

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zahradnictví



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv hydro-primingu glycin-betulinem na microgreens
brokolice ve dvou světelných režimech**

Diplomová práce

Bc. Tomáš Müller

Zahradnictví (Hortim)

Vedoucí práce Ing. Kamil Kraus PhD.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv hydro-primingu glycin-betulinem na microgreens brokolice ve dvou světelných režimech" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 20.4. 2025

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval lidem, kteří mě podporovali při psaní této práce. Mé upřímné poděkování patří zejména Ing. Kamilu Krausovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, za jeho vstřícný přístup a ochotu a dále Ing. Heleně Hniličkové, Ph.D., která mi také ochotně pomáhala v průběhu psaní i během pokusu. Děkuji rodině a svým nejbližším, kteří mě podporovali. Poslední poděkování patří Katedře botaniky a fyziologie rostlin, Katedře agroekologie a rostlinné produkce a jejich pracovníkům za poskytnutí pomůcek a prostor k provedení pokusu.

Vliv hydro-primingu glycin-betulinem na microgreens brokolice ve dvou světelných režimech

Souhrn

Tato diplomová práce se zaměřovala na vliv různých koncentrací hydro-primingu glycin-betulinem u semen brokolice (*Brassica oleracea* Italica Group), pěstované jako microgreens ve dvou světelných režimech, ale také na vliv samotných světelných režimů. Cílem výzkumu bylo zjištění, zda je využití glycin-betulinu při pěstování microgreens perspektivní jak z výnosových, tak nutričních hledisek. Dále práce přispěla k lepšímu pochopení vlivu glycin-betulinu, jakožto málo prozkoumané látky, na metabolismus rostlin a jeho interakci se světelnými podmínkami. Pokus probíhal na České zemědělské univerzitě v Praze v budově Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů v řízených podmínkách. Použité koncentrace byly 0 %, 0,1 %, 0,5 % a 1 %. Světelné režimy byly 12 h světlo/12 h (12h) tma a nepřetržitě osvětlení (24h), oba při intenzitě světla $200 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Sledovány byly čerstvá hmotnost a sušina, absolutní sušina, délka hypokotylu a množství NO_3^- , K^+ , Na^+ , chlorofyly, karotenoidy, MDA a rozpustné cukry.

Ze sledování vyšlo, že světlo, priming a jejich kombinace mají vliv na metabolismus a růst rostlin microgreens brokolice. Světelný režim 12h se z hlediska výnosů čerstvé hmoty zdál nejzajímavější, ale rostliny 24h se vyznačovaly nižšími hodnotami MDA a vyšší absolutní sušinou a mohou být tedy vhodnější pro nutriční a medicínské využití.

Glycin-betulin se zdá být perspektivní látkou, která by si zasloužila další výzkum. Obzvláště pak jeho pozitivní vliv v boji proti oxidačnímu stresu, způsobenému nepřetržitým osvětlením. Bylo by vhodné prozkoumat i jeho vliv na metabolismus Na^+ , kde aplikací docházelo ke snížení obsahu Na^+ . Použití glycin-betulinu při pěstování microgreens brokolice není jednoznačně optimálním řešením. Může však podporovat některé parametry, obzvláště nutriční a medicínské.

Klíčová slova: *Brassica oleracea* Italica Group, hydro-priming, microgreens, glycin-betulin

The effect of hydro-priming with glycine-betulin on broccoli microgreens under two light regimes

Summary

This thesis focused on the effect of different concentrations of seed hydro-priming with glycine-betulin in broccoli (*Brassica oleracea* Italica Group) microgreens grown under two light regimes, as well as on the influence of the light regimes themselves. The aim of the research was to determine whether the use of glycine-betulin in microgreens cultivation is promising from both yield and nutritional perspectives. The study also contributed to a better understanding of the effects of glycine-betulin, a relatively unexplored compound, on plant metabolism and its interactions with light conditions. The experiment was conducted under controlled conditions at the Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Agrobiolgy, Food and Natural Resources. The concentrations used were 0 %, 0,1 %, 0,5 % and 1 %. The light regimes included a 12-hour light/12-hour dark cycle (12h) and continuous light (24h) at a light intensity of $200 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. The monitored parameters included fresh weight and dry matter, absolute dry matter, hypocotyl length, and levels of NO_3^- , K^+ , Na^+ , chlorophylls, carotenoids, MDA, and soluble sugars.

The results indicate that light, priming and their combination influence the metabolism and growth of broccoli microgreens. The 12h light regime appeared more favorable for fresh yield, whereas 24h light exposure resulted in lower MDA values and higher absolute dry matter, which may be beneficial for nutritional and medicinal purposes.

Glycine-betulin appears to be a promising compound that deserves further investigation, especially due to its potential to mitigate oxidative stress induced by continuous lighting. Moreover, its effect on Na^+ metabolism, where its application led to a reduction in Na^+ content, warrants deeper study. Although the use of glycine-betulin is not an unequivocally optimal solution for microgreens production, it may enhance specific parameters, particularly those related to nutritional and medicinal quality.

Keywords: *Brassica oleracea* Italica Group, hydro-priming, microgreens, glycine-betulin

Obsah

1	Úvod	8
2	Vědecká hypotéza a cíle práce	9
3	Literární rešerše	10
3.1	Botanická charakteristika	10
3.2	Microgreens.....	10
3.2.1	Výživová hodnota microgreens.....	12
3.3	Pěstování microgreens.....	13
3.3.1	Faktory ovlivňující růst.....	13
3.3.1.1	Pěstební materiál	13
3.3.1.2	Voda	13
3.3.1.3	Světlo.....	13
3.3.1.4	Teplota	14
3.3.1.5	Pěstební média	15
3.3.1.6	Ostatní.....	15
3.3.2	Předseťová úprava osiva.....	16
3.3.2.1	Peletizace a obalování.....	16
3.3.2.2	Moření.....	16
3.3.2.3	Priming	16
3.4	Glycin	17
3.5	Kyselina betulinová.....	17
3.6	Glycin-betulin	19
4	Metodika.....	20
4.1	Rostlinný materiál.....	20
4.2	Vedení pokusu	21
4.3	Použité metody a vybavení.....	23
4.3.1	Výnosové parametry	23
4.3.2	Obsah iontů.....	23
4.3.3	Rozpustné cukry	23
4.3.4	Fotosynteticky aktivní barviva	24
4.3.5	Stanovení MDA.....	24
5	Výsledky.....	25
5.1	Čerstvá hmotnost	26
5.2	Sušina.....	27
5.3	Absolutní sušina.....	28

5.1	Délka hypokotylu.....	29
5.2	Koncentrace NO_3^-	30
5.3	Koncentrace K^+	31
5.4	Koncentrace Na^+	32
5.5	Rozpustné cukry	33
5.6	Celkový chlorofyl	34
5.7	Karotenoidy	35
5.8	Proxidace lipidů – stanovení malondialdehydu (MDA)	36
6	Diskuse	37
6.1	Výnosové parametry	37
6.2	Fotosynteticky aktivní barviva	38
6.3	Rozpustné cukry	38
6.4	Obsah iontů	38
6.5	MDA	39
7	Závěr	41
8	Literatura	42

1 Úvod

S globálním nárůstem městské populace roste poptávka po udržitelnějších, dostupnějších a výživnějších potravinách. Městské zemědělství, zejména pěstování plodin v kontrolovaných podmínkách, se v posledních letech stále více prosazuje jako efektivní odpověď na výzvy spojené s výživou ve městech (Benke & Tomkins 2017). Popularita městských pěstebních systémů roste, což naznačuje jejich význam pro budoucí potravinovou bezpečnost. Různé pěstební systémy nejsou však plně prozkoumány a je tedy zapotřebí dalších výzkumů (Nolan 2019).

Jedním z typů plodin, které jsou v těchto podmínkách pěstovány, jsou microgreens, mladé výhonky jedlých bylin sklizené v rané fázi růstu, před vývinem pravých listů (Weber 2017). Microgreens jsou pěstované většinou ve vertikálních systémech, umožňující efektivní využití prostoru. Jsou čím dál populárnější díky své vysoké výživové hodnotě a chuti. Další jejich výhodou je krátký pěstební cyklus, který se většinou pohybuje mezi 10 až 14 dny. Původně byly oblíbené v luxusních restauracích, kde dodávaly pokrmům specifickou chuť a vzhled, postupně se však zdůrazňovaly také jejich nutriční a terapeutické vlastnosti a dnes jsou prodávány a konzumovány ve velkém (Viorica et al. 2021). Důvodem pro pěstování microgreens je nejen jejich vysoký obsah prospěšných látek, jako jsou vitamíny a minerály, ale také bioaktivní složky schopné zlepšovat zdravotní stav člověka (Yadav et al. 2019; Xiao et al. 2012). Tyto plodiny jsou výjimečné tím, že se mohou pěstovat bez chemických hnojiv a pesticidů, protože jsou konzumovány v rané fázi růstu, kdy vývoj rostliny zajišťují z velké části zásobní látky semene (Viorica et al. 2021). Stávají se proto stále častěji součástí zdravé stravy, podporující zdraví a prevenci nemocí. Pěstování těchto plodin v kontrolovaných podmínkách umožňuje optimalizaci jejich výživového potenciálu (Zhang et al. 2021).

Vysoké potenciální zdravotní přínosy díky vysokému obsahu glukosinolátů vykazují obzvláště microgreens brokolice (Lu et al. 2021). Hlavním glukosinolátem obsaženým v brokolici je glukorafanin, což je prekurzor pro sulforafan, u něhož bylo prokázáno, že pomáhá v boji s rakovinou. Zařazení brokolice do každodenní stravy proto snižuje náchylnost k rozvoji rakoviny. Množství glukosinolátů je ovlivněno podmínkami pěstování a odrůdou, a proto je důležitý výběr správné odrůdy a způsobu pěstování při produkci pro zdravotní využití (Gasmi et al. 2024; Di Bella et al. 2021).

Jednou z nově zkoumaných metod při pěstování microgreens je priming, který je široce využíván semenářskými technologiemi ke zvýšení vitality semen, zejména jejich klíčivosti a tolerance vůči stresu. V závislosti na rostlinném druhu, morfologii a fyziologii semen lze použít různé typy primingu, které aktivují předklíčivý metabolismus. Navzdory dosavadnímu pokroku v oblasti zlepšování technologií primingu je třeba přinést nové přístupy a špičkové výzkumy do tohoto sektoru zemědělského semenářského průmyslu (Paparella et al. 2015).

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

V současné době se ve společnosti neustále zvyšuje zájem o pestrou a nutričně kvalitní stravu, která zároveň naplňuje ekonomická a udržitelná kritéria. Cílem diplomové práce je určit, zda předseťová úprava osiva brokolice, pěstované jako microgreens a odlišné kultivační podmínky, můžou pozitivně ovlivnit nutriční a výnosové parametry sklizených rostlin.

Byly stanoveny následující hypotézy:

- 1) Předseťová úprava osiva ovlivňuje výnosové a nutriční parametry brokolice.
- 2) Světelný režim ovlivňuje výnosové a nutriční parametry brokolice.

3 Literární rešerše

3.1 Botanická charakteristika

Brukev zelná brokolice (*Brassica oleracea* Italica Group) je jednoletá bylina, patřící do čeledi brukvovitých (*Brassicaceae*) s původem ve Středozeemí. Je pěstována pro svoje zdužnatělé květenství a poupata. Dorůstá do výšky 40-120 cm. Dolní lodyžní listy jsou lyrovité nebo zpeřeně členěné, celokrajné nebo jemně nepravidelně pilovité s řapíkem na bocích často nepárově ouškatými úkrojky. Čepele listů jsou ploché, lysé a tuhé, ze spodní strany sivozelené, na líci matně zelené a slabě ojíněné. Větve květenství jsou zploštělé, dužnaté, s nápadně sivozelenými hlávkovitě shloučenými poupaty. Květy jsou uspořádány v řídký hrozen se žlutou barvou květu. Plodem je šešule s široce elipsoidními semeny hnědé až hnědočerné barvy (ÚKZÚZ 2025).

Brokolice je bohatým zdrojem vitamínu C a vitamínu K. Obsahuje také značné množství vitamínů B1, B3, B5, B6 a E. V brokolici se rovněž nachází kyselina listová, chrom, hořčík, fosfor, zinek, vápník, železo, selen, bílkoviny a omega-3 mastné kyseliny. Brokolice dále obsahuje řadu fytonutrientů, jako jsou například glukosinoláty a jejich deriváty. Tyto látky jsou zodpovědné za její antioxidační a protirakovinné vlastnosti a další zdravotní přínosy. Díky vysokému obsahu živin a vlákniny se brokolice stala jednou z oblíbených potravin (Nagraj et al. 2020).

3.2 Microgreens

Microgreens jsou jedlé děložní lístky a stonky mnoha druhů zeleniny, bylin a květin. Jsou nově se rozvíjející plodinou, která se ukazuje jako bohatý zdroj živin s potenciálem pro pěstování v různých vnitřních prostorech, včetně domácích podmínek. Tyto mladé, křehké rostliny, sklizené před anebo těsně po vyvinutí pravých listů, se stále častěji využívají k vylepšení barvy, textury a chuti salátů a hlavních jídel (Pinto et al. 2015; Weber 2017).

Pěstování microgreens na malých plochách a v uzavřených prostorech je v současnosti podporováno metodami zemědělství v kontrolovaných podmínkách, což je klíčová praxe pro zásobování rostoucí městské populace, zejména v souvislosti s nárůstem urbanizace (Zhang et al. 2021).

Studie ukazují, že microgreens jsou bohaté na bioaktivní sloučeniny a mohou přinášet významné zdravotní přínosy (Luo et al. 2024). Zároveň jsou atraktivní pro spotřebitele díky jedinečným senzorickým charakteristikám, které jsou především ovlivněny jejich fytochemickým obsahem (Zhang et al. 2021).

Díky krátkému růstovému cyklu a vysoké koncentraci živin jsou často považovány za funkční potraviny, které mohou hrát důležitou roli ve výživě a zdraví (Zhang et al. 2020). Různé metody pěstování, včetně hydroponických a kompostových metod, které lze snadno implementovat v domácích podmínkách, poskytují efektivní a bezpečné způsoby, jak tuto plodinu pěstovat (Weber 2017).

Druhy zeleniny nejčastěji používané pro produkci microgreens pocházejí z několika botanických čeledí, mezi nimiž převládají brukvovité (např. květák, brokolice, hlávkové zelí, čínské zelí, kadeřávek, kapusta, mizuna, ředkvička, rukola, hořčice), hvězdnicovité (např. slunečnice, salát, čekanka, červená čekanka), miříkovité (kopr, fenykl, celer), amarylkovité (cibule, pórek) a laskavcovité (laskavec, mangold, červená řepa, špenát, quinoa). Dalšími běžně používanými bylinami pro produkci microgreens jsou obilniny (oves, pšenice, ječmen), luštěniny (cizrna, vřetěška, fazole, pískavice řecké seno, bob, čočka, hrách) a mnoho aromatických druhů, například bazalka, pažitka, koriandr nebo kmín. U všech těchto druhů je možné využít jak komerční odrůdy, z nichž některé byly speciálně vyšlechtěny pro produkci microgreens, tak i místní odrůdy a populace, které mohou být charakteristické specifickým tvarem, barvou, texturou a chutí klíčků a vysokým obsahem fytonutrientů (Di Gioia et al. 2015a).

Názvy pro jednotlivé fáze růstu rostlin nejsou vždy jednotné proto Di Gioia (2015b) vytvořil tabulku ke zřehlednění názvosloví jednotlivých fází růstu, jejich potřeb a způsobu sklizně viz Tabulka 1.

Tabulka 1 Názvy sklizňových fází, Přeloženo z Di Gioia et al. (2015b)

Růstový cyklus	Klíčky	Mikrobylinky	Mladé listy
Doba růstu	4–10 dní	7–28 dní	20–40 dní
Jedlá část	Celý klíček včetně kořínků	Výhonky s kotyledony a prvním náznakem pravých listů bez kořenů	Pravé listy a řapíky bez kořenů
Růstový systém	Bez půdy: pouze voda, bez pěstebního média	Hlavně bez půdy: pěstební médium je potřebné	Půda nebo bez půdy: pěstební médium je potřebné
Růstové prostředí	Nepotřebuje světlo	Vyžaduje světlo	Vyžaduje světlo
Požadavek na živiny	Není vyžadováno	Vyžaduje se v malém množství, pokud médium neposkytuje živiny	Vždy vyžadováno
Použití agrochemikálií	Není vyžadováno	Není vyžadováno	Vyžadováno
Fáze vývoje při sklizni	Před plným vývojem kotyledonových listů	Mezi plným vývojem kotyledonů a výskytem prvních pravých listů	Mezi plným vývojem prvních pravých listů a osmi fázemi pravých listů
Sklizeň	Bez řezání	Volitelně s nebo bez řezání	Řezáním

3.2.1 Výživová hodnota microgreens

Microgreens si na trhu s čerstvými produkty získávají stále větší oblibu díky svému atraktivnímu vzhledu a významným nutričně-farmaceutickým vlastnostem. Jejich nutriční složení se výrazně liší mezi jednotlivými druhy a je ovlivňováno podmínkami pěstování. Tyto mladé rostliny jsou bohaté na vitamíny, minerály a bioaktivní látky, jako jsou karotenoidy a fenolické sloučeniny, které působí v lidském těle jako antioxidanty. Obsah těchto aktivních látek je ovlivněn různými faktory pěstebního cyklu, jako je typ osvětlení, solný stres, obohacení živného substrátu a použití přírodních substrátů. Tyto podmínky mohou výrazně měnit fotosyntetické a metabolické procesy rostlin, to se následně odráží v jejich nutriční kvalitě. Výzkumy ukazují, že vhodnou optimalizací pěstebních parametrů lze zvýšit obsah zdraví prospěšných látek, přičemž se však efekt těchto úprav liší v závislosti na druhu microgreens (Zhang et al. 2021; Negri et al. 2021).

