



**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI**  
**Přírodovědecká fakulta**  
**Laboratoř růstových regulátorů**

**Vliv biostimulantů na akumulaci nitrátů  
v hydroponicky pěstované bazalce (*Ocimum sp.*)**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Autor:	<b>Eliška Křest'anová</b>
Studijní program:	B1501 Experimentální biologie
Studijní obor:	Experimentální biologie
Forma studia:	Prezenční
Vedoucí práce:	<b>Mgr. Lukáš Spíchal, Ph.D.</b>
Termín odevzdání práce:	2022

## Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora	Eliška Křest'anová
Název práce	Vliv biostimulantů na akumulaci nitrátů v hydroponicky pěstované bazalce ( <i>Ocimum sp.</i> )
Typ práce	Bakalářská
Pracoviště	Český institut výzkumu a pokročilých technologií (CATRIN) Univerzity Palackého, CATRIN-CRH, výzkumná skupina Fenotypizace
Vedoucí práce	Mgr. Lukáš Spíchal, Ph.D.
Rok obhajoby práce	2022
Abstrakt	Bakalářská práce pojednává o metodách hydroponického pěstování, což je způsob pěstování rostlin bez využití půdy využívající se ve vertikálních farmách. Dále pojednává o nitrátech a jejich negativním vlivu na lidské zdraví a taktéž o využití biostimulantů. Experimentální část byla zaměřena na hydroponické pěstování bazalky pravé ( <i>Ocimum basilicum</i> L.) v různých režimech výživy s využitím biostimulantu ornithinu. Pěstované rostliny byly podrobeny neinvazivní i manuální fenotypizaci a následně v nich byl stanoven obsah nitrátů.
Klíčová slova	hydroponie, bazalka, biostimulanty, ornithin, nitráty
Počet stran	74
Počet příloh	4
Jazyk	Český

## Bibliographical identification

Author's first name and surname	Eliška Křest'anová
Title of thesis	The effect of biostimulants on accumulation of nitrates in hydroponically grown basil ( <i>Ocimum sp.</i> )
Type of thesis	Bachelor
Department	Czech Advanced Technology and Research Institute (CATRIN) of Palacký University, CATRIN-CRH, research group Phenotyping
Supervisor	Mgr. Lukáš Spíchal, Ph.D.
The year of presentation	2022
Abstract	Bachelor thesis is concerned with methods of hydroponic cultivation, which is a way of growing plants without the usage of soil in vertical farming. Subsequently, it deals with the usage of biostimulants and with nitrates and its negative impact on human health. The practical part was concentrated on hydroponic cultivation of basil ( <i>Ocimum basilicum</i> L.) in various modes of nutrition while using ornithine as biostimulant. The plants underwent both non-invasive and manual phenotyping and eventually the number of nitrates was determined.
Keywords	hydroponics, basil, biostimulants, ornithine, nitrates
Number of pages	74
Number of appendices	4
Language	Czech

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracovala samostatně za použití citované literatury.

V Olomouci dne 1.8.2022

.....

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu své bakalářské práce, Mgr. Lukáši Spíchalovi, Ph.D. za odborné vedení práce, cenné rady a pomoc při zpracovávání práce.

Dále bych ráda poděkovala Mgr. Andree Hybenové a Mgr. Janě Noskové za pomoc v laboratoři, Ing. Věře Chytilové za pomoc a starost o bazalky ve skleníku, a Mgr. Pavlu Klimešovi, Ph.D. za zajištění všech technických náležitostí a sestavení fenotypizačního boxu pro mou experimentální část.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat Oddělení genetických zdrojů zelenin, léčivých rostlin a speciálních plodin Výzkumného ústavu rostlinné výroby, v.v.i. v Olomouci za poskytnutí semen bazalky pravé (*Ocimum basilicum* L.) pro experimentální část. Také bych chtěla poděkovat firmě ForestBit za poskytnutí hydroponických košíčků.

Nemalé poděkování patří taktéž mé rodině, přáteli a kamarádům za trpělivost a podporu po celou dobu zpracovávání práce.

# OBSAH

<b>SEZNAM ZKRATEK</b>	8
<b>1 ÚVOD A CÍLE PRÁCE</b>	9
<b>2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY</b>	10
2.1 Bazalka pravá ( <i>Ocimum basilicum</i> )	10
2.2 Výživa rostlin	10
2.2.1 Složení živin	11
2.2.2 Dusík	11
2.2.3 Fosfor	12
2.2.4 Draslík	12
2.3 Nitráty	12
2.3.1 Nitráty a koloběh dusíku	13
2.3.2 Toxicita nitrátů	13
2.3.3 Metody stanovení nitrátů	14
2.4 Hydroponie	14
2.4.1 Výhody hydroponického pěstování	14
2.4.2 Nevýhody hydroponického pěstování	15
2.4.3 Parametry hydroponického pěstování	16
2.4.4 Metody hydroponického pěstování	17
2.4.4.1 Metoda živné vrstvy (NFT systém)	17
2.4.4.2 Metoda tekoucího roztoku (DFT systém)	18
2.4.4.3 Rozstříkovací systém (Spray System)	19
2.4.4.4 Systém přílivu a odlivu (Ebb and Flow System)	19
2.4.4.5 Kapková závlaha (Drip Irrigation System)	20
2.5 Vertikální farmy	20
2.5.1 Výhody a nevýhody vertikálních farem	21
2.6 Biostimulanty	22
2.6.1 Ornithin	23
<b>3 MATERIÁL A METODY</b>	24
3.1 Přístrojové vybavení	24
3.2 Chemikálie	25
3.3 Software	25
3.4 Pěstební substráty	25
3.5 Biologický materiál	26
3.6 Metody	26
3.6.1 Optimalizace hydroponického pěstování bazalky ( <i>Ocimum basilicum</i> ) v systému DFT	26

3.6.1.1	Předpěstování bazalek ve fytotronu	26
3.6.1.2	Neinvazivní fenotypování pomocí obrazové analýzy	29
3.6.1.3	Pěstování bazalek v hydroponickém systému	31
3.6.1.4	Manuální fenotypování	36
3.6.1.5	Spektrofotometrické stanovení obsahu nitrátů	36
4	VÝSLEDKY	38
4.1	Optimalizace hydroponického pěstování bazalky ( <i>Ocimum basilicum</i> ) v systému DFT	38
4.1.1	Optimalizace vzcházení v podmínkách pěstebního fytotronu	38
4.1.2.1	NPK optimum	41
4.1.2.2	Snížený obsah nitrátů	44
4.1.2.3	Snížený obsah nitrátů + ornithin působící 24 hodin	48
4.1.2.4	Snížený obsah dusíku + ornithin působící 48 hodin	51
4.1.3	Pěstování bazalek v hydroponickém systému	53
4.1.4	Manuální fenotypování	54
4.1.5	Spektrofotometrické stanovení obsahu nitrátů	56
5	DISKUSE	59
5.1	Optimalizace hydroponického pěstování bazalky ( <i>Ocimum basilicum</i> ) v systému DFT	59
5.1.1	Optimalizace vzcházení v podmínkách pěstebního fytotronu	59
5.1.2	Neinvazivní fenotypování pomocí obrazové analýzy	59
5.1.5	Spektrofotometrické stanovení obsahu dusičnanů	61
6	ZÁVĚR	62
	POUŽITÁ LITERATURA	64
	PŘÍLOHY	68

## SEZNAM ZKRATEK

<b>DFT</b>	metoda tekoucího roztoku, z angl. Deep Flow Technique
<b>DWC</b>	kultura hluboké vody, z angl. Deep Water Culture
<b>EDTA</b>	kyselina ethylendiamintetraoctová
<b>GOGAT</b>	glutamát syntáza
<b>GS</b>	glutamin syntáza
<b>HPLC</b>	vysokoúčinná kapalinová chromatografie, z angl. High-Pressure Liquid Chromatography
<b>LED</b>	světelná dioda, z angl. Light-Emitting Diode
<b>NFT</b>	metoda živné vrstvy, z angl. Nutrient Film Technique
<b>NiR</b>	dusitan reduktáza
<b>NR</b>	nitrát reduktáza
<b>NRT</b>	nitratový transportér, z angl. Nitrate Transporter
<b>PAR</b>	fotosynteticky aktivní záření, z angl. Photosynthetically Active Radiation
<b>RH</b>	relativní vlhkost, z angl. Relative Humidity
<b>RMS</b>	kvadratický průměr, z angl. Root Mean Square
<b>SA</b>	kyselina salicylová
<b>SOL</b>	bezpečný operační limit, z angl. Safe Operating Limit
<b>TCA</b>	trikarboxylová kyselina



# 1 ÚVOD A CÍLE PRÁCE

Vertikální farmaření spočívá v maximálním využití pěstební plochy pěstováním rostlin v několika vrstvách umístěných nad sebou. Jedním z principů pěstování rostlin ve vertikálním farmaření je hydroponie, která je založena na pěstování bez využití půdy, kdy jsou kořeny rostlin ponořeny do kapalných roztoků obsahujících makroživiny i stopové prvky.

Nitráty, též dusičnany, jsou soli kyseliny dusičné, vyskytující se ve vodě, ovoci a zelenině, např. listové. Hromadění nitrátů v organismu není pro člověka prospěšné a může být až toxické. V zažívacím traktu nitráty reagují se sekundárními aminy a tím dochází ke vzniku N-nitrososloučenin, které jsou karcinogenní.

Biostimulanty představují biologicky aktivní látky získané především z různých přírodních nebo též odpadních materiálů. V rostlinách spouštějí procesy, které dokážou zlepšit jak růst, tak i zdravotní stav rostliny, v neposlední řadě podporují obranyschopnost vůči mnohým stresovým faktorům a ovlivňují také příjem a metabolismus živin.

Cíle práce byly stanoveny takto:

1. Vypracování literární rešerše týkající se hydroponického pěstování bazalky (r. *Ocimum*) ve vertikálním farmaření, akumulace nitrátů a využití biostimulantů.
2. Vypěstování bazalky (r. *Ocimum*) v hydroponickém systému v různých režimech výživy a v přítomnosti vybraného biostimulantu.
3. Hodnocení růstových parametrů pokusných rostlin neinvazivním snímáním.
4. Sběr biologického materiálu, laboratorní stanovení obsahu nitrátů.

## 2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

### 2.1 Bazalka pravá (*Ocimum basilicum*)

Rod bazalka (*Ocimum*) patří do řádu hluchavkotvarých (*Lamiales*), čeledi hluchavkovitých (*Lamiaceae*). Tato čeleď zahrnuje jednoleté, dvouleté i vytrvalé byliny a polokeře, pro které je často typická silná vůně (Jahodář, 2022). Rostliny obsahují vonné terpenové silice, iridoidy a deriváty kyseliny kávové, o něco méně pak polyfenoly a třísloviny.

Bazalka pravá (*Ocimum basilicum*) je jednoletá bylina (Jahodář, 2022). Daří se jí na teplých a slunných stanovištích v živinami dobře zásobené půdě (Prath-Krejčová, 2020). Nať bazalky je velmi bohatá na silici, např. methylchavikol, linalol nebo cineol, ale také na třísloviny a saponiny (Jahodář, 2022).

Bazalka má nemalé využití zejména v gastronomii a medicíně. V gastronomii se řadí k oblíbeným kořením (Prath-Krejčová, 2020). V medicíně se používá k léčbě zánětů horních cest dýchacích, zlepšuje trávení a má také dezinfekční účinky na močové cesty. Pro své antiseptické účinky je možno bazalku přidávat do koupelí, používat jako kloktadlo nebo obklady.

### 2.2 Výživa rostlin

V hydroponickém pěstování jsou živiny jedním z klíčových faktorů. V rostlinách zastávají důležité role v osmotické regulaci, propustnosti buněk a mohou také působit jako strukturální složky a základní metabolity (Kulcheski a kol., 2015). Jsou důležité pro správný růst a vývoj.

### 2.2.1 Složení živin

Pro optimální růst rostlin je vyžadováno 16 základních prvků, u kterých je známo, jakou mají v rostlinách funkci, při jakých koncentracích je potřeba je udržovat a jakými způsoby jsou rostlinami absorbovány (Jones Jr, 2004). Nedostatečné, nebo naopak nadměrné množství jakéhokoliv prvku se následně může projevit.

K tomu, aby se prvky staly biogenními, musí dojít k jejich změně v ionty (Duchoň a Kynčl, 1960). Děje se tak získáním anebo ztrátou elektrického náboje, prvky získávají vodivost. Vše probíhá prostřednictvím vody, bez té by rostliny nemohly přijímat prvky umožňující jejich život.

Voda představuje látku nesoucí vlastnosti, které nemá žádná jiná sloučenina (Texier, 2013). Molekula vody nese elektrický náboj, díky kterému je schopna reagovat s mnoha látkami. Při pěstování rostlin pomocí hydroponie je nutné věnovat pozornost především pH, tvrdosti, alkalitě a salinitě vody.

Mezi nepostradatelné, stavební prvky se řadí uhlík (C), vodík (H), kyslík (O), dusík (N), fosfor (P), draslík (K), vápník (Ca), hořčík (Mg), také síra (S), železo (Fe), křemík (Si) a chlor (Cl) (Duchoň a Kynčl, 1960). Stopové prvky zahrnují bor (B), mangan (Mn), měď (Cu) a zinek (Zn). Díky fotosyntéze mohou být ze vzduchu a vody absorbovány nejdůležitější prvky, kterými jsou uhlík, vodík a kyslík.

Jako nejběžnější univerzální živný roztok pro hydroponické pěstování je používán Hoaglandův živný roztok (Sharma a kol., 2018).

### 2.2.2 Dusík

Dusík je nepostradatelným prvkem pro růst a vývoj rostlin. Vytváří podmínky pro tvorbu listové zeleně a bílkovin, které jsou základní živou hmotou (Duchoň a Kynčl, 1960). V orgánech rostlin kolísá obsah dusíku v rozmezí 0,1–5 %.

Anorganický dusík se v rostlinách vyskytuje ve dvou různých iontech – dusičnanový iont  $\text{NO}_3^-$  a amonný iont  $\text{NH}_4^+$  (Nurzyńska-Wierdak a kol., 2011; Zervoudakis a kol., 2015).

Při nedostatku dusíku se tvoří málo bílkovin, což má za následek tvorbu malých listů, celá rostlina se jeví jako zakrnělá (Duchoň a Kynčl, 1960). Mladé rostliny rostou velmi

pomalu. Listy postupně začínají ztrácet barvu až do momentu, kdy zeleň přejde do barvy žluté, která značí počátek hynutí listu. Kořeny jsou tenké a nitkovité.

### **2.2.3 Fosfor**

Fosfor se uplatňuje zejména v rostlinném růstu, vývoji a rozmnožování (Kulcheski a kol., 2015). Tento prvek je součástí důležitých makromolekul, je zahrnut do energetického metabolismu a regulace enzymatické činnosti (Kuo a kol., 2011).

Nízká dostupnost anorganického fosforu se projevuje malou produkcí plodin (Raghothama, 1999).

### **2.2.4 Draslík**

Tento prvek je rostlinami vstřebáván jako kation  $K^+$  a uplatňuje se v několika signálních drahách (Nurzyńska-Wierdak a kol., 2011; Kulcheski a kol., 2015). Zastává klíčovou roli v mnoha procesích důležitých pro růst, výnos a kvalitu plodin, je zodpovědný také za odolnost proti stresu působícím na rostliny (Zörb a kol., 2014).

## **2.3 Nitráty**

Nitráty, někdy též nazývány dusičnany či ledky, představují soli kyseliny dusičné. Jejich základem je dusičnanový anion  $NO_3^-$ . Jsou považovány za klíčovou živinu, ale také za signální molekulu uplatňující se v metabolismu i růstu a vývoji rostliny (Krouk a kol., 2010). Z vnějšího prostředí jsou nitráty do kořenů absorbovány pomocí transportérů nitrátů NRT1 a NRT2 (Zhao a kol., 2018). Část nitrátů, která byla importována do buněk, je redukována a pomocí řady enzymů začleněna do aminokyselin. Enzymy podílející se na asimilaci jsou např. nitrát reduktáza (NR), dusitan reduktáza (NiR), glutamin syntáza (GS) nebo glutamát syntáza (GOGAT).

Nitráty se hojně vyskytují ve stravě, zejména zelenině, ale také ve vodě (Hlobilová, 2013). V menší míře se mohou vyskytovat také v mléčných výrobcích nebo rybách. Příjem nitrátů u normální populace se pohybuje v rozmezí 53–300 mg/den.

### 2.3.1 Nitráty a koloběh dusíku

Koloběh dusíku v přírodě představuje komplexní proces, během kterého se dusík přeměňuje ve své mnohé formy. Celý cyklus se rozděluje na čtyři hlavní procesy, a to amonifikaci, fixaci vzdušného dusíku, nitrifikaci a denitrifikaci (Stein a Klotz, 2016). Na všech těchto procesech se podílejí nejrůznější mikroorganismy.

Amoniak může vznikat dvěma různými procesy. Buď procesem fixace dusíku, kdy bakterie rodu *Nitrosomonas* a *Nitrobacter* mají schopnost vázat atmosférický dusík (Fiala, 2018), anebo se může jednat o proces amonifikace, který je taktéž zprostředkován bakteriemi, ty ale přeměňují dusík obsažený v organických látkách (Stein a Klotz, 2016). Těmito procesy vzniká amonný kation  $\text{NH}_4^+$ , který podléhá dalším procesům přeměny.

Další reakcí je nitrifikace, což je proces, kdy dochází k oxidaci amonných kationtů nejprve na dusitany, a posléze i na dusičnany (nitráty) (Stein a Klotz, 2016). Nitrifikace se klasicky rozděluje na procesy nitritace a nitratice podle toho, zda vznikají již zmíněné dusitany nebo dusičnany.

Denitrifikace představuje proces redukce dusičnanů přes meziprodukty, kterými jsou dusitany, oxid dusnatý a oxid dusný, na vzdušný dusík (Stein a Klotz, 2016).

### 2.3.2 Toxicita nitrátů

Nitráty jsou v lidském těle stabilní a inertní sloučeninou, protože je lidské enzymy nejsou schopny metabolizovat (Ward a kol., 2005, Rezaei a kol., 2014). Některé komenzální bakterie mají ovšem nitrát-redukující aktivitu, která však může přeměnit nitráty na dusitany a další bioaktivní sloučeniny dusíku, které následně mohou reagovat s amidy, aminy a aminokyselinami za vzniku N-nitrososloučenin a ty poté mohou ovlivňovat lidské zdraví včetně různých fyziologických procesů. Vznikající nitrosaminy jsou spojovány s karcinomem žaludku.

Methemoglobinémie je u malých dětí způsobena hromaděním nitrátů, které jsou v těle přeměněny na dusitany (Matthew a kol, 2019).

### **2.3.3 Metody stanovení nitrátů**

Nitráty se v rostlinách, popřípadě ovoci a zelenině dají stanovit několika různými způsoby.

V rostlinném materiálu se kvantitativně dají nitráty stanovit potenciometrickými, chromatografickými (HPLC, iontová a plynová chromatografie), spektrofotometrickými metodami nebo kapilární elektroforézou (Lastra, 2003; Soiklom a kol., 2021).

Pro analýzu dusičnanů je možné použít jak čerstvý, tak vysušený materiál, který se dále drtí a rozemílá (Soiklom a kol., 2021).

## **2.4 Hydroponie**

Hydroponie je způsob pěstování rostlin ve vodném roztoku bohatém na živiny (Kozai, 2018; Sharma a kol., 2018). Jako substráty, inertní média, jsou nejčastěji používány např. vermikulit, perlit, rockwool, kokosové vlákno nebo keramzit sloužící především jako mechanická opora rostlin (Sharma a kol., 2018)

Rostliny jsou vyživovány látkami z živných roztoků, tedy solemi rozpuštěnými ve vodě (Véber, 1686). V hydroponických systémech se nejčastěji pěstují různé druhy zeleniny, květiny, zelené píce anebo autotrofní mikroorganismy.

### **2.4.1 Výhody hydroponického pěstování**

Jednou z hlavních výhod hydroponického pěstování je naprostá kontrola nad výživou rostlin (Texier, 2013). Pouze ty živiny, které jsou přidány do roztoku v určitém množství, může rostlina čerpat pomocí kořenů.

Další výhodou je dokonalá úspora vody a živin, které jsou vstřebávány kořeny rostlin (Texier, 2013; Sharma a kol., 2018). Na začátku pěstování se sice spotřebuje velké množství vody, ovšem později již k dalším ztrátám nedochází, a proto je hydroponie výhodnější než prosté pěstování rostlin v půdě. Pro živiny platí totéž. Hydroponické pěstování je uzavřený systém, a tudíž nemůže nastat žádné znečištění povrchových vod, nechtěné uvolňování škodlivých látek a v důsledku toho ohrožení mikroorganismů vyskytujících se v půdách.

