

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta
Katedra chemické biologie



**Synergický vliv vybraných mikroprvků se stimulátory
na klíčení u obilnin**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor:	Anna Kašparová
Studijní program:	B1406 Biochemie
Studijní obor:	Experimentální biologie
Forma studia:	Prezenční
Vedoucí práce:	Ing. Radoslav Koprna, Ph.D.
Rok:	2022/2023

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval/a samostatně s vyznačením všech použitých pramenů a spoluautorství. Souhlasím se zveřejněním diplomové práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách, ve znění pozdějších předpisů. Byl/a jsem seznámen/a s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, ve znění pozdějších předpisů.

V Olomouci dne 11.1.2023

... podpis diplomanta

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych zejména ráda poděkovala svému vedoucímu Ing. Radoslavu Koprnovi, Ph.D. za jeho odborné vedení diplomové práce, cenné rady, pomoc při interpretaci dat i vyhodnocování experimentů a trpělivost. Dále bych chtěla poděkovat Mgr. Zdeňku Špiškovi, Ph.D. za veškerou pomoc při přípravě, monitoringu a vyhodnocování experimentů. Děkuji též pracovníkům katedry Chemické biologie za veškerou pomoc v průběhu. Velké díky patří také p. Prof. Ondřeji Novákovi, Ph.D. a p. Mgr. Ivanu Petříkovi, Ph. D. z Laboratoře růstových regulátorů v Olomouci za pomoc zhotovení fytohormonální analýzy a její interpretaci.

Děkuji také celé mé rodině za trpělivost, lásku a podporu při psaní diplomové práce i celého studia.

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora	Anna Kašparová
Název práce	Synergický vliv vybraných mikroprvků se stimulatory klíčení u obilnin
Typ práce	Diplomová
Pracoviště	Katedra chemické biologie
Vedoucí práce	Ing. Radoslav Koprna, Ph.D.
Rok obhajoby práce	2022/2023

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá mořením semen, jakožto velice účinnou technikou předseťové úpravy, která má pozitivní vliv na klíčení, růst rostlin i jejich výnos. Teoretická část shrnuje komplexní poznatky o semenech, klíčení, fytohormonech, mikroprvcích a ošetření osiva. V experimentální části bylo testováno 44 variant mořících roztoků, složených z kombinace mikroprvků (Fe, Mo, Zn, Cu, Mn, B) a růstových regulátorů (M - Sunagreen, GA-3 a BUT-108). V experimentu v řízených podmínkách byla pozorována vzcházivost a měřen hmotnost podzemní i nadzemní biomasy. Experimenty byly ve dvojím opakování, a to za optimálních fyziologických podmínek a za působení abiotického stresu. V následném experimentu v polních podmínkách došlo k hodnocení odnoží, hmotnosti rostlin, počítání klasů s konečným hodnocením průměrného výnosu zrna. Z celkových výsledků vyplývá, že varianty: 1 (Fe; 0,1 mg/kg osiva), 23 [Fe (0,1 mg/kg osiva) + GA-3] a 24 [Fe (0,1 mg/kg osiva) + BUT-108] měly největší vliv na růst kořenového systému i celkový výnos. Varianty: 7 (Zn; 0,1 mg/kg osiva), 29 [Zn (0,1 mg/kg osiva) + GA-3] a 30 [Zn (0,1 mg/kg osiva) + BUT-108] podpořily růst kořenového systému a měly nejlepší schopnost tvořit odnože, výnos zrna byl také nad úrovní neošetřené kontroly. Varianty mořené borem měly pozitivní vliv na počáteční růst rostlin. Fytohormonální analýza pomocí UHPLC-MS/MS ukázala, že priming semen ovlivňuje určité fytohormony a metabolity metabolismu CK. Zvýšené hladiny CK působí pozitivně na schopnost rostlin tvořit produktivní odnože a v důsledku mít vyšší výnosy oproti kontrolním rostlinám.

Klíčová slova	Moření semen, priming semen, mikroprvky, růstové regulátory, karrikiny, kys. giberelová, M-Sunagreen, fytohormonální analýza
Počet stran	78
Počet příloh	0
Jazyk	Český

Bibliographical identification

Autor's first name and surname	Anna Kašparová
Title	The synergistic influence of selected microelements with germination stimulants on cereals
Type of thesis	Diploma
Department	Department of Chemical Biology
Supervisor	Ing. Radoslav Koprna, Ph.D.
The year of presentation	2022/2023

Abstract

This diploma thesis deals with seed priming, a very effective pre-sowing treatment technique that has a positive effect on germination, plant growth and yield. The theoretical part summarizes the comprehensive knowledge about seeds, germination, phytohormones, micronutrients and seed treatments. In the experimental part were tested 44 variants of selected solutions, consisting of a combination of microelements (Fe, Mo, Zn, Cu, Mn, B) and growth regulators (M Sunagreen, GA-3 and BUT-108). Germination was observed in the experiment under controlled conditions, and the mass of both underground and above-ground biomass was measured. The experiments were repeated in duplicate, under optimal physiological conditions and under the affect of abiotic stress. In the following experiment in field conditions, there were an evaluation of the branches, a plant weight, an ear of barely counting with the final evaluation of the average grain yield. The overall results show that variants: 1 (Fe; 0.1 mg/kg seed), 23 [Fe (0.1 mg/kg seed) + GA-3] and 24 [Fe (0.1 mg/kg seed)) + BUT-108] had the greatest effect on the growth of the root system and the total yield. Variants: 7 (Zn; 0.1 mg/kg seed), 29 [Zn (0.1 mg/kg seed) + GA-3] and 30 [Zn (0.1 mg/kg seed) + BUT-108] promoted root system growth and had the best branches forming ability, grain yield was also above untreated control levels. The boron-stained variant had a positive effect on initial plant growth. Phytohormonal analysis using UHPLC-MS/MS showed that seed priming affects certain phytohormones and metabolites of CK metabolism. Increased levels of CK have a positive effect on the ability of plants to form productive branches and as a result, to have higher yields compared to control plants.

Keywords	Seed priming, seed coating, microelements, mikroprvky, growth regulators, karrikins, gibberellic acid, M-Sunagreen, phytohormonal analysis
Number of pages	78
Number of appendices	0
Language	Czech

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	CÍLE PRÁCE.....	11
3	TEORETICKÁ ČÁST.....	12
3.1	MORFOLOGIE SEMENA	12
3.1.1	Vznik semena	12
3.1.2	Stavba semena	12
3.2	KLÍČENÍ.....	14
3.2.1	Podmínky klíčení.....	14
3.2.2	Klíčení a růst za abiotického stresu	15
3.3	KOŘENOVÝ SYSTÉM A VODNÍ STRES	15
3.4	FYTOHORMONY	17
3.4.1	Auxiny.....	17
3.4.2	Cytokininy.....	20
3.4.2.1	Mechanismus působení.....	21
3.4.2.2	Biosyntéza CK.....	21
3.4.3	Gibereliny.....	23
3.4.4	Další fytohormony	24
3.4.5	Karrikiny jako regulátory růstu	25
3.5	VÝŽIVA ROSTLIN	26
3.5.1	Mikroprvky	26
3.5.1.1	Železo.....	26
3.5.1.2	Molybden	27
3.5.1.3	Mangan	27
3.5.1.4	Zinek	27
3.5.1.5	Měď	28
3.5.1.6	Bor	28
3.6	OŠETŘENÍ OSIVA.....	28
3.6.1	Moření pomocí mikroprvků a tzv. fytohormonální moření	29
4	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	30
4.1	Biologický materiál.....	30
4.2	Přístroje	30
4.3	Chemikálie.....	30
4.4	EXPERIMENTY V ŘÍZENÝCH PODMÍNKÁCH	31
4.4.1	Rozdělení experimentu, varianty mořících roztoků	31

4.4.2	Metodika setí	33
4.4.3	Fitotron, monitoring vzcháživosti rostlin a vyhodnocení	34
4.5	EXPERIMENT V POLNÍCH PODMÍNKÁCH.....	34
4.5.1	Klimatické podmínky	35
4.6	ANALÝZA FYTOHORMONŮ POMOCÍ UHPLC-MS/MS	36
4.6.1	Princip metody UHPLC-MS/MS	37
4.6.2	Biologický materiál k analýze.....	37
4.6.3	Postup analýzy fytohormonů.....	37
4.7	STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ	38
5	VÝSLEDKY	39
5.1	VÝSLEDKY EXPERIMENTU V ŘÍZENÝCH PODMÍNKÁCH	39
5.1.1	Výsledky experimentu 1	39
5.1.2	Výsledky monitoringu počtu vzcházejícího ječmene jarního z Exp. 2 a Exp. 3	41
5.1.3	Výsledky – odběr rostlin.....	48
5.2	VÝSLEDKY EXPERIMENTU V POLNÍCH PODMÍNKÁCH	51
5.2.1	Hodnocení 28.4.2022 – odběr nadzemní a podzemní biomasy, počítání odnoží	51
5.2.2	Hodnocení počtu odnoží 20.5.2022.....	52
5.2.3	Hodnocení počtu klasů na m ² z 22.6.2022.....	54
5.2.4	Celkové výsledky výnosu u jednotlivých variant – 25.7.2022	54
5.3	VÝSLEDKY ANALÝZY FYTOHORMONŮ POMOCÍ UHPLC-MS/MS	56
6	DISKUZE	59
6.1	DISKUZE VÝSLEDKŮ EXPERIMENTU V ŘÍZENÝCH A POLNÍCH PODMÍNKÁCH	59
6.1.1	Železo.....	61
6.1.2	Zinek	61
6.1.3	Měď	62
6.1.4	Molybden	63
6.1.5	Bor	64
6.1.6	Mangan a varianta 44.....	64
6.1.7	Hormonální moření semen (M-Sunagreen, GA-3 a BUT-108)	64
6.2	DISKUZE VÝSLEDKŮ ANALÝZY FYTOHORMONŮ POMOCÍ UHPLC-MS/MS	66
7	ZÁVĚR.....	68
8	REFERENČNÍ SEZNAM	71