Studie in vitro i in vivo ukázaly, že microgreens mají protizánětlivé, protirakovinné, antibakteriální a antihyperglykemické vlastnosti. To z nich činí novou funkční potravinu prospěšnou pro lidské zdraví (Zhang et al. 2021).

Weber ve svém pokusu porovnávala množství živin v rostlinách brokolice pěstovaných jako microgreens oproti těm pěstovaným jako zelenina. Z výsledků vychází, že microgreens obsahují větší množství Mg, Mn, Cu a Zn oproti konvenčnímu protějšku bez ohledu na způsob pěstování. Microgreens pěstované na kompostu však měly vyšší i koncentrace P, K, Mg, Mn, Zn, Fe, Ca, Na a Cu. U osmi nutričně významných minerálů (P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn a Na) byl průměrný poměr živin mezi microgreens pěstovanými na kompostu a zeleninou 1,73 (Weber 2017). Nejenže mají vyšší koncentraci nutričních látek, ale i nižší obsah NO_3^- , což je spolu s jejich dobrými organoleptickými vlastnostmi činí vhodnou potravinou pro děti (Pinto et al. 2015).

Microgreens brokolice vykazují potenciální zdravotní přínosy díky vysokému obsahu glukosinolátů (Lu et al. 2021). Hlavním glukosinolátem obsaženým v brokolici je glukorafanin, prekurzor sulforafanu, u něhož bylo prokázáno, že napomáhá v boji proti rakovině. Zařazení brokolice do každodenní stravy proto snižuje náchylnost k rozvoji rakoviny. Množství glukosinolátů je ovlivněno podmínkami pěstování a odrudou a proto je důležitý výběr správné odrůdy při pěstování pro zdravotní využití (Gasmi et al. 2024; Di Bella et al. 2021).

Dále má šťáva z brokolicových microgreens potenciál snižovat tělesnou hmotnost v podobě snížení tvorby tukové tkáně a inzulinové rezistence u myší s dietou bohatou na tuky. Zlepšuje střevní mikrobiotu, podporuje tvorbu prospěšných mastných kyselin, má protizánětlivé účinky a chrání játra. Jeví se jako slibná funkční potravina proti obezitě (Li et al. 2021a).

Nutriční hodnota může být negativně ovlivněna způsobem skladování. Studie optimalizace předsklizňových a posklizňových postupů pro zvýšení a udržení živin jsou předmětem studií a nejsou ještě plně prozkoumány (Zhang et al. 2021). Například Lu et al. (2021) ve své studii zjistily, že předsklizňové UVB ozáření a postřik roztokem CaCl_2 zlepšují trvanlivost a kvalitu microgreens.

3.3 Pěstování microgreens

Komerčně se microgreens pěstují nejčastěji vertikálně ve vnitřních prostorech s kontrolovanými podmínkami. Ty zaručuje automatická regulace teploty a vlhkosti a nejčastěji LED osvětlení optimalizované pro fotosyntézu. Tento přístup minimalizuje sezónní vlivy a umožňuje pěstování i bez substrátu prostřednictvím hydroponie (Jones 2016). Další výhodou je snadná ochrana rostlin, bez potřeby postřiků, díky regulaci podmínek v pěstírně a zamezení přístupu škůdců (Benke & Tomkins 2017). Úskalím však může být náchylnost ke kontaminaci a k problémům s transportem a trvanlivostí (Du et al. 2022).

3.3.1 Faktory ovlivňující růst

Faktorů ovlivňujících růst microgreens je mnoho, zatím nejsou známy všechny vazby mezi nimi a je tedy třeba dalšího výzkumu. (Nolan et al. 2018; Zhang et al. 2021). Důležité také je, na které parametry microgreens se zaměřujeme, jelikož mohou být optimální podmínky pro tvorbu bioaktivních látek jiné, než jsou pro celkový výnos (Gao et al. 2021).

3.3.1.1 Pěstební materiál

Jednotlivé druhy, variety a kultivary mohou mít odlišné optimum pro parametry pěstování, ale také i rozdílné potřeby mezi jednotlivými pěstebními systémy. Je proto obtížné stanovovat obecné ideální podmínky pro pěstování. Ty jsou zatím stále předmětem výzkumů a nejsou dosud plně prozkoumány všechny kombinace pěstebních parametrů a pěstebního materiálu (Dmitry 2022; Negri et al. 2021; Dhaka et al. 2023).

3.3.1.2 Voda

Weber (2017) ve svém pokusu zjistila, že microgreens brokolice vyžadují 158–236krát méně vody, než je zapotřebí k vypěstování nutričně ekvivalentního množství dospělé zeleniny na polích v Kalifornském centrálním údolí.

Dle dotazníku Misra a Gibson (2021) jsou v Americe nejčastějšími zdroji zavlažovací vody pro microgreens kohoutková (32,4 %), studniční (29,5 %), dešťová (2,8 %), povrchová (1,1 %) a šedá voda (0,6 %, pouze jedna farma). Voda může být zdrojem patogenů a bakteriální kontaminace. Je tedy třeba kontrolovat zdroj vody a případně ji upravit např. aktivním uhlím nebo reverzní osmózou (Misra & Gibson 2021).

3.3.1.3 Světlo

Světlo je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících růst a vývoj rostlin (Dou et al. 2017). Světlo umožňuje fotosyntézu, během které se nejprve absorbuje světelná energie a následně se přenáší do reakčních center. Následuje primární fotochemická reakce, transport elektronů a protonů, tvorba NADPH a ATP a nakonec fixace CO₂ v Calvin–Bensonově nebo

Hatch–Slackově cyklu. Fotosyntéza je hlavním zdrojem energie pro rostliny (Stirbet et al. 2020).

Různé metabolické dráhy mohou být ovlivněny osvětlením. Transkripční faktory a fotoreceptory mohou výrazně ovlivnit buněčné dělení, endoreplikaci a růst buněk v závislosti na různé kvalitě, délce trvání a intenzitě světla. Rostliny pěstované s nižší intenzitou světla proto mohou být vytáhlé s křehčími pletivy (Metallo et al. 2018).

Studie Zha et al. (2019) ukázala, že salát vystavený nepřetržitému osvětlení různé intenzity vykazuje odlišné dynamické změny v růstu, oxidačním stresu, metabolismu askorbátu a fluorescenci chlorofylu. Vyšší intenzita světla vedla k větší biomase a změnám ve fyziologických parametrech, ale také ke zvýšené tvorbě reaktivních forem kyslíku a peroxidaci lipidů. Aktivita enzymů, zapojených do metabolismu askorbátu, korelovala s intenzitou světla, přičemž askorbátová peroxidáza a dehydroaskorbátová reduktáza vykazovaly nejvýraznější rozdíly v odpovědi. I když došlo k reverzibilní fotoinhibici po 6 dnech expozice střednímu a vysokému osvětlení, po 12 dnech se fotosyntetická účinnost částečně obnovila, zřejmě díky vyšším hladinám askorbátu, který napomáhal rozptylování přebytečné excitační energie. U nízké intenzity světla nebyl zaznamenán fotooxidační stres, ačkoli světlo bylo trvalé. Studie tak dospěla k závěru, že fotooxidační stres, vyvolaný nepřetržitým osvětlením, je důsledkem nadměrné denní světelné dávky, nikoli narušením cirkadiánních rytů.

U microgreens jsou výnosy, sušina, obsahové látky, vzhled a doba potřebná ke sklizni ovlivněny intenzitou, fotoperiodou a světelným spektrem osvětlení (Zhang et al. 2020; Gao et al. 2021; Dmitry 2022).

Jednotlivá světelná spektra a jejich kombinace mají různé účinky, které jsou stále předmětem výzkumu. Červené vlnové délky jsou pigmenty více absorbovány, zatímco zelené, žluté a oranžové méně, což ovlivňuje fotosyntézu různými způsoby (Demir et al. 2023). Například pro brokolici je vhodné smíšené červené a modré světlo, zejména v poměru 5:1. Tento poměr má pozitivní vliv na délku hypokotylu, čerstvou hmotnost, podíl jedlé části a zvyšuje obsah živin, jako jsou vitamín C, rozpustné proteiny, fenoly, flavonoidy a glukosinoláty (Luo et al. 2024). Obecně se LED osvětlení jeví jako efektivní způsob osvětlení (Zhang et al. 2020).

Dalším využitím světla může být UV-B osvětlení, před sklizní doprovázené postřikem chloridem vápenatým pro zlepšení trvanlivosti a kvality sklizených rostlin (Lu et al. 2021).

3.3.1.4 Teplota

Optimální teplota pro nejvyšší výnosnost se pohybuje v rozmezí 24–28 °C, nižší a vyšší teploty mohou snižovat výnosy, avšak mohou pozitivně ovlivňovat obsahové látky. Při nižších teplotách se také může prodlužovat pěstební cyklus (Dhaka et al. 2023).

Ve studii Gmižić et al. (2023) zjistili, že rostliny brokolice pěstované jako microgreens ve vysokých teplotách (38 °C/den, 33 °C/noc) mají vyšší obsah fenolů, rozpustných cukrů,

karotenoidů, quercetinu, sinapové, ferulové, p-kumarové a gallové kyseliny, ale nižší obsah celkových flavonoidů, flavonolů, fenolových kyselin, bílkovin, glukosinolátů, chlorofylu a a b a porfyrinů oproti kontrole. Dále vzrostl obsah minerálů As, Co, Cr, Hg, K, Na, Ni, Pb, Se a Sn, zatímco Ca, Cd, Cu, Mg, Mn a P klesl.

3.3.1.5 Pěstební média

Pěstební médium hraje zásadní roli v růstu a vývoji microgreens a jeho změny mohou výrazně ovlivnit nejen morfologické vlastnosti, ale také nutriční složení microgreens (Pathania et al. 2022). Různá pěstební média, jako jsou náhrady substrátu rostlinnými vlákny, hydroponie, aeroponie a další, jsou zkoumány jako alternativy k tradiční půdě pro pěstování specializovaných plodin (Du et al. 2022).

Typicky se pěstuje pomocí substrátu na bázi rašeliny, který má vyšší výrobní náklady. Dalšími složkami mohou být například písek, organická půda, kokosové vlákno, rýžová sláma, vápník, kyselina humová, vermikulit a další (Hoang & Vu 2022).

Pěstování bez půdy na bázi hydrogelů je zvláště zdůrazňováno jako nová a inovativní metoda díky jejich schopnosti řešit problémy spojené s bezpečností potravin a udržitelností při pěstování klíčků a microgreens v městském zemědělství (Du et al. 2022). Hydrogely jsou atraktivním bezsubstrátovým médiem pro pěstování rostlin díky silné schopnosti zadržovat vodu a živiny. Avšak čisté hydrogely postrádají vzduchem vyplněnou pórovitost potřebnou pro provzdušnění kořenové zóny. Zkoumají se možné přídavky do hydrogelů, které zvyšují pórovitost – například agarózová síť, která významně zlepšuje využitelnost hydrogelu jako substrátu (Teng et al. 2022).

Důležité je i množství přístupných živin v médiu, které mají vliv na výnos a obsahové látky v pěstovaných rostlinách (Li et al. 2021b).

3.3.1.6 Ostatní

Rostliny s fotosyntetickým systémem C₃, prokazují vyšší nárůst hmoty při zvýšení hladiny CO₂ již v ranných stádiích růstu (Tischler et al. 2000). CO₂ dále může podporovat klíčení a vzcházení rostlin a jejich obsahové látky (Ziska & Bunce 1993).

Hustota výsevu také ovlivňuje celkové výnosy a kvalitu microgreens. Pro různé substráty a druhy je vhodná různá hustota setí, přičemž konkrétní hodnoty jsou stále předmětem výzkumů (Thuong & Minh 2020).

Biofortifikace je účinná strategie pro zlepšení výživové hodnoty a kvality microgreens. Například biofortifikace vitamínem C v rukole zvyšuje čerstvou hmotnost i sušinu a obsah minerálů. Tento efekt může být dále podpořen přidáním Zn (Kathi et al. 2024).

Postřik roztokem CaCl₂ může zlepšovat trvanlivost a kvalitu microgreens (Lu et al. 2021). Důležitým faktorem negativně ovlivňujícím růst jsou patogenní organismy. Je proto důležité udržovat ideální podmínky pro růst microgreens, k čemuž napomáhá i cirkulace vzduchu a vhodná relativní vzdušná vlhkost (Jain et al. 2025).

3.3.2 Předseťová úprava osiva

3.3.2.1 Peletizace a obalování

Obalování a peletizace semen zlepšuje manipulaci, setí a růst. V obou případech se jedná o obalování semen nanesením vrstvy polymerů, jílu nebo biologických látek, často obohacených o živiny, růstové stimulanty či fungicidy, které napomáhají klíčení a ranému růstu rostlin. Peletizace se od samotného obalování liší v tom, že se semena obalují do kulovitých pelet z jílu, rašeliny nebo jiných pojiv, což zlepšuje přesnost setí a snižuje spotřebu osiva (Nandeha 2024).

3.3.2.2 Moření

Používání zdravých semen je nezbytným předpokladem v jakémkoliv pěstitelském systému, aby se minimalizovala potřeba dalších strategií řízení chorob během kultivace. Semena jsou však často kontaminována patogeny přenášenými semeny, což činí ošetření semen klíčovou metodou prevence chorob. To platí zejména pro semena zeleninových plodin, která často nesou inokulum významných patogenů. Bylo prokázáno, že i malé procento infikovaných semen může způsobit značné ztráty ve skleníkových i polních podmínkách (Gullino et al. 2014).

3.3.2.3 Priming

Priming je široce využíván semenářskými technologiemi ke zvýšení vitality semen, zejména jejich klíčivosti a tolerance vůči stresu. V závislosti na rostlinném druhu, morfologii a fyziologii semen lze použít různé typy primingu, které aktivují takzvaný předklíčivý metabolismus. Navzdory dosavadnímu pokroku v oblasti zlepšování technologií primingu je třeba přinést nové přístupy a špičkové výzkumy do tohoto sektoru zemědělského semenářského průmyslu (Paparella et al. 2015).

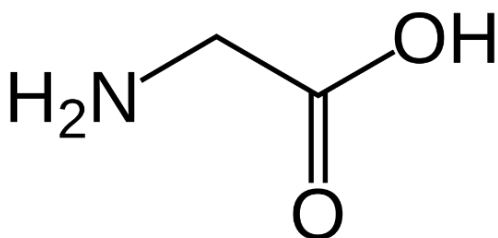
Priming se využívá pro zlepšení procesu klíčení za pomoci úpravy parametrů během počátečních fází klíčení. Typů primingu je mnoho: biopriming – inokulace semen prospěšnými mikroorganismy; fyzikální metody jako jsou magneto-priming, ozařování mikrovlnami a ionizujícím zářením, plazmování; chemická úprava; osmopriming (Forti et al. 2020, Waskow et al. 2021, Araújo et al. 2016).

Výzkumem podložená doporučení pro pěstování microgreens, včetně hnojení a předseťových úprav semen a jejich vlivu na nutriční hodnoty pro jednotlivé druhy a pěstební systémy, chybí. Hydro-priming je velmi přístupná a ekonomická technika, která zahrnuje namáčení semen ve vodě, po kterém následuje jejich sušení (Forti et al. 2020). V experimentu Li et al. (2021) testovali deset druhů microgreens na růst výhonů a koncentraci živin při jednorázovém hnojení a namáčení semen. Hnojení univerzálním hnojivem (20-20-20 + mikroživiny, 100 mg·L⁻¹ N) zvýšilo hmotnost a obsah živin s výjimkou vápníku (Ca), hořčíku (Mg) a manganu (Mn). Namáčení semen obvykle snižovalo hmotnost výhonů i obsah

živin. Zájem o udržitelnost intenzivních agroekologických systémů zvyšuje popularitu biostimulantů. Jejich interakce s microgreens však zatím nebyla podrobně zkoumána. Ve studii měly rostliny po aplikaci biostimulantů vyšší hmotnost sušiny a antioxidační aktivitu (Ciriello et al. 2023).

3.4 Glycin

Glycin se skládá z jediného uhlíku spojeného s aminoskupinou a karboxylovou skupinou viz Obrázek 1. Díky své malé velikosti je flexibilní součástí proteinů, podílí se na tvorbě helixů, působí jako signální molekula a osmotický ochranný faktor. Chrání tkáň před ischemií, hypoxií a reperfuzí. Přestože je považován za neesenciální aminokyselinu, hraje důležitou roli v metabolismu, například v přeměně na serin. Přidává se do nutričních roztoků jako zdroj dobře přijatelného dusíku (Hall 1998).



Obrázek 1 Strukturní vzorec glycinu (Sigma-Aldrich 2025)

Při hydroponickém pěstování se glycin prokázal jako vhodný zdroj dusíku. Produkce biomasy a obsahu chlorofylu v listech ve srovnání s ošetřením amonnými a dusičnanovými hnojivy byla vyšší díky snazšímu příjmu dusíku, kořenové ploše a aktivitě. Rostliny ošetřené glycinem měly také vyšší obsah rozpustných bílkovin, cukrů a prolinu, stejně jako zvýšenou aktivitu antioxidantních enzymů, které pomáhaly chránit rostliny před poškozením chladem. Ošetření glycinem zlepšilo stomatární vodivost a efektivitu fotosyntézy (Xiaochuang et al. 2017).

