varianty. U neinfik varianty byly oproti kontrole statisticky průkazně ($p \leq 0,05$) delší kořeny rostlin z roztoku s deficitem P, byly dokonce delší o 129,2 %. Rostliny vystavené krátkodobému nedostatku fosforu dokážou do určité míry ovlivnit růst kořenů nebo pozměnit jejich metabolismus tak, aby došlo ke zvýšení rozpustnosti běžně nerozpustných sloučenin fosforu v půdě (Vaněk et al., 2012), takže nedostatek přístupného P nemusí mít negativní vliv na délku a plochu

kořenů (López-Bucio et al., 2003; Perez-Torres et al., 2008). U infikovaných rostlin byly nejdelší kořeny zaznamenány u rostlin deficitních na N, byly o 37,8 % delší oproti kontrole. Föhse, Jungk (1983) uvádějí, že při nedostatku nitrátu dochází u rostlin k zvýšení plochy a délky kořenového vlášení, omezuje se větvení kořene (Eghball et al., 1993) a dochází k mírnému prodlužování postranních kořenů (Linkohr et al. 2002).

Tab. 5: Délka (cm) kořenového systému v 1. odběru

varianta	neinfik		infik		neinfik/ infik
	délka cm	rel %	délka cm	rel %	
ÚP	682,621 ^b ± 6,547	100	412,039 ^b ± 65,945	100	b/a
def N	739,644 ^b ± 167,833	108,4	567,775 ^c ± 148,932	137,8	a/a
def P	1564,487 ^c ± 202,903	229,2	463,919 ^{bc} ± 49,574	112,6	b/a
def K	866,994 ^b ± 88,455	127,0	505,376 ^{bc} ± 58,677	122,7	b/a
def Mg	893,421 ^b ± 38,830	130,9	317,940 ^{ab} ± 17,965	77,2	b/a
def Ca	115,278 ^a ± 17,940	16,9	124,073 ^a ± 11,527	30,1	a/a

Následně testování (Fisherův LSD test) – a, b, c – délky – mezi variantami není statisticky průkazný rozdíl ($p \leq 0,05$) v případě, jsou-li písmena stejná.

Největší plocha kořenů byla v 1. odběru (tab. 6) zjištěna u neinfik rostlin s deficitem P. Nedostatek fosforu může vést ke zvýšení plochy kořenů, rostlina se tak pokouší zvýšit možnost příjmu fosforu (Hawkesford et al., 2012). Oproti kontrole byla plocha kořenů nenapadených rostlin s deficitem P statisticky průkazně ($p \leq 0,05$) vyšší o 116,7 %. U infik rostlin dosahovaly největší plochy kořeny rostlin deficitních na N. Statisticky průkazně ($p \leq 0,05$) nejkratší kořeny s nejmenší plochou v porovnání s kontrolou měly u obou variant (infik/neinfik) rostliny s nedostatkem Ca. Infikované rostliny z roztoků deficitních na P, K, Mg a také z úplného živného roztoku měly signifikantně menší ($p \leq 0,05$) plochu a délku v porovnání s neinfik rostlinami, infekce tedy negativně ovlivnila jejich kořenový systém.

Tab. 6: Plocha (cm²) kořenového systému v 1. odběru

varianta	neinfik		infik		neinfik/ infik
	plocha cm ²	rel %	plocha cm ²	rel %	
ÚP	25,032 ^b ± 1,522	100	14,377 ^{bc} ± 2,421	100	b/a
def N	25,947 ^{bc} ± 5,817	103,7	18,556 ^c ± 3,547	129,1	a/a
def P	54,255 ^d ± 5,999	216,7	16,105 ^{bc} ± 1,949	112,0	b/a
def K	32,448 ^{bc} ± 3,304	129,6	16,579 ^c ± 1,365	115,3	b/a
def Mg	36,343 ^c ± 1,776	145,2	10,681 ^b ± 0,567	74,3	b/a
def Ca	4,294 ^a ± 0,470	17,2	4,097 ^a ± 0,259	28,5	a/a

Následné testování (Fisherův LSD test) – a, b, c – plochy – mezi variantami není statisticky průkazný rozdíl ($p \leq 0,05$) v případě, jsou-li písmena stejná.

Délku kořenů ve 2. odběru uvádí tabulka 7. Nejvyšších hodnot pro délku i plochu dosahovaly rostliny z úplných roztoků. Oproti předchozímu odběru, kdy infik rostliny s deficitem N, P, K měly kořeny delší než kontrolní rostliny, se u nich délka kořenů statisticky významně ($p \leq 0,05$) redukovala. Nedostatek dusíku ovlivňuje rychlost růstu a morfologii kořenů (Williamson et al., 2001, Lopéz-Bucio et al., 2002). Krouk et al. (2010) uvádějí, že při deficitu dusíku rostlina omezuje tvorbu bočních kořenů, což může vést ke snížení plochy kořenového systému.

Tab. 7: Délka (cm) kořenového systému v 2. odběru rostlin

varianta	neinfik		infik		neinfik/ infik
	délka cm	rel %	délka cm	rel %	
ÚP	3935,600 ^b ± 976,762	100	2478,463 ^d ± 242,907	100	a/a
def N	896,609 ^a ± 157,188	22,8	707,808 ^b ± 92,716	28,6	a/a
def P	1121,834 ^a ± 182,346	28,5	567,918 ^{ab} ± 134,615	22,9	b/a
def K	3136,121 ^b ± 470,818	79,7	1372,607 ^c ± 307,320	55,4	b/a
def Mg	1130,222 ^{ab} ± 191,583	28,7	665,073 ^b ± 9,949	26,8	b/a
def Ca	150,506 ^a ± 37,426	3,8	136,012 ^a ± 11,776	5,5	a/a

Následné testování (Fisherův LSD test) – a, b, c, d – délky – mezi variantami není statisticky průkazný rozdíl ($p \leq 0,05$) v případě, jsou-li písmena stejná.

Nejmenší redukce plochy kořenů v porovnání s kontrolou dosahovaly kořeny rostlin s deficitem K, a to u infik i neinfik variant. Z tabulky 8 je patrná velmi výrazná redukce plochy u rostlin deficitních na Ca, oproti kontrole byla u infik i neinfik varianty plocha snížena téměř o 96 %. Deficit vápníku výrazně omezuje prodlužovací růst buněk, což vede ke snížení délky kořenů (Marschner, Richter 1974; Pilbeam, Morley 2007). Infikované rostliny s deficitem P, K a Mg měly stejně jako v předcházejícím odběru statisticky významně ($p \leq 0,05$) nižší délku a plochu kořenů oproti nenapadeným rostlinám.

Tab. 8: Plocha (cm^2) kořenového systému v 2. odběru rostlin

varianta	neinfik		infik		neinfik/ infik
	plocha cm^2	rel %	plocha cm^2	rel %	
ÚP	134,514 ^b ± 35,035	100	77,640 ^d ± 7,087	100	a/a
def N	37,598 ^a ± 6,395	28,0	23,824 ^b ± 2,608	30,7	a/a
def P	42,448 ^a ± 4,926	31,6	21,744 ^b ± 3,907	28,0	b/a
def K	96,139 ^b ± 14,160	71,5	43,756 ^c ± 9,085	56,4	b/a
def Mg	47,315 ^a ± 7,340	35,2	20,963 ^b ± 0,543	27,0	b/a
def Ca	7,259 ^a ± 1,357	5,4	4,154 ^a ± 0,398	5,3	a/a

Následné testování (Fisherův LSD test) - a, b, c, d – plochy – mezi variantami není statisticky průkazný rozdíl ($p \leq 0,05$) v případě, jsou-li písmena stejná.

Nedostatek draslíku v rostlině vede k omezení růstu postranních kořenů (Hackett, 1967), kořeny rostlin deficitních na K byly ve 3. odběru (tab. 9) u infik i neinfik varianty kratší než kontrola, ale v rámci deficitních variant dosahovaly největších délek. Statisticky průkazně nejkratší kořeny měly u obou variant opět rostliny s deficitem Ca. Kořeny rostlin napadených bakterií dosahovaly menších délek než kořeny nenapadených rostlin, ale statisticky průkazně ($p \leq 0,05$) kratší byly pouze kořeny rostlin s deficitem dusíku.

Statisticky průkazný ($p \leq 0,05$) efekt výživy na délku a plochu kořenů byl ve 3. odběru téměř shodný, délku ovlivnil z 53,5 %, plochu z 53,1 %. Zdravotní stav také statisticky průkazně ($p \leq 0,05$) ovlivnil sledované znaky, jeho vliv byl ale výrazně nižší, u délky kořenů se pohyboval na úrovni 3,5 %, na plochu měl 2,2% vliv.