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

ABA	Kyselina abscisová
AHP	<i>Arabidopsis histidine phosphotransfer protein</i>
AK	Adenosinkináza
AO	Aldehydoxidáza
BAP	Benzylaminopurin
BR	Brassinosteroidy
BUT-108	Butenolid, syn. karrikin (3-methyl-2H-furo(2,3-c)pyran-2-one)
CHASE doména	<i>Cyclase/His kinase-Associated Sensory Extracellular domain</i>
CK	Cytokininy
CKX	Cytokinindehydrogenasa
<i>cZ</i>	<i>cis</i> -zeatin
DMAPP	Dimethylallyldifosfát
DZ	Dihydrozeatin
ESI	Elektrosprejová ionizace
ET	Ethylen
HMBPP	E-4-hydroxy-3-methyl-but-2-enyldifosfát
HTZ	Hmotnost tisíce zrn
IAA	Kyselina indolyl -3-octová
IBA	Kyselina indolyl-3-máselná
IAld	Indol-3-acetaldehyd
iP	N6-isopentenyladenin
IPA	Kyselina indol-3-propionová, kys. indol-3-pyrohronzová
iPRDP	isopentenyladenosin-5'-difosfát
iPRMP	isopentenyladenosin-5'-monofosfát
iPRTP	isopentenyladenosin-5'-trifosfát
IPT	Isopentyltransferasa
JA	Kyselina jasmonová
KAR 1	2-methyl-2H-furo[2,3-c]pyran-2-on
Kin	Kinetin
LC	Kapalinová chromatografie
MEP	Methylerythritolfosfátová dráha
MK	Mastné kyseliny

MS/MS	Tandemová hmotnostní spektrometrie
mT	meta-topolin
MVA	Mevalonátová dráha
NR	Nitrátreduktáza
oT	Ortho-topolin
PEG	Polyethylenglykol
ROS	Volné kyslíkové radiály (<i>Reactive oxygen species</i>)
SA	Kyselina salicylová
SO	Sulfát oxidáza
Tryptofan	Trp
<i>tZ</i>	<i>trans</i> -zeatin
UHPLC	Ultra vysokoúčinná kapalinová chromatografie
XDH	Xanthindehydrogenáza

1 ÚVOD

Jedním z důsledků klimatické krize je snížená produkce zemědělských plodin. Příčinou mohou být biotické i abiotické podmínky prostředí. Především problém sucha, chladu, tepla, salinity půdy i přemíra těžkých kovů v půdě je obrovským problémem. V raných stádiích života rostlin, tedy ve fázi klíčení a vzháživosti, jsou rostliny velice náchylné k těmto stresům (Lobell et al., 2011). Klíčení je dáno schopností rostlinného embrya aktivovat enzymatickou aktivitu, dýchací cyklus, fytohormony a mnoho dalších metabolických reakcí. K výživě slouží zásobní látky endospermu (Procházka et al., 1998). K aktivaci metabolismu s následným klíčením a růstem rostliny, je nutná voda. Problém celosvětového sucha je všudypřítomný. Na nedostatek vody – na sucho reagují rostliny na molekulární, buněčné, fyziologické i morfologické úrovni. Příkladem může být tvorba mohutnějších a hlubších kořenů, které s větší pravděpodobností mohou zabránit vodnímu stresu rostliny (Wang et al., 2003; Wasson et al., 2012).

Možným řešením je moření/priming semen, kterým se věnuje i tato diplomová práce. Je to technika, která skrze své složení pozitivně ovlivňuje biochemické metabolické procesy klíčení a růstu rostlin, ovlivňuje morfologické parametry a může mít vliv i na celkový výnos plodiny. Také pomáhá rostlinám zvládnout období stresových nepříznivých podmínek. Priming semen s následným větším výnosem byl zaznamenán u rýže (Peeran & Natanasanapathy, 1980), luštěnin (Sherrell, 1984) i pšenice (Marcar & Graham, 1986). Dobré výsledky vyšly i u moření pomocí roztoků mikroprvků: železa (Reis et al., 2018), mědi (Akram et al., 2020), molybdenu (Alkhamisi et al., 2017), boru a zinku (Mirshekari, 2012; Sharify, 2016). Využití fytohormonů jako součást mořidel mělo pozitivní vliv např. u kys. giberelové (Mazid, 2014) či u auxinu (Karimi et al., 2021).

V dnešní době je předseťová úprava osiva nedílnou součástí výroby a distribuce osiv v zemědělství. Je mnoho dalších variant, jakým způsobem semena ošetřit (mikroorganismy, nanoprimering, ošetření teplem, nízkoteplotním plazmatem atd.), ale důležitým faktorem je také cena. Cenově i jednoduchostí provedení, vychází právě moření semen, ve srovnání např. s výživou do půdy (Johansen et al., 2007).

2 CÍLE PRÁCE

Cílem teoretické části práce je vytvořit komplexní rešerši, která přispěje k pochopení mechanismu klíčení, růstu rostlin a jakým způsobem lze tyto procesy ovlivnit. Práce se zabývá fyziologií semena, ze které následně vychází teorie klíčení. S tímto tématem souvisí fyziologie kořenového aparátu a obecně nastartování růstu rostliny. Lehce shrnuté je i aktuální téma růstu za abiotického stresu, za sucha. Dále bylo cílem zjistit úlohu jednotlivých fytohormonů (auxinů, cytokininů, gibberelinů) a mikroprvků z hlediska předseťové úpravy osiva a jejího vlivu na vzcházivost rostlin.

V experimentální části byly testovány různé varianty roztoků s mikroprvky a stimulatory klíčení na sladovnickém ječmeni jarním (odrůda *Francin*). Experimenty proběhly jak ve skleníku, tak v podobě polního experimentu. Experiment v řízených podmínkách probíhal jak za optimálních podmínek, tak za indukce abiotického stresu vyvolaným pomocí polyethylenglykolu (PEG). Nadzemní a kořenové části rostlin byly váženy a data následně vyhodnocena. V případě polního experiment byl realizován odběr rostlin a počítání odnoží v průběhu vegetačního období. Dále proběhla analýza fytohormonů pomocí metody ultra-vysokoúčinné kapalinové chromatografie ve spojení s tandemovou hmotnostní detekcí (UHPLC-MS/MS). Cílem práce je zjistit a posoudit, jaké kombinace/varianty roztoku mikroprvků se stimulatory jsou nejvhodnější pro účely zemědělské praxe – mají vliv na klíčení a vzcházivost, růst kořenového systému a nadzemní biomasy, schopnost tvořit produktivní odnože, klasy a výnos zrna.

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 MORFOLOGIE SEMENA

3.1.1 Vznik semena

Vznik semena u rostlin je komplikovaný proces, avšak jednou z podmínek charakteristik živých soustav je schopnost se rozmnožit. U krytosemenných rostlin je oplození tzv. dvojité a jsou k ní potřeba dvě spermatické buňky. První spermatická buňka splývá s oosférou (jádro gamety proniká k jádru buňky vaječné) a vzniká diploidní zygota, z níž se vyvine embryo. Naopak díky druhé spermatické buňce, která splývá s centrální jádrem zárodečného vaku, vzniká triploidní endosperm (výživa semena). Vznik semena je dán skutečností, zdali bude vajíčko oplodněno či nikoliv (Pavlová & Fisher, 2011).

Pokud bude vajíčko oplodněno, započne ontogenetický vývoj. Diploidní zygota se přemění na kulové embryo a již v průběhu dospívání je možné rozeznat hypokotyl, radikulu, plumulu a dělohy (Procházka et al., 1998). Proces embryogeneze můžeme rozdělit do následujících fází, která popisuje Erdelská (1981). První je fáze pomalého vývinu embrya po oplození. Následuje druhá, naopak rychlá fáze vývinu, diferenciacie embrya a růstu. Ve třetí fázi embryo dozrává a zároveň je charakteristické hromadění zásobních látek, které později budou využity jako výživa semena. V poslední čtvrté fázi přechází embryo do vegetačního klidu = dormance, pokračuje hromadění zásobních látek, ale zároveň se snižuje obsah vody v embryu, klesá metabolická aktivita a stoupá hladina kys. abscisové (ABA). Fytohormony, jejich vliv a funkce jsou podrobněji rozebrány v kapitole „Fytohormony“. Fáze se vzájemně propojují (Erdelská, 1981).

3.1.2 Stavba semena

Fyziologická stavba semena, Obr. 1, se skládá z pupku, osemení, plumuly, radikuly, endospermu a dělohy. Pupek (*hilum*) je původní místo, kde bylo vajíčko v semeníku pestíku připevněno. Pod ním je rozeznatelný tzv. klovy otvor, který umožňuje vstup vody, a tedy možné zahájení procesu klíčení (Stockley et al., 2003).

Obalová vrstva se skládá z tzv. oplodí (*perikarpu*) a osemení (*testa*). Hlavní funkcí vnějšího oplodí je ochrana zásobních látek a zárodku, ochrana před mechanickými vlivy či krátkodobou expozicí vody. Je tvořeno epidermis (1 vrstvá pokožka) a podkožními buňkami (1-2 vrstvy příčných, podélných a hadicovitých buněk). Zde se nachází nerozpustné látky jako hemicelulóza, celulóza a lignin. Dále menší množství vitaminů, proteinů a minerálních látek (Příhoda et al., 2003). Pod oplodím se nachází osemení,

kteře je tvořeno barevnými a skelnými buňkami. Právě složení látek v této vrstvě určuje výslednou barvu semena. Jsou zde zastoupeny karotenoidy, vitaminy, minerály a fenolické látky. Rozdílem od přechozí vrstvy je však schopnost absorbovat vodu a udržet tak stálou vlhkost zrna (Příhoda et al., 2003; Sluková et al., 2017).

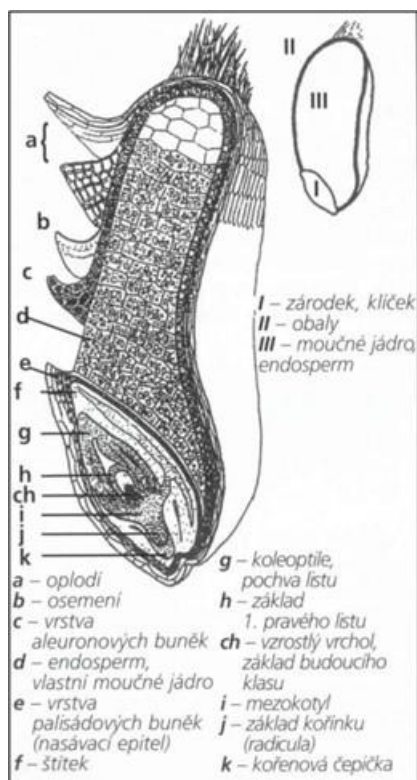
Další vrstvou je endosperm, který zabírá kolem 89 % z celého semena. Ten si můžeme představit jako pletivo obalující embryo. Součástí je také aleuronová vrstva, která tvoří vnější vrstvu celého endospermu. Zde se nachází velké množství proteinů, minerálních látek, vitaminů, rostlinných sterolů a vlákniny (xylany, β -glukany), uložených v jedné řadě velikých buněk (Sluková et al., 2017).