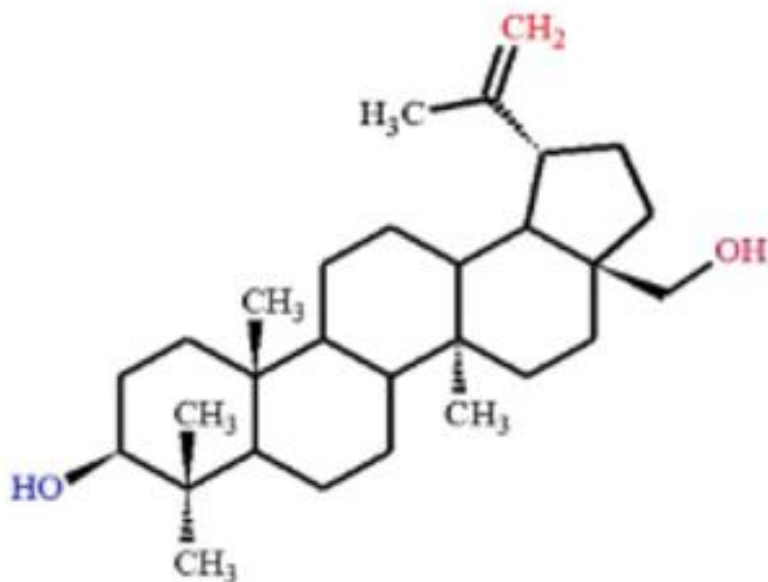
Priming semen glycin-betainem zvyšuje toleranci vůči stresu u různých rostlin během fáze klíčení a růstu sazenic, například při suchu, zasolení a nízkých teplotách (5 a 10 °C pod optimální teplotou klíčení). Výsledky ukazují, že účinnost primingu závisí na konkrétním druhu rostliny, koncentraci a typu stresového faktoru (Zhang et al. 2014).

3.5 Kyselina betulinová

Přírodně se vyskytující pentacyklický triterpenoid, u kterého bylo prokázáno, že vykazuje různé biologické aktivity, včetně inhibice lidského imunodeficitního viru (HIV), antibakteriálních, antimalarických, protizánětlivých a antioxidačních vlastností (Yogeeswari

& Sriram 2005). Kyselina betulinová (3β -hydroxy-lupan-20(29)-en-28-ová), viz Obrázek 2, je jedním z derivátů betulinu a vzniká jeho oxidací (Hordyjewska et al. 2019).

Betulin a kyselina betulinová jsou prakticky nerozpustné ve vodním prostředí. Struktury obou sloučenin jdou ale upravit přeměnou na mono a disubstituované estery L-aminokyselin. Tím se dosáhne lepší rozpustnosti ve vodě, aniž by se ztrácely dříve pozorované medicínální vlastnosti (Drag-Zalesinska et al. 2009).

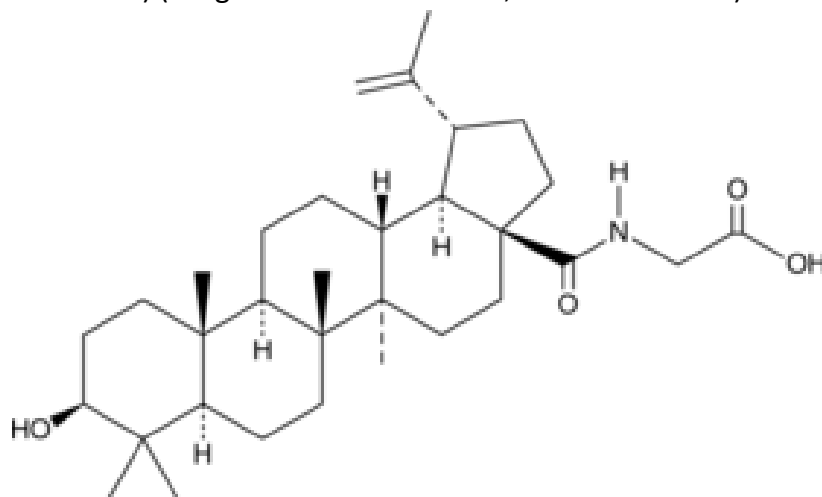


Obrázek 2 Strukturní vzorec kyseliny betulinové (Adepoju et al. 2023)

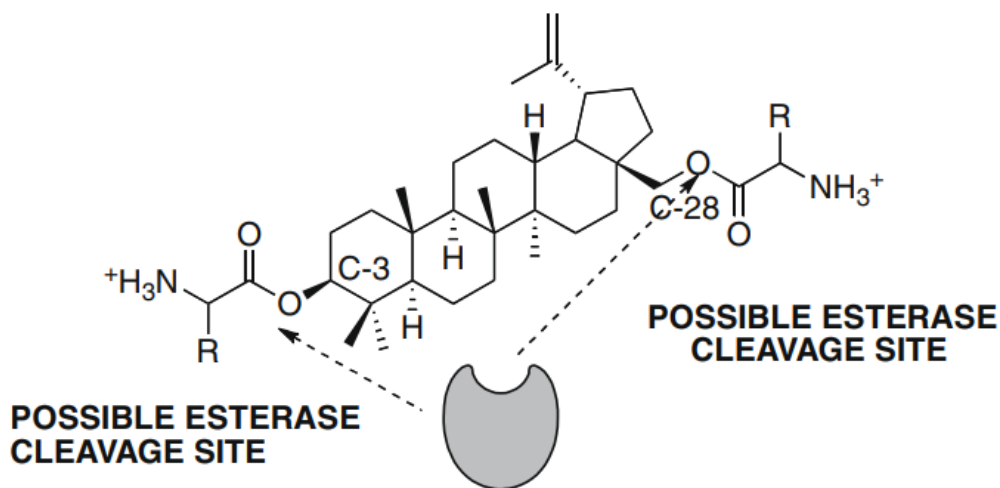
3.6 Glycin-betulin

Glycin-betulin je poměrně nově zkoumaná látka, a tudíž k ní chybí vědecká literatura. V diplomové práci B. Tunklová (2020) zkoumala toxicitu a vliv primingu glycin-betulinem na klíčení rostlin v podmínkách zasolení a sucha. Aplikace glycin-betulinu v tomto pokusu pozitivně ovlivnila klíčení a růst rostlin ve stresových podmínkách.

Glycin-betulin se vyskytuje ve dvou formách, a to v amidové (viz Obrázek 3) a esterové (viz Obrázek 4) (Drag-Zalesnika et al. 2009; Evers et al. 1996).



Obrázek 3 Strukturální vzorec amidové formy glycin-betulinu (Evers et al. 1996)



R = side chain of the amino acid

Obrázek 4 Strukturální vzorec esterové formy glycin-betulinu (Drag-Zalesinska et al. 2009)

4 Metodika

V diplomové práci byl sledován vliv různých koncentrací hydro-primingu glycin-betulinem u semen brokolice pěstované jako microgreens ve dvou světelných režimech. Sledovány byly výnosové (čerstvá hmotnost a sušina 15 rostlin, absolutní sušina, délka hypokotylu) a obsahové látky (NO_3^- , K^+ , Na^+ , chlorofyly, karotenoidy, malondialdehyd, rozpustné cukry). Pokus probíhal na České zemědělské univerzitě v Praze v budově Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů.

4.1 Rostlinný materiál

HTS: 3,555 g

Čistota: 100 %

Klíčivost: 89 %

Druh: *Brassica oleracea* convar (Brokolice raná)

Odrůda: Limba

Kategorie: standardní osivo

Dodavatel: Moravoseed CZ s.r.o.

Popis:

Raná odrůda, tvořící středně velké zelené růžice s jemnou zrnitostí, určená pro přímý konzum, průmyslové zpracování i krátkodobé skladování. Kromě centrální růžice vytváří i menší růžice z bočních výhonů. Má dobrou odolnost proti vybíhání. Je vhodná zejména pro letní a podzimní sklizně. Vegetační doba od výsadby je 65-75 dnů podle způsobu pěstování. Doporučený spon je 60 x 50 cm (Moravoseed CZ s.r.o. 2025).



Obrázek 5 Brokolice raná odrůda Limba (Moravoseed CZ s.r.o. 2025)

4.2 Vedení pokusu

Pro pokus byly používány misky o rozměrech 12x17x3,5 cm, které měly proděravěné dno a podmisku. Na každou misku bylo připraveno 2,5 g osiva (váženo před hydro-primingem), to odpovídá hustotě setí 3,44 semen na cm², při HTS 3,55 g.

Hydro-priming probíhal v kádinkách po dobu 12 hodin ve 100 ml destilované vody s přidavkem glycin-betulinu o koncentracích 0 %, 0,1 %, 0,5 % a 1 %. Po uplynutí 12 hodin bylo osivo rozloženo na filtrační papír na 2 hodiny, aby oschlo a následně bylo rozděleno na stejné díly.

Pěstovalo se v přisetém Hoštickém univerzálním zahradnickém substrátu od výrobce Forestina. **Chemické a fyzikální vlastnosti substrátu:** vlhkost max. 65 %; spalitelné látky ve vysušeném vzorku min. 40 %; hodnota pH (vodní výluh) 5,0 až 7,0; částice nad 20 mm max. 10 %; elektrická vodivost v mS·cm⁻¹ max. 1,2 (ve vodním výluhu 1w:25v). **Obsah rizikových prvků splňuje zákonem stanovené limity v mg/kg sušiny:** kadmium 1, olovo 100, rtuť 1,0; arsen 20, chrom 100, měď 100, molybden 5, nikl 50, zinek 300.

Substrát byl rozprostřen do plastových misek, kde na každou krabičku bylo využito 110 g před výsevem a 15 g substrátu po výsevu na překrytí semen viz Obrázek 6.

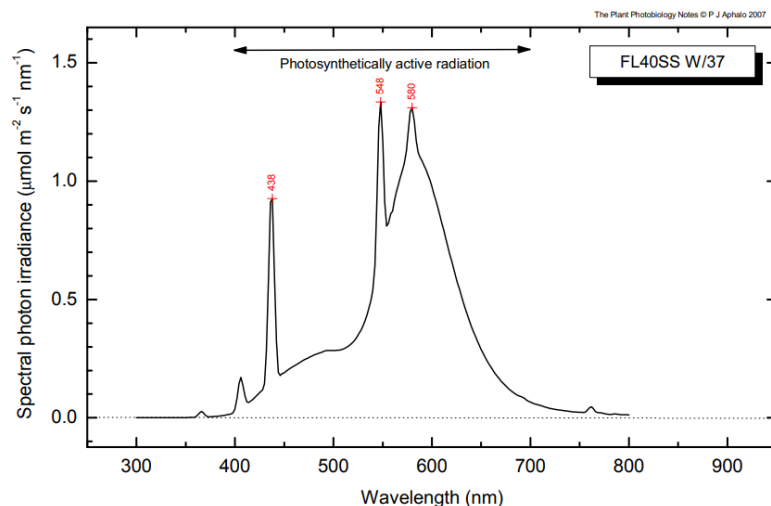


Obrázek 6 Oseté misky připravené k vložení do komory

Substrát byl zalit 100 ml destilované vody a následně do něj bylo vyseto osivo. Osivo bylo seto ručně tak, aby bylo rovnoměrně rozložené.

Připravené misky byly vloženy do dvou pěstebních komor značky Sanyo, model MLR-350. V komorách byly misky rozloženy tak, aby kolem nich mohl proudit vzduch a aby byly rovnoměrně osvětlené.

V jedné komoře byl nastaven světelný režim neustálého osvětlení při teplotě 23 °C a ve druhé 12 hodin světlo při teplotě 23 °C a 12 hodin tma při 18 °C, při intenzitě fotosynteticky aktivního světla $200 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ se světelným spektrem viz Obrázek 7. Pro každou kombinaci světelného režimu a koncentrace ošetření bylo 5 opakování.



Obrázek 7 Světelné spektrum lampy (Aphalo 2007)

Rostliny byly zality 100 ml destilované vody do spodní misky 4., 7., 8., 9. a 10. den, kde první den je den založení pokusu. Vždy byly zality všechny krabičky a v případě potřeby byla zálivka o cca 10 ml upravena, jelikož byly rozdíly mezi retencí vody mezi jednotlivými krabičkami.

Rostliny byly kontrolovány na přítomnost pravého listu a když se 11. den objevil náznak jeho založení u většiny rostlin, tak se zahájilo vyhodnocení výsledků. Na Obrázku 8 je fotografie rostlin v pěstební komoře s fotoperiodou 12 hodin, v den vyhodnocení.



Obrázek 8 Rostliny 12h v den sklizně v pěstební komoře

4.3 Použité metody a vybavení

4.3.1 Výnosové parametry

Nejprve byla měřena pomocí pravítka délka hypokotylu, kde pro každou variantu a opakování bylo použito 15 rostlin. Z každé se vybralo 15 náhodných rostlin tak, že se podélně rozpůlil prorostlý substrát a z místa rozpůlení byly náhodně vybrány rostliny, mimo rostliny, které byly v blízkosti okraje krabíčky, aby se zamezil okrajový efekt.

Podobným způsobem se odebralo dalších 15 rostlin (pouze nadzemní část), které se zvážily s přesností na 2 desetinná místa a následně byly uloženy do misek k sušení. Byla u nich zvážena sušina a vypočítána průměrná absolutní hodnota pro každou variantu dle vzorce:

$$\text{Absolutní sušina [\%]} = (m_{\text{čerstvá}}/m_{\text{sušina}}) \times 100$$

4.3.2 Obsah iontů

Pro stanovení obsahu vybraných iontů v rostlinných šťávách byly použity přenosné kapesní iontově selektivní měřiče LAQUAtwin (Horiba, Japonsko), konkrétně modely pro stanovení K^+ , Na^+ a NO_3^- . Tyto přístroje umožňují rychlé kvantitativní měření malého objemu vzorku (pouze několik kapek), což je výhodné zejména při práci v terénu. Měření probíhalo na šťávách z čerstvého rostlinného materiálu, získaných odšťavněním. Vzorek byl aplikován přímo na senzor přístroje a výsledek byl odečten po stabilizaci hodnoty. Před každou sérií měření byly přístroje kalibrovány pomocí standardních roztoků daného iontu ve dvou nebo třech koncentracích, jak doporučuje výrobce. Měřiče LAQUAtwin umožňují také automatickou teplotní kompenzaci, čímž se zvyšuje přesnost stanovení i v proměnlivých podmínkách prostředí.

4.3.3 Rozpustné cukry

Pro stanovení refrakčního indexu šťávy z rostlinného materiálu byl použit ruční digitální refraktometr DR 301-95 (Krüss Optronic, Německo). Tento přístroj umožňuje rychlé a přesné měření rozpustných sušin, vyjádřených v jednotkách °Bx. Na měřicí hranol refraktometru bylo naneseno několik kapek čisté šťávy, získané odšťavněním, a po uzavření víčka byl okamžitě zaznamenán výsledek. Přístroj provádí automatickou teplotní kompenzaci, což minimalizuje vliv aktuální teploty prostředí na přesnost měření. Před každým měřením byl refraktometr kalibrován destilovanou vodou dle doporučení výrobce.

4.3.4 Fotosynteticky aktivní barviva

Měření obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů je možno stanovit metodami destruktivními i nedestruktivními. V našem pokusu byla použita metoda destruktivní, kde je využíván přechod pigmentu do roztoku a následné proměření vzniklého roztoku na spektrofotometru, v našem případě UV-Vis (Evolution 210, Thermo Scientific).

Obsah fotosynteticky aktivních pigmentů byl stanovován na základě metodických postupů dle Porra et al. (2002), kdy z dostatečného množství listu byly korkovrtem vyseknuty terčíky o definované ploše. Jednotlivé terčíky byly vloženy do zkumavek typ Eppendorf s extrakčním činidlem dimethylformamidu (N, N – dimethylu kyseliny mravenčí). Zkumavky byly umístěny ve tmě při teplotě 4 °C po dobu 24 hodin. Následně byly třepány po dobu 1 hodiny z důvodu vytřepání zbytku nepřešlých pigmentů do objemu extraktu. Nakonec byla stanovena absorbance při 480; 646,8; 663,8 a 710 nm. Z absorpčních hodnot byla podle rovnic níže dopočítávána množství jednotlivých chlorofylu a, b a celkových karotenoidů.

Rovnice pro výpočet chlorofylu *a*: $\text{Chl } a = 12,0 \times A_{663,8} - 3,11 \times A_{646,8}$

Rovnice pro výpočet chlorofylu *b*: $\text{Chl } b = 20,78 \times A_{646,8} - 4,88 \times A_{663,8}$

Rovnice pro výpočet celkového chlorofylu: $\text{Chl } a + b = 7,12 \times A_{663,8} + 17,67 \times A_{646,8}$

Rovnice pro výpočet karotenoidů: $\text{Car}_{x+c} = (1000 \times A_{480} - 1,12 \text{ Chl } a - 34,07 \text{ Chl } b) / 245$

4.3.5 Stanovení MDA

Obsah malondialdehydu (MDA) se obvykle stanovuje reakcí s kyselinou thiobarbiturovou v kyselém prostředí. Je měřen na základě modifikované metody dle Heath and Packer (1968).

V tekutém dusíku zmražený rostlinný materiál o navážce 0,5g byl homogenizován a smíchán s 80 % etanolem. Po uplynulé době nezbytné k extrakci MDA byl výsledný roztok filtrován a výsledný filtrát rozpipetován po dvou 0,7ml variantách do mikrocentrifugačních zkumavek. Alikvoty 0,7 ml každého filtrátu byly smíchány s 0,7 ml 0,65 % TBA v 20 % TCA (kyselina trichloroctová) a 0,01 % BHT (butylovaný hydroxytoluen) a druhá sada 0,7 ml vzorků byla smíchána s 0,7 ml 20 % TCA a 0,01 % BHT. Mikrocentrifugační zkumavky byly inkubovány při 95 °C po dobu 25 minut a po ochlazení byly odstředovány po dobu 5 minut při 6000 ot./min. Absorbance při 440 nm, 532 nm a 600 nm byla odečtena na UV-Vis spektrofotometru (Evolution 210, Thermo Scientific) a koncentrace MDA (nmol g⁻¹ FW) byla vypočtena pomocí upravené rovnice Heath a Packera (1968).

