

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
Katedra botaniky a fyziologie rostlin



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Využití biostimulantů při pěstování rostlin rostoucích
v podmínkách abiotických stresorů**

Bakalářská práce

Autor práce: Ondřej Nikl

Obor studia: Ekologické zemědělství

Vedoucí práce: Ing. Marie Lhotská

Konzultant: doc. Ing. František Hnilička, Ph.D.

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Využití biostimulantů při pěstování rostlin v podmínkách abiotických stresorů" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 3. 5. 2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Marii Lhotské za odborné vedení, připomínky a konzultace v průběhu zpracování této práce. Velký dík patří také doc. Ing. Františku Hnilíčkoví, Ph.D. za cenné rady, poskytnuté materiály, spolupráci ve skleníku a nezměrnou ochotu a vstřícnost být nápomocen, kdykoliv byl o to požádán. Dále pak děkuji prof. Dr. Ing. Luboši Borůvkovi za poskytnutí literatury týkající se salinity půd.

Největší poděkování patří mé ženě Petře, bez jejíž podpory bych nyní nemohl děkovat nikomu jinému.

Využití biostimulantů při pěstování rostlin rostoucích v podmínkách abiotických stresorů

Souhrn

Cílem práce bylo stanovení vlivu biostimulátorů na fyziologické charakteristiky rostlin rostoucích v podmínkách abiotického stresoru. S ohledem na celosvětovou závažnost byl zvolen stres zasolením. Jako modelová rostlina byla pro svou citlivost na zasolení vybrána locika setá (*Lactuca sativa*).

Nádobový pokus byl založen v částečně řízených skleníkových podmínkách při teplotě vzduchu $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, vlhkosti vzduchu cca 65 % a umělém dosvětlování na délku dne 12 hod. Schéma pokusu zahrnovalo čtyři varianty: jednu kontrolní a tři pokusné, které byly stresovány zálivkou o koncentraci 50 mmol NaCl L⁻¹, 150 mmol NaCl L⁻¹ a 200 mmol NaCl L⁻¹. Každá varianta byla rozdělena do čtyř skupin. Jedna skupina byla kontrolní (bez aplikace biostimulantu). Na další tři skupiny byly foliárně aplikovány zvolené biostimulanty: *Arthrospira platensis* (2 g L⁻¹), *Chlorella pyrenoidosa* (2 g L⁻¹) a ALGAVIT (1 g L⁻¹). Do každého roztoku bylo přidáno smáčedlo WETCIT v koncentraci 2 mL L⁻¹.

První měření se uskutečnilo ve fázi, kdy měly rostliny 6-8 pravých listů. Po té bylo provedeno zasolení zálivkou a první aplikace biostimulantů. Dalších pět měření se uskutečnilo v týdenních intervalech. Byly sledovány následující fyziologické charakteristiky: rychlost transpirace, rychlost fotosyntézy, stomatální vodivost, obsah chlorofylu a fluorescence chlorofylu. Na konci pokusu byla změřena hmotnost čerstvé biomasy jednotlivých variant.

Dle dosažených výsledků práce lze konstatovat, že stres v důsledku zvýšené koncentrace signifikantně ovlivnil fyziologické charakteristiky a hmotnost biomasy lociky seté. V kontrolní variantě bylo při koncentraci 200 mmol NaCl L⁻¹ zaznamenáno průkazné snížení rychlosti transpirace o 23 %, snížení rychlosti fotosyntézy o 16 % a snížení stomatální vodivosti o 48 %. Nejvyšší obsah chlorofylu a nejvyšší fluorescence chlorofylu byl naměřen v kontrolní variantě při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹. Při téže koncentraci bylo v kontrolní variantě zjištěno snížení hmotnosti čerstvé biomasy o cca 75 %. Při koncentraci 200 mmol NaCl L⁻¹ začaly rostliny hynout.

Byla potvrzena hypotéza, že aplikace biostimulantů ovlivňuje fyziologické charakteristiky stresovaných rostlin. Pozitivní vliv biostimulantů se projevil také tím, že varianty ošetřené biostimulanty vykázaly signifikantně vyšší hmotnost čerstvé biomasy při všech koncentracích zasolení. Dále byla prokázána hypotéza, že existují rozdíly v rámci složení testovaných látek na fyziologické parametry pokusného druhu rostliny. Hypotéza, že existuje rozdíl v reakci sledovaného druhu rostliny na aplikaci testovaných látek a na působení stresoru, byla podložena literárně.

Klíčová slova: biostimulanty, abiotický stres, *Lactuca sativa*, výměna plynů, pigmenty

Use of biostimulants in plants grown under abiotic stress conditions

Summary

The aim of this study was to establish the influence of biostimulants on physiological characteristics of the plants grown under abiotic stress conditions. Salinity stress had been chosen in regard to the global issues. A model plant for this thesis was decided to be *Lactuca sativa* for its sensitivity to salinity.

The container experiment was proceeded in partly controlled greenhouse conditions: air temperature $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, air humidity circa 65% and artificial lighting set to 12 hours day period. The experimental scheme included four variants: one control and three experimental, which had been stressed by solutions with concentrations of 50 mmol NaCl L⁻¹, 150 mmol NaCl L⁻¹ and 200 mmol NaCl L⁻¹. Each of the variants were divided into four groups. One of them was a control group (without application of the biostimulant). For the rest of the groups was chosen the foliage application of the following biostimulants: *Arthrospira platensis* (2 g L⁻¹), *Chlorella pyrenoidosa* (2 g L⁻¹) and ALGAVIT (1 g L⁻¹). In to each of the above mentioned solutions had been added a wetting agent WETCIT with concentration of 2 mL L⁻¹.

The first measurement was taken at the stage in which the plants developed 6-8 leaves. The next step was salinitation and first application of biostimulants. Another five measurements were taken in one week intervals. The following physiological characteristics had been observed: speed of transpiration, speed of photosynthesis, stomatal conductivity, chlorophyll content and chlorophyll fluorescence. Weight of the biomass produced by each of the variants had been measured at the end of the experiment.

According to the obtained results can be confirmed that the increased stress significantly influenced physiological characteristics and weight of the biomass of *Lactuca sativa*. In the control variant with concentration of 200 mmol NaCl L⁻¹ was observed conclusive decrease of transpiration speed by 23 %, decrease of photosynthesis speed by 16 % and decrease of stomatal conductivity by 48 %. The highest chlorophyll fluorescence and chlorophyll content was recorded in the control variant with concentration of 150 mmol NaCl L⁻¹. In this variant decreased weight of the fresh biomass by circa 75 %. The concentration of 200 mmol NaCl L⁻¹ caused that the plants started to decrease.

It has been shown that application of biostimulants influences physiological characteristics of stressed plants. The variants affected by biostimulants with all the types of concentrations proved to have significantly higher weight in biomass. Furthermore has been proved that there are existing differences in the content of the tested substances for physiological parameters of the model plant. The hypothesis of the existing difference in reaction of the model plant on application of the tested substances and on influence of the stressor was proved on a theoretical base.

Keywords: biostimulants, abiotic stress, *Lactuca sativa*, gas exchange, pigments

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce a hypotézy	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Stres rostlin	3
3.1.1	Definice stresu	3
3.1.2	Druhy stresorů	4
3.1.3	Průběh stresové reakce	5
3.1.4	Mechanismy stresových reakcí	6
3.2	Stres zasolením	10
3.2.1	Salinita půd.....	10
3.2.2	Vliv zasolení na rostliny.....	12
3.2.3	Adaptace rostlin na zasolení.....	16
3.3	Biostimulanty	18
3.3.1	Definice a legislativa	18
3.3.2	Rozdělení a účinky biostimulátorů.....	19
3.4	Řasy	23
3.4.1	Botanická charakteristika řas.....	23
3.4.2	Využití řas jako biostimulantů	27
3.4.3	Další možnosti využití řas	28
3.4.4	Kultivace a zpracování makrořas a mikrořas	30
3.5	Botanická charakteristika lociky seté	34
4	Materiál a metody	35
4.1	Charakteristika rostlinného materiálu	35
4.2	Charakteristika použitých biostimulantů a pomocných látek	35
4.2.1	<i>Arthrospira platensis</i> (syn. <i>Spirulina platensis</i>).....	35
4.2.2	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	35
4.2.3	ALGAVIT	35
4.2.4	WETCIT	36
4.3	Schéma pokusu	36
4.4	Měření fyziologické charakteristiky	37
4.4.1	Měření výměny plynů	37
4.4.2	Stanovení obsahu chlorofylu	38
4.4.3	Fluorescence chlorofylu	39
4.5	Hmotnost biomasy	39
4.6	Statistické vyhodnocení	39
5	Výsledky	40

5.1	Rychlost transpirace	40
5.2	Rychlost fotosyntézy	44
5.3	Stomatální vodivost.....	48
5.4	Obsah chlorofylu.....	49
5.5	Fluorescence chlorofylu.....	52
5.6	Hmotnost biomasy	55
6	Diskuze.....	57
6.1	Rychlost transpirace	57
6.2	Rychlost fotosyntézy	58
6.3	Stomatální vodivost.....	58
6.4	Obsah chlorofylu.....	59
6.5	Fluorescence chlorofylu.....	60
6.6	Hmotnost biomasy	60
7	Závěr	62
8	Bibliografie.....	63
9	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	82

1 Úvod

V důsledku klimatické změny a intenzifikace konvenčního zemědělství jsou abiotické stresy působící na rostliny stále častější a silnější.

Jedním z nejvýznamnějších stresorů je zasolení, které ovlivňuje fyziologické a biochemické procesy rostlin a způsobuje velké ztráty ve výnosech biomasy. Odhaduje se, že v současnosti trpí zasolením cca 20 % obhospodařovaných půd a tato plocha se každým rokem zvyšuje. Do roku 2050 bude zasoleno více než 50 % celosvětové výměry orné půdy. Mezi nejpostiženější patří země s nejvyššími počty obyvatel, např. Čína, Indie, USA či Pákistán. V Evropě se nejvyšší podíl zasolených půd nachází ve Středomoří, kde dosahuje 25 % výměry zavlažovaných půd. K zasolení dochází nejen antropogenními vlivy (zejména nevhodným zavlažováním a hnojením), ale i přirozenými procesy (např. evaporací či zvětráváním mateřských hornin), které lze těžko ovlivňovat.

Většina zemědělských plodin je na sůl citlivá. Proto je důležité zkoumat mechanismy stresových reakcí i způsoby, kterými člověk může tyto procesy pozitivně ovlivňovat.

Působení abiotických stresorů (zejména zasolení, sucha a rostoucích teplot), spolu se zvyšující se spotřebou potravin rostoucí lidské populace, bude klást velké nároky na moderní zemědělství. To bude muset efektivněji produkovat více potravin ekologickým a udržitelným způsobem.

V ekologickém zemědělství lze použít na eliminaci vlivu abiotických stresorů například různé druhy biostimulantů. Podle stávající legislativy EU je biostimulant hnojivý výrobek, jehož funkcí je stimulovat vyživovací procesy rostliny nezávisle na obsahu živin výrobku, přičemž jediným účelem je zlepšení jedné nebo více z těchto charakteristik rostliny nebo její rhizosféry: efektivita využívání živin, tolerance vůči abiotickému stresu, kvalitativní znaky nebo dostupnost živin vázaných v půdě či rhizosféře. Mezi biostimulanty patří např. huminové sloučeniny, proteinové hydrolyzáty, extrakty z řas a rostlin, mikroorganismy, anorganické látky apod.

Biostimulanty mohou sehrát klíčovou roli ve zvyšování produktivity zemědělství v podmínkách environmentální udržitelnosti.

2 Cíl práce a hypotézy

Cílem práce je stanovení vlivu biostimulátorů na fyziologické charakteristiky vybraného druhu rostlin rostoucích v podmínkách abiotického stresoru.

Jedním z nejvýznamnějších abiotických stresorů je zasolení, které ohrožuje zemědělství na celém světě. Ovlivňuje rostliny během celého jejich životního cyklu a způsobuje velké ztráty na výnosech.

Locika setá (*Lactuca sativa*) je oblíbená, často pěstovaná, listová zelenina, která je na zasolení velmi citlivá. Na zvýšenou koncentraci NaCl reaguje inhibicí růstu a poklesem výnosů.

Řasy jsou považovány za obnovitelný zdroj mnoha látek, využitelných mimo jiné pro výrobu biostimulantů. Extrakty z mořských řas tvoří více než třetinu světového trhu s biostimulanty. Nejběžnější jsou výrobky z *Ascophyllum nodosum*. Potenciál mikrořas však v tomto směru není zatím plně využit.

Proto byly stanoveny tyto dílčí cíle:

1. Stanovení vlivu rozdílné koncentrace NaCl na fyziologické charakteristiky a výnos juvenilních rostlin *Lactuca sativa*.
2. Stanovení vlivu biostimulantů (*Arthrospira platensis*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Ascophyllum nodosum*) na fyziologické charakteristiky a výnos juvenilních rostlin *Lactuca sativa* stresovaných zasolením.

Na základě navržených cílů byly stanoveny následující hypotézy:

1. Ovlivňuje aplikace biostimulantů získaných z řas a sinic fyziologické charakteristiky stresovaných rostlin?
2. Existuje rozdíl v reakci sledovaného druhu rostliny na aplikaci testovaných látek a na působení stresoru?
3. Existují rozdíly v rámci složení testovaných látek na fyziologické parametry pokusného druhu rostliny?

3 Literární rešerše

3.1 Stres rostlin

3.1.1 Definice stresu

První obecná koncepce stresu byla navržena kanadským lékařem a biologem Hansem Selyem v roce 1936 (Lichtenthaler, 1998). Selye (1973) definuje stres jako nespecifickou reakci organismu na jakýkoliv vliv, jemuž je vystaven.

Lewitt (1980) rozlišuje dvě koncepce stresu: fyzikální a biologickou. Fyzikální je založena pouze na principech Newtonových pohybových zákonů. Biologická navíc respektuje dvě skutečnosti. První, že rostlina může vytvářet proti stresu bariéry a stres tedy nelze měřit v jednotkách síly, ale v jednotkách energie. A druhou, že termín stres je v biologii vždy spojen s možným vratným či nevratným poškozením.

Tento autor chápe biologický stres jako jakýkoliv environmentální faktor, který je potenciálně škodlivý pro živý organismus. S tímto pojetím souhlasí například Bhatla et al. (2018), kteří tuto definici dále rozvádějí a stres popisují jako podmínky vnějšího prostředí, které nepříznivě ovlivňují růst, vývoj a produktivitu rostlin, a tím zabraňují rostlinám dosažení jejich plného genetického potenciálu.

S biologickou koncepcí se shodují také Schulze et al. (2019), podle nichž nelze fyzikální koncepci na živé organismy aplikovat, neboť není zohledněna doba trvání stresu, schopnost regenerace a adaptace živých organismů. Stres pak chápou jako odchylku od fyziologického optima. Podobně také Kúdela et al. (2013) konstatují, že stres je stav organismu, který se liší od normálu.

Oproti tomu s fyzikální koncepcí souhlasí Ashraf et al. (2005), podle nichž lze stres, vedoucí k morfologickým, vývojovým a metabolickým změnám, přesně popsat pomocí síly působící na jednotku plochy.

Podle Hniličky et al. (2016) stres rostlin nepředstavuje ustálený stav, ale spíše dynamický komplex mnoha reakcí. Stresové faktory (stresory) mohou nejen ovlivňovat životní funkce rostlin, ale také poškozovat jednotlivé orgány a v krajním případě vést i k úhynu stresovaných rostlin.

Lichtenthaler (1998) však upozorňuje, že slabý stres může aktivovat buněčný metabolismus, zvýšit fyziologickou aktivitu rostliny a nemusí způsobit žádné poškození. Takovýto stres může tedy rostlinu příznivě stimulovat. Uvedený autor pro tento pozitivní stres zavádí pojem eustres. Naproti tomu distres je silný stres, který negativně ovlivňuje rostlinu a způsobuje poškození.

Podle Baweji et al. (2020) účinky, které stresové faktory na rostliny mají, závisí na jejich kvalitě a intenzitě. Tito autoři dále konstatují, že stresory jsou nedílnou součástí životních cyklů rostlin.

Také Hnilička et al. (2016) poukazují na to, že rostliny jsou vystavovány působení stresových faktorů po celý život. Kromě negativního vlivu stresorů na anatomicko-morfologické a funkční změny, mohou stresory působit i pozitivně v rámci evoluce rostlinných druhů. Základní genetická informace je sice kódována v DNA každé rostlinné

buňky, ale nestačí pro zajištění optimálního průběhu jednotlivých procesů. Buňky proto musí neustále monitorovat vnější prostředí, reagovat na vnější podněty a komunikovat mezi sebou. Tak významným způsobem přispívají k expresi genetické informace.

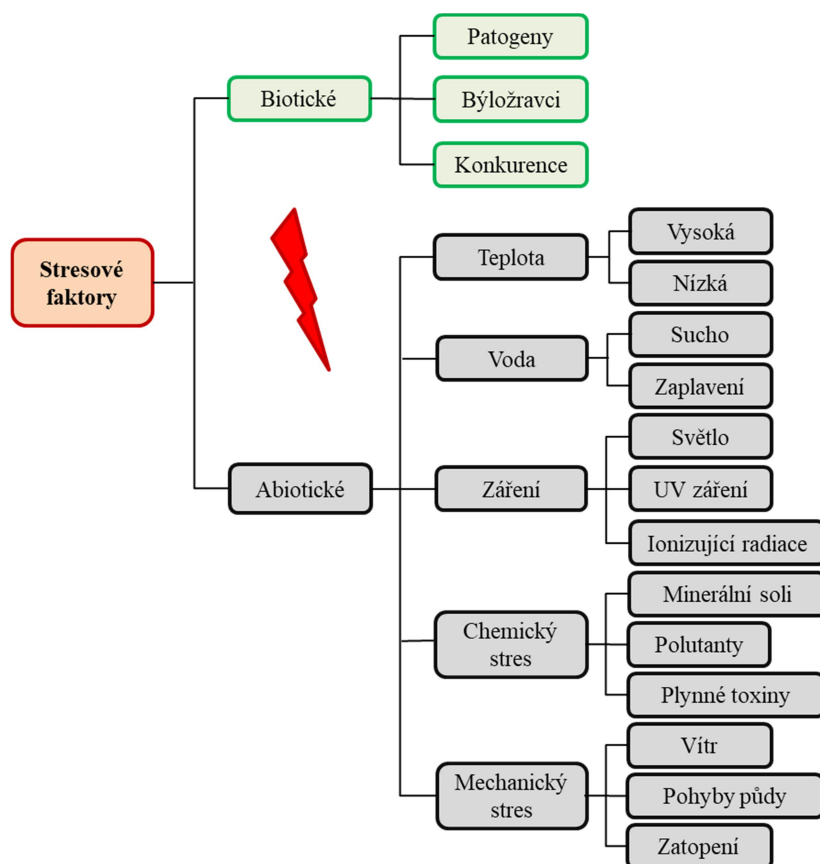
Uvedení autoři dále konstatují, že problematika stresu u rostlin je složitější než ve fyziologii živočichů. Je to ovlivněno nejen přírodním způsobem života, ale také tím, že mezi rostlinami je mnohem vyšší mezidruhová variabilita a heterogenita vnitřního prostředí, zejména fyzikálně-chemické vlastnosti rostlinných buněk. Kúdela et al. (2013) doplňují, že se rostliny vyznačují také mimořádnou rozmanitostí ve schopnosti růst, vyvíjet se a přežít v různých podmínkách. Stresová fyziologie rostlin je navíc komplikovanější s ohledem na skutečnost, že rostliny nikdy nemají optimální množství základních abiotických faktorů v optimální intenzitě (Schulze et al., 2019).

3.1.2 Druhy stresorů

Cerkal (2011), Shinozaki et al. (2015) a Schulze et al. (2019) se shodují na podobném rozdělení stresových faktorů působících na rostliny, jaké je uvedeno na obr. 3.1. Biotický stres vzniká v důsledku interakce se živými organismy. K abiotickému dochází působením fyzikálních, chemických a mechanických stresorů.

Lichtenthaler (1998) a Baweja et Kumar (2020) dále rozlišují, zda se jedná o stres přírodního či antropogenního původu.

Kúdela et al. (2013) ještě dodávají, že abiotické prostředí má dvě složky: klima (světlo, teplo, vlhkost) a substrát (půda, voda).

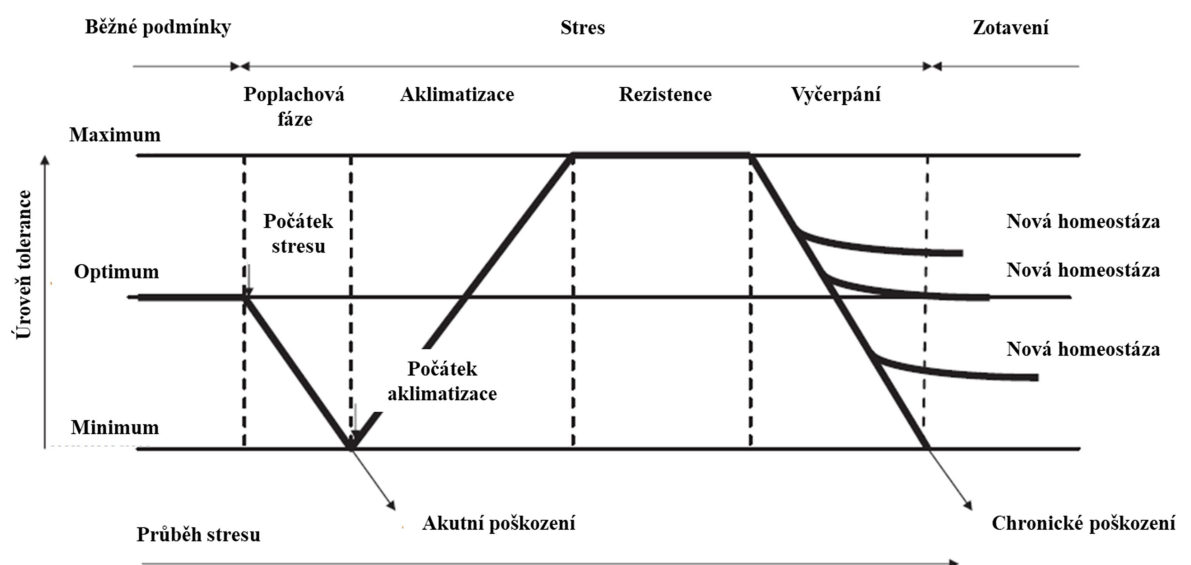


Obr. 3.1: Rozdělení stresových faktorů (upraveno dle Schulze et al., 2019)

3.1.3 Průběh stresové reakce

Průběh stresové reakce lze podle Lichtenthalera (1998) a Kosové et al. (2011) rozdělit do čtyř základních fází (viz obr. 3.2):

- **Poplachová fáze** – začíná působením stresového faktoru. Stres působí neaklimatizované rostlině šok. Úroveň tolerance klesá. Dochází k indukci signálních drah a k silnému oxidačnímu stresu (Kosová et al., 2011). Klesá výkon fotosyntézy, transport metabolitů, absorpce a translokace iontů, katabolické procesy převládají nad anabolickými (Lichtenthaler, 1998). Pokud je stres příliš vysoký, nebo rostlina nemá odpovídající mechanismy zvládnání stresu, může dojít k akutnímu poškození či úhynu rostliny.
- **Aklimatizace (restituce)** – v této fázi dochází k aktivaci adaptačních a opravných procesů (Lichtenthaler, 1998). Podle Kosové et al. (2011) trvá několik dní a je spojena s tvorbou proteinů chránících před stresem (např. chaperony) a dalších látek (antioxidanty, osmoprotektory, prolin apod.). Úroveň tolerance roste. Lichtenthaler (1998) dále dělí tuto fázi na dvě části. Druhou částí této fáze je otužování.
- **Rezistence** – dochází ke zvýšení odolnosti vůči působícím stresorům. Dále probíhají opravné a adaptační procesy. Ve stále působících stresových podmínkách se vytváří nová homeostáza. Úroveň tolerance je konstantní.
- **Vyčerpání** – jestliže stres trvá příliš dlouho, dochází k selhání nově vytvořené homeostázy a poklesu úrovně tolerance (Kosová et al., 2011). Pokud se, podle Hniličky et Hniličkové (2016), sníží stresová zátěž před vyčerpáním adaptačního potenciálu, dostává se rostlina do fáze zotavení (regenerace). Kosová et al. (2011) uvádějí, že během zotavení dojde k degradaci sloučenin látek chránících proti stresu a nastolení nové homeostázy. Jestliže nedojde k obnovení stability, dochází k nevratným chronickým poškozením.



Obr. 3.2: Průběh stresové reakce (upraveno dle Kosové et al., 2011)

3.1.4 Mechanismy stresových reakcí

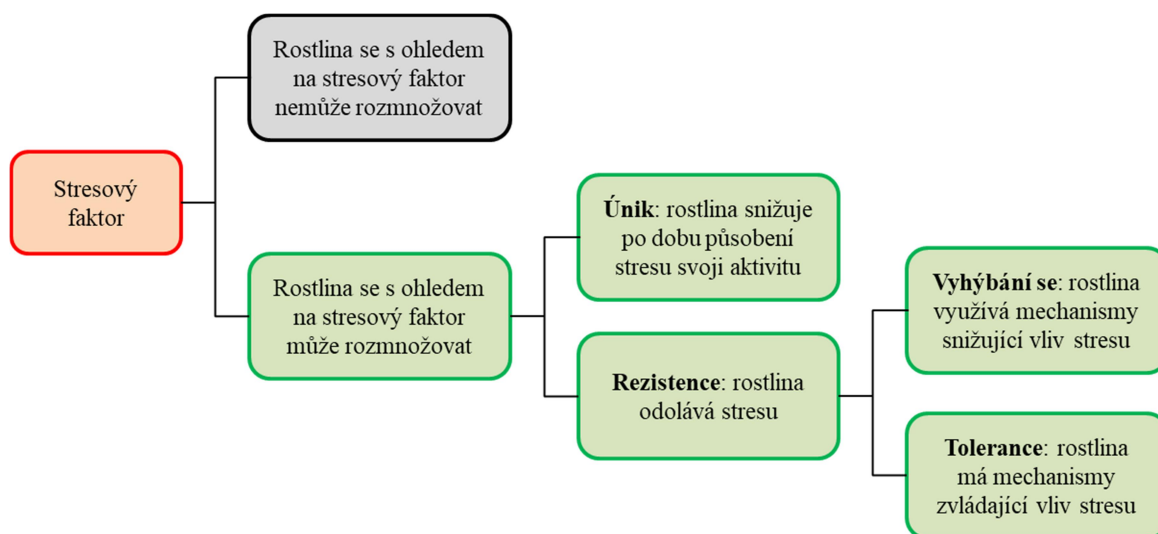
Podle Schulze et al. (2019) jsou pro přežití stresovaných rostlin možné základní strategie uvedené na obr. 3.3. Rostlina má dvě výchozí možnosti: uniknout stresu (únik – escape) nebo se stresem bojovat (rezistence). Únik závisí na schopnosti rostliny předvídat období s nepříznivými podmínkami a vytvářet orgány, pomocí nichž může stresové období přečkat. Mnoho druhů rostlin např. přečkává nízké zimní teploty ve stavu dormance. Dalším typickým příkladem této strategie je tvorba semen u jednoletých rostlin. Přezimující semeno je mnohem odolnější než vegetativní orgány. Rezistence podle Schulze et al. (2019) využívá dva základní mechanismy: vyhýbání se (avoidance) a toleranci. Kosová et al. (2011) a Bhatla et al. (2018) rozlišují pouze avoidance a toleranci. Mechanismy, které Schulze et al. (2019) považují za únik, řadí do strategie avoidance.

Podle Lewitta (1980) je strategie avoidance spojena buď s vytvářením fyzikálních bariér, kterými rostlina izoluje živé buňky od stresu, nebo vytvářením chemických či metabolických bariér, kterými vliv stresu trvale vyloučí. Jako příklad strategie avoidance uvádějí Hnilička et al. (2016) rostliny s metabolismem CAM (Crassulacean Acid Metabolism – metabolismus kyselin u tučnolistých). Tyto rostliny uzavírají za denních vysokých teplot průduchy a CO₂ přijímají v noci, kdy jsou teploty nižší. Dalším příkladem je uzavírání průduchů při zvýšené koncentraci plynných polutantů (Shinozaki et al., 2015).

Cerkal (2011) považuje strategii avoidance za pasivní způsob obrany rostliny proti stresu a toleranci za aktivní. Na příkladu stresu v důsledku sucha považuje za avoidance např. snahu rostlin zvýšit příjem vody a snížit ztráty vody. Do tolerance řadí snahu rostlin oddálit vyschnutí (např. osmotickým vyrovnáváním či snížením velikosti buněk) a snášení vyschnutí (např. pomocí stresových proteinů).

Dalším příkladem tolerance může být snižování energetických potřeb a zvyšování fermentační kapacity u rostlin tolerantních k zamokření (Schulze et al., 2019).

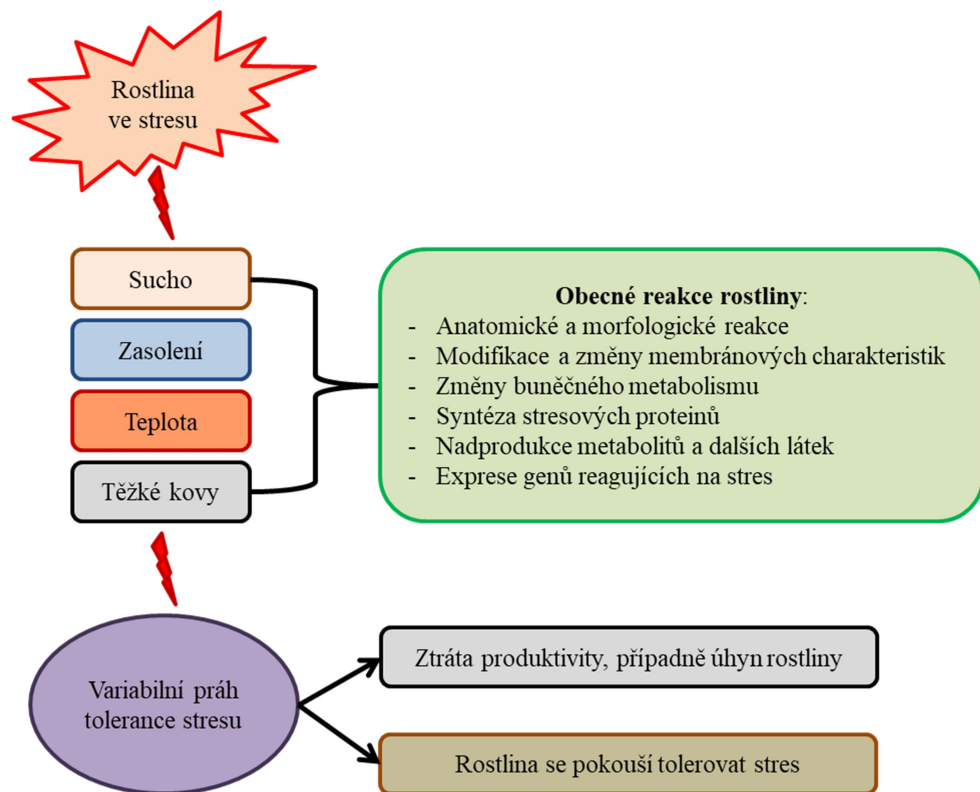
Podle Lewitta (1980) je tolerance stresu spojena s dosažením termodynamické rovnováhy bez utrpení trvalého poškození. Tolerantní rostlina je schopna zabránit škodlivým vlivům, nebo je snížit či opravit případná poškození.



Obr. 3.3: Strategie pro přežití rostlin ve stresu (upraveno dle Schulze et al., 2019)

Dále je nutno rozlišit pojmy adaptace a aklimace. Podle Cerkala (2011) je aklimace (aklimatizace) účelné morfologické a fyziologické přizpůsobení individuální rostliny. Je to nedědičná, individuální a fenotypová vlastnost. Adaptace je evoluční, genetická změna vedoucí k trvalé změně vlastnosti organismu. Je to dědičná, populační a genotypová vlastnost. To je v souladu s prací Shinozakiho et al. (2015), kteří považují adaptaci za evoluční vylepšení zlepšující fitness populace a aklimaci definují jako přizpůsobení jednotlivých organismů v reakci na měnící se stresové faktory. Bhatla et Lal (2018) doplňují, že aklimace je změna vratná a adaptace je změna nevratná. Podle Hniličky et Hniličkové (2016) je nutno také vzít na zřetel, že se stres projevuje na různých úrovních – buňky, pletiva, rostlinného orgánu, celé rostliny, ekosystému a krajiny. A jednotlivé stresory nepůsobí odděleně, ale vždy v kombinaci. To činí celou problematiku složitější.

Mezi nejběžnější reakce rostlin na stres řadí Pandey et al. (2020) např. změny v genové expresi, anatomické a morfologické modifikace, sníženou účinnost fotosyntézy, sníženou schopnost asimilace N, změny v aktivitě klíčových enzymů, nadprodukce různých metabolitů a stresových proteinů apod. (viz obr. 3.4).

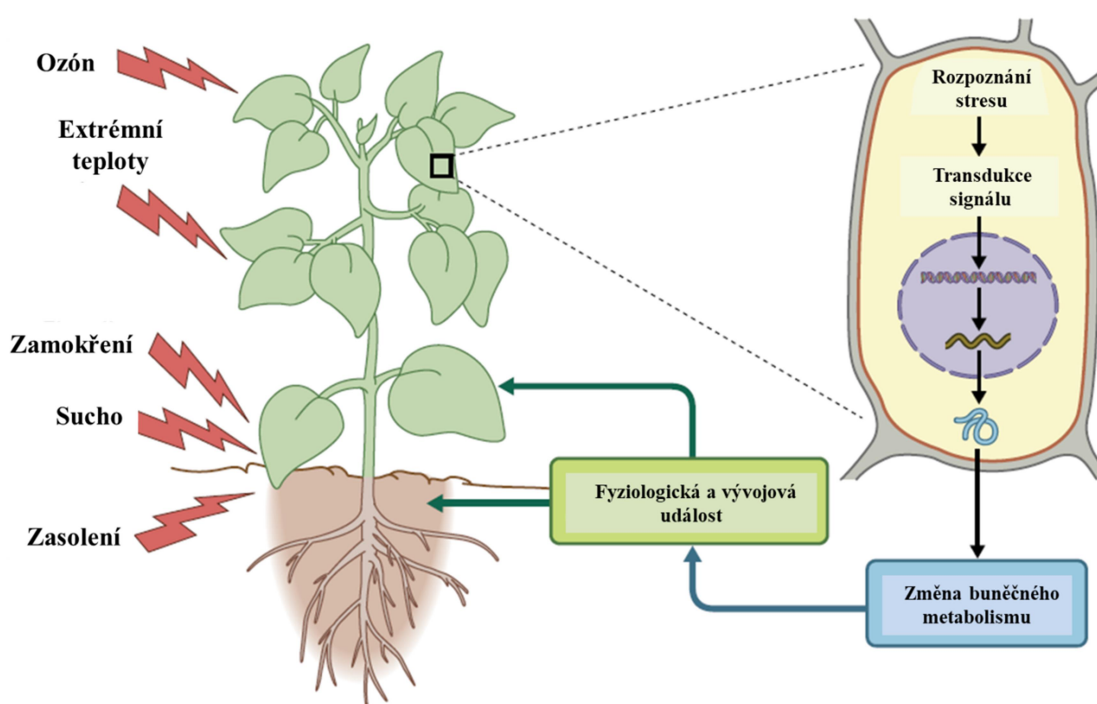


Obr. 3.4: Reakce rostlin na stres (upraveno dle Pandey et al., 2020)

Také podle Shinozakiho et al. (2015) spouští stres celou řadu reakcí od změn v genové expresi a buněčném metabolismu až po změny v rychlosti růstu a výnosu plodin. Konkrétní reakce závisí především na charakteru stresu (např. závažnost, doba expozice, kombinace stresorů) a vlastnostech rostlin (např. genotyp, vývojová fáze, zasažený orgán nebo pletivo).

Schulze et al. (2019) ve své práci upozorňují na existenci sekundárních stresů. Jedná se o oxidační a osmotický stres, ke kterým dochází v důsledku působení primárních stresů (např. vysoká teplota, sucho či zasolení), a které také ovlivňují reakční procesy rostlin.

Aby byla reakce na stres spuštěna, musí být nejprve stres rostlinou rozpoznán. Schulze et al. (2019), Shinozaki et al. (2015) a Bhatla et Lal (2018) se shodují, že k tomu dochází na buněčné úrovni. Rozpoznání stresu aktivuje signální dráhy, které přenášejí informace z jednotlivých buněk do celé rostliny (viz obr. 3.5). Na základě těchto signálů dochází ke změnám buněčného metabolismu a změnám v genové expresi, které jsou po té integrovány do reakce celé rostliny. To může ovlivnit nejen růst a vývoj rostliny, ale i její reprodukční schopnosti (Shinozaki et al., 2015).



Obr. 3.5: Změna genové exprese (upraveno dle Shinozakiho et al., 2015)

Podle Bhatly et Lala (2018) mají zásadní význam při udržování homeostázy ve stresových podmínkách signální molekuly a transkripční faktory. Celá řada signálních drah obsahuje vápník, reaktivní formy kyslíku (Reactive Oxygen Species - ROS), proteinové kinázy, proteinové fosfatázy, transkripční regulátory a rostlinné hormony, které se na přenosu signálu podílejí. Mohanta et al. (2018) pokládají za nejvšestrannější molekuly účastníci se mechanismů včasné signalizace stresu Ca^{2+} a ROS. Také Sourı et al. (2020) považují včasné vnímání stresu za zásadní krok v obranných reakcích rostlin, ale klíčovou roli ve vnímání signálů přisuzují fytohormonům.