Tab. 9: Délka (cm) kořenového systému v 3. odběru rostlin

variant a	neinfik		infik		neinfik/ infik
	délka cm	rel %	délka cm	rel %	
ÚP	5960,397 ^c ± 1024,840	100	3737,999 ^c ± 997,959	100	a/a
def N	1168,751 ^a ± 140,411	19,6	709,160 ^a ± 95,984	19,0	b/a
def P	1694,607 ^a ± 479,040	25,1	619,843 ^a ± 93,990	16,6	a/a
def K	3557,106 ^b ± 772,280	59,7	2664,353 ^{bc} ± 445,257	71,3	a/a
def Mg	1602,141 ^a ± 214,876	26,9	1491,130 ^{ab} ± 428,529	39,9	a/a
def Ca	120,950 ^a ± 34,532	2,0	100,911 ^a ± 26,108	2,7	a/a

Následné testování (Fisherův LSD test) - a, b, c – délky – mezi variantami není statisticky průkazný rozdíl ($p \leq 0,05$) v případě, jsou-li písmena stejná.

Ve 3. odběru žádná z variant ale nedosahovala vyšší plochy kořenů než kontrolní rostliny. Nejvýrazněji redukovanou plochu oproti kontrole měly rostliny s nedostatkem Ca (infik i neinfik), stejně jako v předcházejícím odběru. Z tabulky 10 je patrné, že největší plochu kořenů v rámci deficitních variant měly rostliny s nedostatkem K, u infik rostlin byla v porovnání s kontrolou její redukce menší než u neinfik rostlin. V porovnání s neinfik rostlinami je statisticky významná redukce plochy kořenového systému u infikovaných rostlin s deficitem dusíku a fosforu.

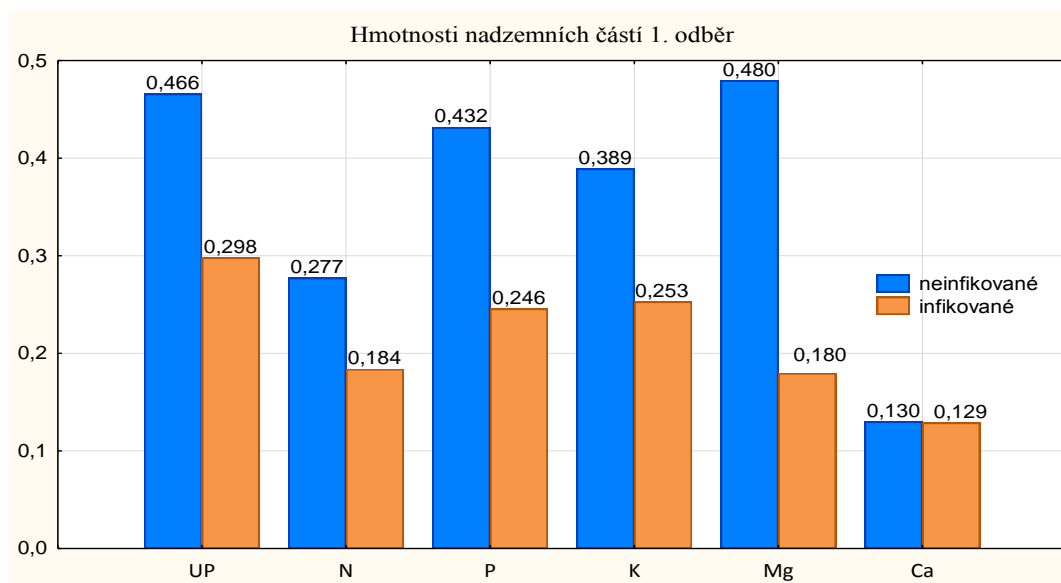
Tab. 10: Plocha (cm²) kořenového systému v 3. odběru rostlin

varianta	neinfik		infik		neinfik/ infik
	plocha cm ²	rel %	plocha cm ²	rel %	
ÚP	228,736 ^d ± 41,291	100	110,520 ^c ± 30,448	100,0	a/a
def N	51,842 ^{ab} ± 5,269	22,7	22,981 ^a ± 2,775	20,8	b/a
def P	66,253 ^{abc} ± 15,833	29,0	22,981 ^a ± 3,230	20,8	b/a
def K	124,920 ^c ± 25,380	54,6	83,052 ^{bc} ± 11,587	75,1	a/a
def Mg	69,452 ^{bc} ± 9,125	30,4	46,012 ^{ab} ± 12,267	41,6	a/a
def Ca	5,260 ^a ± 1,322	2,3	7,949 ^a ± 0,676	7,2	a/a

Následné testování (Fisherův LSD test) - a, b, c, d – plochy – mezi variantami není statisticky průkazný rozdíl ($p \leq 0,05$) v případě, jsou-li písmena stejná.

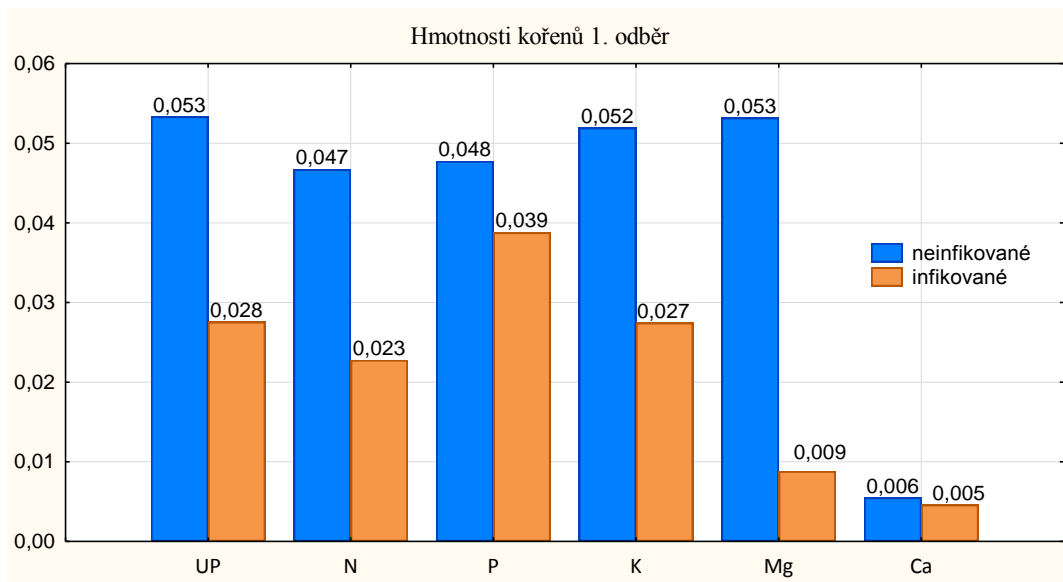
5.4 Vliv deficitu živin na hmotnost sledovaných rostlin

Uvedené grafy (graf 1 - 6) vyjadřují hmotnosti sušiny nadzemní nebo kořenové části jedné rostliny sledovaných variant. Pro kontrolu byly použity rostliny z úplného roztoku (ÚP).



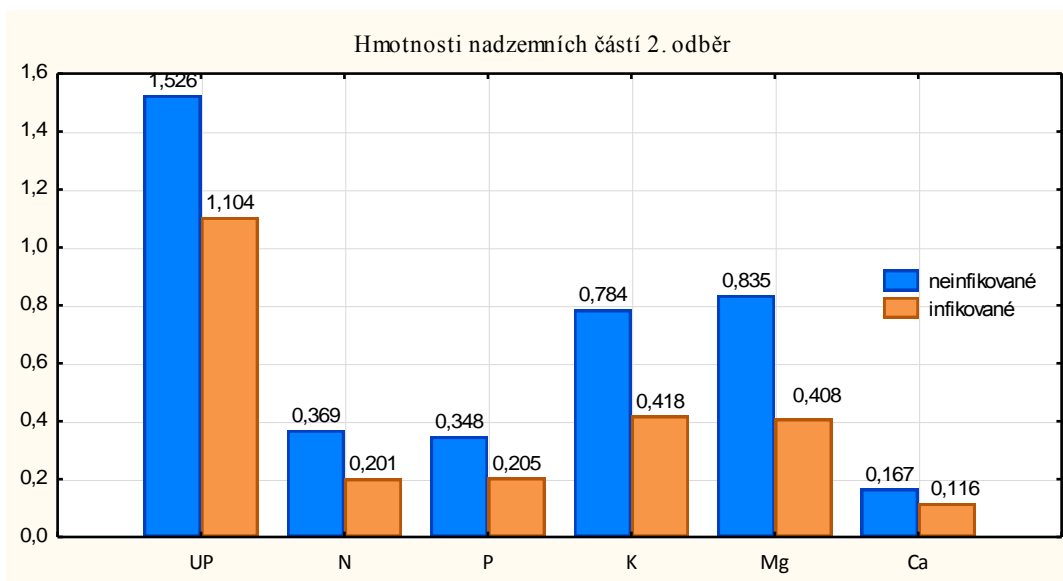
Graf 1: Hmotnost sušiny nadzemní části (g) 1. odběr