5 Výsledky

V následujících grafech jsou výsledky pokusů. Na ose x jsou vyneseny koncentrace roztoku použitého při hydro-primingu semen. K vyhodnocení statistických výsledků byly použity programy STATISTICA 12. Jako metoda byla zvolena vícefaktorová ANOVA a Fisherův LSD test. Stanovená hladina významnosti byla $\alpha = 0,05$. Nad jednotlivými sloupci jsou znázorněny podobnosti písmeny. Na ose y je sledovaný parametr a na ose x koncentrace roztoku glycinbetulinu použitého pro priming. Modře (1. sloupec) jsou znázorněny hodnoty pro varianty s 12hodinovou světelnou periodou (dále jen 12h) a oranžově (2. sloupec) pro varianty s 24hodinovou světelnou periodou (dále jen 24h). Grafy vyobrazují průměrné hodnoty pro dané sledování se směrodatnou odchylkou.

5.1 Čerstvá hmotnost

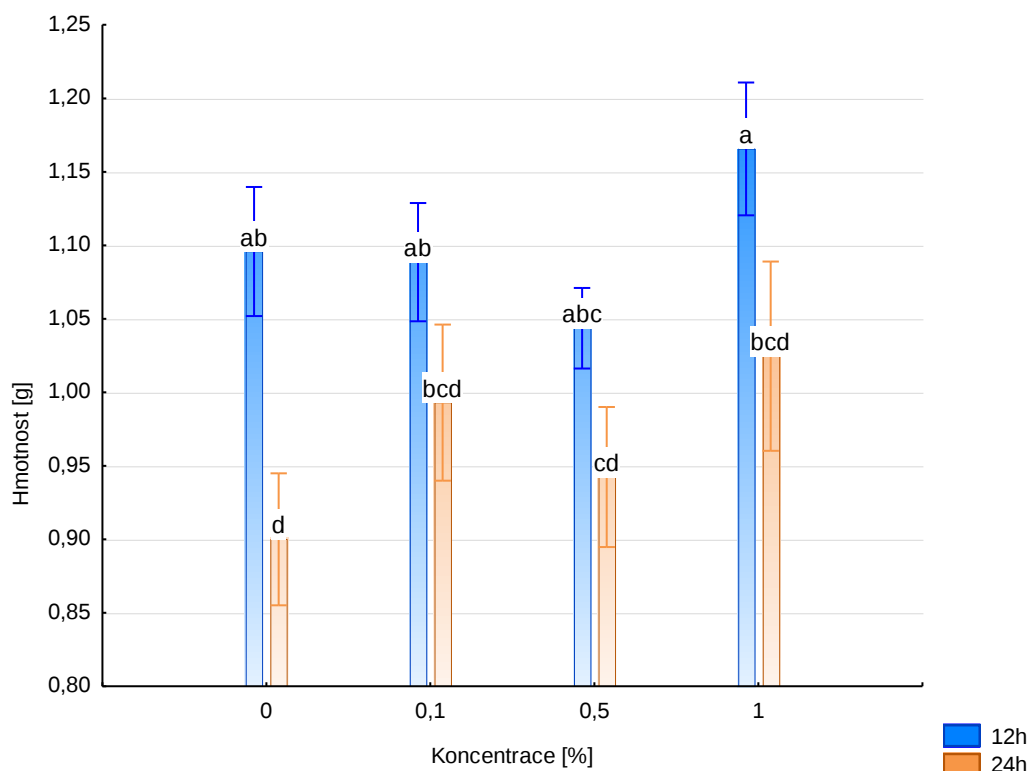
Obrázek 9 znázorňuje průměrné výsledky měření čerstvé hmoty 15 rostlin ve dvou světelných režimech 12h a 24h o čtyřech různých koncentracích primingu 0 %, 0,1 %, 0,5 % a 1 %. Z grafu je patrné, že 12h rostliny vykazovaly vyšší průměrnou hmotnost ve srovnání s 24h rostlinami a nižší variabilitu výsledků v rámci jedné varianty.

Nejnižší průměrná hmotnost pro 12h byla pozorována u rostlin s 0,5% koncentrací, kde dosáhla hodnoty 1,04 g, a nejvyšší byla naměřena u rostlin u 1% koncentrace s hodnotou 1,17 g. Nejnižší průměrná hmotnost pro 24h byla naměřena u kontrolní varianty s hmotností 0,9 g a nejvyšší u 1% koncentrace, kde činila 1,02 g. Oba světelné režimy tedy dosahovaly nejvyšších výsledků při koncentraci 1 %, kde 12h měla o 14,71 % vyšší průměrnou hmotnost než 24h. Celkově nejvyšší průměrná hmotnost (1 %, 24h, 1,17 g) byla o 30 % vyšší než nejnižší průměrná hmotnost (kontrola, 24h, 0,9 g). Nejnižší dosažený průměr pro 12h (1,04 g) je vyšší než nejvyšší pro 24h (1,02 g).

Celkový trend pro 12h není zřetelný, při koncentraci 0,5 % dochází k poklesu hodnot. Při koncentraci 1 % naopak průměrná hodnota převyšuje všechny ostatní varianty. Mezi jednotlivými variantami 12h však není statisticky významný rozdíl.

Pro 24h též není trend zřetelný, ošetřené varianty však mají vyšší průměrné hodnoty než kontrola. U 24h 0,5% koncentrace je oproti variantám 0,1 % a 1 % propad. Mezi jednotlivými 24h variantami však nejsou statisticky významné rozdíly.

Společným znakem pro 12h a 24h je propad hodnot u 0,5 % a následný nárůst u 1 %. U 0,1 % a 0,5 % nejsou statisticky významné rozdíly mezi 12h a 24h, u kontroly a 1 % jsou statisticky významné rozdíly mezi 12h a 24h.



Obrázek 9 Graf čerstvé hmotnosti 15 rostlin

5.2 Sušina

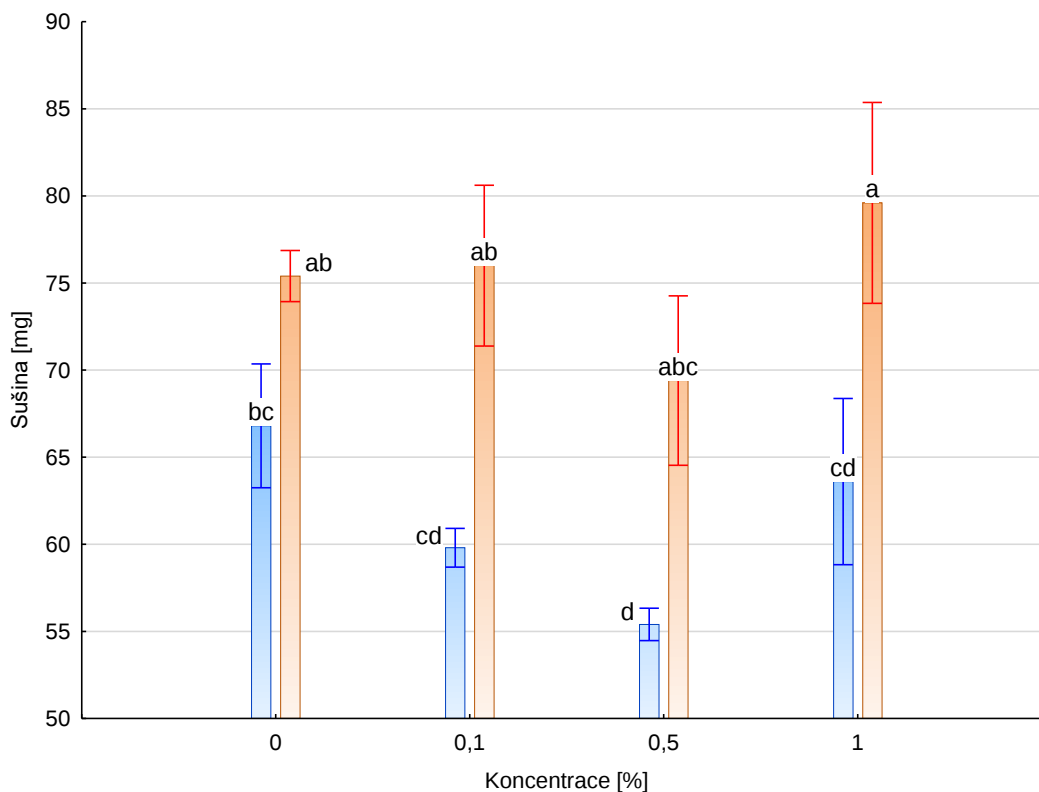
Obrázek 10 znázorňuje průměrné výsledky měření sušiny 15 rostlin ve dvou světelných režimech 12h a 24h o čtyřech různých koncentracích primingu 0 %, 0,1 %, 0,5 % a 1 %. Z grafu je patrné, že 24h rostliny vykazovaly vyšší průměrnou hmotnost ve srovnání s 12h rostlinami.

Nejnižší průměrná hmotnost pro 12h byla pozorována u rostlin s 0,5% koncentrací, kde dosáhla hodnoty 55,4 mg, a nejvyšší byla naměřena u kontroly s hodnotou 66,8 mg. Nejvyšší průměrná hmotnost pro 24h byla naměřena u 0,5 % s průměrnou hmotností 69,4 mg a nejvyšší u 1% koncentrace, kde činila 79,6 mg. Nejvyšší naměřená průměrná hmotnost pro 24h byla o 19,16 % vyšší než u 12h. Celkově nejvyšší průměrná hmotnost (1 %, 24h, 79,6 mg) byla o 43,64 % vyšší než nejnižší průměr (0,5 %, 12h, 55,4 mg). Nejnižší dosažený průměr pro 24h (69,4 mg) je vyšší než nejvyšší pro 12h (66,8 mg).

Pro 12h je trendem pokles průměrných hodnot oproti kontrole. U 0,1 % a 0,5 % s rostoucí koncentrací hmotnost sušiny klesá, vzápětí však při 1% koncentraci vzrůstá a převyšuje předešlé varianty až na kontrolu. Pro 12h je statisticky významný rozdíl pouze mezi kontrolou a 0,5 %, jinak výsledky mezi sebou nemají významné rozdíly.

Pro 24h je zřetelné, že mají ošetřené varianty vyšší variabilitu výsledků oproti kontrole. U 24h 0,5% koncentrace je znatelný propad hodnot oproti ostatním variantám. Varianty 0,5 % a 1 % mají vyšší průměrné hodnoty než kontrola. Mezi jednotlivými 24h variantami však nejsou statisticky významné rozdíly.

Společným znakem pro 12h a 24h je propad hodnot u 0,5 % a následný nárůst u 1 %. Kontrolní varianty jsou jedinými, které mezi sebou nemají statisticky významný rozdíl, ostatní varianty pro danou koncentraci mezi sebou mají statisticky významný rozdíl.



Obrázek 10 Graf sušiny 15 rostlin

5.3 Absolutní sušina

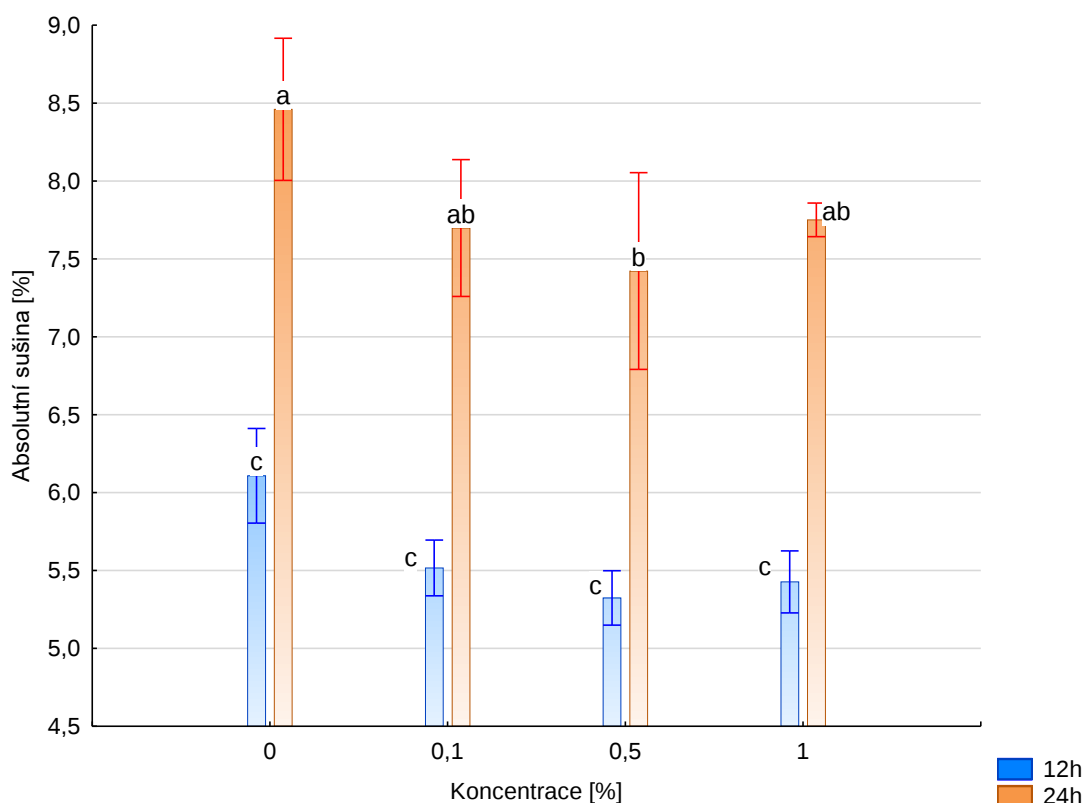
Obrázek 11 znázorňuje vypočítané hodnoty absolutní sušiny rostlin ve dvou světelných režimech 12h a 24h o čtyřech různých koncentracích primingu 0 %, 0,1 %, 0,5 % a 1 %.

Nejnižší průměrná absolutní sušina pro 12h byla pozorována u rostlin s 0,5% koncentrací, kde dosáhla hodnoty 5,32 %, a nejvyšší byla naměřena u rostlin u kontroly s hodnotou 6,11 %. Nejnižší průměrná absolutní sušina pro 24h byla naměřena u 0,5 % s průměrnou hodnotou 7,42 % a nejvyšší u kontroly, kde činila 8,46 %. Nejvyšší naměřená průměrná hmotnost pro 24h byla o 33,3 % vyšší než nejvyšší u 12h. Celkově nejvyšší průměrná absolutní sušina (kontrola, 24h, 8,46 %) byla o 60 % vyšší než nejnižší naměřený průměr (0,5 %, 12h, 5,32 %). Nejnižší dosažený průměr pro 24h (7,42 %) je vyšší než nejvyšší pro 12h (6,11 %).

Pro 12h je patrné, že jsou hodnoty ošetřených variant nižší než kontrola. U 0,5 % je propad hodnot oproti ostatním ošetřeným variantám. Mezi jednotlivými 12h nejsou statisticky významné rozdíly.

U 24h můžeme pozorovat, že mají ošetřené varianty nižší průměrné hodnoty oproti kontrole. U 0,5% koncentrace je znatelný propad hodnot oproti ostatním ošetřeným variantám. Až na variantu 0,5 % nejsou u 24h mezi jednotlivými variantami statisticky významné rozdíly.

Společným znakem pro 12h a 24h je propad hodnot u 0,5 % a dále fakt, že si kontrolní varianty vedly lépe než ošetřené. V rámci jednotlivých koncentrací mezi sebou varianty 12h a 24h mají statisticky významný rozdíl u všech variant.