Hydroponicky pěstované rostliny jsou většinou odolnější proti škůdcům a více vitální než rostliny pěstované v půdě (Texier, 2013, Sharma a kol, 2018). Taktéž není třeba používat herbicidy, neboť plevel nemá kde růst. Lze tedy říct, že hydroponické pěstování je šetrnější jak k životnímu prostředí právě díky minimálnímu či žádnému používání chemických přípravků, tak i k lidskému zdraví, neboť tyto látky mohou být pro člověka toxické.

Hydroponicky pěstovaná rostlina má k tomu, aby zúročila svůj potenciál, optimální podmínky. (Texier, 2013). Jediným slabým místem může být genetika, a proto je nutné věnovat výběru odrůdy dostatečnou pozornost. Při poskytnutí rostlině ideálních podmínek, kterými jsou dostatečná výživa, teplota, vlhkost, množství světla a zároveň je i dobrá genetika vybraného druhu, je nejslabším článkem oxid uhličitý.

Rostliny pěstované v hydroponických systémech jsou větší než rostliny pěstované v půdě (Texier, 2013; Kürklü a kol., 2018). Obsahují až dvakrát více vitamínů a zdraví prospěšných minerálů, případně aktivně léčebných látek u bylinek. Produkují velké množství zeleně a biomasy. Při vysoké hladině nitrátů v živném roztoku rostlina zcela využívá svůj růstový potenciál.

Existuje celá řada pěstebních substrátů, ze kterých lze vybírat. Vůbec nejčastější a nejoblíbenější jsou rockwool a perlit (Pandey a kol., 2009). Substráty se od sebe liší a jsou vhodná pro různé pěstební techniky.

Velmi jednoduše je také možné kontrolovat nebo sledovat kořeny rostlin a mít tak informace o zdraví rostliny či jejím dalším vývoji (Texier, 2013).

Poslední výhodou je možnost pěstování plodin v extrémních podmínkách za účelem produkce čerstvých a chutných potravin (Texier, 2013).

## **2.4.2 Nevýhody hydroponického pěstování**

Vůbec největší nevýhodou hydroponického pěstování je to, že i sebemenší přehmat nebo omyl z nepozornosti ze strany pěstitele může mít pro rostlinu katastrofální následky (Texier, 2013).

Omezující je také teplota (Texier, 2013). Nejideálnější rozmezí teplot v kořenové zóně se pohybuje od 18 °C do 22 °C. Teplota do 26 °C nepředstavuje téměř žádné nebezpečí, poté ale už nastává zpomalení růstu a při teplotách vyšších než 35 °C kořeny začínají hynout v důsledku nedostatečného okysličení. Na toto omezení je kladen důraz

zejména v tropech a vnitřních pěstebních prostorech, kde může vznikat přídavné teplo vlivem umělého osvětlení.

Při výběru místa pro hydroponické pěstování je nutno dbát na chemické vlastnosti vody (Pandey a kol., 2009). Výrazně vyšší nebo nižší hodnota pH, alkalita, obsah rozpustných solí nebo různých prvků by mohly mít na pěstované rostliny negativní vliv.

Některé potraviny taktéž nejsou pro pěstování v hydroponických systémech vhodné, např. hlíznaté plodiny zahrnující brambory nebo mrkev, jejichž plody rostou hluboko v zemi (Texier, 2013). Pěstování těchto plodin v hydroponickém systému by vyžadovalo speciální technologie. Další omezení přináší zisk z výnosu.

Jak už bylo zmíněno výše, pořizovací náklady jsou sice vysoké, ovšem všechny výdaje se opět vrátí, čím dřív jsou rostliny sklizeny, tím menší provozní náklady jsou (Texier, 2013).

### **2.4.3 Parametry hydroponického pěstování**

Primárním zdrojem energie pro rostliny je obecně světlo, kdežto v tomto případě jsou zdrojem LED světla. LED diody ze sebe vydávají pouze malé množství tepla, jejich intenzita světla může být měněna dle potřeby a jsou velmi energeticky efektivní (Kusuma a kol., 2020).

Správné rozmezí hodnoty pH a elektrické vodivosti živného roztoku je velmi důležité a pro správný růst a vývoj rostlin by měly tyto hodnoty být neustále udržovány (Sharma a kol., 2018). Optimální rozsah těchto hodnot se ovšem liší v závislosti na typu pěstované rostliny.

Ideální rozmezí hodnot elektrické vodivosti se pohybuje obecně v rozmezí 1,5 – 2,5 dS.m<sup>-1</sup>. (Kürklü a kol., 2018; Sharma a kol., 2018). Vyšší hodnoty brání rostlinám v absorpci živin v důsledku osmotického tlaku, kdežto nižší hodnoty mají vliv na zdraví a výnos plodin.

Hodnota pH živného roztoku se nejčastěji pohybuje v rozmezí 5,0 – 7,0 a zajišťuje dostupnost základních prvků důležitých pro růst a vývoj. (Kozai, 2018; Sharma a kol., 2018).



## **2.4.4 Metody hydroponického pěstování**

V hydroponickém pěstování lze využít několika metod zavlažování. V jednoduchosti je síla, ovšem různé metody mohou mít více modifikací, lišících se pouze detaily (Texier, 2013). Základními díly hydroponických systémů jsou: zásobník vody, čerpadlo, podpůrný systém, trubky a hadičky pro přívod živin, odtokové kanály a v neposlední řadě též pěstební nádoby.

### **2.4.4.1 Metoda živné vrstvy (NFT systém)**

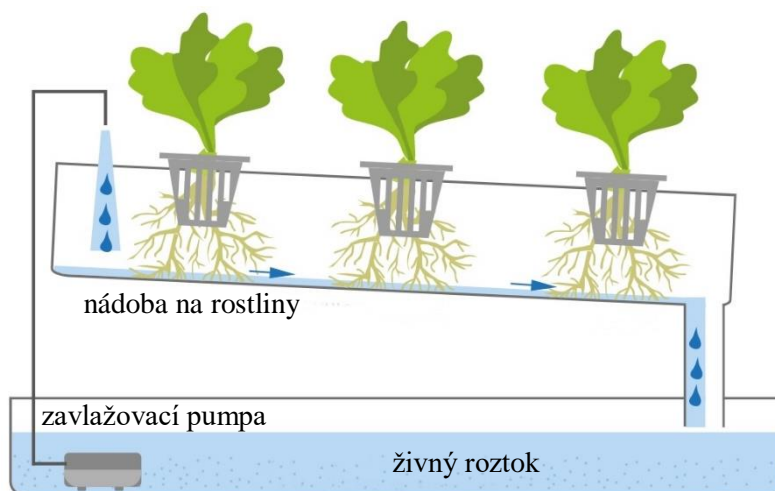
Zkratka NFT pochází z anglického termínu Nutrient Film Technique, což do češtiny lze přeložit jako metoda živné vrstvy (Texier, 2013). Jedná se o vůbec nejjednodušší pěstební metodu.

Živný roztok je přiváděn do pěstební nádoby, na jejímž povrchu vytváří mělkou a pomalu tekoucí vrstvu, která protéká přes kořeny rostlin (Texier, 2013, Kürklü a kol., 2018). Pěstební nádoba je mírně nakloněna a má nastavený průtok zhruba 1 l za minutu.

Vůbec největší výhodou NFT systému je dokonalé okysličení roztoku, který je rovnoměrně rozprostřen po celé ploše pěstební nádoby (Texier, 2013). Dalším plusem je nízká pořizovací cena.

Nevýhodou tohoto systému je nedostatečná opora rostlin, u kterých hrozí zlomení se vlivem své vlastní váhy (Texier, 2013). Proto je doporučováno v tomto systému využívat pouze na pěstování rychle rostoucích plodin, jako je např. salát nebo různé druhy koření. Problémem může být také nedostatečný přívod živin, protože roztok se do každého kanálu přivádí pouze jedním otvorem. Živný roztok tedy není všude a stále homogenní.

Schéma NFT systému je zobrazeno na Obrázku 1.



Obrázek 1. Schéma NFT systému. Převzato a upraveno z: <https://www.hydroponic-urban-gardening.com/hydroponics-guide/various-hydroponics-systems/>. Staženo: 25.6.2022.

#### 2.4.4.2 Metoda tekoucího roztoku (DFT systém)

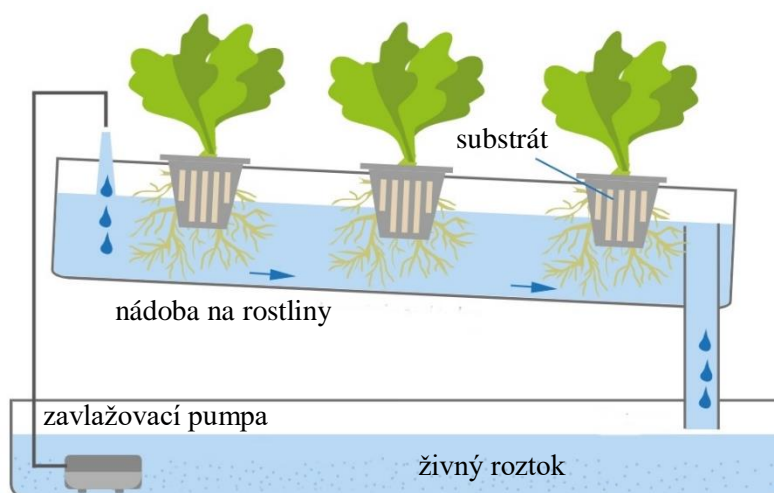
Tento systém slouží jako alternativa k NFT systémům (Texier, 2013). Jedná se o uzavřený systém.

Spodní strana kanálu je přehrazena plastovou přepážkou tak, aby byla hladina roztoku zvednuta na několik centimetrů (Texier, 2013). Protékající voda má tak hloubku zhruba 4–5 cm. Kanály jsou postaveny v rovině, živný roztok je přiváděn pomocí hadičky na jedné straně a odváděn na straně druhé.

Větší množství vody má za následek zvýšení stability a pufrací kapacity živného roztoku týkající se především hodnoty pH, teploty a rozpuštěných iontů (Texier, 2013).

Jednou z mála nevýhod tohoto systému je to, že rostliny, které jsou umístěny nejdále od místa přivodu roztoku, jsou nejméně okysličené (Texier, 2013). Také může nastat předčasné vyčerpání rychle vstřebatelných minerálů, anebo může dojít k poklesu jejich množství pod potřebnou úroveň.

Schéma systému DFT je možno vidět na Obrázku 2.



Obrázek 2. Schéma DFT systému. Převzato a upraveno z: <https://www.hydroponic-urban-gardening.com/hydroponics-guide/various-hydroponics-systems/>. Staženo: 25.6.2022.

#### 2.4.4.3 Rozstříkovací systém (Spray System)

Někdy je tento systém označován také jako aeroponický (Kozai, 2018). Spočívá v rozprašování živného roztoku na rostlinné kořeny, které jsou vystaveny vzduchu. Aby bylo zabráněno vysychání kořenů, je nutné trvalé zavlažování. Jelikož jsou kořeny neustále mokré a zároveň jsou dobře provzdušněny, mají velmi vysokou respirační aktivitu.

Pokud by z jakéhokoliv důvodu došlo k tomu, že by pumpa přestala fungovat, kořeny by byly ihned vystaveny stresu způsobenému suchem (Kozai, 2018). Další nevýhodou může být také možnost ucpání vodní trysky např. zbytky rostlin, krystalky hnojiv nebo živných roztoků či zbytky mikroorganismů.

#### 2.4.4.4 Systém přílivu a odlivu (Ebb and Flow System)

Dříve se tento systém označoval jako „Flood and Drain“, v překladu tedy zaplavení a odvodnění (Texier, 2013). Oba tyto názvy znamenají prakticky to samé a už samotný název napovídá, jak celý systém funguje.

Systém se skládá z plastové pěstební nádoby, pod kterou je v rámci úspory místa umístěna plastová nádrž na vodu (Texier, 2013). Živný roztok je přiváděn pomocí čerpadla a trubice, která spojuje obě nádoby, nahoru k rostlinám. Celý přívod živného

roztoku je řízen časovačem. Roztok je čerpán do té doby, než dosáhne určité hladiny. Je potřeba, aby roztok nějakou dobu zůstal v nádobě, aby mohlo dojít k absorpci živin kořeny rostlin, a k zavlažení kořenů (Sharma a kol., 2018). Po vypnutí čerpadla začne živný roztok vlivem gravitace stékat zpět do nádrže na vodu tím samym otvorem, jakým byl čerpán nahoru (Texier, 2013). Zavlažování probíhá v určitých intervalech, podle druhu substrátu, několikrát za den.

Kořeny mají ideální přísun čerstvého vzduchu a vlhkosti (Texier, 2013). Systém přílivu a odlivu je zařazen mezi nejlepší metody hydroponického pěstování.

Nevýhodou tohoto systému je jeho velikost, protože v menších prostorech s ním může být náročnější manipulace, a taktéž nutnost dodržovat správnou frekvenci zalévání, která závisí jak na ročním období, tak na velikosti rostliny (Texier, 2013). Příliš časté zalévání může kořeny rostlin poškodit natolik, že v důsledku nedostatku kyslíku v kořenové zóně hynou. V opačném případě, při nedostatečném zavlažování dochází k dehydrataci kořenů.

#### **2.4.4.5 Kapková závlaha (Drip Irrigation System)**

Tento systém funguje v přítomnosti růstového média nebo substrátů a je ideální zejména pro rostliny pěstované v květináčích, květiny anebo jahody (Kozai, 2018). Nedochozí zde k ponoření kořenů do vody.

### **2.5 Vertikální farmy**

O vertikálních farmách se poslední dobou začíná mluvit stále více, a v budoucnu je čeká ještě veliký rozmach. Důvodů je mnoho, ať už změna klimatu a nedostatek pitné vody, pěstování plodin na otevřených polích za používání obrovského množství vody, hnojiv, pesticidů a herbicidů, tak i vzrůstající počet spotřebitelů, kteří si potrpí na čerstvé, chutné, zdravé a kvalitní produkty (Manos a Xydis, 2019; SharathKumar a kol., 2020). Jako nové řešení bylo představeno vertikální farmaření, které tyto problémy může potenciálně řešit.

Pojem „vertikální farma“ zahrnuje všechny typy kultivačních systémů rostlin nacházejících se v budovách, kdy rostliny nejsou vystaveny přímému slunečnímu svitu (Kozai a kol., 2020). Spadají zde velmi malé mobilní systémy s jednou pěstební vrstvou,

ale i obrovské produkční farmy, kde se rostliny mohou pěstovat v několika vrstvách umístěných nad sebou.



Obrázek 3. Komerční vertikální farma. Převzato z: <https://www.moleaer.com/blog/vertical-farming-future-of-greenhouse-technology>. Staženo: 25.7.2022.

### **2.5.1 Výhody a nevýhody vertikálních farem**

Vertikální farmy jsou velmi šetrné a ohleduplné ke spotřebě vody, hnojiv a využití půdy (SharathKumar a kol., 2020). Dodržováním pořádné hygieny, nepřetržitým monitorováním a prováděním chemické dezinfekce, např. ozonem, UV zářením nebo pomocí tepla, lze dosáhnout toho, že nebude třeba používat pesticidy.

Nevýhodou je velmi vysoká spotřeba energie a značné investiční náklady (SharathKumar a kol., 2020).

## 2.6 Biostimulanty

Rostlinné biostimulanty představují různé látky a mikroorganismy podporující rostlinný růst (Calvo a kol., 2014). Celá definice i koncept biostimulantů je neustále ve vývoji, a to se reflektuje na rozmanitosti toho, co vše lze za ně považovat. Vůbec první legální definice rostlinných biostimulantů byla stanovena v Zemědělském zákoně Spojených států amerických (Agriculture Act of 2018; <https://www.congress.gov/115/bills/hr2/BILLS-115hr2enr.pdf>), zde jsou biostimulanty popsány jako „látko nebo mikroorganismus, které při aplikaci na semena, rostliny nebo do rhizosféry stimulují přírodní procesy ke zvýšení nebo podpoření příjmu živin, účinnosti živin, tolerance proti abiotickému stresu nebo kvality plodin“ (De Diego a Spíchal, 2022).

Jejich schopnost spočívá v působení na enzymatické i metabolické pochody rostlin a tím dokážou zvýšit produktivitu i kvalitu plodin (Xu a kol., 2018). Pomáhají také rostlinám ve vyrovnání se s abiotickým stresem, hlavně v rané fázi vývoje.

V posledních letech se mnozí autoři snaží biostimulanty různě kategorizovat na základě odlišných kritérií.

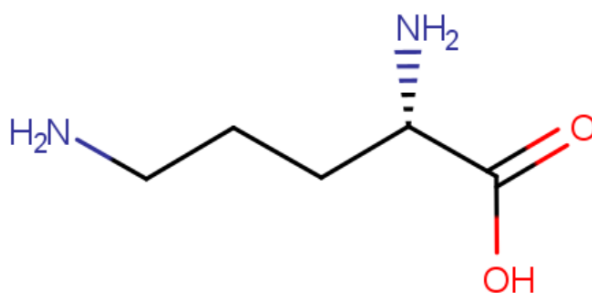
Autor du Jardin v roce 2015 kategorizoval biostimulanty do sedmi kategorií:

1. huminové a fulvové kyseliny
2. proteinové hydrolyzáty a další sloučeniny obsahující dusík
3. extrakty z mořských řas a rostlinné výtažky
4. chitosan a další polymery
5. prospěšné houby
6. prospěšné bakterie
7. anorganické sloučeniny

### 2.6.1 Ornithin

Ornithin (Orn) představuje neesenciální  $\alpha$ -aminokyselinu, která v rostlinách vzniká především z glutamátu (Glu) skrz řadu meziproductů (Majumdar, 2015; Hernándiz a kol., 2022). Cyklus ornithinu v rostlinách je úzce propojen se syntézou různých polyaminů, aminokyselin, například argininu (Arg) nebo prolinu (Pro), a alkaloidů (Majumdar, 2015; Sivashanmugam a kol., 2017). Hraje roli také v cyklu trikarboxylových kyselin (TCA) nebo močovinovém cyklu. Je nezbytný v procesu asimilace dusíku (Hernándiz a kol., 2022).

Vznikající polyaminy se podílejí na mnoha biologických procesech, jako je transkripce a translace, rostlinný růst a vývoj včetně senescence, ovlivňují též rezistenci proti různým stresovým faktorům (Kaur-Sawhney a kol., 2002). Zejména v regulaci rostlinného růstu a v pozitivním působení na stres jsou polyaminy velice důležité (Hussein a kol., 2019). Jejich cena je ale velmi drahá, proto se právě často využívá jejich prekurzoru – ornithinu, který se přeměňuje na polyaminy, a který je cenově dostupnější.



Obrázek 4. Chemická struktura L-ornithinu.

## **3 MATERIÁL A METODY**

### **3.1 Přístrojové vybavení**

Analytické váhy (Radwag, Česká republika)

Centrifuga ScanSpeed 1730MR (LaboGene, Dánsko)

Centrifugační zkumavky 15ml (TPP, Švýcarsko; Sarstedt, Německo; Biofil, Čína)

Digestoř Merci M 1200 (Merci, Česká republika)

Fenotypizační box

Fytotronová komora (Weiss Gallenkamp, Německo)

Hlubokomrazicí box (PHCbi, Singapur)

Hydroponické košíčky (Nutriculture, Spojené království; ForestBit, Česká republika)

Hydroponické stoly (Terra Aquatica, Francie)

Kulový mlýnek MM 400 (Retsch, Německo)

Měřák intenzity světla (Skye, Spojené království)

Mikrotitrační destička (Gama, Česká republika)

Mikrozkumavky 2ml (INSET, Česká republika)

Míchačka (Lavatec, Česká republika; Heidolph, Německo)

pH Metr Orion Star A111 (Thermo Scientific, USA)

Pipety (Eppendorf, Německo)

Předvážky BPS 41 (Boeco, Německo)

Snímač teploty a vlhkosti s výstupem RS485 (Comet System, Česká republika)

Spektrofotometr Synergy H4 Hybrid Reader (BioTek, USA)

Sušárna FN 500 (Nüve, Turecko)

Vodní lázeň TWB 14 (Julabo, Německo)

Vortex (Heidolph, Německo)



### **3.2 Chemikálie**

Dihydrogenfosforečnan amonný (Penta, Česká republika)  
Dusičnan draselný (LachNer, Česká republika)  
Dusičnan vápenatý tetrahydrát (Penta, Česká republika)  
Ethylendiamintetraacetát disodný dihydrát (LachNer, Česká republika)  
Hydroxid sodný (Sigma-Aldrich, USA)  
Chlorid manganatý tetrahydrát (LachNer, Česká republika)  
Kyselina boritá (LachNer, Česká republika)  
Kyselina salicylová (Sigma-Aldrich, USA)  
Kyselina sírová (LachNer, Česká republika)  
L(+)-Ornithin hydrochlorid, 99% (Thermo Scientific, dříve Acros Organics, USA)  
Molybdenan sodný dihydrát (LaChema, Česká republika)  
Nissorun 10 WP postřik (Nippon Soda, Japonsko)  
Síran hořečnatý heptahydrát (LachNer, Česká republika)  
Síran měďnatý pentahydrát (LachNer, Česká republika)  
Síran zinečnatý heptahydrát (LaChema, Česká republika)  
Síran železnatý heptahydrát (LachNer, Česká republika)  
Spintor postřik (Dow AgroSciences, Velká Británie)

### **3.3 Software**

MorphoAnalysisGUI (verze 1.0.9.8, staženo 3.3.2022; PSI, Česká republika)

### **3.4 Pěstební substráty**

Perlit (Perlit, Česká republika)  
Sadbovací rockwool kostky 25×25×40 mm (Grodan, Nizozemsko)

### 3.5 Biologický materiál

V experimentech byly použity 4 druhy bazalky, semena byla získána z Oddělení genetických zdrojů zelenin, léčivých rostlin a speciálních plodin Výzkumného ústavu rostlinné výroby, v.v.i. v Olomouci:

*Ocimum basilicum* L., Cardinal (Československo) – 09A6800057 (v experimentech označen jako č. 3)

*Ocimum basilicum* L., Di Genova a Foglia Profumatissima (Itálie) – 09A6800005 (v experimentech označen jako č. 1)

*Ocimum basilicum* L., Mammouth (Itálie) – 09A6800007 (v experimentech označen jako č. 4)

*Ocimum basilicum* L., 2/88-H (Československo) – 09A6800072 (v experimentech označen jako č. 2)

### 3.6 Metody

#### 3.6.1 Optimalizace hydroponického pěstování bazalky (*Ocimum basilicum*) v systému DFT

Experiment probíhal v období od ledna do června 2022 ve skleníku na GPS adrese 49°34'30.1"N, 17°16'53.9"E.