V 1. odběru byla u neinfik rostlin nejvyšší hmotnost nadzemních částí zaznamenána u kontrolních rostlin a rostlin s deficitem Mg. Rostliny rostoucí v roztoku s nedostatkem hořčíku mírně převyšovaly hmotnost nadzemních částí kontrolní rostliny, a to pouze o 3 %. U infik rostlin žádná deficitní varianta nepřevyšovala kontrolu, nejvíce se hmotnosti kontroly blížily rostliny s nedostatkem K a P. Z grafu 1 je patrné, že nenapadené rostliny měly vyšší hmotnost nadzemní části, pouze u varianty s deficitem Ca byla hmotnost téměř stejná. V porovnání neinfik variant s infik variantami byl největší rozdíl v hmotnosti nadzemní části mezi rostlinami deficitními na hořčík (hmotnost neinfik rostlin 2,6krát vyšší infik).



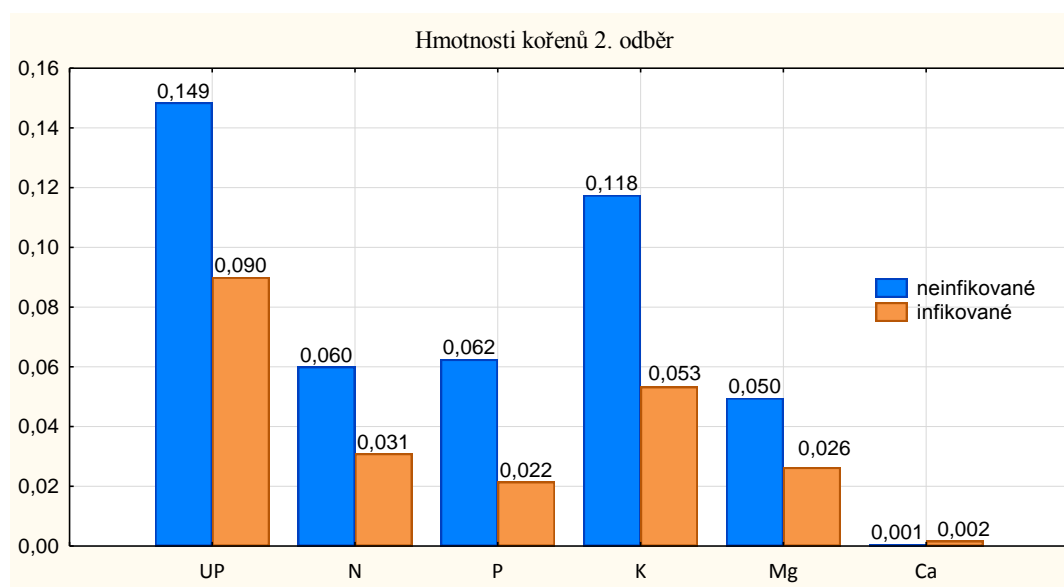
Graf 2: Hmotnost sušiny kořenů (g) 1. odběr

V 1. odběru se hmotnosti kořenů neinfikovaných rostlin výrazně nelišily (graf 2), pouze kořeny rostlin s deficitem Ca měly velmi nízkou hmotnost. Z napadené varianty vykazovaly největší hmotnost kořenů rostliny s nedostatkem P (0,039 g). V porovnání mezi infik a neinfik deficitními variantami byl stejně jako u hmotnosti nadzemní části nejvýraznější rozdíl u rostlin s nedostatkem Mg, kořeny neinfik rostliny měly hmotnost 0,053 g, u infik rostlin to bylo pouze 0,009 g.



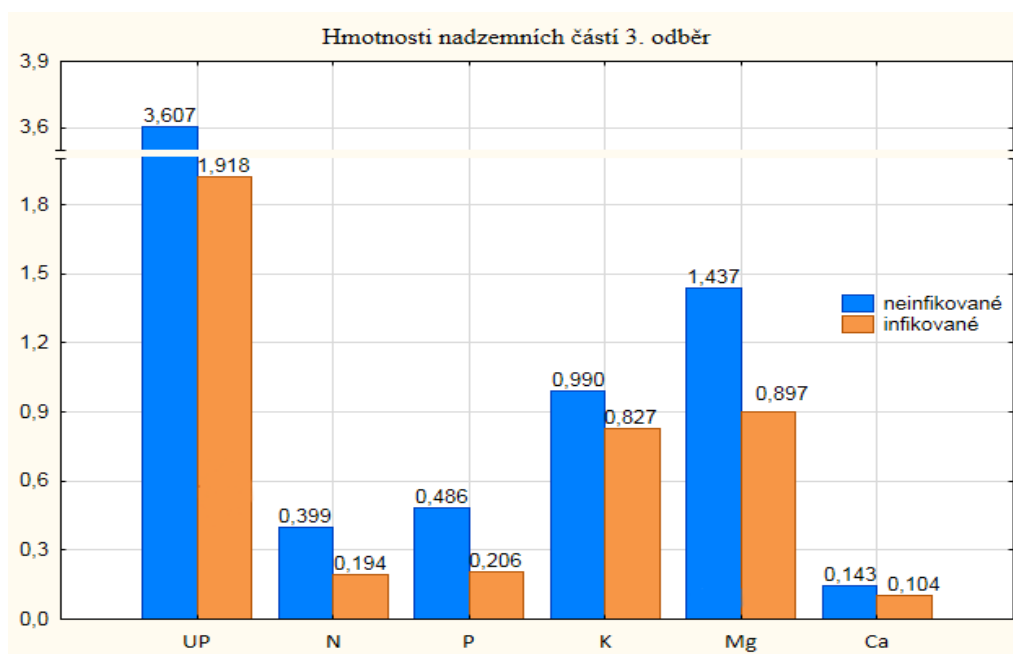
Graf 3: Hmotnost sušiny nadzemní části (g) 2. odběr

Ve 2. odběru (graf 3) je v hmotnosti nadzemních částí oproti předchozímu odběru výraznější rozdíl mezi kontrolou a deficitními variantami. Nejvíce se hodnotám kontroly blížily rostliny vystavených nedostatku Mg a K, a to jak u neinfik, tak u infik varianty. Stejně jako v 1. odběru byl největší rozdíl mezi hmotnostmi nadzemních částí infik a neinfik rostlin u varianty s nedostatkem Mg, infikované rostliny měly hmotnost o 51 % nižší oproti neinfik rostlinám. Velký rozdíl byl také u rostlin s deficitem K, zde byla hmotnost u infik rostlin nižší o 47 %.



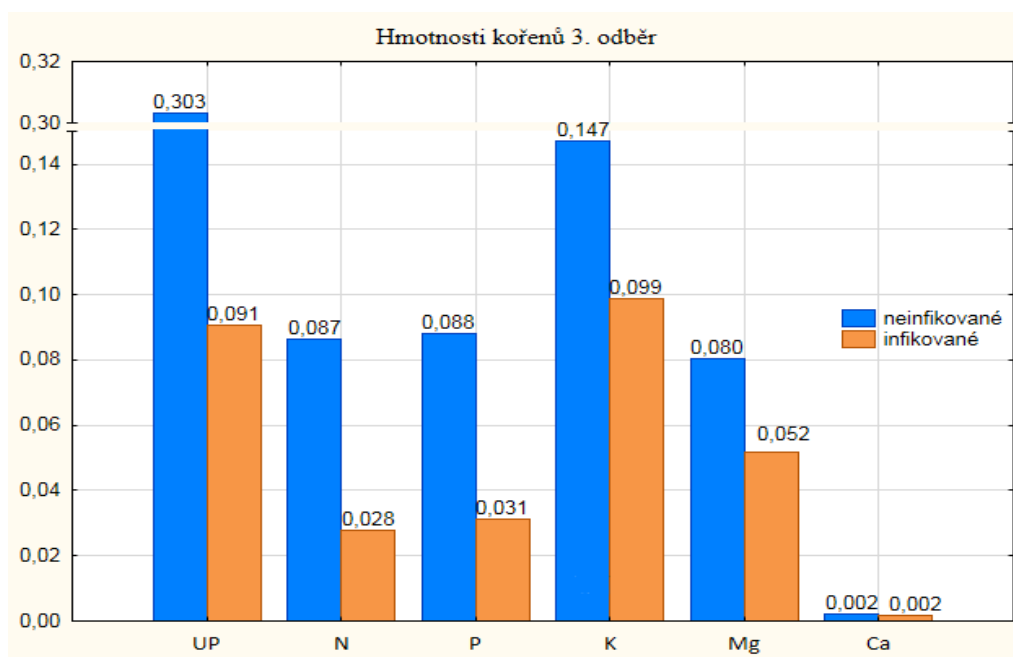
Graf 4: Hmotnost sušiny kořenů (g) 2. odběr