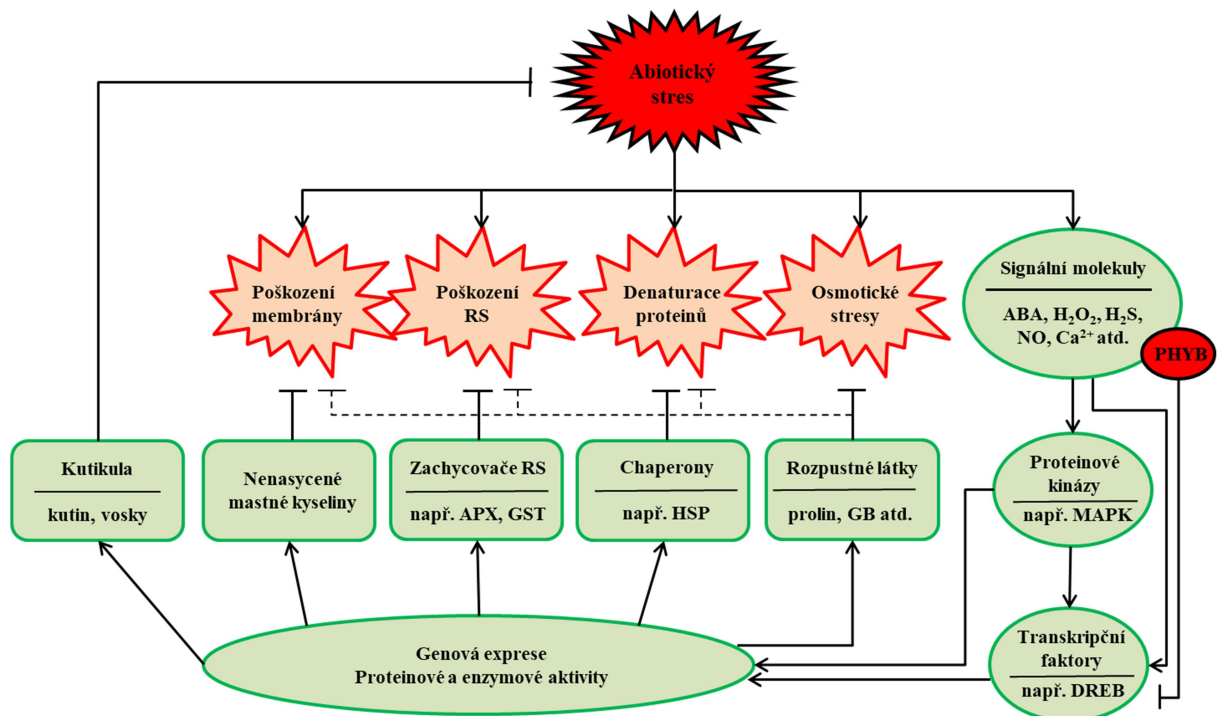
Hnilička et Hniličková (2016) dělí produkty vznikající během metabolických změn do dvou velkých skupin. První skupinu tvoří regulační proteiny zapojené do signálních drah nebo do genové exprese (např. proteinové kinázy, fosfatázy, transkripční faktory a RNA-vázající komplexy). Druhá skupina je tvořena proteiny, které umožňují rostlině překonávat stresové situace (např. detoxikační enzymy, enzymy potřebné pro biosyntézu osmoprotektantů, proteiny tvořící vodní kanály či chaperony).

Podle Kosové et al. (2018) proteiny hrají klíčovou roli v reakcích rostlin na stres, neboť jsou přímo zapojeny do formování nového fenotypu změnou fyziologických vlastností.

He et al. (2018) uvádějí ve své práci pět základních obranných mechanismů rostlin. Patří mezi ně kutikula (fungující jako univerzální ochranný štít), nenasycené mastné kyseliny (fungují např. jako membránový modulátor), zachycovače reaktivních látek, molekulární chaperony (např. stabilizují proteiny) a rozpustné látky fungující např. jako osmoprotektory.

Uvedení autoři dále uvádí, že lze, za účelem eliminace abiotických stresorů, využít exogenní aplikaci některých látek, které se těchto obranných mechanismů účastní (např. prolin, glycin betain, kyselina abscisová). Vzájemné vztahy jsou patrné na obr. 3.6.

Podrobněji je problematika reakcí vysvětlena konkrétně pro salinitu v kapitole 3.2.2.



Obr. 3.6: Obranné systémy rostlin (upraveno dle He et al., 2018).

Zkratky: APX – askorbát peroxidáza, GST – glutathion S-transferáza, HSP – heat shock proteiny, GB – glycin betain, ABA – kyselina abscisová, MAPK – mitogenem aktivovaná proteinová kináza, DREB – dehydration responsive element binding faktor (protein regulující reakce rostlin na abiotické stresy), PHYB – fytochrom B (negativní regulátor stresové tolerance).

Pro narušení zdraví rostlin abiotickými poruchami, poškozeními a poraněními zavádějí Kůdela et al. (2013) pojem abiotikóza.

3.2 Stres zasolením

3.2.1 Salinita půd

Zasolení je důležitým abiotickým environmentálním stresovým faktorem, který ohrožuje zemědělství na celém světě (Muchate et al., 2016). Dopad zasolení na zemědělství je obrovský, protože ovlivňuje rostliny během celého jejich životního cyklu a způsobuje velké ztráty ve výnosech biomasy (Schulze et al., 2019). Dalšími významnými stresory, především s ohledem na měnící se klima, jsou vysoká teplota a sucho (Nadeem et al., 2018).

Shrivastava et Kumar (2015) odhadují, že v současnosti trpí zasolením 7 % veškeré půdy na Zemi, což představuje cca 20 % obhospodařovaných půd či 33 % zavlažovaných půd. Ročně se tato plocha zvětšuje o 10 %. Do roku 2050 bude zasoleno více než 50 % celosvětové výměry orné půdy. Ztráty ve výnosech na těchto půdách v důsledku zasolení a sucha dle těchto autorů nyní dosahují 50-70 %.

Podle Cuevase et al. (2019) se nejpostiženější země nacházejí v aridních a semiaridních oblastech. Patří mezi ně např.: Pákistán, Indie, Čína, USA, Argentina, Súdán, Austrálie apod. Největší podíl zasolených půd v Evropě se nachází ve Středomoří, kde dosahuje 25 % zavlažovaných půd (Daliakopoulos et al., 2016). Příklad zasolení středomořského pobřeží je na obr. 3.8. V blízkosti ČR je nejvíce takovýchto půd v Maďarsku, a to 13 % z celkové výměry země (Tóth, 2009). V ČR se zasolené půdy nacházejí např. na tzv. slaniscích (Chytrý et al., 2010), která vznikají v okolí minerálních pramenů nebo v mokřadech sušších oblastí, kde výpar převyšuje zasakování, takže se ionty solí vzlínající v půdním profilu hromadí při povrchu (evaporace). Celková rozloha slanisek je asi 110 hektarů. Nejvíce je jich v okolí Mostu a Kadaně. Dále se vyskytují na jižní Moravě či poblíž Františkových Lázní.

Corwin et Scudiero (2019) uvádějí, že zasolení je způsobeno zvýšenou koncentrací iontů lehce rozpustných solí (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} a CO_3^{2-}) v půdním roztoku. Tito autoři pak definují zasolenou půdu jako půdu, jejíž nasycený půdní extrakt má elektrickou vodivost (EC_e) vyšší než 4 dS m^{-1} . Shabala et Munns (2017) konstatují, že to odpovídá koncentraci $40 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$. Podle přítomnosti konkrétních solí lze půdy rozdělit do tří skupin (viz tab. 3.1). Podle hodnoty vodivosti lze pak klasifikovat stupeň zasolení (viz tab. 3.2).

Daliakopoulos et al. (2016) a Shabala et Munns (2017) dělí příčiny zasolení na primární a sekundární. Primární salinita vzniká přirozenými procesy, jakými jsou např. zvětvávání matečných hornin, evaporace nebo působení mořské vody. K sekundární dochází antropogenními vlivy, zejména nevhodným zavlažováním, hnojením či používáním rozmrazovacích prostředků. Podle Kúdely et al. (2013) způsobuje zasolení půdy také odlesnění. Nový porost totiž není schopen odčerpávat tolik vody a soli jako původní les.

Tab. 3.1: Typy zasolených půd (upraveno dle Bhatly et Lala, 2018)

Druh půdy	Základní soli	pH
Slané	CaSO_4 , MgSO_4 , NaCl , Na_2SO_4	6-7
Slano-sodné	NaCl , CaSO_4 , MgSO_4	< 8,5
Sodné	Vysoký obsah NaCl a Na_2SO_4	8,5-12

Daliakopoulos et al. (2016) a Bui (2013) spojují salinitu se dvěma půdními typy: slancem a solončákem. Podle Penížka et al. (2018) je solončák, patřící mezi salisoly, typický pro výše uvedená slaniska. Slanec s natrickým horizontem a sloupkovitou strukturou ve svrchní části (viz obr. 3.7) se v ČR nevyskytuje (Němeček et al., 2021).

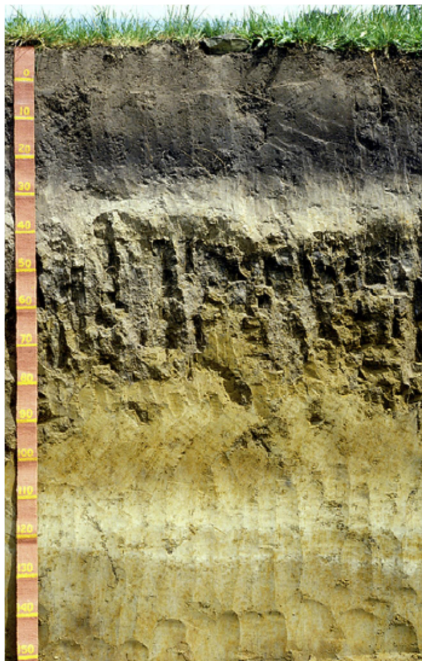
Tab. 3.2: Klasifikace zasolení podle konduktivity (upraveno dle Ayuba et al., 2020)

Klasifikace zasolení	EC _e [dS m ⁻¹]
Žádné zasolení	0-2
Nízké zasolení	2-4
Střední zasolení	4-8
Vysoké zasolení	8-16
Extrémní zasolení	≥ 16

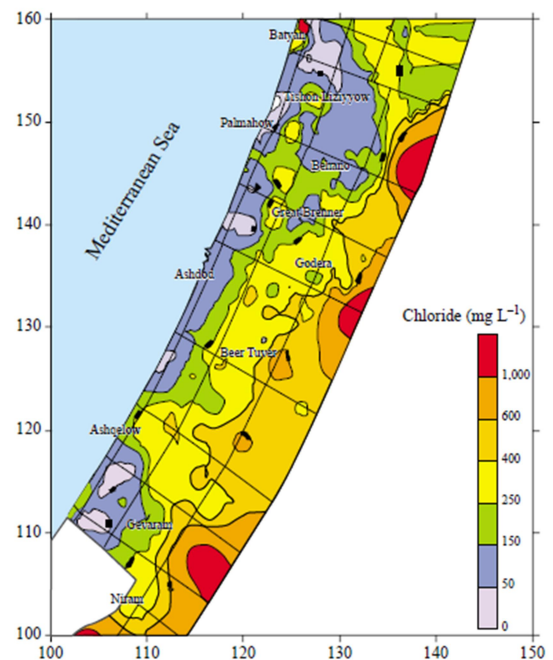
Mořková et al. (2014) dělí půdy se zvýšeným obsahem sodíku na slané a alkalické. Autoři konstatují, že se pro posuzování salinity nejčastěji používá ukazatel SAR (hodnota adsorpce sodíku z půdního roztoku).

$$SAR = \frac{c(Na^+)}{c(Ca^{2+}) + c(Mg^{2+})}$$

Kde $c(Na^+)$, $c(Ca^{2+})$ a $c(Mg^{2+})$ představují molární koncentraci příslušných iontů. Za alkalické půdy se považují takové, které mají $SAR > 15$. Ve slaných půdách, tak jako v alkalických, dominují sodné kationty, ale převažujícími anionty jsou chloridové a síranové. Hodnoty SAR a pH jsou ve slaných půdách nižší než v alkalických.



Obr. 3.7: Slanec – typický půdní profil (Bui, 2013)



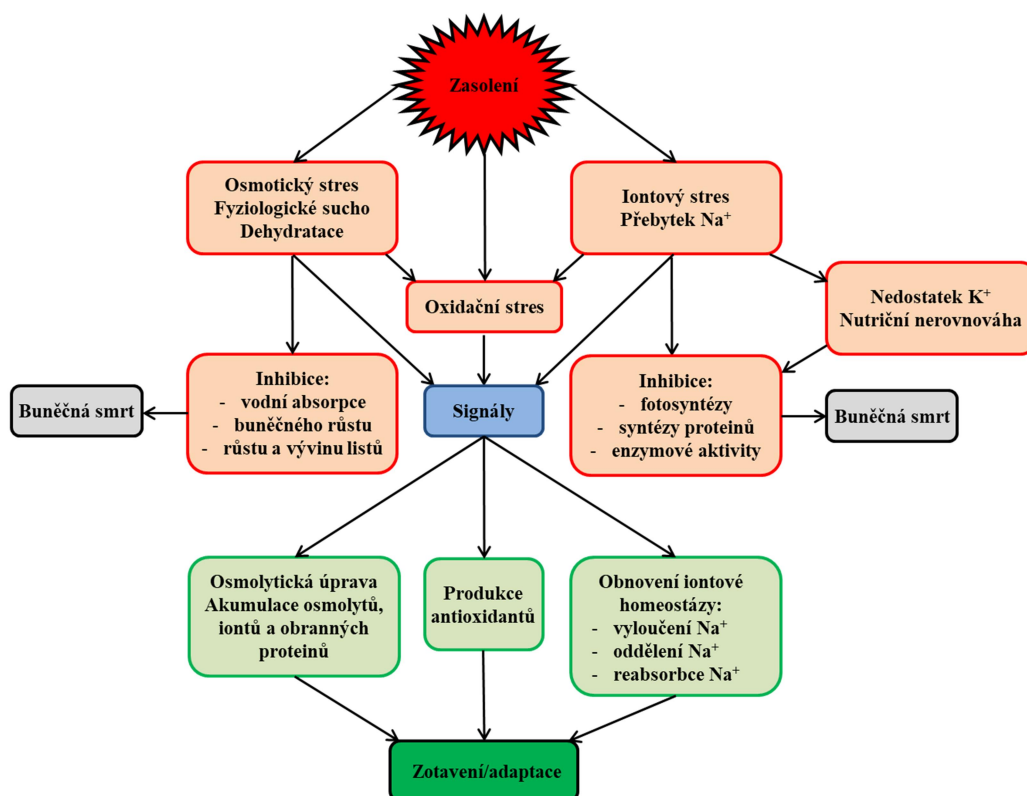
Obr. 3.8: Izrael - příklad zasolení středomořského pobřeží (Vengosh, 2003)

3.2.2 Vliv zasolení na rostliny

Solný stres ovlivňuje život rostlin od klíčení semen, přes růst, kvetení až po vývoj plodů (Mořková et al., 2014). Jeho negativní účinky lze pozorovat na úrovni buněk, orgánů i celých rostlin (Muchate et al., 2016). Kůdela et al. (2013) ve své práci uvádějí, že se účinky soli na rostlinu projevují ve třech formách:

- Přímý vnitřní účinek na rostlinu v důsledku akumulace chloridu a sodíku.
- Snížení dostupnosti živin, neboť se snižuje pórovitost půdy a sodíkové ionty v půdě vytlačují jiné ionty vázané na jílové částice.
- Snížení dostupnosti vody, protože sůl snižuje tlak vodní páry v půdě.

Zasolení nepříznivě ovlivňuje hlavní fyziologické a biochemické procesy rostlin. Narušuje osmotickou a iontovou rovnováhu, fotosyntézu, syntézu bílkovin a metabolismus lipidů. Negativní účinky se projevují ve dvou fázích: časné, krátkodobé, osmotické a pozdní, dlouhodobé, iontové (Muchate et al., 2016). Podle Schulze et al. (2019) sůl stresuje rostliny několika způsoby (viz obr. 3.9): dehydratací, toxicitou Na^+ (a Cl^-), nevyvážeností živin a reaktivními formami kyslíku (ROS). Podle Mansoura (2014) jsou škodlivé účinky zasolení spojeny s osmotickým, iontovým a oxidačním stresem, případně s jejich kombinací.

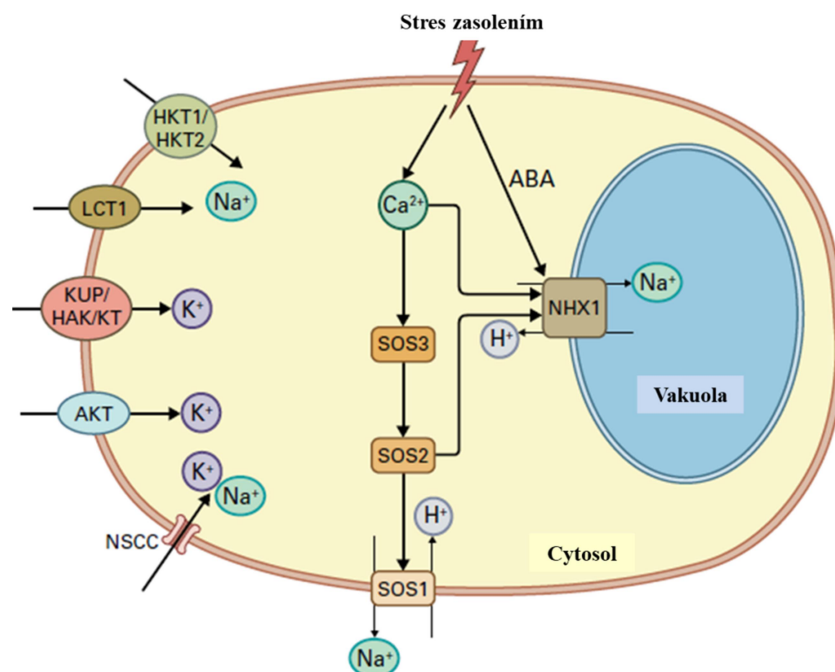


Obr. 3.9: Procesy v rostlině stresované zasolením (upraveno dle Schulze et al., 2019)

U většiny rostlin je prahovou hodnotou pro vyvolání osmotického stresu koncentrace $40 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$ (Schulze et al. 2019). NaCl je osmoticky aktivní sloučenina, která snižuje vodní potenciál půdy, čímž omezuje absorpci vody a vede ke ztrátě turgoru (Bhatla et Lal., 2018). Rostliny reagují na osmotický stres nadprodukcí kompatibilních osmolytů a iontů,

kteře snižují vodní potenciál v pletivech listů a vytvářejí tak gradient vodního potenciálu potřebný k udržení absorpce vody kořeny (Mansour, 2014). Kompatibilní rozpuštěné látky jsou hydrofilní a nahrazují vodu v biochemických procesech. Shinozaki et al. (2015) mezi ně řadí např. mannitol, rafinózu, prolin či glycin betain. Osmotický stres způsobuje podle Zhaa et al. (2020), kromě okamžitého zastavení růstu rostliny v důsledku ztráty turgoru, i rychlé uzavření průduchů, které snižuje možnost asimilace CO₂. Uzavření průduchů si lze vysvětlit rychlým poklesem tlaku v xylému, ke kterému dochází během několika minut. Schulze et al. (2019) uvádějí, že po počátečním zastavení růstu v důsledku osmotického stresu dochází k částečnému zotavení rostliny a nová stabilní rychlost růstu je obnovena za cca 30 minut. Konkrétní doba potřebná pro zotavení závisí na koncentraci solného roztoku.

Iontový stres (iontová nerovnováha či iontová toxicita) je spojena s nadměrnou akumulací Na⁺ příp. Cl⁻ v metabolicky aktivních intracelulárních kompartmentech (Zhao et al., 2020). Geilfus (2018) ve své práci uvádí, že akumulace Cl⁻ v chloroplastech způsobuje např. inhibici enzymů nutných pro fixaci CO₂ a poškozuje reakční centra fotosystému PSII. V mitochondriích zvyšuje produkci ROS a snižuje mitochondriální respiraci. Podle Shabaly et Munnse (2017) dochází k iontové nerovnováze v cytosolu především díky podobným fyzikálně-chemickým vlastnostem Na⁺ a K⁺, které spolu soutěží o hlavní vazebná místa v klíčových metabolických procesech. Vzhledem k tomu, že K⁺ aktivuje více než 50 cytoplazmatických enzymů, dochází v důsledku iontové nerovnováhy k výrazným metabolickým poruchám jak v podzemních, tak nadzemních částech rostlin. Dále např. dochází průchodem Na⁺ buněčnou membránou k její depolarizaci, čímž je znemožněna pasivní absorpce základních kationtů a zároveň dochází k jejich dramatickému odtoku z buňky ven. Iontový stres v buňce spouští obranné reakce, které aktivují antiporty Na⁺/H⁺, jež vylučují Na⁺ ven z buňky nebo jej ukládají do vakuoly (viz obr. 3.10).



Obr. 3.10: Buněčná iontová homeostáza (upraveno dle Shinozakiho, 2015)

Shabala et Munns (2017) definují oxidační stres jako toxický účinek ROS. You et Chan (2015), Muchate et al. (2016) a Zhao et al. (2020) se shodují v tom, že mezi hlavní ROS patří: peroxid vodíku (H_2O_2), hydroxylový radikál (OH^\cdot), superoxid ($\text{O}_2^{\cdot-}$) a singletový kyslík ($^1\text{O}_2$). Jsou to vedlejší produkty fyziologického metabolismu rostlin, které způsobují oxidační poškození a mohou vést až k buněčné smrti (You et Chan, 2015). Podle Shinozakiho et al. (2015) ROS rozkládají zejména lipidy, proteiny a nukleové kyseliny. Zhao et al. (2020) ještě dodávají rozklad pigmentů a narušení enzymatických aktivit. Podle Singha et al. (2019) mohou způsobovat i změny v genové expresi.

ROS mohou být rychle indukovány nejen v průběhu zasolení, ale i v důsledku působení dalších abiotických a biotických stresorů nebo během senescence. Vznikají především v chloroplastech, mitochondriích, peroxizomech a apoplastu, ve kterém je jejich produkce zprostředkována plazmatickou membránou (Zhao et al., 2020). Nejstabilnější je H_2O_2 , který může z místa vzniku cestovat na relativně dlouhé vzdálenosti (Shinozaki et al., 2015). Demidchik (2017) považuje za nejnebezpečnější OH^\cdot pro jeho vysoké oxidační schopnosti.

Při nízkých koncentracích působí ROS jako signální molekuly při regulaci řady procesů při růstu rostliny a jejich reakcích na abiotické či biotické stresy (Zhao et al., 2020). Intenzita a důsledky oxidačního stresu závisí na schopnosti rostliny detoxikovat ROS a opravit oxidační poškození (Demidchik, 2017). Tvorba ROS je přesně regulována enzymatickými a neenzymatickými obrannými systémy (You et Chan, 2015). Podle Yanik et al. (2020) patří mezi nejúčinnější enzymatické antioxidanty např. peroxidázy, superoxidismutáza, kataláza či reduktázy. Z neenzymatických antioxidantů lze uvést např. kyselinu askorbovou, karotenoidy, fenolové látky, alkaloidy a glutathion. Demidchik (2017) dodává ještě prolin a betain.

Zasolení, tak jako ostatní abiotické stresory, ovlivňuje fotosyntézu, nejdůležitější a nejsložitější fyziologický proces v zelených rostlinách (Ashraf et Harris, 2013). Snižuje fotosyntetické schopnosti rostlin v důsledku jeho negativního působení na biosyntézu chlorofylu, výkon fotosystému, transport elektronů, výměnu plynů apod. (Sharma et al., 2020).

Ashraf et Harris (2013) konstatují, že změny v obsahu chlorofylu souvisí s jejich narušenou biosyntézou a zrychlenou degradací. Rozsah redukce chlorofylu závisí na konkrétním druhu rostliny, a proto jejich obsah nemusí být vždy spolehlivým biochemickým indikátorem tolerance vůči zasolení. Stejně tak je nutno brát na zřetel vnitrodruhové a mezidruhové rozdíly při měření výměny plynů.

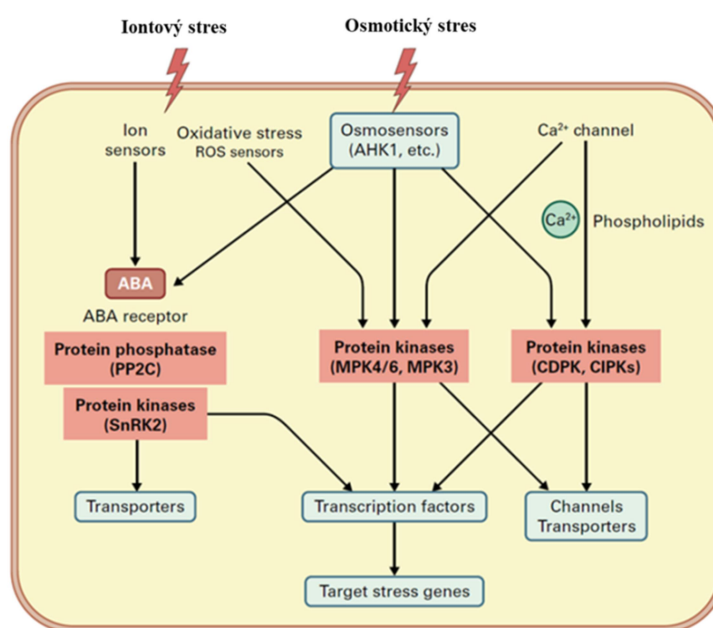
Podle Guidi et al. (2019) dochází ke snížení fotosyntetické aktivity také vlivem fotoinhibice. Nejcitlivější složkou fotosyntetického aparátu z tohoto pohledu je fotosystém PSII. Tito autoři dále považují za nejsilnější a nejpoužívanější techniku pro hodnocení vlivu stresů na fotosyntetický proces analýzu fluorescence chlorofylu (blíže viz 4.4.3).

Shabala et Munns (2017) považují za nejdramatičtější a nejsnáze měřitelné reakce rostlin na zasolení reakce stomatální. K uzavírání průduchů dochází nejprve v důsledku narušení vodního potenciálu, a následně z důvodu lokální syntézy kyseliny abscisové (ABA). Uzavřením průduchů se sníží dostupnost CO_2 a tím, podle Chavese et al. (2009), klesá aktivita klíčových fotosyntetických enzymů (např. Rubisco či nitrát reduktáza). Hnilička et Hnilíčková (2016) uvádějí, že dochází též ke snížení obsahu Rubisco, a to při poklesu stomatální vodivosti g_s pod hodnotu $100 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Podle Shabaly et Munnse (2017) klesá výkonnost fotosyntézy celé rostliny také důsledkem snížení listové plochy. Úroveň fotosyntézy na jednotku plochy listu se ale často nemění, protože stresované rostliny vytvářejí menší a silnější listy s vyšší hustotou chlorofylu.

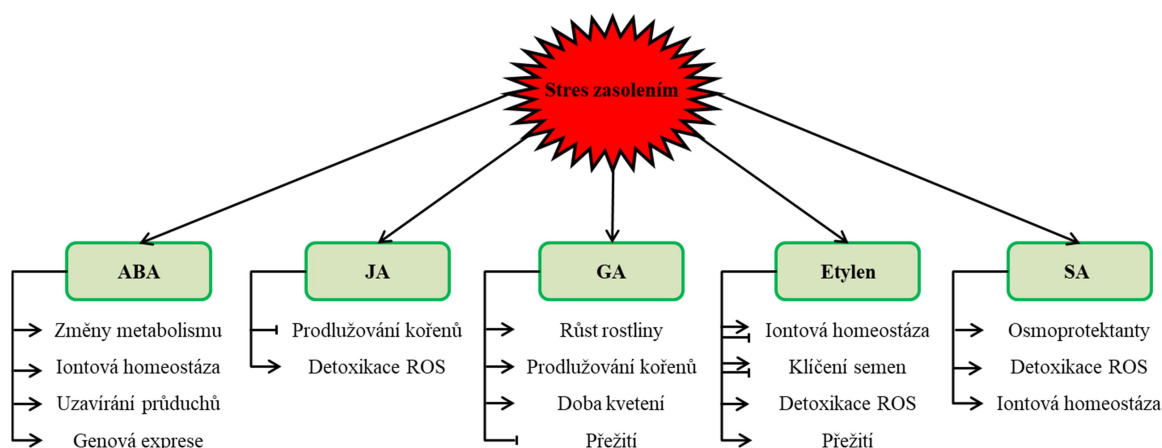
Shinozaki et al. (2015), Schulze et al., (2019) a Singh et al. (2019) se shodují, že mechanismy vnímání stresu a přenosu signálů nejsou dosud plně pochopeny. Obecná cesta signálu začíná vnímáním stresu senzory a následným generováním sekundárních posílů, kterými jsou: Ca^{2+} , inositol fosfát, ROS a fytohormony (Muchate et al., 2016). Sekundární posílové iniciují fosfoproteinové kaskády, které zodpovídají za tvorbu ochranných proteinů a transkripčních faktorů regulujících stresové geny. Schulze et al. (2019) uvádějí ve své práci tři základní prvky, jež jsou součástí stresem aktivované signální kaskády: přechodné zvýšení koncentrace Ca^{2+} v cytosolu, aktivace fosforylační kaskády a řízení stability proteinů.

Podle Shinozakiho et al. (2015) je důležitým mediátorem stresových signálů zejména ABA (viz obr. 3.11). Také podle těchto autorů hraje fosforylace proteinů důležitou roli ve stresových signálních drahách a zahrnuje celou řadu proteinových kináz (např. CDPK – Calcium-dependent protein kinase, MPK – mitogen activated protein kinase). Kulik et al. (2011) považují za klíčovou proteinovou kinázu serin/threonin SnRK2 (Sucrose non-fermenting related kinase) právě pro její důležitost v signální dráze ABA.



Obr. 3.11: Signální kaskády při reakci na zasolení (upraveno dle Shinozakiho et al., 2015)

Zhao et al. (2020) konstatují, že kromě ABA se reakci na stres zasolením účastní další endogenně produkované fytohormony jako např. kyselina jasmonová (JA), gibereliny (GA), kyselina salicylová (SA) a etylen. Přehled jejich základních funkcí je na obr. 3.12. Podle Mahajana et al. (2020) fungují fytohormony jako hlavní signální molekuly, podílejí se na regulaci antioxidantního systému, tvorbě osmolytů a genové expresi. Tito autoři a Bhatla et Lal (2018), Muchate et al. (2016) a Sourí et al. (2020) přidávají do výčtu fytohormonů účastnících se stresových reakcí také auxin (IAA), cytokininy (CK) či brassinosteroidy. Shinozaki et al. (2015) dodávají, že fytohormony regulují obranné reakce proti stresu prostřednictvím synergických a antagonistických interakcí.



Obr. 3.12: Funkce fytohormonů při reakci na zasolení (upraveno dle Zhaa et al., 2020)

3.2.3 Adaptace rostlin na zasolení

Z pohledu tolerance k zasolení můžeme rozdělit rostliny na glykofyty, které jsou citlivé na zasolení a halofyty, které zasolení tolerují (Bhatla et Lal, 2018).

Bui (2013) poukazuje na to, že prahová koncentrace zasolení oddělující glykofyty od halofyt není jasně stanovena. Ve své práci uvádí dvě hodnoty používané jako hraniční: 200 mmol NaCl (tj. cca 20 dS m⁻¹) a 80 mmol NaCl (to odpovídá 8 dS m⁻¹). Tyto prahové koncentrace se navíc liší od hodnoty 4 dS m⁻¹, což je hodnota definující zasolenou půdu.

Motřková et al. (2014) definují halofyty jako rostliny schopné pro svůj růst využít vodu i s více než 0,5% obsahem soli. Dělí je do tří kategorií: obligátní halofyty (optimálního růstu dosahují na zasolených půdách), fakultativní halofyty (mohou růst na zasolených i nezasolených půdách) a přechodné halofyty (optimálně rostou na nezasolených půdách, ale přechodně snesou i zasolení). Konkrétní míra tolerance je pak dána širokou škálou morfologických, fyziologických a biochemických mechanismů.

Podle uvedených autorů existují dva hlavní adaptační mechanismy. První spočívá v řízeném příjmu soli pomocí vysoce selektivní plazmatické membrány, která brání nadbytečnému příjmu iontů do buněk kořenů. Druhý je založen na ukládání soli do vakuol nebo apoplastu. Část solí pak bývá transportována do nadzemní části a vylučována na povrch listů. Fytoexkrece zajišťují speciální exkreční orgány: solné žlázy, solné měchýřky a trichomy, v nichž se sůl akumuluje, a případné přebytky jsou jimi vylučovány na povrch listů.

Messerer et al. (2018) uvádí, že buňky specializované na ukládání soli mají desetkrát větší průměr než běžné epidermální buňky a jejich vakuoly dokážou pojmout až tisíckrát více tekutin.

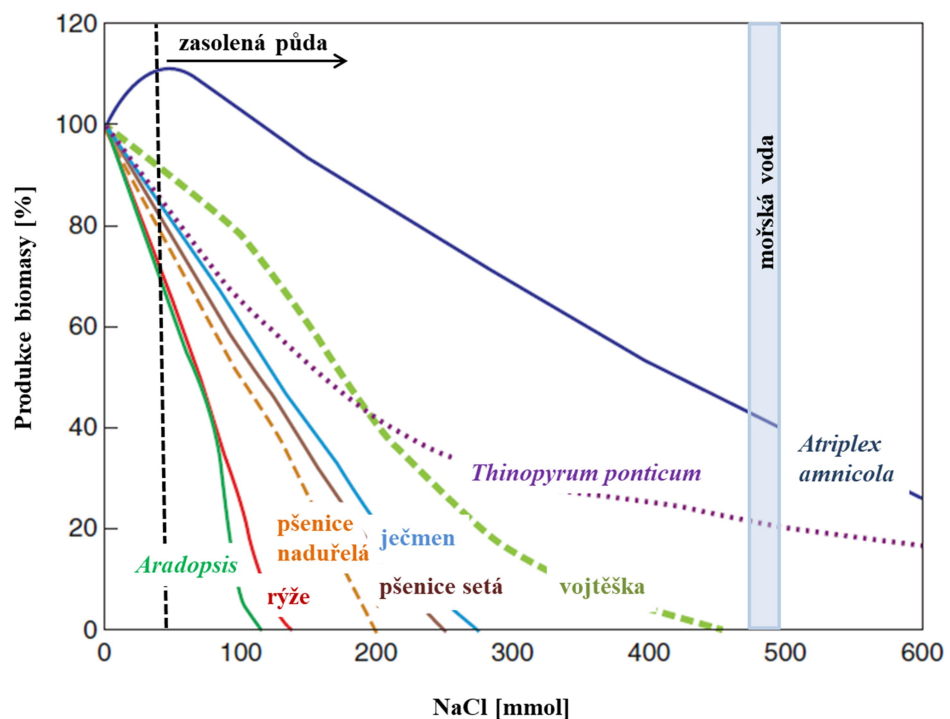
Podle Kůdely et al. (2013) je pro mnohé halofyty charakteristický sukulentní habitus. Sukulence je důležitá adaptivní strategie založená na ukládání soli a zadržování vody (Zhao, 2020). Příkladem morfologických a anatomických adaptací sukulentních halofyt je silná kutikula či dužnatost listů. Hustota stomatálních otvorů je u halofyt nižší než u glykofyt a často jsou ukryta v „kryptách“ pod povrchem listů (Bahtla et Lal, 2018). Silnější listy mají také, z pohledu ztrát vody, výhodnější poměr povrchu k objemu (Schulze et al., 2019).

Pro sukulenty je charakteristický metabolismus CAM (Crassulacean Acid Metabolism). V noci, kdy jsou otevřeny průduchy, je CO₂ zpočátku fixován fosfoenolpyruvátem (PEP). Primárním produktem fixace je oxalacetát, který je dále redukován malátdehydrogenázou na malát. Ten je uložen ve vakuolách, kde může dosáhnout vysokých koncentrací. Ve dne se průduchy uzavírají, aby se zabránilo ztrátám vody. Malát je transportován z vakuoly do cytoplazmy, kde je dekarboxylován za vzniku CO₂ a pyruvátu. Oba produkty jsou transportovány do chloroplastu. CO₂ je zde fixován enzymem Rubisco do Calvin-Bensonova cyklu. Výsledným produktem je škrob, který je další noci rozkládán glykolýzou za vzniku PEP, který je následně využit pro fixaci CO₂. Celý cyklus se tak uzavírá. Metabolismus CAM je podobný metabolismu C₄ (prvním produktem fixace CO₂ je také čtyřuhlíkatý oxalacetát), ale místo prostorového oddělení dvou karboxylací nutných pro fixaci CO₂ využívá časového oddělení (Niyogi et al., 2015).

Některé rostliny (např. *Mesembryanthemum crystallinum* či *Atriplex lentiformis*) dokážou reagovat na zasolení a sucho změnou metabolismu z C₃ (prvním produktem fixace CO₂ je tříuhlíkatý fosfoglycerát) na C₄ nebo CAM (Ayub et al., 2020).

Messerer et al. (2018) a Bothe (2018) odhadují, že halofytních rostlin jsou jenom asi 2 % z celkového počtu rostlinných druhů. Nejvíce halofyt se nachází v čeledi *Chenopodiaceae* (asi 550 druhů), dále pak v čeledích *Poaceae*, *Fabaceae* a *Asteraceae* (Mořková et al., 2014).

Většina základních potravinářských plodin je citlivá na sůl (Bhatla et al., 2018). Jen některé vykazují toleranci k mírnému zasolení. Je to např. rýže setá (*Oryza sativa*), pšenice setá (*Triticum aestivum*) či ječmen setý (*Hordeum vulgare*). Z píce je poměrně tolerantní vojtěška setá (*Medicago sativa*) (viz obr. 3.13).



Obr. 3.13: Tolerance vybraných rostlin na zasolení (upraveno dle Schultze et al., 2019 a Bhatly et Lala, 2018)

3.3 Biostimulanty

Podle odhadů OSN vzroste globální populace ze současných cca 7,5 miliard lidí na přibližně 9,7 miliard lidí v roce 2050. V důsledku klimatických změn budou mít abiotické stresy stále větší negativní vliv na výnos plodin. Předpokládá se, že poptávka po potravinách vzroste do roku 2050 o 70-100 %. To pro moderní zemědělství znamená efektivněji produkovat více potravin ekologickým a udržitelným způsobem. Jednou z cest jsou inovativní technologie zaměřené na rostlinné biostimulanty a účinné metody jejich aplikace (Rouphael et Colla, 2018; Rouphael et al., 2018b). Také podle La Torre et al. (2016) mohou biostimulanty sehrát klíčovou roli ve zvyšování produktivity zemědělství v podmínkách environmentální udržitelnosti. Očekává se, že globální trh s biostimulanty dosáhne v roce 2025 hodnoty 4,14 mld. USD. Mezi země s největší produkcí biostimulantů v rámci EU patří Francie, Itálie a Španělsko (Bulgari et al., 2019a). Evropa je největším trhem, představuje 34 % celosvětového trhu. Následována je Severní Amerikou (23 %) a asijsko-pacifickou oblastí (22 %) (Rouphael et Colla, 2018).