Obrázek 11 Graf absolutní sušiny

5.1 Délka hypokotylu

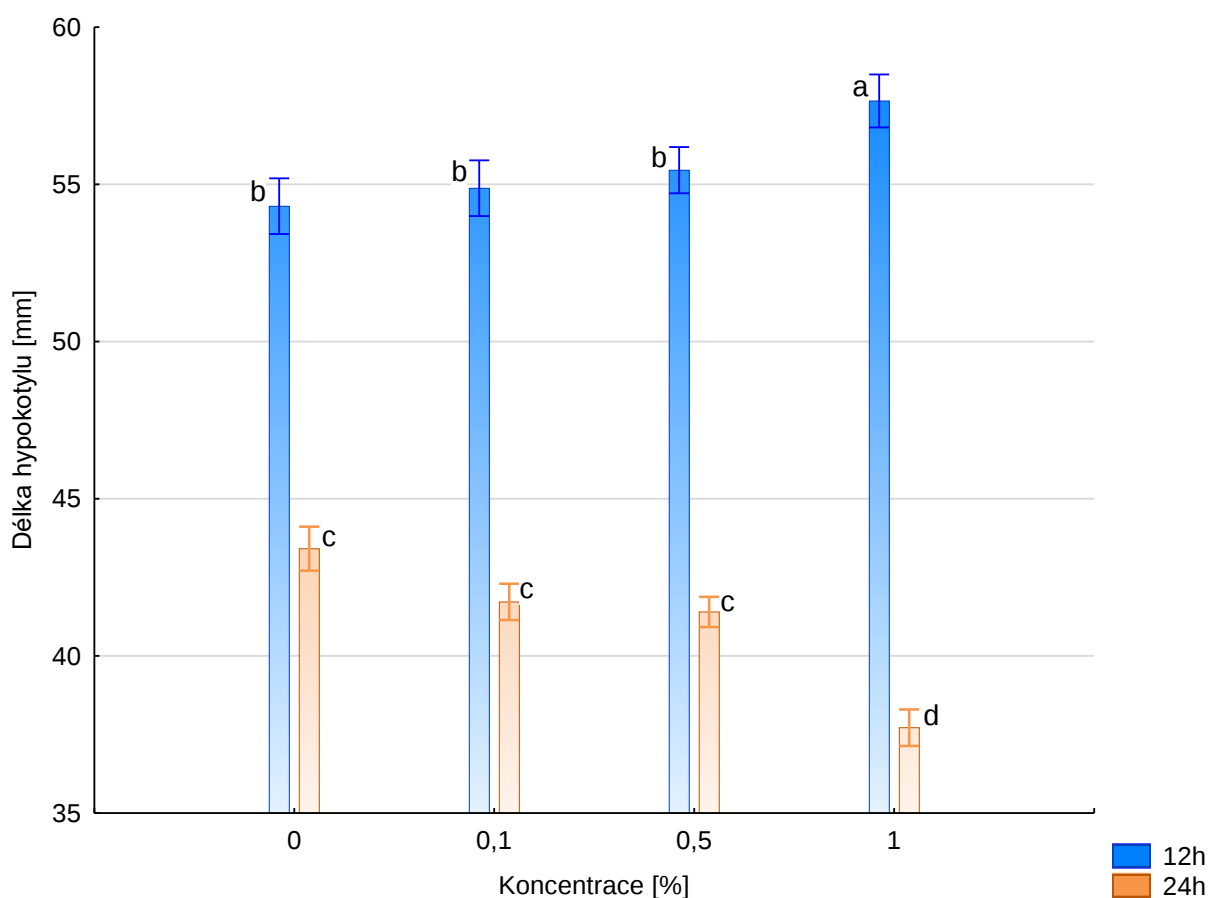
Obrázek 12 znázorňuje průměrné výsledky měření délky hypokotylu rostlin ve dvou světelných režimech 12h a 24h o čtyřech různých koncentracích primingu 0 %, 0,1 %, 0,5 % a 1 %. Z grafu je patrné, že 12h rostliny vykazovaly větší průměrnou délku ve srovnání s 24h rostlinami.

Nejnižší průměrná délka hypokotylu pro 12h byla pozorována u kontrolních rostlin, kde dosáhla hodnoty 54,31 mm, a nejvyšší byla naměřena u rostlin u 1% koncentrace s hodnotou 57,65 mm. Nejnižší průměrná délka pro 24h byla naměřena u 1 % s délkou 37,72 mm a nejvyšší u kontroly, kde činila 43,41 mm. Nejvyšší naměřená průměrná délka pro 12h byla o 33,11 % vyšší než nejvyšší u 24h. Celkově nejvyšší průměrná délka (1 %, 12h, 57,65 mm) byla o 52,84 % vyšší než nejnižší naměřená průměrná délka (1 %, 24h, 37,72 mm). Nejnižší dosažený průměr pro 12h (1,04 g) je vyšší než nejvyšší pro 24h (1,02 g).

Celkový trend pro 12h je nárůst průměrné délky hypokotylu s rostoucí koncentrací primingu. Mezi jednotlivými variantami 12h není statisticky významný rozdíl až na 1 %.

Pro 24h je trend naopak snižování průměrné délky s rostoucí koncentrací ošetření. Mezi jednotlivými koncentracemi 24h nejsou statisticky významné rozdíly až na 1 %.

Trendy pro 12h a 24h jsou tedy opačné, kde koncentrace primingu u 12h růst podporuje a pro 24h potlačuje. V rámci jednotlivých koncentrací mezi sebou varianty 12h a 24h mají statisticky významný rozdíl u všech variant.



Obrázek 12 Graf průměrných délek hypokotylu

5.2 Koncentrace NO_3^-

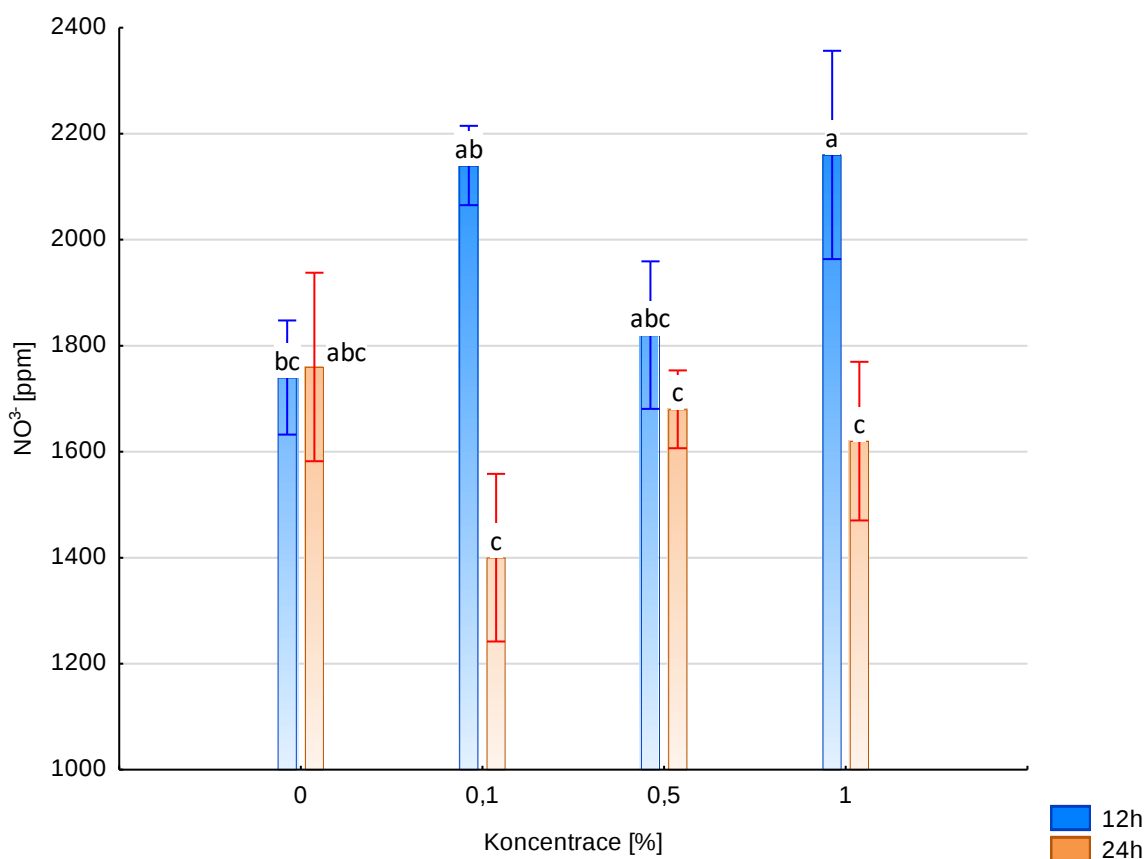
Obrázek 13 znázorňuje naměřené množství NO_3^- v rostlinné šťávě ve dvou světelných režimech 12h a 24h o čtyřech různých koncentracích primingu 0 %, 0,1 %, 0,5 % a 1 %. Z grafu je patrné, že jsou hodnoty 12h pozitivně ovlivněné ošetřením oproti hodnotám 24h.

Nejnižší průměrné množství NO_3^- pro 12h bylo pozorováno u kontroly, kde dosáhlo hodnoty 1740 ppm, a nejvyšší bylo naměřeno u 1 % rostlin s hodnotou 2160 ppm. Nejnižší průměrné množství NO_3^- pro 24h bylo naměřeno u 0,1 % s průměrnou hodnotou 1400 ppm a nejvyšší u kontroly, kde činilo 1760 ppm. Nejvyšší naměřené průměrné množství NO_3^- pro 12h bylo o 22,73 % vyšší než nejvyšší u 24h. Celkově nejvyšší průměr (1 %, 12h, 2160 ppm) byl o 54,29 % vyšší než nejnižší naměřený průměr (0,1 %, 24h, 1400 ppm).

Pro 12h je patrné, že jsou hodnoty ošetřených variant vyšší než kontrola. U 0,5 % je propad hodnot oproti ostatním ošetřeným variantám. Mezi jednotlivými ošetřeními 12h nejsou statisticky významné rozdíly, 1 % však má statisticky významný rozdíl od kontroly.

U 24h můžeme pozorovat, že ošetřené varianty mají nižší průměrné hodnoty oproti kontrole. Vyšší koncentrace si vedou lépe než 0,1%. Mezi jednotlivými variantami není statisticky významný rozdíl.

Ošetření mělo na 12h a 24h opačný účinek, pro 12h byl stimulativní a pro 24h inhibující. V rámci jednotlivých koncentrací mezi sebou varianty 12h a 24h mají statisticky významný rozdíl u koncentrací 0,1 % a 1 %.



Obrázek 13 Graf koncentrace NO_3^-

5.3 Koncentrace K⁺

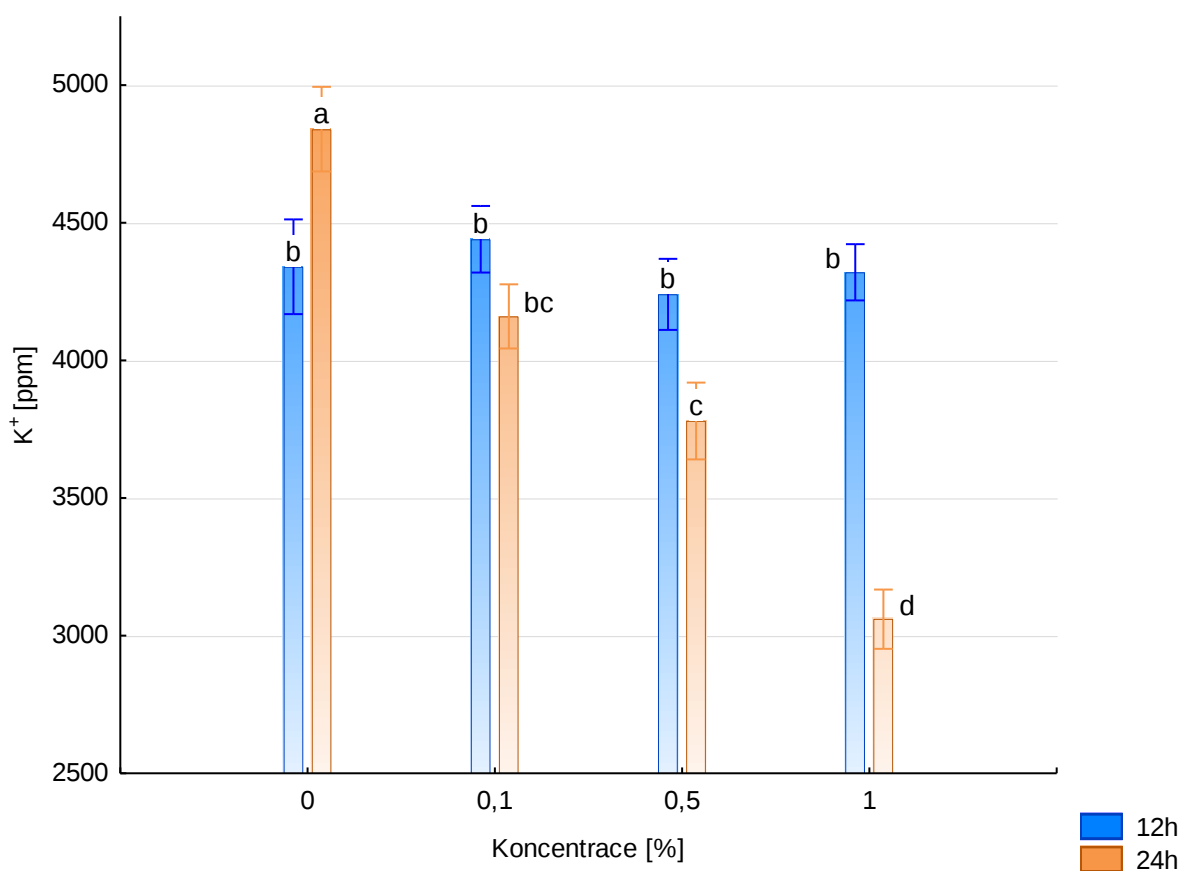
Obrázek 14 znázorňuje naměřené množství K⁺ v rostlinné šťávě ve dvou světelných režimech 12h a 24h o čtyřech různých koncentracích primingu 0 %, 0,1 %, 0,5 % a 1 %. Z grafu je patrné, že 24h rostliny reagovaly jinak než 12h.

Nejnižší průměrné množství K⁺ pro 12h bylo pozorováno u 0,5 %, kde dosáhlo hodnoty 4240 ppm, a nejvyšší bylo naměřeno u 0,1 % rostlin s hodnotou 4440 ppm. Nejnižší průměrné množství K⁺ pro 24h bylo naměřeno u 1 % s průměrnou hodnotou 3060 ppm a nejvyšší u kontroly, kde činilo 4840 ppm. Nejvyšší naměřené průměrné množství K⁺ pro 24h bylo o 9,01 % vyšší než nejvyšší u 12h. Celkově nejvyšší průměr (kontrola, 24h, 4840 ppm) byl o 58,17 % vyšší než nejnižší naměřený průměr (1 %, 24h, 3060 ppm).

Pro 12h je patrné, že hodnoty nejsou ovlivněny koncentrací ošetření, mezi jednotlivými ošetřeními 12h nejsou statisticky významné rozdíly.

U 24h můžeme pozorovat pokles průměrných hodnot se zvyšující koncentrací primingu. Mezi koncentracemi 0,1 % a 0,5 % není statisticky významný rozdíl.

Ošetření mělo na 12h a 24h různý účinek, pro 12h nebyly hodnoty ovlivněny, zatímco u 24 hodin byly ovlivněny významně. V rámci jednotlivých koncentrací mezi sebou varianty 12h a 24h nemají statisticky významný rozdíl pouze u 0,1 %.



Obrázek 14 Graf koncentrace K⁺

5.4 Koncentrace Na⁺

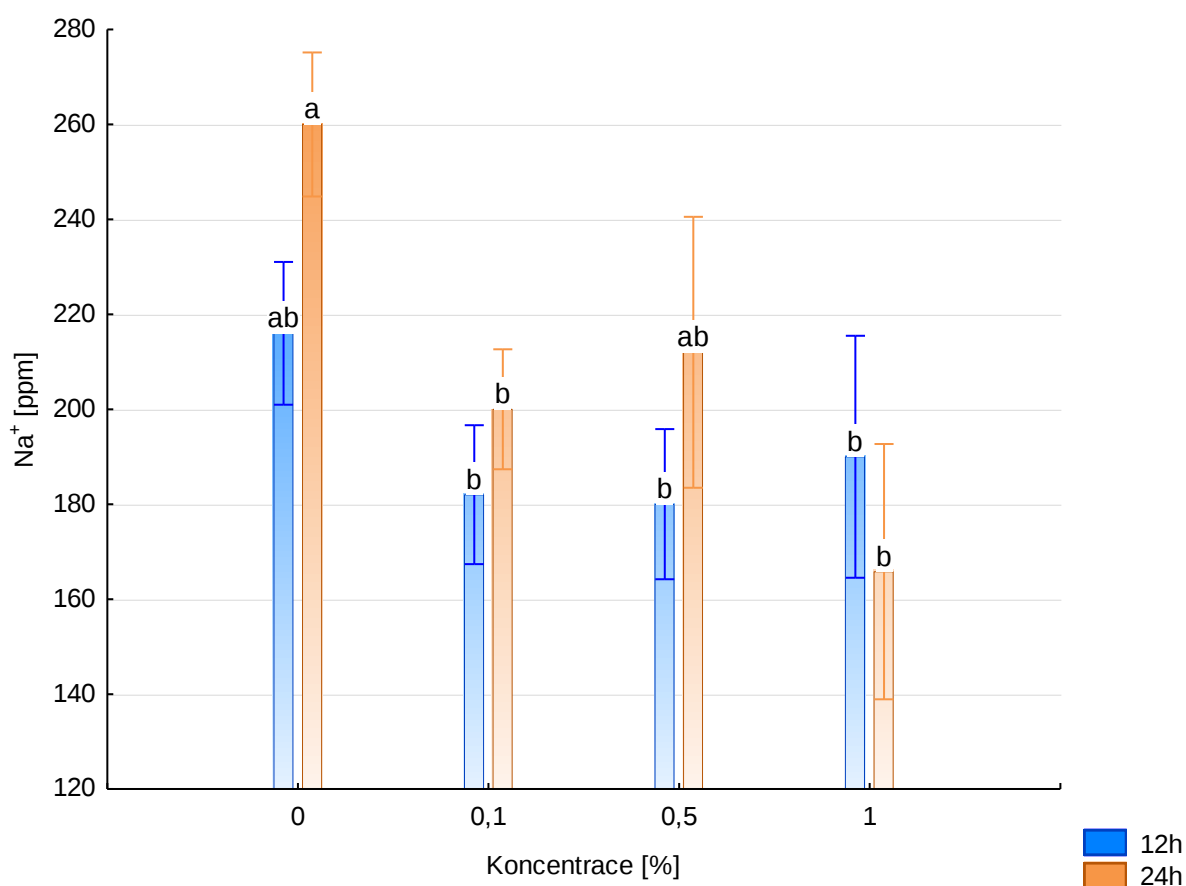
Obrázek 15 znázorňuje naměřené množství Na⁺ v rostlinné šťávě ve dvou světelných režimech 12h a 24h o čtyřech různých koncentracích primingu 0 %, 0,1 %, 0,5 % a 1 %. Hodnoty mají relativně vysokou směrodatnou chybu.