Od hmotnosti kořenů kontrolních rostlin se ve 2. odběru (graf 4) nejméně lišily rostliny s deficitem K, a to u neinfik i infik varianty. Nejnižší hmotnost byla opět u rostlin s deficitem Ca. Mezi hmotnostmi nenapadených rostlin s nedostatkem N, P a Mg nebyly výrazné rozdíly, stejně tomu bylo i u napadených rostlin. V porovnání neinfik a infik variant byl největší rozdíl u rostlin s deficitem P, hmotnost kořenů infik rostlin byla o 64,5 % nižší než neinfik rostlin.



Graf 5: Hmotnost sušiny nadzemní části (g) 3. odběr

Ve 3. Odběru (graf 5) nastal velký rozdíl v hmotnosti nadzemních částí mezi kontrolou a rostlinami s deficitem N, P a Ca. Stejně jako ve 2. odběru se hodnotám kontroly nejvíce blížily rostliny s deficitem K a Mg, a to pro neinfik i infik variantu. Největší rozdíl mezi neinfik a infik variantou byl u rostlin s nedostatkem P, kde byla hmotnost sušiny nadzemních částí infik rostlin o 57 % nižší než u neinfik rostlin.



Graf 6: Hmotnost sušiny kořenů (g) 3. odběr

Hmotnosti sušiny kořenů rostlin s deficitem K byla ve 3. odběru oproti kontrole výrazně snížena, nicméně v rámci deficitních rostlin měly rostliny vystavené nedostatku K největší hmotnost kořenů (u neinfik i infik varianty). Mezi neinfikovanými rostlinami s nedostatkem N, P a Mg nebyly zaznamenány výrazné rozdíly v hmotnosti kořenů. Největší rozdíl mezi neinfik a infik variantou se projevil u kontrolních rostlin, hmotnost kořenů infikovaných rostlin byla o 70 % nižší, napadení rostlin bakterií *Pst* tedy způsobilo výraznou redukci kořenového systému. Nejmenší rozdíly mezi variantami byly u rostlin s nedostatkem K, u rostlin z deficitního roztoku na Ca byly hmotnosti kořenů obou variant dokonce stejné.

Tab. 11: Hmotnost sušiny 1 rostliny v gramech (neinfikovaná a infikovaná varianta)

varianta		neinfik			infik		
		1. odběr	2. odběr	3. odběr	1. odběr	2. odběr	3. odběr
ÚP	nadzemní část	0,466	1,526	3,607	0,298	1,104	1,918
	kořen	0,053	0,149	0,303	0,028	0,090	0,091
	celkem	0,519	1,674	3,911	0,326	1,194	2,009
def N	nadzemní část	0,227	0,369	0,399	0,184	0,201	0,194
	kořen	0,047	0,060	0,087	0,023	0,031	0,028
	celkem	0,324	0,429	0,485	0,207	0,232	0,222
def P	nadzemní část	0,432	0,348	0,486	0,246	0,205	0,206
	kořen	0,048	0,062	0,088	0,039	0,022	0,031
	celkem	0,479	0,410	0,574	0,284	0,226	0,237
def K	nadzemní část	0,389	0,784	0,990	0,253	0,418	0,827
	kořen	0,052	0,118	0,147	0,027	0,053	0,099
	celkem	0,441	0,902	1,137	0,280	0,472	0,926
def Mg	nadzemní část	0,480	0,835	1,437	0,180	0,408	0,897
	kořen	0,053	0,050	0,080	0,009	0,026	0,052
	celkem	0,533	0,885	1,517	0,188	0,434	0,949
def Ca	nadzemní část	0,130	0,167	0,143	0,129	0,116	0,104
	kořen	0,006	0,001	0,002	0,005	0,002	0,002
	celkem	0,136	0,167	0,145	0,134	0,118	0,106

Celková hmotnost sušiny narůstala v čase pouze u kontrolní varianty (infik i neinfik) a varianty s deficitem draslíku (infik i neinfik), u všech ostatních variant hodnoty sušiny během odběrů kolísaly. V rámci neinfik varianty byla celková sušina rostlin v 1. odběru nejvyšší u rostlin deficitních na Mg, ve 2. a 3. odběru byly nejvyšší hodnoty zaznamenány u rostlin z úplného roztoku. U infik varianty byla hmotnost celkové sušiny během všech odběrů nejvyšší u kontrolních rostlin. Po porovnání hmotnosti nadzemní části, kořenů i celkové hmotnosti neinfikované a infikované varianty během všech odběrů byly zaznamenány vyšší hmotnosti u neinfikovaných rostlin, pouze ve 2. odběru měly infik rostliny s deficitem vápníku mírně vyšší hmotnost kořenů oproti neinfik rostlinám. Nejmenší rozdíl mezi hmotnostmi zaznamenanými u kontrolních a deficitních rostlin byl zaznamenán u rostlin s deficitem K a Mg, a to u nenapadené i napadené varianty. Naopak největší rozdíl v hmotnostech sušiny vykazovaly rostliny s nedostatkem Ca. Také poměr kořenů ku nadzemní části byl ve všech odběrech nejnižší u rostlin s deficitem Ca (pro neinfik i infik variantu).

Výrazně vyšší poměr kořen/nadzemní část než u kontrolní rostliny (0,047) vykazovaly v posledním 3. odběru u neinfikované varianty rostliny s deficitem N (0,144), P (0,151) a K (0,119). V rámci infikované varianty byl poměr kořen/nadzemní části u rostlin s nedostatkem N (0,217), P (0,181) a K (0,148) také vyšší než u kontroly (0,084). Na základě uvedených hodnot poměrů kořene a nadzemní části je patrné, že deficitní výživa ovlivnila hmotnost rostlin ve prospěch kořenové části. U rostlin rostoucích v nedostatku P mohlo být toto zvýšení způsobeno změnami rozvoje kořenového systému, v prostředí s nedostatkem P dochází k zvýšení tvorby kořenového vlášení (Bates, Lynch, 1996) a většímu prodlužovacímu růstu kořene (Claudia et al., 2008). Zvýšení poměru kořene ku nadzemní části u rostlin s deficitem N a P zaznamenali ve svých studiích i Ericsson (1998) a Zhang et al. (2012), mírné zvýšení u poměru kořen/nadzemní část pro rostliny s deficitem K popisují také Rattanapichai, Klem (2015).

5.5 Vliv deficitu živin na anorganický rozbor rostlin (ARR)

Obsah živin (N, P, K, Mg, Ca) byl v 1. a 2. odběru stanoven v celé rostlině (směsném vzorku), ve 3. odběru byl obsah živin zjišťován zvlášť pro nadzemní a kořenovou část. Pro rostliny s deficitem Ca z infik i neinfik varianty nemohl být ve 3. odběru stanoven obsah živin v kořenové části kvůli nedostatku rostlinného materiálu. Jako kontrolní rostliny opět sloužily rostliny z úplného roztoku.

Z výsledků ARR je zřetelný deficit makrobiogenních živin u rostlin, které byly pěstovány v živném roztoku s jejich absencí (zvýrazněné hodnoty v tabulkách 12-15).