3.3.1 Definice a legislativa

Yakhin et al. (2017) uvádějí, že první koncept teorie biogenních stimulantů navrhnul profesor V. P. Filatov v SSSR roku 1933. Podle této teorie mohou biologické materiály odvozené od různých organismů ovlivňovat metabolické a energetické procesy lidí, zvířat a rostlin. Uvedení autoři dále konstatují, že je pojem biostimulant špatně definován a zahrnuje mnoho produktů různorodě popsanych jako biogenní stimulanty, růstové regulátory, alelopatické preparáty, fytoestimulátory, rostlinné kondicionéry apod. Podle Bankse et Percivala (2012) jsou biostimulanty materiály, které nejsou ani hnojivem ani pesticidem, ale pokud se použijí na rostliny, zlepšují se jejich zdraví, růst a ochrana. Du Jardin (2015) uvádí ve své práci, že biostimulantem jsou jakékoliv látky nebo mikroorganismy, jejichž aplikací se zlepšuje účinnost výživy, tolerance k abiotickému stresu či kvalitativní ukazatele plodiny, bez ohledu na obsah jejich živin. Podle La Torre et al. (2016) jsou biostimulanty na pomezí mezi přípravky na ochranu rostlin a hnojivy. Některé členské země EU legislativně řadí biostimulanty mezi hnojiva (např. Belgie, Francie, Rakousko), některé mezi prostředky na ochranu rostlin (např. Itálie, Německo, Španělsko, ČR).

S ohledem na uvedenou nejednotnost a rostoucí zájem o využití biostimulátorů zahrnují evropská zákonodárce tyto látky do Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/1009, kterým se stanoví pravidla pro dodávání hnojivých výrobků EU na trh (EBIC, 2020). Podle tohoto Nařízení je biostimulant hnojivý výrobek EU, jehož funkcí je stimulovat vyživovací procesy rostliny nezávisle na obsahu živin výrobku, přičemž jediným účelem je zlepšení jedné nebo více z těchto charakteristik rostliny nebo její rhizosféry: efektivita využívání živin, tolerance vůči abiotickému stresu, kvalitativní znaky nebo dostupnost živin vázaných v půdě či rhizosféře (EUR-Lex, 2019). Dále tato legislativa podrobněji řeší zejména pravidla označování výrobků, povinné deklarace, maximální povolený obsah kontaminujících látek apod. s cílem usnadnit výrobcům vstup na jednotný trh EU. Od července 2022 bude možno uvádět na trh první produkty s označením CE. ČR na toto Nařízení zareagovalo a biostimulanty nyní registruje dle zákona o hnojivech č. 156/1998 Sb. (Houček, 2020).

3.3.2 Rozdělení a účinky biostimulátorů

Podle du Jardina (2015) pro biostimulanty neexistuje žádný komplexní právní či regulační rámec v žádné zemi (ani v EU či USA). Tato situace tedy vylučuje jejich přesnou kategorizaci. Aktuálně platné Nařízení EU 2019/1009 stav příliš nevyjasnilo, neboť tuto problematiku řeší jen omezeně. V průběhu let navrhli různí autoři různé kategorie biostimulantů na základě hlavní složky nebo způsobu působení (Yakhin et al., 2017; Bulgari et al., 2019a). Podle Bulgari et al. (2019a) je současná klasifikace založena na zdroji biostimulantů a neposkytuje tak žádnou informaci o jejich biologické aktivitě. Roupael et Colla (2020) rozlišují dvě hlavní kategorie biostimulantů: nemikrobiální a mikrobiální. Du Jardin (2015), La Torre et al. (2016), Van Oosten et al. (2017) a Bulgari et al. (2019a) uvádějí nejčastěji podobné hlavní skupiny:

- **Huminové sloučeniny (HS)** – zahrnují huminové kyseliny, fulvokyseliny a huminy (Bulgari et al., 2019a). Jsou to přirozené organické součásti půdy, které vznikají rozkladem rostlinných, živočišných a mikrobiálních zbytků a metabolickou aktivitou půdních mikroorganismů. Většina biostimulačních účinků těchto látek spočívá ve zlepšení kořenové výživy (du Jardin, 2015). Stimulují růst kořenů a tvorbu biomasy, zvyšují účinnost hnojiv, snižují utužení půdy a zvyšují toleranci k abiotickému stresu (La Torre et al., 2016). HS zvyšují kationtovou výměnnou kapacitu půdy a neutralizují její pH. Vytvářejí komplexy s nerozpustnými prvky a zpřístupňují je pro rostliny (Pylak et al., 2019). Du Jardin (2015) uvádí, že HS mají i hormonální účinky. Dosud však není jasné, zda HS ovlivňují přímo signální dráhy fytohormonů, nebo stimulují mikroorganismy produkující hormony. Jindo et al. (2020) ve své práci uvádějí, že HS mají biostimulační účinky na všechny hlavní fytohormony (IAA, CK, GA, ABA a etylen). Reakce rostlin závisí na konkrétní látce, koncentraci, způsobu aplikace a vývojové fázi rostliny. HS jsou extrahovány např. z rašeliny, kompostů, vermikompostů nebo minerálních ložisek (du Jardin, 2015).
- **Proteinové hydrolyzáty a aminokyseliny** – Tato skupina zahrnuje aminokyseliny, peptidy, polypeptidy a denaturované proteiny (Bulgari et al., 2019a). Získávají se chemickou a enzymatickou hydrolyzou proteinů z vedlejších produktů jak rostlinného, tak živočišného původu (du Jardin, 2015). Jsou významným zdrojem organického dusíku. Podle La Torre et al. (2016) zlepšují aktivitu některých enzymů a regulují biochemické procesy (např. obranné reakce proti abiotickým stresům). Důležitou roli dále hrají ve stimulaci růstu kořenů (Pylak et al., 2019). Proteiny a aminokyseliny mají chelatační a komplexotvorné schopnosti, takže zlepšují dostupnost živin kořenům rostlin a mohou rostliny chránit před těžkými kovy. Hydrolyzáty také zvyšují mikrobiální biomasu a její aktivitu, provzdušňují půdu a celkově zlepšují půdní úrodnost (du Jardin, 2015). Některé látky jako např. prolin či glycin betain mají antioxidační a osmolytické účinky (Van Oosten et al., 2017). Bulgari et al. (2019a) uvádějí, že některé komerční výrobky na živočišné bázi byly fyto toxické a ve srovnání s rostlinnými hydrolyzáty měly negativní účinky. Podle du Jardina (2015) zakázala Evropská unie Nařízením Komise č. 354/2014 používat živočišné hydrolyzáty na jedlé části plodin pěstovaných v ekologickém zemědělství.

- **Extrakty z řas a rostlin** – Řasám se podrobněji věnuje kapitola 3.4. Biostimulační vlastnosti látek extrahovaných z rostlin nejsou popsány v takové míře, jako je tomu u řas. Pozornost je zaměřena spíše na jejich pesticidní vlastnosti (du Jardin, 2015). Fungicidní účinky mají např. extrakty z rostlin *Allium sativum*, *Azadirachta indica* či *Thymus vulgaris* (Pylak et al., 2019). Extrakty mají na rostliny celou řadu biostimulačních účinků. Podle Zulfiquara et al. (2019) např. extrakty z listů rostliny *Moringa oleifera* zlepšují klíčení, růst a výnos rostlin, kvalitu produktů a odolnost rostlin proti abiotickým stresům. Uvedení autoři dále uvádějí, že extrakt z kořene lékořice (*Glycyrrhiza glabra*) zlepšuje růst a výnos fazolí stresovaných zasolením či zvyšuje obsah živin a hormonů v listech hrušní. Drobek et al. (2019) uvádějí, že extrakt z rozmarýnu stimuluje růst rajčat a extrakt z křenu zvyšuje výnos dýní. Foliární aplikace rostlinných extraktů (čirok, slunečnice, *Moringa oleifera*, *Brassicaceae*) zlepšila výnos pšenice stresované suchem a teplem (Farooq et al., 2017). Yakhin et al. (2017) uvádějí ve své práci další rostliny (např.: *Digitalis* sp., *Lupinus albus*, *Lycopersicon esculentum*, *Nicotiana tabacum*, *Vitis vinifera* či *Zea Mays*) a jejich pozitivní vliv na klíčení, růst rostlin, výnosy a tvorbu biomasy. Extrakty z uvedených rostlin také zlepšují kvalitu a organoleptické vlastnosti produkce.
- **Biopolymery** – jsou polymery syntetizované živými organismy. Patří sem např. polypeptidy a polysacharidy. Nejhojnějším polymerem po celulóze je chitosan. Jeho oligomery (oligochitosan) jsou tvořeny lineárními polysacharidy D-glukosaminem a N-acetyl-D-glukosaminem (García-García et al., 2020). Podle du Jardina (2015) je chitosan deacetylovaná forma chitinu, která vzniká přirozeně nebo průmyslovou výrobou. Jedním z možných zdrojů jsou krunýře korýšů (Xu et Geelen, 2018). Chitosan a chitin se běžně používají ke zlepšení rezistence na biotický stres, ale zvyšují také odolnost rostlin stresovaných zasolením, suchem a teplotou (Caradonia et al., 2019). Chitosan stimuluje rychlost fotosyntézy, uzavírání průduchů syntézou ABA, produkci antioxidantů a osmolytů. Tvoří komplexy s těžkými kovy, takže je využíván pro fytoremediaci a bioremediaci půdy (Hidangmayum et al., 2019). Do této skupiny biostimulantů lze zařadit dále např. oligosacharidy získávané z mořských řas (např. laminarin) nebo polypeptidy vznikající mikrobiální fermentací (García-García et al., 2020).
- **Anorganické látky** – Du Jardin (2015) do této skupiny řadí prvky, které podporují růst rostlin, ale nejsou nezbytné pro všechny druhy. Uvádí pět hlavních takovýchto prvků: Al, Co, Na, Se a Si. Podle La Torre et al. (2016) do této skupiny patří anorganické soli např.: fosfonáty, hydrogenuhličitan, křemičitan, sírany a dusičnany. Du Jardin (2015) dále uvádí, že definice prospěšných prvků nesouvisí pouze s jejich chemickou podstatou, ale i pozitivními účinky na růst rostlin a jejich reakcemi na stres. Lze předpokládat, že bioaktivita některých komplexních biostimulantů, jako jsou např. extrakty z řas či živočišných odpadů, souvisí i s účinky obsažených prospěšných prvků. Významným biostimulantem je již zmíněný křemík. Ačkoliv je druhým nejhojnějším prvkem v zemské kůře, není z pohledu výživy rostlin považován za esenciální. Mezi klíčové mechanismy zmírnění abiotických stresů zprostředkovaných Si patří: zvýšení mechanické pevnosti pletiv, stimulace antioxidantních systémů, imobilizace toxických kovů, modulace genové exprese a hormonální signalizace (Savvas et Ntatsi, 2015). Jedním z nejvýznamnějších rostlinných akumulátorů Si je *Equisetum arvense* (Vivancos et al., 2016). Přípravky z této rostliny mají dlouhou tradici v ekologickém zemědělství (Matyjaszczyk, 2018). Do této

kategorie biostimulantů však patří i esenciální prvky. Příkladem je draslík, jehož zvýšený přísun během stresového stavu dokáže snížit produkci ROS a regulovat iontovou i osmotickou homeostázu (Hasanuzzaman, et al., 2018).

- **Mikroorganismy** – Do této kategorie patří bakterie, kvasinky, vláknité houby a mikrořasy. Mohou být izolovány z půdy, vody, rostlin, kompostovaného hnoje nebo jiných organických materiálů (Bulgari et al., 2019a). Jsou aplikovány do půdy a rostliny ovlivňují svými metabolickými aktivitami. Fixují dusík, indukují biosyntézu hormonů a zvyšují toleranci k abiotickým stresům. Na kořenech rostlin vytvářejí ochranný biofilm, který zlepšuje absorpci vody a živin. Van Oosten et al. (2017) uvádějí, že mezi bakteriální biostimulanty patří rody *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Pseudomonas* a *Bacillus*. Tyto bakterie si vyvinuly strategie, jak prospívat za nepříznivých podmínek. Pozitivní účinky bakteriálních biostimulantů dokládají např. následující aplikace na rostliny stresované zasolením. Semena ředkvičky (*Raphanus sativus*) naočkovaná bakteriemi *Bacillus subtilis* a *Pseudomonas fluorescens* měla oproti kontrolní variantě nárůst biomasy, zvýšení obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů, volných aminokyselin a bílkovin (Mohamed et Gomaa, 2012). Azarmi-Atajan et Sayyari-Zohan (2020) ve své práci prokázali, že bakterie *Pseudomonas* sp. zvýšila odolnost rostlin lociky seté (*Lactuca sativa*) stresovaných zasolením. Oproti kontrole se např. zvýšila hmotnost biomasy či obsah chlorofylu. K podobným závěrům dospěli Fasciglione et al. (2015) po inokulaci semen téže rostliny bakterií *Azospirillum brasilense*. Kohler et al. (2009) uvádějí, že v podmínkách zasolení měly rostliny *L. sativa* ošetřené bakterií *Pseudomonas mendocina* oproti kontrole v listech vyšší obsah vody a nižší koncentraci Na.

Další skupinou mikroorganismů jsou kvasinky. Podle Sangiorgia et al. (2020) mohou kolonizovat listy nebo kořeny rostlin. Na listech působí antagonisticky vůči řadě patogenů. Půdní kvasinky podporují růst rostlin rozkladem organické hmoty a eliminací kořenových patogenů. Sarabia et al. (2018) uvádějí jako příklad půdních kvasinek druhu *Meyerozyma guilliermondii* a *Candida railensis* z oddělení *Ascomycota*.

Dále do této kategorie patří houby. Du Jardin (2015) rozlišuje dva hlavní typy prospěšných hub. Mykorhizní houby (např. *Glomus* spp., *Rhizophagus* spp.) jsou heterogenní skupinou taxonů, které vytvářejí symbiózy s více než 90 % všech druhů rostlin. Nejrozšířenějším typem mykorhizy je arbuskulární mykorhiza. Druhým typem jsou houby, které jsou schopny alespoň část svého životního cyklu žít mimo hostitelskou rostlinu např. *Trichoderma* spp. (*Ascomycota*) nebo *Sebacinales* sp. (*Basidiomycota*). Pozitivní účinky hub prokázali např. Zuccarini et Savé (2016), kteří testovali tři druhy rodu *Glomus* na rostlinách špenátu (*Spinacia oleracea*) stresovaných suchem. Naočkované rostliny vykazovaly lepší růst a výnos. Další příklad uvádějí ve své práci Caporale et al. (2014). Rostliny *Lactuca sativa* byly zavlažované vodou kontaminovanou As. Rostliny inokulované dvěma druhy rodu *Trichoderma* vykazovaly oproti kontrole nižší akumulaci As v pletivech a lepší růst.

Rouphael et Colla (2018) a Drobek et al. (2019) poukazují na to že, vhodné kombinace mikroorganismů (např. mykorhizní houby a bakterie) mají lepší účinky než jednotlivé biostimulanty.

De Zelicourt et al. (2013) do této kategorie řadí také viry a upozorňují na složitost interakcí mezi rostlinami a jednotlivými mikroorganismy. Jako příklad uvádějí houbu *Curvularia protuberata*, která může obsahovat RNA virus Cp4666D, který zvyšuje toleranci rostlin proti tepelnému stresu. Při nepřítomnosti tohoto viru může sice *C. protuberata* kolonizovat svého hostitele, ale ztrácí schopnost zvyšovat jeho teplotní toleranci.

Poslední skupinou mikroorganismů jsou mikrořasy, které jsou podrobněji popsány v kapitole 3.4.

- **Ostatní** – Biostimulanty obtížně zařaditelné do výše uvedených kategorií jsou např. exkrementy potměníka moučného (*Tenebrio molitor*), které mají potenciál ke zvýšení odolnosti rostlin proti abiotickému stresu (Poveda et al., 2019) či extrakt z včelího medu, který prokazatelně zmírnil fyziologické reakce u cibule (*Allium cepa*) stresované zasolením (Semida et al., 2019). Podle Bulgari et al. (2019a) mohou další kategorie biostimulantů zahrnovat různé vedlejší zemědělské produkty a výtažky z potravinářských nebo průmyslových odpadů, z čištění odpadních vod či zbytků akvakultur. Novou kategorii biostimulantů zahrnující nanočástice a nanomateriály navrhli Juárez-Maldonado et al. (2019). Nanočástice jsou malé částice o rozměru max. 100 nm, jejichž povrchové náboje interagují s povrchovými náboji rostlinných buněk. Pokud jsou aplikovány v malém množství postřikem na list nebo v živném roztoku, mohou nanočástice pozitivně ovlivnit metabolismus rostlin a jejich toleranci ke stresu. Podle uvedených autorů takto mohou působit nanočástice kovů, polokovů a nekovů, dále nanomateriály na bázi uhlíku (např. uhlíková nanovlákná) či organické látky (např. chitosan). Odlišná velikost částic vede k odlišným vlastnostem oproti látce s obvyklou strukturou.

3.4 Řasy

Řasy jsou považovány za potenciální zdroj mnoha látek využitelných pro výrobu širokého spektra výrobků: potravin, krmiv, hnojiv, biostimulantů, biopaliv, kosmetiky apod. Tyto produkty jsou udržitelné, obnovitelné, bez negativních vlivů na životní prostředí. Využívání biomasy z řas by mohlo přispět k řešení některých hlavních problémů, kterým nyní moderní společnost čelí. Mezi ně patří energetická bezpečnost, potravinová bezpečnost a změna klimatu (Mironiuk et Chojnacka, 2018).

Celosvětová produkce řas je v současnosti odhadována na 28,5 mil. t čerstvé biomasy ročně, přičemž více než 80 % tohoto množství je vypěstováno v Číně a Indonésii (Dmytryk et al., 2018). Ve srovnání s těmito zeměmi je pěstování a zpracování řas v Evropské unii poměrně nové odvětví. Související legislativa je proto neúplná, roztržitá a nerovnoměrně implementovaná (Leinemann et Mabilia, 2019). Pro produkci biořas je nutno splnit řadu požadavků dle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/848 o ekologické produkci a označování produktů (EUR-Lex, 2018).

3.4.1 Botanická charakteristika řas

Fykologická terminologie a taxonomie je neustálená a stále se vyvíjí. Pojem řasy zahrnuje extrémně rozmanitou taxonomickou skupinu prokaryotických a eukaryotických převážně autotrofních organismů (Griffiths et al., 2016). Podle odhadů se mezi ně řadí 1-10 milionů druhů, z nichž bylo dosud popsáno pouhých 40 tisíc (Bueno et al., 2019). Baweja et Sahoo (2015) uvádějí řadu způsobů klasifikace těchto organismů. Hlavními znaky, které se pro klasifikaci využívají, jsou: fotosyntetické pigmenty (chlorofyly, karotenoidy, fykobiliny), biochemická povaha zásobní látky, složení buněčné stěny a přítomnost, stavba a umístění bičíku. První klasifikační systém na základě barvy stélky sestavil roku 1836 irský botanik W. H. Harvey (1811-1866), který se jako první řasám systematicky věnoval.

V současnosti např. Lee (2018) rozlišuje čtyři hlavní skupiny řas (viz tab. 3.3). První skupinu tvoří sinice (*Cyanophyta*). Podle tohoto autora se tedy jedná o prokaryotické řasy. To je v souladu s prací Kaliny et Váni (2010), kteří také považují sinice za jedno z řasových oddělení. Eukaryotické řasy dělí Lee (2018) do tří skupin podle obalu chloroplastu. Pro klasifikaci řas dále tento autor navrhuje používat standardní botanickou nomenklaturu: kmen (Phylum – *phyta*), třída (Class – *phyceae*), řád (Order – *ales*), čeleď (Family – *aceae*), rod (*Genus*) a druh (*Species*). Do těchto kategorií zařazuje jednotlivé druhy podle již zmíněných klasifikačních znaků (pigmenty, zásobní látka, bičík apod.).

Podle Ronga et al. (2019) lze řasy rozdělit do dvou základních skupin: jednobuněčné nebo vláknité mikrořasy a vícebuněčné makrořasy. Podle Masojídka et al. (2016) se pojem mikrořasy používá pro prokaryotní sinice i eukaryotní řasy, jejichž velikost je v řádu mikrometrů. Nejmenší známou mikrořasou je mořská sinice *Prochlorococcus* sp., která má v průměru méně než 1 μm . Bueno et al. (2019) dále dělí jednobuněčné řasy podle složení pigmentů do devíti divizí. Mezi největší patří: *Phaeophyceae*, *Chlorophyceae*, *Pyrrophyceae* či *Bacillariophyceae*. Podle El Boukharho et al. (2020) zahrnují makrořasy asi 10 000 druhů a lze je rozdělit podle barviva do tří skupin: *Phaeophyta* (hnědé řasy), *Chlorophyta* (zelené řasy) a *Rhodophyta* (červené řasy). Dominantní jsou hnědé řasy. Korzeniowska et al. (2018)

uvádějí, že mezi hnědé řasy patří např. rody *Macrocystis*, *Saccharina*, *Ascophyllum*, *Fucus*, *Laminaria* atd. Ze zelených řas je hospodářsky významný např. rod *Ulva* a z červených řas rod *Porphyra* či *Chondrus*.

Tab. 3.3: Klasifikace řas (upraveno dle Lee, 2018)

Buňka	Skupina	Obal chloroplastu	Kmen
prokaryotická	I.	---	<i>Cyanophyta</i>
eukaryotická	II.	Chloroplast obklopují dvě membrány chloroplastového obalu.	<i>Glaucophyta</i>
			<i>Rhodophyta</i>
			<i>Chlorophyta</i>
	III.	Chloroplast obklopuje jedna membrána chloroplastového endoplazmatického retikula.	<i>Euglenophyta</i>
			<i>Dinophyta</i>
			<i>Apicomplexa</i>
	IV.	Chloroplast obklopují dvě membrány chloroplastového endoplazmatického retikula.	<i>Cryptophyta</i>
			<i>Heterokontophyta</i>
			<i>Prymnesiophyta</i>

Sinice (*Cyanophyta*) jsou gramnegativní, fotoautotrofní prokaryotické bakterie, které se vyskytují na stanovištích po celém světě, od chladných oblastí Arktidy po horké prameny v Yellowstone parku (Gaysina et al., 2019). Jsou to staré organismy, fosilie sinic byly nalezeny v sedimentech starých 3,8 mld. let (Andersen, 2013). Podle Gaysiny et al. (2019) sehrály klíčovou roli při přeměně anaerobní atmosféry na aerobní před dvěma miliardami let. V současnosti jsou stále hlavními producenty kyslíku na Zemi. Mezi nejvýznamnější patří sinice *Synechococcus* sp., *Synechocystis* sp. a *Prochlorococcus* sp. (Lee, 2018). Přes dlouhou historii a velkou rozmanitost je taxonomie sinic stále matoucí a složitá. Klasifikaci ztěžuje zejména morfologická plasticita, ekologická flexibilita, velká heterogenita a nepohlavní způsob reprodukce. Walter et al. (2017) proto navrhuje vytvořit jednoznačnější klasifikaci založenou na integraci ekologických preferencí jednotlivých druhů s jejich genomickým rámcem.

Makroskopické řasy (zejména chaluhy) často rostou v tzv. chaluhoých lesích (kelp forests). Smale et al. (2019) uvádějí, že se vyskytují podél 25 % celkové délky světového pobřeží. Jsou to husté porosty nacházející se mezi nejnižší úrovní odlivu a okrajem kontinentálního šelfu, kde jsou rozsáhlé oblasti mělkého dna obvykle pokryté sedimenty (Thurman et Trujillo, 2005). V severských vodách Evropy dominují chaluhy rodů *Laminaria* a *Alaria*, jejichž stélky dosahují délky až 10 metrů. Na tichomořském pobřeží dominují rody *Macrocystis* a *Nereocystis*. Největší je *Macrocystis pyrifera* dosahující délky až 60 metrů. Na skalnaté dno se ukotvuje příchytnými strukturami (rhizoidy) a její tělo nadnášejí plynové měchýřky (pneumatocysty). Chaluhoé lesy jsou produktivní ekosystémy s vysokou druhovou diverzitou (viz obr. 3.14), ve kterých žije velké množství různých druhů živočichů: plži, hvězdice, ježovky, hlavonožci, korýši, ryby apod. Těmito živočichy se pak živí draví savci (např. vydra mořská či tuleni).



Obr. 3.14: Chaluhový les
(Delamarre, 2021)



Obr. 3.15: *Arthrospira* sp. (*Spirulina* sp.)
(Belay, 2013)

Botanická charakteristika vybraných zástupců řas:

- ***Arthrospira* sp. (syn. *Spirulina* sp.)** – je mnohobuněčná vláknitá sinice žijící v tropických a subtropických alkalických vodách (Belay, 2013). Mezi nejvýznamnější jedlé druhy patří *A. maxima* a *A. platensis*. Válcové buňky o průměru 6-12 μm tvoří jediný helikoidní trichom (viz obr. 3.15). Stoupání šroubovice se pohybuje v rozmezí 12-72 μm a průměr šroubovice v rozsahu 30-70 μm . Gramnegativní buněčná stěna obsahující peptidoglykan je tvořena čtyřmi vrstvami o tloušťce 10-15 nm. Rod *Arthrospira* patří do kmene *Cyanophyta*, třídy *Cyanophyceae* a řádu *Oscillatoriales* (Lee, 2018). Podle Belaye (2013) se rod *Arthrospira* od rodu *Spirulina* odlišuje mimo jiné viditelnými přepážkami ve stěně. Podobně jako u jiných prokaryotických organismů nemají buňky sinic jádro, plastidy či další orgány. Lee (2018) konstatuje, že kruhové fibrily DNA nejsou asociovány s histony a nacházejí se spolu s ribozomy v centrální cytoplazmě. Tylakoidy, ve kterých probíhá fotosyntéza, jsou umístěny mezi periferní a centrální cytoplazmou. Základním fotosyntetickým pigmentem sinic je chlorofyl *a* v membránách tylakoidů. Některé druhy mají také chlorofyl *b* a *d*. Na povrchu tylakoidů vznikají fykobilizomy obsahující fykobiliproteiny (např. c-fykocyanin a c-fykoerytrin). Dalšími pigmenty jsou karotenoidy (např. β -karoten, echinenon, myxoxantofyl). V prostorách mezi tylakoidy se nacházejí polyglukanové granule, které obsahují zásobní látku polyglukan – vysokomolekulární polymer glukózy. Tato látka připomíná glykogen nebo amylopektin (Belay, 2013). Mezi další struktury patří plynové vezikuly umožňující vzplývání blízko vodní hladiny. K reprodukci dochází nepohlavním způsobem fragmentací zralého trichomu. Masojídek et al. (2016) dodávají, že sušina biomasy sinic rodu *Arthrospira* je bohatá na bílkoviny (55-70 %) a dále obsahuje 19 % polysacharidů a 5-6 % lipidů.
- ***Chlorella* sp.** – je jednobuněčná řasa patřící do kmene *Chlorophyta*, třídy *Chlorophyceae* a řádu *Chlorellales* (Lee, 2018). Mezi konkrétní druhy patří např. *Chlorella pyrenoidosa* a *Chlorella vulgaris*. Buňky mají sférický nebo elipsoidní tvar (viz obr. 3.16). Jejich průměr se pohybuje v rozmezí 2-10 μm (Belay, 2013). Buňky obsahují jádro, mitochondrie a chloroplasty. Mají tuhou buněčnou stěnu, jejíž struktura je, v závislosti na

druhu, velmi odlišná. V chloroplastech většiny druhů se vyskytují pyrenoidy. Lee (2018) uvádí, že pyrenoid je hustá proteinová oblast související s tvorbou zásobní látky (škrobem). Pyrenoidy obsahují Rubisco. Podle Belaye (2013) obsahují pyrenoidy některých druhů (např. *Ch. variegata* a *Ch. luteoviridis*) také tzv. pyrenoglobule, v nichž se nachází velké množství lipidů. Lee (2018) ve své práci dále uvádí, že všichni zástupci kmene *Chlorophyta* mají fotosyntetické pigmenty podobné jako vyšší rostliny. Jejich chloroplasty obsahují chlorofyl *a*, chlorofyl *b* a karotenoidy (hlavním je lutein). *Chlorella* sp. žije na různých stanovištích: ve slané i sladké vodě, volně v půdě nebo symbioticky s lišejníky a prvoky. Rozmnožuje se nepohlavními autosporami. Tento proces zahrnuje tři fáze: růst (zvětšování buňky), zrání (zvyšování množství látek potřebných pro mitózu) a dělení. Prasknutím mateřské buňky se uvolní 2-16 autospor. Podle Masojídka et al. (2016) obsahuje sušina biomasy 50-55 % bílkovin, 10-15 % polysacharidů a 10-15 % lipidů. V biomase je také obsažena nespécifická směs bioaktivních látek, která je nazývána jako chlorella růstový faktor (Chlorella Growth Factor, CGF). Lze ji kultivovat autotrofně i heterotrofně (viz 3.4.4).

- ***Ascophyllum nodosum*** – je řasa patřící do kmene *Heterokontophyta*, třídy *Phaeophyceae*, řádu *Fucales* a čeledi *Fucaceae*. Vyskytuje se podél atlantického pobřeží Severní Ameriky a Evropy. Třída *Phaeophyceae* zahrnuje hnědé řasy, jejichž typické zbarvení je způsobeno karotenoidem fukoxantinem. Chloroplasty dále obsahují chlorofyl *a*, *c*₁ a *c*₂. Zásobní látkou je laminarin (Lee, 2018). Buněčná stěna je tvořena celulózou a amorfními komponentami: alginovými kyselinami a fukoidanem. *A. nodosum* má dichotomicky větvenou stélku, která podle Pereiry et al. (2020) obvykle dosahuje délky 2 m (max. 5-7 m). K substrátu je přichycena pomocí diskovitěho přichytného orgánu. Ze stélky vyrůstají postranní (laterální) větve, které mají omezený růst. Stélka se větví obvykle jednou ročně na jaře po diferenciaci plynového měchýře. Lee (2018) uvádí, že se *A. nodosum* rozmnožuje pohlavně oogamicky. Haploidní generace je redukována na vajíčka a spermie. Zbytek životního cyklu je řasa diploidní. Gamety se vyvíjejí v dutinách (konceptakulech) koncentrovaných ve žlutých receptakulech (viz obr. 3.17). Receptakuly se začínají vyvíjet na podzim v reakci na krátký den. Dozrávají během zimy a nejplodnější jsou na jaře, kdy se vajíčka a spermie uvolňují do vody. Vajíčka produkují atraktant finnavarene (Guiry, 2021).



Obr. 3.16: *Chlorella vulgaris*
(Wikiwand.com, 2021)



Obr. 3.17: *Ascophyllum nodosum*
(Guiry, 2021)

3.4.2 Využití řas jako biostimulantů

Extrakty z mořských řas tvoří více než třetinu celkového trhu s biostimulanty. Předpokládá se, že v roce 2022 dosáhne tento segment trhu hodnoty 894 mil. EUR. Extrakty z řas jsou směsí biologicky aktivních látek, jejichž přesné složení závisí na druhu řasy a způsobu extrakce (El Boukhari et al., 2020). Složení závisí dále na místu a termínu sklizně či podmínkách prostředí (Górka et al., 2018).

Většina těchto biostimulantů je vyrobena z hnědé řasy *Ascophyllum nodosum* (Van Oosten et al., 2017). Podle Shukly et al. (2019) se výrobě biostimulantů z této řasy věnuje 47 společností na světě. Górka et al. (2018) uvádějí, že mezi další druhy makrořas vhodných pro výrobu biostimulantů patří: *Fucus* spp., *Laminaria* spp., *Sargassum* spp. a *Turbinaria* spp. Battacharyya et al. (2015) konstatují, že mořské řasy a jejich extrakty nejen, že podporují růst rostlin, ale také prokazatelně snižují dopad abiotického stresu u velkého počtu druhů. Podle Van Oostena et al. (2017) ovlivňují biostimulanty z řas např. stomatální regulaci či dostupnost vody, a tím obranné reakce celé rostliny. Goñi et al. (2018) ve své práci prokázali, že extrakty z řasy *A. nodosum* zvýšily toleranci rajčete (*Solanum lycopersicum*) vůči suchu. Podle Shukly et al. (2019) zlepšuje aplikace tohoto biostimulantu na rostliny stresované zasolením příjem živin. Chrysargyris et al. (2018) konkrétně uvádějí, že lze extrakt z *A. nodosum* použít ke zmírnění negativních účinků v důsledku deficitu draslíku. Aplikací tohoto extraktu zlepšili kvalitu a skladovatelnost salátu (*Lactuca sativa*). Jako další příklad lze uvést foliární aplikaci biostimulantu z řasy *Ecklonia maxima*, která zvýšila oproti kontrole výnos i kvalitu plodů cukety (*Cucurbita pepo*) stresované zasolením (Rouphael et al., 2017a).

Ronga et al. (2019), Chanda et al. (2019) a Chiaiese et al. (2018) se shodují, že potenciál mikrořas pro výrobu biostimulantů zatím není plně využit. Chanda et al. (2019) ve své práci uvádějí, že polysacharidy mikrořas mohou aktivovat řadu biochemických reakcí rostlin na abiotický stres (např. tvorbu antioxidantů). El Arrousi et al. (2018) ve své práci prokázali, že polysacharidy extrahované z mikrořasy *Dunaliella salina* zvýšily toleranci rostlin *Solanum lycopersicum* vůči zasolení. Aplikace lyofilizované sinice *Nostoc piscinale* zvýšila počet klasů, počet zrn v klasu i HTZ (hmotnost tisíce zrn), a tím celkový výnos ozimé pšenice *Triticum aestivum* (Takáč et al., 2019). Foliární aplikace mikrořasy *Chlorella vulgaris* zvýšila oproti kontrole délku výhonů, listovou plochu a hmotnost biomasy rostlin guaru (*Cyamopsis tetragonoloba*) stresovaných zasolením (Kusvuran et al., 2020).

Ronga et al. (2019) konstatují, že stále existuje řada otázek, které je třeba vyřešit, aby bylo možno biostimulanty z řas lépe využívat. Patří mezi ně např. skutečnost, že extrakty ze stejného druhu řasy, ale extrahované rozdílnými metodami mají odlišné složení a vlastnosti. Dalším faktorem je, že různé druhy plodin či různé kultivary mohou jinak reagovat na stejný biostimulant. Dále je nutno vyjasnit, v jaké vývojové fázi rostlin tyto biostimulanty aplikovat, jak často, v jakém množství a jak dlouho přetrvává biostimulační účinek extraktu po aplikaci. Shukla et al. (2019) se zamýšlejí i nad způsobem aplikace (foliárně či záhlvkou). Chiaiese et al. (2018) dodávají, že by se výzkum v nadcházejících letech měl zaměřit i na vliv klimatických podmínek, vliv morfologie rostlin (např. tloušťky kutikuly) a identifikaci případných synergií mezi zelenými řasami a sinicemi. Situaci také komplikuje skutečnost, že složení komerčních biostimulantů a způsob extrakce jsou často chráněné (Van Oosten et al., 2017).

3.4.3 Další možnosti využití řas

Mezi další oblasti využití řas patří:

- **Výživa lidí** – Suganya et al. (2016) uvádějí, že nejvýznamnější řasou ve výživě lidí je červená makrořasa Nori (*Porphyra* sp.) používaná k přípravě japonského národního pokrmu „sushi“, který získává na oblibě po celém světě. Mezi další oblíbené řasy patří hnědé řasy Wakame (*Undaria pinnatifida*) a Kombu (*Saccharina japonica*). V severozápadní Evropě se přibližně od 10. století konzumuje červená makrořasa *Palmaria palmata*. Podle uvedených autorů se v potravinářství také používají algináty, to jsou soli alginových kyselin získaných např. z makrořas *Ascophyllum* sp., *Macrocystis* sp. a *Laminaria* sp., a agar, což je směs polysacharidů extrahovaných z červených řas (např. *Gracilaria* sp., *Gelidium* sp., a *Pterocladia* sp.). Podle Masojídka et al. (2016) se ve výživě lidí často používají mikrořasy, a to jako výživové doplňky ve formě práškové nebo tabletované sušené biomasy. Případně se prášek řasové biomasy přidává do potravin, např. jogurtů, pečiva a nápojů.
- **Výživa zvířat** – Podle Makkara et al. (2016) mají makrořasy ve výživě zvířat dlouhou historii. Mají variabilní složení závislé na druhu, době sklizně a vnějších podmínkách. Obsahují velké množství minerálů a malé množství celulózy (cca 4 %). Ve výživě přežvýkavců se obvykle zkrmují v malých koncentracích (do 5 %). Např. *Ascophyllum nodosum* může být cenným zdrojem minerálů pro přežvýkavce v mléčné produkci, zvyšuje jejich imunitu, snižuje počet patogenních organismů v trávicím traktu a zlepšuje kvalitu masa. Jako zdroj minerálů lze využít také tzv. maerl. To jsou vápenaté usazeniny tvořené odumřelými červenými korálovými řasami (např. *Phymatolithon* sp. a *Lithothamnion* sp.). Podle uvedených autorů může být maerl vhodným zdrojem vápníku pro laktující zvířata. Dále může např. snižovat kulhavost brojlerů. Madeira et al. (2017) uvádějí, že mikrořasy jsou alternativou k potravinovým plodinám a jejich používání v krmivech zmírňuje konkurenční tlak výživy zvířat na lidský potravinový řetězec. Mikrořasy obsahují celou řadu látek (bílkoviny, lipidy, sacharidy, vitamíny minerály, antioxidanty apod.), které z nich činí výbornou přísadu do krmiv. Makkar et al. (2016) a Madeira et al. (2017) se shodují, že při používání řas v krmivech je, s ohledem na jejich schopnost akumulovat těžké kovy, nutná jistá obezřetnost a pravidelné kontroly kvality.
- **Hnojiva** – Řasy lze pro tento účel využít různými způsoby. Biomasa řas může sloužit jako zdroj živin pro rostliny sama o sobě. Verma et al. (2015) uvádějí, že se hnědé řasy (např. *Ascophyllum* sp., *Fucus* sp., *Macrocystis* sp. a *Sargassum* sp.) používají v pobřežních zemích, jako je např. Čína, Korea, Francie, Irsko, Norsko atd., v čerstvé formě. Podle Ferreiry et al. (2019) je, s ohledem na jednodušší skladování a manipulaci, vhodnější sušená forma. Górka et al. (2018) ve své práci upozorňují také na možnost kompostování. Dalším možným zdrojem živin je již zmíněný maerl (Suganya et al., 2016). Chittora et al. (2020) uvádějí, že lze využít jako hnojivo i živé sinice, které fixují vzdušný dusík, a navíc zadržují vodu, zlepšují provzdušnění půdy a obohacují půdu o organickou hmotu. Nejúčinněji fixují dusík druhy např. *Nostoc linkia*, *Anabaena variabilis* a *Aulosira fertilissima*. *Anabaena* sp. dokáže fixovat 60 kg N ha⁻¹ rok⁻¹. Guo et al. (2020) doplňují, že mnoho druhů zelených řas a sinic také vylučuje extracelulární polysacharidy (EPS), které

zlepšují strukturu půdy a zabraňují erozi. Ve výživě rostlin je dále možno použít i různé extrakty např. na bázi aminokyselin a peptidů získaných hydrolýzou proteinů (Alcántara et al., 2020).