##### 3.6.1.1 Předpěstování bazalek ve fytotronu

Dne 26.1.2022 byla vyseta semena bazalek (*Ocimum basilicum*) čtyř různých genotypů – varianta 1 (Di Genova a Foglia Profumatissima), varianta 2 (2/88-H), varianta 3 (Cardinal) a varianta 4 (Mammouth). Semena byla vyseta do dvou různých substrátů, perlitu a rockwool kostek.

Za optimální nádobu pro pěstování bazalek v perlitu byly zvoleny krabice od kupovaného hroznového vína. Každá ze 4 krabic byla ze  $\frac{3}{4}$  naplněna perlitem a náležela jednomu příslušnému genotypu bazalky. Celkem bylo vysázeno 60 semen určitého

genotypu. Krabice byly umístěny na ták s přiměřenou vrstvou vody, perlit byl také pořádně navlhčen. Ták byl umístěn do fytotronu (20 °C, 60% vlhkost, 16 h světlo/8 h tma, intenzita světla  $120 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Jako druhý substrát byl zvolen rockwool, neboli čedičová vata. Pro každý genotyp bylo vyhrazeno 70 rockwool kostek, do kterých byla vyseta vždy 3 semena, tudíž z každého genotypu bazalky bylo vyseto 210 semen. Kostky umístěné v sadbovači byly přemístěny do průhledné krabice, kam byla nalita voda. Krabice byly přikryty víkem s dírami, aby klíčící rostliny mohly dýchat, a překryty černou tkaninou, která první dny simulovala pobyt v půdě. Taktéž byly přemístěny do fytotronu. Na Obrázku 5 je zobrazeno pěstování genotypů Cardinal a Mammoth v rockwool kostkách.

V následujících 20 dnech byly bazalky pravidelně kontrolovány. Byly zaznamenávány počty vzešlých, klíčících a neklíčících bazalek jednotlivých genotypů v obou substrátech.



Obrázek 5. Bazalky pěstované v rockwool kostkách ve fytotronu. Genotyp Cardinal (vzadu) a Mammoth (vepředu).

Dne 15.2. byly bazalky protříděny. S bazalkami vzešlými v perlitu se již dále nepracovalo, tato část experimentu sloužila pouze pro porovnání dvou různých substrátů – perlitu a rockwoolu. V každé rockwool kostce byla ponechána pouze jedna, nejvyspělejší, bazalka. Bylo ponecháno vždy 20 bazalek určitého genotypu, tedy 80 bazalek celkem, plus navíc pár náhradních.

U celkem 40 bazalek, 10 z každého genotypu, byla voda vyměněna za 1 l ½ Hoaglandova živného roztoku (Hoaglandův roztok o poloviční síle), který sestával

z roztoku dusičnanů, roztoků makroprvků, mikroprvků a Fe-EDTA (viz Tabulka 2). Všechny tyto 4 dílčí roztoky byly připraveny o objemu 1 l (viz Tabulka 1).

Zbýlých 40 bazalek, 10 rostlin z každého genotypu, bylo vystaveno působení biostimulantu ornithinu. Dvacet bazalek bylo vystaveno působení roztoku L(+)-Ornithinu hydrochloridu o koncentraci 0,5 mmol.l<sup>-1</sup> po dobu 24 hodin, zbylých 20 bazalek bylo vystaveno působení roztoku biostimulantu po dobu 48 hodin. Roztok L(+)-Ornithinu hydrochloridu byl přidán do 1 l ½ Hoaglandova živného roztoku se sníženým obsahem dusičnanů (viz Tabulka 2)

Tabulka 1. Příprava ½ Hoaglandova živného roztoku ze zásobních roztoků. Výsledný objem ½ Hoaglandova roztoku byl 1 l. Upraveno dle: Hoagland a Arnon, 1938.

<b>Zásobní roztok</b>	<b>Sloučenina</b>	<b>Koncentrace v zásobních roztocích [g.l<sup>-1</sup>]</b>	<b>Koncentrace v ½ Hoaglandova roztoku [mg.l<sup>-1</sup>]</b>
<b>Roztok dusičnanů</b>	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> × 4 H <sub>2</sub> O	295	590
	KNO <sub>3</sub>	126,5	253
<b>Roztok makroprvků</b>	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	57,5	115
	MgSO <sub>4</sub> × 7 H <sub>2</sub> O	246,5	493
<b>Roztok mikroprvků</b>	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2,86	2,86
	MnCl <sub>2</sub> × 4 H <sub>2</sub> O	1,81	1,81
	ZnSO <sub>4</sub> × 7 H <sub>2</sub> O	0,22	0,22
	CuSO <sub>4</sub> × 5 H <sub>2</sub> O	0,08	0,08
	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> × 2 H <sub>2</sub> O	0,11	0,11
<b>Fe-EDTA</b>	FeSO <sub>4</sub> × 7 H <sub>2</sub> O	7,45	
	Na <sub>2</sub> -EDTA	5,52	10,06

Tabulka 2. Pipetované objemy ½ Hoaglandova živného roztoku do 1 l.

<b>Zásobní roztok</b>	<b>Pipetovaný objem zásobního roztoku [ml] do 1 l roztoku s optimální výživou</b>	<b>Pipetovaný objem zásobního roztoku [ml] do 1 l roztoku se sníženým obsahem dusičnanů</b>
<b>Roztok dusičnanů</b>	2	0,5
<b>Roztok makroprvků</b>	2	2
<b>Roztok mikroprvků</b>	1	1
<b>Fe-EDTA</b>	1	1

### 3.6.1.2 Neinvazivní fenotypování pomocí obrazové analýzy

Neinvazivní fenotypování pomocí obrazové analýzy bylo prováděno po celou dobu průběhu experimentu. Fotografie bazalek byly pořízeny pomocí fenotypizačního boxu, který byl pro mou práci sestaven Mgr. Pavlem Klimešem, Ph.D. (CATRIN, Univerzita Palackého v Olomouci).

Fenotypizační box (viz Obrázek 6) se skládal z posuvného držáku, dvou kamer a čtyř 24V LED pásek. Do posuvného držáku byla umístěna bazalka v hydroponickém košíčku. Box bylo před focením nutné na přední straně překrýt černým flísem, aby bylo zajištěno co nejtmaší pozadí fotografií.

Foceno bylo v automatickém módu kamerou Raspberry Pi, LED diody byly nastaveny na intenzitu 100 %. Tak vysoká intenzita světla byla nutná z důvodu velmi tmavého odstínu dvou genotypů bazalek, které při nižší intenzitě světla nebylo možné na fotografiích zřetelně vidět.

Každá bazalka byla pokaždé snímána celkem třikrát, jednou shora a poté dvakrát z boku, otočená o 90°. Pořízené fotografie byly ukládány na internetovém úložišti.



Obrázek 6. Fenotypizační box. Do posuvného držáku byl dán hydroponický košíček s bazalkou. Přední strana byla během focení překryta černým flísem, aby bylo zajištěno co nejtmaší pozadí fotografie.

S fotografiemi pořízenými ve fenotypizačním boxu bylo následně pracováno v počítačovém programu MorphoAnalysisGUI, verze 1.0.9.8, od společnosti PSI.

Tento program, díky obrazové analýze ze tří různých projekcí, poskytuje velké množství kvantitativních dat pro několik parametrů. Z boční projekce lze získat informace o ploše, obvodu, kompaktnosti, výšce a šířce zkoumané rostliny, u projekce shora je možné získat více parametrů jako je plocha, obvod, kulatost, kompaktnost, izotropie, excentricita, kvadratický průměr (RMS) a bezpečný operační limit (SOL). Tyto parametry mohou následně sloužit k velmi detailnímu porovnání rozdílů jak ve fenotypu rostlin, tak i ve vlivu růstových podmínek na růst a vývoj sledovaných rostlin.

### 3.6.1.3 Pěstování bazalek v hydroponickém systému

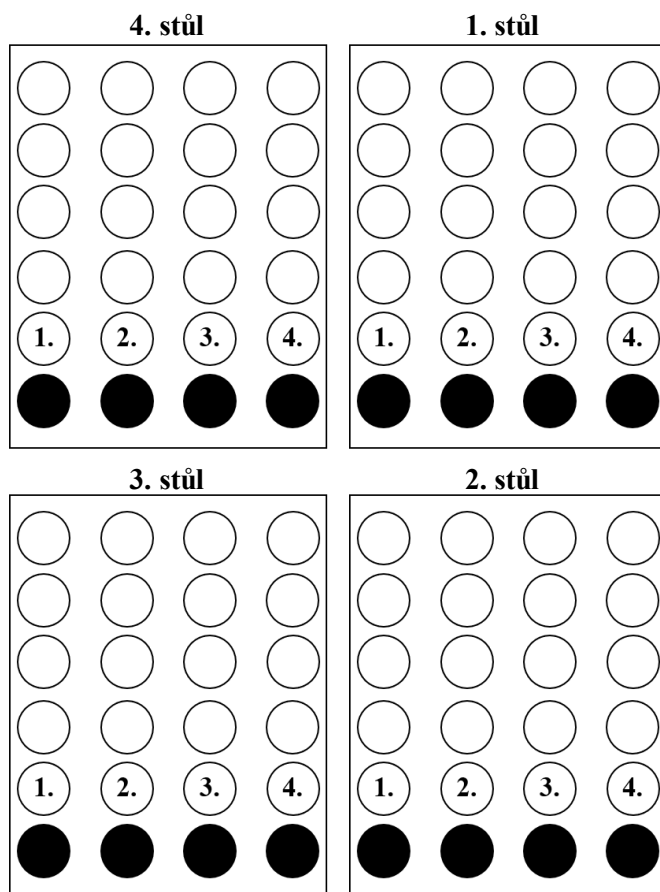
Dne 16. a 17.2.2022 byly bazalky z fytotronu přemístěny do hydroponických stolů ve skleníku.

Pěstování bazalek probíhalo na 4 hydroponických stolech:

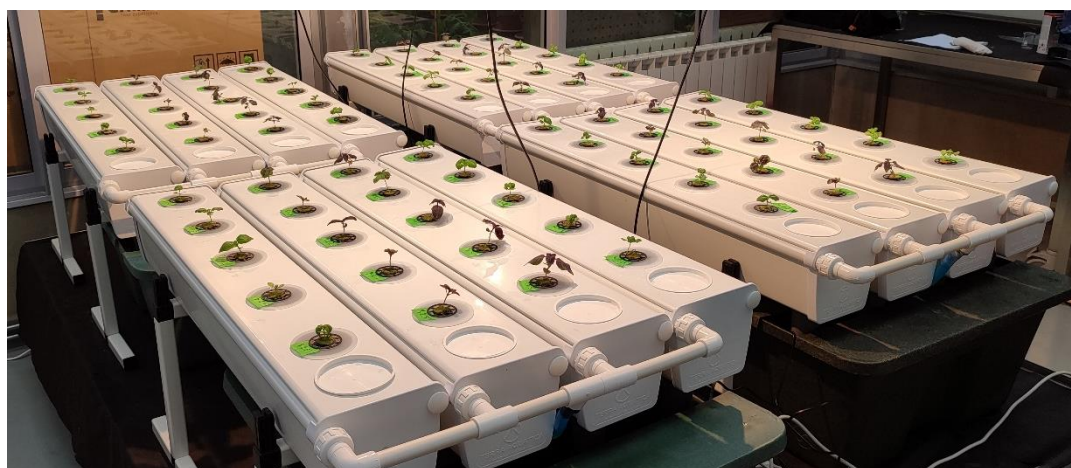
- 1. stůl:** ½ Hoaglandův roztok s NPK optimem (kontrola)
- 2. stůl:** ½ Hoaglandův roztok se sníženou koncentrací dusičnanů
- 3. stůl:** ½ Hoaglandův roztok se sníženou koncentrací dusičnanů + biostimulant ornithin působící 24 hodin
- 4 stůl:** ½ Hoaglandův roztok se sníženou koncentrací dusičnanů + biostimulant ornithin působící 48 hodin

Na každém stole bylo pěstováno vždy 5 bazalek všech čtyř genotypů. Na Obrázku 7 je zobrazeno schéma rozmístění hydroponických stolů ve skleníku a pozice jednotlivých genotypů bazalek na stolech s daným typem výživy. Obrázek 8 je reálná fotografie.

Pro lepší přehlednost byla každá pěstovaná bazalka označena trojmístným číslem. První číslice představovala číslo stolu, druhá číslice znázorňovala genotyp bazalky a třetí číslice znamenala konkrétní umístění na hydroponickém stole, než došlo k jejímu přemístění (viz dále). Bazalky jednotlivých genotypů byly na stole umístěny za sebou, začínající od víka (na Obrázku 7 znázorněno černě).



Obrázek 7. Rozmístění hydroponických stolů ve skleníku. 1. stůl = kontrola, NPK optimum, 2. stůl =  $\downarrow \text{NO}_3^-$ , 3. stůl =  $\downarrow \text{NO}_3^-$  + biostimulant 24 h, 4. stůl =  $\downarrow \text{NO}_3^-$  + biostimulant 48 h. 1. = Di Genova a Foglia Profumatissima, 2. = 2/88-H, 3. = Cardinal, 4. = Mammoth.



Obrázek 8. Bazalky v hydroponických stolech ve skleníku.

Do každé z van bylo prvotně naředěno celkem 70 litrů  $\frac{1}{2}$  Hoaglandova živného roztoku (viz Tabulka 2). Do jedné vany byl naředěn  $\frac{1}{2}$  Hoaglandův roztok s optimální výživou, do zbylých třech van byl naředěn  $\frac{1}{2}$  Hoaglandův roztok se sníženým obsahem dusičnanů.



V průběhu experimentu byla voda s ½ Hoaglandovým živným médiem pravidelně vyměňována nebo doplňována. Tabulka 3 obsahuje informace o koncentracích jednotlivých sloučenin v hydroponických vanách s daným typem výživy.

Tabulka 3. Koncentrace [ $\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$ ] v ½ Hoaglandova živného roztoku s optimální výživou a se sníženým obsahem dusičnanů  $\text{NO}_3^-$ .

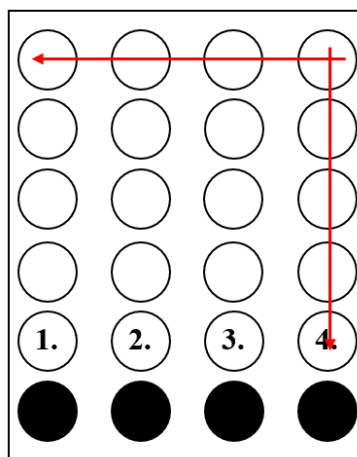
Zásobní roztok	Sloučenina	Kontrola	Snížený obsah dusičnanů
<b>Roztok dusičnanů</b>	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \times 4 \text{H}_2\text{O}$	590	147,5
	$\text{KNO}_3$	253	63,25
<b>Roztok makroprvků</b>	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	115	115
	$\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$	493	493
<b>Roztok mikroprvků</b>	$\text{H}_3\text{BO}_3$	2.86	2.86
	$\text{MnCl}_2 \times 4 \text{H}_2\text{O}$	1,81	1,81
	$\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$	0,22	0,22
	$\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$	0,08	0,08
	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$	0,11	0,11
<b>Fe-EDTA</b>	$\text{FeSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$		
	$\text{Na}_2\text{-EDTA}$	10,06	10,06

Světla nad hydroponickými stoly byla zavěšena ve výšce 67 cm od povrchu hydroponického stolu, režim svícení byl nastaven na 16 h světlo/8 h tma.

Na Obrázku 9 je jasně vidět, že intenzita fotosynteticky aktivního záření (z angl. PAR, Photosynthetically Active Radiation) nebyla nad hydroponickými stoly úplně stejná. Z toho důvodu byly bazalky na všech čtyřech stolech co 3 dny posouvány ve dvou směrech (viz Obrázek 10).

120	190	130
150	220	140
130	170	90

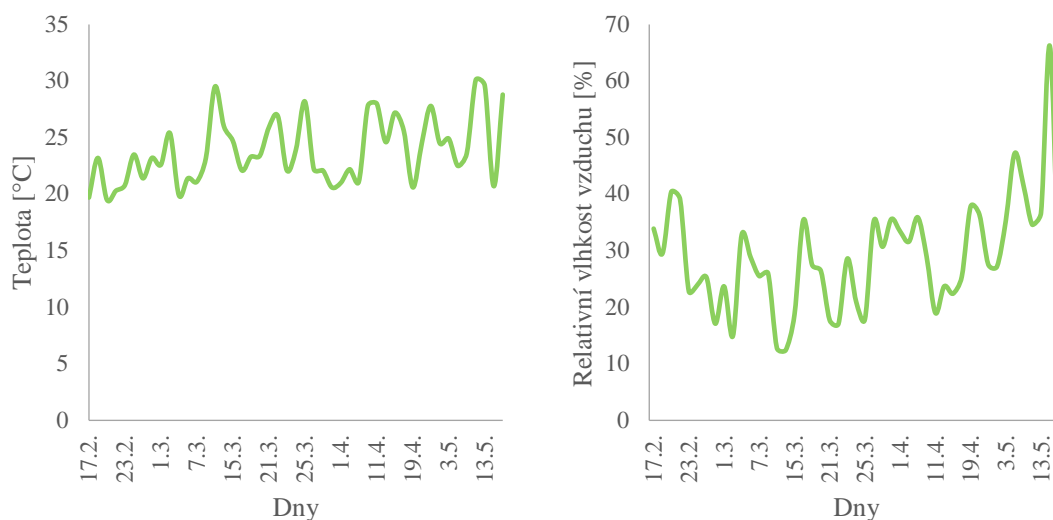
Obrázek 9. Naměřená intenzita fotosynteticky aktivního záření nad hydroponickými vanami ve skleníku v jednotkách  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Měření bylo prováděno za běžného dne.



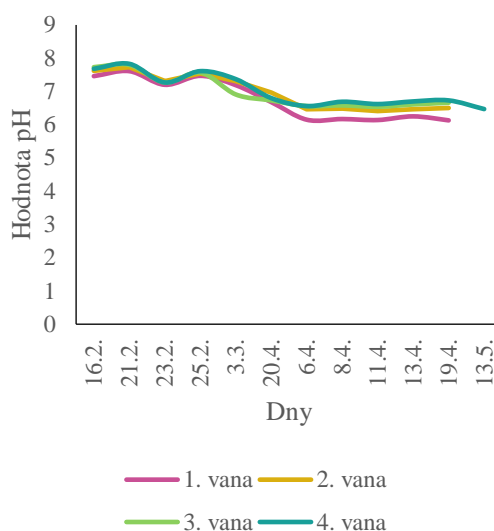
Obrázek 10. Schéma znázorňující posun hydroponických košíčků. Posun byl prováděn každé 3 dny. Košíčky byly posunuty o jednu pozici ve své řadě, zároveň byla celá řada posunuta o jedno místo vedle.

V průběhu celého experimentu, tj. od 17.2.2022 do 19.5.2022 byla ve skleníku pravidelně měřena teplota a relativní vlhkost vzduchu (RH) pomocí snímače. Grafy kolísání teplot a RH jsou zaznamenány v Grafu 1, respektive Grafu 2.