Tab. 12: Obsah živin (N, P, K, Ca, Mg) v rostlině rajčete (1. odběr)

varianta	obsah živin v % abs. sušiny									
	N		P		K		Ca		Mg	
	neinfik	infik	neinfik	infik	neinfik	infik	neinfik	infik	neinfik	infik
ÚP	4,725	4,505	0,857	0,385	6,738	6,442	2,449	2,750	0,512	0,514
def N	2,241	2,840	0,871	0,935	6,319	7,672	1,545	1,793	1,545	0,332
def P	3,769	4,224	0,215	0,326	5,905	6,746	2,114	2,409	0,674	0,632
def K	3,572	4,691	0,836	0,812	1,991	3,504	2,654	3,041	0,664	0,691
def Ca	3,804	3,762	0,585	0,721	6,358	6,655	0,784	0,877	0,457	0,454
def Mg	4,407	4,315	0,885	0,969	6,864	7,732	2,759	3,163	0,150	0,187

Při porovnání obsahu živin mezi infik a neinfik variantami se v 1. odběru výrazně lišil obsah P v kontrolních rostlinách. U infik varianty se obsah fosforu snížil o více než ½. Výrazný rozdíl byl také v obsahu Mg u rostlin s deficitem dusíku, kde jeho množství bylo v infik variantě o 78,5 % nižší než v neinfik. Tyto rozdíly lze vysvětlit tak, že infekce pravděpodobně způsobila omezení velikosti (délkou i plochou) a kapacity kořenů, což se projevilo na příjmu živin.

Obsahy živin na deficitních variantách velmi kolísaly. Z výsledků ARR v tabulce 12 je patrné, že rostliny vykazovaly významných změn nejen v obsahu prvků, kterých se jim v živném roztoku nedostávalo, ale i ostatních makroelementů, jejichž příjem a následná utilizace byla ovlivněna deficitní výživou. Např. na infik variantě byl obsah fosforu oproti variantě s úplným živným roztokem vyšší v rostlinách pěstovaných při nedostatku N, K, Ca a Mg. Dále je patrné, že u infik rostlin s deficitem hořčíku se

potvrdilo jeho antagonistické působení na příjem vápníku (Schwartz, Bar-Yosef, 1983; Carvajal et al., 1999; Lasa et al., 2000) jeho zvýšeným obsahem v rostlině, který dosáhl oproti kontrole nárůstu o 14,6 %.

Tab. 13: Obsah živin (N, P, K, Ca, Mg) v rostlině rajčete (2. odběr)

varianta	obsah živin v % abs. sušiny									
	N		P		K		Ca		Mg	
	neinfik	infik	neinfik	infik	neinfik	infik	neinfik	infik	neinfik	infik
ÚP	4,648	5,086	0,890	0,824	8,123	6,873	2,817	2,836	0,558	0,495
def N	1,713	2,416	0,914	0,973	5,760	7,900	1,347	1,444	0,286	0,308
def P	3,941	4,140	0,209	0,276	6,550	6,131	2,064	2,163	0,634	0,595
def K	4,670	5,233	0,887	0,906	1,113	1,715	3,773	3,552	0,953	0,949
def Ca	3,503	4,388	0,630	0,621	7,857	7,157	0,830	0,992	0,447	0,436
def Mg	3,865	4,524	0,829	0,875	7,554	6,711	2,656	2,648	0,085	0,133

Ve 2. odběru (tab 13) opět některé obsahy živin převyšovaly hodnoty kontrolní varianty, u infik rostlin s deficitem draslíku vzrostl oproti kontrole obsah Mg o 91,7 %, u neinfik rostlin byl nárůst Mg oproti kontrole o 70,8 %. Dále bylo výrazné snížení obsahu živin oproti kontrole zaznamenáno u rostlin s nedostatkem N, u obou variant byl snížen obsah Ca (zhruba o ½) a obsah Mg (u infik varianty byl nižší o 37,8 %, u neinfik o 48,7 %). Snížení obsahu hořčíku může zapříčinit deficit dusíku, jehož nitrátová forma pozitivně ovlivňuje příjem hořčíku (Richter 2004; Lasa et al., 2000).

Výraznější rozdíly mezi infik a neinfik variantou byly v obsahu K u rostlin z úplného roztoku, kdy neinfik rostliny obsahovaly o 15,4 % více draslíku než rostliny infikované. U rostlin s nedostatkem hořčíku bylo více draslíku také v neinfik rostlinách, naopak u rostlin deficitních na N byl obsah K vyšší u infik rostlin (o 37,2 %).

Tab. 14: Obsah živin (N, P, K, Ca, Mg) v nadzemní části rostliny rajčete (3. odběr)

varianta	obsah živin v % abs. sušiny									
	N		P		K		Ca		Mg	
	neinfik	infik	neinfik	infik	neinfik	infik	neinfik	infik	neinfik	infik
ÚP	3,869	4,158	0,878	1,049	6,929	6,016	3,337	3,058	0,615	0,567
def N	1,402	1,818	0,882	1,147	5,564	6,817	1,271	1,462	0,275	0,299
def P	4,055	4,177	0,181	0,197	5,849	6,078	2,241	1,764	0,754	0,675
def K	4,634	5,046	0,918	0,949	0,804	0,911	4,266	4,334	0,941	0,986
def Ca	3,706	4,236	0,580	0,622	7,139	7,289	0,625	0,676	0,415	0,494
def Mg	3,678	4,651	0,867	0,890	7,834	6,371	2,258	2,864	0,101	0,089

V 3. odběru byl obsah živin v nadzemních částech značně variabilní (tab 14). Výrazně se zde projevilo antagonistické působení draslíku na příjem hořčíku (Edwards, Pedersen, 1986), u rostlin s jeho nedostatkem je obsah hořčíku v porovnání s kontrolou zvýšený, a to jak u infik (o 73,9 %), tak i u neinfik varianty (o 53 %). Draslík také inhibuje příjem vápníku (Grimme et al., 1975), rostliny z roztoků s deficitem K měly vyšší obsah Ca v obou variantách. V infik rostlinách jeho obsah vzrostl o 41,7 % oproti kontrole, v neinfik o 27,8 %. Vzájemné působení mezi K, Mg a Ca u rajčete také ve svých studiích popisují Kabu, Toop (1970) a Hartz et al. (1999).

Nadzemní část infik rostlin deficitních na Mg obsahovala v porovnání s neinfik variantou více dusíku (o 26,5 %) a také vápníku (o 26,8 %). Byl také zaznamenán vyšší obsah fosforu u infik rostlin s deficitem N (nárůst oproti neinfik variantě o 30 %).

Tab. 15: Obsah živin (N, P, K, Ca, Mg) v kořenech rostliny rajčete (3. odběr)

varianta	obsah živin v % abs. sušiny									
	N		P		K		Ca		Mg	
	neinfik	infik	neinfik	infik	neinfik	infik	neinfik	infik	neinfik	infik
ÚP	4,010	3,979	0,713	0,836	2,306	1,984	1,667	1,782	0,620	0,482
def N	2,380	2,508	1,741	2,265	5,121	5,443	0,798	0,889	0,148	0,204
def P	4,089	4,475	0,215	0,276	5,638	4,556	1,068	1,419	0,323	0,303
def K	4,591	4,598	1,005	1,036	0,777	0,784	1,224	1,287	1,240	0,753
def Ca	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
def Mg	4,169	4,470	1,174	0,963	5,835	5,193	1,529	1,576	0,146	0,156

* pro rozbor nebylo dostatečné množství rostlinné hmoty

Ve 3. odběru (tab 15) obsah K v kořenech deficitních rostlin (kromě varianty s jeho absencí) značně převyšoval obsah zjištěný v kontrolních kořenech. Projevilo se zde antagonistické působení P na příjem K (Fageria, 1983), u infik rostlin deficitních na P byl obsah draslíku vyšší o 129,6 % oproti kontrole, u neinfik rostlin byl téměř 1,5krát vyšší než u kontroly. V kořenech se ale neprojevilo antagonistické působení nitrátu na příjem hořčíku (Lasa et al., 2000), u varianty s nedostatkem N je obsah Mg oproti kontrole výrazně nižší.

Obsah živin v kořenové části byl mezi variantami značně odlišný, u rostlin s nedostatkem K byl obsah Mg v neinfik variantě téměř o 2/3 vyšší než u infik varianty. U rostlin s deficitem N kořeny neinfik rostlin obsahovaly o 23,1 % méně fosforu než kořeny infik rostlin, také u nich byl o 10,2 % nižší obsah Ca.

6 ZÁVĚR

Vliv deficitní výživy na napadení rostlin rajčete bakterií *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* se projevil u všech sledovaných variant. Nejvyšší stupeň napadení byl zaznamenán u rostlin rostoucích v nedostatku vápníku a fosforu. Naopak nejnižší stupeň napadení byl zaznamenán u rostlin pěstovaných v úplném živném roztoku, v rámci deficitních rostlin byly nejméně napadeny rostliny s deficitem dusíku.