Zásobní látky endospermu mají různorodý chemický charakter. Hlavní zásobní látkou je škrob (85 %) uložený v amyloplastech či ve formě škrobových zrn. Aby rostlina mohla tuto složitou molekulu využít, jsou nutné enzymy jako α -amyláza, β -amyláza, fosforyláza či maltáza. Ukončení dormance semena a s ní spojená činnost α -amylázy s kyselinou gibereľovou je popsána v podkapitole „gibereliny“ (Esau, 1977; Procházka et al., 1998).

Další zásobní látkou jsou lipidy, nejčastěji triacylglyceroly, které jsou pomocí lipázy rozkládány na mastné kyseliny (MK) a glycerol. Především MK jsou využity jako komponenty ke stavbě membrán či dalšími reakcemi převedeny na využitelné sacharidy (Esau, 1977).

Důležitou výživou jsou též proteiny (12 %), ukládány v proteinových tělískách/vakuolách, štěpeny proteázami. Balasaraswathi a Sadasivam (1997) ve svém článku uvádí, že v prvních fázích klíčení slunečnice (*Helianthus annuus*) jsou bílkoviny nejvíce tvořeny aminokyselinami lysinem a tryptofanem (Balasaraswathi & Sadasivam, 1997), což potvrzuje i Tsai et al. (1975) ve svém výzkumu s pšenicí.

U zárodku (1,5 – 3 % ze celého semena) můžeme rozeznat štítek (*scutellum*, první děloha), apikální a bazální část. Štítek je tvořen palisádovými buňkami, které dokáží absorbovat výživu z endospermu. Apikální část je budoucí plumula - meristematický základ růstového vrcholu stonku. U dvouděložných rostlin je plumula umístěna mezi dělohami, u jednoděložných na jedné straně dělohy. Bazální část je meristematický základ kořene – radikuly (Pavlová & Fisher, 2011).



Obr. 1 Stavba obilky (Josefa Zimolka, 2005).

3.2 KLÍČENÍ

Klíčení je biochemický proces, který je posledním ze tří stádií vývinu embrya u krytosemenných rostlin. Předchází jí embryogeneze, zrání semena s následným obnovením metabolické aktivity. Ukončení dormance semen spočívá v příjmu vody do systému (bobtnání) s následným zvýšením propustnosti ochranných obalů semen. K tomu jsou nutné vhodné teplotní podmínky. Dále dochází k aktivaci enzymatické aktivity, dýchacího cyklu a fytohormonů. Tyto reakce vedou k využití zásobních látek (endosperm, dělohy) (Procházka et al., 1998; Šetlík et al., 2001).

3.2.1 Podmínky klíčení

Klíčení závisí na vnějších a vnitřních podmínkách, které jsou specifické pro každý rostlinný druh. K vnějším podmínkám řadíme teplotu, přítomnost vody, kyslíku a světla (Lack & Evans, 2005). Voda je iniciátorem klíčení a absorpce se zvyšuje s teplotou. Nejvíce hydratované je embryo, pokud vzroste hydratace nad 60 %, spouští se metabolické reakce (Procházka et al., 1998). Přítomnost kyslíku je nezbytným předpokladem pro úspěšný růst rostlin. Kyslík je nutný k respiraci, je využit např. v oxidativní fosforylaci, která produkuje využitelnou energii pro semeno rozkladem zásobních látek (Pavlová & Fischer, 2011).

U vnitřních podmínek záleží především na stavbě obalu semena, resp. jeho propustnosti/nepropustnosti. V případě nepropustnosti povrchových vrstev pro vodu je příčinou palisádový sklerenchym, typický např. pro čeledi slézovitých a bobovitých. Dalším znemožňujícím faktorem může být nepropustnost povrchových vrstev pro plyny, kdy molekuly kyslíku či oxidu uhličitého nemohou vniknout do semena a podpořit metabolismus. Nevyvinutost embrya může také vést k malé či žádné klíčivosti (Procházka et al., 1998).

3.2.2 Klíčení a růst za abiotického stresu

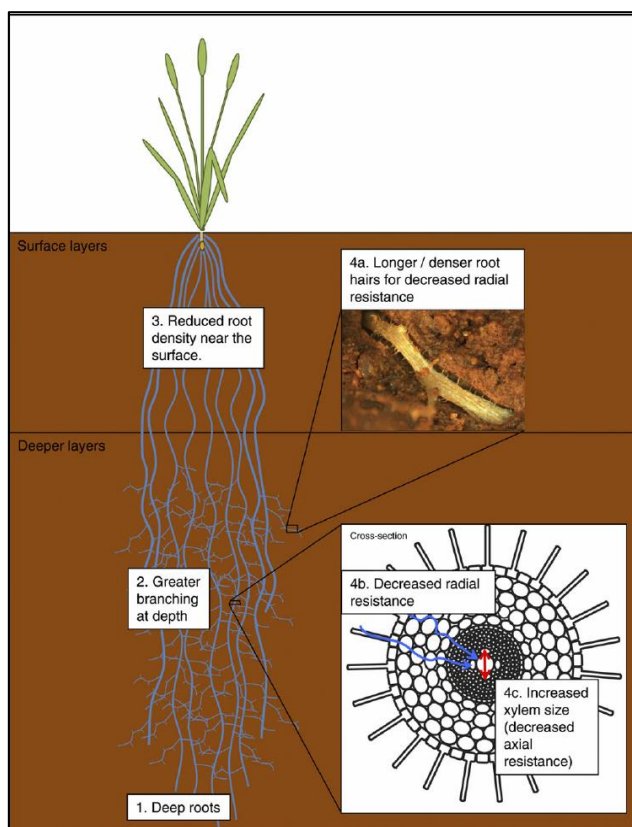
V dnešní době klimatické krize, se můžeme setkat s rychle se měnícími podmínkami prostředí, které mají přímý vliv na vývoj a růst rostlin. Wang et al. (2003) uvádí, že právě abiotický stres je důsledkem snížené produkce plodin v celosvětovém měřítku. Do abiotického stresu řadíme nepříznivá teplotní optima, zasolení či toxicitu půdy, nedostatek osvětlení nebo přebytek/nedostatek vody. Takahashi a kol. (2018) zmiňují, že buňky kořenového systému registrují deficit vody a následně tuto informaci převádí do nadzemní biomasy, kde se začíná syntetizovat jeden z fytohormonů – ABA. Odpověď na nepříznivé podmínky jsou již na molekulární úrovni. Dochází ke změně genové exprese-k aktivaci a regulaci genů, které souvisejí se stresovými podmínkami. Ovlivněné děje zahrnují uzavírání průduchů, signalizaci, transkripci, vychytávání volných kyslíkových radikálů (ROS) či podporu kořenů růst hlouběji do půdy (Wang et al., 2003; Takahashi et al., 2018).

Velmi nízké či vysoké teploty v mnohých případech zabraňují ukončení dormance semen. Jsou však případy, kdy vysoké teploty způsobené ohněm a kouřovými látkami podpoří ukončení klidového stavu. Při požárech se uvolňují chemické látky zvané karrikininy, trimetylbutenolidy a glyceronitrily, které mohou mít různé účinky na klíčení semen (Nelson et al., 2009; Papenfus et al., 2015). Zajímavé je, že v některých případech může u semen nastat pravý opak, může dojít ke snížení klíčivosti či vyvolání dormance (Neeman et al., 2009).

3.3 KOŘENOVÝ SYSTÉM A VODNÍ STRES

Sucho je jedním z nejzávažnějších faktorů nepříznivých podmínek pro růst rostlin. Na vodní deficit reagují rostliny na molekulární, buněčné, fyziologické i morfologické úrovni. Odolnost vůči suchu je komplexní záležitost, která se týká celého organismu.

Jednou z výhod je schopnost „vyhýbání se suchu“ (Fang & Xiong, 2015). Schopnost rostliny modifikovat růst kořene, aby byl mohutnější a rostl hlouběji, může být jeden z účinných mechanismů, jak zabránit vodnímu deficitu a následnému vodnímu stresu. V reakci na vodní stres, jsou schopny rostliny přemísťovat asimiláty do kořenového systému namísto výhonků (Yoshida & Hasegawa, 1982). Wasson et al. (2012) uvádí základní předpoklady pro zvýšení příjmu vody z hlubších vrstev půdy, viz Obr. 2. Ve spodní půdě nacházející se úzké a delší kořeny s kořenovými vlásky, vedou je zvýšené povrchové vrstvě a mohou tedy napomoci vstřebávání půdní vody. Ve vrchních vrstvách půdy by měla být snižena hustota postranních kořínků. Důležité je také snížený radiální odpor, aby molekuly snadněji procházely do xylému (Wasson et al., 2012).



Obr. 2 Obrázek znázorňující rostlinu s mohutným a dlouhým kořenovým systémem, který pomáhá rostlině vypořádat se s vodním stresem (Wasson et al., 2012).

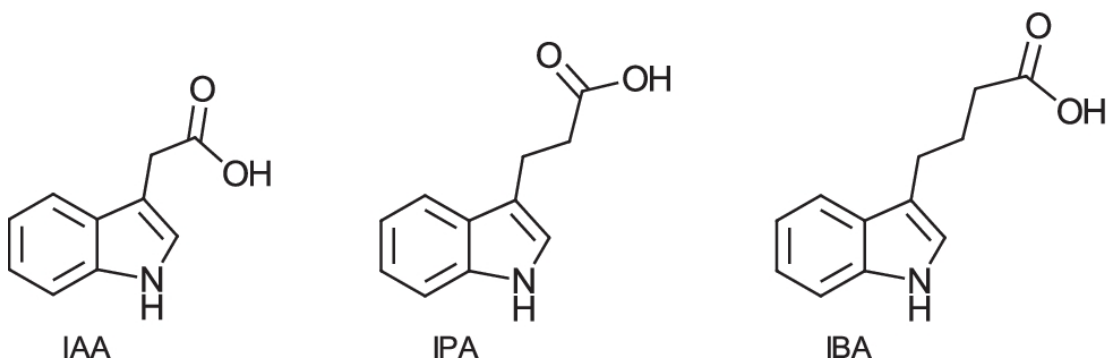
3.4 FYTOHORMONY

S hypotézou signalizace mezi jednotlivými částmi rostliny pomocí určitých „chemických posílů“ přišel německý botanik Julius von Sachs v 2. polovině 19. století (Sachs, 1873). Tato myšlenka byla dále rozpracována, až k objevu endogenních nízkomolekulárních látek – fytohormonů a molekul a s růstové regulační aktivitou.