Taktéž byla měřena hodnota pH v jednotlivých hydroponických vanách. Měření bylo prováděno pomocí stolního pH metru, kdy bylo vždy z každé vany odebráno 30 ml a následně změřeno. Naměřené hodnoty pH zobrazuje Graf 3.



Graf 1.2. Naměřené hodnoty teplot a relativní vlhkosti vzduchu ve skleníku v průběhu experimentu, od 17.2. do 19.5.2022.



Graf 3. Naměřené hodnoty pH v průběhu experimentu od 17.2. do 19.5.2022 v jednotlivých vanách s různým typem výživy. 1. vana = kontrola, NPK optimum, 2. vana =  $\downarrow\text{NO}_3^-$ , 3. vana =  $\downarrow\text{NO}_3^-$  + biostimulant 24 h, 4. vana =  $\downarrow\text{NO}_3^-$  + biostimulant 48 h.

Pro výskyt mšic a trásněnek bylo nutno bazalky ve skleníku ošetřit postřiky Spintor a Nissorun.

Bazalky byly pěstovány tak dlouho, dokud nedosáhly takové velikosti, kdy se začaly v závislosti na své velikosti a tíže lámat, anebo je už nebylo možné fotit ve fenotypizačním boxu. Následovalo sklizení listů (viz dále).

### 3.6.1.4 Manuální fenotypování

Rostliny byly manuálně fenotypovány postupně v období od 6.4.2022 do 19.5.2022. Manuální fenotypizace zahrnovala změření kořenů a prýtu pomocí pravítka a taktéž spočítání listů všech rostlin. Následoval sběr listů pro spektrofotometrické stanovení nitrátů (viz dále).

### 3.6.1.5 Spektrofotometrické stanovení obsahu nitrátů

Z každé bazalky byly sklizeny 3 nejstarší a 3 nejmladší listy. Nejstarší listy představovaly nejspodnější listy ze spodního patra, nejmladší listy se nacházely na vzrostlém vrcholu bazalky. Sklizené listy byly zamrazeny v tekutém dusíku, aby došlo ke zpomalení metabolických pochodů, a následně přemístěny do hlubokomrazicího boxu, kde byly uchovávány při  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Postup byl upraven podle Lastra, 2003; Zhao a Wang, 2017; Matthew a kol., 2019; Soiklom a kol., 2021. Všechn rostlinný materiál byl vysušen v sušárně při  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  po dobu 24 hodin. Následně byl materiál navážen do 2ml mikrozkušavek na přibližný objem 10 mg a zhomogenizován na kulovém mlýnku při intenzitě 27 Hz po dobu 3 minut. Ke každému vzorku byl přidán 1 ml destilované vody. Extrakce probíhala ve vodní lázni při  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  po dobu 1 hodiny, následovala centrifugace při 4500 rpm po dobu 10 minut.

Každý vzorek o objemu 100  $\mu\text{l}$  byl přemístěn do skleněné zkumavky, do které bylo přidáno 400  $\mu\text{l}$  5% kyseliny salicylové (SA) v koncentrované kyselině sírové (2,5 g SA v 50 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Vzorky ve zkumavkách byly přeneseny do digestoře, kde byly ponechány 20 minut při pokojové teplotě.

Ke vzorkům bylo poté přidáno 9,5 ml 2M hydroxidu sodného (80 g NaOH v 1 l  $\text{dH}_2\text{O}$ ). Vzorky byly opatrně promíchány pomocí vortexu a opět ponechány 20 minut při pokojové teplotě.

Po uplynulé době bylo přepipetováno 200  $\mu\text{l}$  připravených vzorků do mikrotitrační desky. Každý vzorek byl napipetován ve třech opakováních. Absorbance byla měřena při vlnové délce 410 nm.

Koncentrační řada byla připravena pomocí zásobního roztoku dusičnanu draselného (250 mg  $\text{KNO}_3$  v 500 ml  $\text{dH}_2\text{O}$ ). Do 2ml mikrozkušavek bylo přidáno postupně 97,8  $\mu\text{l}$ ; 196,5  $\mu\text{l}$ ; 293,4  $\mu\text{l}$ ; 391,2  $\mu\text{l}$ ; 498  $\mu\text{l}$ ; 586,8  $\mu\text{l}$ ; 684,6  $\mu\text{l}$ ; 782,4  $\mu\text{l}$  roztoku

dusičnanu draselného. Všechny zkumavky byly doplněny destilovanou vodou na výsledný objem 1 ml. Tímto se vytvořila koncentrační řada o koncentraci 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 a 240 mg.l<sup>-1</sup>. Jako blank byla použita destilovaná voda.

Z každé mikrozkušavky bylo přeneseno 100 µl roztoku dusičnanu draselného o určité koncentraci, v případě blanku 100 µl destilované vody, do skleněné zkumavky, do které bylo přidáno 400 µl 5% kyseliny salicylové v koncentrované kyselině sírové a ponecháno 20 minut při pokojové teplotě. Poté bylo do zkumavek přidáno 9,5 ml 2M hydroxidu sodného a opět ponecháno 20 minut při pokojové teplotě. Takto připravená koncentrační řada byla napipetována ve třech opakováních do mikrotitrační desky a byla změřena absorbance při vlnové délce 410 nm.

Naměřené hodnoty absorbancí třech opakování byly zprůměrovány a z těchto hodnot byla sestavena kalibrační křivka. Pomocí rovnice regrese a hodnot absorbancí byla vypočítána koncentrace nitrátů. Následně byl stanoven obsah nitrátů v jednotlivých vzorcích.

## **4 VÝSLEDKY**

### **4.1 Optimalizace hydroponického pěstování bazalky (*Ocimum basilicum*) v systému DFT**

#### **4.1.1 Optimalizace vzcházení v podmínkách pěstebního fytotronu**

Cílem první části experimentu bylo srovnat vliv dvou různých typů substrátů na dynamiku klíčení a vzcházení jednotlivých genotypů bazalky v čase. Jako substráty byly zvoleny perlit a rockwool kostky.

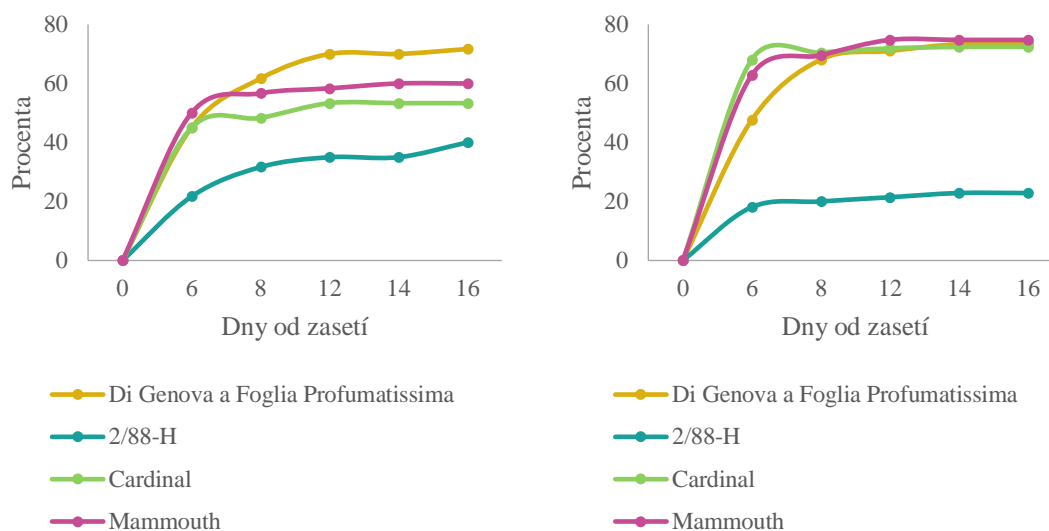
Do perlitu bylo vyseto vždy 60 semen daného genotypu. Jak je možné vidět v Tabulce 4, nejvíce se v tomto substrátu dařilo genotypu Di Genova a Foglia Profumatissima, kdy vzešlo 43 bazalek z 60, o něco méně bazalek vzešlo u genotypu Mammouth a Cardinal. Nejméně bazalek vzešlo ze semen genotypu 2/88-H, a to pouze 24 rostlin, tedy ani ne polovina zasetých semen. Procentuální vyjádření vzešlých bazalek pěstovaných v perlitu je zobrazeno v Grafu 4. Genotyp Di Genova a Foglia Profumatissima vyklíčil ze 71,67 %, kdežto genotyp 2/88-H pouze ze 40 %.

Do rockwool kostek bylo vyseto celkem 210 semen daného genotypu. V tomto případě vzešlo nejvíce bazalek genotypu Mammouth, a to 157, což je 74,76 %. O pár vzešlých bazalek méně měly genotypy Di Genova a Foglia Profumatissima a Cardinal. Velmi výrazně se v počtu vzešlých bazalek lišil genotyp 2/88-H. U tohoto genotypu vzešlo pouze 48 rostlin z 210 zasetých semen, což dává pouhých 22,86 %. Celkové procentuální vyjádření počtu vzešlých bazalek je zobrazeno v Grafu 4, respektive Grafu 5.

Počty vzešlých bazalek se lišily v závislosti na substrátu, značné ale byly také rozdíly mezi jednotlivými genotypy.

Tabulka 4. Porovnání počtů vzešlých bazalek pěstovaných ve fytotronu v substrátu perlitu a rockwool kostkách. Do perlitu bylo vyseto celkem 60 semen každého genotypu, do rockwool kostek bylo vyseto 210 semen každého genotypu. 1. = Di Genova a Foglia Profumatissima, 2. = 2/88-H, 3. = Cardinal, 4. = Mammoth.

		Den 6	Den 8	Den 12	Den 14	Den 16
<b>Perlit</b>	<b>1.</b>	27	37	42	42	43
	<b>2.</b>	13	19	21	21	24
	<b>3.</b>	27	29	32	32	32
	<b>4.</b>	30	34	35	36	36
<b>Rockwool kostky</b>	<b>1.</b>	100	143	149	154	154
	<b>2.</b>	38	42	45	48	48
	<b>3.</b>	143	148	151	152	152
	<b>4.</b>	132	146	157	157	157



Graf 4, 5. Procentuální vyjádření vzešlých bazalek pěstovaných ve fytotronu v substrátu perlitu (1) v rockwool kostkách (2) v období od 26.1.2022 do 15.2.2022.

### 4.1.2 Neinvazivní fenotypování pomocí obrazové analýzy

Tato část experimentu měla za úkol sledovat dynamiku růstu jednotlivých typů bazalek v závislosti na typu výživy. Bazalky byly fenotypovány průběžně po celou dobu trvání experimentu.

Pomocí neinvazivní fenotypizace využívající obrazové analýzy ze tří projekcí bylo možné získat velké množství kvantitativních dat pro 5, respektive 9 parametrů dle toho, zda se jednalo o foto z boku, respektive shora. Všechny data parametrů jsou uvedena v jednotkách pixelů, ne všechny parametry jsou ovšem úplně přesné, občas program nebyl schopen úplně rozlišit studovanou rostlinu a ohraničit ji přesně podél její hrany, proto jsou níže okomentovány pouze parametry, které jsou přínosnější pro tuto práci.

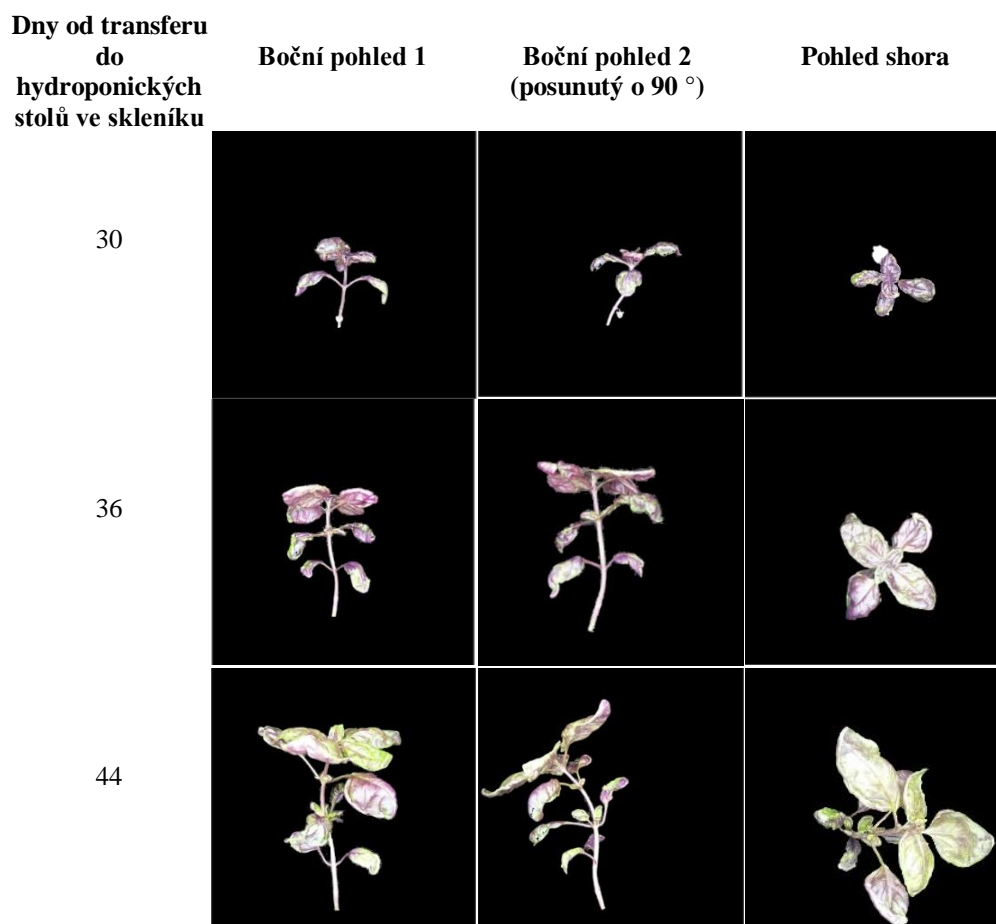
Vzhledem ke mnohým technickým problémům byl celý experiment negativně ovlivněn velkou variabilitou v růstu rostlin a rozdílným počtem rostlin v rámci testovaných skupin, což neumožnilo vyhodnocení srovnání vlivu výživy a použití biostimulantu za použití statistického přístupu.

Do následujících čtyř kapitol byly vybrány pouze ilustrativní fotografie a grafy parametrů získaných v programu MorphoAnalysis, GUI. Zbylé grafy ostatních bazalek a fotografie bazalek vyfocených ve fenotypizačním boxu jsou dostupné na přiloženém CD.



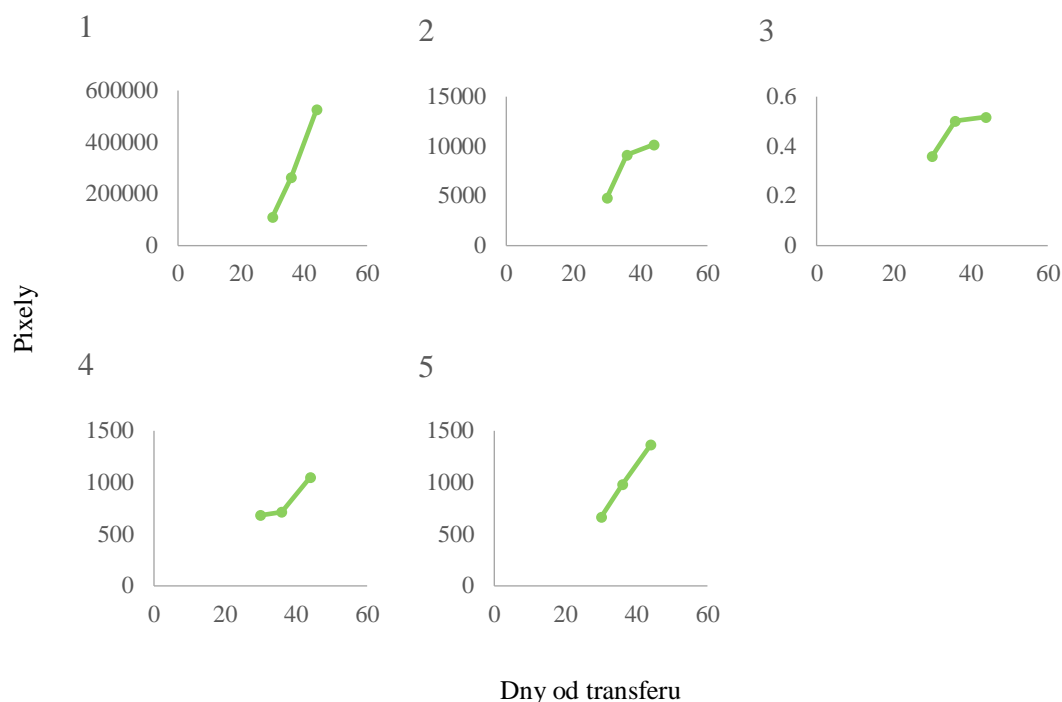
#### 4.1.2.1 NPK optimum

Obrázek 11. Ilustrativní foto bazalky pravé (*Ocimum basilicum* L.), genotypu 2/88-H, čísla 1.2.2, pěstované ve stole s NPK optimem, tj. kontrole. Bazalka byla fenotypována 30., 36. a 44. den po transferu do hydroponického systému.

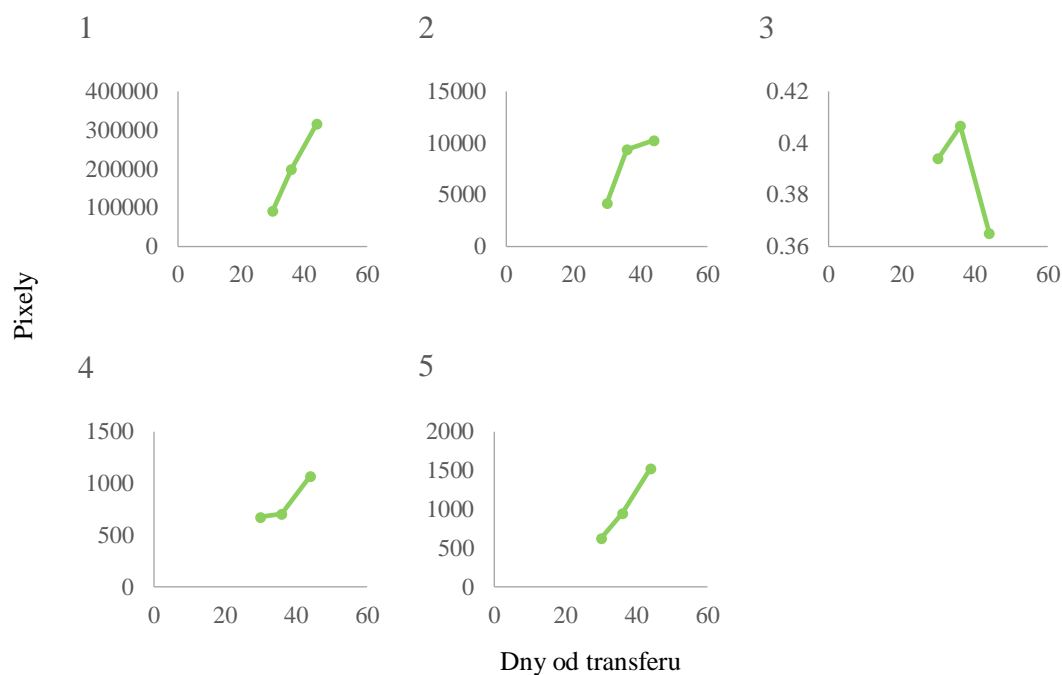


Z grafů jednotlivých parametrů tří projekcí jde vyčíst, že plocha této bazalky se zprudka zvětšovala. Výška rostliny se také měnila poněkud rychle, ovšem šířka se mezi prvními dvěma fenotypováními příliš nezměnila. Obvod rostliny se z bočního pohledu měnil především zpočátku, při pohledu shora se obvod změnil až po druhé fenotypizaci.