Nejnižší průměrné množství Na⁺ pro 12h bylo pozorováno u 0,5 %, kde dosáhlo hodnoty 180 ppm, a nejvyšší bylo naměřeno u kontrolních rostlin s hodnotou 216 ppm. Nejnižší průměrné množství Na⁺ pro 24h bylo naměřeno u 1 % s průměrnou hodnotou 165 ppm a nejvyšší u kontroly, kde činilo 260 ppm. Nejvyšší naměřené průměrné množství Na⁺ pro 24h bylo o 20,37 % vyšší než nejvyšší u 12h. Celkově nejvyšší průměr (kontrola, 24h, 260 ppm) byl o 57,58 % vyšší než nejnižší naměřený průměr (1 %, 24h, 165 ppm).

Pro 12h je patrné, že jsou hodnoty ošetřených variant nižší než kontrola. Mezi jednotlivými ošetřeními 12h nejsou statisticky významné rozdíly.

U 24h můžeme pozorovat, že ošetřené varianty mají nižší průměrné hodnoty oproti kontrole. Nižší koncentrace si vedou lépe než 1 %. Mezi ošetřeními variantami nejsou statisticky významné rozdíly, 0,1 % a 1 % však mají statisticky významný rozdíl vůči kontrole.

Ošetření mělo na 12h i na 24h negativní vliv. V rámci jednotlivých koncentrací mezi sebou varianty 12h a 24h nemají statisticky významné rozdíly.



Obrázek 15 Graf koncentrace Na⁺

5.5 Rozpustné cukry

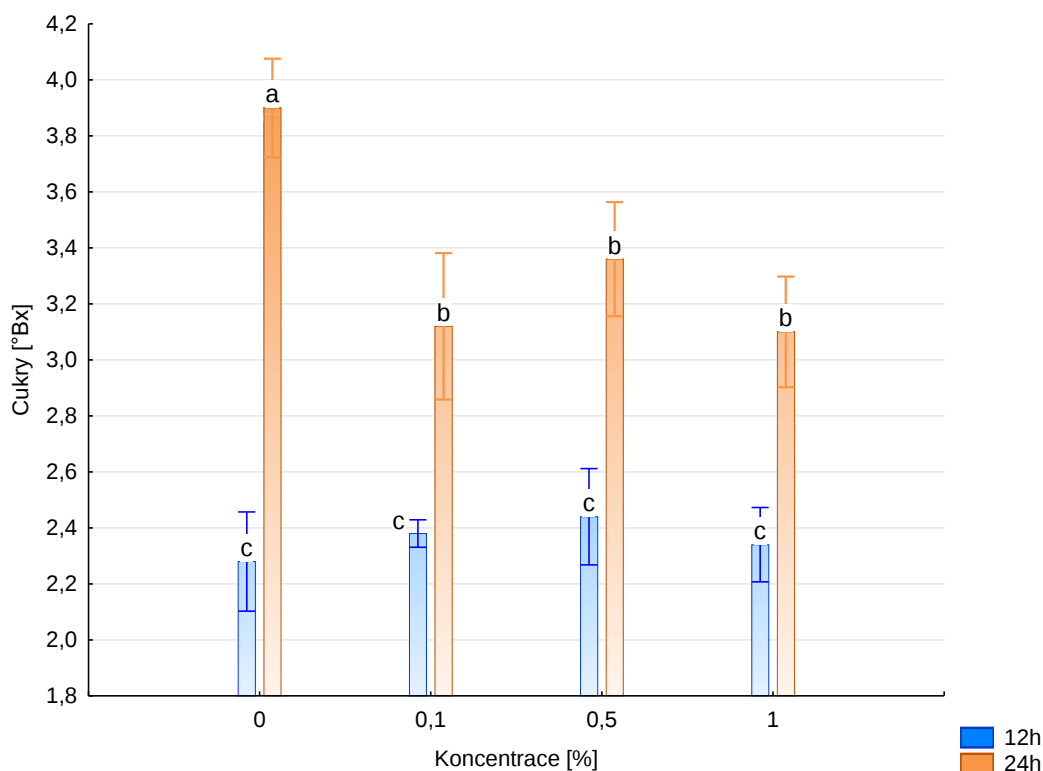
Obrázek 16 znázorňuje naměřené množství rozpustných cukrů v rostlinné šťávě ve dvou světelných režimech 12h a 24h o čtyřech různých koncentracích primingu 0 %, 0,1 %, 0,5 % a 1 %. Z grafu je patrné, že jsou průměrné hodnoty 24h vyšší než 12h.

Nejnižší průměrné množství rozpustných cukrů pro 12h bylo pozorováno u kontroly, kde dosáhlo hodnoty 2,28 °Bx, a nejvyšší bylo naměřeno u 0,5 % rostlin s hodnotou 2,44 °Bx. Nejnižší průměrné množství rozpustných cukrů pro 24h bylo naměřeno u 1 % s průměrnou hodnotou 3,1 °Bx a nejvyšší u kontroly, kde činilo 3,9 °Bx. Nejvyšší naměřené průměrné množství rozpustných cukrů pro 24h bylo o 59,84 % vyšší než nejvyšší u 12h. Celkově nejvyšší průměr (kontrola, 24h, 3,9 °Bx) byl o 71 % vyšší než nejnižší naměřený průměr (kontrola, 12h, 2,28 °Bx).

Pro 12h je patrné, že hodnoty nejsou výrazně ovlivněny koncentrací ošetření, avšak ošetřené varianty mají vyšší hodnoty než kontrola. U 0,5 % je nárůst průměrné hodnoty oproti ostatním ošetřeným variantám. Mezi jednotlivými variantami 12h nejsou statisticky významné rozdíly.

U 24h můžeme pozorovat, že ošetřené varianty mají nižší průměrné hodnoty oproti kontrole. U 0,5 % je nárůst průměrné hodnoty oproti ostatním ošetřeným variantám. Mezi jednotlivými variantami není statisticky významný rozdíl až na kontrolu, která má rozdíl od všech ostatních variant.

Ošetření mělo na 12h a 24h opačný účinek, pro 12h byl mírně stimulativní a pro 24h inhibující. Dále je patrný mírný nárůst hodnot pro obě fotoperiody u 5 %. V rámci jednotlivých koncentrací mezi sebou mají 12h a 24h statisticky významný rozdíl u všech variant.



Obrázek 16 Graf obsahu rozpustných cukrů

5.6 Celkový chlorofyl

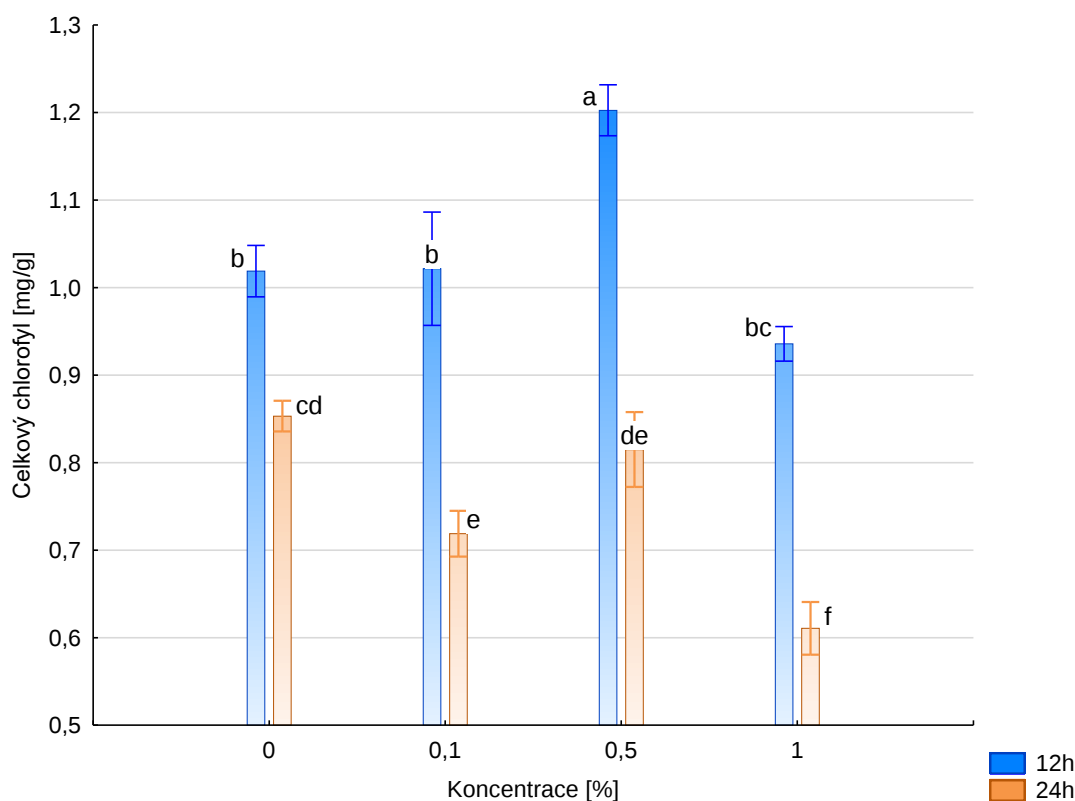
Obrázek 17 znázorňuje naměřené množství celkového chlorofylu v sušině rostlin ve dvou světelných režimech 12h a 24h o čtyřech různých koncentracích primingu 0 %, 0,1 %, 0,5 % a 1 %. Z grafu je patrné, že jsou průměrné hodnoty 12h vyšší než 24h.

Nejnižší průměrné množství chlorofylu pro 12h bylo pozorováno u 1 %, kde dosáhlo hodnoty 0,936 mg/g, a nejvyšší bylo naměřeno u 0,5 % rostlin s hodnotou 1,203 mg/g. Nejnižší průměrné množství chlorofylu pro 24h bylo naměřeno u 1 % s průměrnou hodnotou 0,611 mg/g a nejvyšší u kontroly, kde činilo 0,853 mg/g. Nejvyšší naměřené průměrné množství chlorofylu pro 12h bylo o 41,03 % vyšší než nejvyšší u 24h. Celkově nejvyšší průměr (0,5 %, 12h, 1,203 mg/g) byl o 96,89 % vyšší než nejnižší naměřený průměr (1 %, 24h, 0,611 mg/g).

Pro 12h je patrné, že hodnoty nejsou výrazně ovlivněny koncentrací ošetření až na 0,5 %, kde dochází k nárůstu. Mezi jednotlivými variantami 12h, až na 0,5 %, nejsou statisticky významné rozdíly.

U 24h můžeme pozorovat, že ošetřené varianty mají nižší průměrné hodnoty oproti kontrole. U 0,5 % je nárůst průměrné hodnoty oproti ostatním ošetřeným variantám a jako jediná nemá statisticky významný rozdíl od kontroly. Z ošetřených se statisticky liší 1 %.

Oproti 12h je u 24h znatelný útlum tvorby chlorofylu u ošetřených variant, zatímco u 12h dochází k stimulaci tvorby chlorofylu u 0,5 % a u ostatních variant není výrazný rozdíl vůči kontrole. Dále je patrný nárůst hodnot pro obě fotoperiody u 5 % oproti ostatním ošetřeným variantám. V rámci jednotlivých koncentrací mezi sebou mají 12h a 24h statisticky významný rozdíl u všech variant.



Obrázek 17 Graf množství celkového chlorofylu

5.7 Karotenoidy

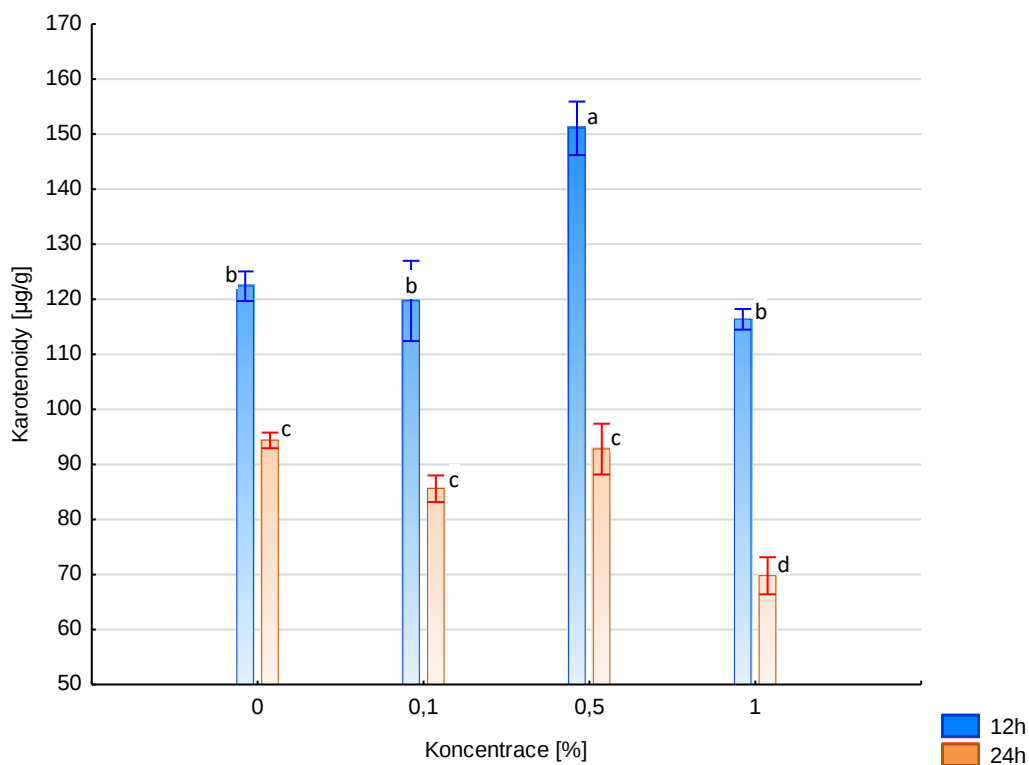
Obrázek 18 znázorňuje naměřené množství karotenoidů v sušině rostlin ve dvou světelných režimech 12h a 24h o čtyřech různých koncentracích primingu 0 %, 0,1 %, 0,5 % a 1 %. Z grafu je patrné, že jsou průměrné hodnoty 12h vyšší než 24h.

Nejnižší průměrné množství karotenoidů pro 12h bylo pozorováno u 0,1 %, kde dosáhlo hodnoty 116,34 $\mu\text{g/g}$, a nejvyšší bylo naměřeno u 0,5 % rostlin s hodnotou 151,06 $\mu\text{g/g}$. Nejnižší průměrné množství karotenoidů pro 24h bylo naměřeno u 1 % s průměrnou hodnotou 69,76 $\mu\text{g/g}$ a nejvyšší u kontroly, kde činilo 94,37 $\mu\text{g/g}$. Nejvyšší naměřené průměrné množství karotenoidů pro 12h tedy bylo o 60,07 % vyšší než nejvyšší u 24h. Celkově nejvyšší průměr (0,5 %, 12h, 151,06 $\mu\text{g/g}$) byl o 116,54 % vyšší než nejnižší naměřený průměr (1 %, 24h, 69,76 $\mu\text{g/g}$).

Pro 12h je patrné, že hodnoty nejsou výrazně ovlivněny koncentrací ošetření až na 0,5 %, kde dochází k výraznému nárůstu. Mezi jednotlivými variantami 12h, až na 0,5 %, nejsou statisticky významné rozdíly.

U 24h můžeme pozorovat, že ošetřené varianty mají nižší průměrné hodnoty oproti kontrole. U 0,5 % je nárůst průměrné hodnoty oproti ostatním ošetřeným variantám. Až na variantu 1 % mezi sebou výsledky 24h nemají statisticky významný rozdíl.

Oproti 12h je u 24h znatelný útlum tvorby karotenoidů u 0,1 % a 1 % vůči kontrole, zatímco u 12h dochází ke stimulaci tvorby karotenoidů u 0,5 % a u ostatních variant není výrazný rozdíl vůči kontrole. Dále je patrný nárůst hodnot pro obě fotoperiody o 5 % oproti ostatním ošetřeným variantám. V rámci jednotlivých koncentrací mezi sebou mají 12h a 24h statisticky významný rozdíl u všech variant.