- **Farmacie a kosmetika** – Korzeniowska et al. (2018) uvádějí, že látky, které lze izolovat z mořských řas, mají antimikrobiální, antivirové, fungicidní, protinádorové, antidiabetické, antioxidační a antialergenní vlastnosti. Masojídek et al. (2016) konstatují podobné účinky také u mikrořas. Podle uvedených autorů jsou z hlediska produkce bioaktivních látek nejzajímavější sinice. Podle Griffithse et al. (2016) jsou extrakty a bioaktivní látky získané z makrořas i mikrořas (např. antioxidanty, pigmenty a esenciální mastné kyseliny) obsaženy v řadě kosmetických výrobků od krémů proti stárnutí, přes produkty chránící proti UV záření, až po výrobky určené k péči o vlasy. Łęska et al. (2018) uvádějí, že nejčastěji používané řasy v kosmetice patří do rodů např. *Ulva*, *Cladophora*, *Arthrospira*, *Laminaria* a *Fucus*.
- **Biopaliva** – Podle Suganya et al. (2016) jsou řasy nejnadějnějším nepotravinářským, obnovitelným a ekologicky udržitelným zdrojem celé řady biopaliv. Metody výroby lze rozdělit na dvě základní skupiny: termochemické a biochemické. Termochemické zahrnují přímé spalování (produktem je elektřina nebo teplo), zplynování (směs plynů), zkapalňování (bio-olej) a pyrolýzu (směs plynů, bio-olej). Mezi biochemické patří např. anaerobní digesce (metan, vodík), fermentace (etanol) a transesterifikace (bionafta). Markou (2020) poukazuje na skutečnost, že biopaliva z řas jsou stále výrazně dražší než fosilní paliva a s ohledem na vysoký příkon energie potřebný k produkci biomasy (např. míchání, sklizeň, sušení apod.) mají zápornou energetickou bilanci.
- **Bioplasty** – Tharani et Ananthasubramanian (2020) uvádějí, že mikrořasy jsou v tomto směru slibnou surovinou. Ve svých tělech dokáží, v závislosti na dostupnosti C, akumulovat biopolymery polyhydroxyalkanoáty (PHA), které lze pro výrobu biodegradovatelných plastů použít. Např. *Chlorella pyrenoidosa* může obsahovat až 27 % PHA. Výhodou je jednoduchá kultivace a minimální požadavky na živiny. V současnosti však většímu rozšíření tohoto využití řas brání nízká produktivita a vysoké výrobní náklady.
- **Vakcinace** – Mikrořasy lze využít jako perorální vakcínu k nízkonákladové a snadno organizovatelné masové imunizaci (Arad et van Moppes, 2013). K vložení antigenu do buňky je možno využít různé metody, např. elektroporaci, transformaci zprostředkovanou *Agrobacterium tumefaciens* či ostřelování mikroprojektily (Abidin et al., 2020). Podle Hallmana (2019) se daří např. exprese antigenu viru hepatitidy B v řase *Dunaliella salina*, nebo antigenu kulhavky, slintavky či prasečího moru v řase *Chlamydomonas reinhardtii*.
- **Fykoremediace** – je definována jako využití řas při odstraňování kontaminantů z vody (Rawat et al., 2016). Řasy lze využít při odstraňování živin (C, N a P), koliformních bakterií, těžkých kovů i různých xenobiotik. Cepoi et Zinicovscaia (2020) konstatují, že remediace probíhá dvěma způsoby: bioakumulací a biodegradací. Podle uvedených autorů je pro fykoremediaci jednou z nejvhodnějších řas *Arthrospira platensis*, která dokáže akumulovat např. těžké kovy či degradovat perzistentní organické polutanty. Jako další příklad lze uvést *Chlorella* spp., která efektivně odstraňuje C, P, organické kontaminanty i těžké kovy z odpadních vod pocházejících z různých zdrojů (Liu et Hu, 2013).

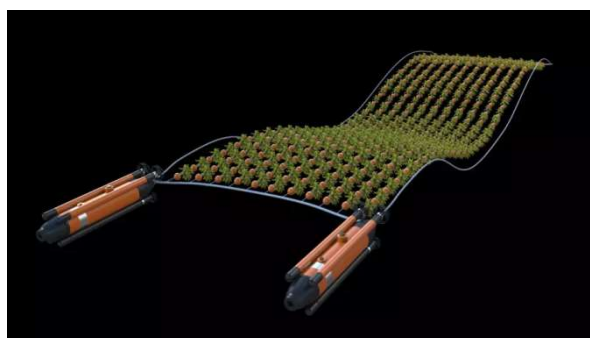
3.4.4 Kultivace a zpracování makrořas a mikrořas

Podle Haftinga et al. (2015) lze makrořasy získávat z volné přírody (wild harvest) nebo cíleně kultivovat (kelp farming), a to buď v moři, nebo na pevnině. Sklizeň ve volné přírodě je závislá na nepředvídatelných klimatických podmínkách, lze ji efektivně realizovat jen v hustých porostech (tzn. v chaluhových lesích), a vzhledem k tomu, že sklizená biomasa může obsahovat více druhů a množství dalších organismů, je kvalita sklizně značně nevyrovnaná. Tento způsob také může mít katastrofální následky pro mořské ekosystémy.

Hafting et al. (2017) dále uvádějí, že z kultivace v moři pochází 93 % celkové produkce biomasy mořských řas využívané pro lidskou spotřebu. Řasy jsou přivázány na dlouhá lana (viz obr. 3.18) nebo sítě ukotvené v mělkých oblastech. Tento způsob kultivace je velmi ovlivněn klimatickými a hydrologickými podmínkami (např. teplota vody, mořské proudy, vlny, bouře apod.). Udělování licencí na provoz takovýchto farem je zejména při pobřeží Severní Ameriky a Evropy významně ovlivňováno lodní dopravou a rekreačními oblastmi. Bak et al. (2020) uvádějí, že mezi nejpěstovanější druhy patří např. *Porphyra* sp. (Nori), *Saccharina japonica* (Kombu) či *Undaria pinnatifida* (Wakame). Podle těchto autorů je plocha vhodných pobřežních lokalit omezená, takže se pěstování, s ohledem na rostoucí celosvětovou poptávku po udržitelné biomase, bude přesouvat dále na otevřené moře (offshore). Zde by mohly najít uplatnění robotické farmy (viz obr. 3.19), v nichž budou sítě s řasami ovládané automatickými miniponorkami, které budou vyhledávat optimální podmínky pro růst a skrývat celý systém do hlubin před bouřemi nebo lodní dopravou (Peters, 2017).



Obr. 3.18: Kultivace v moři
(Marshall, 2020)



Obr. 3.19: Robotická farma
(Peters, 2017)

Kultivace na souši probíhá v různých nádržích a rybnících naplněných mořskou vodou, ve které se řasy volně vznášejí. Nevýhodou oproti kultivaci v moři jsou vysoké pořizovací a provozní náklady. Mezi výhody patří možnost kontrolovat např. teplotu a čistotu vody, možnost využívat hnojiva a pěstovat nedominantní druhy, které nelze pěstovat v moři. Dále odpadají rizika ztrát spojená s např. s bouřemi a vlnobitím (Hafting et al., 2017).

Kultivace řas má pozitivní vliv na měnící se klimatické podmínky. Podle Marshalla (2020) fotoautotrofní mořské řasy pěstované v komerčních farmách v současnosti ročně

odstraňují z ovzduší 2,8 mil. tun CO₂. Sice nejsou tak efektivní jako lesy (ve svých tělech skladují 1500 t/km² oproti 3500 t/km² CO₂ v lesích), ale podle tohoto autora lze pro pěstování řas využít dalších 48 mil. km² plochy moří.

Způsob zpracování makrořas závisí na jejich použití. Např. Uggetti et al. (2016) uvádějí, že při výrobě bioplynu z makrořas je nutno biomasu nejprve připravit. Metody přípravy zahrnují tři typy úprav: fyzikální (praní, sušení, macerace, sekání apod.), chemickou (solubilizace biopolymerů pomocí kyselin a zásad) a biologickou (využití enzymů k narušení buněčných stěn a hydrolýze biopolymerů). Dalším příkladem je výroba biostimulantů z makrořasy *Ascophyllum nodosum*. Shukla et al. (2019) konstatují, že bioaktivita jednotlivých biostimulantů závisí na metodách extrakce. Podle uvedených autorů se využívají následující metody: vodní extrakce, hydrolýza s využitím kyselin, hydrolýza s využitím zásad, mikrovlnná extrakce, ultrazvuková extrakce, extrakce pod vysokým tlakem, enzymatická a superkritická extrakce.

Kultivace mikrořas využívá podle Masojídka et al. (2016) dva základní kultivační postupy: vsádkový a kontinuální. Ve vsádkovém je kultura nasazena a po určitém období celá sklizena a zpracována. V kontinuálním režimu se kultura sklízí průběžně podle rychlosti růstu. V praxi se používá obvykle kombinace obou postupů. Část kultury je v určitých intervalech pravidelně odebírána a zpracována.

Nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím růst mikrořas je světlo (Markou, 2020). Světlo má dva hlavní parametry ovlivňující fotosyntézu, intenzitu a vlnovou délku. Mikrořasy jako typické fotosyntetické organismy využívají světlo o vlnové délce 400-700 nm. Vzhledem k tomu, že hlavními fotosyntetickými pigmenty jsou chlorofyly a karotenoidy, absorbují maximum záření v modré oblasti (cca 400-500 nm) a červené oblasti (600-700 nm). Osvětlení může být přirozené nebo umělé (např. zářivky, výbojky, LED technologie). Dalším významným faktorem je teplota, která silně ovlivňuje metabolické aktivity mikrořas. V závislosti na druhu se optimální teplota pohybuje v rozmezí 15-35 °C. Příliš vysoké teploty mohou vést ke kolapsu kultury. Příliš nízké nezajistí dostatečný výnos. Jako zdroj tepla lze například využít solární kolektory, geotermální energii nebo tepelný odpad z elektráren či průmyslové výroby. Markou (2020) dále uvádí, že nejvýznamnějším prvkem z hlediska výživy mikrořas je C (tvoří 44-55 % z celkové spotřeby živin), dále N (5-10 %) a další prvky (např. P, K, Mg) mohou být obsaženy v množství do 1 %. Základním zdrojem C je CO₂.

Masojídek et al. (2016) konstatují, že všechny kultivační systémy jsou založeny na dostatečném míchání (cirkulaci) kultur. Díky tomu jsou buňky dostatečně vystaveny světlu, mají optimální přísun živin, dochází k regulaci teploty a výměně plynů (dodávka CO₂ a odvětrání O₂). Uvedení autoři dále uvádějí, že kultivace může probíhat ve dvou základních typech systémů: otevřeném a uzavřeném. Mezi otevřené kultivační systémy patří přírodní či umělé nádrže, oběžné náhony nebo kaskády nakloněných ploch (viz obr. 3.20). Míchání zajišťují oběžná čerpadla, rotující ramena, lopatková kola nebo probublávání vzduchu. Geada et al. (2017) uvádějí některé výhody a nevýhody otevřených systémů. Mezi výhody patří např. nízká energetická spotřeba, jednoduchá údržba a čištění, či relativně ekonomický provoz. Nevýhodami jsou špatná kontrola provozních parametrů, neefektivní využití světla a CO₂, nedostatečné míchání a nízká produktivita. Řasovou kulturu je také obtížné pěstovat v delších periodách. Zejména proto, že je ovlivnitelná klimatickými podmínkami a velmi náchylná na kontaminaci.



Obr. 3.20: Otevřená kultivační kaskáda v centru ALGATECH Třeboň (Masojídek et al., 2015)

Pro uzavřené nebo polouzavřené míchané kultivační systémy zavádí Masojídek et al. (2016) pojem fotobioreaktor. Podle Zittelli et al. (2016) může být fotobioreaktor definován jako systém pro fototrofní organismy, ve kterém fotony (hlavní zdroj energie) nenarážejí přímo na povrch kultury, ale musí nejprve projít průhlednými stěnami reaktoru. Podle Masojídka et al. (2016) je nejjednodušším fotobioreaktorem osvětlený vak obsahující kulturu mikrořas, která je promíchávána proudem vzduchu obohaceného o CO₂. Nejběžnější fotobioreaktory jsou tvořeny systémem průhledných trubíc (viz obr. 3.21), válců nebo plochých panelů (viz obr. 3.22), ve kterých biomasa cirkuluje pomocí čerpadel nebo proudu vzduchu.

Geada et al. (2017) uvádí výhody a nevýhody jednotlivých systémů. Mezi výhody trubicového systému patří např. velikost osvětlené plochy a dobrá efektivita produkce biomasy. Nevýhodou je velká zastavěná plocha a obtížné čištění. U válcových fotobioreaktorů je předností nízká energetická spotřeba, efektivní promíchávání a jednoduché čištění. Nevýhodou je však např. malá osvětlená plocha a drahé sofistikované konstrukční materiály. Ploché panely jsou relativně levné, snadno čistitelné a mají velkou osvětlenou plochu. V těchto systémech se však obtížně udržuje teplota, mají nízkou fotosyntetickou efektivitu a některým mikrořasám mohou způsobovat hydrodynamický stres.

Některé kmeny mikrořas (např. *Chlorella*, *Chlamydomonas*, *Phaeodactylum*, *Haemotococcus* atd.) mohou růst i heterotrofně bez osvětlení, v médiu obsahujícím anorganické soli a organický substrát jako zdroj energie (Masojídek et al., 2016). Kultivaci lze uskutečňovat v uzavřených fermentorech. Carone et al. (2019) řadí mezi vhodné substráty jednoduché cukry (zejména glukózu), soli organických kyselin (acetát, butyrát), polyalkoholy (glycerol, mannitol) a v některých případech i etanol. Znad (2020) uvádí, že například *Chlorella protothecoides* generuje v heterotrofních podmínkách o 40 % vyšší obsah lipidů než při fotoautotrofní kultivaci. Heterotrofní kultivace je však nákladnější, náchylnější na kontaminaci, a mikrořasy vykazují nižší rychlost růstu.

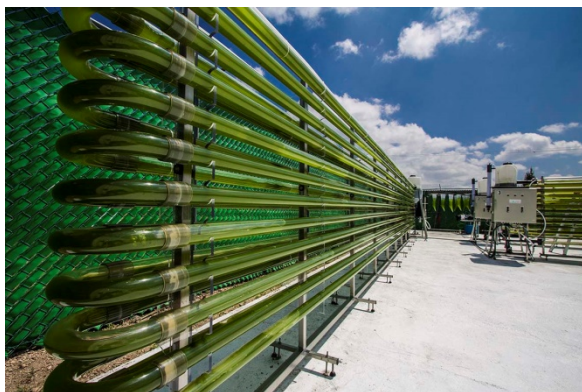
Borowitzka (2015) uvádí následující nejběžněji pěstované mikrořasy a jejich využití: *Chlorella* spp. (biomasa, extrakty pro výživu lidí i zvířat), *Spirulina* spp. (biomasa,

phycocyanin), *Dunaliella salina* (β -karoten), *Haematococcus pluvialis* (astaxanthin) a *Cryptocodinium cohnii* (kyselina dokosahexaenová).

Před zpracováním mikrořas je nutno řasovou suspenzi nejprve zahustit, případně promýt, aby se odstranily nežádoucí metabolity, bakterie či přebytečné živiny (Masojídek et al., 2016). Pro zahuštění se používají různé metody: pasivní sedimentace, odstředění, filtrace, flotace nebo flokulace. Nejběžnější technikou je odstředění v průtokových centrifugách. U řídkých kultur se předřazuje membránová filtrace. Dalším důležitým krokem u mikrořas, které mají pevnou celulóзовou buněčnou stěnu (např. *Chlorella* spp., *Haematococcus pluvialis*), je rozbití (dezintegrace) buněk. Dezintegraci se zpřístupní cenné látky obsažené v buňkách. Tento proces se uskutečňuje abrazí s balotinou, ultrazvukem, vysokým tlakem nebo působením enzymů. Zahuštěnou a dezintegrovanou biomasu lze využít přímo např. pro krmení zvířat. Pro většinu aplikací je však nutno biomasu dehydratovat, aby byl obsah vody nižší než 5 %.

De Farias Neves et al. (2020) uvádějí, že nejpoužívanější metodou využívanou velkými výrobci je sprejové sušení, které je velmi efektivní. Dalším způsobem dehydratace je lyofilizace, kterou lze považovat za nejlepší způsob zachování kvality produktu. Je však nákladná a energeticky náročná. Nejjednodušším způsobem je sušení na slunci. Tato metoda je využívána stovky let. Je jednoduchá a levná, ale závislá na klimatických podmínkách a časově náročná. Vhodným kompromisním řešením pro malé výrobce může být využití konvenčních sušáren. Je však nutno nalézt vhodnou teplotu a tloušťku vrstvy sušené biomasy.

Markou (2020) konstatuje, že po usušení může následovat extrakce účinných látek. Uskutečňuje se hlavně chemickými metodami, které lze kombinovat s mechanickými. Konkrétní postup a extrakční činidlo závisí na extrahované látce. Po extrakci látky je posledním krokem její separace a čištění, které se provádí různými chromatografickými a separačními metodami (např. iontová výměna či membránová separace). Dmytryk et al. (2018) upozorňují, že tradiční způsoby extrakce za využití organických a anorganických rozpouštědel, jsou časově i energeticky náročné a odpadní produkty mohou poškozovat životní prostředí. Uvedení autoři ve své práci navrhuje např. snižovat energetickou náročnost využíváním moderních technologií a obnovitelných zdrojů, snižovat množství odpadů či hledat alternativní a biologicky degradovatelná rozpouštědla.



Obr. 3.21: Trubicový kultivační systém (lgem.nl, 2021)



Obr. 3.22: Ploché panely ve skleníku (femonline.it, 2021)

3.5 Botanická charakteristika lociky seté

Locika setá (*Lactuca sativa*) (viz obr. 3.23) patří mezi hvězdnicovité *Asteraceae*. Je to jednoletá až dvouletá lysá bylina s tenkým křovným kořenem (Slavík et Štěpánková, 2004). Má přímou, hustě olistěnou lodyhu vyrůstající z husté, často hlávkovité růžice přízemních listů. Listy jsou svěže zelené až žlutozelené. Přízemní listy jsou krátce řapíkaté, až 50 cm dlouhé, vejčité až podlouhlé, celistvé, často kadeřavé. Lodyžní listy jsou přisedlé, horizontálně postavené, celistvé, vejčité až okrouhlé. Květenstvím je úbor s 7-15 (-35) žlutými květy, které se skládají v hustou, bohatou latu. Plodem jsou nažky, které včetně zobánku dosahují délky 6-8 mm. Tělo nažky je zploštělé, s 5-9 žebry, šedavé na vrcholu, měkce osténkaté, s bílým chmýřím.

Podle Petříkové et al. (2012) salát vyžaduje lehčí až středně těžké, humózní a propustné půdy. Na teploty není náročný. Roste již při teplotách nad 4 °C a mladé rostliny odolávají mrazům až do -5 °C. Patří mezi středně náročné zeleniny na živiny. Zařazuje se do druhé či třetí trati. Nejčastěji se pěstuje z předpěstované sadby. Spon nejranějších výsadeb je 0,25 x 0,30 m. Při jarní výsadbě (březen-květen) je sklizeň možná v květnu až červnu. Mezi nejběžnější choroby patří virová mozaika salátu, podehnívání salátu (houbová choroba způsobená zejména *Sclerotinia sclerotiorum* a *S. minor*) a plíseň salátu (*Bremia lactucae*). Všechny druhy salátu jsou poškozovány různými druhy mšic a drátovců. Hmotnost tisíce semen (HTS) je 0,8-1,2 g. Kůdela et al. (2013) uvádějí, že salát má plytký kořenový systém v povrchové půdní vrstvě a vzhledem k tomu, že má krátkou vegetační dobu, může trpět i krátkodobými periodami nedostatku živin. Uvedení autoři dále konstatují, že optimální pH půdy pro pěstování salátu je 6,0-6,5 na organických půdách a 6,5-7,0 na minerálních půdách (s obsahem humusu menším než 2 %). Hradil et al. (2000) upozorňují, že salát lze pěstovat ve smíšených kulturách. Je v tomto směru poměrně tolerantní a vhodné kombinace tvoří např. s fazolemi, košťálovinami, ředkvičkami, cibulí, česnekem, rajčaty či červenou řepou. Při pěstování salátu na semeno je nutno semenice selektovat na typické znaky odrůdy a dále zejména na raný vývoj, pevnost a uzavřenost hlávky. Dalším výběrovým kritériem je, aby takovéto hlávky vydržely co nejdéle bez vybíhání (Dostálek et al., 2011).



Obr. 3.23: *Lactuca sativa*, odrůda Král máje I. (culinabotanica.cz, 2021)

4 Materiál a metody

V rámci skleníkového pokusu byl sledován vliv zasolení a aplikace biostimulantů na lociku setou. Měřeny a vyhodnocovány byly tyto fyziologické charakteristiky: rychlost fotosyntézy, rychlost transpirace, stomatální vodivost, obsah chlorofylu a fluorescence chlorofylu. Dále byla vyhodnocena hmotnost biomasy.

4.1 Charakteristika rostlinného materiálu

Pro pokus byla zvolena odrůda salátu Král máje I. v biokvalitě od společnosti SEMO a.s. ze Smržice. Je to jarní salát se středně velkou hlávkou a světle zeleným listem, typickým znakem je červenání okrajů vrcholových listů při nižších teplotách (semo.cz, 2021). Tato odrůda byla registrována v roce 1967 (eagri.cz, 2021a).

4.2 Charakteristika použitých biostimulantů a pomocných látek

4.2.1 *Arthrospira platensis* (syn. *Spirulina platensis*)

Potřebné množství této sinice bylo získáno ve společnosti TCM POINT s.r.o. v biokvalitě ve formě prášku. Podle informací na produktovém listu se jedná o 100% čistou *Arthrospira platensis*, která byla po sklizni několikrát čištěna, vakuově filtrována a sprejově usušena.

4.2.2 *Chlorella pyrenoidosa*

Také tato řasa byla získána ve společnosti TCM POINT s.r.o. Pochází z ostrova Hainan, který leží v Jihočínském moři. Byla zpracována podobně jako *Arthrospira platensis*, navíc dovozce deklaruje i rozbití buněčné stěny metodou shellbroken (mycomedica.cz, 2021).

4.2.3 ALGAVIT

Tento přípravek vyrábí společnost Acadian Seaplants Limited z Kanady a do České republiky jej dováží společnost Symbiom, s.r.o.

ALGAVIT je pomocný rostlinný přípravek, složený ze 100% rozpustného extraktu z mořských řas *Ascophyllum nodosum* (symbiom.cz, 2021).

Pozitivní efekt na růst rostlin je založen na přirozeném obsahu makroelementů (min. 1 % N, 0,2 % P, 17 % K, dále S, Mg, Ca), mikroelementů (Cu, Zn, Mn, Fe aj.), aminokyselin a dalších organických látek (např. kyselina alginová, manitol, fytohormony aj.) v biomase řas. Díky aplikaci přípravku dochází ke zlepšení růstu kořenů a ujímání rostlin, zlepšení výživy, výnosu a odolnosti rostlin v období nepříznivého stresu (eagri.cz, 2021b).

Přípravek se aplikuje závlivkou nebo postřikem jednou za 7-14 dní. Doporučené dávkování je 10 g na 10 litrů vody.

Tento přípravek lze používat v ekologickém zemědělství.

4.2.4 WETCIT

Prostředek WETCIT je smáčedlo s penetračními vlastnostmi vhodné pro použití s většinou přípravků na ochranu rostlin a kapalných hnojiv. Příznivě ovlivňuje smáčivost a přilnavost kapaliny. Snižuje úlet postřiku a umožňuje kvalitní ošetření i na hůře dostupných částech rostlin. Účinnou složkou je alkohol ethoxylát 8,15 % w/w. Součástí přípravku jsou přírodní terpeny z pomerančovníku. Doporučená koncentrace je 0,1-0,2 % (biocont-profí.cz, 2021).

Výrobcem tohoto prostředku je společnost ORO AGRI z Nizozemí a v ČR jej distribuuje Biocont Laboratory, spol. s r.o. Prostředek je možno použít v ekologickém zemědělství.

4.3 Schéma pokusu

Pokus byl založen v částečně řízených podmínkách skleníku KBFR FAPPZ při teplotě vzduchu $22\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$. Vzhledem k době, kdy se pokus uskutečnil (22. 9. – 4. 12.), bylo dosvětlováno na délku dne 12 hod. Vlhkost vzduchu byla udržována na hodnotě cca 65 %.

Po vzejití osiva byly jednotlivé rostliny vysazeny do plastových nádob o rozměrech 11 x 11 x 12 cm (viz obr. 4.1). Jako substrát byl použit Zahradnický substrát s aktivním humusem od společnosti AGRO CS a.s. Dle údajů výrobce je to směs rašeliny a vyzrálého kůrového humusu obsahující navíc hnojivo KRISTALON a Vitality komplex, což je soubor enzymů a stimulačních látek ze zažívacího traktu žízála (megazahrada.cz, 2021). Výrobce deklaruje pouze některé chemické a fyzikální vlastnosti: pH 5,0-7,0, spalitelné látky min. 70 %, částice nad 20 mm max. 5 %, vlhkost max. 65 % a elektrická vodivost ve vodním výluhu max. $1,2\text{ mS cm}^{-1}$.



Obr. 4.1: Rostliny v době pikýrování (foto autor)

Pokus byl zahájen ve fázi, kdy měly rostliny 6-8 pravých listů (viz obr. 4.2). Schéma pokusu zahrnovalo čtyři varianty: jednu kontrolní a tři pokusné, které byly stresovány zálivkou o koncentraci $50\text{ mmol NaCl L}^{-1}$, $150\text{ mmol NaCl L}^{-1}$ a $200\text{ mmol NaCl L}^{-1}$. Zálivka

se vždy uskutečnila 5 l roztoku (cca 2/3 do nádob, 1/3 do pěstební vany). Každá varianta byla rozdělena do čtyř skupin. Jedna skupina byla kontrolní (bez aplikace biostimulantu). Na další tři skupiny byly aplikovány jednotlivé biostimulanty. Jejich koncentrace byly následující: *Arthrospira platensis* 2 g L⁻¹, *Chlorella pyrenoidosa* 2 g L⁻¹ a ALGAVIT 1 g L⁻¹. Do každého roztoku byl také přidán přípravek WETCIT v koncentraci 2 mL L⁻¹. Aplikace probíhala postřikem na list pomocí manuálního rozprašovače.



Obr. 4.2: Rostliny v době prvního měření (foto autor)

4.4 Měřené fyziologické charakteristiky

4.4.1 Měření výměny plynů

Sledovány byly tyto fyziologické charakteristiky:

- rychlost transpirace E [$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$],
- rychlost fotosyntézy A [$\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$],
- stomatální vodivost g_s [$\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$].

Výměna plynů byla vyhodnocována pomocí infračerveného analyzátoru plynů LCPro+ od společnosti ADC BioScientific Ltd. (viz obr.4.3).

Z rozdílů v koncentraci plynů (na vstupu a výstupu) a rychlosti proudění vzduchu se průběžně počítá rychlost asimilace, transpirace a následně i stomatální vodivost. Kompletní analytický cyklus trvá 16-20 sekund (ADC BioScientific Ltd., 2017).

Měření probíhalo dle metodiky Holé et al. (2010). V listové komoře byla nastavena konstantní teplota 25 °C a konstantní fotosynteticky aktivní radiace 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Koncentrace CO₂ byla 550 ± 50 cm³ m⁻³ a průtok vzduchu byl 205 ± 30 $\mu\text{mol s}^{-1}$. Měření probíhalo v dopoledních hodinách. Každá rostlina byla měřena 15 minut.



Obr. 4.3: Příklad přístroje LCpro+ (foto autor)

4.4.2 Stanovení obsahu chlorofylu

Obsah chlorofylu v listech pokusných rostlin byl měřen rychlou, nedestruktivní metodou pomocí přístroje CCM-200 (Chlorophyll Content Meter) od společnosti ADC BioScientific Ltd. (viz obr. 4.4).

Metoda využívá schopnosti chlorofylu absorbovat červené a modré spektrum světelného záření více, než zelené a infračervené. Pomocí přesné LED technologie přístroj emituje záření o dvou vlnových délkách: 653 nm a 931 nm (adc.co.uk, 2021a). Obsah chlorofylu je vyjádřen bezrozměrnou veličinou CCI (Chlorophyll Content Index), kterou přístroj automaticky vyhodnotí podle rozdílné absorpce při těchto vlnových délkách.

Obsah chlorofylu byl měřen na pěti místech individuální rostliny.



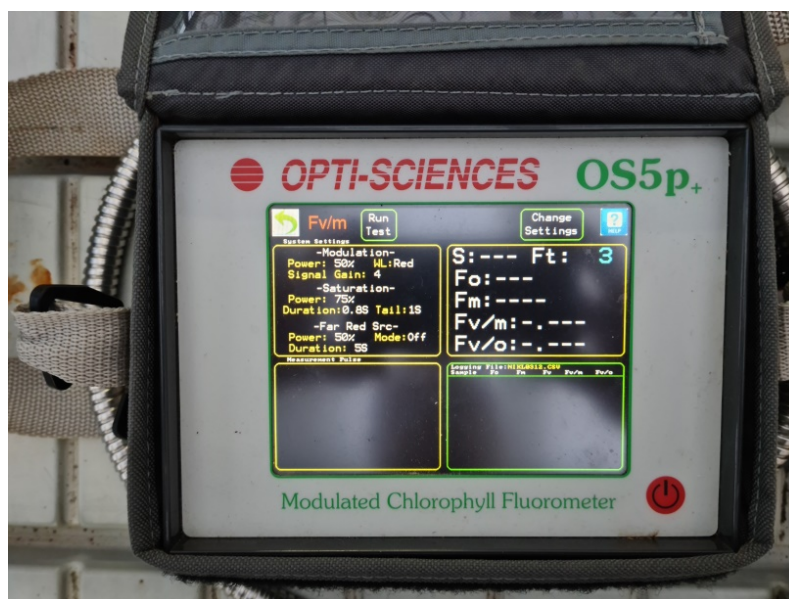
Obr. 4.4: Příklad přístroje CCM-200 (foto autor)

4.4.3 Fluorescence chlorofylu

Pro toto měření byl využit přenosný, pulsně modulovaný chlorofyl fluorometr OS5p+ od společnosti ADC BioScientific Ltd. (viz obr. 4.5).

Měřenou charakteristikou byla fotochemická účinnost F_v/F_M (variabilní fluorescence/maximální fluorescence). Ve stresu se hodnota F_v/F_M snižuje (adc.co.uk, 2021b).

Jedná se o test prováděný po zatemnění. Na list se umístí klipsna s posuvným zatemňovacím mechanismem. Doba zatemnění závisí na druhu rostliny a světelné historii. Pohybuje se od 20 minut do 12 hodin (Ekotechnika, nedatováno).



Obr. 4.5: Přístroj OS5p+ (foto autor)

4.5 Hmotnost biomasy

Hmotnost biomasy byla stanovena zvážení nadzemní části živých rostlin bez odumřelých částí.

4.6 Statistické vyhodnocení

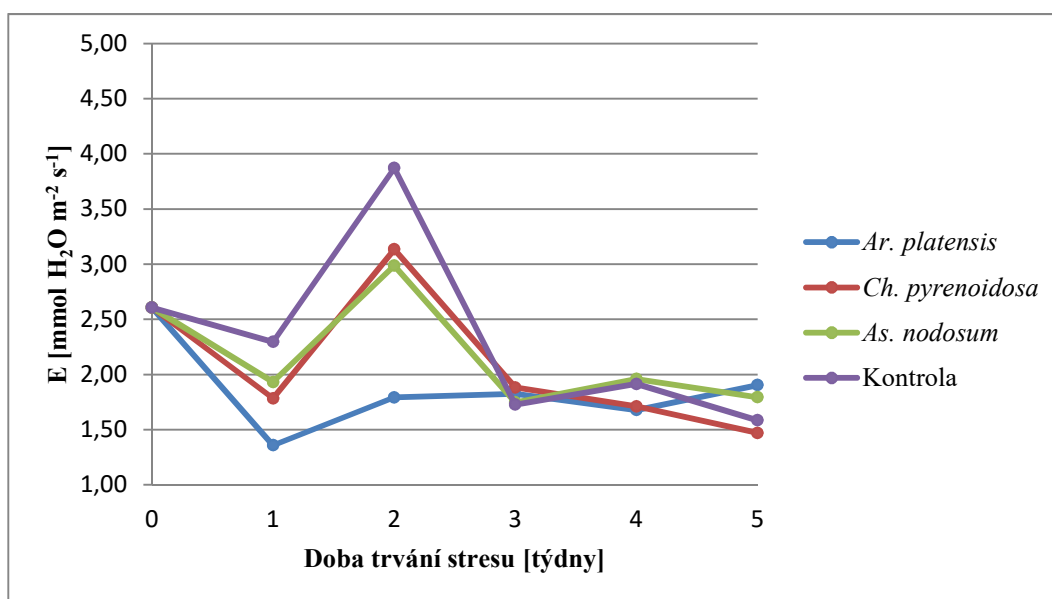
Statistické vyhodnocení naměřených hodnot bylo provedeno pomocí analýzy ANOVA s interakcemi na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ v prostředí programu Statistica 12 CZ.

5 Výsledky

V průběhu pokusu byl sledován vliv zasolení a aplikace biostimulantů (*Arthrospira platensis* – *Ar. platensis*, *Chlorella pyrenoidosa* – *Ch. pyrenoidosa* a *Ascophyllum nodosum* – *As. nodosum*) na fyziologické charakteristiky a hmotnost biomasy juvenilních rostlin lociky seté (*Lactuca sativa*).

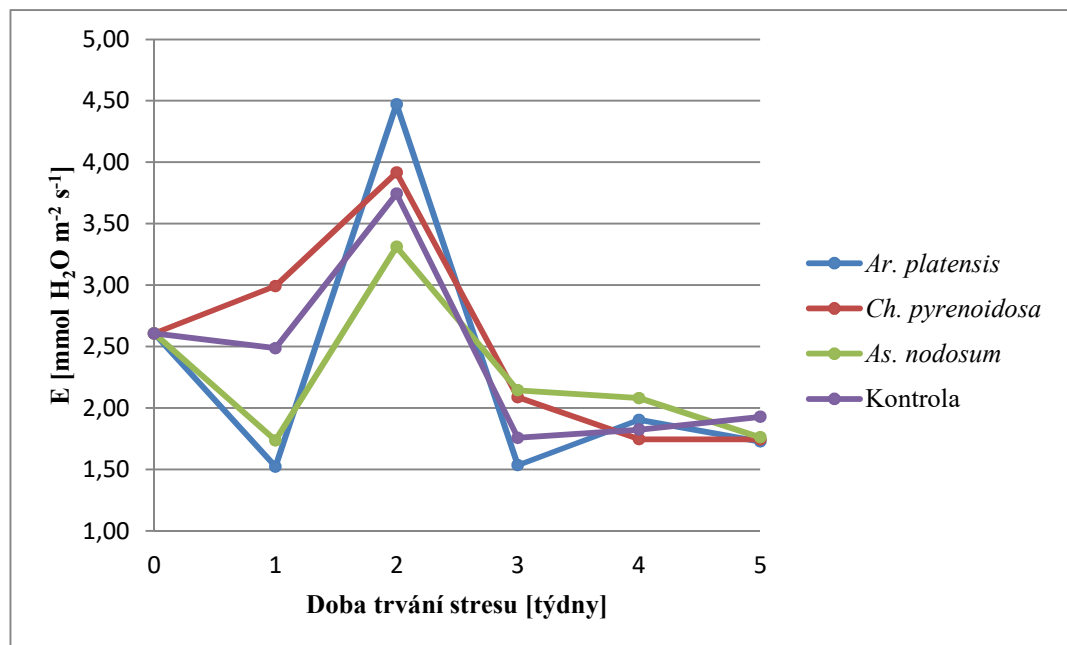
5.1 Rychlost transpirace

Graf 5.1 zobrazuje průběh rychlosti transpirace juvenilních rostlin lociky seté v závislosti na době trvání stresu při koncentraci 0 mmol NaCl L⁻¹. Z uvedeného grafu je zřejmé, že průběh rychlosti transpirace v prvních týdnech nevykazoval jednoznačný trend u žádné z variant. V první byl zaznamenán pokles z počáteční hodnoty 2,61 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ ve všech variantách. Nejnižší hodnota v prvním týdnu byla naměřena ve variantě ošetřené *Ar. platensis* (1,36 mmol H₂O m⁻² s⁻¹). To byla současně nejnižší hodnota v rámci průběhu celého měření při této koncentraci. Ve druhém týdnu se ve všech variantách rychlost transpirace zvyšovala. Nejvyšší hodnota (3,87 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) byla zaznamenána v kontrolní variantě. To byla současně nejvyšší hodnota v průběhu celého měření u této koncentrace. Ve třetím týdnu byl zaznamenán průkazný pokles rychlosti transpirace ve všech variantách (mimo variantu s *Ar. platensis*) na hodnoty 1,73-1,82 mmol H₂O m⁻² s⁻¹. V dalších týdnech se hodnoty rychlosti transpirace pohybovaly ve všech variantách v rozmezí od 1,47 do 1,98 mmol H₂O m⁻² s⁻¹. Z grafu 5.1 je dále patrné, že se rychlost transpirace v závěru pokusu oproti prvnímu měření snížila ve všech variantách. Nejvyšší pokles byl zaznamenán ve variantě ošetřené *Ch. pyrenoidosa*, a to o 43,68 %. Nejnižší pokles vykazala varianta ošetřená *Ar. platensis* (27,20 %). Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou rychlosti transpirace v rámci celého pokusu činil 2,51 mmol H₂O m⁻² s⁻¹.