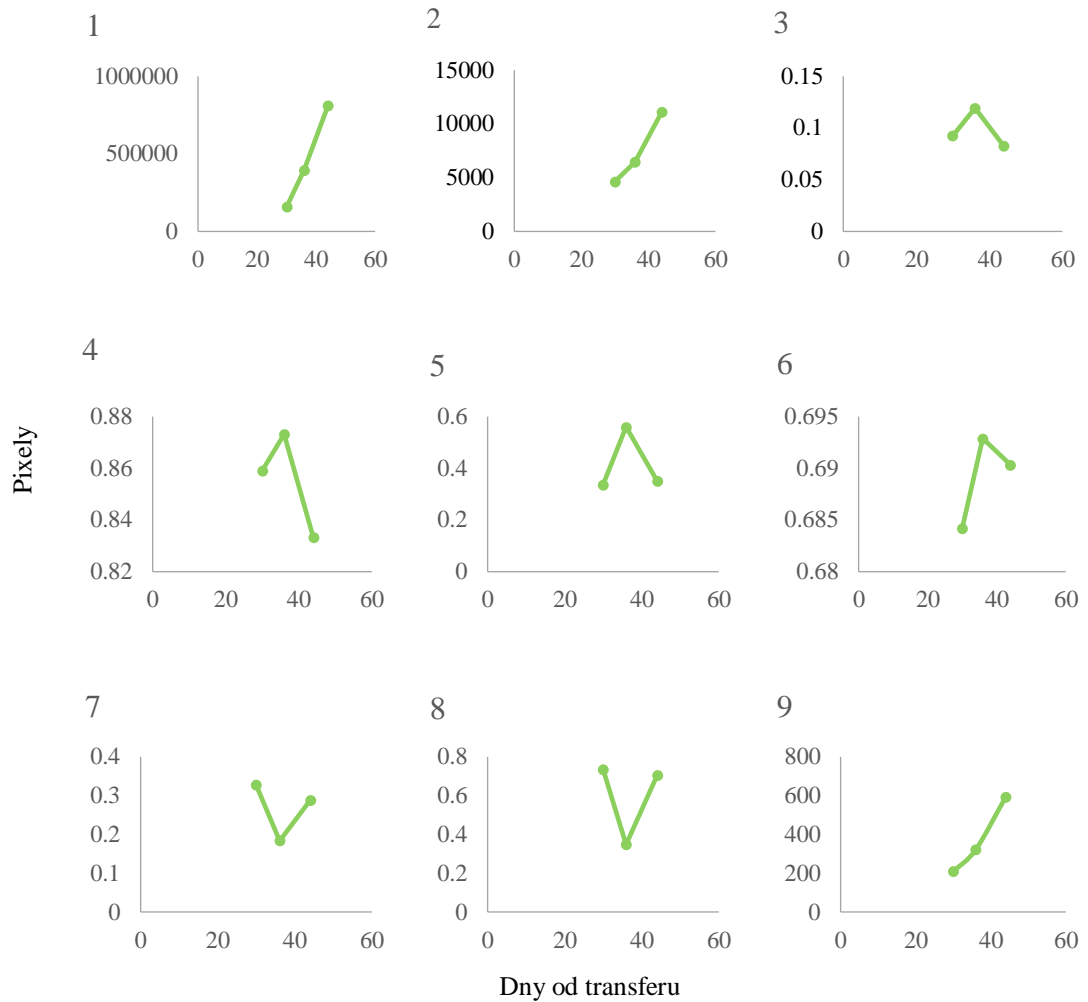
Graf 6. Parametry bočního pohledu bazalky pravé (*Ocimum basilicum* L.), genotypu 2/88-H, čísla 1.2.2 pěstované v hydroponickém systému. Bazalka byla focena 30., 36. a 44. den po transferu do hydroponického systému. 1 = plocha, 2 = obvod, 3 = kompaktnost, 4 = šířka, 5 = výška.



Graf 7. Parametry bočního pohledu bazalky pravé (*Ocimum basilicum* L.) otočené o 90 °, genotypu 2/88-H, čísla 1.2.2 pěstované v hydroponickém systému. Bazalka byla focena 30., 36. a 44. den po transferu do hydroponického systému. 1 = plocha, 2 = obvod, 3 = kompaktnost, 4 = šířka, 5 = výška.

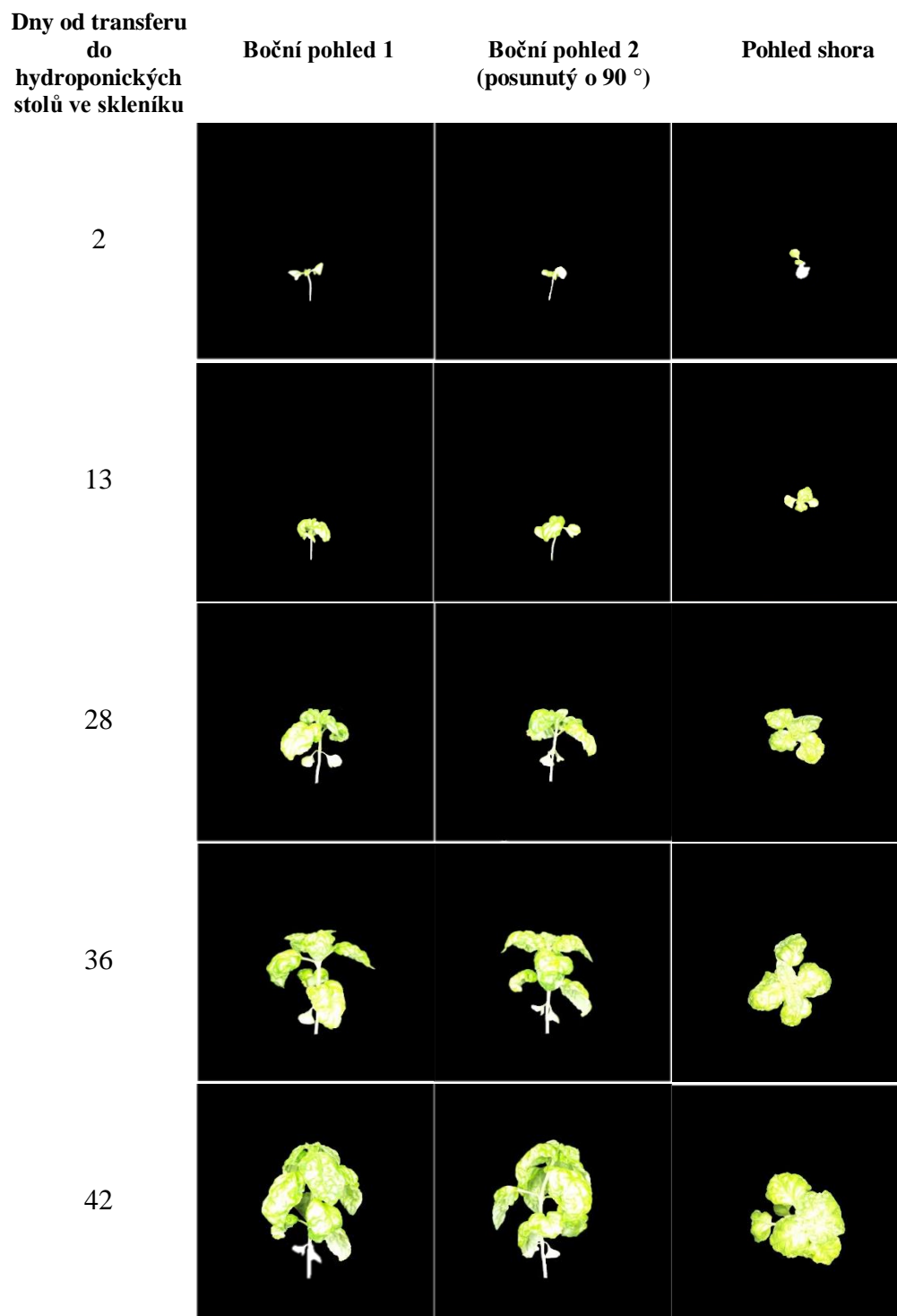


Graf 8. Parametry vrchného pohľadu bazalky pravé (*Ocimum basilicum* L.), genotypu 2/88-H, čísla 1.2.2 pěstované v hydroponickém systéme. Bazalka byla focena 30., 36. a 44. den po transferu do hydroponického systému. 1 = plocha, 2 = obvod, 3,4 = kulatost, 5 = izotropie, 6 = kompaktnost, 7 = excentricita, 8 = RMS, 9 = SOL.



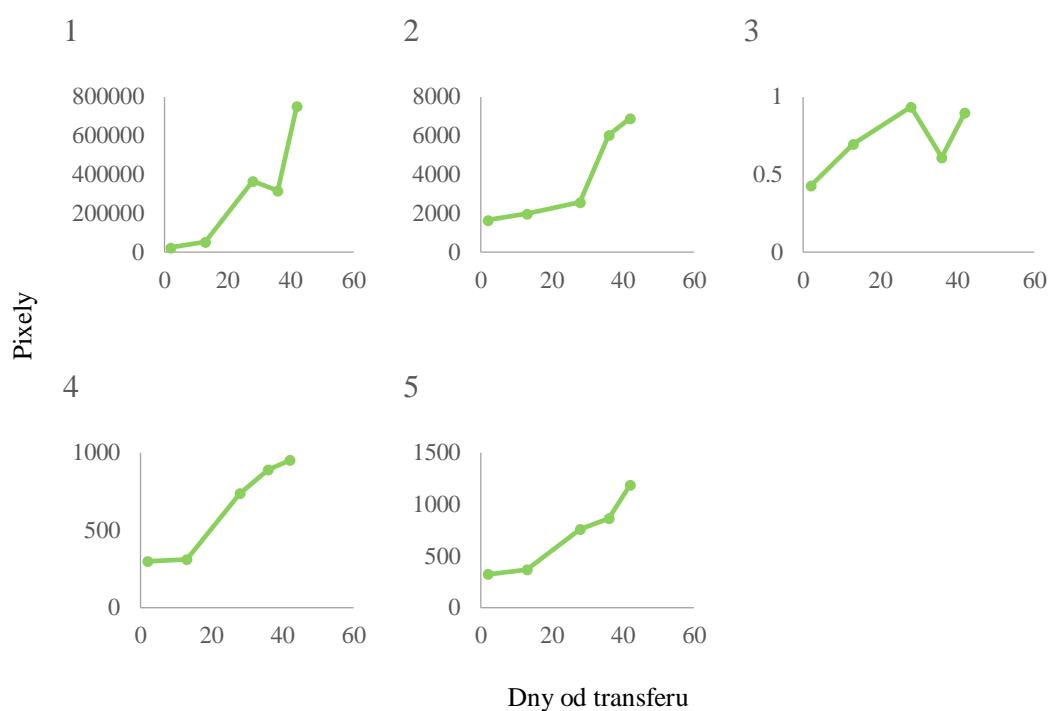
#### 4.1.2.2 Snížený obsah nitrátů

Obrázek 12. Ilustrativní foto bazalky pravé (*Ocimum basilicum* L.), genotypu Mammoth, čísla 2.4.2, pěstované v hydroponickém stole se sníženým obsahem dusíku.

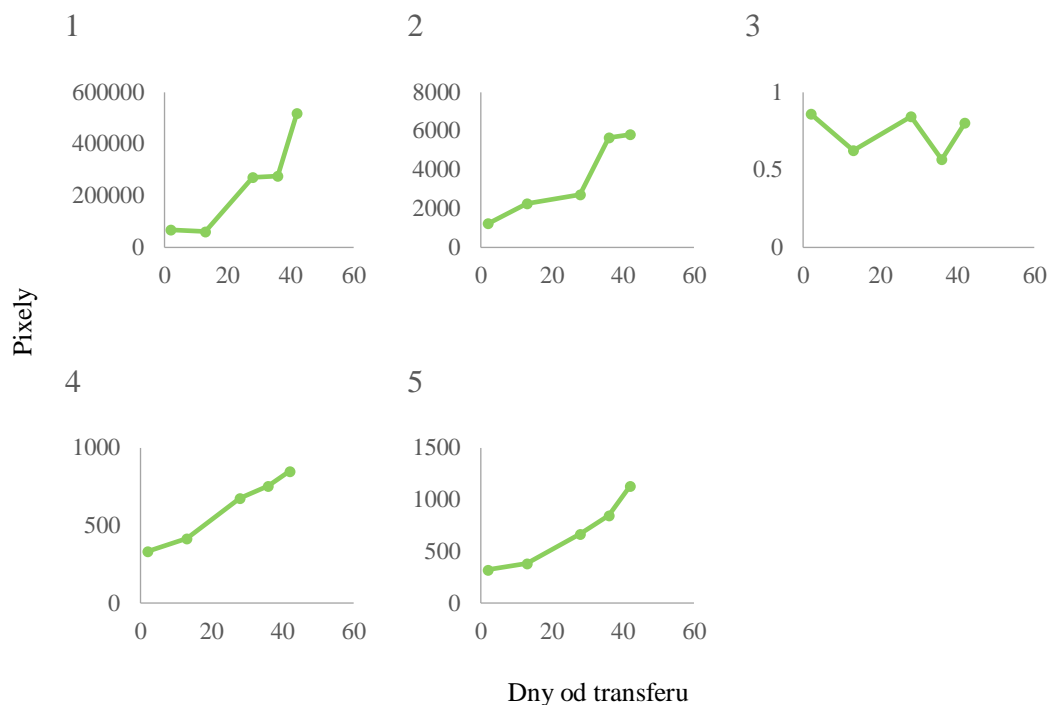


Při hodnocení plochy této bazalky z boční projekce lze vidět, že se měnila poněkud skokově, při pohledu shora docházelo k pomalejšímu a méně skokovému zvětšování plochy. Výška rostliny se výrazněji začala měnit až po 13. dni po transferu do hydroponického systému, to samé platí i pro šířku rostliny.

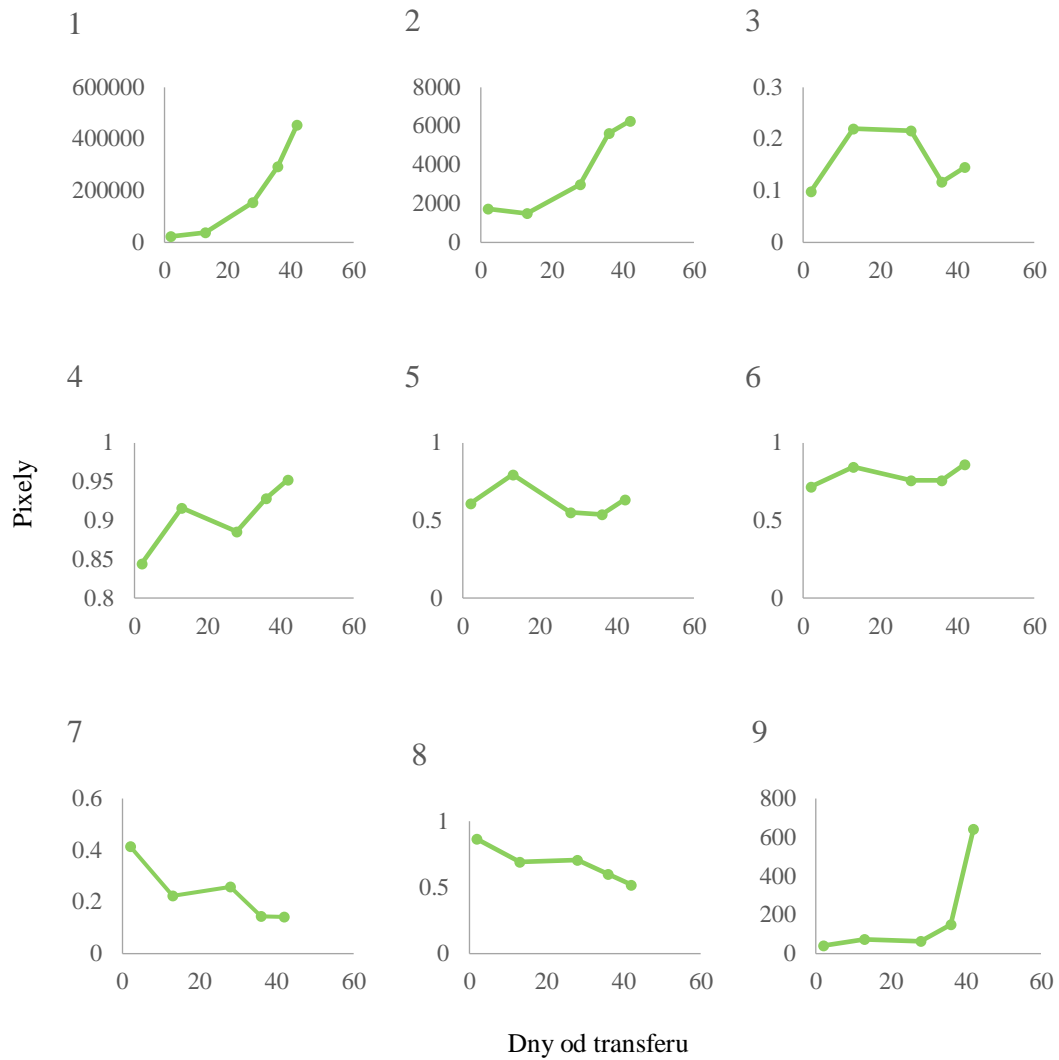
Graf 9. Parametry bočního pohledu bazalky pravé (*Ocimum basilicum* L.), genotypu Mammoth, čísla 2.4.2 pěstované v hydroponickém systému. Bazalka byla focena 2., 13., 28., 36. a 42. den po transferu do hydroponického systému. 1 = plocha, 2 = obvod, 3 = kompaktnost, 4 = šířka, 5 = výška.



Graf 10. Parametry bočního pohledu bazalky pravé (*Ocimum basilicum* L.) otočené o 90 °, genotypu Mammoth, čísla 2.4.2 pěstované v hydroponickém systému. Bazalka byla focena 2., 13., 28., 36. a 42. den po transferu do hydroponického systému. 1 = plocha, 2 = obvod, 3 = kompaktnost, 4 = šířka, 5 = výška.

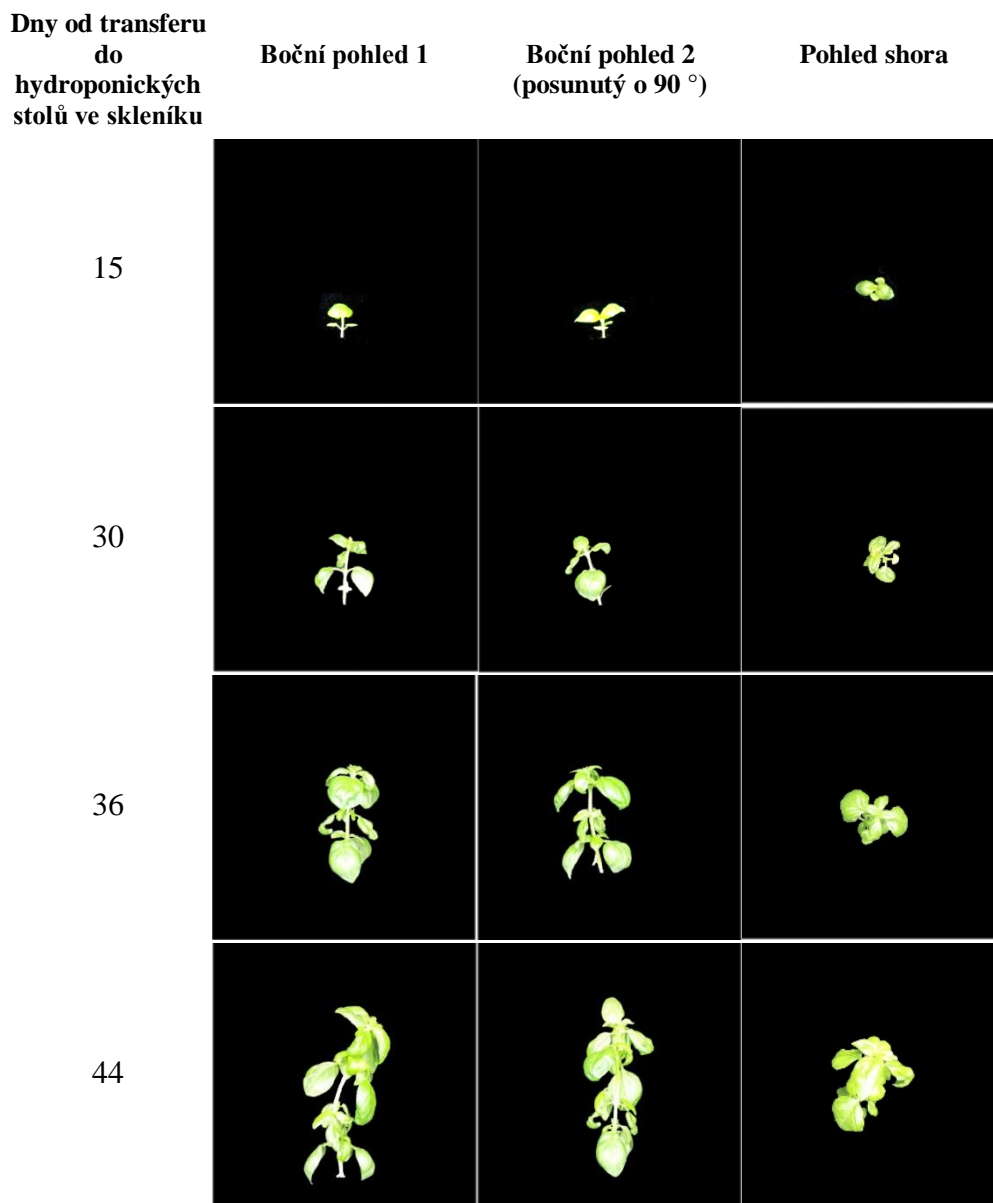


Graf 11. Parametry vrchného pohľadu bazalky pravé (*Ocimum basilicum* L.), genotypu Mammoth, čísla 2.4.2 pěstované v hydroponickém systéme. Bazalka byla focena 2., 13., 28., 36. a 42. den po transferu do hydroponického systému. 1 = plocha, 2 = obvod, 3, 4 kulatost, 5 = izotropie, 6 = kompaktnost, 7 = excentricita, 8 = RMS, 9 = SOL.