Obrázek 18 Graf množství karotenoidů

5.8 Proxidace lipidů – stanovení malondialdehydu (MDA)

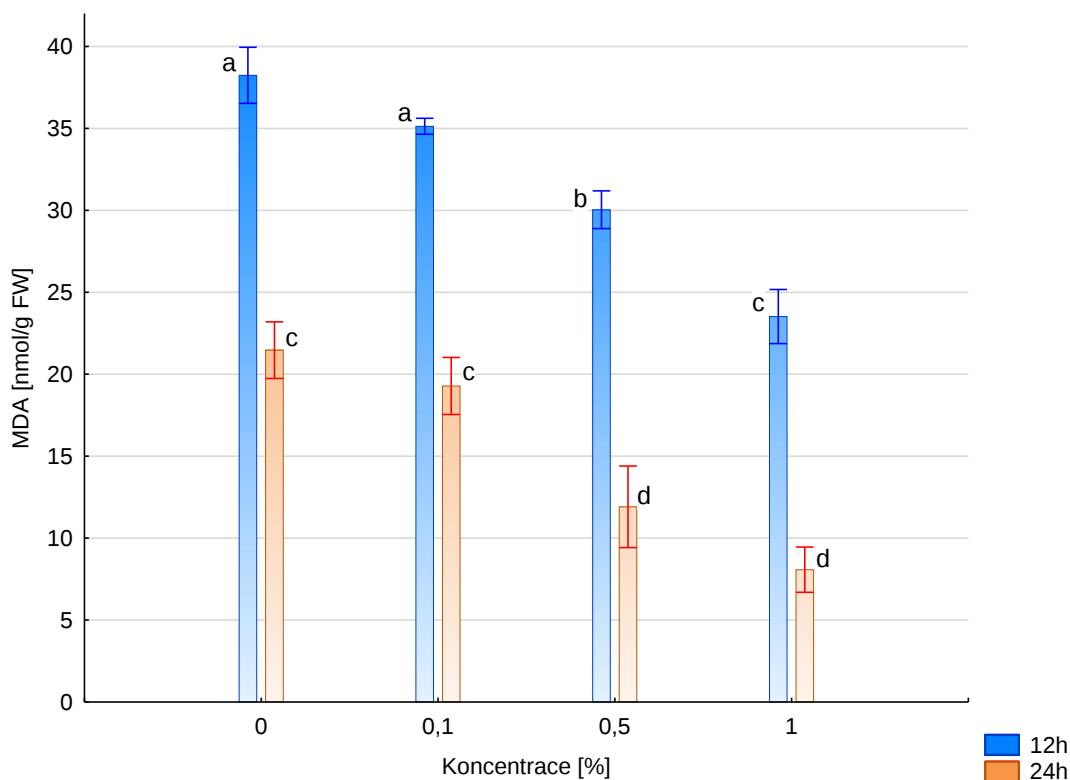
Obrázek 19 znázorňuje naměřené hodnoty peroxidace lipidů v rostlinách ve dvou světelných režimech 12h a 24h o čtyřech různých koncentracích primingu 0 %, 0,1 %, 0,5 % a 1 %. Z grafu je patrné, že jsou průměrné hodnoty 12h vyšší než 24h.

Nejnižší průměrný MDA pro 12h byl pozorován u 1 %, kde dosáhl hodnoty 23,47 nmol/g FW, a nejvyšší byl naměřen u kontrolních rostlin s hodnotou 38,24 nmol/g FW. Nejnižší průměrný MDA pro 24h byl naměřen u 1 % s průměrnou hodnotou 8,07 nmol/g FW a nejvyšší u kontroly, kde činil 21,47 nmol/g FW. Nejvyšší naměřený průměrný MDA pro 12h tedy byl o 78,11 % vyšší než nejvyšší u 24h. Celkově nejvyšší průměr (kontrola, 12h, 38,24 nmol/g FW) byl o 373,85 % vyšší než nejnižší naměřený průměr (1 %, 24h, 8,07 nmol/g FW).

Pro 12h je patrné, že hodnoty s rostoucí koncentrací rovnoměrně klesají. Mezi kontrolou a 0,1 % není statisticky významný rozdíl, mezi ostatními variantami jsou statisticky významné rozdíly.

U 24h můžeme pozorovat, že s rostoucí koncentrací klesá množství MDA. Mezi kontrolou a 0,1 % není statisticky významný rozdíl, dále není mezi 0,5 % a 1 %, přičemž tyto dvojice mezi sebou statisticky významný rozdíl mají.

Pro obě světelné periody je trendem pokles hodnot s rostoucí koncentrací primingu. V rámci jednotlivých koncentrací mezi sebou mají 12h a 24h statisticky významný rozdíl u všech variant.



Obrázek 19 Graf průměrných oxidací lipidů

6 Diskuse

V experimentu byly zkoumány vlivy světelného režimu (světelná perioda 12 hodin a 24 hodin) v kombinaci s hydro-primingem osiva roztokem s různými koncentracemi glycin-betulinu (0,1 %, 0,5 % a 1 %) na microgreens brokolice. Sledovány byly výnosové parametry, konkrétně čerstvá hmotnost, sušina a absolutní sušina. Dále se sledovaly obsahové látky, mezi které patří chlorofyl, karotenoidy, NO₃⁻, K⁺, Na⁺ a množství MDA. Vědecká literatura týkající se vlivu glycin-betulinu na tyto parametry není dostupná, a proto jsou výsledky v našem pokusu porovnávány s vlivy glycin-betainu, který má teoreticky podobné vlastnosti a mohl by tedy ovlivnit parametry podobným způsobem.

6.1 Výnosové parametry

Výsledky našeho pokusu ukazují, že rostliny s 12h světelným režimem měly vyšší čerstvou hmotnost (průkazně pouze u kontroly a 0,1% ošetření) ve srovnání s 24h. Tento výsledek se neshoduje s výsledky pokusu Shibaeva et al. (2022), kde rostliny microgreens (brokolice, mizuna, roketa, ředkvička), vystavené neustálému osvětlení, měly vyšší čerstvou hmotnost než rostliny s 16h fotoperiodou. Tento rozdíl ve výsledcích může být vysvětlen kratší fotoperiodou v našem pokusu, která vedla k průkaznému prodloužení hypokotylu, což mělo za následek vyšší akumulaci vody v pletivech rostlin. Tento poznatek může být podpořen pokusem Shibaeva et al. (2022), ve kterém měly rostliny microgreens v 24h režimu vyšší sušinu oproti kratší fotoperiodě, což odpovídá i našim výsledkům. Akumulaci vody v pletivech a vytahování rostlin při nižším osvětlení pozorovali ve svém pokusu i Samuolienė et al. (2013), kteří hodnotili vliv světla na nutriční a výnosové parametry microgreens z rodu *Brassica*. V porovnání s hodnotami uvedenými Food Data Central (2019) pro obsah vody v brokolici, jakožto zelenině, mají všechny varianty našeho pokusu vyšší absolutní sušinu neboli nižší obsah vody.

Priming jinak neměl v našem pokusu průkazný vliv na čerstvou hmotnost, pro 24h však měl pozitivní vliv u všech ošetřených variant. Toto zvýšení čerstvé hmotnosti bylo pravděpodobně způsobeno zvýšením podílu vody v pletivech, kde průměrná hodnota absolutní sušiny pro 24h kontrolní varianty byla 8,46 % a rozpětí průměrných hodnot ošetřených variant bylo 7,42 % až 7,75 %. Akumulace vody v pletivech lze pozorovat i u pokusu Ashraf & Foolad (2007), kteří ošetřovali rostliny glycin-betainem, který působí jako osmoprotektant, tudíž ovlivňuje metabolismus vody a může způsobit vyšší zastoupení vody v pletivech. Dále lze u ošetřených variant sledovat neprůkazný propad hodnot u čerstvé hmotnosti i sušiny pro koncentraci 0,5 % u obou světelných režimů, což může být způsobeno stimulací tvorby energeticky náročných produktů, jako jsou karotenoidy, chlorofyly anebo také nižším množstvím rozpustných cukrů viz níže Rozpustné cukry.

Aplikace glycin-betulinu měla vliv na délku hypokotylu, kde se pro 12h s rostoucí koncentrací prodlužovaly průměrné hodnoty a pro 24h se naopak snižovaly (statisticky prokazatelně pouze pro 1 %). Podobné snížení průměrných hodnot s rostoucí koncentrací primingu u 24h bylo pozorováno u K⁺ viz níže Obsah iontů.

6.2 Fotosynteticky aktivní barviva

Trend chlorofylu a karotenoidů byl podobný. Množství chlorofylu a karotenoidů v sušině rostlin bylo oproti 24h průkazně vyšší u 12h u všech variant. To se rozchází s výsledky Shibaeva et al. (2022), kteří ve svém pokusu sledovali, že microgreens rožky a mizuny mají množství chlorofylu v sušině průkazně vyšší při 16h fotoperiodě oproti 24h, přičemž pro brokolici a ředkvičku tento rozdíl nebyl statisticky významný (karotenoidy v tomto pokusu vycházely s podobným trendem). Rozdílnost výsledků pokusů může být způsobena většími rozdíly mezi fotoperiodami, kde u našeho pokusu bylo porovnáváno 12h vůči 24h a u Shibaeva et al. (2022) 24h s 16h. Ošetření glycin-betulinem mělo průkazný vliv na množství chlorofylů a karotenoidů pro 12h oproti ostatním 12h variantám pouze u 0,5 %, což odpovídá koncentraci, při které byl propad výnosových hodnot. To by mohlo naznačovat, že priming koncentrací 0,5 %, ovlivňuje metabolismus ve prospěch tvorby chlorofylů na úkor ostatních metabolických pochodů. Schopnost regulace tvorby chlorofylů pozorovali také Mäkelä et al. (2000) ve svém pokusu, kde se na list aplikoval glycin-betain, který podpořil tvorbu chlorofylů v rostlinách rajčete ve stresových podmínkách. Průkazný nárůst tvorby chlorofylů byl v našem pokusu však pozorován pouze u 12h. Pro 24h jsou sice při koncentraci 0,5 % vyšší hodnoty chlorofylu i karotenoidů oproti ostatním koncentracím, naměřené množství však nedosahuje hodnot kontroly.

6.3 Rozpustné cukry

Metabolismus cukrů byl výrazně ovlivněn u ošetřených variant při světelném režimu 24h, kde v porovnání s kontrolními rostlinami došlo k průkaznému snížení množství rozpustných cukrů (průměrně o 18 %). U 12h nebyly mezi variantami statisticky významné rozdíly. Tento jev by teoreticky mohl být vysvětlen tím, že u 24h rostlin docházelo k vyššímu abiotickému stresu, který vedl k osmotickým změnám. Kontrolní varianta na tento tlak proto mohla reagovat zvýšením produkce cukrů, které mají osmoregulační funkci, zatímco u ošetřených variant k tomu nedocházelo díky osmoregulačním schopnostem glycin-betulinu. Tato teorie může být podpořena studií Ghosh et al. (2021), pojednávající o osmoregulačních pochodech rostlin ve stresu. Naopak je možné, že množství rozpustných cukrů bylo ovlivněno příjmem Na^+ viz níže Obsah iontů.

6.4 Obsah iontů

U rostlin u obou světelných režimů docházelo k vyšší akumulaci Na^+ u neošetřených variant (průkazně pouze u 24h, mimo 0,5 %), což napodobuje trend naměřeného množství rozpustných cukrů i s neprůkazným nárůstem hodnot u 0,5 %. Je tedy možné že tvorbu cukrů ovlivnilo množství Na^+ v pletivech. Tuto teorii podporují výsledky Almodares et al. (2008), kde s rostoucí salinitou (NaCl), a tím i množství Na^+ v pletivech, rostlo i množství naměřených cukrů. Mezi 12h a 24h však nejsou statisticky významné rozdíly, jako je tomu u výsledků rozpustných cukrů, což by tuto teorii mohlo vyvracet. Další možností by mohla být podobnost

účinku glycin-betulinu s glycin-betainem, který dle pokusu Sofy et al. (2020) ovlivňuje příjem a metabolismus Na^+ . Průměrné výsledky se pohybovaly mezi 165 ppm (16,5 mg/100 g) a 260 ppm (26 mg/100 g), což je nižší, než co udává Food Data Central (2019) u brokolice jako zeleniny (36 mg/100 g).

Draslík je makroprvek nezbytný pro mnoho aspektů života rostlin, jako je fotosyntéza, transport v cévních svazcích nebo buněčná elektrochemie a aktivace enzymů (Cui & Tcherkez 2021). Průměrné naměřené hodnoty K^+ pro 12h v našem pokusu nemají statisticky významný rozdíl. Pro 24h však s rostoucí koncentrací průkazně klesají hodnoty, a to až o 58,17 % mezi kontrolou a 1 %. Tento jev může teoreticky vysvětlovat zkracování hypokotylu, kde byl podobný trend u 24h. K^+ má totiž vliv na metabolismus dusíkatých látek, aktivitu enzymů a osmoregulaci, má tedy důležitou roli v růstu a vývinu rostlin (Blevins 2015). Množství K^+ se pohybovalo mezi 3060 ppm (306 mg/100 g) a 4840 (484 mg/100 g), což je vyšší než 303 mg/100 g, udávaných Food data central (2019) pro brokolici jako zeleninu.

Pro zeleninu je důležitým nutričním parametrem množství NO_3^- , který se v lidském metabolismu přeměňuje na NO_2^- , jenž negativně ovlivňuje transport kyslíku v krvi, a nitrosaminy, u nichž jsou prokázány genotoxické a karcinogenní vlastnosti (Chamandoost et al. 2016). Množství NO_3^- bylo v našem pokusu průkazně vyšší u 0,1 % a 1 % u 12h oproti 24h. Můžeme tedy vyvozovat, že nižší, a naopak vyšší koncentrace mají rozdílný vliv na metabolismus dusíku pro různé fotoperiody. Možný vliv hydro-primingu na metabolismus dusíku popisují ve svém pokusu Ghorbani et al. (2023), kde se u rostlin stévie v solném stresu sledoval vliv ošetření glycin-betainem při jehož použití se prokázala vyšší aktivita enzymů podílejících se na metabolismu dusíku. Hodnoty našeho pokusu se pohybovaly mezi 1400 ppm (140 mg/100 g) a 2160 ppm (216 mg/100 g). Tyto hodnoty jsou nižší, než udávají Di Gioia & Santamaria (2015), kteří u microgreens brokolice naměřili průměrnou hodnotu 267 mg/100 g. European food safety authority (2018) uvádí, že průměrná hodnota NO_3^- v brokolici jako zelenině je 279 mg/kg (279 ppm), to je násobně nižší než pro brokolici pěstovanou jako microgreens. Tento fakt je tedy důležité brát v potaz, obzvláště u výživy dětí, které mohou být citlivější vůči vyšším hodnotám NO_3^- (Pinto et al. 2015).

6.5 MDA

Jednou z hlavních předností microgreens jsou jejich antioxidační schopnosti, které jsou poměrově vyšší, než u dospělé zeleniny (Mir et al. 2017). Vysokou bioaktivitou se díky vysokým koncentracím glukosinolatů projevují právě microgreens brokolice (Lu et al. 2021). V našem pokusu jsme měřili antioxidační potenciál pomocí MDA. Ten vzniká při peroxidaci lipidů, kde nižší hodnoty znamenají, že docházelo k nižšímu oxidačnímu stresu (Del Rio et al. 2005). Výsledky pokusu ukazují, že 24h mají rostliny průkazně nižší hodnoty MDA ve všech variantách než 12h, což se liší od výsledků Shibaeva et al. (2022), kteří ve svém pokusu sledovali vyšší hodnoty MDA pro microgreens brokolice a rockety při 24h oproti 16h. Dále můžeme pozorovat průkazný pokles MDA s rostoucí koncentrací ošetření u obou světelných režimů, kde průměrné hodnoty MDA u kontrol byly o 65,22 % (12h) a 162,5 % (24) vyšší oproti hodnotám

při koncentraci 1 %. To poukazuje na to, že výběrem správného světelného režimu a využitím primingu lze efektivně zlepšit výživovou hodnotu pěstovaných microgreens. Schopnost primingu zvyšovat odolnost vůči oxidativnímu stresu dále podporuje studie Ashraf & Foolad (2007), Zulfiqar (2021). To samé sledovali i Ghorbani et al. (2023) ve svém pokusu na stévii v solném stresu, kde rostliny foliárně ošetřeny glycin-betainem vykazovaly vyšší aktivitu antioxidačních enzymů a nižší hodnoty MDA.

7 Závěr

Cílem této práce bylo zjistit vliv glycin-betulinu a dvou různých světelných režimu 12h a 24h na vybrané výnosové parametry a obsahové látky u brokolice pěstované jako microgreens.

Z výsledků vyplývá, že světelný režim významně ovlivňuje nejen růstové parametry, ale také metabolické procesy, kde může docházet k odlišným reakcím na předseťové ošetření glycin-betulinem v závislosti na světelném režimu. Samotný vliv glycin-betulinu nebyl u většiny sledovaných parametrů s rostoucí koncentrací lineární a jeho vliv nebyl u některých parametrů průkazný. Obzvláště koncentrace 0,5 % se odlišovala oproti ostatním koncentracím nárůstem hodnot některých obsahových látek a poklesem u výnosových parametrů.

Světelný režim 24h je oproti 12h stimulující pro tvorbu sušiny, absolutní sušiny, K^+ , rozpustných cukrů a snižuje MDA. Naopak má negativní vliv na čerstvou hmotnost a tvorbu chlorofylu a karotenoidů.

Priming glycin-betulinem může v závislosti na koncentraci zvyšovat čerstvou hmotnost, snižovat Na^+ a snižovat MDA u obou světelných režimů. Při 24h snižuje K^+ a rozpustné cukry a při 12h může zvyšovat fotosynteticky aktivní barviva, snižovat sušinu a Na^+ .

- Světelný režim 12h je z hlediska výnosů čerstvé hmoty zajímavější, ale 24h se vyznačuje nižšími hodnotami MDA a vyšší absolutní sušinou, což může způsobovat lepší trvanlivost produktu po sklizni.
- Nejvyšší čerstvá hmotnost byla u varianty 12h 1 %, což může být zajímavé z ekonomického hlediska, jelikož se mohou omezit náklady na osvětlení a zároveň zvýšit výnosy.
- Ošetření glycin-betulinem pozitivně ovlivnilo čerstvou hmotnost u 24h, což může vypovídat o schopnosti glycin-betulinu redukovat fotooxidační stres.
- Glycin-betulin s rostoucí koncentrací významně snižoval MDA, což podporuje myšlenku využití primingu při pěstování microgreens pro nutriční a medicínské vlastnosti, kde nejzajímavější variantou bylo 24h 1%.
- Glycin-betulin má odlišný vliv na metabolismus K^+ pro rostliny v 12h a 24h. Tato interakce nebyla plně vysvětlena a mohla by být podnětem pro další výzkum.
- Glycin-betulin snižuje obsah Na^+ , což přispívá k tvrzení, že má schopnost snižovat salinitní stres.
- Zajímavou koncentrací glycin-betulinu byla 0,5 %, při které často docházelo ke změnám hodnot oproti ostatním ošetřením.