Fytohormon se může vázat na cílový receptor na membráně a následně se spustit kaskádu tzv. „druhých posílů“. Druhou možností je průnik hormonu přes buněčnou stěnu a cytoplasmatickou membránu do cytoplasmy, kde se naváže na receptor za vzniku komplexu. Tento komplex proniká do jádra, kde může dojít k modifikaci exprese genů. Hlavním rozdílem je, že rostliny nemají žlázy s vnitřní sekrecí a jejich hormony nejsou až tak vysoce specifické ke svému substrátu. Fytohormony se často syntetizují v různých částech rostliny, a také mají více funkcí (mohou ovlivnit jak kořenový systém, tak nadzemní biomasu) (Taiz, 2018).

3.4.1 Auxiny

Auxin je jedním z nejprobádanějších fytohormonů, jak z hlediska biosyntézy, tak účinků. Název byl odvozen od řeckého *auxein*, - „růst“, z chemického hlediska je to kyselina indolyl-3-octová (IAA, Obr. 3) (Haagen-Smit et al., 1946). Derivátů auxinu jak přírodních, tak syntetických je však mnohem více. Mezi nejčastější přírodní auxiny (Obr. 3) řadíme kyselinu indolyl-3-máselnou (IBA) či kyselinu indol-3-propionovou (IPA) (Procházka et al., 1998; Ilbeigi et al., 2022).

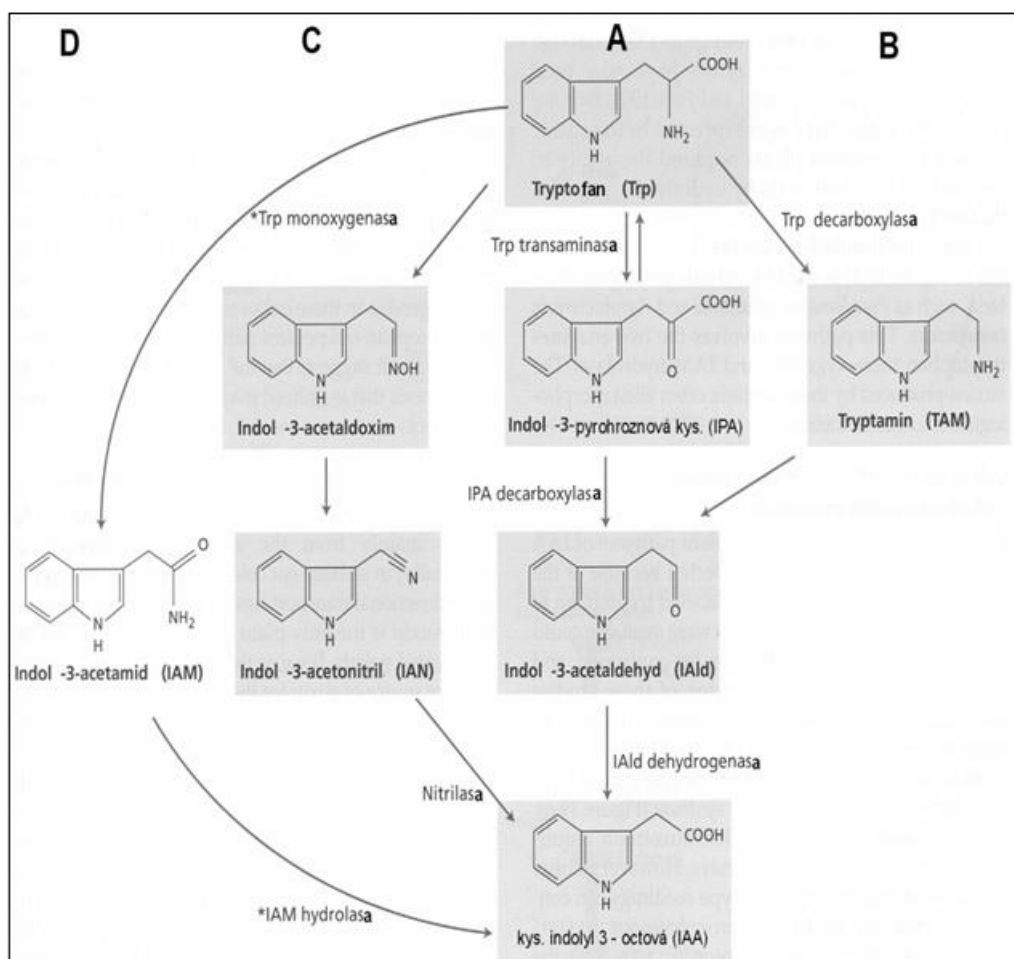


Obr. 3 Strukturální vzorce přírodních auxinů: kys. indolyl-3-octové (IAA), kys. indol-3-propionové (IPA) a kys. indolyl-3-máselné (IBA) (Ilbeigi et al., 2022).

Auxiny jsou tvořeny nejprve v klíčícím semeni a později především v nadzemních částech rostliny v pupenech a plodu. V rostlinách jsou auxiny vázány na amidy, estery či větší glykoproteiny, reverzibilní konjugace zajišťuje jak funkci zásobní, tak transportní

do cílových míst. Pouze volná frakce auxinu je aktivní, signálem pro uvolnění jsou vnější podmínky – například gravitace a světlo (Procházka et al., 1998; Davies et. al., 2010).

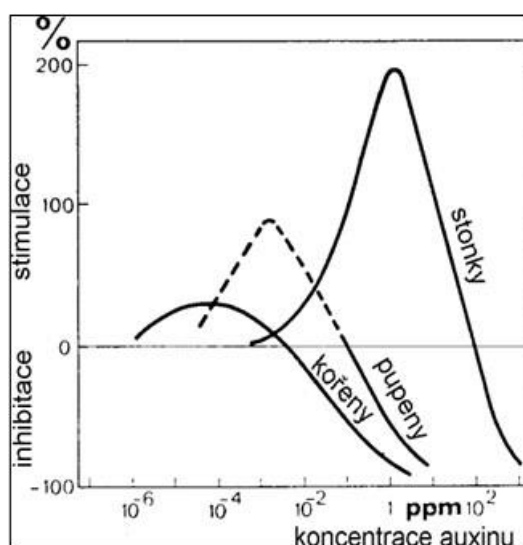
Na Obr. 4 je znázorněna zjednodušená biosyntéza auxinu, která vychází z AMK tryptofanu (Trp). Nejčastěji vzniká auxin u vyšších rostlin cestou Indolylpyruvátovou (A), tedy kdy Trp se pomocí Trp transaminasy přeměňuje na kyselinu IPA a dále IPA dekarboxyláza převádí molekulu na indol-3-acetaldehyd (IAld). Posledním krokem je přeměna pomocí IAld dehydrogenasy na IAA. U čeledi Lipnicovitých (*Poaceae*) je charakteristická tryptaminová cesta (B) a u čeledi Brukvovitých (*Brassicaceae*) cesta indolacetaldoximová (C). K poslední cestě je nutný genom bakterie *Agrobacterium tumefaciens*, do kterého je včleněna cesta indolylacetamidová (D). Tato bakterie vnáší tuto „jednodušší“ cestu do hostitelské rostliny (Šetlík et al., 2004).



Obr. 4 Biosyntéza kys. indolyl-3-octové (IAA) (Šetlík et al, 2004).

Hlavní účinkem auxinu je schopnost indukovat dlouhivý růst. Dochází ke stimulaci vylučování H^+ iontů do buněčné stěny (BS), tímto dojde k poklesu pH a skrze další signály se aktivují enzymy zvané expansiny (optimum fce. při nízkém pH), které ruší vodíkové můstky mezi polysacharidy BS. Tím se BS má možnost roztáhnout a zároveň paralelně dochází k syntéze komponent BS (Majda & Robert, 2018).

Auxin působí na růst kořenového systému i nadzemní biomasy. Ideální koncentrace jsou zobrazeny na Obr. 5. Na Obr. 5 můžeme vidět, že nejprve dochází ke stimulačnímu vlivu růstu kořene a následně při růstu stonku k inhibici růstu kořenového systému a snížení koncentrace auxinu (Šetlík et al., 2004).



Obr. 5 Křivky optimálních koncentrací auxinu při růstu kořene, pupenů a stonku (Šetlík et al., 2004).

Auxin má mnoho důležitých funkcí a úloh ve vývoji, růstu a života rostliny. Další jsou vypsány níže:

- Vliv na fototropismus a gravitropismus
- Stimulace tvorby základních a adventivních kořenů
- Stimulace diferenciacce pletiv vodivých
- Podpora růstu plodů
- Účast na regulaci BC, stimulace dělení buněk (Jones et al., 2013).