### 4.1.2.3 Snížený obsah nitrátů + ornithin působící 24 hodin

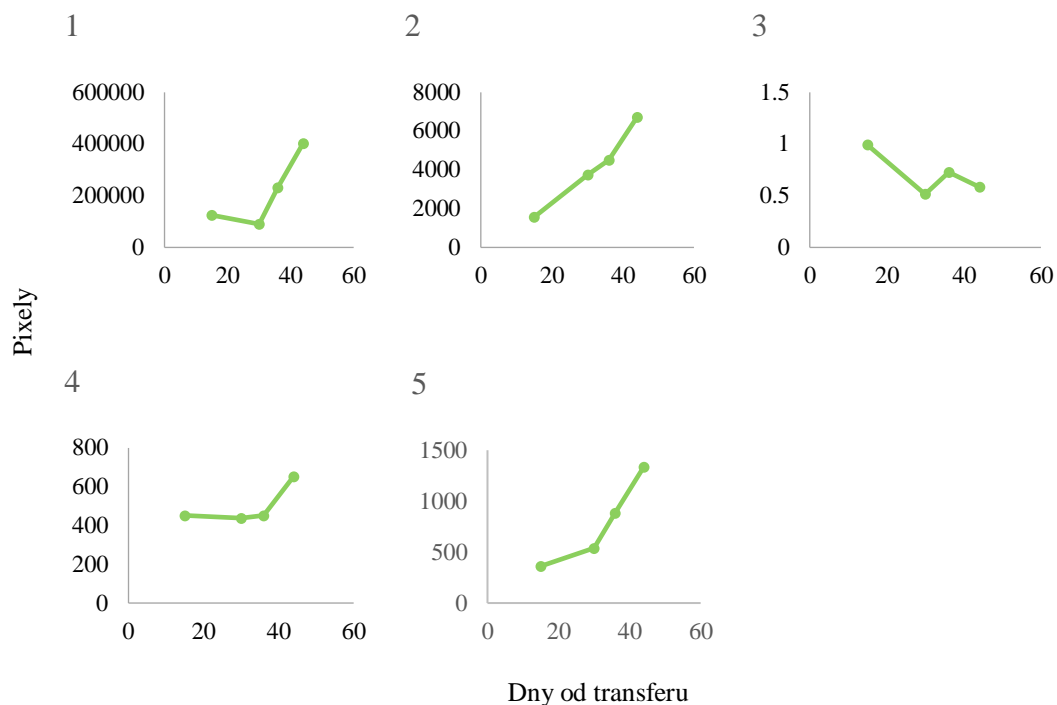
Obrázek 13. Ilustrativní foto bazalky pravé (*Ocimum basilicum* L.), genotypu Di Genova a Foglia Profumatissima, čísla 3.1.4, pěstované v hydroponickém stole se sníženým obsahem dusíku, a zároveň vystavené působení biostimulantu ornithinu po dobu 24 hodin.



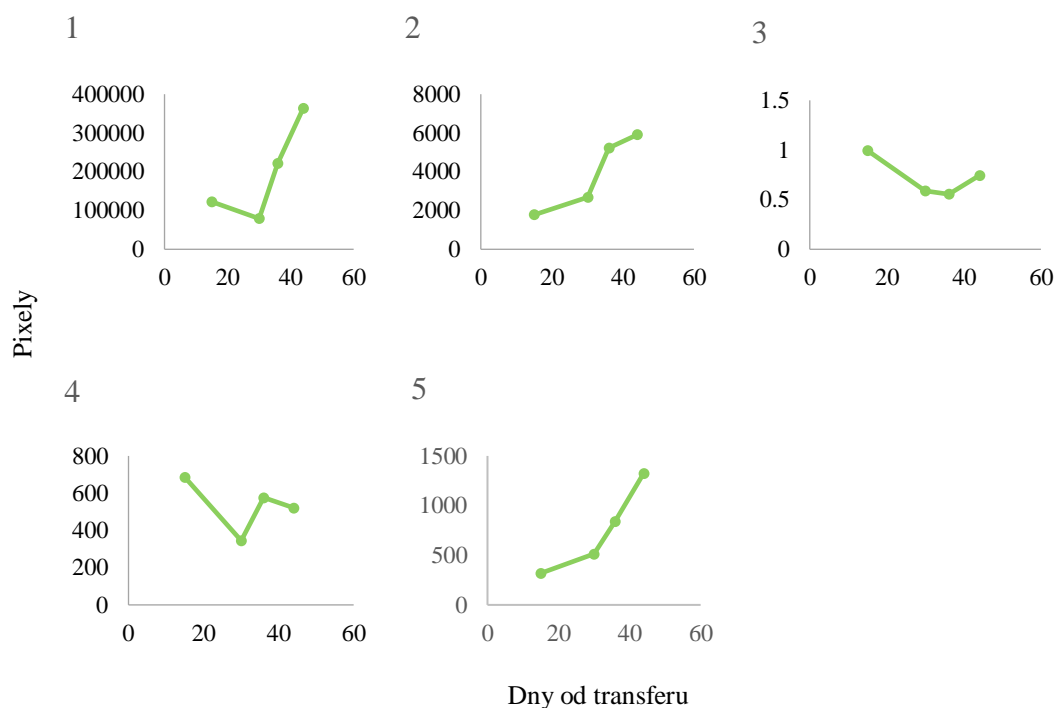
Tato bazalka začala pořádně růst do výšky až po třiceti dnech, kdy byla pěstována v hydroponickém systému. Plocha i obvod rostliny se taktéž začaly pořádně zvětšovat až po této době.



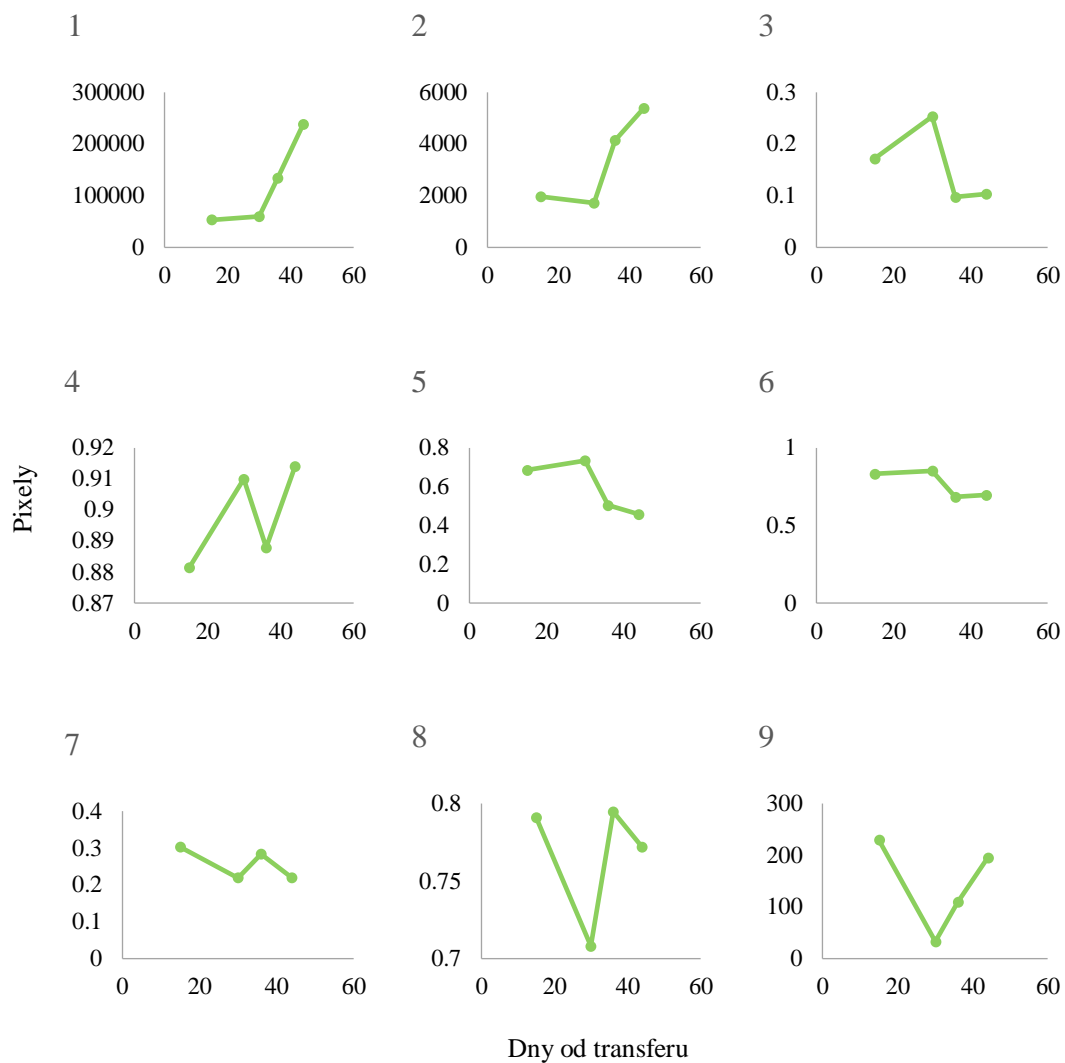
Graf 12. Parametry bočního pohledu bazalky pravé (*Ocimum basilicum* L.), genotypu Di Genova a Foglia Profumatissima, čísla 3.1.4 pěstované v hydroponickém systému. Bazalka byla focena 15., 30., 36. a 44. den po transferu do hydroponického systému. 1 = plocha, 2 = obvod, 3 = kompaktnost, 4 = šířka, 5 = výška.



Graf XX. Parametry bočního pohledu bazalky pravé (*Ocimum basilicum* L.) otočené o 90 °, genotypu Di Genova a Foglia Profumatissima, čísla 3.1.4 pěstované v hydroponickém systému. Bazalka byla focena 15., 30., 36. a 44. den po transferu do hydroponického systému. 1 = plocha, 2 = obvod, 3 = kompaktnost, 4 = šířka, 5 = výška.

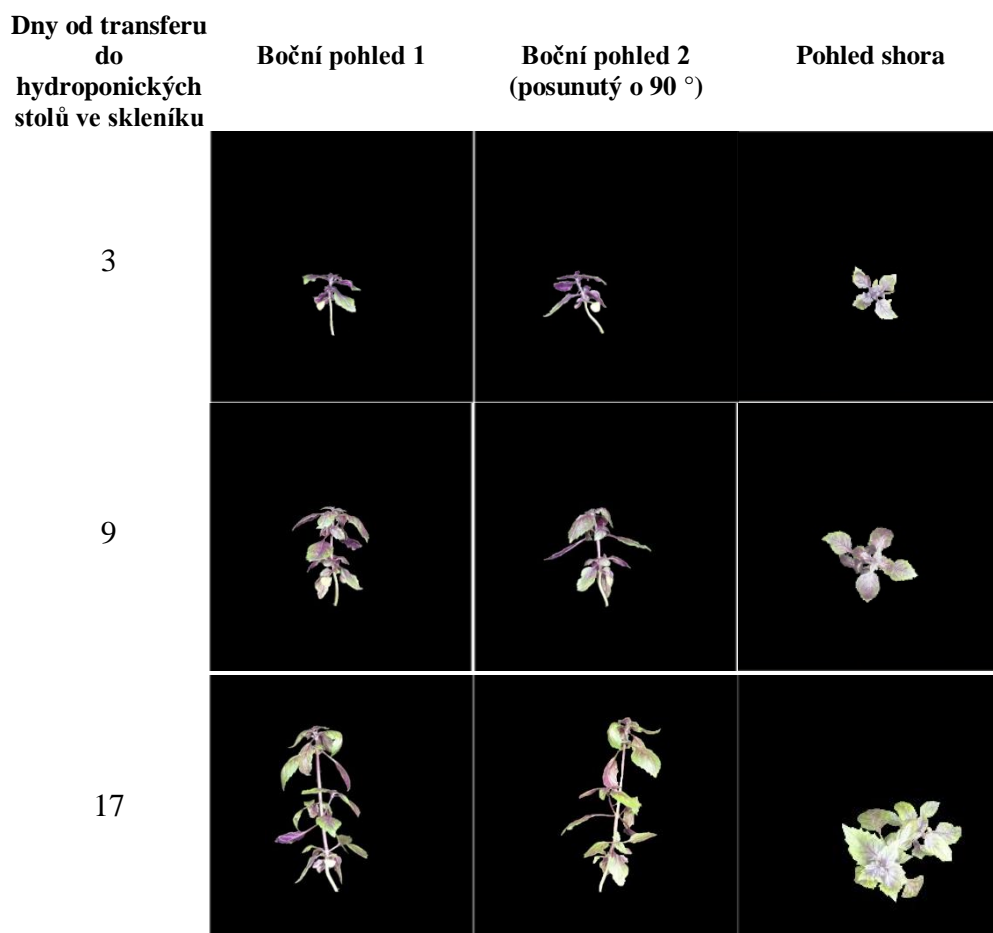


Graf 13. Parametry vrchného pohľadu bazalky pravé (*Ocimum basilicum* L.), genotypu Di Genova a Foglia Profumatissima, čísla 3.1.4 pěstované v hydroponickém systéme. Bazalka byla focena 15., 30., 36. a 44. den po transferu do hydroponického systému. 1 = plocha, 2 = obvod, 3, 4 = kulatost, 5 = izotropie, 6 = kompaktnost, 7 = excentricita, 8 = RMS, 9 = SOL.



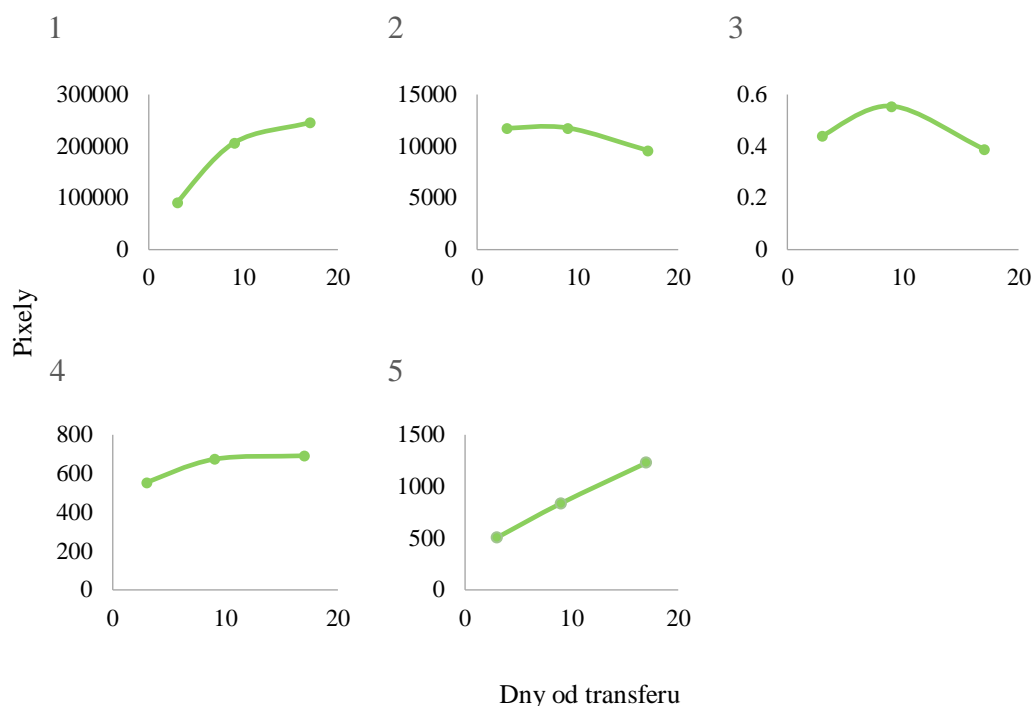
#### 4.1.2.4 Snížený obsah dusíku + ornithin působící 48 hodin

Obrázek 14. Ilustrativní foto bazalky pravé (*Ocimum basilicum* L.), genotypu Cardinal, čísla 4.3.3, pěstované v hydroponickém stole se sníženým obsahem dusíku, a zároveň vystavené působení biostimulantu ornithinu po dobu 48 hodin.

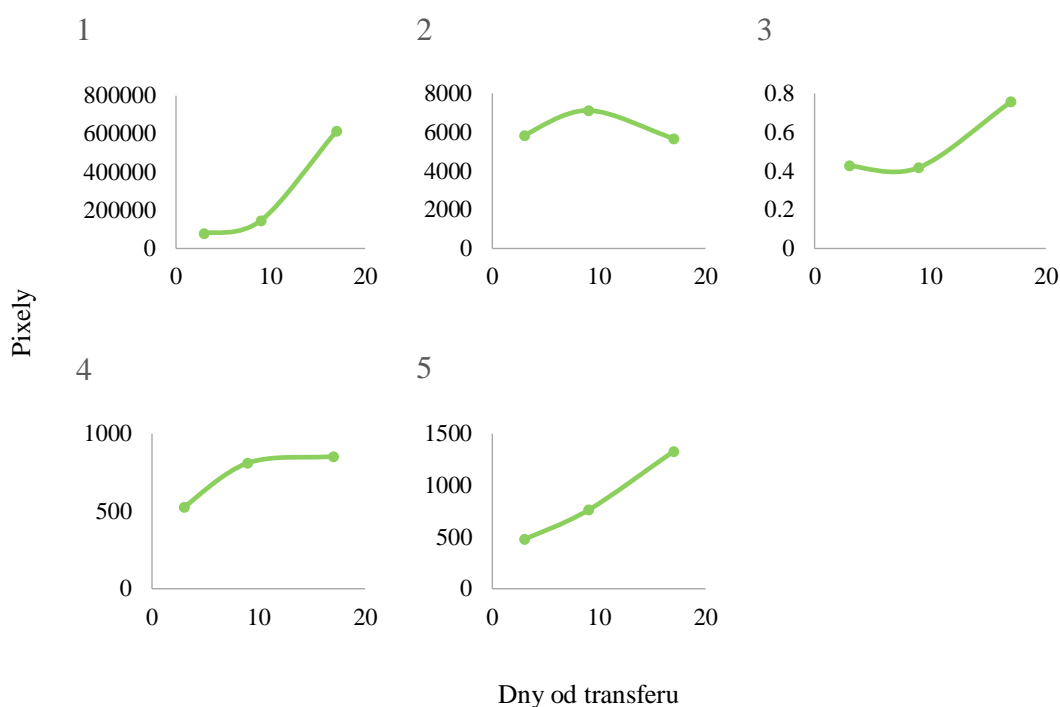


Plocha bazalky se výrazně zvětšila především mezi druhým a třetím fenotypováním. Šířka bazalky se během pěstování v hydroponickém stole měnila velmi mírným průběhem, mezi druhým a třetím fenotypováním je rozdíl v šířce minimální. Výška rostliny se měnila téměř lineárně.