Využití předseťové úpravy semen se zdá perspektivní, je ale zapotřebí lépe prozkoumat interakce mezi pěstebními podmínkami, pěstovanou plodinou, použitou látkou a její koncentrací. V tomto ohledu je třeba rozšířit spektrum testovaných látek a pěstovaného sortimentu. Mechanismus primingu glycin-betulinu není plně znám a je tedy třeba dalšího výzkumu. Z medicínské hlediska by bylo vhodné sledovat také vlivy na tvorbu glukosinolátů.

8 Literatura

Adepoju FO, Duru KC, Li E, Kovaleva EG, Tsurkan MV. 2023. Pharmacological potential of betulin as a multitarget compound. *Biomolecules* (e1105) DOI: 10.3390/biom13071105.

Almodares A, Hadi MR, Dosti B. 2008. The effects of salt stress on growth parameters and carbohydrates contents in sweet sorghum. *Research Journal of Environmental Sciences* **2**:298–304.

Aphalo PJ. 2007. The plant photobiology notes. Aphalo PJ. Available form <https://www.mv.helsinki.fi/home/aphalo/photobio/pdf/spectra/FL40SSW37.pdf> (accessed April 2025).

Araújo SDS, Paparella S, Dondi D, Bentivoglio A, Carbonera D, Balestrazzi A. 2016. Physical methods for seed invigoration: advantages and challenges in seed technology. *Frontiers in Plant Science* (e646) DOI: [10.3389/fpls.2016.00646](https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00646).

Ashraf M, Foolad MR. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany* **59**:206–216.

Benke K, Tomkins B. 2017. Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability: Science, Practice and Policy* **13**:13–26.

Blevins DG. 2015. Role of potassium in protein metabolism in plants. Pages 413–424 in Munson RD, editors. *Potassium in agriculture*. WI, USA.

Ciriello M, Campana E, Kyriacou MC, El-Nakhel C, Graziani G, Cardarelli M, Colla G, De Pascale S, Roupheal Y. 2023. Hydropriming and plant-based protein hydrolysate biostimulants impact the primary and secondary metabolites of brassicaceous microgreens differentially. *Italus Hortus* **30**:37-47.

Cui J, Tcherkez G. 2021. Potassium dependency of enzymes in plant primary metabolism. *Plant Physiology and Biochemistry* **166**:522–530.

Del Rio D, Stewart AJ, Pellegrini N. 2005. A review of recent studies on malondialdehyde as toxic molecule and biological marker of oxidative stress. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases* **15**:316–328.

Demir K, Sarikamiş G, Çakirer Seyrek G. 2023. Effect of led lights on the growth, nutritional quality and glucosinolate content of broccoli, cabbage and radish microgreens. *Food Chemistry* (e134088) DOI: [10.1016/j.foodchem.2022.134088](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134088).

Dhaka AS et al. 2023. Evaluation of growth conditions, antioxidant potential, and sensory attributes of six diverse microgreens species. *Agriculture* (e676) DOI: 10.3390/agriculture13030676.

Di Bella MC, Toscano S, Arena D, Moreno DA, Romano D, Branca F. 2021. Effects of growing cycle and genotype on the morphometric properties and glucosinolates amount and profile of sprouts, microgreens and baby leaves of broccoli (*brassica oleracea* L. var. *italica* plenck) and kale (*b. oleracea* L. var. *acephala* dc.). *Agronomy* (e1685) DOI: 10.3390/agronomy11091685.

Di Gioia F, Hong JC, Pisani C, Petropoulos SA, Bai J, Roskopf EN. 2023. Yield performance, mineral profile, and nitrate content in a selection of seventeen microgreen species. *Frontiers in Plant Science* (e691) DOI: [10.3389/fpls.2023.1220691](https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1220691).

Di Gioia F, Leoni B, Santamaria P. 2015a. The selection of the species to grow. 25–40 in *Eco-logica* editors. *Microgreens*. Itálie.

Di Gioia F, Mininni C, Santamaria P. 2015b. Ortaggi di Puglia, tra biodiversità e innovazione: il caso dei micro-ortaggi. 158-164 in Somma Anna Rita editors. *Giardino Mediterraneo*. Bari.

Di Gioia F, Santamaria P. 2015. The nutritional properties of microgreens. Pages 41–47 in Di Gioia F, Santamaria P, editors. *Microgreens*. Eco-logica, Bari.

Dmitry F, 2022. The Photoperiod/Light Intensity Ratio Affects the Yield of Microgreens Within One Daylight Integral. *Modern Concepts & Developments in Agronomy* (e760) DOI: [10.31031/MCDA.2022.11.000760](https://doi.org/10.31031/MCDA.2022.11.000760) .

Dou H, Niu G, Gu M, Masabni J. 2017. Effects of light quality on growth and phytonutrient accumulation of herbs under controlled environments. *Horticulturae* (e36) DOI: 10.3390/horticulturae3020036.

Drag-Zalesinska M, Kulbacka J, Saczko J, Wysocka T, Zabel M, Surowiak P, Drag M. 2009. Esters of betulin and betulinic acid with amino acids have improved water solubility and are selectively cytotoxic toward cancer cells. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters* **19**:4814–4817.

Du M, Xiao Z, Luo Y. 2022. Advances and emerging trends in cultivation substrates for growing sprouts and microgreens toward safe and sustainable agriculture. *Current Opinion in Food Science* (e100863) DOI: [10.1016/j.cofs.2022.100863](https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100863).

Evers M et al. 1996. Betulinic acid derivatives: a new class of human immunodeficiency virus type 1 specific inhibitors with a new mode of action. *Journal of Medicinal Chemistry* **39**:1056–1068.

Food data central. 2019. U.S. Broccoli, raw. U.S. Department of Agriculture, USA. Available from <https://fdc.nal.usda.gov/food-details/747447/nutrients> (accessed March 2025)

Forti C, Shankar A, Singh A, Balestrazzi A, Prasad V, Macovei A. 2020. Hydropriming and biopriming improve medicago truncatula seed germination and upregulate dna repair and antioxidant genes. *Genes* (e242) DOI: [10.3390/genes11030242](https://doi.org/10.3390/genes11030242).

Gao M, He R, Shi R, Zhang Y, Song S, Su W, Liu H. 2021. Differential effects of low light intensity on broccoli microgreens growth and phytochemicals. *Agronomy* (e537) DOI: [10.3390/agronomy11030537](https://doi.org/10.3390/agronomy11030537).

Gasmi A et al. 2024. Anticancer activity of broccoli, its organosulfur and polyphenolic compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **64**:8054–8072.

Ghorbani A, Ghasemi-Omran VO, Chen M. 2023. The effect of glycine betaine on nitrogen and polyamine metabolisms, expression of glycoside-related biosynthetic enzymes, and k/na balance of stevia under salt stress. *Plants* (e1628) DOI: [10.3390/plants12081628](https://doi.org/10.3390/plants12081628).

Ghosh UK, Islam MdN, Siddiqui MdN, Khan MdAR. 2021. Understanding the roles of osmolytes for acclimatizing plants to changing environment: a review of potential mechanism. *Plant Signaling & Behavior* (e1913306) DOI: [10.1080/15592324.2021.1913306](https://doi.org/10.1080/15592324.2021.1913306).

Gmižić D, Pinterić M, Lazarus M, Šola I. 2023. High growing temperature changes nutritional value of broccoli (*brassica oleracea* l. convar. *botrytis* (l.) alef. var. *cymosa* duch.) seedlings. *Foods* (e582) DOI: [10.3390/foods12030582](https://doi.org/10.3390/foods12030582).

Gullino ML, Gilardi G, Garibaldi A. 2014. Chemical and non chemical seed dressing for leafy vegetable crops. Pages 125–136 in Gullino ML, Munkvold G, editors. *Global Perspectives on the Health of Seeds and Plant Propagation Material*. Springer Netherlands, Dordrecht.

Hall JC. 1998. Review: glycine. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition* **22**:393–398.

Heath RL, Packer L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. *Archives of Biochemistry and Biophysics* **125**:189–198.

Hoang GM, Vu TT. 2022. Selection of suitable growing substrates and quality assessment of brassica microgreens cultivated in greenhouse. *Academia Journal of Biology* **44**:133–142.

Hordyjewska A, Ostapiuk A, Horecka A, Kurzepa J. 2019. Betulin and betulinic acid: triterpenoids derivatives with a powerful biological potential. *Phytochemistry Reviews* **18**:929–951.

Chamandoost S, Fateh Moradi M, Hosseini M-J. 2016. A review of nitrate and nitrite toxicity in foods. *Journal of Human, Environment, and Health Promotion* **1**:80–86.

Jain S, Singh N, Bose SK, Pandey A. 2025. Management of disease losses in leguminous microgreens. Pages 217–236 in Mathur P, Gupta A, editors. *Recent Trends and Applications of Leguminous Microgreens as Functional Foods*. Springer Nature Switzerland, Cham.

Jones JB. 2005. *Hydroponics: a practical guide for the soilless grower* 2. ed. CRC Press, Boca Raton.

Kathi S, Laza H, Singh S, Thompson L, Li W, Simpson C. 2024. Simultaneous biofortification of vitamin c and mineral nutrients in arugula microgreens. *Food Chemistry* (e138180) DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.138180.

Kopsell DA, Sams CE, Barickman TC, Morrow RC. 2014. Sprouting broccoli accumulate higher concentrations of nutritionally important metabolites under narrow-band light-emitting diode lighting. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **139**:469–477.

Kopsell DA, Sams CE. 2013. Increases in shoot tissue pigments, glucosinolates, and mineral elements in sprouting broccoli after exposure to short-duration blue light from light emitting diodes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **138**:31–37.

Li T, Lalk GT, Bi G. 2021b. Fertilization and pre-sowing seed soaking affect yield and mineral nutrients of ten microgreen species. *Horticulturae* (e14) DOI: 10.3390/horticulturae7020014.

Li X, Tian S, Wang Y, Liu J, Wang J, Lu Y. 2021a. Broccoli microgreens juice reduces body weight by enhancing insulin sensitivity and modulating gut microbiota in high-fat diet-induced c57bl/6j obese mice. *European Journal of Nutrition* **60**:3829–3839.

Lu Y, Dong W, Yang T, Luo Y, Chen P. 2021. Preharvest uvb application increases glucosinolate contents and enhances postharvest quality of broccoli microgreens. *Molecules* (e3247) DOI: 10.3390/molecules26113247.

Luo L, Zhang G, Liang W, Wu D, Sun Q, Hao Y. 2024. Effects of led light quality on broccoli microgreens plant growth and nutrient accumulation. *Journal of Plant Growth Regulation* **43**:3481–3489.

Mäkelä P, Kärkkäinen J, Somersalo S. 2000. Effect of glycinebetaine on chloroplast ultrastructure, chlorophyll and protein content, and rubpco activities in tomato grown under drought or salinity. *Biologia plantarum* **43**:471–475.

Metallo RM, Kopsell DA, Sams CE, Bumgarner NR. 2018. Influence of blue/red vs. white led light treatments on biomass, shoot morphology, and quality parameters of hydroponically grown kale. *Scientia Horticulturae* **235**:189–197.

Mir SA, Shah MA, Mir MM. 2017. Microgreens: production, shelf life, and bioactive components. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **57**:2730–2736.

Msra G, Gibson KE. 2021. Food Protection Trends. Characterization of Microgreen Growing Operations and Associated Food Safety Practices. **41**:56–68.

Moravoseed CZ a.s. Unknown. Dostupné odrůdy. Moravoseed CZ a.s, Česká republika Available from <https://moravoseed.cz/index.php?hledany=limba&stranka=sortiment> (accessed April 2025).

Nagraj GS, Chouksey A, Jaiswal S, Jaiswal AK. 2020. Broccoli. Pages 5–17 in Jaiswal AK editors. *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables*. Elsevier, Dublin.

Nandeha N. 2024. Seed Coating and Pelleting. Pages 252-273 in Solanki S. R., Dange M M, Umarali M, Priyanka E, Khobragade A D, editors. *Seed Technology: Basics to Recent Advances*. Elite Publishing House. New Delhi.

Negri M, Bulgari R, Santoro P, Ferrante A. 2021. Evaluation of different growing substrates for microgreens production. *Acta Horticulturae* **1305**:109–114.

Nolan DA. 2018. Effects of seed density and other factors on the yield of microgreens grown hydroponically on burlap. Virginia Tech. Available from <https://vtechworks.lib.vt.edu/server/api/core/bitstreams/d9e94756-4eb4-4f31-9ebf-8fb6d97d5f09/content> (accessed January 2025).

Paparella S, Araújo SS, Rossi G, Wijayasinghe M, Carbonera D, Balestrazzi A. 2015. Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant Cell Reports* **34**:1281–1293.

Pathania P, Katoch V, Sandal A, Sharma N. 2022. Role of substrate media in growth and development of selected microgreens **14**:1357-1361.

Pinto E, Almeida AA, Aguiar AA, Ferreira IMPLVO. 2015. Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces. *Journal of Food Composition and Analysis* **37**:38–43.

- Porra RJ, Thompson WA, Kriedemann PE. 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics* **975**:384–394.
- Samuolienė G, Brazaitytė A, Jankauskienė J, Viršilė A, Sirtautas R, Novičkovas A, Sakalauskienė S, Sakalauskaitė J, Duchovskis P. 2013. LED irradiance level affects growth and nutritional quality of brassica microgreens. *Open Life Sciences* **8**:1241–1249.
- Shibaeva TG, Sherudilo EG, Rubaeva AA, Titov AF. 2022. Continuous led lighting enhances yield and nutritional value of four genotypes of brassicaceae microgreens. *Plants* (e176) <https://doi.org/10.3390/plants11020176>.
- Sofy MR, Elhawat N, Tarek Alshaal. 2020. Glycine betaine counters salinity stress by maintaining high k⁺/na⁺ ratio and antioxidant defense via limiting na⁺ uptake in common bean (*phaseolus vulgaris* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety* (e110732) DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.110732.
- Stirbet A, Lazár D, Guo Y, Govindjee G. 2020. Photosynthesis: basics, history and modelling. *Annals of Botany* **126**:511–537.
- Teng Z, Luo Y, Pearlstein DJ, Zhou B, Johnson CM, Mowery J, Wang Q, Fonseca JM. 2022. Agarose hydrogel composite supports microgreen cultivation with enhanced porosity and continuous water supply under terrestrial and microgravitational conditions. *International Journal of Biological Macromolecules* **220**:135–146.
- Thuong VT, Gia MH. 2020. Effects of growing substrates and seed density on yield and quality of radish (*raphanus sativus*) microgreens. *Research on Crops* **21**:579-586.
- Tischler CR, Polley HW, Johnson HB, Pennington RE. 2000. Seedling response to elevated co₂ in five epigeal species. *International Journal of Plant Sciences* **161**:779–783.
- Tunklová B. 2020. Vliv glycin betulinu na klíčení vybraných druhů. [MSc Thesis]. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Viorica L-L, Arghir L. 2021. Research on microgreens farming in vertical hydroponic system. 2020 *JOURNAL of Horticulture, Forestry and Biotechnology* **24**:27–34.
- Waskow A, Howling A, Furno I. 2021. Mechanisms of plasma-seed treatments as a potential seed processing technology. *Frontiers in Physics* (e617345) DOI: [10.3389/fphy.2021.617345](https://doi.org/10.3389/fphy.2021.617345).

Weber CF. 2017. Broccoli microgreens: a mineral-rich crop that can diversify food systems. *Frontiers in Nutrition* (e7) DOI: [10.3389/fnut.2017.00007](https://doi.org/10.3389/fnut.2017.00007).

Xiao Z, Lester GE, Luo Y, Wang Q. 2012. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **60**:7644–7651.

Xiaochuang C, Chu Z, Lianfeng Z, Junhua Z, Hussain S, Lianghuan W, Qianyu J. 2017. Glycine increases cold tolerance in rice via the regulation of n uptake, physiological characteristics, and photosynthesis. *Plant Physiology and Biochemistry* **112**:251–260.

Yadav LP, Koley TK, Tripathi A, Singh S. 2019. Antioxidant potentiality and mineral content of summer season leafy greens: comparison at mature and microgreen stages using chemometric. *Agricultural Research* **8**:165–175.

Yogeeswari P, Sriram D. 2005. Betulinic acid and its derivatives: a review on their biological properties. *Current Medicinal Chemistry* **12**:657–666.

Zha L, Liu W, Zhang Y, Zhou Ch, Shao Z. 2019. Morphological and physiological stress responses of lettuce to different intensities of continuous light. *Frontiers in Plant Science* (e1440) DOI: [10.3389/fpls.2019.01440](https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01440).

Zhang Q, Rue K, Mueller J. 2014. The effect of glycinebetaine priming on seed germination of six turfgrass species under drought, salinity, or temperature stress. *HortScience* **49**:1454–1460.

Zhang X, Bian Z, Yuan X, Chen X, Lu C. 2020. A review on the effects of light-emitting diode (led) light on the nutrients of sprouts and microgreens. *Trends in Food Science & Technology* **99**:203–216.

Zhang Y, Xiao Z, Ager E, Kong L, Tan L. 2021. Nutritional quality and health benefits of microgreens, a crop of modern agriculture. *Journal of Future Foods* **1**:58–66.

Ziska LH, Bunce JA. 1993. The influence of elevated co2 and temperature on seed germination and emergence from soil. *Field Crops Research* **34**:147–157.

Zulfiqar F. 2021. Effect of seed priming on horticultural crops. *Scientia Horticulturae* (e110197) DOI: [10.1016/j.scienta.2021.110197](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110197).