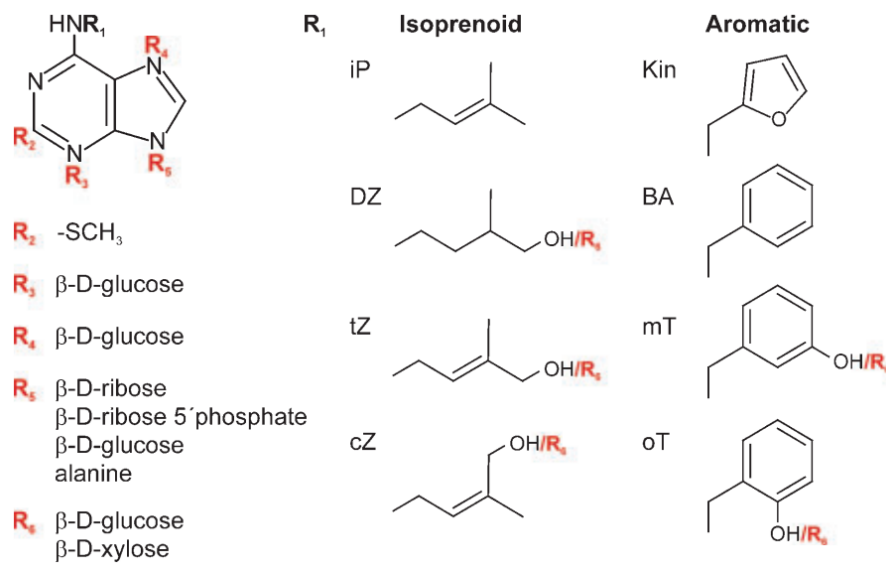
3.4.2 Cytokininy

První cytokinin (CK) objevil v roce 1955 tým amerických vědců v čele s C. O. Millerem a F. Skoogem (Miller et al., 1955a). První označením byl „kinetin“, neboť hlavní funkcí tohoto hormonu je buněčné dělení=cytokineze. Celá skupina CK je definována jako „látky, které podporují dělení buněk a zároveň mají vliv na regulaci procesů v rostlině, stejným způsobem jako kinetin“ (Skoog & Armstrong, 1970).

K dalším fyziologickým účinkům CK, jakožto nízkomolekulárních přenašečů signálů, můžeme řadit iniciaci růstu bočních pupenů, zpomalení stárnutí rostlin (především listů), stimulaci klíčení semena a další interakce v rámci celého organismu (Gloser, 2010).

Miller et al. (1955b) uvádí, že auxiny a CK spolu úzce „spolupracují“ a to především na regeneračních procesech. Záleží na koncentračním poměru těchto dvou fytohormonů. Pokud bude v rostlině nadbytek CK, bude docházet k regeneraci nadzemní části rostliny. Naopak pokud bude nadbytek auxinů, regenerace bude směřována do kořene. Koncentrační rovnováha vede k iniciaci tvorby pletiva nediferenciovaného (Miller et al., 1955b). Auxiny a CK mohou působit též antagonisticky a to např. v případě apikální dominance (Procházka et al., 1998).

CK můžeme rozdělit na přírodní a syntetické. Přírodní CK jsou adeniny, které mají aromatický či isoprenoidní postranní řetězec v poloze N⁶. Isoprenoidní postranní řetězec může být v poloze *cis* nebo *trans*, za vzniku zeatinu (pojmenováno po 1. objevu v kukuřici; *Zea mays*) (Letham, 1936; Frébort et al., 2011). Struktura aromatických CK vychází z benzylaminopurinu (BAP), další deriváty jsou pojmenovány dle prvního objeveného v topolu, tedy topoliny (Horgan et al., 1973). Postupně začalo přibývat objevů, například v palmě olejné (Jones et al., 1996) či v merlíku (Doležal et al., 2002). Svým působením ovlivňují signály mobilizace živin, tvorbu chlorofylu a procesy týkající se morfogeneze Sakakibara, 2006). Struktury vybraných CK jsou zobrazeny na Obr. 6.



Obr. 6 Struktura vybraných CK. R₁ je základní postranní řetězec, R₂-R₆ označují konjugáty, které souvisí s metabolickými drahami. Označení: iP-N⁶-isopentenyladenin, DZ-dihydrozeatin, tZ-*trans*-zeatin, cZ-*cis*-zeatin, Kin-kinetin, BA-N⁶-benzyladenin, mT - meta-topolin, oT-ortho-topolin (Spichal, 2012).

3.4.2.1 Mechanismus působení

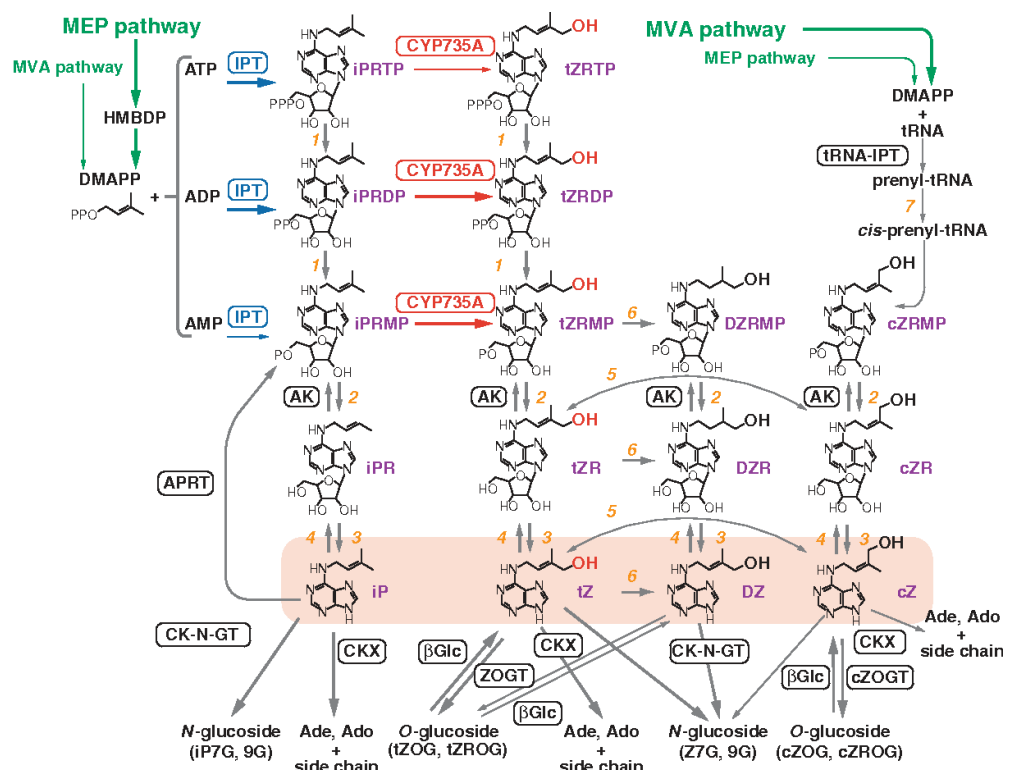
CK svým působením dokáží ovlivnit expresi genetické informace, a to přes dvousložkový signální systém (nazýván „*histidyl-to-aspartyl system*“). Prvním signálem je membránová histidinkináza, která je spojena s CHASE doménou (*Cyclase/His kinase-Associated Sensory Extracellular domain*) (Mougel & Zhulin, 2001; Higuchi et al., 2004). Pokud se CK naváže, dochází k autofosforylaci a přenosu fosfátu na přenašeč AHP (*Arabidopsis histidine phosphotransfer protein*), který putuje do jádra. AHP interaguje s DNA a iniciuje změnu exprese. Podpora buněčného růstu, dělení a zrychlení BC je ovlivněno pravděpodobně skrze aktivitu proteinkinás (Gloser, 2010).

3.4.2.2 Biosyntéza CK

Syntéza CK probíhá především v apikálním meristému kořenu, odkud jsou pomocí xylému molekuly distribuovány do dalších orgánů. Dalším místem syntézy CK, avšak omezeným, jsou nadzemní části rostliny. CK vznikají z *adenosinmonofosfátu* (AMP), cukerná složka (ribóza) a fosfátová skupina jsou odštěpeny. Volné CK mohou účinně působit na cílové receptory, CK ve formě konjugátů (především s glykosidy) mají zásobní funkci (Gloser, 2010).

Na Obr. 7 je zobrazena biosyntéza isoprenoidních CK. Prvním krokem je navázání isoprenoidní části na adenin či adenin navázaný v tRNA. K této reakci jsou nutné enzymy zvané isopentenyltransferasy (IPT). Výchozím substrátem je dimethylallyldifosfát (DMAPP) či E-4-hydroxy-3-methyl-but-2-enyldifosfát (HMBPP). Mevalonátová dráha (MVA) lokalizovaná v cytosolu eukaryotních buněk produkuje DMAPP. Další variantou je alternativní methylerythritolfosfátová dráha (MEP) s meziproductem HMBPP, která byla objevena v rostlinných pletivech (Krall et al., 2002; Sakakibara, 2006).

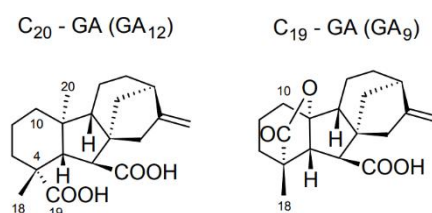
Produktem těchto reakcí je iPRTP (isopentenyladenosin-5'-trifosfát), iPRDP (isopentenyladenosin-5'-difosfát) a iPRMP (isopentenyladenosin-5'-monofosfát) (Takei et al., 2004). Dále může být konec postranního řetězce hydroxylován pomocí cytochromu P450 (CYP735A), vznikají tak různé varianty *trans*-zeatinu (*tZ*) (Takei et al., 2004; Sakakibara, 2006). Ke vzniku dalších CK může dojít pomocí adenosinkinasy (AK), která dává vznik N⁶-isopentenyladeninu (iP), *tZ*, dihydrozeatinu (DZ) a *cis*-zeatinu (*cZ*). Formy *trans* a *cis* mohou být přeměňovány u *tZ* a *cZ* pomocí isomerasy. Degradace CK probíhá nejčastěji rozkladem na adenin a postranní řetězec, enzymem cytokininindehydrogenasa (CKX) (Sakakibara, 2006).



Obr. 7 Biosyntéza isoprenoidních CK (Sakakibara, 2006).

3.4.3 Gibereliny

První gibereliny (svoji chemickou strukturou tetracyklické diterpenoidy, viz Obr. 8) byly objeveny v padesátých letech 20. století a další návazné experimenty ukázaly, že derivátů giberelinů je mnohem více (dodnes známo 136 derivátů). Většina z nich jsou však pouze prekurzory pro syntézu giberelinů či molekuly vzniklé rozpadem. Biologická aktivita byla zjištěna u GA1, GA3, GA4 a GA7. Především GA3, neboli kyselina giberelová je hojně využívána v zemědělství jako růstový regulátor (Davies, 2010).



Obr. 8 Základní strukturální vzorce giberelinů (Podlešáková & Tarkowská, 2012).