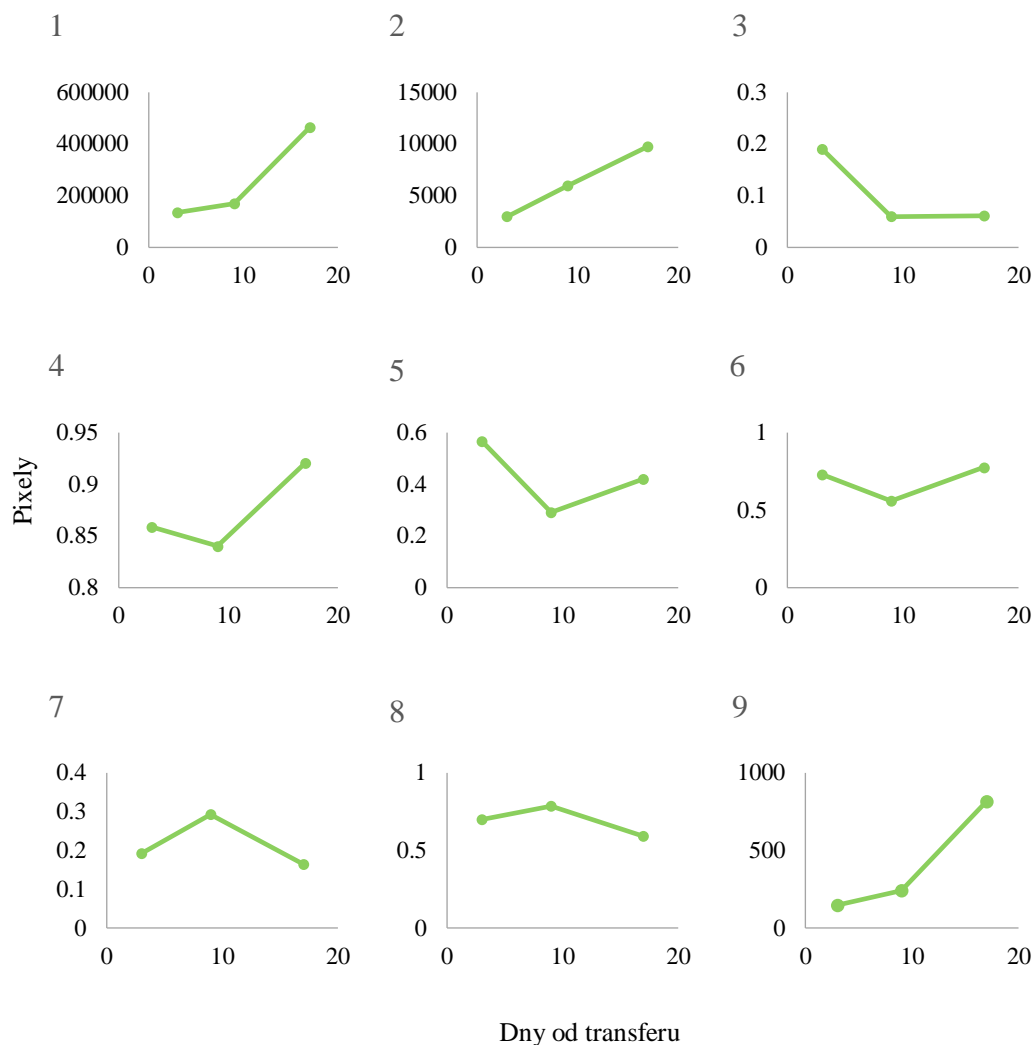
Graf 14. Parametry bočního pohledu bazalky pravé (*Ocimum basilicum* L.), genotypu Cardinal, čísla 4.3.3 pěstované v hydroponickém systému. Bazalka byla focena 3., 9. a 17. den po transferu do hydroponického systému. 1 = plocha, 2 = obvod, 3 = kompaktnost, 4 = šířka, 5 = výška.



Graf 15. Parametry bočního pohledu bazalky pravé (*Ocimum basilicum* L.) otočené o 90 °, genotypu Cardinal, čísla 4.3.3 pěstované v hydroponickém systému. Bazalka byla focena 3., 9. a 17. den po transferu do hydroponického systému. 1 = plocha, 2 = obvod, 3 = kompaktnost, 4 = šířka, 5 = výška.



Graf 16. Parametry vrchního pohledu bazalky pravé (*Ocimum basilicum* L.), genotypu Cardinal, čísla 4.3.3 pěstované v hydroponickém systému. Bazalka byla focena 3., 9. a 17. den po transferu do hydroponického systému. 1 = plocha, 2 = obvod, 3, 4 = kulatost, 5 = izotropie, 6 = kompaktnost, 7 = excentricita, 8 = RMS, 9 = SOL.



### 4.1.3 Pěstování bazalek v hydroponickém systému

V této části experimentu bylo za cíl sledovat dynamiku růstu a vývoje rostlin v závislosti na typu výživy a vystavení působení biostimulantu ornithinu v hydroponickém systému.

V průběhu experimentu byly velké hydroponické košíčky vyměněny za menší, více vhodné pro růst bazalek, ovšem značná část rostlin, především genotypy 2/88-H a Mammoth, tento transfer nezvládly z důvodu málo vyvinutých kořínků, které v novém hydroponickém košíčku nedosahovaly vody tak, jako předtím. Uspělé bazalky byly následně nahrazeny novými, které byly jako náhradní ponechány ve fytotronu. Bazalky

genotypu 2/88-H a Mammouth byly znovu vysety, část vzešlých rostlin byla vystavena působení ornithinu, část byla rovnou přendána do hydroponických košíčků.

Počty a genotypy všech sklizených bazalek, které byly neinvazivně fenotypovány a byl v nich stanovován obsah nitrátů, zobrazuje Tabulka 5. Nejvíce bazalek se sklídilo z genotypu Cardinal, a to celkem 18, nejméně z genotypu Di Genova a Foglia Profumatissima, a to pouhých 6 rostlin. Co se různých režimů výživy týče, nejvíce bazalek se sklídilo z hydroponického stolu ½ Hoaglanovým živným médiem se sníženým obsahem dusičnanů, nejméně z kontroly. Z původně 80 bazalek přenesených do hydroponických stolů bylo na konci experimentu sklizeno celkem 44 bazalek různých genotypů.

Tabulka 5. Počty sklizených bazalek jednotlivých genotypů v závislosti na různých režimech výživy. 1. = Di Genova a Foglia Profumatissima, 2. = 2/88-H, 3. = Cardinal, 4. = Mammouth.

Varianta výživy	1.	2.	3.	4.	Celkem
<b>Kontrola</b>	0	3	4	1	<b>8</b>
<b>Snížený N</b>	4	2	4	4	<b>14</b>
<b>Snížený N + Orn 24 h</b>	2	1	5	3	<b>11</b>
<b>Snížený N + Orn 48 h</b>	0	2	5	4	<b>11</b>
<b>Celkem</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>44</b>

#### 4.1.4 Manuální fenotypování

Při sklizení bazalek a sběru materiálu pro laboratorní stanovení nitrátů byly jednotlivé rostliny manuálně fenotypovány – byly jim spočítány listy a pomocí pravítka jim byla také změřena délka prýtu a kořenů. Tabulka 6 zobrazuje průměrné hodnoty a směrodatné odchylky jednotlivých 4 genotypů bazalky a variant výživy. Jednotlivé naměřené hodnoty jsou pak zaznamenány v Tabulce 9 (Přílohy).

Výsledky z Tabulky 6 lze posuzovat dvěma způsoby – z pohledu genotypu bazalky a typu výživy.

Z hlediska genotypu měl genotyp 2/88-H nejmenší kořeny, nejvyspělejší kořenový systém měl genotyp Mammouth a Cardinal. Nejdelší prýt s velkým množstvím listů měl genotyp Cardinal. Genotyp Di Genova a Foglia Profumatissima dosahoval průměrně nejmenšího vzrůstu, na druhou stranu měl ale také mnoho listů. Nejméně listů rostlo na genotypu Mammouth.

Z hlediska typu výživy lze říct, že se průměrná délka kořenů nijak výrazně nelišila, v každém hydroponickém stole nejdelší kořeny genotypu Mammouth a Cardinal kompenzovaly nejkratší kořenový systém genotypu 2/88-H. Co se délky prýtu týče, nejmenšího vzrůstu byly průměrně bazalky pěstované na stole se sníženým obsahem dusíku, naopak největšího vzrůstu dosahovaly bazalky vystavené působení biostimulantu ornithinu po dobu 48 hodin. U počtu listů platí totéž jako u délky prýtu, neboť to spolu souvisí.

Hodnoty směrodatných odchylek zobrazují míru variability hodnot, podle kterých lze posuzovat, jak moc jsou hodnoty rozptýleny kolem průměru. V případě, kdy se směrodatná odchylka rovná nule, byly za celý genotyp sesbírány pouze jediný vzorek rostliny. V Tabulce 6 je na první pohled vidět, že hodnoty směrodatných odchylek se v některých případech hodně vychylují, to je způsobeno velkou heterogenitou pěstovaných rostlin.

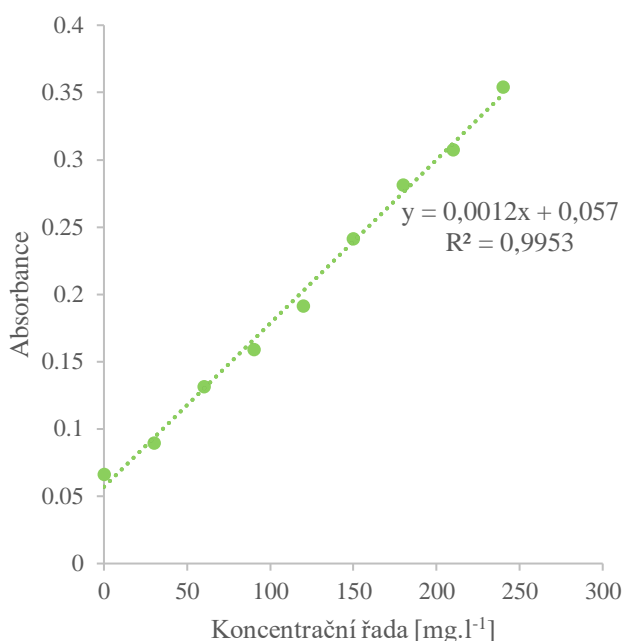
Tabulka 6. Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky naměřených hodnot délky kořene a prýtu [cm] a počtů listů.

Typ výživy	Genotyp bazalky	Délka kořene [cm]		Délka prýtu [cm]		Počet listů	
		Průměr	Sm. odch.	Průměr	Sm. odch.	Průměr	Sm. odch.
1. stůl	2.	3,80	3,51	16,57	3,38	28,67	9,84
	3.	15,68	4,73	21,40	8,60	87,50	40,78
	4.	28,70	0	16,70	0	28,00	0
2. stůl	1.	17,30	8,98	11,65	4,75	34,00	7,35
	2.	3,75	0,75	9,95	1,65	16,00	6,00
	3.	14,83	8,60	15,60	5,56	53,00	12,12
	4.	23,55	6,31	15,30	4,43	22,00	4,64
3. stůl	1.	16,85	1,95	12,60	3,00	30,00	6,00
	2.	13,40	0	17,40	0	36,00	0
	3.	24,94	6,89	15,80	5,02	71,00	25,63
	4.	12,67	9,40	15,50	3,01	17,00	5,72
4. stůl	2.	7,65	6,45	22,25	5,05	42,50	7,50
	3.	22,18	3,52	21,52	8,07	100,00	64,09
	4.	18,58	12,15	15,00	6,41	18,25	6,72

#### 4.1.5 Spektrofotometrické stanovení obsahu nitrátů

Poslední část experimentu spočívala ve spektrofotometrickém stanovení obsahu nitrátů 44 sklizených bazalek všech 4 genotypů.

Rovnice regrese koncentrační řady změřených absorbancí pomocí spektrofotometrickém readeru vyšla  $y = 0,0012x + 0,057$ . Graf závislosti koncentrační řady na naměřených hodnotách absorbance lze vidět na Grafu 17.



Graf 17. Koncentrační řada.

V Tabulce 7 a 8 jsou uvedené průměrné hodnoty a směrodatné odchylky navážených hmotností suchých nejstarších a nejmladších listů všech čtyř genotypů bazalek pěstovaných v různých režimech výživy. Dalšími hodnotami jsou průměrné naměřené absorbance tří opakování při 410 nm, koncentrace nitrátů a obsahy nitrátů ve vzorcích. Detailní tabulka s jednotlivými hodnotami je uvedena v Příloze v Tabulce 10. Pomocí rovnice regrese uvedené v Grafu 17 a hodnot absorbancí byla stanovena koncentrace nitrátů, a pomocí této hodnoty byl stanoven obsah nitrátů v jednotlivých vzorcích (viz Tabulka 10, Přílohy).

Jak již bylo zmíněno výše, ani z těchto hodnot pro velkou heterogenitu nelze stanovit závěr vlivu biostimulantu a metody výživy na akumulaci nitrátů v různě starých listech bazalky pomocí statistického přístupu.



Z průměrných hodnot uvedených v Tabulkách 7, 8 lze vidět, že hodnoty obsahu nitrátů ve vzorcích se od sebe liší v rámci desetin, respektive setin. Nejmenší obsah nitrátů v testovaných vzorcích nejstarších listů byl v bazalkách vystavených biostimulantu ornithinu po dobu 48 hodin. Nejvíce nitrátů v nejstarších listech obsahovaly bazalky pěstované v hydroponickém stole s NPK optimem (kontrola). Hodnoty obsahu nitrátů v nejmladších listech se od sebe nijak výrazně nelišily.

Hodnoty směrodatných odchylek opět zaznamenávají míru variability hodnot, podle kterých lze posuzovat, jak moc jsou hodnoty rozptýleny kolem průměru. V případě, kdy se směrodatná odchylka rovná nule, byl za celý genotyp sesbírán pouze jediný vzorek rostliny. Z Tabulek 7, 8 a hodnot směrodatných odchylek je zřejmé, že si všechny hodnoty byly velmi blízké.

Tabulka 7. Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky hmotnosti suché biomasy, naměřené absorbance, koncentrace dusičnanů a obsahu dusičnanů ve vzorcích nejstarších listů bazalky.

Typ výživy	Genotyp bazalky	Hmotnost suchých listů [mg]		OD <sub>410</sub>		Koncentrace nitrátů [μg.l <sup>-1</sup> ]		Obsah nitrátů [μg.g <sup>-1</sup> ]	
		Průměr	Sm. odch.	Průměr	Sm. odch.	Průměr	Sm. odch.	Průměr	Sm. odch.
1. stůl	2.	9,82	1	0,26	0,11	57,31	0,13	5,90	0,65
	3.	10,01	0,81	0,23	0,07	57,27	0,08	5,76	0,50
	4.	10,36	0	0,26	0	57,31	0	5,53	0
2. stůl	1.	10,52	0,26	0,26	0,14	57,31	0,17	5,45	0,15
	2.	10,34	0,17	0,39	0,09	57,47	0,11	5,56	0,10
	3.	10,63	0,23	0,18	0,04	57,22	0,05	5,39	0,12
	4.	10,79	0,24	0,22	0,10	57,27	0,13	5,31	0,13
3. stůl	1.	10,23	0,07	0,16	0,04	57,19	0,04	5,59	0,04
	2.	10,85	0	0,08	0	57,10	0	5,26	0
	3.	10,63	0,32	0,26	0,12	57,31	0,14	5,40	0,18
	4.	10,30	0,21	0,26	0,06	57,32	0,08	5,57	0,12
4. stůl	2.	10,87	0,08	0,28	0,17	57,33	0,20	5,28	0,06
	3.	10,38	0,18	0,20	0,08	57,24	0,10	5,52	0,09
	4.	10,63	0,15	0,32	0,12	57,39	0,15	5,40	0,08

Tabulka 8. Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky hmotnosti suché biomasy, naměřené absorbance, koncentrace dusičnanů a obsahu dusičnanů ve vzorcích nejmladších listů bazalky.

Typ výživy	Genotyp bazalky	Hmotnost suchých listů [mg]				Koncentrace nitrátů [ $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ]		Obsah nitrátů [ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ]	
		Průměr		Sm. odch.		Průměr		Sm. odch.	
		Průměr	Sm. odch.	Průměr	Sm. odch.	Průměr	Sm. odch.	Průměr	Sm. odch.
1. stůl	2.	10,73	0,08	0,38	0,25	57,45	0,30	5,36	0,07
	3.	10,65	0,13	0,22	0,12	57,27	0,15	5,38	0,06
	4.	10,63	0	0,50	0	57,60	0	5,42	0
2. stůl	1.	10,24	0,32	0,14	0,06	57,17	0,07	5,59	0,16
	2.	10,50	0,15	0,16	0,02	57,20	0,02	5,45	0,07
	3.	10,45	0,22	0,28	0,06	57,33	0,08	5,49	0,12
	4.	10,63	0,21	0,32	0,17	57,39	0,20	5,40	0,11
3. stůl	1.	10,48	0,25	0,14	0,01	57,17	0,01	5,46	0,13
	2.	10,90	0	0,08	0	57,10	0	5,24	0
	3.	10,56	0,24	0,24	0,18	57,29	0,22	5,43	0,12
	4.	10,80	0,13	0,24	0,02	57,29	0,02	5,31	0,07
4. stůl	2.	10,58	0,09	0,24	0,04	57,29	0,04	5,42	0,05
	3.	10,40	0,29	0,18	0,05	57,21	0,06	5,50	0,15
	4.	10,58	0,21	0,16	0,06	57,19	0,07	5,41	0,11

## **5 DISKUSE**

### **5.1 Optimalizace hydroponického pěstování bazalky (*Ocimum basilicum*) v systému DFT**

#### **5.1.1 Optimalizace vzcházení v podmínkách pěstebního fytotronu**

Byl sledován vliv substrátu perlitu a rockwoolu na dynamiku klíčení a vzcházení jednotlivých genotypů bazalky.

Tři ze čtyř genotypů byly, co se klíčení a vzcházení týče, poměrně vyrovnané, velmi se od nich odlišovala varianta 2/88-H, která měla oproti ostatním genotypům výrazně menší klíčivost. To mohlo být zapříčiněno např. stářím semen.

Z hlediska manipulace a následného transferu bazalek do hydroponických košíčků se jako vhodnější substrát pro pěstování rostlin jevíly rockwool kostky.

Autor Putievsky v roce 1983 publikoval práci, ve které zkoumal rychlost klíčení semen bazalky v závislosti na teplotě. Bazalky vyklíčily velmi rychle zejména při teplotě v rozmezí 21–30 °C a po 4 dnech bylo vyklíčeno více než 80 % semen. Za jiných teplot probíhalo klíčení pomaleji, a i procento klíčení bylo nižší, to odpovídá mým výsledkům, protože fytotron využívaný k mému experimentu byl nastaven na teplotu 20 °C. Na konci pěstování bazalek, 16. den po vysetí, byly nejúspěšnější bazalky vyklíčeny z více než 70 %.

#### **5.1.2 Neinvazivní fenotypování pomocí obrazové analýzy**

Autorka Zeljković a kol. (2022) ve vědecké práci přišla na to, že genotypy bazalky, bez ohledu na živný roztok a obsah dusičnanů v něm, porostly během dne 15 až 21 od vystavení různým koncentracím dusičnanů, o více než 50 %. V mém případě, vzhledem k fenotypizaci, nabyl na své výšce o více než 50 % po 15 dnech od transferu do hydroponického systému genotyp 2/88-H (bazalka 1.2.2) a Cardinal (bazalka 4.3.3). Genotypům Di Genova a Foglia Profumatissima (bazalka 3.1.4) a Mammoth (2.4.2) to po transferu do hydroponického systému trvalo více než 20 dní.

### 5.1.4 Manuální fenotypování

Manuálním fenotypováním byly stanoveny délky kořenů, prýtů a počty listů pěstovaných rostlin. Cílem bylo zjistit dynamiku růstu jednotlivých genotypů bazalek v hydroponických systémech s různým typem výživy.

Jak již bylo uvedeno, pro velkou heterogenitu pěstovaných bazalek kvůli mnohým technickým problémům nebylo možné na konci experimentu stanovit závěr pomocí statistického přístupu. Nelze tedy určit výsledek vlivu použití biostimulantu ornithinu a režimu výživy na dynamiku růstu a vývoje pěstovaných rostlin.

V práci, jejíž autorem je Khater a kol. (2021) je uvedeno, že bazalky pěstované v hydroponickém systému dosahovaly v době 4 týdnů od transferu do systému velikosti 37 cm, a v době 7 týdnů po transferu velikosti 48 cm. Takových délek bazalky v mém experimentu nedosáhly, polovina pěstovaných bazalek se pohybovala okolo velikosti 20 cm, z toho několik dosahovalo až téměř 30 cm. Důvodem rozdílnosti může být jiný hydroponický systém, kdy autor pěstoval bazalky v systému DWC, kdežto můj experiment probíhal v systému DFT. Systém DWC má výrazně větší prostor na rozvoj kořenového systému. Autor také uvádí výšku nadzemní části rostliny. V době 4 pěstebních týdnů se jednalo o výšku 58 cm a v době 7 pěstebních týdnů to bylo až 66 cm. V mém případě bazalky dosáhly sotva 20 cm až na pár výjimek, které dosahovaly ke 30 cm.

Autor Nassar a kol. (2013) uvádí, že bazalka dosahuje svého maximálního vzrůstu ve stáří 14 týdnů, kdy už je ve kvetoucí fázi. Takové pěstební doby při tomto experimentu nebylo možné z časových možností dosáhnout. Dalším důvodem, proč nebylo dosaženo tak dlouhé pěstební doby, byla nedostatečná opora rostlin v hydroponickém systému, při větším vzrůstu se začaly rostliny lámat a padat.

Tentýž autor (2013) zmiňuje, že do věku 10 týdnů je počet listů u bazalky nevýrazný. Teprve až ve stáří 12 a 14 týdnů dochází k obrovskému nárůstu počtu listů. V případě mého experimentu byly bazalky pěstovány nanejvýš 10 týdnů, většinou to bylo výrazně kratší dobu, tudíž opět není možné posoudit, jaký by byl rozdíl v počtu listů v následujících týdnech.