Největší aktivitu kořenového systému posuzovanou podle hodnot elektrické kořenové kapacity měly v rámci nenapadené varianty rostliny pěstované v úplném živném roztoku a rostliny s deficitem hořčíku a fosforu. U infikované varianty byla nejvyšší kapacita zjištěna u kontrolních rostlin a rostlin s deficitní výživou na draslík. Nejnižší aktivitu kořenového systému vykazovaly rostliny s nedostatkem vápníku, a to u neinfikované i infikované varianty. U nenapadené varianty byla hodnota EKK výrazně snížena rovněž u rostlin s deficitem N, u napadené varianty bylo snížení zaznamenáno u rostlin s nedostatkem N a P.

Délka a plocha kořenového systému byly u nenapadených rostlin nejvíce redukovány při nedostatku vápníku a dusíku, u napadené varianty byla největší redukce těchto parametrů u rostlin s deficitem vápníku, dusíku a fosforu. Od 2. odběru měly u obou variant nejdelší kořenový systém s největší plochou rostliny z úplného živného roztoku a rostliny s nedostatkem draslíku.

Působení deficitní výživy makrobiogenními prvky vedlo u rajčat ke snížení hmotnosti kořenů i nadzemních částí rostlin. Ve všech odběrech byla pro infikovanou i neinfikovanou variantu zaznamenána nejnižší tvorba nadzemní i kořenové hmoty u rostlin s deficitem vápníku. Hmotnost nadzemní části rostlin byla bez ohledu na zdravotní stav nejméně redukována při nedostatku K a Mg, naopak výrazné snížení produkce nadzemní hmoty se projevilo u rostlin s deficitem N a P. Hmotnost kořenového systému byla u napadených i nenapadených deficitních rostlin nejvyšší u rostlin s nedostatkem K, výrazně nižší byla u rostlin deficitních na N, P a Mg. Během pozorování byly patrné rozdíly v hmotnostech rostlin mezi neinfikovanou a infikovanou variantou, infekce patogenem obecně vedla k jejich snížení.

Z výsledků anorganického rozboru rostlin je patrný projev absence makrobiogenních živin na jejich obsahu v rostlinách, a to u neinfikované i infikované varianty. Potvrdily se interakce mezi jednotlivými živinami v jejich příjmu, projevil se antagonismus draslíku s hořčíkem a vápníkem, fosforu s draslíkem a také hořčíku s vápníkem. Na základě sníženého příjmu hořčíku při deficienci dusíku se prokázal synergický účinek jeho nitrátové formy na příjem hořčíku.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Agrios, G. N. (1997): Plant Pathology. Academic Press, San Diego, 635 s., ISBN 0-12-044564-6

Amtmann, A., Stephanie Troufflard, S., Armengaud, P. (2008): The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. *Physiologia Plantarum*, 133: 682–691.

Babadoost, M. (2009): Diagnose and manage your tomato diseases. [online]. [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://agronomyday.cropsci.illinois.edu/2009/tours/b4diagnos/>

Baligar, V. C., Fageria, N., Elrashidi, M. A. (1998): Toxicity and nutrient constraints on root growth. *Hort Science*, 3: 960-965.

Bashan, Z., Okon, Z., Henis, Z. (1982): Long-term survival of *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* and *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* in tomato and pepper seeds. *Phytopathology*, 72(9): 1143-1144.

Baudyš, E., Benada, J., Špaček, J. (1960): Zemědělská fytopatologie III. Díl, Choroby zeleniny, 714s

Beevers, L. H., Hageman, R. H. (1969): Nitrate reduction in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 20: 495–522.

Bully, B. (2017): YARA, Crop nutrition. [online]. [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://www.yara.in/crop-nutrition/crops/tomato/>

Böhmer, B., Wohanka, W. (2003): Atlas chorob a škůdců okrasných rostlin, ovoce a zeleniny. Nakladatelství Brázda, s. r. o., Praha, 239s, ISBN:80-209-0317-8

Carvajal, M., Martínez, V., Cerdá, A. (1999): Influence of magnesium and salinity on tomato plants grown in hydroponic culture. *J. Plant Nutr.*, 22: 177–190.

Cowan, J. A. (2002): Structural and catalytic chemistry of magnesium dependent enzymes. *Biometals*, 15(3): 225-235.

- Csizinsky, A. A., Schuster, D. J., Jones, J. B., van Lenteren, J. C. (2005): Crop protection. In: Heuvelink, E. (ed.): Tomatoes. CABI Publishing, Wallingford, 324s, ISBN 0-85199-396-6.
- Dalton, F. N. (1995): In-situ root extent measurements by electrical capacitance methods, *Plant and Soil*, 173: 157 – 165.
- Dorais, M., Papadopoulos, A. P., Gosselin, A. (2001): Greenhouse tomato fruit quality: the influence of environmental and cultural factors. *Horticultural Reviews*, 26: 239–319.
- Dvořák, M. (1976): Fyziologie rostlin speciální. Metabolismus minerálních látek u rostlin. UK Praha, 173s
- Edwards, J. H., Pedersen, J. F. (1986): Growth and magnesium uptake of tall fescue lines at high and low potassium levels. *Plant Nutr.*, 9(12): 1499–1518.
- Eghball, B., and Maranville, J. W. (1993). Root development and nitrogen influx of corn genotypes grown under combined drought and nitrogen stresses. *Agron. J.*, 85: 147–152.
- Ericsson, T., 1995. Growth and shoot:root ratio of seedlings in relation to nutrient availability. *Plant Soil*, 168–169: 205–214
- Evans, H. J., Nason, A. (1953): Pyridine nucleotide nitrate reduction from extracts of higher plants. *Plant Physiol.*, 28: 233–254.
- Fageria, N. K. (2013): The Role of Plant Roots in Crop Production. CRC Press, Boca Raton, 451s, ISBN: 978-1-4398-6737-2
- Fageria, N., K. (1983): Ionic Interactions in Rice Plants from Dilute Solutions. *Plant Soil*, 70: 309-316.
- Fecenko, J. (2000): Chemické zloženie a stavba rastlín. In: Fecenko, J., Ložek, O. (eds.): Výživa a hnojenie poľných plodín. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Nitra, 442 s, ISBN 80-7137-777-5.
- Fuchs, W. H, Grossmann F. (1972): Nutrition and resistance of crop plants against pathogens and pests. In: Linser, H. (ed.): Handbuch der pflanzenernährung und düngung. Springer-Verlag, Vienna, 1008–1107.

- Föhse, D., Jungk, A. (1983): Influence of phosphorus and nitrate supply on root hair formation of rape, spinach and tomato plants. *Plant Soil*, 74: 359-368.
- Gloser, J. (1998): Fyziologie rostlin. Masarykova univerzita, Brno, 157 s, ISBN: 80-210-1789-9.
- Goode, J., Sasser, M. (1981): Prevention – the key to controlling bacterial spot and bacterial speck of tomato. *Plant Disease*, 64: 831-834.
- Gosselin, A., Trudel, M. J. (1982): Influence de la temperature du substrat sur la croissance, le developpement et le contenu en elements mineraux de plants de tomate (cv. Vendor). *Canadian Journal of Plant Science*, 62: 751–757.
- Grimme, H., von Braunschweig, L. C., Nemeth, K. (1975): K, Mg and Ca interactions as related to cation uptake and yield. *Büntehof Abs.*, 4: 7–8.
- Hackett, C. (1967): A study of the root system of barley. Effects of nutrition on two varieties. *New Phytol.*, 67: 287-289.
- Hartz, T. K., Miyao, G., Mullen, R. J., Cahn, M. D., Valencia, J., Brittan, K. L. (1999): Potassium requirements for maximum yield and fruit quality of processing tomato. *Amer. Soc. Hort. Sci.*, 124(2):199-204.
- Hawkesford M., Horst W., Kichey T., Lambers H., Schjoerring J., Møller I. S., White P. (2012): Functions of Makronutrients. In: Marschner, P. (ed.): *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition)*. Academic Press, 135-189.
- Heuvelink, E. (2005): *Tomatoes*. CABI Publishing, Wallingford, 324s, ISBN 0-85199-396-6.
- Hlušek, J., Richter, R., Ryant, P. (2002): *Výživa a hnojení zahradních plodin*, Redakce odborných časopisů, Praha, 81s, ISBN:80-902413-5-2
- Hoagland, D. R., Arnon, D. I. (1939): The water culture method for growing plant without soil. *Agr. Exp. Sta. Berkeley Cal. Circ.*, 347.
- Hrudová, E., Víchová, J. (2009): *Ochrana zeleniny a ovoce před chorobami a škůdci*, TeMi CZ, Velké Bílovice, 212s

Huber, D. M. (1980): The role of mineral nutrition in defense. In: Horsfall, J., G., Cowling, E., B. (eds.): *Plant Disease: An Advanced Treatise*. Academic Press, New York, 381–406.