Gibereliny jsou syntetizovány v kořenovém systému a transportovány floémem do celé rostliny, nejvíce se nachází v nově se tvořících orgánech a v místech aktivního růstu. Jejich působení indukuje dělení buněk skrze ovlivnění buněčného cyklu (stimulují rychlejší přechod z G1 fáze do S fáze). Gibereliny mají rozsáhlé fyziologické účinky. Zajišťují dlouhivý růst nadzemní části biomasy, podporují růst stonku a tvorbu květů a mají vliv na jejich pohlaví (samčí). Na kořenový systém vliv nemají (Nester & Zeevaart, 1988; Procházka et al., 1998).

Důležitá je také schopnost ukončit dormanci semena a stimulace klíčení skrze zaktivování zásobních látek. Gibereliny jsou endogenní regulátory růstu, které se hromadí v embryu. Pokud bude semeno dostatečně hydratované, gibereliny se uvolní a difundují do aleuronové vrstvy endospermu, kde indukují tvorbu α -amylázy a dalších enzymů. Vazebná místa byla nalezena v cytoplasmě aleuronových buněk, především receptor pro GA1 a GA4. GA3 má schopnost indukovat syntézu α -amylázy na úrovni transkripce skrze tvorbu transkripčních faktorů, které aktivují gen pro α -amylázu (bílkovina se naváže na DNA). Charakterem hydrolytické enzymy přecházejí do endospermu a začínají rozkládat zásobní látky, které jsou bohaté na využitelnou energii. Enzymem α -amylásou je inhibována ABA. Záleží tedy na koncentračním poměru dvou fytohormonů, zdali semeno začne klíčit či nikoliv (Pavlová a Fisher, 2011).

3.4.4 Další fytohormony

Rostlina má mnohem více růstových regulátorů, které působí ve velmi nízkých koncentracích, avšak mají svoji roli v životě rostliny. K zástupcům řadíme ABA, ethylen (ET), brassinosteroidy (BR), kys. jasmonovou (JA), polyaminy, oligosacharidy či různé fenolické látky.

Jedním z nich je ABA, jenž má terpenoidní povahu. Jedná se o antagonistu giberelinů, inhibuje vývojové a růstové procesy. Přípravuje rostlinu na období vegetačního klidu. Nachází se ve všech částech rostlin (Procházka et al., 1998; Tonini et al., 2010). ABA se syntetizuje skoro ve všech buňkách obsahující amyloplasty nebo chloroplasty (Taiz & Zeiger, 2015). K utlumení biosyntézy v semenech dochází zhruba třetí den od počátku nabobtnání semen, kdy jsou plně spuštěny klíčící procesy (Tonini et al., 2010). Poměr ABA/GA rozhoduje, zda budou semena dormantní nebo zda dojde ke klíčení. Kromě tohoto poměru je podstatná také citlivost a počet receptorů, které zachycující hormonální signály (Finch-Savage & Farratn, 1997). Hormon ovlivňuje v semenech dozrávání, navození a uchování dormance, dehydrataci a odbourávání chlorofylů. Také reguluje otevírání a zavírání průduchů a má vliv na odolnost vůči biotickému i abiotickému stresu (Procházka et al., 1998).

ET řadíme mezi jednoduché a plynné rostlinné hormony. Zdrojem ET v rostlinné buňce je Yangův cyklus – cyklus AMK methioninu (Adams & Yang, 1979). Molekuly následně difundují do mezibuněčných prostorů, kde ovlivňuje další buňky skrze navázání na specifická vazebná místa. Druhou variantou je únik ET průduchy do vnějšího prostředí, kde může ovlivnit další rostliny/plody. ET se podílí na regulaci řady vývojových fází u rostlin jako je klíčení, dozrávání plodů nebo senescenci květů. Dále má vliv na opadávání listů, urychluje zrání plodů, a proto má své zastoupení v potravinářství (Davies, 2010).

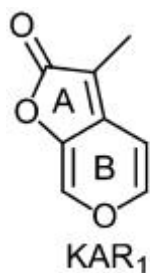
JA a její deriváty jsou tvořeny oxidací lipidů a jejich funkcí je regulace růstu rostlin při změně stability prostředí či poranění organismu. Pomáhají aktivovat adaptační a obranné mechanismy, a to již na transkripční úrovni. Indukují syntézu tzv. PR-proteinů (*pathogen-related proteins*) a k tomu nutných enzymů (Procházka et al., 1998; Podlešáková & Tarkovská, 2012).

BR byly objeveny v 80. letech 20. století z pylu řepky (*Brassica napus* L.) a jsou svojí strukturou podobné živočišným steroidním hormonům. Do dneška bylo detekováno přes

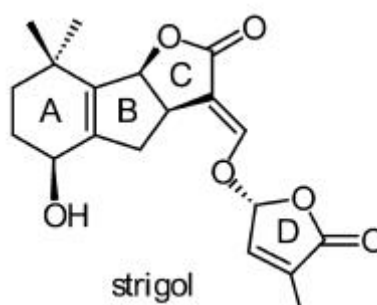
70 přirozených BR. BR mají schopnost stimulovat dělení buněk, růst mladých pletiv i nadzemní a podzemní biomasy. Mají též vliv na klíčení, kvetení a zraní plodů (Podlešáková & Tarkowská, 2012).

3.4.5 Karrikiny jako regulátory růstu

Karrikiny, syn. Butenolidy, jsou skupinou regulátorů růstu, které byly objeveny v kouři hořícího rostlinného materiálu. První z objevených karrikinů (2-methyl-2H-furo[2,3-c]pyran-2-on; KAR1) (Obr. 9) vedl k objevení této skupiny neznámých látek (Van Staden et al., 2004). Z hlediska chemické struktury nemají karrikiny výraznou strukturní podobnost jako ostatní fytohormony. Můžeme však najít podobnost mezi kruhem A KAR1, který je analogický jako kruh D strigolaktonů (Obr. 10) (Flematti et al., 2004). Strigolaktony podporují růst kořenových vlásků, formování hlavních a vedlejších kořenů (Kapulnik et al., 2010).



Obr. 9 Chemická struktura KAR 1 (2-methyl-2H-furo[2,3-c]pyran-2-one) (Nelson et al., 2009).



Obr. 10 Chemická struktura strigolu, jednoho z přírodních strigolaktonů. (Nelson et al., 2009).

Karrikiny mají schopnost ukončovat dormanci semen, a naopak stimulovat klíčení napříč druhy (nahosemenné i krytosemenné), formami života rostlin (stromy, keře, byliny) i rostlinnými stanovišti. Reakce semena na tyto látky může být odlišná. (Chiwocha et al., 2009). Působením karrikinů dochází k mnoha změnám: semena mohou být více citlivá na působení fytohormonů (Gardner et al., 2001), mají jiné požadavky na světlo (Drewes et al., 1995) či dochází ke změnám v morfologii obalu semen z hlediska jejich propustnosti (Egerton-Warburton, 1998). Karrikiny mohou pravděpodobně ovlivnit metabolismus fytohormonů, např. giberelinů, které hrají klíčovou roli v „probuzení“ semen (Kucera et al., 2005).

Bylo zjištěno, že voda obsahující KAR1 může zvýšit vitalitu sazenic, a tedy i možnost budoucího využití v podpůrném moření semen. Studie Jain a Van Staden (2006) zkoumala vliv KAR1 na klíčení a růst rajčat (*Lycopersicon esculentum* Mill), semena byla pokryta KAR1 v koncentračním rozmezí 10^{-10} - 10^{-7} M. Stimulace klíčení nebyla zaznamenána, avšak postgerminativní růst byl výrazně zlepšen oproti kontrole. U koncentrace 10^{-7} M byl urychlen vznik kořene, růst hypokotylu i kořenů. Pomocí průtokové cytometrie bylo zjištěno, že v těchto ošetřených semenech byl zvýšený poměr buněk s replikovanou DNA (Jain & Van Staden, 2006).

3.5 VÝŽIVA ROSTLIN

Rostliny jsou tvořeny jednoduchými anorganickými prvky, které jsou přijímány z vnějšího okolí. Tak jako u každých organismů, i u rostlin, všechno se vším souvisí. Minerální výživa, fotosyntéza, dýchání či vodní provoz rostlin, jsou na sobě do určité míry závislé. Vývoj rostliny je závislý na minerální výživě, tedy asimilaci iontů s následnou přeměnou na složitější a využitelné struktury. Ionty se mohou účastnit reakcí jako kofaktory enzymů (např. Mn, Mg, Zn), přenašeči signálů (Ca), osmotika (K^+ , Na^+) či jako substrát (PO_4^{3+} , NO_3^-) (Procházka et al., 1998).

3.5.1 Mikroprvky

Prvky obsažené v rostlinách můžeme rozdělit na makroprvky a mikroprvky. Obsah makroprvků je v sušině 0,1 % a více, do této skupiny řadíme: vodík, uhlík, kyslík, dusík, draslík, vápník, hořčík, fosfor a síru. Mikroprvků je v sušině rostlin 0,01 % a méně, avšak každý má svoji významnou roli v metabolismu. Do stopových prvků řadíme: molybden, měď, mangan, zinek, železo, nikl, bor a chlor. Tyto prvky se často účastní oxidačně - redoxních reakcí a jsou tedy nezbytnými katalytickými aktivními kofaktory v enzymech, aktivačními faktory reakcí či mohou mít strukturální roli při stabilizaci proteinů (Hänsch & Mendel, 2009). Níže uvádím funkce a úlohy vybraných prvků, které byly použity v rámci experimentální části diplomové práce s cílem podpory klíčení, rozvoje kořenového systému a vzcházivosti rostlin.

3.5.1.1 Železo

Železo je nutné pro fungování enzymů, např. enzymů energetického metabolismu (peroxidázy, katalázy či cytochromoxidázy). Je součástí enzymů potřebných k fixaci a asimilaci dusíku. Dále můžeme považovat ionty Fe za přenašeče elektronů, jsou součástí feredoxinů – katalyzátorů redoxních reakcí. Fe je nezbytné pro syntézu

chlorofylu (80 % buněčného železa se právě zde nachází), fotosyntézu, mitochondriální respiraci či biosyntézu hormonů (ET, GA, JA). Dále má schopnost vycytávat či produkovat ROS, které chrání organismus před patogeny či poškození vlastní DNA (Šetlík et al., 2004; Hänsch & Mendel, 2009).