Graf 5.1: Rychlost transpirace v závislosti na době trvání pokusu při koncentraci 0 mmol NaCl L⁻¹

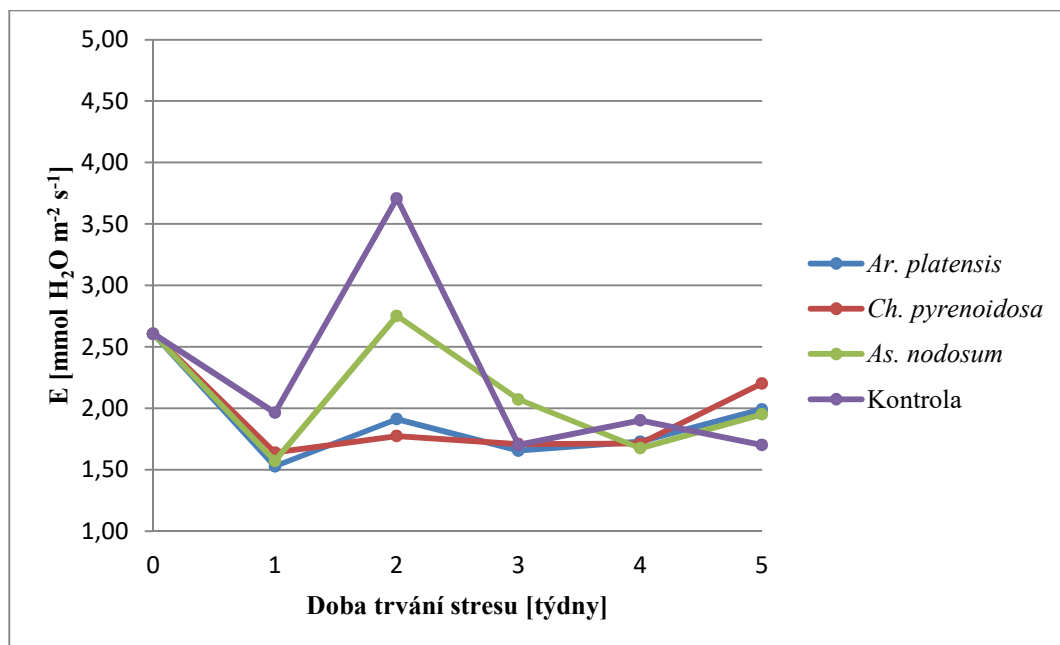
V grafu 5.2 je zobrazen průběh rychlosti transpirace juvenilních rostlin lociky seté v závislosti na době trvání stresu při koncentraci 50 mmol NaCl L⁻¹. Z uvedeného grafu je patrné, že také při této koncentraci žádná varianta nevykazovala v průběhu pokusu stabilní trend. Průkazné změny v rychlosti transpirace byly zaznamenány ve variantě ošetřené *Ar. platensis*. Zde byla ve druhém týdnu naměřena nejvyšší hodnota rychlosti transpirace v průběhu celého měření (4,47 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) a současně i nejnižší hodnota, a to 1,52 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ v prvním týdnu. Rozdíl mezi těmito hodnotami činí 2,95 mmol H₂O m⁻² s⁻¹. Z grafu 5.2 je dále zřejmé, že při posledním měření byly hodnoty rychlosti transpirace ve všech variantách nižší než při prvním měření. Průkazný pokles byl zjištěn u varianty ošetřené *Ar. platensis* (33,72 %). Podobného poklesu bylo dosaženo ve variantách, kde byly aplikovány *Ch. pyrenoidosa* (33,33 %) a *As. nodosum* (32,57 %). Nejnižší pokles byl zaznamenán v kontrolní variantě (26,05 %).



Graf 5.2: Rychlost transpirace v závislosti na době trvání pokusu při koncentraci 50 mmol NaCl L⁻¹

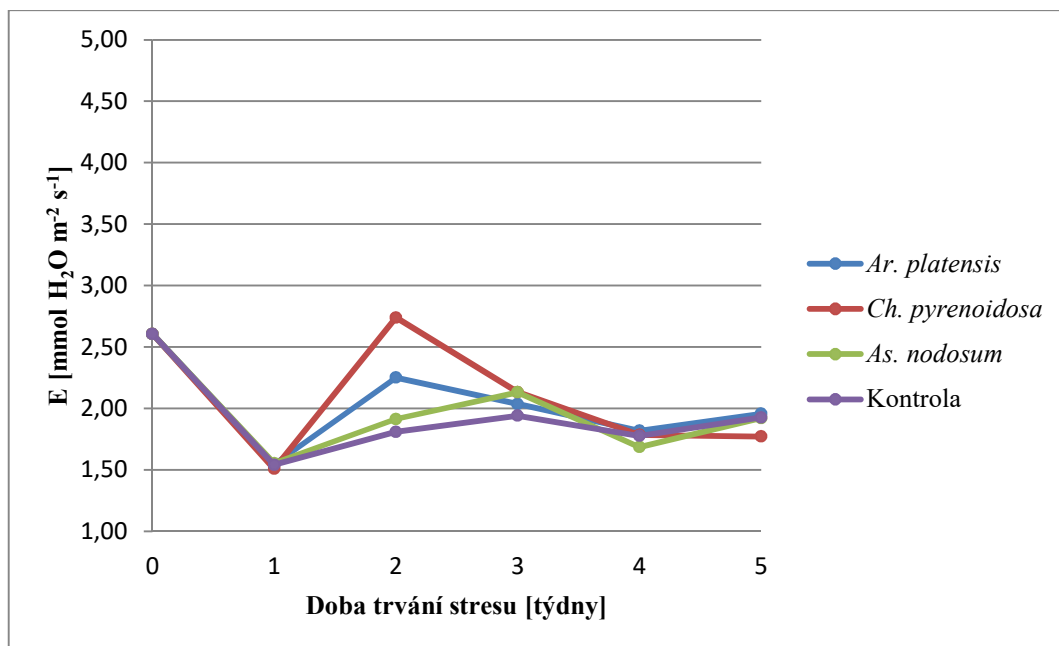
Graf 5.3 zobrazuje průběh rychlosti transpirace juvenilních rostlin lociky seté v závislosti na době trvání stresu při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹. Z uvedeného grafu je patrné, že ani při této koncentraci nelze pozorovat jednoznačný trend. V prvním týdnu klesla rychlost transpirace ve všech variantách. Nejnižší rychlost transpirace v tomto týdnu (1,53 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) byla zjištěna ve variantě, kde byla aplikována *Ar. platensis*. To byla současně nejnižší hodnota v průběhu celého pokusu. Ve druhém týdnu došlo k průkaznému zvýšení rychlosti transpirace ve variantě, kde byl aplikován extrakt *As. nodosum* (2,75 mmol H₂O m⁻² s⁻¹) a v kontrolní variantě (3,71 mmol H₂O m⁻² s⁻¹). To byla současně nejvyšší hodnota zaznamenaná v průběhu celého pokusu. Rozdíl mezi nevyšší a nejnižší rychlostí transpirace při této koncentraci činí 2,18 mmol H₂O m⁻² s⁻¹. Ve třetím týdnu se

snížila rychlost transpirace jak v kontrolní variantě, tak ve variantě s *As. nodosum*. Z grafu 5.3 je dále patrné, že v dalších týdnech již k podobným výrazným změnám nedošlo. Při posledním měření bylo zjištěno, že všechny varianty vykázaly nižší hodnoty rychlosti transpirace oproti prvnímu měření. Nejvyšší pokles byl zaznamenán v kontrolní variantě (34,87 %) a nejnižší ve variantě ošetřené *Ch. pyrenoidosa* (15,71 %).



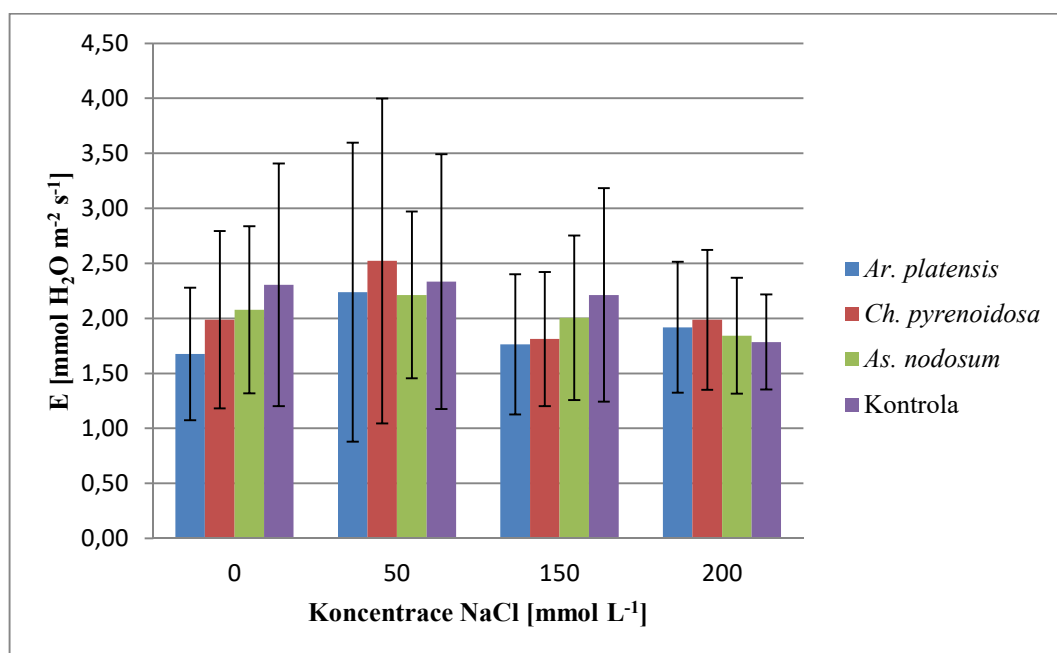
Graf 5.3: Rychlost transpirace v závislosti na době trvání pokusu při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹

V grafu 5.4 je zobrazen průběh rychlosti transpirace juvenilních rostlin lociky seté v závislosti na době trvání stresu při koncentraci 200 mmol NaCl L⁻¹. Z uvedeného grafu je zřejmé, že při této koncentraci již nebyly zaznamenány tak výrazné rozdíly v rychlosti transpirace jako při nižších koncentracích. V prvním týdnu byl i zde zaznamenán pokles hodnot, a to u všech variant shodně. Nejnižší hodnoty dosáhla varianta, kde byla aplikována *Ch. pyrenoidosa* (1,51 mmol H₂O m⁻² s⁻¹). To byla současně nejnižší naměřená hodnota v této koncentraci. Následný nárůst však nebyl tak výrazný jako při nižších koncentracích. Pouze ve variantě s *Ch. pyrenoidosa* byla naměřena rychlost transpirace vyšší než při prvním měření, a to 2,74 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ ve druhém týdnu. To byla současně nejvyšší hodnota zaznamenaná v průběhu celého měření. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou v rámci celého pokusu je 1,23 mmol H₂O m⁻² s⁻¹. Na grafu 5.4 lze dále pozorovat, že od třetího týdne byl průběh rychlosti transpirace ve všech variantách velmi podobný. Rozdíl nejvyšších a nejnižších hodnot ve třetím týdnu činil 0,19 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ a ve čtvrtém týdnu 0,13 mmol H₂O m⁻² s⁻¹. Během posledního měření bylo zjištěno, že rychlost transpirace oproti prvnímu měření poklesla ve všech variantách. Nejvyšší pokles byl naměřen ve variantě ošetřené *Ch. pyrenoidosa* (32,18 %) a nejnižší ve variantě, kde byla aplikována *Ar. platensis* (24,90 %).



Graf 5.4: Rychlost transpirace v závislosti na době trvání pokusu při koncentraci 200 mmol NaCl L⁻¹

Na grafu 5.5 je zobrazen vliv koncentrace a použitého biostimulantu na průměrnou rychlost transpirace juvenilních rostlin lociky seté. Z grafu je zřejmé, že vliv biostimulantů na rychlost transpirace nebyl jednoznačný. Přesto lze konstatovat, že biostimulanty tuto fyziologickou charakteristiku ovlivnily. Při koncentraci 0 mmol NaCl L⁻¹ vykazovala kontrolní varianta průměrnou rychlost transpirace 2,31 mmol H₂O m⁻² s⁻¹. Varianty s aplikovanými biostimulanty dosahovaly nižších hodnot.

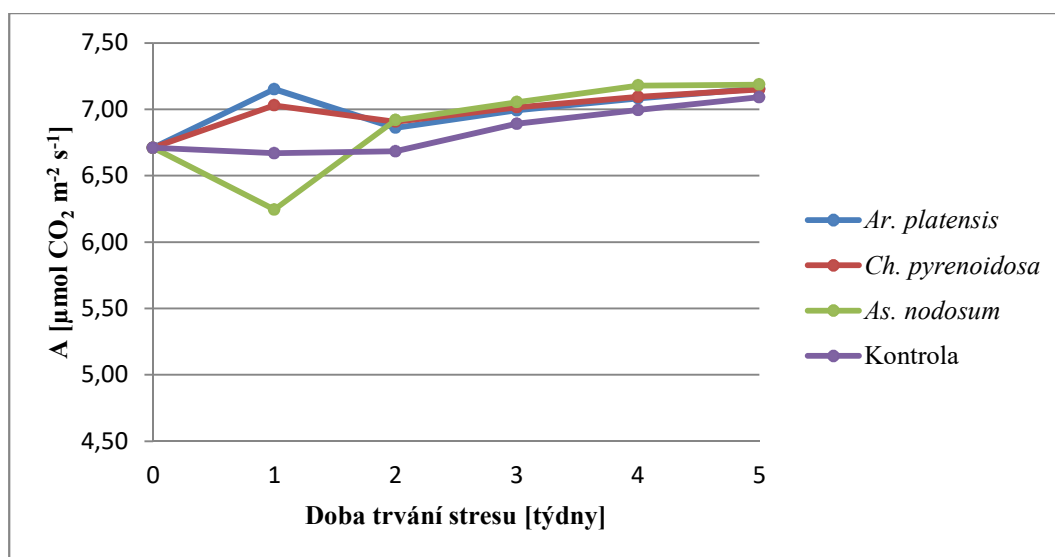


Graf 5.5: Průměrná rychlost transpirace v jednotlivých variantách

Nejnižší hodnota byla zaznamenána u varianty s *Ar. platensis* ($1,68 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), což bylo o $0,66 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ méně. Při koncentraci $50 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$ se průměrná rychlost transpirace v kontrolní variantě neprůkazně zvýšila na $2,33 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Při této koncentraci byla naměřena vyšší hodnota u varianty ošetřené *Ch. pyrenoidosa* ($2,52 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), což bylo oproti kontrolní variantě o $0,19 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ více. U varianty s *Ar. platensis* byla zjištěna nižší hodnota vůči kontrolní variantě ($2,24 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), což bylo o $0,09 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ méně oproti kontrolní variantě. Podobná hodnota byla naměřena i u varianty s *As. nodosum* ($2,21 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Při koncentraci $150 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$ se průměrná rychlost transpirace v kontrolní variantě snížila na $2,21 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. V rámci měření při této koncentraci to byla nejvyšší hodnota. Nejnižší hodnotu vykázala varianta s *Ar. platensis* ($1,76 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), což bylo o $0,45 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ méně oproti kontrolní variantě. Při koncentraci $200 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$ klesla průměrná rychlost transpirace v kontrolní variantě na $1,78 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Jedná se o průkazné snížení transpirace o $22,94 \%$ vůči kontrolní variantě. Všechny varianty s aplikovanými biostimulanty vykázaly vyšší hodnoty transpirace. Nejvyšší hodnota transpirace byla zaznamenána ve variantě s *Ch. pyrenoidosa* ($1,99 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), což bylo o $0,21 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ více oproti kontrolní variantě.

5.2 Rychlost fotosyntézy

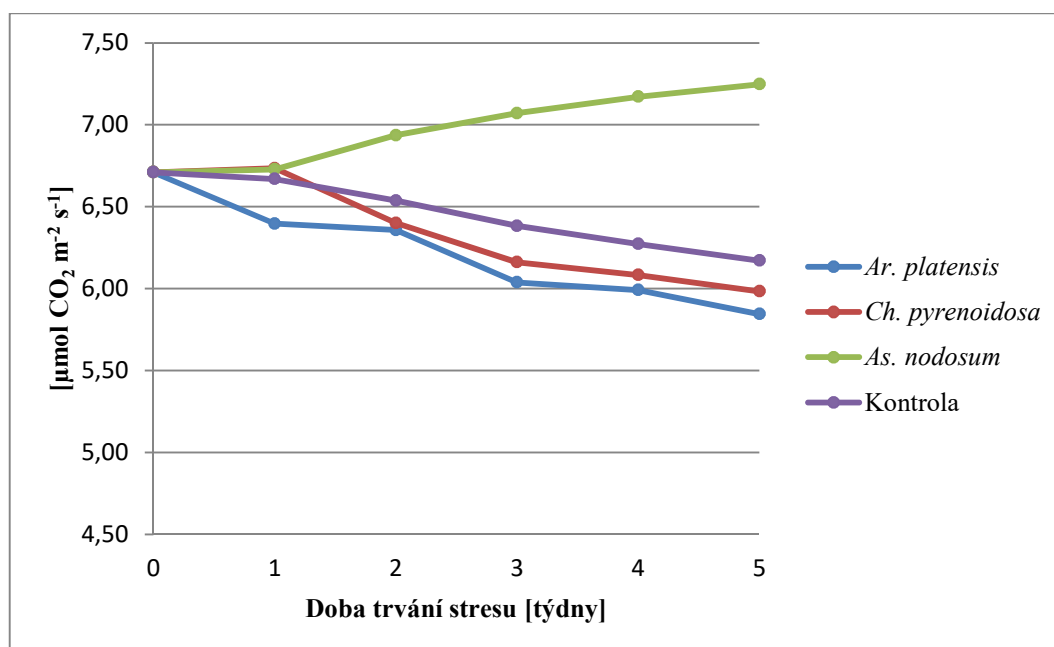
V grafu 5.6 je zobrazen průběh rychlosti fotosyntézy juvenilních rostlin lociky seté v závislosti na době trvání stresu při koncentraci $0 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$. Z uvedeného grafu je zřejmé, že při prvním měření byla zaznamenána rychlost fotosyntézy $6,71 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. V prvním týdnu se v kontrolní variantě neprůkazně snížila na hodnotu $6,67 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Ve variantě s aplikovanou *Ar. platensis* se zvýšila na hodnotu $7,15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a ve variantě s *As. nodosum* se snížila na $6,24 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. To byla současně nejnižší hodnota naměřená při této koncentraci v průběhu celého pokusu.



Graf 5.6: Rychlost fotosyntézy v závislosti na době trvání pokusu při koncentraci $0 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$

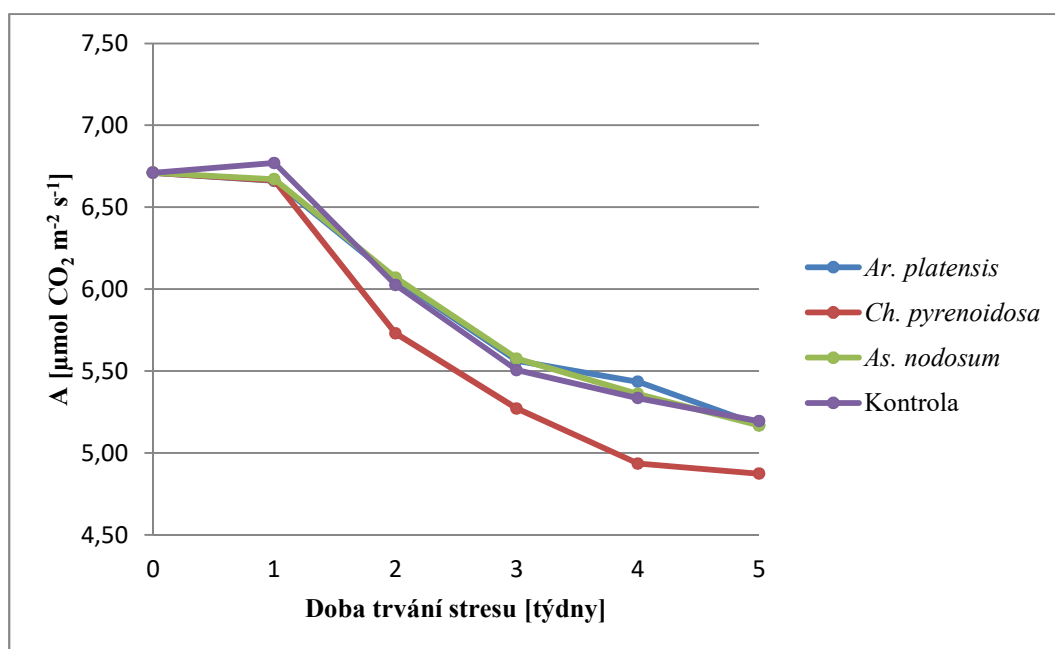
V druhém týdnu se rychlost fotosyntézy v kontrolní variantě téměř nezměnila ($6,68 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a ve variantách s biostimulanty byly naměřeny podobné hodnoty. Nejvyšší hodnota byla zjištěna u varianty s *As. nodosum*, a to $6,92 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. V dalších týdnech se hodnoty ve všech variantách téměř lineárně zvyšovaly. Z uvedeného grafu je dále patrné, že v posledním týdnu byly všechny hodnoty vyšší než při prvním měření. Nejvyšší hodnota v tomto období byla zjištěna u varianty s *As. nodosum* ($7,19 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), což byla také nejvyšší hodnota zaznamenaná během celého měření. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší rychlostí fotosyntézy při této koncentraci činí $0,95 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Rychlost fotosyntézy v této variantě vzrostla oproti prvním měření o $7,15 \%$. Nejnižší nárůst byl zjištěn v kontrolní variantě, a to o $5,66 \%$.

Graf 5.7 zobrazuje průběh rychlosti fotosyntézy juvenilních rostlin lociky seté v závislosti na době trvání stresu při koncentraci $50 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$. Z tohoto grafu je patrné, že v prvním týdnu se rychlost fotosyntézy snížila ve variantě ošetřené *Ar. platensis* na hodnotu $6,40 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Ve zbylých variantách se hodnoty oproti výchozímu měření průkazně nezměnily. Ve druhém týdnu se rychlost fotosyntézy zvyšovala ve variantě s *As. nodosum* a v ostatních variantách klesala. Tento trend zůstal zachován až do konce měření. Z uvedeného grafu lze dále zaznamenat, že nejvyšší hodnota byla naměřena při posledním měření ve variantě s *As. nodosum* ($7,25 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Oproti prvním měření se jedná o nárůst o $8,05 \%$. Nejnižší hodnota byla zaznamenaná také v posledním týdnu, a to $5,84 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ve variantě, kde byla aplikována *Ar. platensis*. V porovnání s prvním měřením se jedná o pokles o $12,97 \%$. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší rychlostí fotosyntézy v rámci celého pokusu při této koncentraci činil $1,41 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.



Graf 5.7: Rychlost fotosyntézy v závislosti na době trvání pokusu při koncentraci $50 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$

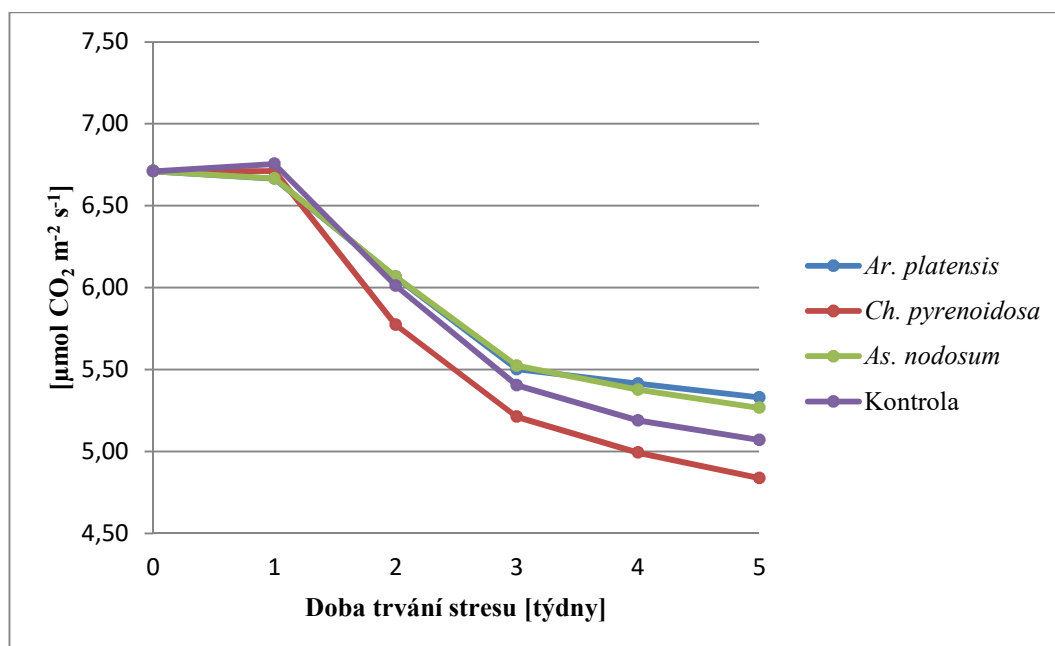
V grafu 5.8 je zobrazen průběh rychlosti fotosyntézy juvenilních rostlin lociky seté v závislosti na době trvání stresu při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹. Z uvedeného grafu vyplývá, že v prvním týdnu došlo k neprůkaznému zvýšení rychlosti fotosyntézy na hodnotu 6,77 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ v kontrolní variantě. Tato hodnota byla nejvyšší zaznamenaná rychlost fotosyntézy v průběhu celého měření při uvedené koncentraci. Ve variantách ošetřených biostimulanty byl v prvním týdnu zaznamenán neprůkazný pokles na shodné hodnoty (6,66-6,67 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹). V dalších týdnech se pak rychlost fotosyntézy ve všech variantách průkazně snižovala. Tento trend byl zaznamenán až do konce pokusu. Nejnižší hodnota rychlosti fotosyntézy byla naměřena v posledním týdnu ve variantě s *Ch. pyrenoidosa*, a to 4,87 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹. Rychlost fotosyntézy v této variantě poklesla oproti prvnímu měření o 27,42 %. Průběh rychlosti fotosyntézy v kontrolní variantě byl téměř identický s průběhy ve variantách ošetřených *Ar. platensis* a *As. nodosum*. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotou při této koncentraci byl 1,90 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹.



Graf 5.8: Rychlost fotosyntézy v závislosti na době trvání pokusu při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹

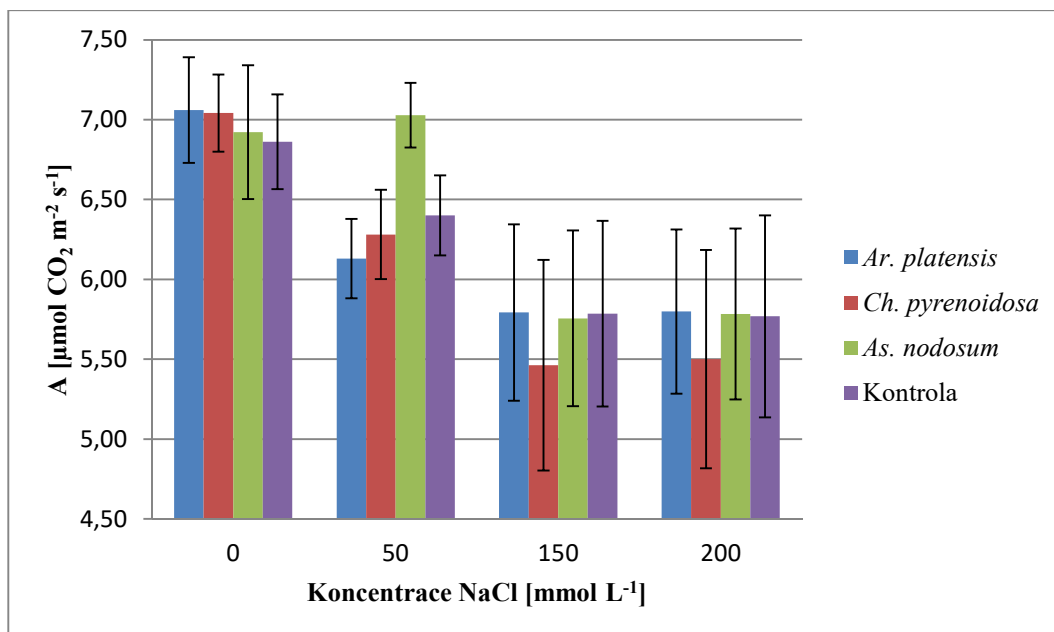
Graf 5.9 zobrazuje průběh rychlosti fotosyntézy juvenilních rostlin lociky seté v závislosti na době trvání stresu při koncentraci 200 mmol NaCl L⁻¹. Z uvedeného grafu je patrné, že v prvním týdnu byly ve všech variantách zaznamenány podobné hodnoty jako při prvním měření (6,66-6,75 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹). V dalších týdnech byl zaznamenán, podobně jako při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹, průkazný pokles naměřených hodnot ve všech variantách. I zde byla zaznamenána nejnižší hodnota ve variantě s *Ch. pyrenoidosa*, a to 4,84 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ v posledním týdnu. Oproti prvnímu měření to bylo snížení o 27,87 %. U variant s *As. nodosum* a *Ar. platensis* byly zaznamenány vyšší rychlosti fotosyntézy než v kontrolní variantě. Nejnižší pokles na hodnotu 5,33 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ (20,57 %) byl

naměřen u varianty s *Ar. platensis*. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotou při této koncentraci během celého pokusu byl $1,91 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.



Graf 5.9: Rychlost fotosyntézy v závislosti na době trvání pokusu při koncentraci $200 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$

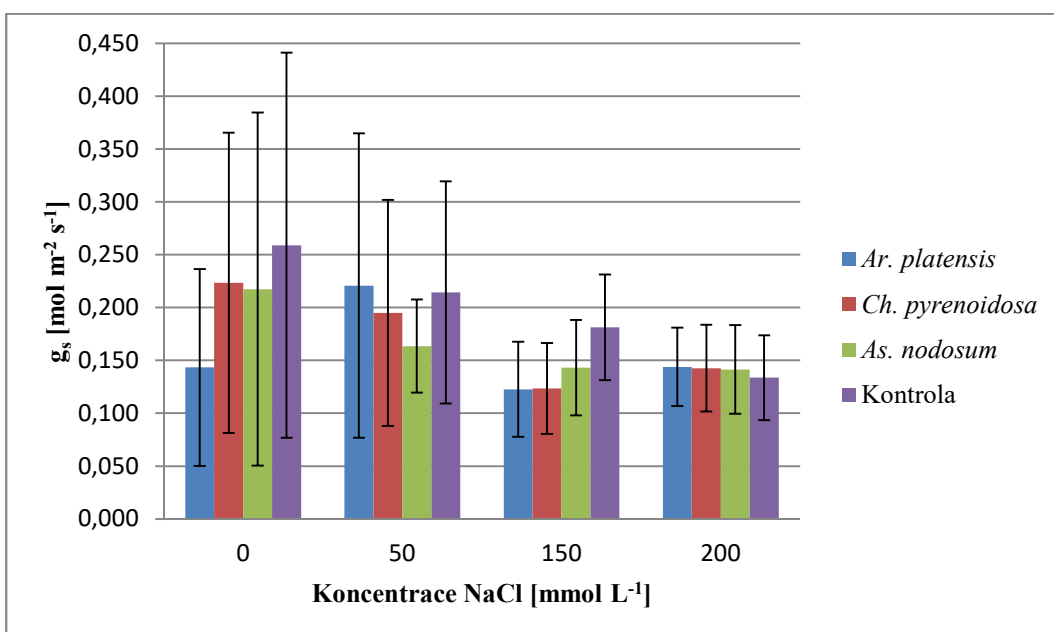
V grafu 5.10 je uveden vliv koncentrace a použitého biostimulantu na průměrnou rychlost fotosyntézy juvenilních rostlin lociky seté. Při koncentraci $0 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$ vykazovaly varianty ošetřené biostimulanty vyšší rychlost fotosyntézy než byla naměřena v kontrolní variantě, ve které činila $6,86 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (viz graf 5.10). Nejvyšší hodnoty fotosyntézy dosáhla varianta s *Ar. platensis* ($7,06 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), což byla o 2,91 % vyšší rychlost fotosyntézy, než vykazovala kontrolní varianta. Při koncentraci $50 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$ se průměrná rychlost fotosyntézy kontrolní varianty snížila na hodnotu $6,40 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (tzn. pokles o 6,71 %). Varianty ošetřené *Ar. platensis* a *Ch. pyrenoidosa* vykazovaly nižší hodnoty a varianta s *As. nodosum* vyšší, a to $7,03 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, což byla o 9,84 % vyšší rychlost fotosyntézy než v kontrolní variantě. Při koncentraci $150 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$ byl zaznamenán další pokles hodnot. V kontrolní variantě byla naměřena průměrná rychlost fotosyntézy $5,79 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Jedná se o pokles o 15,60 % oproti hodnotě zjištěné v kontrolní variantě při koncentraci $0 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$. Mezi kontrolní variantou a variantami ošetřenými *Ar. platensis* a *As. nodosum* nebyly nalezeny rozdíly. U varianty s *Ch. pyrenoidosa* byla naměřena průměrná rychlost fotosyntézy o 5,7 % nižší než v kontrolní variantě. Výsledky při koncentraci $200 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$ byly shodné s výsledky zaznamenanými při koncentraci $150 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$. Průměrná rychlost fotosyntézy v kontrolní variantě byla $5,77 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Varianty s *Ar. platensis* a *As. nodosum* měly shodné hodnoty. Zjištěné rozdíly nebyly průkazné. Varianta s *Ch. pyrenoidosa* vykazovala hodnotu fotosyntézy nejnižší ($5,50 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).



Graf 5.10: Průměrná rychlost fotosyntézy v jednotlivých variantách

5.3 Stomatální vodivost

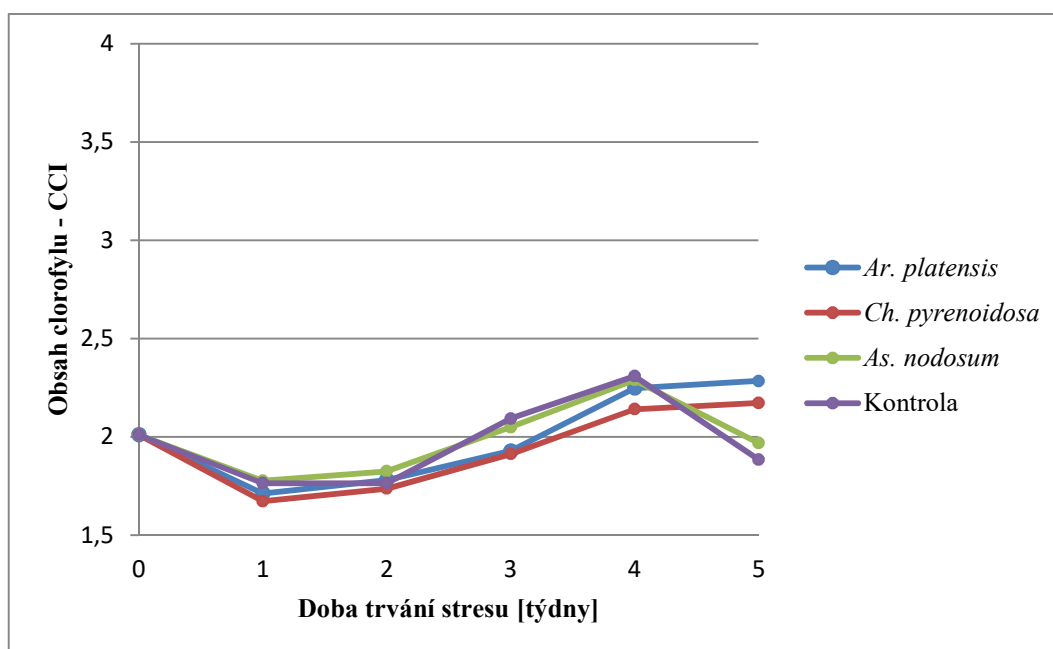
Graf 5.11 zobrazuje vliv koncentrace NaCl a použitého biostimulantu na stomatální vodivost (g_s). Z uvedeného grafu je patrné, že nejvyšší stomatální vodivost byla naměřena v kontrolní variantě při koncentraci 0 mmol NaCl L^{-1} , a to $0,259 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. S rostoucí koncentrací hodnota g_s téměř lineárně klesala. U variant ošetřených biostimulanty byly při koncentraci 0, 50 a 150 mmol NaCl L^{-1} naměřeny nižší hodnoty g_s oproti kontrolní variantě a při koncentraci 200 mmol NaCl L^{-1} neprůkazně vyšší.