### **5.1.5 Spektrofotometrické stanovení obsahu dusičnanů**

Pro velkou heterogenitu experimentálních rostlin nebylo možné vytvořit statistický závěr vlivu výživy a použití biostimulantu ornithinu na obsah nitrátů ve zkoumaných rostlinách bazalky. Z naměřených a spočítaných hodnot spektrofotometrického stanovení nitrátů ve vzorcích sklizených bazalek bylo zjištěno, že se hodnoty od sebe liší pouze v rámci setin, nelze tedy pozorovat větší rozdíly.

## 6 ZÁVĚR

Předmětem této práce bylo ověření možného metodického postupu pro hodnocení vlivu změněných výživových parametrů a aplikace biostimulantů při hydroponickém pěstování bazalky.

Teoretická část bakalářské práce byla zaměřena na technologii hydroponického pěstování. Pojednává o několika vybraných hydroponických systémech, vertikálním farmaření, akumulaci nitrátů v pěstovaných rostlinách, jejich vlivu na lidské zdraví a metodách jejich stanovení. Taktéž se dotýká vlivu biostimulantů na rostliny a jejich širokého využití.

K experimentální části byly vybrány 4 genotypy bazalky pravé (*Ocimum basilicum* L.) – Di Genova a Foglia Profumatissima, Cardinal, Mammoth a 2/88-H.

Nejprve byly 4 genotypy bazalky předpěstovány ve fytotronu. Zde byl zkoumán vliv dvou substrátů, perlitu a rockwool kostek, na růst a vývoj rostlin. Jako vhodnější substrát se jevily rockwool kostky. Genotyp 2/88-H měl ze všech 4 genotypů nejhorší klíčivost. Část bazalek byla poté vystavena působení biostimulantu ornithinu po dobu 24 a 48 hodin.

Následně probíhalo pěstování bazalek v hydroponických systémech ve skleníku. Pro pěstování byly zvoleny 4 režimy výživy, v první hydroponické vaně byl ½ Hoaglandův živný roztok s NPK optimem (kontrola), ve zbylých třech vanách byl ½ Hoaglandův živný roztok se sníženým obsahem dusičnanů, z toho ve dvou vanách byly pěstovány bazalky vystavené působení biostimulantu ornithinu.

Současně během pěstování bazalek v hydroponických systémech byly bazalky neinvazivně fenotypovány pomocí obrazové analýzy ve fenotypizačním boxu. Se získanými fotografiemi ze tří projekcí bylo dále pracováno v programu MorphoAnalysisGUI, který poskytuje kvantitativní data několika parametrů pěstovaných rostlin. Ze získaných parametrů byly sestrojeny grafy.

Na závěr hydroponického pěstování byly bazalky podrobeny manuální fenotypizaci, kdy jim byla změřena délka kořene, prýtu a byly jim spočítány listy. Genotyp Cardinal měl jak nejvyspělejší kořenový systém, tak dosahoval i největší délky prýtu. Co se délky prýtu týče, nejmenšího vzrůstu byly průměrně bazalky pěstované na stole se sníženým obsahem dusíku, naopak největšího vzrůstu dosahovaly bazalky vystavené působení biostimulantu ornithinu po dobu 48 hodin.

Následně byly z každé bazalky zamraženy nejstarší a nejmladší listy, ve kterých byl stanovován obsah dusičnanů pomocí spektrofotometrie. Stanovené obsahy dusičnanů ve vzorcích studovaných rostlin se v průměru pohybovaly v rozmezí hodnot 5,24 – 5,90  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ .

Kvůli mnohým technickým problémům během celé experimentální práce a velké heterogenitě pěstovaných bazalek nebylo možné stanovit závěr vlivu biostimulantu ornithinu a režimu výživy na růst a vývoj rostlin pomocí statistického přístupu.

Pro dosažení stanovených cílů práce by bylo zapotřebí experiment zopakovat a při tom čerpat z již získaných poznatků pro zlepšení homogenity testovaných rostlin.

I přesto tato práce přinesla mnohé poznatky a cenné zkušenosti, ze kterých je možné čerpat pro experimenty zabývající se hydroponickým pěstováním (nejen) aromatických rostlin v různých růstových podmínkách a taktéž jejich hodnocením neinvazivní fenotypizací pomocí obrazové analýzy pro optimalizaci pěstování rostlin ve vertikálních farmách.

## POUŽITÁ LITERATURA

- Calvo Velez P., Nelson L., Kloepper J. W. (2014) Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*. **383**.
- Ćavar Zeljković S., Aucique\_Perez C. E., Štefelová N., De Diego N. (2022) Optimizing growing conditions for hydroponic farming of selected medicinal and aromatic plants. *Food Chemistry*. **375**.
- De Diego N., Spíchal L. (2022) Presence and future of plant phenotyping approaches in biostimulant research and development. *Journal of Experimental Botany*.
- du Jardin P. (2015) Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, **196**, 3–14.
- Duchoň F., Kynčl J. (1960) Pěstování rostlin bez půdy: hydroponie. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Fiala P. (2018) Stanovení dusičnanů v kořenové zelenině [online]. Brno, 2018. Dostupné z: <https://theses.cz/id/wmu50y/>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- Hernández A. E., Aucique-Perez C. E., Ćavar Zeljković S., Štefelová N., Salcedo Sarmiento S., Spíchal L., De Diego N. (2022) Priming with Small Molecule-Based Biostimulants to Improve Abiotic Stress Tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Plants*. **11**, 1287.
- Hlobilová V. (2013) Dusitany a dusičnany ve stravě – jejich negativa a pozitiva [online]. Brno, 2013. Dostupné z: <https://theses.cz/id/740vno/>. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta.
- HOAGLAND D. R., ARNON D. I. (1938) The water-Culture Method for Growing Plants Without Soil. University of California, College of Agriculture, USA, 41 stran.
- Hussein H. A. A., Mekki B. B., El-Sadek M. E. A., El Lateef E. E. (2019) Effect of L-Ornithine application on improving drought tolerance in sugar beet plants. *Heliyon*. **5**(10).
- Jahodář L. (2022) *Farmaceuticky významné rostliny*. Univerzita Karlova, Karolinum. Praha.
- Jones J. B. Jr. (2004) *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. 2. vydání. CRC Press. 440 stran.
- Kaur-Sawhney R., Tiburcio A. F., Altabella T., Galston A. W. (2002) Polyamines in plants: An overview. *Journal of Cell and Molecular Biology*, **2**, 1–12.



- Kürklü A., Dr. Ghafoor A., Engr. Khan F. A., Ali Q. (2018) A Review on Hydroponic Greenhouse Cultivation for Sustainable Agriculture. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*. **2**, 59–66.
- Khater E.-S., Bahnasawy A., Abass W., Morsy O., El-Ghobashy H., Shaban Y., Egela M. (2021) Production of basil (*Ocimum basilicum* L.) under different soilless cultures. *Scientific reports*. **11**(1), 12754.
- Kozai, T. (2018) *Smart Plant Factory: The Next Generation Indoor Vertical Farms*. Springer, Singapore.
- Kozai T., Niu G., Takagaki M. (2020) *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. Academic Press.
- Krouk G., Crawford N. M., Coruzzi G. M., Tsay Y.-F. (2010) Nitrate signaling: adaption to fluctuating environments. *Current opinion in plant biology*. **13**(3), 266–273.
- Kulcheski F. R., Côrrea R., Gomez I. A., De Lima J. C., Margis R (2015) NPK macronutrients and microRNA homeostasis. *Frontiers in Plant Science*. **6**, 451.
- Kuo H. F., Chiou T. J. (2011) The Role in MicroRNAs in Phosphorus Deficiency Signaling. *Plant Physiology*. **156**(3), 1016–1024.
- Kusuma P., Pattison P. M., Bugbee B. (2020). From physics to fixtures to food: current and potential LED efficacy. *Horticulture Research*. **7**.
- Lastra O. C. (2003) Derivative Spectrophotometric Determination of Nitrate in Plant Tissue. *Journal of AOAC International*. **86**(6), 1101–1105.
- Majumdar R., Minocha R., Minocha S. (2015) Ornithine: At the Crossroads of Multiple Paths to Amino Acids and Polyamines. In: *D'Mello, J.P.F., ed. Amino acids in higher plants*. 156–176.
- Manos D. P., Xydis G. (2019) Hydroponics: are we moving towards that direction only because of the environment? A discussion on forecasting and a systems review. *Environmental Science and Pollution Research*. **26**, 12662–12672.
- Matthew N. B., Augustine A. U., Shaibu S. E., Akpomie K. G., Etim E. U., Efiog N. E., Oleh F. (2019) Spectroscopic Evaluation of Nitrate and Nitrite Concentration in Selected Fruits and Vegetables. *International Journal of Scientific Engineering and Science*. **3**(9), 32–35.
- Nassar M. A., El-Segai M. U., Mohamed S. N. A. (2013) Botanical Studies on *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae). *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*. **9**(5), 150–163.

- Nurzyńska-Wierdak R., Rožek E., Borowski B. (2011) Response of different basil cultivars to nitrogen and potassium fertilization: Total and mineral nitrogen content in herb. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*. **10**(4), 217–232.
- Pandey R., Jain V., Singh K. P. (2009) Hydroponics Agriculture: Its Status, Scope and Limitations.
- Prath-Krejčová I. (2020) Zahrada: přírodní, okrasná, užitková. Grada Publishing. Praha.
- Putievsky E. (1983) Temperature and daylength influences on the growth and germination of sweet basil and oregano. *Journal of Horticultural Science*. **58**(4), 583–587.
- Raghothama K. G. (1999) Phosphate acquisition. *Annual review of plant physiology and plant molecular biology*. **50**, 665–693.
- Rezaei M., Fani A., MOINI A. L., Mirzajani P., Malekirad A. A., RAFIEI M. (2014) Determining Nitrate and Nitrite Content in Beverages, Fruits, Vegetables, and Stews Marketed in Arak, Iran. *International Scholarly Research Notices*, **2014**.
- SharathKumar M., Heuvelink E., Marcelis L. F. M. (2020) Vertical Farming: Moving from Genetic to Environmental Modification. *Trends in plant science*. **25**(8), 724–727.
- Sharma N., Acharya S., Kumar K., Singh N., Chaurasia O. P. (2018) Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation*. **17**(4), 364–371.
- Sivashanmugam M., Jaidev J., Umashankar V., Sulochana K. N. (2017) Ornithine and its role in metabolic diseases: An appraisal. *Biomedicine & pharmacotherapy*. **86**, 185–194.
- Soiklom S., Petchpoung K., Siri-anusornsak W. (2021) Comparison of Sample Pretreatment and Analytical Method for Nitrate Determination in Vegetables. *Trends in Sciences*. **18**, 19.
- Stein L. Y., Klotz M. G. (2016) The nitrogen cycle. *Current Biology*. **26**, 3.
- Texier W. (2013) Hydroponie pro každého – Vše o domácím pěstování. Mama Editions, Paříž, Francie.
- Véber K. (1986) Hydroponické kultivační systémy. Academia, Praha.
- Ward M. H., deKok T. M., Levallois P., Brender J., Gulis G., Nolan B. T., VanDerslice J., International Society for Environmental Epidemiology (2005) Workgroup Report: Drinking-Water Nitrate and Health – Recent Findings and Research Needs. *Environmental Health Perspectives*. **113**, 1607–1614.
- Xu L., Geelen D. (2018) Developing Biostimulants From Agro-Food and Industrial By-Products. *Frontiers in Plant Science*. **9**, 1567.

- Zervoudakis G., Salachas G., Rodi M. (2015) Nitrogen Nutrition Effect on Aeroponic Basil (*Ocimum basilicum* L.) Catalase and Lipid Peroxidation. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. **43**.
- Zhao L., Liu F., Crawford N. M., Wang Y. (2018) Molecular Regulation of Nitrate Responses in Plants. *International Journal of Molecular Sciences*. **19**.
- Zhao L., Wang Y. (2017) Nitrate Assay for Plant Tissues. *Bio-protocol*. **7**, 2.
- Zörb Ch., Senbayram M., Peiter E. (2014) Potassium in agriculture – Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*. **171**, 656–669.

## PŘÍLOHY

Tabulka 9. Jednotlivé hodnoty manuálního fenotypování sklizených bazalek.

Vzorek	Délka prýtu [cm]	Délka kořene [cm]	Počet listů
1.2.1	14,8	0,7	30
1.2.2	13,6	2	16
1.2.4	21,3	8,7	40
1.3.1	12,2	10,8	50
1.3.2	22,7	18,3	66
1.3.3	15,9	11,5	78
1.3.5	34,8	22,1	156
1.4.4	16,7	28,7	28
2.1.1	13,5	12,2	38
2.1.2	6,3	29	26
2.1.4	8,3	22,3	28
2.1.5	18,5	5,7	44
2.2.2	11,6	4,5	22
2.2.5	8,3	3	10
2.3.1	24,6	19,2	48
2.3.2	10,8	26,1	68
2.3.4	11,2	10,7	60
2.3.5	15,8	3,3	36
2.4.1	17,3	29	28
2.4.2	20,8	29	23
2.4.4	14,4	22,6	22
2.4.5	8,7	13,6	15
3.1.2	15,6	14,9	36
3.1.4	9,6	18,8	24
3.2.1	17,4	13,4	36
3.3.1	16,2	33,8	103
3.3.2	20,1	17,7	68
3.3.3	17,6	16,2	72
3.3.4	6,1	27	26
3.3.5	19	30	86
3.4.1	17	25,4	10
3.4.2	18,2	9,6	24
3.4.4	11,3	3	17
4.2.1	17,2	14,1	35
4.2.4	27,3	1,2	50
4.3.1	11,3	24,1	78

---

<b>4.3.2</b>	25,4	20,2	90
<b>4.3.3</b>	12,3	24,7	36
<b>4.3.4</b>	29,7	25,7	223
<b>4.3.5</b>	28,9	16,2	73
<b>4.4.1</b>	6,3	0,5	9
<b>4.4.2</b>	12	18,5	18
<b>4.4.3</b>	18,5	20,6	18
<b>4.4.5</b>	23,2	34,7	28

---

Tabulka 10. Hmotnosti suchých listů, které byly naváženy na přibližnou hodnotu 10 mg. Sloupec OD představuje naměřené hodnoty absorpance při vlnové délce 410 nm. Pomocí hodnot absorpance byla stanovena koncentrace nitrátů a následně obsah nitrátů v jednotlivých vzorcích. ML = nejmladší listy, SL = nejstarší listy.

Vzorek	Hmotnost		OD <sub>410</sub>	Koncentrace	Obsah
	suchých listů	[mg]		dusičnanů	dusičnanů
				[μg.l <sup>-1</sup> ]	[μg.g <sup>-1</sup> ]
1.2.1	SL	8,44	0,39	57,47	6,81
	ML	10,62	0,72	57,86	5,45
1.2.2	SL	10,29	0,13	57,16	5,55
	ML	10,80	0,27	57,32	5,31
1.2.4	SL	10,74	0,25	57,30	5,34
	ML	10,76	0,14	57,17	5,31
1.3.1	SL	10,90	0,30	57,35	5,26
	ML	10,43	0,14	57,17	5,48
1.3.2	SL	10,05	0,27	57,32	5,70
	ML	10,76	0,40	57,48	5,34
1.3.3	SL	10,38	0,11	57,13	5,50
	ML	10,75	0,08	57,10	5,31
1.3.5	SL	8,70	0,22	57,27	6,58
	ML	10,66	0,27	57,33	5,38
1.4.4	SL	10,36	0,26	57,31	5,53
	ML	10,63	0,50	57,60	5,42
2.1.1	SL	10,54	0,18	57,22	5,43
	ML	10,03	0,08	57,10	5,69
2.1.2	SL	10,11	0,48	57,58	5,69
	ML	9,95	0,10	57,12	5,74
2.1.4	SL	10,59	0,26	57,31	5,41
	ML	10,20	0,14	57,17	5,60

---

	<b>SL</b>	10,82	0,12	57,14	5,28
<b>2.1.5</b>	<b>ML</b>	10,78	0,24	57,29	5,32
	<b>SL</b>	10,17	0,48	57,57	5,66
<b>2.2.2</b>	<b>ML</b>	10,64	0,18	57,22	5,38
	<b>SL</b>	10,51	0,30	57,36	5,46
<b>2.2.5</b>	<b>ML</b>	10,35	0,14	57,17	5,52
	<b>SL</b>	10,73	0,20	57,24	5,33
<b>2.3.1</b>	<b>ML</b>	10,79	0,25	57,30	5,31
	<b>SL</b>	10,31	0,11	57,13	5,54
<b>2.3.2</b>	<b>ML</b>	10,38	0,18	57,21	5,51
	<b>SL</b>	10,94	0,23	57,27	5,23
<b>2.3.4</b>	<b>ML</b>	10,43	0,33	57,39	5,50
	<b>SL</b>	10,52	0,19	57,22	5,44
<b>2.3.5</b>	<b>ML</b>	10,18	0,34	57,41	5,64
	<b>SL</b>	10,39	0,36	57,44	5,53
<b>2.4.1</b>	<b>ML</b>	10,77	0,36	57,46	5,33
	<b>SL</b>	10,98	0,27	57,32	5,22
<b>2.4.2</b>	<b>ML</b>	10,37	0,54	57,65	5,56
	<b>SL</b>	10,87	0,16	57,19	5,26
<b>2.4.4</b>	<b>ML</b>	10,89	0,30	57,37	5,27
	<b>SL</b>	10,93	0,09	57,11	5,22
<b>2.4.5</b>	<b>ML</b>	10,49	0,07	57,09	5,44
	<b>SL</b>	10,30	0,12	57,14	5,55
<b>3.1.2</b>	<b>ML</b>	10,23	0,13	57,16	5,59
	<b>SL</b>	10,16	0,19	57,23	5,63
<b>3.1.4</b>	<b>ML</b>	10,72	0,14	57,17	5,33
<b>3.2.1</b>	<b>SL</b>	10,85	0,08	57,10	5,26

---

---

	<b>ML</b>	10,90	0,08	57,10	5,24
<b>3.3.1</b>	<b>SL</b>	10,99	0,17	57,20	5,20
	<b>ML</b>	10,76	0,13	57,15	5,31
<b>3.3.2</b>	<b>SL</b>	10,85	0,29	57,35	5,29
	<b>ML</b>	10,62	0,60	57,71	5,43
<b>3.3.3</b>	<b>SL</b>	10,52	0,13	57,15	5,43
	<b>ML</b>	10,12	0,10	57,13	5,64
<b>3.3.4</b>	<b>SL</b>	10,72	0,23	57,28	5,34
	<b>ML</b>	10,79	0,18	57,21	5,30
<b>3.3.5</b>	<b>SL</b>	10,06	0,47	57,56	5,72
	<b>ML</b>	10,51	0,19	57,23	5,45
<b>3.4.1</b>	<b>SL</b>	10,43	0,20	57,24	5,49
	<b>ML</b>	10,85	0,22	57,27	5,28
<b>3.4.2</b>	<b>SL</b>	10,46	0,24	57,29	5,48
	<b>ML</b>	10,93	0,24	57,28	5,24
<b>3.4.4</b>	<b>SL</b>	10,00	0,35	57,43	5,74
	<b>ML</b>	10,62	0,26	57,31	5,40
<b>4.2.1</b>	<b>SL</b>	10,79	0,44	57,53	5,33
	<b>ML</b>	10,49	0,28	57,33	5,47
<b>4.2.4</b>	<b>SL</b>	10,95	0,11	57,13	5,22
	<b>ML</b>	10,67	0,20	57,25	5,37
<b>4.3.1</b>	<b>SL</b>	10,50	0,29	57,35	5,46
	<b>ML</b>	10,31	0,21	57,25	5,55
<b>4.3.2</b>	<b>SL</b>	10,07	0,07	57,08	5,67
	<b>ML</b>	10,11	0,08	57,10	5,65
<b>4.3.3</b>	<b>SL</b>	10,49	0,14	57,17	5,45
	<b>ML</b>	10,17	0,21	57,25	5,63

---



---

<b>4.3.4</b>	<b>SL</b>	10,28	0,25	57,31	5,57
	<b>ML</b>	10,92	0,22	57,26	5,24
<b>4.3.5</b>	<b>SL</b>	10,55	0,24	57,28	5,43
	<b>ML</b>	10,51	0,16	57,19	5,44
<b>4.4.1</b>	<b>SL</b>	10,72	0,15	57,18	5,33
	<b>ML</b>	10,21	0,09	57,11	5,59
<b>4.4.2</b>	<b>SL</b>	10,47	0,50	57,60	5,50
	<b>ML</b>	10,72	0,12	57,14	5,33
<b>4.4.3</b>	<b>SL</b>	10,82	0,33	57,39	5,30
	<b>ML</b>	10,65	0,24	57,29	5,38
<b>4.4.5</b>	<b>SL</b>	10,50	0,31	57,37	5,46
	<b>ML</b>	10,73	0,18	57,21	5,33

---

Fotografie jednotlivých bazalek z fenotypizačního boxu a grafy příslušných růstových parametrů jsou dostupné na přiloženém CD.