3.5.1.2 Molybden

Přítomnost molybdenu v metabolických reakcích je nutný ke správnému fungování rostliny a její prosperitě. Samotný Mo je v biologickém systému v neaktivní formě, pouze s určitými kofaktory je aktivní. Hänsch a Mendel (2009) uvádějí, že Mo se vyskytuje u všech organismů jako kofaktor ve více než 40 enzymech. V rostlinách je však nutný pouze u 4 enzymů: nitrátoreduktázy (NR), xanthindehydrogenázy (XDH), sulfát oxidázy (SO) a aldehydoxidázy (AO). Účastní se redukční reakce dusíku hlízkovými bakteriemi (NR) a jeho následné asimilace. Dále se spoluúčastní katabolismu purinů a odstraňování síranů v rostlinách (Hänsch & Mendel, 2009).

3.5.1.3 Mangan

Mangan má také své místo ve vývoji a metabolismu rostlin. Úlohou a funkcí je aktivace některých enzymů, detoxikace ROS a opět jako další kovy dodává do oxidačně - redukčních reakcí elektrony, např. ve fotosyntéze. Mn je součástí přibližně 35 enzymů v rostlinných buňkách, v oxidačních stavech II^+ , III^+ a IV^+ (Hänsch & Mendel, 2009; Hebborn et al., 2009). Příkladem reakcí může být redukce $NO_3^- \rightarrow NO_2^-$ (nitrátoreduktáza, kde je nutný Mn) či oxidační reakce vedoucí k tvorbě IAA (Richter, 2004).

3.5.1.4 Zinek

Rostliny přijímají Zn ve formě Zn^{2+} či v chelátové formě. Přítomnost Fe či Mn podporuje příjem Zn rostlinou a vysoké pH snižuje schopnost příjmu. Úlohou a funkcí Zn je regulace metabolismu AMK, bílkovin či NK. Je složkou enzymů, které jsou nutné pro tvorbu bílkovin, udržení integrity biomembrán, stabilitu ribosomů či energetického metabolismu. Je součástí důležitých enzymů, např. proteinkinás, peptidás a dehydrogenás. Tyto enzymy jsou součástí metabolismu tvorby škrobu, zrání semen. Hraje též roli v procesu klíčení a raném růstu organismu – především růstu kořenového systému. Zn je nedílnou součástí alkoholdehydrogenázy, laktátdehydrogenázy

a karbonanhydratázy, které jsou součástí fotosyntézy (Alloway, 2008; Cerkal et al., 2010; Vaněk et al., 2016).

3.5.1.5 Měď

Měď je přítomna v rostlinách za fyziologických podmínek ve dvou oxidačních stavech – Cu^{1+} (nestabilní forma) a Cu^{2+} , proto můžeme tento prvek považovat za redukční či oxidační činidlo. Měď je významná složkou oxidás, fenolás a laktás, které se podílejí na lignifikaci pletiva. Je nezbytná pro fotosyntézu, chrání před ROS či je nutná pro syntézu buněčné stěny. V mitochondriích, kde se nachází buněčné dýchání jsou součástí cytochromoxidázy (Hänsch & Mendel, 2009).

3.5.1.6 Bor

Bor je jeden ze základních mikroprvků nezbytných pro vývoj a růst rostliny. Je přijímán kořeny, většinou ve formě kyseliny borité, která snadno prochází membránou. Podílí se na tvorbě a fungování buněčné stěny a membrány, účastní se transportu iontů, cukrů či metabolitů. Množství boru závisí na druhu rostliny, orgánu a uložené zásobě (Shelp, 1993; Goldbach et al., 2000). Bor se dále účastní syntézy bílkovin, buněčného dýchání, metabolismu RNA a rostlinných hormonů (Hänsch & Mendel, 2009).

Nedostatečný přístup bóru vede k inhibici růstu kořenů. Dochází ke zpomalení buněčného dělení v apikálním meristému. Při silné deficienci mizí kořenová čepička a odumírají kořenové špičky. Rostliny jsou tak náchylnější k suchu a k nerovnováze živin (Snowball & Robson, 1983).

3.6 OŠETŘENÍ OSIVA

Kvalita osiva a jeho jakost je základním předpokladem pro dobré zakořenění a stabilizaci výnosu. Čerstvě sklizené osivo obsahuje veliké množství prachu, částí rostlin a zeminy, a proto je nutné osivo předčistit. V případě zelených částí rostlin mohou suchá semena nasávat vlhkost a snižovat kvalitu úrody. Jednou z variant péče o osivo je jeho dosoušení, které by mělo být šetrné a sníží se tak případná vysoká vlhkost semen. Další čištění osiva spočívá v odstranění jemných příměsí a k následné kalibraci (semena mohou mít jinou hmotnost/velikost, neuniformní vzcházení rostlin (Ehrenbergerová, 2014). Důležité je správně skladování obilnin. Skladovací prostor by měl být čistý, suchý, snadno větratelný a chráněný proti živočichům. Suroviny by měla být mechanicky nepoškozená a se správnou vlhkostí. Za osivo mokré považujeme vlhkost $> 17\%$,

osivo vlhké > 15,5 %, osivo středně suché > 14 % a ideálně osivo suché s vlhkostí < 14 %. Komplexním parametrem je kvalita zrna, která zahrnuje: hygienické (přípustné limity látek), technologické (pekařské a mlynářské hodnoty) a nutriční vlastnosti (přítomnost výživově pozitivních složek) (Cerkal & Polák, 2013).

Předseťová úprava osiva pomocí mořidel může být dvojího charakteru. Jedním je ochrana rostlin před patogeny, nacházející se v půdní mikroflóře či přenášené osivem. Příkladem chorob u ječmene jarního může být sněť prašná (*Ustilago nuda*), pruhovitost ječmene (*Helminthosporium gramineum*) či hnědá skvrnitost (*Pyrenophora teres*). Druhým jsou mořící roztoky s příznivými účinky na klíčení, vzcházivost a růst, kterým se věnuje tato diplomová práce (Černý et al., 2007).

3.6.1 Moření pomocí mikroprvků a tzv. fytohormonální moření

Úlohu jednotlivých mikroprvků a jejich vliv na rostlinu uvádím v kapitole 3.5 a příklady dalších studií s výsledky v diskuzi, v kapitole 6.

Označení „hormonálního primingu“ jsem převzala ze zahraniční literatury, avšak velmi hezky popisuje ošetření semen a druh podpory růstu rostlin. K aktivaci mohou být využity fytohormony, nejčastěji GA₃, CK, JA, ET, kys. salicylová (SA) atd. Možností je také použít látky, které podporují biosyntézu určitých fytohormonů (jsou prekurzory) nebo jsou pouze strukturálně příbuzné (Singh et al., 2015).

Ve výzkumu této diplomové práce byly využity: GA-3, M-Sunagreen a BUT-108. GA-3 popsána v kapitole 3.4.3. BUT-108 jakožto jeden z karrikinů je rozebrán v kapitole 3.4.5.

M-Sunagreen je jedním z možných řešení podpory klíčení, zakořeňování a vzcházení rostlin. Svým složením obsahuje kyselinu 2-aminobenzoovou (prekurzor AMK Trp) a dále kyselinu 2-hydroxybenzoovou (omezuje aktivitu auxinoxidázy, která rozkládá IAA) (Koprna, 2020).

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 Biologický materiál

Bylo použito nemořené osivo sladovnického dvouřadého ječmene jarního (*Hordeum vulgare*), odrůda Francin.

4.2 Přístroje

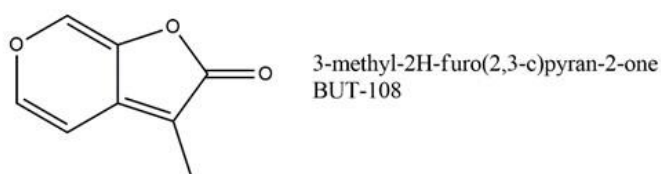
Tab. 1 Přehled použitých přístrojů s jejich výrobci.

Název přístroje	Výrobce
Velkoprostorová růstová komora- Fitotron	Fytotron Weiss Gallenkamp (Fitotron)
Analytické váhy	Kern PFB 200-3
Laboratorní váhy	Kern PCB 200-2
Traktor	Kubota 6040
Secí stroj	Haldrup SB-25
Maloparcelní sklízecí mlátička	Wintersteiger Delta

4.3 Chemikálie

Tab. 2 Přehled použitých chemikálií s jejich výrobci.

Název chemikálie	Výrobce
M-SUNAGREEN složení: kyselina 2-aminobenzoová 5,0 -0,5 g/l, kyselina 2- hydroxybenzoová 2,5 -0,5 g/l, hodnota pH 5,0 -7,0	CHEMAP AGRO s.r.o.
LISTER Cu (80 SL)	CHEMAP AGRO s.r.o.
FOLIT Bór (150 SL)	CHEMAP AGRO s.r.o.
LISTER Mo (80 SL)	CHEMAP AGRO s.r.o.
LISTER Zn (80 SL)	CHEMAP AGRO s.r.o.
LISTER Fe (80 SL)	CHEMAP AGRO s.r.o.
LISTER Mn (80 SL)	CHEMAP AGRO s.r.o.
Kys. gibberelová, GA-3	Připravil Mgr. Dardan Klos
Butenolid (3-methyl-2H-furo(2,3-c)pyran-2-one), Obr. 11	Syntetizoval RNDr. Tomáš Gucký, Ph.D., (UP v Olomouci)
CRUISER (350 FS) – účinná látka thiamethoxam	Syngenta Crop Protection AG
Polyethylenglykol PEG-6000	Acros Organics



Obr. 11 Chemická struktura karrikinů, syntéza UP v Olomouci.

4.4 EXPERIMENTY V ŘÍZENÝCH PODMÍNKÁCH

4.4.1 Rozdělení experimentu, varianty mořících roztoků

Tab. 3 Tabulka přehledu experimentů v řízených podmínkách s daty provedením a pojmenováním v textu.

Datové rozmezí experimentu	Pojmenování experimentu v textu
11.1.-18.1.2022	Experiment 1
18.-25.2.2022	Experiment 2
4.-11.3.2022	Experiment 3

Byl založen Experiment 1, který sloužil jako předvýběr látek a jejich optimálních koncentrací. Z důvodu absence literárních zdrojů o optimální koncentraci jednotlivých mikroprvků ve formě moření osiva, bylo zvoleno koncentrační rozpětí 0,1; 1,0 a 10 mg/kg osiva. Bylo vytvořeno 39 variant mořících roztoků (Tab. 4) s různými koncentracemi mikroprvků a také v určitých variantách v kombinaci se stimulatory růstu: M-Sunagreen, GA-3 a BUT-108. Účinky a působení těchto stimulatorů růstu jsou uvedeny v teoretické části.