Graf 5.11: Průměrná stomatální vodivost v jednotlivých variantách

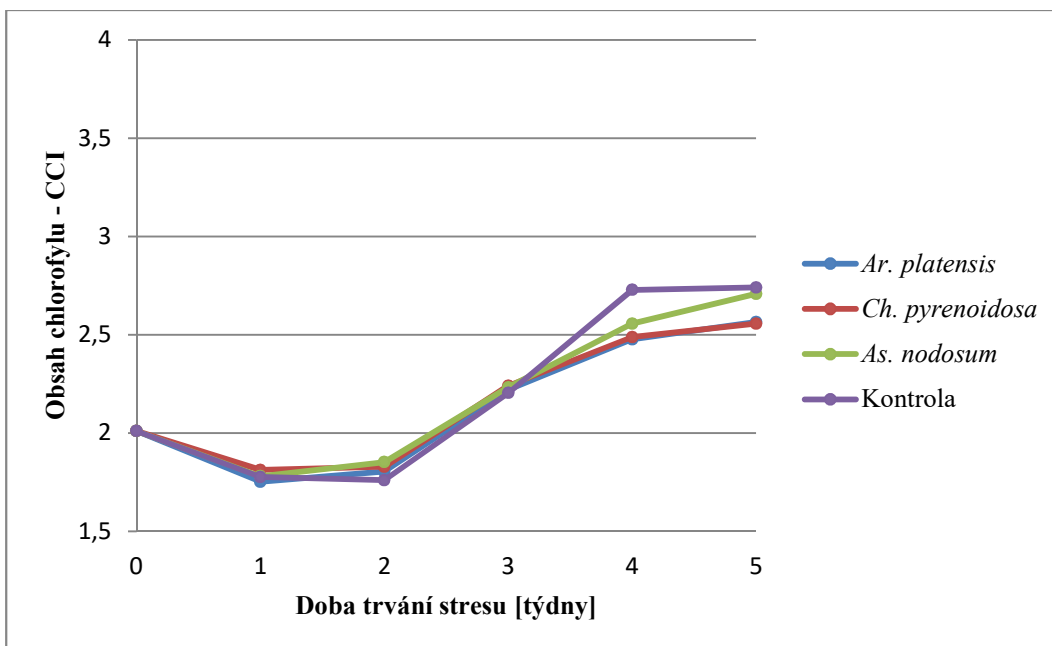
5.4 Obsah chlorofylu

V grafu 5.12 je zobrazena závislost obsahu chlorofylu na době trvání stresu při koncentraci 0 mmol NaCl L⁻¹. Z grafu je patrné, že se po prvním týdnu snížil obsah chlorofylu z hodnoty 2,01 ve všech variantách. Nejnižší hodnota CCI 1,67 byla naměřena při aplikaci *Ch. pyrenoidosa*. V dalších týdnech se ve všech variantách obsah chlorofylu zvyšoval. Maximální hodnota byla zaznamenána ve 4. týdnu v kontrolní variantě, a to 2,31. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou v rámci celého období tak činí 0,64. V posledním týdnu pokusu byl zaznamenán průkazný pokles obsahu chlorofylu u kontrolní varianty (1,88) a u rostlin, na něž byl aplikován extrakt *As. nodosum* (1,97). Což bylo o 6,47 %, respektive o 1,99 % méně než při prvním měření. Při posledním měření byl obsah chlorofylu nejvyšší ve variantě ošetřené *Ar. platensis*, a to 2,28. Jedná se o zvýšení o 13,43 % oproti prvním měření.



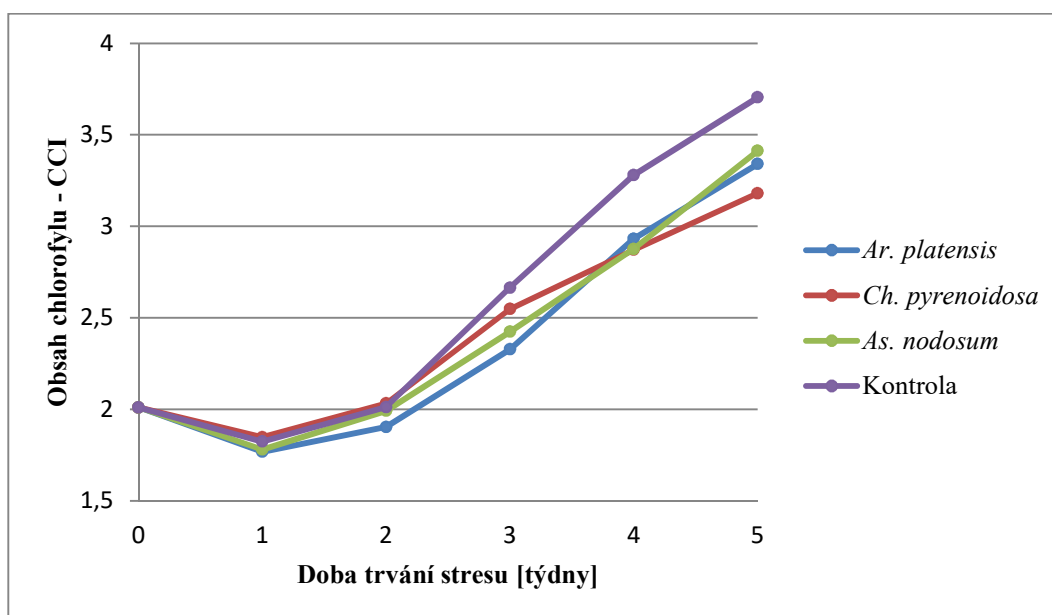
Graf 5.12: Změny obsahu chlorofylu v závislosti na době trvání pokusu při koncentraci 0 mmol NaCl L⁻¹

Na grafu 5.13 je zobrazen průběh závislosti obsahu chlorofylu na době trvání stresu při koncentraci 50 mmol NaCl L⁻¹. Po počátečním poklesu obsahu chlorofylu ve všech variantách byl zaznamenán rostoucí trend. Průběh závislosti v prvních třech týdnech byl ve všech variantách téměř shodný. Nejnižší hodnota CCI 1,75 byla naměřena v 1. týdnu ve variantě s aplikací *Ar. platensis*. Nejvyšší hodnoty 2,74 bylo dosaženo v 5. týdnu v kontrolní variantě. Bylo to o 36,32 % více než na začátku pokusu. V 5. týdnu byl obsah chlorofylu ve všech variantách vyšší než na začátku pokusu. Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou v rámci celého sledovaného období dosáhl 0,98.



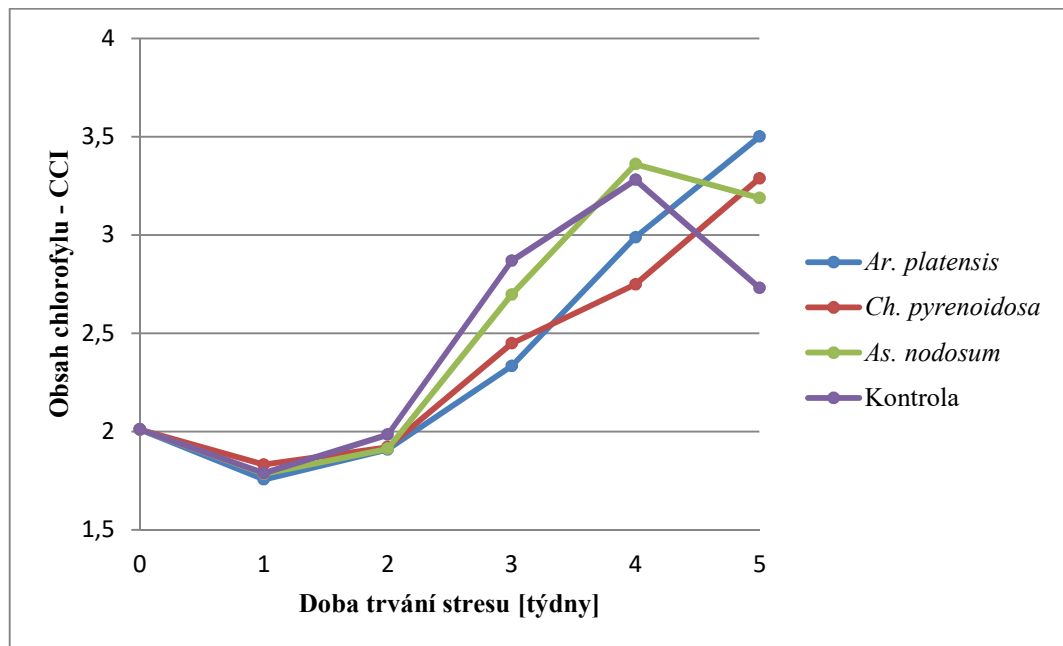
Graf 5.13: Změny obsahu chlorofylu v závislosti na době trvání pokusu při koncentraci 50 mmol NaCl L⁻¹

Graf 5.14 zobrazuje průběh závislosti obsahu chlorofylu na době trvání stresu při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹. Po počátečním poklesu obsahu chlorofylu byl zaznamenán ve všech variantách jeho postupný nárůst. Nejnižší hodnota CCI 1,77 byla naměřena 1. týden ve variantě ošetřené *Ar. platensis*. Nejvyšší hodnoty 3,7 bylo dosaženo v 5. týdnu v kontrolní variantě. Tato hodnota vzrostla o 84,08 % oproti prvnímu měření. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou v rámci celého pokusu činí 1,93.



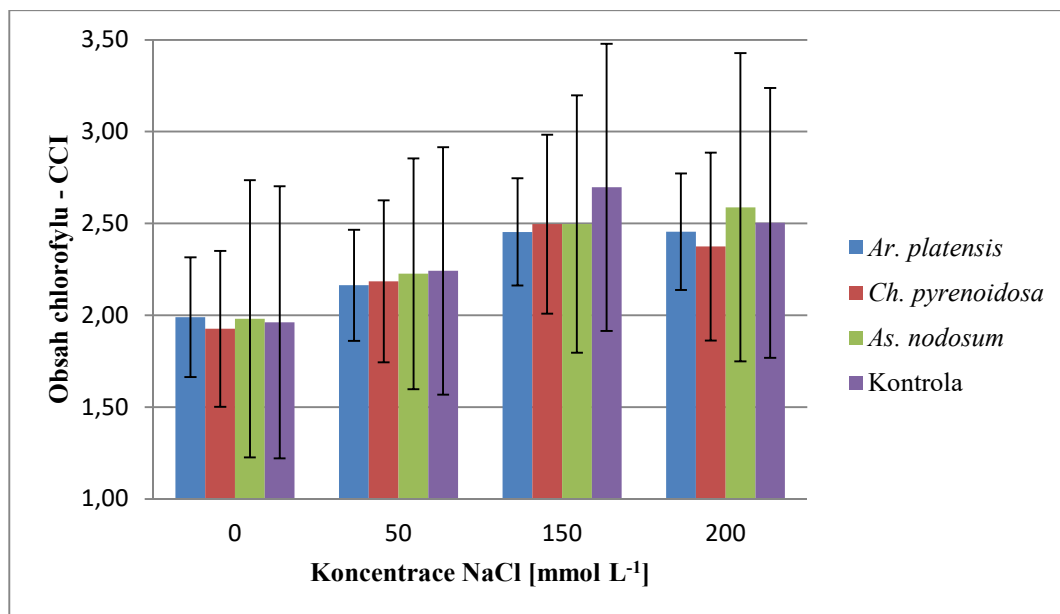
Graf 5.14: Změny obsahu chlorofylu v závislosti na době trvání pokusu při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹

Na grafu 5.15 je zobrazena závislost obsahu chlorofylu na době trvání stresu při koncentraci 200 mmol NaCl L⁻¹. Z grafu je zřejmé, že v prvním týdnu nastal pokles ve všech variantách. V průběhu další ontogeneze se obsah chlorofylu zvyšoval. Nejnižší hodnota CCI 1,76 byla naměřena 1. týden ve variantě ošetřené *Ar. platensis*. V téže variantě byla naměřena i nejvyšší hodnota CCI, a to 3,5 v 5. týdnu. Rozdíl minimální a maximální hodnoty v rámci celého pokusu je tak 1,74. Nárůst oproti prvnímu měření byl 74,13 %. Nejnižší hodnota při posledním měření byla zaznamenána v kontrolní variantě, a to 2,7.



Graf 5.15: Změny obsahu chlorofylu v závislosti na době trvání pokusu při koncentraci 200 mmol NaCl L⁻¹

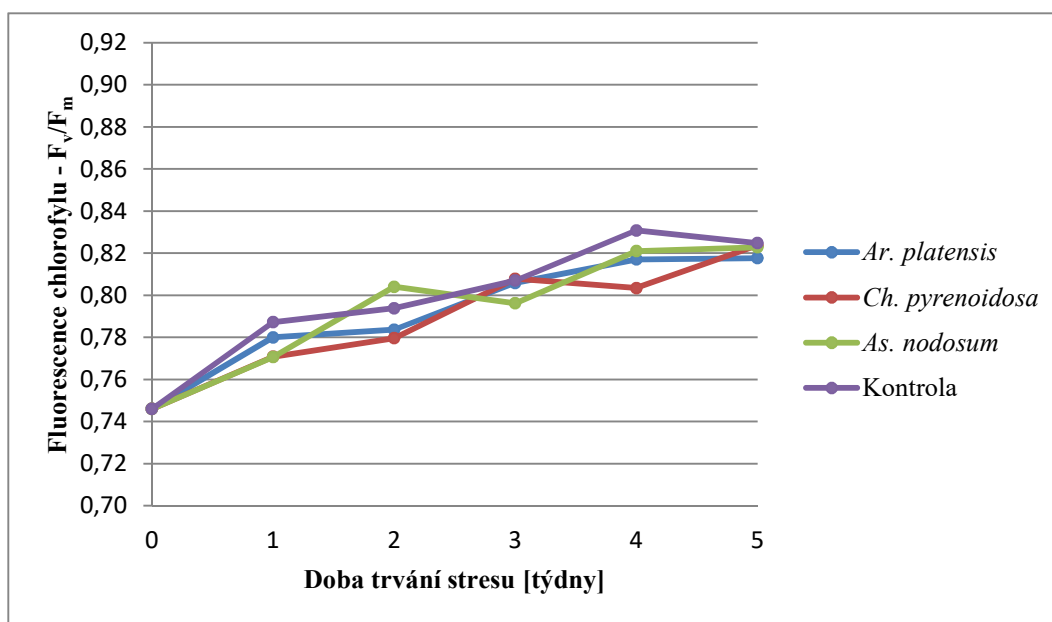
Na grafu 5.16 je porovnání průměrného obsahu chlorofylu v jednotlivých variantách. Z grafu je patrné, že index CCI byl v zasolených variantách vyšší než ve variantách s koncentrací 0 mmol NaCl L⁻¹. Při této koncentraci dosáhl index CCI v kontrolní variantě hodnoty 1,96. Nejvyšší hodnotu měl CCI ve variantě s *Ar. platensis* (1,99) a nejnižší ve variantě s *Ch. pyrenoidosa* (1,93). Při koncentraci 50 mmol NaCl L⁻¹ byl v kontrolní variantě zaznamenán index CCI 2,24, což byl nárůst o 14,29 % oproti nezasolené variantě. Varianty ošetřené biostimulanty vykázaly neprůkazně nižší hodnoty. Nejnižší byla zjištěna ve variantě s *Ar. platensis* (2,16). Při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹ vzrostl index CCI v kontrolní variantě na hodnotu 2,7, což byl nárůst o 37,78 % oproti nezasolené kontrolní variantě. U variant ošetřené biostimulanty byly naměřeny nižší hodnoty. Nejnižší opět ve variantě s *Ar. platensis*, a to 2,45. To bylo o 9,23 % méně, než bylo dosaženo v kontrolní variantě při této koncentraci. Při koncentraci 200 mmol NaCl L⁻¹ byl v kontrolní variantě zaznamenán index CCI 2,50, což bylo o 27,55 % více než v nezasolené kontrolní variantě. Varianta s *As. nodosum* vykázala vyšší hodnotu CCI (2,59). Nejnižší hodnota CCI při této koncentraci byla zjištěna u varianty s *Ch. pyrenoidosa* (2,37).



Graf 5.16: Průměrný obsah chlorofylu v jednotlivých variantách

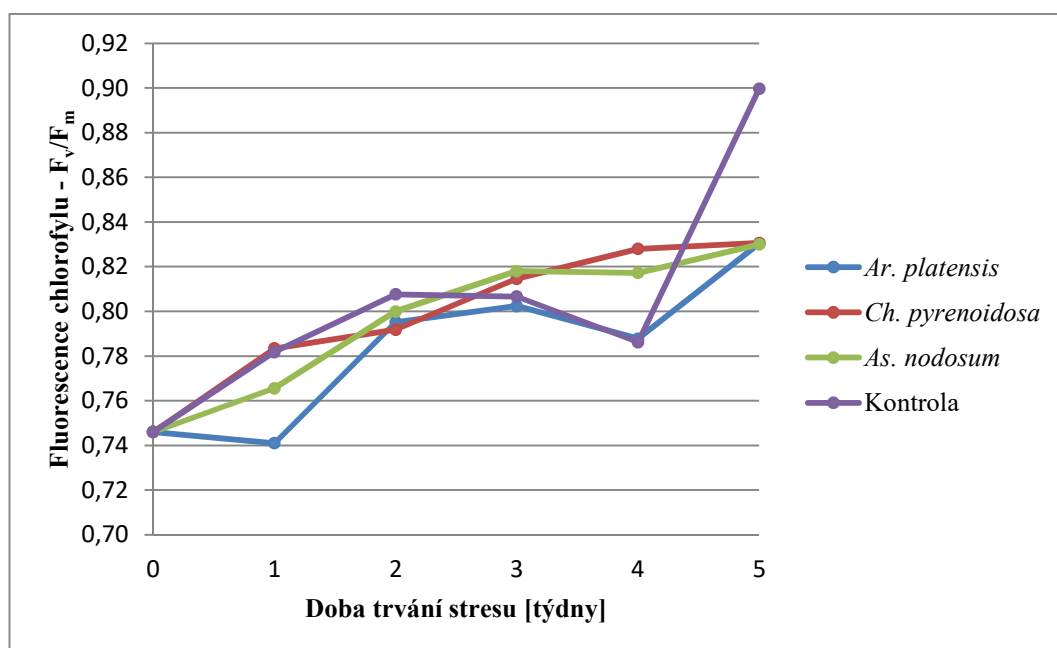
5.5 Fluorescence chlorofylu

Na grafu 5.17 je zobrazena závislost fluorescence chlorofylu na době trvání stresu při koncentraci 0 mmol NaCl L⁻¹. Z grafu je zřejmé, že lze u všech variant sledovat rostoucí trend. Při prvním měření byla zaznamenána hodnota F_v/F_m 0,746. Nejvyšší hodnoty za celé období dosáhla kontrolní varianta ve 4. týdnu (0,831). Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou F_v/F_m činil 0,085. Při posledním měření byla nejvyšší hodnota zjištěna také v kontrolní variantě, a to 0,825, což byl nárůst o 10,59 % oproti výchozímu měření.



Graf 5.17: Změny fluorescence chlorofylu v závislosti na době trvání pokusu při koncentraci 0 mmol NaCl L⁻¹

Graf 5.18 zobrazuje závislost fluorescence chlorofylu na době trvání stresu při koncentraci 50 mmol NaCl L⁻¹. Z grafu je patrné, že varianty s *Ch. pyrenoidosa* a *As. nodosum* vykázaly během měření poměrně plynulý nárůst hodnoty F_v/F_m. Ve variantě ošetřené *Ar. platensis* bylo nejprve zaznamenáno snížení na hodnotu 0,741, což byla současně nejnižší hodnota naměřená v průběhu celého pokusu při této koncentraci. V dalších dvou týdnech se v této variantě hodnoty F_v/F_m naopak zvyšovaly a po té se průkazně snížily. V posledním týdnu se fluorescence chlorofylu ve variantách ošetřených biostimulanty ustálila na podobných hodnotách F_v/F_m (0,830-0,831). V kontrolní variantě byla při posledním měření zjištěna hodnota 0,900, což byl nárůst oproti výchozímu měření o 26,64 %. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou F_v/F_m v rámci celého období byl 0,159.

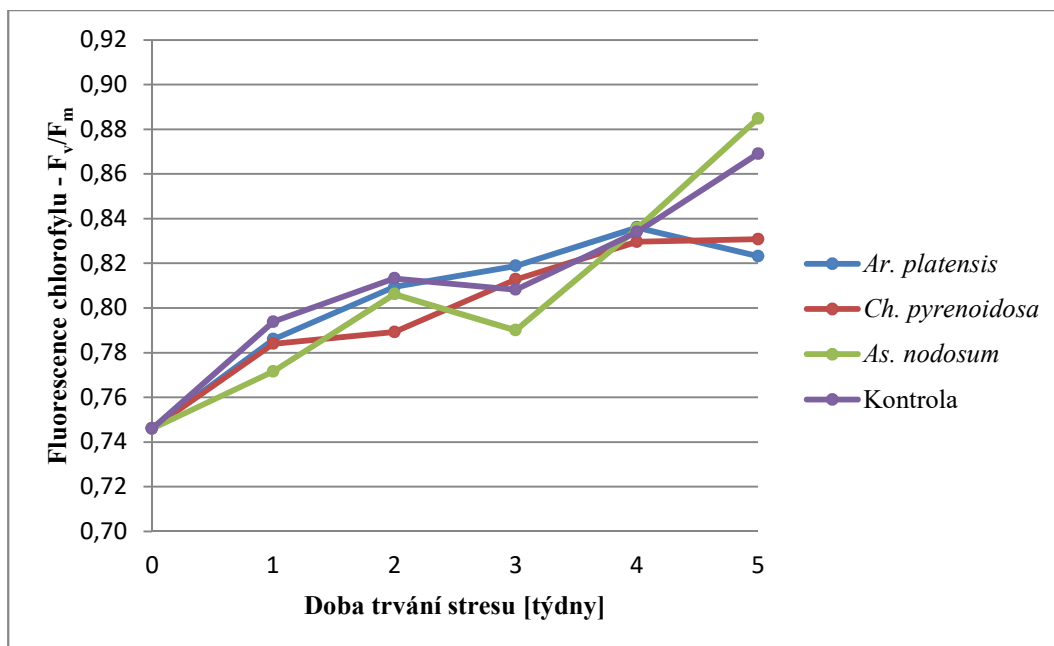


Graf 5.18: Změny fluorescence chlorofylu v závislosti na době trvání pokusu při koncentraci 50 mmol NaCl L⁻¹

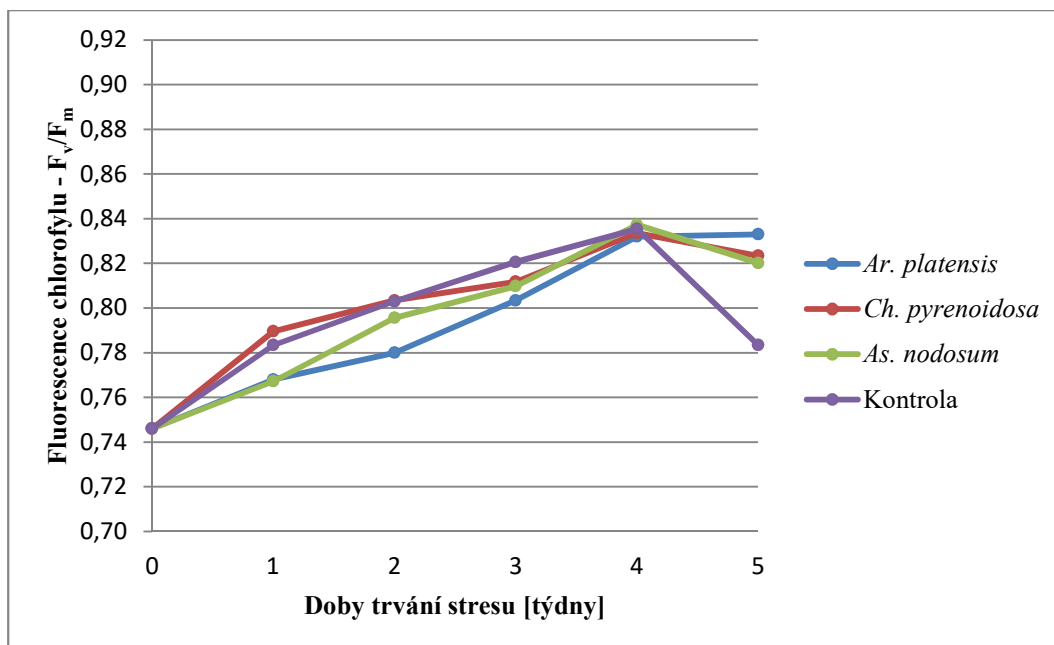
V grafu 5.19 je zobrazena závislost fluorescence chlorofylu na době trvání stresu při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹. Z grafu je patrný rostoucí trend ve všech variantách. Nejvyšší hodnoty F_v/F_m dosáhla v posledním týdnu varianta ošetřená *As. nodosum* (0,885). Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou činil 0,139. Jedná se o nárůst o 18,63 %. Nejnižší hodnota v posledním týdnu byla naměřena ve variantě, kde byla aplikována *Ar. platensis*, a to 0,823.

Graf 5.20 zobrazuje závislost fluorescence chlorofylu na době trvání stresu při koncentraci 200 mmol NaCl L⁻¹. Z grafu je patrné, že všechny varianty vykazovaly rostoucí trend do 4. týdne, kdy byla změřena nejvyšší hodnota F_v/F_m ve variantě s *As. nodosum* (0,837). Což bylo o 0,091 a 12,20 % více než při prvním měření. Po té došlo k zastavení růstu hodnot, příp. k jejich poklesu. Nejvyšší pokles byl zaznamenán v kontrolní

variantě, a to na hodnotu 0,783. Nejvyšší hodnota F_v/F_m při posledním měření byla zjištěna ve variantě s *Ar. platensis* (0,833).



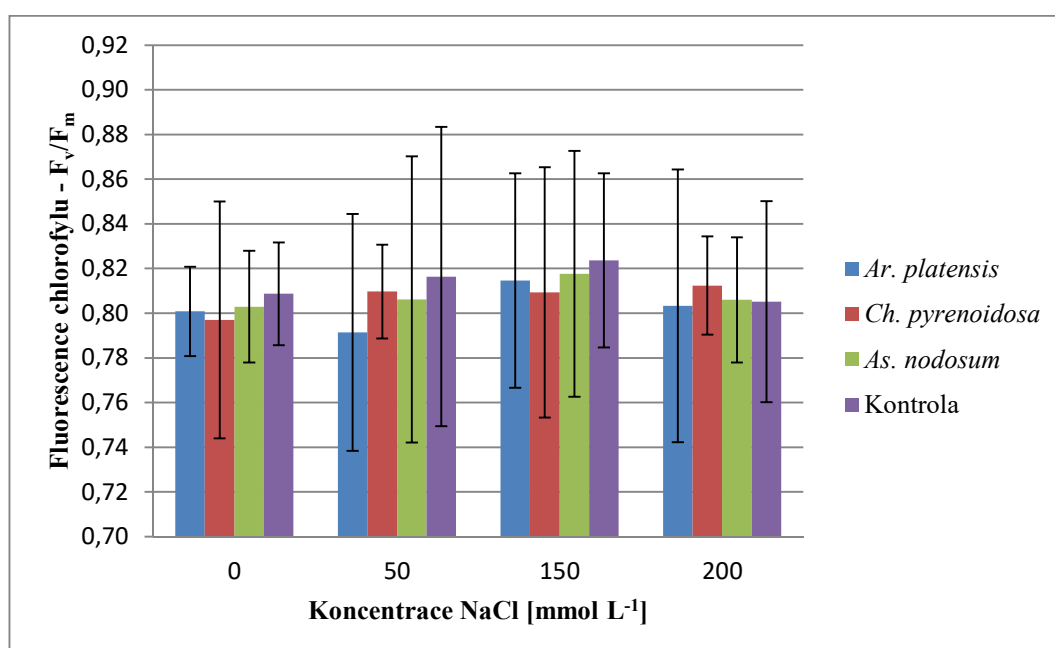
Graf 5.19: Změny fluorescence chlorofylu v závislosti na době trvání pokusu při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹



Graf 5.20: Změny fluorescence chlorofylu v závislosti na době trvání pokusu při koncentraci 200 mmol NaCl L⁻¹

Na grafu 5.21 je zobrazena průměrná fluorescence chlorofylu v jednotlivých variantách. Z grafu je zřejmé, že rozdíly mezi hodnotami dosaženými v jednotlivých variantách nebyly

průkazné. Při koncentraci 0 mmol NaCl L⁻¹ byla nejvyšší hodnota F_v/F_m naměřena v kontrolní variantě (0,809). Varianty ošetřené biostimulanty vykázaly neprůkazně nižší hodnoty. Nejnižší byla ve variantě s *Ch. pyrenoidosa* (0,797). Také při koncentraci 50 mmol NaCl L⁻¹ byla zjištěna nejvyšší hodnota F_v/F_m v kontrolní variantě (0,816) a zbylé varianty vykázaly nižší hodnoty. Nejnižší hodnota při této koncentraci byla naměřena u varianty s *Ar. platensis* (0,791). Podobně při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹ lze na grafu pozorovat, že v kontrolní variantě byla naměřena nejvyšší hodnota F_v/F_m (0,824). Což bylo o 1,85 % více oproti kontrolní variantě při nulové koncentraci NaCl. Současně to byla nejvyšší zaznamenaná hodnota v rámci celého pokusu. Při koncentraci 200 mmol NaCl L⁻¹ byl zaznamenán v kontrolní variantě neprůkazný pokles F_v/F_m na hodnotu 0,805, což byla hodnota nižší o 0,004 než při nulové koncentraci NaCl. Nejvyšší fluorescenci chlorofylu vykázala při této koncentraci varianta ošetřená *Ch. pyrenoidosa*, a to 0,812.

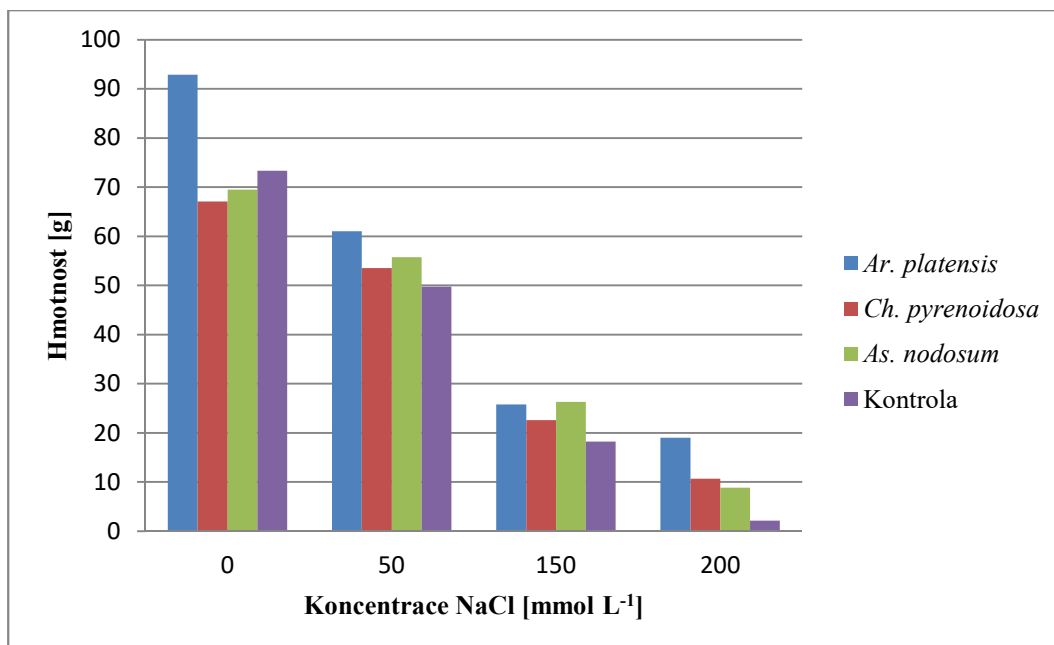


Graf 5.21: Průměrná fluorescence chlorofylu v jednotlivých variantách

5.6 Hmotnost biomasy

Graf 5.22 zobrazuje vliv koncentrace a použitého biostimulátoru na hmotnost nadzemní biomasy na konci pokusu. Z grafu je patrné, že se hmotnosti signifikantně snižovaly s rostoucí koncentrací, a že varianty s aplikovanými biostimulanty vykazovaly vyšší hmotnosti oproti kontrolní variantě. Při koncentraci 0 mmol NaCl L⁻¹ byla zaznamenána hmotnost kontrolní varianty 73,35 g. Nejvyšší hmotnosti při této koncentraci dosáhla varianta ošetřená *Ar. platensis* (92,90 g), což bylo o 26,65 % více. Při koncentraci 50 mmol NaCl L⁻¹ se snížila hmotnost kontrolní varianty na 49,75 g. Pokles oproti nezasolené kontrolní variantě tak činil 32,54 %. Při koncentraci 50 mmol NaCl L⁻¹ byla změřena nejvyšší hmotnost opět ve variantě s *Ar. platensis*, a to 61,02 g. To bylo o 22,65 % více, než byla hmotnost kontrolní varianty při této koncentraci. Hmotnost biomasy kontrolní varianty při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹ činila 18,25 g. Jedná se o pokles o 75,25 % vůči nezasolené kontrolní variantě. Nejvyšší

hmotnost při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹ byla zjištěna ve variantě s *As. nodosum* (26,3 g), což bylo o 44,11 % více, než byla hmotnost kontrolní varianty při této koncentraci. Při koncentraci 200 mmol NaCl L⁻¹ začaly rostliny hynout, takže došlo k dalšímu poklesu hmotnosti biomasy ve všech variantách. Nejvyšší pokles byl zaznamenán v kontrolní variantě (2,12 g) a nejmenší ve variantě ošetřené *Ar. platensis* (19,01 g).



Graf 5.22: Hmotnost biomasy na konci pokusu v jednotlivých variantách



Obr. 5.1: Největší rostliny z kontrolních variant jednotlivých koncentrací NaCl na konci pokusu (foto autor)

6 Diskuze

Adhikari et al. (2019), Campos et al. (2019) a Vetrano et al. (2020) konstatují, že je locika setá (*Lactuca sativa*) považována za rostlinu citlivou na zasolení, která reaguje na zvýšenou koncentraci Na^+ a Cl^- inhibicí růstu a poklesem výnosů. To je v souladu se závěry této práce. Garrido et al. (2014) však upozorňují, že mírný stres zlepšuje zpracovatelnost, trvanlivost a spotřebitelskou přijatelnost lociky. To je pravděpodobně spojeno s vyšším počtem menších buněk a vyšší pevností listů. Neocleous et al. (2014) dodávají, že snížený výnos může být částečně kompenzován také vyšším obsahem antokyanů. Bulgari et al. (2019b) uvádějí, že prahová hodnota zasolení je u tohoto rostlinného druhu cca $1,3 \text{ dS m}^{-1}$. Na základě analýzy obsahu Na^+ v listech rostlin Bartha et al. (2015) odvodili, že hlavní strategií zvyšování tolerance lociky proti zasolení není vylučování nadbytečných iontů, ale naopak jejich ukládání ve vakuolách. Všichni uvedení autoři se shodují, že stres zasolením také ovlivňuje fyziologické charakteristiky této rostliny. To je ve shodě s našimi výsledky.

6.1 Rychlost transpirace

Z výsledků práce vyplývá, že rychlost transpirace se v kontrolní variantě snížila o cca 23 % při koncentraci $200 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$. Při koncentraci $50 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$ lze pozorovat mírné stimulační účinky zasolení.

Podobné hodnoty i průběh zaznamenali u lociky Qin et al. (2013) při koncentracích $17,1 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$ (1000 ppm), $85,6 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$ (5000 ppm) a $171,2 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$ (10 000 ppm).

Vliv biostimulantů na tuto fyziologickou charakteristiku nelze jednoznačně posoudit. Při koncentraci 0 a $150 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$ byly ve variantách ošetřených biostimulanty zaznamenány nižší hodnoty. Při koncentraci $200 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$ byly hodnoty v těchto variantách vyšší. Nejvyšší rychlost transpirace byla naměřena ve variantě ošetřené *Ch. pyrenoidosa*, která vykazovala o 13 % vyšší hodnotu oproti kontrole. Uvedené výsledky nejsou zcela v souladu s poznatky Bulgari et al. (2019b), kteří studovali vliv biostimulantu Retrosal na rostliny lociky seté stresované zasolením. Rychlost transpirace v kontrolní variantě klesala s rostoucí koncentrací NaCl , ale ve variantách ošetřených biostimulantem byly hodnoty vždy signifikantně vyšší. Při srovnání výsledků je nutno vzít na zřetel, že tento pokus probíhal při podstatně nižším zasolení ($0,8, 1,3$ a $1,8 \text{ dS m}^{-1}$). To jsou sice hodnoty blízké výše uvedené prahové hodnotě citlivosti lociky, ale nižší než je hranice, kterou je definována zasolená půda (4 dS m^{-1} , $40 \text{ mmol NaCl L}^{-1}$). Nízké koncentrace neměly průkazné stimulační účinky. Odlišné závěry uvádí Lemos Neto et al. (2020), kteří testovali biostimulační účinky křemíku na lociku při třech úrovních zasolení $1,65, 3,65$ a $7,65 \text{ dS m}^{-1}$. Rychlost transpirace při všech koncentracích byla v kontrolní variantě velmi podobná. Pozitivní vliv Si se projevil při nejnižší koncentraci a při nejvyšším zasolení naopak poklesla rychlost transpirace varianty ošetřené Si , a to o 18,75 %.

6.2 Rychlost fotosyntézy

Získané výsledky dokládají, že rychlost fotosyntézy se v důsledku zasolení snížila. Nejnižších hodnot dosáhla při koncentraci 200 mmol NaCl L⁻¹ (pokles o cca 16 %).

To je v souladu s výsledky Qina et al. (2013), kteří uvádějí, že rychlost fotosyntézy poklesla o cca 36 % při koncentraci 17,1 mmol NaCl L⁻¹ (1000 ppm). Neocleous et al. (2014) sledovali vliv zasolení na dva kultivary lociky (zelený a červený). Ve své práci uvádějí pokles rychlosti fotosyntézy o 19 %, respektive o 49 % v důsledku koncentrace 20 mmol NaCl L⁻¹. Campos et al. (2019) zaznamenali pokles 60 % při koncentraci 80 mmol NaCl L⁻¹.

Naopak Adhikari et al. (2019) vyhodnotili snížení rychlosti fotosyntézy deseti genotypů lociky při koncentraci 30 mmol NaCl L⁻¹ jako nevýznamné. Přesto byl zaznamenán pokles výnosu. Uvedení autoři uvádějí několik možností, proč k tomu došlo. Jednou z nich je, že rostliny vynakládají velké množství energie na eliminaci oxidačního stresu a nemají tak dostatek energie pro růst. Dále může např. v důsledku ztráty turgorového tlaku docházet ke zmenšování buněk, zpomalení buněčného dělení a v konečném důsledku ke zmenšení velikosti listů.

Vliv použitých biostimulantů na rychlost fotosyntézy nebyl na základě výsledků prokázán. To je v souladu se závěry Bulgari et al. (2019b), kteří také zaznamenali pokles rychlosti fotosyntézy v důsledku zvýšené koncentrace NaCl, ale signifikantní vliv biostimulantu Retrosal na tuto fyziologickou charakteristiku nezaznamenali. Lemos Neto et al. (2020) zjistili negativní biostimulační účinek křemíku na rychlost fotosyntézy až při koncentraci NaCl 7,65 dS m⁻¹. Křemík snížil hodnotu rychlosti fotosyntézy o téměř 40 % oproti kontrolní variantě. Podle těchto autorů je to v důsledku nižší stomatální vodivosti. Chrysargyris et al. (2018) prokázali, že extrakt z řasy *Ascophyllum nodosum* zvýšil rychlost fotosyntézy lociky seté, během stresu způsobeného nedostatkem draslíku, o cca 22 % oproti neošetřené variantě. Extrakt aplikovali foliárně v 1% koncentraci. Di Stasio et al. (2020) testovali na rostlinách *Solanum lycopersicum*, vystavených stresu v důsledku koncentrace 80 mmol NaCl L⁻¹, dva komerční biostimulanty extrahované z řasy *As. nodosum*: Rygex a Super Fifty. Oba přípravky byly aplikovány zálivkou (Rygex 2,5 mL L⁻¹, Super Fifty 2,0 mL L⁻¹). Podle autorů uvedené zasolení snížilo rychlost fotosyntézy oproti kontrolní variantě o 18 % a aplikace extraktů ji zvýšilo o 27 % (Rygex) a 31 % (Super Fifty).