Huber, D. M., Römheld, V., Weinmann, M. (2012): Relation between nutrition, plant diseases and pests. In: Marschner, P. (ed.): *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition)*. Academic Press, 283-298.

Huber, D. M., Thompson, I. A. (2009): Nitrogen and Plant Disease. In: Datnoff L. E., Elmer W. H., Huber D. M. (eds.): *Mineral Nutrition and Plant Disease*. The American Phytopathological Society, St. Paul, 31-44

Chloupek, O. (1977): Evaluation of the size of a plant's root system using its electrical capacitance, *Plant and Soil.*, 48: 525 – 532

Kabu, K. L., Toop, E. W. (1970): Influence of potassium-magnesium antagonism on tomato plant growth. *Can. J. Plant Sci.*, 50:711-715.

Kincl, L. (1997): Rostlinné orgány. In: Kincl, L., Kincl, M., Jakrlová, J.: *Biologie rostlin*. Fortuna, Olomouc, 112s, ISBN 80-7168-364-7

Kincl, M., Krpeš, V. (2000): *Základy fyziologie rostlin*. Ostrava Montanex, 221 s, ISBN: 80-7225-041-8

Knudsen, T., (2017): YARA, Crop nutrition. [online]. [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://www.yara.in/crop-nutrition/crops/tomato/>

Kokošková, B., Pánková, I. (2000): Bakteriózy rajčete – diagnóza chorob a metody ochrany. Sborník referátů z XV. České a slovenské konference o ochraně rostlin v Brně, 34-35

Kokošková, B., Pouvová, D. (2012): Průzkum bakteriální tečkovitosti rajčete v ČR, diagnostika a ochrana. *Zahradnictví*, 11(6): 28-30.

Kóňa, J., Kóňová, E. (2009): Rajčiak jedlý *Lycopersicum esculentum* Mill. Nitra Garmond, 96s, ISBN:978-80-89148-46-2

Krouk, G., Lacombe, B., Bielach, A., Perrine-Walker, F., Malinska, K., Mounier, E., Hoyerova, K., Tillard, P., Leon, S., Ljung, K., Zazimalova, E., Benková, E., Nacry, P.,

- Gojon, A. (2010): Nitrate-regulated auxin transport by NRT1.1 defines a mechanism for nutrient sensing in plants. *Dev Cell*, 18: 927-937.
- Kůdela, V., Novacky, A., Fucikovsky, L. (2002): Rostlinolékařská bakteriologie, Academia Praha, 347s
- Lack, A., Evans, D. (2005): Plant Biology. Taylor & Francis Group, New York, 351s, ISBN 0-415-35643-1
- Lasa, B., Frechilla, S., Aleu, M., González-Moro, B., Lamsfus, C., Aparicio-Tejo, P., M. (2000): Effects of low and high levels of magnesium on the response of sunflower plants grown with ammonium and nitrate. *Plant Soil*, 225:167–174.
- Laštůvka, Z., Minář, J. (1967): Metoda vodních kultur vyšších rostlin. Univerzita J. E. Purkyně, Brno, 83 s
- Linkohr, B. I., Williamson, L. C., Fitter, A. H., Leyser, H. M. O. (2002): Nitrate and phosphate availability and distribution have different effects on root system architecture of Arabidopsis. *The Plant Journal*, 29(6): 751–760.
- López-Bucio, J., Cruz-Ramirez, A., Herrera-Estrella, L. (2003): The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Curr Opin Plant Biol*, 6: 280-287.
- López-Bucio, J., Hernández-Abreu, E., Sánchez-Calderón, L., Nieto-Jacobo, M. F., Simpson, J., Herrera-Estrella L. (2002): Phosphate availability alters architecture and causes changes in hormone sensitivity in the Arabidopsis root system. *Plant Physiol.*, 129(1):244-56.
- Lott, J. N. A., Ockenden, I., Raboy, V., Batten, G. D. (2000): Phytic acid and phosphorus in crop seeds and fruits: a global estimate. *Seed Sci. Res.*, 10(1): 11-33.
- Ma Z., Bielenberg D. G., Brown K. M., Lynch J. P. (2001): Regulation of root hair density by phosphorus availability in Arabidopsis thaliana. *Plant Cell Environ*, 24: 459-467.
- Malý, I., Bartoš, J., Hlušek, J., Kopec, K., Petříková, K., Rod, J., Spitz, P. (1998): Polní zelinářství. Agrospoj, Praha, 196s

- Marschner, H., Richter, C. (1974): Calcium-transport in roots of maize and bean seedlings. *Plant Soil*, 40: 18
- Matula, J. (1977): Výživa rostlin. Institut výchovy a vzdělávání MZVŽ ČSR, Praha, 181s
- Mengel, K., Kirkby, E. A., Kosegarten, H., Appel, T. (2001): Principles of Plant Nutrition. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 849s, ISBN: 978-1-4020-0008-9
- Nařízení komise (ES) č. 790/2000 [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32000R0790&from=CS>
- Pekárková, E. (2014): Zelenina: její pěstování a význam v ilustracích Zdenky Krejčové. Aventinum, Praha, ISBN 978-80-7442-037-5.
- Petříková, K. (2006): Zelenina: pěstování, ekonomika, prodej. Profi Press, Praha, ISBN 80-86726-20-7.
- Pilbeam, D. J., Morley P. S. (2007): Calcium. In: Barker, A. V., Pilbeam, D. J. (eds.): Handbook of Plant Nutrition. CRC Press, Boca Raton, 613 s.
- Prabhu, A. S., Fageria, N. K., Huber, D. M., Rodrigues, F. A. (2007): Potassium nutrition and plant diseases. In: Datnoff, L. E., Elmer, W. H., Huber, D. M. (eds.): Mineral nutrition and plant disease. The American phytopathological society press, San Paul.
- Preston, G., M. (2000): *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*: the right pathogen, of the right plant, at the right time. *Molecular Plant Pathology*, 1(5): 263–275.
- Procházka, S. et al. (2009): Botanika – Morfologie a fyziologie rostlin. MZLU v Brně, 242s, ISBN 978-80-7375-125-8
- Rahman, M., Punja, Z. K. (2009): Calcium and Plant Disease. In: Datnoff L. E., Elmer W. H., Huber D. M. (eds.): Mineral Nutrition and Plant Disease. The American Phytopathological Society, St. Paul, 79-94.
- Rattanapichai, W., Klem, K. (2015): Effect of nutrients deficiencies on root architecture and growth of winter wheat, s. 78-83. In: Polák, O., Cerkal, R., Brezinová

Belcredi, N. (eds.): Proceedings of International PhD Students Conference. Brno, Mendel University, 617s.

Rendon-Poblete, E. (1980): Effect of soil water status on yield, quality and root development of several tomato genotypes. PhD dissertation, University of California, Davis, California.

Reuveni, R., Dor, G., Raviv, M., Reuveni, M., Tuzun, S. (2000): Systematic resistance against *Shaerotheca fuliginea* in cucumber plants exposed to phosphate in hydroponics system, and its control by foliar spray of mono-potassium phosphate. *Crop Protect.*, 19: 355– 361.

Richter, R. (2004): Biogenní prvky, Draslík In: Ryant, P., Richter, R., Hlušek, J., Fryščáková, E.: Multimediální učební texty z výživy rostlin. [online]. MZLU Brno, [cit. 2017-02-24]. Dostupné z:

http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/index.htm

Richter, R. (2004): Biogenní prvky, Dusík In: Ryant, P., Richter, R., Hlušek, J., Fryščáková, E.: Multimediální učební texty z výživy rostlin. [online]. MZLU Brno, [cit. 2017-02-24]. Dostupné z:

http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/index.htm

Richter, R. (2004): Biogenní prvky, Fosfor In: Ryant, P., Richter, R., Hlušek, J., Fryščáková, E.: Multimediální učební texty z výživy rostlin. [online]. MZLU Brno, [cit. 2017-02-25]. Dostupné z:

http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/index.htm

Richter, R. (2004): Biogenní prvky, Hořčík In: Ryant, P., Richter, R., Hlušek, J., Fryščáková, E.: Multimediální učební texty z výživy rostlin. [online]. MZLU Brno, [cit. 2017-02-24]. Dostupné z:

http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/index.htm

Richter, R. (2004): Biogenní prvky, Vápník In: Ryant, P., Richter, R., Hlušek, J., Fryščáková, E.: Multimediální učební texty z výživy rostlin. [online]. MZLU Brno, [cit. 2017-02-25]. Dostupné z:

http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/index.htm

- Richter, R. (2004): Příjem živin. In: Ryant, P., Richter, R., Hlušek, J., Fryščáková, E.: Multimediální učební texty z výživy rostlin. [online]. MZLU Brno, [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/index.htm
- Rod, J., Hluchý, M., Zavadil, K., Prášil, J., Somssich, I., Zacharda, M. (2005): Obrazový atlas chorob a škůdců zeleniny střední Evropy: ochrana zeleniny v integrované produkci včetně prostředků biologické ochrany rostlin. Biocont Laboratory ve spolupráci se Semo Smržice, Brno, 392s, ISBN 80-901874-3-9
- Saad, A., Hassan, A. H. M. (2000): Pathogenesis and control of bacterial speck. *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*, on tomato. *Bulletin OEPP* 30(2):3 41-345.
- Sahin, F. (2001): Severe outbreak of bacterial speck, caused by *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*, on field-grown tomatoes in the eastern Anatolia region of Turkey. *Plant Pathology*, 50: 799.
- Semo, 2017. [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: www.semo.cz/eshop/rajce-kerickove-darinka-f1-p3151/
- Seufferheld, M., Curzi, M. (2010): Recent discoveries on the roles of polyphosphates in plants. *Plant Mol. Biol. Rep.*, 28(4): 549-559.
- Schwartz, S., Bar-Yosef, B. (1983): Magnesium uptake by tomato plants as affected by Mg and Ca concentration in solution culture and plant age. *J. Agron.*, 75(2): 267–272.
- Schwarz, A., Etter, J., Künzler, R., Potter, C., Rauchenstein, H., R. (1996): Obrazový atlas chorob a škůdců zeleniny, ochrana zeleniny v integrované produkci. Brno: Biocont Laboratory, 320s, ISBN 80-901874-1-2.
- Simmes, Ch. (2017): YARA, Crop nutrition. [online]. [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://www.yara.in/crop-nutrition/crops/tomato/>
- Slamka, P. (2011): Příjem živin rostlinami. In: Kováčik, P. et al.: Agrochémia a výživa rastlín. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 153s, ISBN 978-80-552-0710-0
- Slavíková, Z. (2002): Morfologie rostlin. Karolinum, Praha, 218s, ISBN 80-246-0327-6

- Sperrazza, J. M., Spremulli, L. L. (1983): Quantification of cation binding to wheat germ ribosomes: influences on subunit association equilibria and ribosome activity. *Nucleic Acid Res*, 11(9): 2665- 2679.
- Středa, T., Klimešová, J. (2016): Hodnocení relativní velikosti kořenového systému rostlin v přirozeném prostředí, Mendelova univerzita, Brno, 30s, ISBN: 978-80-7509-418-6
- Taylor, I. B. (1986): Biosystematics of the tomato. In: Atherton, J. and Rudich, G. (eds): The Tomato Crop. Chapman & Hall, New York, 1-4.
- Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera, J. (2012): Výživa zahradních rostlin. Academia, Praha, 568s, ISBN 978-80-200-2147-2
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. (2007): Výživa polních a zahradních plodin, Profi Press, s.r.o., Praha, 176s, ISBN: 976-80-86726-25-0
- Víchová, J. (2004): Rezistence vojtěšky seté (*Medicago sativa*) a rajčete jedlého (*Solanum lycopersicum*) vůči původcům bakteriálních chorob. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, doktorská disertační práce
- Víchová, J., Vícha, O. (2015): Choroby zeleniny [online]. MZLU Brno, [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/stranka.php?kod=3676
- Vose, P. B. (1990): Plant Nutrition Relationships at the whole-plant level. In: Baligar, V. C., Duncan, R. R. (eds): Crops as Enhancers of Nutrient Use. Academic Press, San Diego, 65-80.
- Wilcox, G. E. (1996): Tomato. In: Bennett, W. F. (ed.): Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants. The American Phytopathological Society, St. Paul, 202s.
- Willats, W. G. T., McCartney, L., Mackie, W., Knox, J. P. (2001): Pectin: cell biology and prospect for functional analysis. *Plant Molecular Biology*, 47: 9-27.
- Williamson, L., Ribrioux, S., Fitter, A. H., Leyser, H. M. O. (2001): Phosphate availability regulates root system architecture in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiol.*, 126: 875-882.

Woltz, S. S., Jones, J. P. (1979): Effects of magnesium on bacterial spot of pepper and tomato and on the in vitro inhibition of *Xanthomonas vesicatoria* by streptomycin. *Plant Dis. Rep.*, 63: 182-184.

Wyn Jones, R. G., Pollard, A. (1983): Proteins, enzymes and inorganic ions. In: Läubli A., Bielecki R. L. (eds.): *Inorganic Plant Nutrition*. Springer, New York, 528– 562.

Zbiral, J. a kol. (2005): *Analýza rostlinného materiálu JPP*. ÚKZUZ, 192 s.

Zhang, B. G., Chen, Q. X., Yang, Q., Liu, K. D. (2012): Effects of NPK deficiencies on root architecture and growth of cucumber. *Int. J. Agric. Biol.*, 14: 145–148.

8 SEZNAM TABULEK, GRAFŮ A OBRÁZKŮ

8.1 Seznam tabulek

Tab. 1: Schéma pokusu	30
Tab. 2 Navážky chemikálií v g na 1 litr roztoku dle Hoaglanda a Arnona (1939).....	30
Tab. 3: Statistické zpracování vizuálního hodnocení stupňů napadení rajčete bakterií <i>Pst</i>	36
Tab. 4: Hodnoty kapacity kořenového systému u neinfikovaných a infikovaných rostlin naměřené LCR metrem (nF)	38
Tab. 5: Délka (cm) kořenového systému v 1. odběru	40
Tab. 6: Plocha (cm ²) kořenového systému v 1. odběru	41
Tab. 7: Délka (cm) kořenového systému v 2. odběru rostlin.....	41
Tab. 8: Plocha (cm ²) kořenového systému v 2. odběru rostlin	42
Tab. 9: Délka (cm) kořenového systému v 3. odběru rostlin.....	43
Tab. 10: Plocha (cm ²) kořenového systému v 3. odběru rostlin	43
Tab. 11: Hmotnost sušiny 1 rostliny v gramech (neinfikovaná a infikovaná varianta)..	48
Tab. 12: Obsah živin (N, P, K, Ca, Mg) v rostlině rajčete (1. odběr).....	50
Tab. 13: Obsah živin (N, P, K, Ca, Mg) v rostlině rajčete (2. odběr).....	51
Tab. 14: Obsah živin (N, P, K, Ca, Mg) v nadzemní části rostliny rajčete (3. odběr)....	52
Tab. 15: Obsah živin (N, P, K, Ca, Mg) v kořenech rostliny rajčete (3. odběr).....	52

8.2 Seznam grafů

Graf 1: Hmotnost sušiny nadzemních částí (g) 1. odběr.....	44
Graf 2: Hmotnost sušiny kořenů (g) 1. odběr	45
Graf 3: Hmotnost sušiny nadzemních částí (g) 2. odběr.....	45
Graf 4: Hmotnost sušiny kořenů (g) 2. odběr	46
Graf 5: Hmotnost sušiny nadzemních částí (g) 3. odběr.....	47
Graf 6: Hmotnost sušiny kořenů (g) 3. odběr	47

8.3 Seznam obrázků

Obrázek 1: Příznaky bakteriální tečkovitosti na listech a plodech (Babadoost, 2009)...	19
Obrázek 2: Porovnání zdravé rostliny (vlevo) s rostlinou vystavenou nedostatku N (Knudsen, 2017).....	24
Obrázek 3: Symptomy deficience P (Simmes, 2017)	26
Obrázek 4: Symptomy deficience K (Simmes, 2017)	27
Obrázek 5: Symptomy deficience Ca na plodech (Bully, 2017)	28
Obrázek 6: Symptomy deficience Mg (Simmes, 2017).....	29
Obrázek 7: Kultivace rostlin ve fytotronu (vlastní foto).....	31
Obrázek 8: Zakrytí infikovaných rostlin pro optimální rozvoj patogena (vlastní foto)..	32
Obrázek 9: Obrazová stupnice pro hodnocení napadení (Víchová, 2004)	33
Obrázek 10: Uchycení rostlin pro stanovení elektrické kapacity kořenového systému (vlastní foto).....	34
Obrázek 11: Projev napadení <i>Pst</i> na rostlinách s deficitem Ca (vlastní foto)	37