Vzhledem k tomu, že způsob extrakce významně ovlivňuje biostimulační schopnosti extraktů (Shukla et al., 2019), mohlo dojít k odlišným trendům v důsledku této skutečnosti.

6.3 Stomatální vodivost

Z výsledků práce je zřejmé, že stomatální vodivost dosáhla nejvyšší hodnoty v kontrolní variantě při koncentraci 0 mmol NaCl L⁻¹, a to 0,259 mol m⁻² s⁻¹. S rostoucí koncentrací hodnota g_s téměř lineárně klesala. Při koncentraci 200 mmol NaCl L⁻¹ to byl pokles o cca 48 % oproti nezasolené kontrolní variantě. Podobný trend zaznamenali Bartha et al. (2015) u pěti kultivarů lociky, které podrobili zasolení 50 a 100 mmol NaCl L⁻¹. Podle uvedených autorů dochází ke snížení stomatální vodivosti v krátké době po expozici. Podobně také Neocleous et al. (2014) uvádějí, že stomatální vodivost poklesla o 44 % u zeleného kultivaru a o 69 % u červeného kultivaru lociky, a to již při koncentraci 20 mmol NaCl L⁻¹. Uvedení

autoři považují stomatální omezení za hlavní determinant ovlivňující fotosyntézu při mírném a středním stresu. K rozdílným výsledkům dospěli Qin et al. (2013). Při koncentraci 17,1 mmol NaCl L⁻¹ a 65,6 mmol NaCl L⁻¹ pozorovali nevýznamné zvýšení g_s. K signifikantnímu snížení hodnoty došlo až při koncentraci 171,2 mmol NaCl L⁻¹. Z toho je možné odvodit, že v tomto případě měl mírný stres na rostliny spíše stimulující účinek.

U variant ošetřených biostimulanty byly při koncentraci 0, 50 a 150 mmol NaCl L⁻¹ naměřeny nižší hodnoty g_s oproti kontrolní variantě a při koncentraci 200 mmol NaCl L⁻¹ neprůkazně vyšší.

Podle Bulgari et al. (2019b) při koncentracích 0,8, 1,3 a 1,8 dS m⁻¹ nebyli zjištěny rozdíly v hodnotách g_s. Aplikací biostimulantu Retrosal se však hodnota stomatální vodivosti zvýšila. Moncada et al. (2020) dosáhli použitím bakteriálního stimulantu zvýšení hodnoty g_s lociky seté při koncentraci 20 mmol NaCl L⁻¹ o cca 41 %. Stimulant obsahoval bakterie rodu *Bacillus* a *Paenibacillus*. Oproti tomu Lemos Neto et al. (2020) zaznamenali při aplikaci křemíku při koncentraci 7,65 dS m⁻¹ pokles g_s o 46,96 %.

6.4 Obsah chlorofylu

Na základě výsledků této práce lze konstatovat, že obsah chlorofylu (CCI) byl ve všech zasolených variantách vyšší než při koncentraci 0 mmol NaCl L⁻¹. Nejvíce se obsah chlorofylů zvýšil v kontrolní variantě při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹, a to o cca 38 % oproti nezasolené variantě. Vliv biostimulantů nebyl významný. S ohledem na toto zjištění by bylo možno konstatovat, že se rostliny lociky vystavené stresu zasolením bránily tvorbou chlorofylu. Pravděpodobnějším vysvětlením však je, že docházelo k vyšší koncentraci chlorofylu v důsledku zmenšení listové plochy.

Nárůst hodnot CCI v souvislosti s rostoucí koncentrací NaCl zaznamenali také například Modiga et Jitäreanu (2017), kteří zjišťovali vliv zasolení na fyziologické charakteristiky sedmi genotypů fazolu (*Phaseolus vulgaris*). Po patnácti dnech zaznamenali nárůst CCI u jednotlivých genotypů o 12,99-44,98 %. Po třiceti dnech činil nejvyšší nárůst jen 28,49 %. Autoři si to vysvětlují postupnou degradací chlorofylu v důsledku zasolení. Výsledky této práce jsou v rozporu s tímto tvrzením, neboť obsah chlorofylu se při všech koncentracích po počátečním poklesu v průběhu trvání pokusu spíše zvyšoval.

Abdelraouf et Elgarhy (2017) ve své práci vyhodnotili vliv koncentrace 50 mmol NaCl L⁻¹ na obsah chlorofylu (CCI) u osmi genotypů sóji (*Glycine max*) jako nevýznamný. Sulewska et al. (2020) uskutečnili víceletý polní experiment s hrachem (*Pisum sativum*). Uvedení autoři zkoumali vliv foliární aplikace osmi druhů biostimulantů a hnojiv. Dle těchto autorů se obsah chlorofylu vyjádřený v jednotkách CCI signifikantně zvýšil jen u některých z nich.

Tato metoda měření obsahu chlorofylu nedetekuje obsah dalších pigmentů, takže rozdílné trendy mohly být způsobeny tím, že rostliny reagovaly na stres změnou obsahu např. karotenoidů.

6.5 Fluorescence chlorofylu

Z výsledků měření je patrné, že nejvyšší hodnota fluorescence chlorofylu byla naměřena v kontrolní variantě při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹. Oproti nezasolené kontrolní variantě se zvýšila hodnota Fv/F_m pouze o 1,85 %. Zvýšená koncentrace NaCl neměla na tuto charakteristiku významný vliv. Aplikace biostimulantů se také významněji neprojevila. To je v rozporu se závěry, které učinili Lucini et al. (2015). Uvedení autoři zaznamenali u lociky seté pokles Fv/F_m o 34 % již při koncentraci 25 mmol NaCl L⁻¹. Aplikací komerčního biostimulantu Trainer (rostlinný proteinový hydrolyzát) zálivkou i foliárně dosáhli zvýšení hodnoty Fv/F_m z 0,58 na 0,73. Také Rouphael et al. (2017b) zaregistrovali při stejné koncentraci u lociky signifikantní pokles hodnot Fv/F_m. Varianta ošetřená komerčním mykorhizním biostimulantem Click Horto (*Trichoderma atroviride* a *Rhizophagus intraradices*) vykázala prokazatelně vyšší fluorescenci chlorofylu oproti kontrolní variantě. Kalhor et al. (2018) testovali reakce lociky na koncentraci 40 a 80 mmol NaCl L⁻¹. Významné snížení fluorescence chlorofylu pozorovali pouze u vyšší koncentrace. Díky biostimulačním účinkům GABA (kyselina gama-aminomáselná) se podařilo zvýšit hodnoty Fv/F_m na podobnou úroveň jako v kontrolní variantě. Oproti tomu Rouphael et al. (2017a) uvádějí, že koncentrace 20, 40 a 60 mmol NaCl L⁻¹ neovlivnila fluorescenci chlorofylu cukety (*Cucurbita pepo*). Dále nezaregistrovali vliv biostimulantu Kelpak (extrakt *Ecklonia maxima*) na tuto charakteristiku.

Výsledky našich měření jsou však v souladu s prací Shina et al. (2020), kteří podrobili rostliny lociky zasolení 50, 100, 200, 300 a 400 mmol NaCl L⁻¹ a významnější pokles Fv/F_m zaznamenali jen u nejvyšší koncentrace. Podle těchto autorů jsou účinky zvýšené koncentrace NaCl na fluorescenci chlorofylu lociky omezené.

6.6 Hmotnost biomasy

Naměřené hodnoty jednoznačně dokazují, že hmotnost čerstvé biomasy významně klesala s rostoucí koncentrací NaCl a že biostimulanty tento pokles pozitivně ovlivňovaly. Např. při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹ klesla hmotnost kontrolní varianty o cca 75 % oproti nezasolené kontrolní variantě. Ve variantě ošetřené *As. nodosum* byl zjištěn nárůst o cca 44 % oproti kontrolní variantě při této koncentraci. Zjištěný trend je v souladu s prací Garrida et al. (2014), kteří při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹ zaregistrovali pokles hmotnosti čerstvé biomasy lociky o 60 %.

Výsledky práce jsou ve shodě se závěry, které učinili Rouphael et al. (2017a). Také uvedení autoři zaznamenali klesající výnos cukety (*Cucurbita pepo*) v důsledku zvyšující se koncentrace 20, 40 a 60 mmol NaCl L⁻¹. Při nejvyšší koncentraci byl zjištěn pokles o 55 %. Varianta ošetřená extraktem z řasy *Ecklonia maxima* vykázala oproti neošetřené variantě nárůst výnosu o 12 %.

Pozitivní vliv biostimulantů na výnosové charakteristiky publikují např. Kim et al. (2018), kteří aplikací řasy *Chlorella fusca* dosáhli zvýšení hmotnosti čerstvé biomasy špenátu (*Spinacia olerosa*) o 63,6 %. Při pokusu byla použita živá řasa laboratorně kultivovaná po dobu 5-7 dní a poté foliárně aplikovaná v 0,4% koncentraci.

Podobný trend zaznamenali Rouphael et al. (2018a), kteří testovali vliv biostimulantů na špenát (*Spinacia oleracea*). U ošetřených variant byl výnos v průměru o 51,5 % vyšší.

Mógor et al. (2018) srovnávali vliv foliární aplikace vodní suspenze lyofilizované (2 g L^{-1}) a hydrolyzované (2 mL L^{-1}) *Ar. platensis* na růst lociky seté. Enzymatická hydrolýza probíhala po dobu 2, 4 a 6 hod. Uvedení autoři konstatují, že lyofilizovaná *Ar. platensis* nesignifikantně snížila listovou plochu a hmotnost biomasy lociky. Oproti tomu při aplikaci suspenze s *Ar. platensis* hydrolyzované po dobu 4 a 6 hod. došlo k výraznému zvýšení listové plochy i hmotnosti biomasy. Výrazný rozdíl v účinnosti mezi oběma formami zpracování může souviset s výsledky této práce.

Barone et al. (2018) zaznamenali po aplikaci extraktu z řasy *Chlorella vulgaris* signifikantní zvýšení délky a plochy povrchu kořene cukrovky (*Beta vulgaris*). Extrakt byl získán tak, že po lyofilizaci živé řasy, byla dezintegrována buněčná stěna pomocí metanolu. Poté byl extrakt přidán do Hoaglandova roztoku v koncentraci 2 mL L^{-1} nebo 4 mL L^{-1} .

Z uvedených informací lze usuzovat, že způsob zpracování řas má zásadní význam na jejich biostimulační účinky.

7 Závěr

U juvenilních rostlin lociky seté (*Lactuca sativa*) byl sledován vliv zasolení a aplikace biostimulantů na fyziologické charakteristiky a hmotnost biomasy. Ze získaných výsledků lze vyvodit následující závěry:

1. Stres v důsledku zvýšené koncentrace NaCl ovlivnil fyziologické charakteristiky rostlin lociky seté.
2. Rychlost transpirace se průkazně snížila v kontrolní variantě o 23 % u rostlin vystavených koncentraci 200 mmol NaCl L⁻¹.
3. Nejvyšší snížení rychlosti fotosyntézy o 16 % bylo naměřeno v kontrolní variantě při koncentraci 200 mmol NaCl L⁻¹.
4. Stomatální vodivost se snížila nejvíce o 48 % v kontrolní variantě při koncentraci 200 mmol NaCl L⁻¹.
5. Nejvyšší obsah chlorofylu byl naměřen v kontrolní variantě při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹.
6. Fluorescence chlorofylu dosáhla maxima v kontrolní variantě při koncentraci 150 mmol NaCl L⁻¹.
7. Varianty ošetřené biostimulanty vykázaly vyšší hmotnost biomasy při koncentracích 50, 150 a 200 mmol NaCl L⁻¹.
8. Hypotézu, že aplikace biostimulantů získaných z řas a sinic ovlivňuje fyziologické charakteristiky stresovaných rostlin, lze potvrdit.
9. Byla prokázána hypotéza, že existují rozdíly v rámci složení testovaných látek na fyziologické parametry pokusného druhu rostliny.
10. Hypotéza, že existuje rozdíl v reakci sledovaného druhu rostliny na aplikaci testovaných látek a na působení stresoru, je literárně podložena.

Pozitivní vliv biostimulantů na růst rostlin a jejich obranné reakce vůči abiotickým stresorům potvrzuje celá řada autorů. V této práci se projevil především ve zvýšené hmotnosti biomasy, což je však z pohledu zemědělské produkce klíčový parametr. Při případném praktickém využití řas jako biostimulátorů je důležité zajistit materiál ze zdrojů, které deklarují přesné složení a konkrétní způsob zpracování (zejména způsob extrakce a dezintegrace buněčné stěny). Dále by bylo vhodné vyhodnotit ekonomickou přijatelnost využití konkrétních biostimulantů při pěstování rostlin rostoucích v podmínkách abiotických stresorů.

8 Bibliografie

- ABDELRAOUF, Elsayed A. A. a Adel M. ELGARHY, 2017. Response of Different Soybean (Glycine Max L.) Genotypes Grown in Sand Culture to Salinity Stress. *Alexandria Science Exchange Journal* [online]. 38(6), 810–818. ISSN 2536-9784. Dostupné z: doi:10.21608/asejaiqjsae.2017.4425
- ABIDIN, Aisamuddin Ardi Zainal, Mohanrajh SUNTARAJH a Zetty Norhana Balia YUSOF, 2020. Microalgae as a Vaccine Delivery System to Aquatic Organisms. In: Asraful ALAM, Jing-Liang XU a Zhongming WANG, ed. *Microalgae Biotechnology for Food, Health and High Value Products*. Singapore: Springer Nature Singapore. ISBN 978-981-15-0169-2.
- ADC BIOSCIENTIFIC LTD., 2017. LCpro-SD user guide.
- ADHIKARI, Neil D., Ivan SIMKO a BeiQuan MOU, 2019. Phenomic and physiological analysis of salinity effects on lettuce. *Sensors (Switzerland)* [online]. 19(21). ISSN 14248220. Dostupné z: doi:10.3390/s19214814
- ALCÁNTARA, Cynthia, Francisco Gabriel ACIÉN-FERNANDÉZ, José María FERNANDÉZ-SEVILLA, Berta RIAÑO, David HERNÁNDEZ, María Cruz GARCÍA-GONZÁLES, Ana LARRÁN, Cristina TOMÁS, Saúl BLANCO, Eloy BÉCARES, Sheyla ORTÍZ, Rubén IRUSTA, Pedro GARCÍA-ENCINA, Silvia BOLADO a Raúl MUÑOZ, 2020. Exploring the potential of microalgae for the bioremediation of agro-industrial wastewaters. In: Ozcan KONUR, ed. *Handbook of Algal Science, Technology and Medicine*. London: Academic Press. ISBN 978-0-12-818305-2.
- ANDERSEN, Robert A., 2013. The Microalgal Cell. In: Amos RICHMOND a Hu QIANG, ed. *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology*. Chichester: John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-67389-8.
- ARAD, Shoshana (Malis) a Dorit VAN MOPPES, 2013. Novel Sulfated Polysaccharides of Red Microalgae: Basics and Applications. In: Amos RICHMOND a Qiang HU, ed. *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology*. Chichester: John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-67389-8.
- ASHRAF, M. a P. J.C. HARRIS, 2013. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica* [online]. 51(2), 163–190. ISSN 03003604. Dostupné z: doi:10.1007/s11099-013-0021-6
- ASHRAF, Muhammad a Phil J. C. HARRIS, ed., 2005. *Abiotic Stresses: Plant Resistance Through Breeding and Molecular Approaches*. New York: Food Products Press. ISBN 1560229640.
- AYUB, Muhammad Ashar, Hamaad Raza AHMAD, Mujahid ALI, Muhammad RIZWAN, Shafaqat ALI, Muhammad ZIA UR REHMAN a Aisha A. WARIS, 2020. Salinity and its tolerance strategies in plants. In: Durgesh Kumar TRIPATHI, Vijay Pratap SINGH, Devendra Kumar CHAUHAN, Shivesh SHARMA, Sheo Mohan PRASAD, Nawal

- Kishore DUBEY a Naleeni RAMAWAT, ed. *Plant Life Under Changing Environment: Responses and Management*. London: Academic Press. ISBN 978-0-12-818204-8.
- AZARMI-ATAJAN, Farhad a Mohammad Hassan SAYYARI-ZOHAN, 2020. Alleviation of salt stress in lettuce (*Lactuca sativa* L.) by plant growth-promoting rhizobacteria [online]. 3(March), 67–78. Dostupné z: doi:10.22077/jhpr.2020.3013.1114
- BAK, Urd Grandorf, Ólavur GREGERSEN a Javier INFANTE, 2020. Technical challenges for offshore cultivation of kelp species: Lessons learned and future directions. *Botanica Marina* [online]. 63(4), 341–353. ISSN 14374323. Dostupné z: doi:10.1515/bot-2019-0005
- BANKS, Jonathan M. a Glynn C. PERCIVAL, 2012. Evaluation of biostimulants to control Guignardia leaf blotch (*Guignardia aesculi*) of horsechestnut and black spot (*Diplocarpon rosae*) of roses. *Arboriculture and Urban Forestry* [online]. 38(6), 258–261. ISSN 02785226. Dostupné z: doi:10.13140/rg.2.1.2897.2883
- BARONE, V., A. BAGLIERI, Piergiorgio STEVANATO, C. BROCCANELLO, G. BERTOLDO, M. BERTAGGIA, M. CAGNIN, D. PIZZEGHELLO, V. M.C. MOLITERNI, G. MANDOLINO, F. FORNASIER, A. SQUARTINI, S. NARDI a G. CONCHERI, 2018. Root morphological and molecular responses induced by microalgae extracts in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Applied Phycology* [online]. 30(2), 1061–1071. ISSN 15735176. Dostupné z: doi:10.1007/s10811-017-1283-3
- BARTHA, Csaba, Laszlo FODORPATAKI, Maria DEL CARMEN MARTINEZ-BALLESTA, Octavian POPESCU a Micaela CARVAJAL, 2015. Sodium accumulation contributes to salt stress tolerance in lettuce cultivars. *Journal of Applied Botany and Food Quality* [online]. 88, 42–48. ISSN 1439040X. Dostupné z: doi:10.5073/JABFQ.2015.088.008
- BATTACHARYYA, Dhriti, Mahbobeh Zamani BABGOHARI, Pramod RATHOR a Balakrishnan PRITHIVIRAJ, 2015. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae* [online]. B.m.: Elsevier B.V., 196, 39–48. ISSN 03044238. Dostupné z: doi:10.1016/j.scienta.2015.09.012
- BAWEJA, Pooja a Gaurav KUMAR, 2020. Abiotic Stress in Plants: An Overview. In: Bhoopander GIRI a Mahaveer Prasad SHARMA, ed. *Plant Stress Biology: Strategies and Trends*. Singapore: Springer Nature Singapore. ISBN 978-981-15-9380-2.
- BAWEJA, Pooja a Dinabandhu SAHOO, 2015. Classification of Algae. In: Dinabandhu SAHOO a Joseph SECKBACH, ed. *The Algae World*. Dordrecht: Springer Netherlands. ISBN 978-94-017-7321-8.
- BELAY, Amha, 2013. Biology and Industrial Production of *Arthrospira* (*Spirulina*). In: Amos RICHMOND a Qiang HU, ed. *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology*. Chichester: John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-67389-8.

- BHATLA, Satish C a Manju A. LAL, 2018. *Plant Physiology, Development and Metabolism* [online]. Singapore: Springer Nature Singapore. ISBN 978-981-13-2023-1. Dostupné z: doi:10.1007/978-981-13-2023-1
- BOROWITZKA, Michael Armin, 2015. *Algal Biotechnology*. In: Dinabandhu SAHOO a Joseph SECKBACH, ed. *The Algae World*. Dordrecht: Springer Netherlands. ISBN 978-94-017-7321-8.
- BOTHE, Hemant S., 2018. Review: Effects of Soil Salinity on Plant Growth. *Plant Physiology* [online]. (September 2018), 1–4. Dostupné z: <https://pages.stolaf.edu/wp-content/uploads/sites/253/2015/03/Salinity-in-Plants.pdf>
- BUENO, Mónica, Rocío GALLEGO, Jose A. MENDIOLA a Elena IBÁÑEZ, 2019. Downstream Green Processes for Recovery of Bioactives from Algae. In: Armin HALLMANN a Pabulo H. RAMPELOTTO, ed. *Grand Challenges in Algae Biotechnology*. Cham: Springer Nature. ISBN 978-3-030-25233-5.
- BUI, E. N., 2013. Soil salinity: A neglected factor in plant ecology and biogeography. *Journal of Arid Environments* [online]. B.m.: Elsevier Ltd, 92, 14–25. ISSN 01401963. Dostupné z: doi:10.1016/j.jaridenv.2012.12.014
- BULGARI, Roberta, Giulia FRANZONI a Antonio FERRANTE, 2019a. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy* [online]. 9(6). ISSN 20734395. Dostupné z: doi:10.3390/agronomy9060306
- BULGARI, Roberta, Alice TRIVELLINI a Antonio FERRANTE, 2019b. Effects of two doses of organic extract-based biostimulant on greenhouse lettuce grown under increasing NaCl concentrations. *Frontiers in Plant Science* [online]. 9(January), 1–14. ISSN 1664462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2018.01870
- CAMPOS, Fernanda V., Juraci A. OLIVEIRA, Mayara G. PEREIRA a Fernanda S. FARNESE, 2019. Nitric oxide and phytohormone interactions in the response of *Lactuca sativa* to salinity stress. *Planta* [online]. B.m.: Springer Berlin Heidelberg, 250(5), 1475–1489. ISSN 14322048. Dostupné z: doi:10.1007/s00425-019-03236-w
- CAPORALE, Antonio G., Alessia SOMMELLA, Matteo LORITO, Nadia LOMBARDI, Shah M.G.G. AZAM, Massimo PIGNA a Michelina RUOCCO, 2014. *Trichoderma* spp. alleviate phytotoxicity in lettuce plants (*Lactuca sativa* L.) irrigated with arsenic-contaminated water. *Journal of Plant Physiology* [online]. B.m.: Elsevier GmbH., 171(15), 1378–1384. ISSN 01761617. Dostupné z: doi:10.1016/j.jplph.2014.05.011
- CARADONIA, Federica, Valerio BATTAGLIA, Lorenzo RIGHI, Giacomo PASCALI a Anna LA TORRE, 2019. Plant Biostimulant Regulatory Framework: Prospects in Europe and Current Situation at International Level. *Journal of Plant Growth Regulation* [online]. B.m.: Springer US, 38(2), 438–448. ISSN 14358107. Dostupné z: doi:10.1007/s00344-018-9853-4
- CARONE, Michele, Amélie CORATO, Thomas DAUVRIN, Tung Le THANH, Lorenzo DURANTE, Bernard JORIS, Fabrice FRANCK a Claire REMACKLE, 2019. Heterotrophic Growth of Microalgae. In: Armin HALLMANN a Pabulo H.

- RAMPELOTTO, ed. *Grand Challenges in Algae Biotechnology*. Cham: Springer Nature. ISBN 978-3-030-25233-5.
- CEPOI, Liliana a Inga ZINICOVSCAIA, 2020. *Spirulina platensis* as a model object for the environment bioremediation studies. In: Ozcan KONUR, ed. *Handbook of Algal Science, Technology and Medicine*. London: Academic Press. ISBN 978-0-12-818305-2.
- CHANDA, Mutale joan, Nawal MERGHOUB a Hicham EL ARROUSSI, 2019. Microalgae polysaccharides: the new sustainable bioactive products for the development of plant bio-stimulants? *World Journal of Microbiology and Biotechnology* [online]. B.m.: Springer Netherlands, 35(11), 1–10. ISSN 15730972. Dostupné z: doi:10.1007/s11274-019-2745-3
- CHAVES, M. M., J. FLEXAS a C. PINHEIRO, 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany* [online]. 103(4), 551–560. ISSN 03057364. Dostupné z: doi:10.1093/aob/mcn125
- CHIAIESE, Pasquale, Giandomenico CORRADO, Giuseppe COLLA, Marios C. KYRIACOU a Youssef ROUPHAEL, 2018. Renewable sources of plant biostimulation: Microalgae as a sustainable means to improve crop performance. *Frontiers in Plant Science* [online]. 871(December), 1–6. ISSN 1664462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2018.01782
- CHITTORA, Deepali, Mukesh MEENA, Tansukh BARUPAL a Prashant SWAPNIL, 2020. Cyanobacteria as a source of biofertilizers for sustainable agriculture. *Biochemistry and Biophysics Reports* [online]. B.m.: Elsevier B.V., 22(February), 100737. ISSN 24055808. Dostupné z: doi:10.1016/j.bbrep.2020.100737
- CHRYSARGYRIS, Antonios, Panayiota XYLIA, Myria ANASTASIOU, Iakovos PANTELIDES a Nikos TZORTZAKIS, 2018. Effects of *Ascophyllum nodosum* seaweed extracts on lettuce growth, physiology and fresh-cut salad storage under potassium deficiency. *Journal of the Science of Food and Agriculture* [online]. 98(15), 5861–5872. ISSN 10970010. Dostupné z: doi:10.1002/jsfa.9139
- CHYTRÝ, Milan, Tomáš KUČERA, Martin KOČÍ, Vít GRULICH a Pavel LUSTYK, 2010. *Katalog biotopů České republiky. 2. vyd.* Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. ISBN 978-80-87457-03-0.
- CORWIN, D. L. a E. SCUDIERO, 2019. Review of soil salinity assessment for agriculture across multiple scales using proximal and/or remote sensors. *Advances in Agronomy* [online]. 158, 1–130. ISSN 00652113. Dostupné z: doi:10.1016/bs.agron.2019.07.001
- CUEVAS, Julián, Ioannis N. DALIAKOPOULOS, Fernando DEL MORAL, Juan J. HUESO a Ioannis K. TSANIS, 2019. A review of soil-improving cropping systems for soil salinization. *Agronomy* [online]. 9(6), 1–22. ISSN 20734395. Dostupné z: doi:10.3390/agronomy9060295
- DALIAKOPOULOS, I. N., I. K. TSANIS, A. KOUTROULIS, N. N. KOURGIALAS, A. E. VAROUCHAKIS, G. P. KARATZAS a C. J. RITSEMA, 2016. The threat of soil

- salinity: A European scale review. *Science of the Total Environment* [online]. B.m.: Elsevier B.V., 573, 727–739. ISSN 18791026. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2016.08.177
- DE FARIAS NEVES, Fábio, Mariana DEMARCO a Giustino TRIBUZI, 2020. Drying and Quality of Microalgal Powders for Human Alimentation. In: Milada VÍTOVÁ, ed. *Microalgae: From Physiology to Application*. B.m.: IntechOpen. ISBN 978-1-83880-271-4.
- DE ZELICOURT, Axel, Mohamed AL-YOUSIF a Heribert HIRT, 2013. Rhizosphere microbes as essential partners for plant stress tolerance. *Molecular Plant* [online]. 6(2), 242–245. ISSN 17529867. Dostupné z: doi:10.1093/mp/sst028
- DEMIDCHIK, Vadim, 2017. Reactive Oxygen Species and Their Role in Plant Oxidative Stress. In: Sergey SHABALA a Rana MUNNS, ed. *Plant stress physiology*. 2. vyd. Wallingford: CAB International. ISBN 9781780647302.
- DI STASIO, Emilio, Valerio CIRILLO, Giampaolo RAIMONDI, Maria GIORDANO, Marco ESPOSITO a Albino MAGGIO, 2020. Osmo-priming with seaweed extracts enhances yield of salt-stressed tomato plants. *Agronomy* [online]. 10(10 October). ISSN 20734395. Dostupné z: doi:10.3390/agronomy10101559
- DMYTRYK, Agnieszka, Katarzyna CHOJNACKA a Edward RÓJ, 2018. The Methods of Algal Biomass Extraction: Toward the Application. In: Katarzyna CHOJNACKA, Piotr Pawel WIECZOREK, Grzegorz SCHROEDER a Izabela MICHALAK, ed. *Algae Biomass: Characteristics and Applications*. Cham: Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-74703-3.
- DOSTÁLEK, Petr, Vít DOLEŽAL, Helena VLAŠÍNOVÁ, Boh. VRZÁK, František MATOUŠEK, Radim PEŠEK, Miroslav BLATNÝ a Aleš HRŇA, 2010. Pěstujeme si vlastní semínka. 2. vyd. Trhové Sviny: Gengel. ISBN 978-80-969-754-5-7.
- DROBEK, Magdalena, Magdalena FRĄC a Justyna CYBULSKA, 2019. Plant biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress-a review. *Agronomy* [online]. 9(6). ISSN 20734395. Dostupné z: doi:10.3390/agronomy9060335
- DU JARDIN, Patrick, 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* [online]. B.m.: Elsevier B.V., 196, 3–14. ISSN 03044238. Dostupné z: doi:10.1016/j.scienta.2015.09.021
- EKOTECHNIKA, nedatováno. OS5p+ Stručný návod k obsluze.
- EL ARROUSSI, H., R. BENHIMA, A. ELBAOUCHI, B. SIJILMASSI, N. EL MERNISSI, A. AAFSAR, I. MEFTAH-KADMIRI, N. BENDAOU a A. SMOUNI, 2018. Dunaliella salina exopolysaccharides: a promising biostimulant for salt stress tolerance in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Journal of Applied Phycology* [online]. B.m.: Journal of Applied Phycology, 30(5), 2929–2941. ISSN 15735176. Dostupné z: doi:10.1007/s10811-017-1382-1

- EL BOUKHARI, Mohammed EL Mehdi, Mustapha BARAKATE, Youness BOUHIA a Karim LYAMLOULI, 2020. Trends in seaweed extract based biostimulants: Manufacturing process and beneficial effect on soil-plant systems. *Plants* [online]. 9(3). ISSN 22237747. Dostupné z: doi:10.3390/plants9030359
- FAROOQ, M., M. RIZWAN, A. NAWAZ, A. REHMAN a R. AHMAD, 2017. Application of natural plant extracts improves the tolerance against combined terminal heat and drought stresses in bread wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science* [online]. 203(6), 528–538. ISSN 1439037X. Dostupné z: doi:10.1111/jac.12214
- FASCIGLIONE, Gabriela, Elda M. CASANOVAS, Victoria QUILLEHAUQUY, Alejandra K. YOMMI, María G. GOÑI, Sara I. ROURA a Carlos A. BARASSI, 2015. Azospirillum inoculation effects on growth, product quality and storage life of lettuce plants grown under salt stress. *Scientia Horticulturae* [online]. 195, 154–162. ISSN 03044238. Dostupné z: doi:10.1016/j.scienta.2015.09.015
- FERREIRA, Alice, Alberto REIS, Senka VIDOVIC, Jelena VLADIC, Spyros GKELIS, Lusine MELKONYAN, Gayane AVETISOVA, Roberta CONGESTRI, Gabriel ACIÉN, Raul MUÑOZ, Pierre COLLET a Luisa GOUVEIA, 2019. Combining Microalgae-Based Wastewater Treatment with Biofuel and Bio-Based Production in the Frame of a Biorefinery. In: Armin HALLMANN a Pabulo H. RAMPELOTTO, ed. *Grand Challenges in Algae Biotechnology*. Cham: Springer Nature. ISBN 978-3-030-25233-5.
- GARCÍA-GARCÍA, Ana L., Francisco J. GARCÍA-MACHADO, Andrés A. BORGES, Sarai MORALES-SIERRA, Alicia BOTO a David JIMÉNEZ-ARIAS, 2020. Pure Organic Active Compounds Against Abiotic Stress: A Biostimulant Overview. *Frontiers in Plant Science* [online]. 11(December), 1–17. ISSN 1664462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2020.575829
- GARRIDO, Yolanda, Juan A. TUDELA, Alicia MARÍN, Teresa MESTRE, Vicente MARTÍNEZ a María I. GIL, 2014. Physiological, phytochemical and structural changes of multi-leaf lettuce caused by salt stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture* [online]. 94(8), 1592–1599. ISSN 10970010. Dostupné z: doi:10.1002/jsfa.6462
- GAYSINA, Lira A., Aniket SARAF a Prashant SINGH, 2019. Cyanobacteria in Diverse Habitats. In: *Cyanobacteria: From Basic Science to Application*. London: Academic Press. ISBN 978-0-12-814667-5.
- GEADA, P., V. VASCONCELOS, A. VICENTE a B. FERNANDES, 2017. Microalgal Biomass Cultivation. In: Rajesh Prasad RASTOGI, Datta MADAMWAR a Ashok PANDEY, ed. *Algal Green Chemistry: Recent Progress in Biotechnology*. Amsterdam: Elsevier B.V. ISBN 978-0-444-64041-3.
- GEILFUS, Christoph Martin, 2018. Chloride: From Nutrient to Toxicant. *Plant and Cell Physiology* [online]. 59(5), 877–886. ISSN 14719053. Dostupné z: doi:10.1093/pcp/pcy071

- GOÑI, Oscar, Patrick QUILLE a Shane O'CONNELL, 2018. Ascophyllum nodosum extract biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants. *Plant Physiology and Biochemistry* [online]. B.m.: Elsevier, 126(February), 63–73. ISSN 09819428. Dostupné z: doi:10.1016/j.plaphy.2018.02.024
- GÓRKA, Bogusława, Karolina KORZENIOWSKA, Jacek LIPOK a Piotr P. WIECZOREK, 2018. The Biomass of Algae and Algal Extracts in Agricultural Production. In: Katarzyna CHOJNACKA, Piotr P. WIECZOREK, Grzegorz SCHROEDER a Izabela MICHALAK, ed. *Algae Biomass: Characteristics and Applications*. Cham: Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-74703-3.
- GRIFFITHS, Melinda, Susan T.L. HARRISON, Monique SMIT a Dheepak MAHARAJH, 2016. Major Commercial Products from Micro- and Macroalgae. In: Faizal BUX a Yusuf CHISTI, ed. *Algae Biotechnology: Products and Processes*. Cham: Springer Nature. ISBN 978-3-319-12334-9.
- GUIDI, Lucia, Ermes LO PICCOLO a Marco LANDI, 2019. Chlorophyll fluorescence, photoinhibition and abiotic stress: Does it make any difference the fact to be a C3 or C4 species? *Frontiers in Plant Science* [online]. 10(February), 1–11. ISSN 1664462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2019.00174
- GUO, Suolian, Ping WANG, Xinlei WANG, Meng ZOU, Chunxue LIU a Jihong HAO, 2020. Microalgae as Biofertilizer in Modern Agriculture. In: Asraful ALAM, Jing-Liang XU a Zhongming WANG, ed. *Microalgae Biotechnology for Food, Health and High Value Products*. Singapore: Springer Nature Singapore. ISBN 978-981-15-0169-2.
- HAFTING, Jeff T., M. Lynn CORNISH, Amy DEVEAU a Alan T. CRITCHLEY, 2015. Marine Algae: Gathered Resource to Global Food Industry. In: Dinabandhu SAHOO a Joseph SECKBACH, ed. *The Algae World*. Dordrecht: Springer Netherlands. ISBN 978-94-017-7321-8.
- HALLMANN, Armin, 2019. Advances in Genetic Engineering of Microalgae. In: Armin HALLMANN a Pabulo H. RAMPELOTTO, ed. *Grand Challenges in Algae Biotechnology*. Cham: Springer Nature. ISBN 978-3-030-25233-5.
- HASANUZZAMAN, Mirza, M. H.M.Borhannuddin BHUYAN, Kamrun NAHAR, Md Shahadat HOSSAIN, Jubayer AL MAHMUD, Md Shahadat HOSSEN, Abdul Awal Chowdhury MASUD, MOUMITA a Masayuki FUJITA, 2018. Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy* [online]. 8(3). ISSN 20734395. Dostupné z: doi:10.3390/agronomy8030031
- HE, Mei, Cheng Qiang HE a Nai Zheng DING, 2018. Abiotic stresses: General defenses of land plants and chances for engineering multistress tolerance. *Frontiers in Plant Science* [online]. 871(December), 1–18. ISSN 1664462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2018.01771
- HIDANGMAYUM, Akash, Padmanabh DWIVEDI, Deepmala KATIYAR a Akhouri HEMANTARANJAN, 2019. Application of chitosan on plant responses with special reference to abiotic stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants* [online]. B.m.:

Springer India, 25(2), 313–326. ISSN 09715894. Dostupné z: doi:10.1007/s12298-018-0633-1

HNILIČKA, František a Helena HNILIČKOVÁ, 2016. Obecná koncepce stresu. In: František HNILIČKA a Tomáš STŘEDA, ed. Rostliny v podmínkách stresu - Abiotické stresory. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 978-80-213-2680-4.

HOLÁ, D., M. BENEŠOVÁ, J. HONNEROVÁ, F. HNILIČKA, O. ROTHOVÁ, M. KOČOVÁ a H. HNILIČKOVÁ, 2010. The evaluation of photosynthetic parameters in maize inbred lines subjected to water deficiency: Can these parameters be used for the prediction of performance of hybrid progeny? *Photosynthetica* [online]. 48(4), 545–558. ISSN 03003604. Dostupné z: doi:10.1007/s11099-010-0072-x

HRADIL, Radomil, Petr DOSTÁLEK, Eva JETMAROVÁ, Vojtěch ŘEZNÍČEK a Radoslav VLK, 2000. Česká biozahrada. Olomouc: Fontána. ISBN 80-86179-46-X.

JINDO, Keiji, Luciano Pasqualoto CANELLAS, Alfonso ALBACETE, Lidiane Figueiredo DOS SANTOS, Rafael Luiz FRINHANI ROCHA, Daiane Carvalho BAIA, Natália Oliveira AGUIAR CANELLAS, Travis Luc GORON a Fábio Lopes OLIVARES, 2020. Interaction between humic substances and plant hormones for phosphorous acquisition. *Agronomy* [online]. 10(5). ISSN 20734395. Dostupné z: doi:10.3390/agronomy10050640

JUÁREZ-MALDONADO, Antonio, Hortensia ORTEGA-ORTÍZ, América Berenice MORALES-DÍAZ, Susana GONZÁLEZ-MORALES, Álvaro MORELOS-MORENO, Marcelino CABRERA-DE LA FUENTE, Alberto SANDOVAL-RANGEL, Gregorio CADENAS-PLIEGO a Adalberto BENAVIDES-MENDOZA, 2019. Nanoparticles and nanomaterials as plant biostimulants. *International Journal of Molecular Sciences* [online]. 20(1), 1–20. ISSN 14220067. Dostupné z: doi:10.3390/ijms20010162

KALHOR, Maryam Seifi, Sasan ALINIAEIFARD, Mehdi SEIF, Elahe Javadi ASAYESH, Françoise BERNARD, Batool HASSANI a Tao LI, 2018. Title: Enhanced salt tolerance and photosynthetic performance: Implication of γ -amino butyric acid application in salt-exposed lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants. *Plant Physiology and Biochemistry* [online]. 130(April), 157–172. ISSN 09819428. Dostupné z: doi:10.1016/j.plaphy.2018.07.003

KALINA, Tomáš a Jiří VÁŇA, 2005. Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii. 1. vyd. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-1036-8.

KIM, Min Jeong, Chang Ki SHIM, Yong Ki KIM, Byong Gu KO, Jong Ho PARK, Soo Gen HWANG a Baeg Ho KIM, 2018. Effect of biostimulator *Chlorella fusca* on improving growth and qualities of chinese chives and spinach in organic farm. *Plant Pathology Journal* [online]. 34(6), 567–574. ISSN 20939280. Dostupné z: doi:10.5423/PPJ.FT.11.2018.0254

KOHLER, Josef, José Antonio HERNÁNDEZ, Fuensanta CARAVACA a Antonio ROLDÁN, 2009. Induction of antioxidant enzymes is involved in the greater effectiveness of a PGPR versus AM fungi with respect to increasing the tolerance of

- lettuce to severe salt stress. *Environmental and Experimental Botany* [online]. 65(2–3), 245–252. ISSN 00988472. Dostupné z: doi:10.1016/j.envexpbot.2008.09.008
- KORZENIOWSKA, Karolina, Bogusława GÓRKA, Jacek LIPOK a Piotr P. WIECZOREK, 2018. Algae and Their Extracts in Medical Treatment. In: Katarzyna CHOJNACKA, Piotr Paweł WIECZOREK, Grzegorz SCHROEDER a Izabela MICHALAK, ed. *Algae Biomass: Characteristics and Applications*. Cham: Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-74703-3.
- KOSOVÁ, Klára, Pavel VÍTÁMVÁS, Ilja Tom PRÁŠIL a Jenny RENAUT, 2011. Plant proteome changes under abiotic stress - Contribution of proteomics studies to understanding plant stress response. *Journal of Proteomics* [online]. 74(8), 1301–1322. ISSN 18743919. Dostupné z: doi:10.1016/j.jprot.2011.02.006
- KOSOVÁ, Klára, Pavel VÍTÁMVÁS, Milan O. URBAN, Ilja T. PRÁŠIL a Jenny RENAUT, 2018. Plant abiotic stress proteomics: The major factors determining alterations in cellular proteome. *Frontiers in Plant Science* [online]. 9(February), 1–22. ISSN 1664462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2018.00122
- KŮDELA, Václav, Petr ACKERMANN, Ilja Tom PRÁŠIL, Jaroslav ROD a Karel VEVERKA, 2013. *Abiotikózy rostlin: poruchy, poškození a poranění*. Praha: Academia. ISBN 978-80-200-2262-2.
- KULIK, Anna, Izabela WAWER, Ewa KRZYWIŃSKA, Maria BUCHOLC a Grazyna DOBROWOLSKA, 2011. SnRK2 protein Kinases - Key regulators of plant response to abiotic stresses. *OMICS A Journal of Integrative Biology* [online]. 15(12), 859–872. ISSN 15362310. Dostupné z: doi:10.1089/omi.2011.0091
- KUSVURAN, Alpaslan a A. G. CAN, 2020. Effects of microalga (*Chlorella vulgaris* beijerinck) on seconder metabolites and antioxidative defense system improve plant growth and salt tolerance in guar [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) taub.]. *Legume Research* [online]. 43(1), 56–60. ISSN 02505371. Dostupné z: doi:10.18805/LR-492
- LA TORRE, Anna, Valerio BATTAGLIA a Federica CARADONIA, 2016. An overview of the current plant biostimulant legislations in different European Member States. *Journal of the Science of Food and Agriculture* [online]. 96(3), 727–734. ISSN 10970010. Dostupné z: doi:10.1002/jsfa.7358
- LEE, Robert Edward, 2018. *Phycology*. 5. vyd. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 978-1-107-55565-5.
- LEINEMANN, Felix a Valentina MABILIA, 2019. European Union Legislation and Policies Relevant for Algae. In: Armin HALLMANN a Pabulo H. RAMPELOTTO, ed. *Grand Challenges in Algae Biotechnology*. Cham: Springer Nature. ISBN 978-3-030-25233-5.
- LEMONS NETO, Hozano de Souza, Marcelo DE ALMEIDA GUIMARÃES, Rosilene Oliveira MESQUITA, Wallace Edelky SOUSA FREITAS, Alexandre Bosco DE OLIVEIRA, Nildo DA SILVA DIAS a Enéas GOMES-FILHO, 2020. Silicon Supplementation Induces Physiological and Biochemical Changes That Assist Lettuce

Salinity Tolerance. Silicon [online]. B.m.: Silicon. ISSN 18769918. Dostupné z: doi:10.1007/s12633-020-00715-8

ŁĘSKA, Boguslava, Beata MESSYASZ a Grzegorz SCHROEDER, 2018. Application of Algae Biomass and Algae Extracts in Cosmetic Formulations. In: Katarzyna CHOJNACKA, Piotr P. WIECZOREK, Grzegorz SCHROEDER a Izabela MICHALAK, ed. Algae Biomass: Characteristics and Applications. Cham: Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-74703-3.

LEWITT, Jacob, 1980. Response of plants to enviromental stresses. Volume II: Water, Radiation, Salt and Other Stresses. 2. vyd. New York: Academic Press. ISBN 0-12-445502-6 (v. 2).

LICHTENTHALER, Hartmut K., 1998. The Stress Concept in Plants: An Introduction. Annals of the New York Academy of Sciences [online]. B.m.: Blackwell Publishing Inc., 851(1 STRESS OF LIFE), 187–198. ISSN 0077-8923. Dostupné z: doi:10.1111/j.1749-6632.1998.tb08993.x

LIU, Jin a Qiang HU, 2013. Chlorella: Industrial Production of Cell Mass and Chemicals. In: Amos RICHMOND a Qiang HU, ed. Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology. Chichester: John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-67389-8.

LUCINI, Luigi, Youssef ROUPHAEL, Mariateresa CARDARELLI, Renaud CANAGUIER, Pradeep KUMAR a Giuseppe COLLA, 2015. The effect of a plant-derived biostimulant on metabolic profiling and crop performance of lettuce grown under saline conditions. Scientia Horticulturae [online]. B.m.: Elsevier B.V., 182, 124–133. ISSN 03044238. Dostupné z: doi:10.1016/j.scienta.2014.11.022

MADEIRA, Marta S., Carlos CARDOSO, Paula A. LOPES, Diogo COELHO, Cláudia AFONSO, Narcisa M. BANDARRA a José A.M. PRATES, 2017. Microalgae as feed ingredients for livestock production and meat quality: A review. Livestock Science [online]. B.m.: Elsevier B.V., 205(August), 111–121. ISSN 18711413. Dostupné z: doi:10.1016/j.livsci.2017.09.020

MAHAJAN, Ayushi, Meenakshi RAINA, Sameena Ejaz TANWIR, Neha KATRU, Akanksha SHARMA a Deepak KUMAR, 2020. Phytohormones: A Promising Alternative in Boosting Salinity Stress Tolerance in Plants. In: Bhoopander GIRI a Mahaveer Prasad SHARMA, ed. Plant Stress Biology: Strategies and Trends. Singapore: Springer Nature Singapore. ISBN ISBN 978-981-15-9380-2.

MAKKAR, Harinder P.S., Gilles TRAN, Valérie HEUZÉ, Sylvie GIGER-REVERDIN, Michel LESSIRE, François LEBAS a Philippe ANKERS, 2016. Seaweeds for livestock diets: A review. Animal Feed Science and Technology [online]. 212, 1–17. ISSN 03778401. Dostupné z: doi:10.1016/j.anifeedsci.2015.09.018

MANSOUR, Mohamed Magdy F., 2014. The plasma membrane transport systems and adaptation to salinity. Journal of Plant Physiology [online]. B.m.: Elsevier GmbH., 171(18), 1787–1800. ISSN 01761617. Dostupné z: doi:10.1016/j.jplph.2014.08.016

- MARKOU, Giorgos, 2020. Overview of microalgal cultivation, biomass processing and application. In: Ozcan KONUR, ed. Handbook of Algal Science, Technology and Medicine. London: Academic Press. ISBN 978-0-12-818305-2.
- MARSHALL, Michael, 2020. Kelp is on the way. *New Scientist* [online]. 246(3282), 36–39. ISSN 02624079. Dostupné z: doi:10.1016/S0262-4079(20)30935-0
- MASOJÍDEK, Jiří, Richard LHOTSKÝ, Jiří KOPECKÝ a Ondřej PRÁŠIL, 2016. Mikrořasy - solární továrna v jedné buňce. 1. vyd. Praha: Středisko společenských činností AV ČR. ISBN 2464-6245.
- MASOJÍDEK, Jiří, Magda SERGEJEVOVÁ, José Romel MALAPASCUA a Jiří KOPECKÝ, 2015. Thin-Layer Systems for Mass Cultivation of Microalgae: Flat Panels and Sloping Cascades. In: Aleš PROKOP, Rakesh K. BAJPAI a Mark E. ZAPPI, ed. Algal Biorefineries: Volume 2: Products and Refinery Design [online]. Cham: Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-20200-6. Dostupné z: doi:DOI 10.1007/978-3-319-20200-6_7
- MATYJASZCZYK, Ewa, 2018. Plant protection means used in organic farming throughout the European Union. *Pest Management Science* [online]. 74(3), 505–510. ISSN 15264998. Dostupné z: doi:10.1002/ps.4789
- MESSERER, Maxim, Daniel LANG a Klaus F.X. MAYER, 2018. Analysis of Stress Resistance Using Next Generation Techniques. *Agronomy* [online]. 8(8). ISSN 20734395. Dostupné z: doi:10.3390/agronomy8080130
- MIRONIUK, Malgorzata a Katarzyna CHOJNACKA, 2018. The Environmental Benefits Arising from the Use of Algae Biomass in Industry. In: Katarzyna CHOJNACKA, Piotr Pawel WIECZOREK, Grzegorz SCHROEDER a Izabela MICHALAK, ed. Algae Biomass: Characteristics and Applications. Cham: Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-74703-3.
- MODIGA, Beatrice Alexandra a Carmenica Doina JIȚĂREANU, 2017. Stomatic conductance and chlorophyll content index and leaf area of some beans local cultivars from North- East of Romania, under salt stress. *Research Journal of Agricultural Science*. 49(4), 35–39.
- MÓGOR, Átila Francisco, Vince ÖRDÖG, Guiseppina Pace Pereira LIMA, Zoltán MOLNÁR a Gilda MÓGOR, 2018. Biostimulant properties of cyanobacterial hydrolysate related to polyamines. *Journal of Applied Phycology* [online]. 30(1), 453–460. ISSN 15735176. Dostupné z: doi:10.1007/s10811-017-1242-z
- MOHAMED, H. I. a E. Z. GOMAA, 2012. Effect of plant growth promoting *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescens* on growth and pigment composition of radish plants (*Raphanus sativus*) under NaCl stress. *Photosynthetica* [online]. 50(2), 263–272. ISSN 03003604. Dostupné z: doi:10.1007/s11099-012-0032-8
- MOHANTA, Tapan Kumar, Tufail BASHIR, Abeer HASHEM, Elsayed Fathi ABD ALLAH, Abdul Latif KHAN a Ahmed Sulaiman AL-HARRASI, 2018. Early Events in Plant Abiotic Stress Signaling: Interplay Between Calcium, Reactive Oxygen Species and

- Phytohormones. *Journal of Plant Growth Regulation* [online]. B.m.: Springer US, 37(4), 1033–1049. ISSN 14358107. Dostupné z: doi:10.1007/s00344-018-9833-8
- MONCADA, Alessandra, Filippo VETRANO a Alessandro MICELI, 2020. Alleviation of salt stress by plant growth-promoting bacteria in hydroponic leaf lettuce. *Agronomy* [online]. 10(10). ISSN 20734395. Dostupné z: doi:10.3390/agronomy10101523
- MOŤKOVÁ, Kateřina, Radka PODLIPNÁ, Tomáš VANEKA a Zdeněk KAFKAB, 2014. Halofytní rostliny a jejich možné využití ve fytořemediacích. *Chemické Listy*. 108(6), 586–591. ISSN 12137103.
- MUCHATE, Niramaya S., Ganesh C. NIKALJE, Nilima S. RAJURKAR, P. SUPRASANNA a Tukaram D. NIKAM, 2016. Plant Salt Stress: Adaptive Responses, Tolerance Mechanism and Bioengineering for Salt Tolerance. *Botanical Review* [online]. B.m.: The Botanical Review, 82(4), 371–406. ISSN 00068101. Dostupné z: doi:10.1007/s12229-016-9173-y
- NADEEM, Muhammad, Jiajia LI, Minghua WANG, Liaqat SHAH, Shaoqi LU, Xiaobo WANG a Chuanxi MA, 2018. Unraveling Field Crops Sensitivity to Heat Stress : Mechanisms, Approaches, and Future Prospects. *Agronomy* [online]. 8(7), 128. ISSN 2073-4395. Dostupné z: doi:10.3390/agronomy8070128
- NEOCLEOUS, D., A. KOUKOUNARAS, A. S. SIOMOS a M. VASILAKAKIS, 2014. Changes in photosynthesis, yield, and quality of baby lettuce under salinity stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 16(6), 1335–1343. ISSN 16807073.
- NIYOGI, Krishna K., Ricardo A. WOLOSUIK a Richard MALKIN, 2015. Photosynthesis. In: Bob B. BUCHANAN, Wilhelm GRUISSEM a Russell L. JONES, ed. *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*. Chichester: John Wiley & Sons. ISBN 9780470714218.
- PANDEY, Poonam, Sarita SRIVASTAVA, Akhilesh Kumar PANDEY a Rama Sanker DUBEY, 2020. Abiotic stress tolerance in plants system biology approach. In: Durgesh Kumar TRIPATHI, Vijay Pratap SINGH, Devendra Kumar CHAUHAN, Shivesh SHARMA, Sheo Mohan PRASAD, Nawal Kishore DUBEY a RAMAWAT NALEENI, ed. *Plant Life Under Changing Environment: Responses and Management*. London: Academic Press. ISBN 978-0-12-818204-8.
- PEREIRA, Leonel, Liam MORRISON, Pushp Sheel SHUKLA a Alan T. CRITCHLEY, 2020. A concise review of the brown macroalga *Ascophyllum nodosum* (Linnaeus) Le Jolis. *Journal of Applied Phycology* [online]. B.m.: Journal of Applied Phycology, 32(6), 3561–3584. ISSN 15735176. Dostupné z: doi:10.1007/s10811-020-02246-6
- PETŘÍKOVÁ, Kristína, Jaroslav HLUŠEK, Martin KOUDELA, Ivan MALÝ, Robert POKLUDA, Tomáš LOŠÁK, Pavel RYANT, Petr ŠKARPA, Jaroslav ROD, Jaroslav JÁNSKÝ a Jana POLÁČKOVÁ, 2012. *Zelenina: pěstování, výživa, ochrana a ekonomika*. Praha: ProfiPress. ISBN 979-80-86726-50-2.
- POVEDA, J., A. JIMÉNEZ-GÓMEZ, Z. SAATI-SANTAMARÍA, R. USATEGUI-MARTÍN, R. RIVAS a P. GARCÍA-FRAILE, 2019. Mealworm frass as a potential biofertilizer and abiotic stress tolerance-inductor in plants. *Applied Soil Ecology* [online]. B.m.:

- Elsevier, 142(January), 110–122. ISSN 09291393. Dostupné z: doi:10.1016/j.apsoil.2019.04.016
- PYLAK, Michał, Karolina OSZUST a Magdalena FRĄC, 2019. Review report on the role of bioproducts, biopreparations, biostimulants and microbial inoculants in organic production of fruit. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* [online]. 18(3), 597–616. ISSN 15729826. Dostupné z: doi:10.1007/s11157-019-09500-5
- QIN, Lifeng, Shuangsheng GUO, Weidang AI, Yongkang TANG, Quanyong CHENG a Guang CHEN, 2013. Effect of salt stress on growth and physiology in amaranth and lettuce: Implications for bioregenerative life support system. *Advances in Space Research* [online]. B.m.: COSPAR, 51(3), 476–482. ISSN 02731177. Dostupné z: doi:10.1016/j.asr.2012.09.025
- RAWAT, Ismail, Sanjay K. GUPTA, Amritanshu SHRIWASTAV, Poonam SINGH, Sheena KUMARI a Faizal BUX, 2019. *Microalgae Applications in Wastewater Treatment*. In: Faizal BUX a Yusuf CHISTI, ed. *Algae Biotechnology: Products and Processes*. Cham: Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-12334-9.
- RONGA, Domenico, Elisa BIAZZI, Katia PARATI, Domenico CARMINATI, Elio CARMINATI a Aldo TAVA, 2019. Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. *Agronomy* [online]. 9(4), 1–22. ISSN 20734395. Dostupné z: doi:10.3390/agronomy9040192
- ROUPHAEL, Y., V. DEMICCO, G. RAIMONDI, S. DEPASCALE, C. ARENA a G. COLLA, 2017a. Effect of *Ecklonia maxima* seaweed extract on yield, mineral composition, gas exchange, and leaf anatomy of zucchini squash grown under saline conditions. *Journal of Applied Phycology* [online]. B.m.: Springer Nature, 29(1). ISSN 09218971. Dostupné z: doi:10.1007/s10811-016-0937-x
- ROUPHAEL, Youssef, Mariateresa CARDARELLI, Paolo BONINI a Giuseppe COLLA, 2017b. Synergistic action of a microbial-based biostimulant and a plant derived-protein hydrolysate enhances lettuce tolerance to alkalinity and salinity. *Frontiers in Plant Science* [online]. 8(FEBRUARY). ISSN 1664462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2017.00131
- ROUPHAEL, Youssef a Giuseppe COLLA, 2018. Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science* [online]. 871(November), 1–7. ISSN 1664462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2018.01655
- ROUPHAEL, Youssef a Giuseppe COLLA, 2020. Editorial: Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in Plant Science* [online]. 11(February), 1–7. ISSN 1664462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2020.00040
- ROUPHAEL, Youssef, Maria GIORDANO, Mariateresa CARDARELLI, Eugenio COZZOLINO, Mauro MORI, Marios C. KYRIACOU, Paolo BONINI a Giuseppe COLLA, 2018a. Plant-and seaweed-based extracts increase yield but differentially modulate nutritional quality of greenhouse spinach through biostimulant action.

Agronomy [online]. 8(7), 1–15. ISSN 20734395. Dostupné z: doi:10.3390/agronomy8070126

ROUPHAEL, Youssef, Marios C. KYRIACOU a Giuseppe COLLA, 2018b. Vegetable grafting: A toolbox for securing yield stability under multiple stress conditions. *Frontiers in Plant Science* [online]. 8(January), 10–13. ISSN 1664462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2017.02255

SANGIORGIO, Daniela, Antonio CELLINI, Irene DONATI, Chiara PASTORE, Claudia ONOFRIETTI a Francesco SPINELLI, 2020. Facing Climate Change: Application of Microbial Biostimulants to Mitigate Stress in Horticultural Crops. *Agronomy* [online]. 10(6), 794. ISSN 20734395. Dostupné z: doi:10.3390/agronomy10060794

SARABIA, Marcela, Saila CAZARES, Antonio GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, Francisco MORA, Yazmín CARREÓN-ABUD a John LARSEN, 2018. Plant growth promotion traits of rhizosphere yeasts and their response to soil characteristics and crop cycle in maize agroecosystems. *Rhizosphere* [online]. B.m.: Elsevier, 6(April), 67–73. ISSN 24522198. Dostupné z: doi:10.1016/j.rhisph.2018.04.002

SAVVAS, Dimitrios a Georgia NTATSI, 2015. Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulturae* [online]. B.m.: Elsevier B.V., 196, 66–81. ISSN 03044238. Dostupné z: doi:10.1016/j.scienta.2015.09.010

SCHULZE, Ernst-Detlef, Erwin BECK, Nina BUCHMANN, Stephan CLEMENS, Klaus MÜLLER-HOHENSTEIN a Michael SCHERER-LORENZEN, 2019. *Plant Ecology* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-662-56233-8. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-662-56233-8

SELYE, Hans, 1973. The Evolution of the Stress Concept: The originator of the concept traces its development from the discovery in 1936 of the alarm reaction to modern therapeutic applications of syntoxic and catatoxic hormones. *American Scientist*, 61 [online]. 692–699. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/27844072?seq=1>

SEMIDA, Wael Morad, Taia Ali ABD EL-MAGEED, Khaulood HEMIDA a Mostafa Mohamed RADY, 2019. Natural bee-honey based biostimulants confer salt tolerance in onion via modulation of the antioxidant defence system. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* [online]. B.m.: Taylor & Francis, 94(5), 632–642. ISSN 14620316. Dostupné z: doi:10.1080/14620316.2019.1592711

SHABALA, Sergey a Rana MUNNS, 2017. Salinity Stress: Physiological Constrains and Adaptive Mechanism. In: Sergey SHABALA, ed. *Plant stress physiology*. 2. vyd. Wallingford: CAB International. ISBN 9781780647302.

SHARMA, Anket, Vinod KUMAR, Babar SHAHZAD, M. RAMAKRISHNAN, Gagan Preet SINGH SIDHU, Aditi Shreeya BALI, Neha HANDA, Dhriti KAPOOR, Poonam YADAV, Kanika KHANNA, Palak BAKSHI, Abdul REHMAN, Sukhmeen Kaur KOHLI, Ekhlaque A. KHAN, Ripu Daman PARIHAR, Huwei YUAN, Ashwani Kumar THUKRAL, Renu BHARDWAJ a Bingsong ZHENG, 2020. Photosynthetic Response of Plants Under Different Abiotic Stresses: A Review. *Journal of Plant Growth*

- Regulation [online]. B.m.: Springer US, 39(2), 509–531. ISSN 14358107. Dostupné z: doi:10.1007/s00344-019-10018-x
- SHIN, Yu Kyeong, Shiva Ram BHANDARI, Jung Su JO, Jae Woo SONG, Myeong Cheoul CHO, Eun Young YANG a Jun Gu LEE, 2020. Response to salt stress in lettuce: Changes in chlorophyll fluorescence parameters, phytochemical contents, and antioxidant activities. *Agronomy* [online]. 10(11). ISSN 20734395. Dostupné z: doi:10.3390/agronomy10111627
- SHINOZAKI, Kazuo, Matsuo UEMURA, Julia BAILEY-SERRES, Elizabeth A. BRAY a Weretilnyk. ELIZABETH, 2015. Responses to Abiotic Stress. In: Bob B. BUCHANAN, Wilhelm GRUISSEM a Russell L. JONES, ed. *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*. Chichester: John Wiley & Sons. ISBN 9780470714218.
- SHRIVASTAVA, Pooja a Rajesh KUMAR, 2015. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences* [online]. B.m.: King Saud University, 22(2), 123–131. ISSN 1319562X. Dostupné z: doi:10.1016/j.sjbs.2014.12.001
- SHUKLA, Pushp Sheel, Emily Grace MANTIN, Mohd ADIL, Sruti BAJPAI, Alan T. CRITCHLEY a Balakrishnan PRITHIVIRAJ, 2019. Ascophyllum nodosum-based biostimulants: Sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. *Frontiers in Plant Science* [online]. 10(May), 1–22. ISSN 1664462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2019.00655
- SINGH, Archana, Amit KUMAR, Sunita YADAV a Indrakant Kumar SINGH, 2019. Reactive oxygen species-mediated signaling during abiotic stress. *Plant Gene* [online]. B.m.: Elsevier, 18(August 2018), 100173. ISSN 23524073. Dostupné z: doi:10.1016/j.plgene.2019.100173
- SLAVÍK, Bohumil a Jitka ŠTĚPÁNKOVÁ, 2004. *Květena České republiky. 7. díl*. Praha: Academia. ISBN 80-200-1161-7.
- SMALE, Dan A., Graham EPSTEIN, Esther HUGHES, Andrew O.M. MOGG a Pippa J. MOORE, 2020. Patterns and drivers of understory macroalgal assemblage structure within subtidal kelp forests. *Biodiversity and Conservation* [online]. B.m.: Springer Netherlands, 29(14), 4173–4192. ISSN 15729710. Dostupné z: doi:10.1007/s10531-020-02070-x
- SOURI, Zahra, Naser KARIMI, Muhammad Ansar FAROOQ a Javiad AKHTAR, 2020. Phytohormonal signaling under abiotic stress. In: Durgesh Kumar TRIPATHI, Vijay Pratap SINGH, Devendra Kumar CHAUHAN, Shivesh SHARMA, Sheo Mohan PRASAD, Nawal Kishore DUBEY a Naleeni RAMAWAT, ed. *Plant Life Under Changing Environment: Responses and Management*. London: Academic Press. ISBN 978-0-12-818204-8.
- SUGANYA, T., M. VARMAN, H. H. MASJUKI a S. RENGANATHAN, 2016. Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: A biorefinery approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*

- [online]. B.m.: Elsevier, 55, 909–941. ISSN 18790690. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2015.11.026
- SULEWSKA, Hanna, Alicja NIEWIADOMSKA, Karolina RATAJCZAK, Anna BUDKA, Katarzyna PANASIEWICZ, Agnieszka FALIGOWSKA, Agnieszka WOLNARMARUWKA a Leszek DRYJANSKI, 2020. Changes in *Pisum sativum* L. Plants and in Soil as a Result of Application of Selected Foliar Fertilizers and Biostimulators. *Agronomy* [online]. 10(10 October), 1–28. ISSN 20734395. Dostupné z: doi:10.3390/agronomy10101558
- TAKÁCS, G., W. A. STIRK, I. GERGELY, Z. MOLNÁR, J. VAN STADEN a V. ÖRDÖG, 2019. Biostimulating effects of the cyanobacterium *Nostoc piscinale* on winter wheat in field experiments. *South African Journal of Botany* [online]. B.m.: Elsevier B.V., 126, 99–106. ISSN 02546299. Dostupné z: doi:10.1016/j.sajb.2019.06.033
- THARANI, D. a Muthusamy ANANTHASUBRAMANIAN, 2020. Microalgae as Sustainable Producers of Bioplastic. In: Asraful ALAM, Jing-Liang XU a Zhongming WANG, ed. *Microalgae Biotechnology for Food, Health and High Value Products*. Singapore: Springer Nature Singapore. ISBN 978-981-15-0169-2.
- THURMAN, Harold V. a Alan P. TRUJILLO, 2005. *Oceánografie*. Praha: Computer Press. ISBN 80-2510-353-6.
- TÓTH, T., 2009. Monitoring, predicting and quantifying soil salinity, sodicity and alkalinity in Hungary at different scales: Past experiences, current achievements and outlook with special regard to European Union initiatives. In: *Advances in the assessment and monitoring of salinization and status of biosaline agriculture*. Rome: FAO. ISBN 978-92-5-106439-9.
- UGGETTI, Enrica, Fabiana PASSOS, Maria SOLÉ, Joan GARCÍA a Ivet FERRER, 2016. Biogas from Algae via Anaerobic Digestion. In: Faizal BUX a Yusuf CHISTI, ed. *Algae Biotechnology: Products and Processes*. Cham: Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-12334-9.
- VAN OOSTEN, Michael James, Olimpia PEPE, Stefania DE PASCALE, Silvia SILLETTI a Albino MAGGIO, 2017. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* [online]. B.m.: Springer International Publishing, 4(1), 1–12. ISSN 21965641. Dostupné z: doi:10.1186/s40538-017-0089-5
- VENGOSH, A., 2003. Salinization and Saline Environments. *Treatise on Geochemistry* [online]. 9–9, 1–35. Dostupné z: doi:10.1016/B0-08-043751-6/09051-4
- VERMA, Priyanka, Alok ARUN a Dinabandhu SAHOO, 2015. Brown Algae. In: Dinabandhu SAHOO a Joseph SECKBACH, ed. *The Algae World*. Dordrecht: Springer Netherlands. ISBN 978-94-017-7321-8.
- VETRANO, Filippo, Alessandra MONCADA a Alessandro MICELI, 2020. Use of gibberellic acid to increase the salt tolerance of leaf lettuce and rocket grown in a

- floating system. *Agronomy* [online]. 10(4). ISSN 20734395. Dostupné z: doi:10.3390/agronomy10040505
- VIVANCOS, Julien, Rupesh DESHMUKH, Caroline GRÉGOIRE, Wilfried RÉMUS-BOREL, François BELZILE a Richard R. BÉLANGER, 2016. Identification and characterization of silicon efflux transporters in horsetail (*Equisetum arvense*). *Journal of Plant Physiology* [online]. 200, 82–89. ISSN 01761617. Dostupné z: doi:10.1016/j.jplph.2016.06.011
- WALTER, Juline M., Felipe H. COUTINHO, Bas E. DUTILH, Jean SWINGS, Fabiano L. THOMPSON a Cristiane C. THOMPSON, 2017. Ecogenomics and taxonomy of Cyanobacteria phylum. *Frontiers in Microbiology* [online]. 8(NOV). ISSN 1664302X. Dostupné z: doi:10.3389/fmicb.2017.02132
- XU, Lin a Danny GEELEN, 2018. Developing biostimulants from agro-food and industrial by-products. *Frontiers in Plant Science* [online]. 871(October), 1–13. ISSN 1664462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2018.01567
- YAKHIN, Oleg I., Aleksandr A. LUBYANOV, Ildus A. YAKHIN a Patrick H. BROWN, 2017. Biostimulants in plant science: A global perspective [online]. 2017. ISSN 1664462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2016.02049
- YANIK, Fatma, Aslihan CETINBAS-GENC a Filiz VARDAR, 2020. Abiotic stress - induced programmed cell death in plants. In: Durgesh Kumar TRIPATHI, Vijay Pratap SINGH, Devendra Kumar CHAUHAN, Shivesh SHARMA, Sheo Mohan PRASAD, Nawal Kishore DUBEY a Naleeni RAMAWAT, ed. *Plant Life Under Changing Environment: Responses and Management*. London: Academic Press. ISBN 978-0-12-818204-8.
- YOU, Jun a Zhulong CHAN, 2015. Ros regulation during abiotic stress responses in crop plants. *Frontiers in Plant Science* [online]. 6(DEC), 1–15. ISSN 1664462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2015.01092
- ZHAO, Chunzhao, Heng ZHANG, Chunpeng SONG, Jian-Kang ZHU a Sergey SHABALA, 2020. Mechanisms of Plant Responses and Adaptation to Soil Salinity. *The Innovation* [online]. B.m.: Elsevier Inc., 1(1), 100017. ISSN 26666758. Dostupné z: doi:10.1016/j.xinn.2020.100017
- ZITTELLI, Graziella C., Natascia BIONDI, Liliana RODOLFI a Mario R. TREDICI, 2013. Photobioreactors for Mass Production of Microalgae. In: Amos RICHMOND a Qiang HU, ed. *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology*. Chichester: John Wiley & Sons.
- ZNAD, Hussein, 2020. Microalgae culture technology for carbon dioxide biomitigation. In: Ozcan KONUR, ed. *Handbook of Algal Science, Technology and Medicine*. London: Academic Press. ISBN 978-0-12-818305-2.
- ZUCCARINI, P. a R. SAVÉ, 2016. Three species of arbuscular mycorrhizal fungi confer different levels of resistance to water stress in *Spinacia oleracea* L. *Plant Biosystems* [online]. 150(5), 851–854. ISSN 17245575. Dostupné z: doi:10.1080/11263504.2014.994575

ZULFIQAR, Faisal, Andrea CASADESÚS, Henry BROCKMAN a Sergi MUNNÉ-BOSCH, 2019. An overview of plant-based natural biostimulants for sustainable horticulture with a particular focus on moringa leaf extracts. *Plant Science* [online]. B.m.: Elsevier, 295(April 2019), 110194. ISSN 18732259. Dostupné z: doi:10.1016/j.plantsci.2019.110194

Internetové zdroje:

ADC.CO.UK, 2021a. CCM200 plus [online]. Dostupné z: <https://www.adc.co.uk/wp-content/uploads/2019/08/CCM200plus.pdf> (accessed February 2021)

ADC.CO.UK, 2021b. OS5p+ Advanced portable pulse modulated chlorophyll fluorometer [online]. Dostupné z: <https://www.adc.co.uk/wp-content/uploads/2014/10/OS5p+-4page.pdf> (accessed February 2021)

BIOCONT-PROFI.CZ, 2021. Wetcit [online]. Dostupné z: <https://biocont-profi.cz/store/wetcit> (accessed February 2021)

CERKAL, Radim, 2011. Stresy a produkční výkonnost polních plodin: habilitační přednáška [online]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_sklad/habilitacni_prednasky/habilitacni_prednaska_cerkal.pdf (accessed February 2021)

CULINABOTANICA.CZ, 2021. Salát hlávkový Král máje 1 BIO [online]. Dostupné z: <https://shop.culinabotanica.cz/salat/salat-hlavkovy-kral-maje-1/> (accessed February 2021)

DELAMARRE, Erika, 2021. We get by with a little Kelp from our friends [online]. Dostupné z: <https://blueocean.net/get-little-kelp-friends/> (accessed February 2021)

EAGRI.CZ, 2021a. Databáze odrůd [online]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/app/sok/odrudyNouRL.do> (accessed February 2021)

EAGRI.CZ, 2021b. Registr hnojiv [online]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/hnojiva-a-puda/hnojiva/registr-hnojiv.html> (accessed February 2021)

EBIC, 2020. EU Regulation Ensures that Biostimulants Are Safe and Effective [online]. Dostupné z: <https://biostimulants.eu/highlights/eu-regulation-ensures-that-biostimulants-are-safe-and-effective/> (accessed February 2021)

EUR-LEX, 2018. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/848 ze dne 30. května 2018 o ekologické produkci a označování ekologických produktů a o zrušení nařízení Rady (ES) č. 834/2007 [online]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32018R0848&qid=1619019354108> (accessed February 2021)

EUR-LEX, 2019. REGULATION (EU) 2019/1009 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL [online]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal->

- content/EN/TXT/?qid=1583934899523&uri=CELEX:32019R1009 (accessed February 2021)
- FEMONLINE.IT, 2021. Photobioreactors [online]. Dostupné z: <http://www.femonline.it/products/> (accessed February 2021)
- GUIRY, Michael D.R., 2021. Ascophyllum nodosum (L.) Le Jolis [online]. Dostupné z: https://www.seaweed.ie/descriptions/ascophyllum_nodosum.php (accessed February 2021)
- HOUČEK, Jaroslav, 2020. Nové nařízení 1009/2019 k hnojivým výrobkům EU [online]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/646872/Houcek___Nove_narizeni_EU__Mze___2_2020_.pdf (accessed February 2021)
- LGEM.NL, 2021. Photobioreactor [online]. Dostupné z: <https://lgem.nl/reference/universidad-autonoma-queretaro/> (accessed February 2021)
- MEGAZAHRAHA.CZ, 2021. AGRO Zahradnický substrát [online]. Dostupné z: <https://megazahrada.cz/produkty/detail/A0001/agro-zahradnicky-substrat> (accessed February 2021)
- MYCOMEDICA.CZ, 2021. Bio Chlorella [online]. Dostupné z: <https://www.mycomedica.cz/eshop-bio-chlorella-tablety-250mg.html> (accessed February 2021)
- NĚMEČEK, Jan, Jiří VOKOUN, Jiří SMEJKAL, Jaromír MACKŮ, Josef KOZÁK, Karel NĚMEČEK a Luboš BORŮVKA, 2021. Elektronický taxonomický klasifikační systém půd ČR [online]. Dostupné z: <https://klasifikace.pedologie.czu.cz/> (accessed February 2021)
- PENÍŽEK, Vít, 2019. Pùdní krajiny [online]. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 978-80-213-2971-3. Dostupné z: https://katedry.czu.cz/storage/7390_Pudni-krajiny-v2019.pdf (accessed February 2021)
- PETERS, Adele, 2017. Could These Robotic Kelp Farms Give Us An Abundant Source Of Carbon-Neutral Fuel? [online]. Dostupné z: <https://www.fastcompany.com/40458564/could-these-robotic-kelp-farms-give-us-an-abundant-source-of-carbon-neutral-fuel?cid=search> (accessed February 2021)
- SEMO.CZ, 2021. Salát hlávkový Král Máje 1 [online]. Dostupné z: <https://www.semo.cz/eshop/salat-hlavkovy-kral-maje-1-p3805/> (accessed February 2021)
- SYMBIOM.CZ, 2021. Algavit [online]. Dostupné z: <https://www.symbiom.cz/cs/p-11-algavit> (accessed February 2021)
- WIKIWAND.COM, 2021. Chlorella vulgaris [online]. Dostupné z: https://www.wikiwand.com/en/Chlorella_vulgaris (accessed February 2021)

9 Seznam použitých zkratek a symbolů

A	– rychlost fotosyntézy
ABA	– kyselina abscisová
APX	– askorbát peroxidáza
C3	– metabolismus C3
C4	– metabolismus C4
CAM	– crassulacean acid metabolism
CCI	– chlorophyll content index
CDPK	– calcium-dependent protein kinase
CGF	– chlorella growth factor
CK	– cytokininy
DNA	– kyselina deoxyribonukleová
DREB	– dehydration responsive element binding
E	– rychlost transpirace
EPS	– extracelulární polysacharidy
F_V/F_M	– variabilní fluorescence/maximální fluorescence
GA	– gibereliny
GB	– glycin betain
g_s	– stomatální vodivost
GST	– glutathion S-transferáza
HS	– huminové sloučeniny
HSP	– heat shock protein
HTS	– hmotnost tisíce semen
HTZ	– hmotnost tisíce zrn
IAA	– auxin
JA	– kyselina jasmonová
MAPK (MPK)	– mitogenem aktivovaná proteinová kináza
PEP	– fosfoenolpyruvát
PHA	– polyhydroxyalkaonáty
PHYB	– fytochrom B
ROS	– reaktivní formy kyslíku
RNA	– kyselina ribonukleová
SA	– kyselina salicylová
SAR	– adsorpce sodíku z půdního roztoku
SnRK2	– sucrose non-fermentig related kinase