Jako kontrola bylo použito osivo mořeno destilovanou vodou ve dvou opakováních. Tento experiment byl proveden jak za optimálních podmínek, tak za působení abiotického stresu pomocí PEG (22% roztok). PEG snižuje vodní potenciál roztoku a díky své velké molekulové hmotnosti nemůže projít do rostliny.

Po vyhodnocení Experimentu 1 byly vybrány varianty mořících roztoků, se kterými se pokračovalo dále do dalšího testování a také byly přidány některé nové možné varianty (do Experimentu 2, Experimentu 3 a polního hodnocení), složení mořících roztoků viz Tab. 4. V uvedené Tab. 4 se nachází všechny testované varianty s koncentrací mikroprvku (mg/kg osiva) a stimulatoru růstu, ale i číslováním, které je závazné pro celou diplomovou práci.

Tab. 4 Tabulka s jednotlivými variantami mořících roztoků, jejich složením a číselným označením, které je závazné pro celou diplomovou práci. Poslední sloupec označuje výběr variant, se kterými bylo pokračováno po vyhodnocení Experimentu 1.

Varianta- mikroprvek		Varianta - koncentrace mikroprvku (mg/kg osiva), stimulátor růstu	Výběr variant do dalšího testování ANO/NE
1	Fe	0,1 (mg/kg osiva)	ANO
2	Fe	1 (mg/kg osiva)	NE
3	Fe	10 (mg/kg osiva)	NE
4	Mo	0,1 (mg/kg osiva)	ANO
5	Mo	1 (mg/kg osiva)	NE
6	Mo	10 (mg/kg osiva)	NE
7	Zn	0,1 (mg/kg osiva)	ANO
8	Zn	1 (mg/kg osiva)	NE
9	Zn	10 (mg/kg osiva)	NE
10	Cu	0,1 (mg/kg osiva)	ANO
11	Cu	1 (mg/kg osiva)	NE
12	Cu	10 (mg/kg osiva)	NE
13	Mn	0,1 (mg/kg osiva)	ANO
14	Mn	1 (mg/kg osiva)	NE
15	Mn	10 (mg/kg osiva)	NE
16	H ₃ BO ₃	0,1 (mg/kg osiva)	NE
17	H ₃ BO ₃	1 (mg/kg osiva)	ANO
18	H ₃ BO ₃	10 (mg/kg osiva)	ANO
19	M-Sunagreen	1,5 l/t	ANO
20	GA-3	50 μMol	ANO
21	BUT-108	500 μg/l	ANO
22	Fe	0,1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)	ANO
23	Fe	0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol)	ANO
24	Fe	0,1 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 μg/l)	ANO
25	Mo	0,1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)	ANO
26	Mo	0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol)	ANO
27	Mo	0,1 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 μg/l)	ANO
28	Zn	0,1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)	ANO
29	Zn	0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol)	ANO
30	Zn	0,1 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 μg/l)	ANO
31	Cu	0,1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)	ANO
32	Cu	0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol)	ANO
33	Cu	0,1 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 μg/l)	ANO
34	Mn	0,1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)	ANO
35	Mn	0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol)	ANO
36	Mn	0,1 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 μg/l)	ANO
37	H ₃ BO ₃	0,1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)	ANO
38	H ₃ BO ₃	0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol)	ANO
39	H ₃ BO ₃	0,1 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 μg/l)	ANO

40	H ₃ BO ₃	1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)	ANO
41	H ₃ BO ₃	10 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)	ANO
42	H ₃ BO ₃	10 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 µMol)	ANO
43	H ₃ BO ₃	10 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 µg/l)	ANO
44	Zn (0,1 mg/kg osiva) + H ₃ BO ₃ (1 mg/kg osiva) + Mo (0,1 mg/kg osiva) + GA-3 (50 µMol) + BUT-108 (500 µg/l)		ANO
45	Zn (0,1 mg/kg osiva) + GA-3 (50 µMol) + BUT-108 (500 µg/l)		ANO

Samotné moření semen probíhalo následujícím způsobem. Semena ječmene jarního byla homogenizována a následně navážena po 30 g do nádobek. Připravené roztoky byly zvortexovány a napipetovány na osivo. Krouživými pohyby nádobkou byl roztok s osivem promíchán a následně vysušen.

4.4.2 Metodika setí

Sadbovače (2,5*2,5 cm, 48 jamek) byly rovnoměrně naplněny homogenizovaným substrátem Potgrand – Výsev a množení (20 L). Substrát byl mechanicky upěchován a přebytek odstraněn. Do každé buňky byla vytlačena jamka o hloubce 2 cm.

Varianty namořených semen ječmene jarního byla po jednom umístěna pinzetou doprostřed jamky, všechna hypokotylem dolů. Počet zasetých semen jedné varianty byl vždy 48. Jamky byly lehce zakryty substrátem. Sadbovače se všemi variantami byly umístěny do podmisek, do kterých byla nalita vespod zálivka o objemu 1,5 litru: voda či 22% roztok polyethylenglykolu. Takto připravené komplety byly přeneseny do fitotronu, viz Obr. 12.



Obr. 12 Sadbovače naplněné substrátem se zasetými semeny a zálivkou ve fitotronu.

4.4.3 Fitotron, monitoring vzcháživosti rostlin a vyhodnocení

Sadbovače byly umístěny do fitotronu s fotoperiodou 16 hodin světlo a 8 hodin tma. Teplota byla nastavená na 20 °C a vlhkost prostředí na 60 %, intenzita osvětlení 9.500 lux. Monitoring vzcháživosti rostlin probíhal v pravidelných intervalech během dne (interval po 2 hodinách). U každé varianty byl spočítán počet rostlin, zaznamenáno v Tab. 10 a Tab. 11.

Po 136 hodinách byl experiment vyhodnocen následujícím způsobem. Rostlina byla vyjmuta z buňky, která se nacházela ve středu sadbovače (eliminace okrajového efektu). Substrát v kořenovém systému byl opatrně vypláchnut vodou. Celá rostlina byla položena na savý ubrousek a zbavena vody po promytí. Rostlina byla rozdělena na nadzemní listovou část a kořenovou včetně semena, viz Obr. 13. Obě části byly zváženy pomocí laboratorních vah a výsledky hmotností zaznamenány.



Obr. 13 Odběr ječmene jarního, v experimentu v řízených podmínkách s opláchnutými kořeny a připravené na vážení, vlevo varianta 1+PEG, vpravo varianta 33.

4.5 EXPERIMENT V POLNÍCH PODMÍNKÁCH

Polní experiment s ječmenem jarním byl založen v Olomouci, Holicí na pozemku Univerzity Palackého (N 49°34.56390', E 17°16.91093'). Cílem bylo zhodnotit a porovnat mezi sebou vliv ošetření osiva různými variantami mořících roztoků na rychlost vzcházení, hodnotu pozemní a nadzemní biomasy rostliny a následného výnosu zrna. Ošetřená semena ječmene byla seta 22.3.2022. V průběhu vegetační doby byl dvakrát vzorek 20 rostlin od každé varianty odebrán. Byly spočítány silné, střední a slabé odnože, viz Obr. 14. Na konci června proběhlo u každé varianty počítání klasů m², viz Obr. 15 a Tab. 17. Sklizeň ječmene jarního proběhla v plné zralosti zrna (25.7.2022) pomocí maloparcelní sklízecí mlátičky. Počet opakování u kontrolního osiva bylo 5x a u variant 2x. U každé varianty byl zvážen výnos zrna a přepočítán na standardizovanou vlhkost 14 %. Byl spočítán parametr hmotnost tisíce zrn (HTZ).

V Tab. 5 byly zaznamenány veškeré činnosti spojené s přípravou půdy a jejím hnojením, setím ječmene až po sklizeň rostlin.



Obr. 14 Odběr ječmene jarního se zjišťováním počtu odnoží, vážení podzemní a nadzemní biomasy v rámci polního experimentu (28.4.2022), varianty 22.



Obr. 15 Počítání klasů ječmene jarního na m² v rámci polního experimentu (22.6.2022), varianta 33.

Tab. 5 Tabulka zaznamenaných činností péče s daty provedení, případně doplněný o použitý přípravek, množství či sloučeninu.

Datum	Činnost	Přípravek	Množství/ sloučenina
21.3.2022	Moření osiva– sladovnický ječmen - odrůda Francin (Selgen a.s.) + Insekticidní moření osiva	Varianty v Tab. 3 + CRUISER 350 FS	1,5 ml + 7,5 ml vody / 1 kg osiva
22.03.2022	Setí ječmene jarního		3,5 milionu klíčivých semen /1ha
28.4.2022	Odběr rostlin, počítání odnoží, vážení nadzemní a podzemní biomasy		
20.5.2022	Odběr rostlin, produktivní a neproduktivní odnože		
22.6.2022	Počítání klasů na m ²		
25.7.2022	Sklizeň		

4.5.1 Klimatické podmínky

Průměrný měsíční úhrn srážek a průměrné měsíční teploty za období březen-srpen 2022, z lokality polního experimentu, jsou zapsány v Tab. 6 a Tab. 7. V tabulkách se také nachází srovnání s měsíčním dlouhodobým úhrnem srážek a dlouhodobým teplotním normálem za období 1981-2010. Teplotní průměr tento vegetační rok byl v průběhu

období spíše vyšší, než je dlouhodobý normál. V březnu 2022 byla průměrná teplota o pět desetin °C vyšší jak dlouhodobý normál. Výraznější vzestup teploty byl zaznamenán především v průběhu června, července a srpna 2022, kde průměrná teplota byla vyšší i o 2 °C než dlouhodobý normál. Průměrný měsíční úhrn srážek byl v průběhu celého vegetačního roku 2022 spíše podprůměrný oproti průměrnému dlouhodobému normálu. Jediným měsícem s nadprůměrným úhrnem srážek byl červenec 2022 (+21 % oproti dlouhodobému normálu).

Tab. 6 Meteodata z polního pokusu – teplota.

Měsíc	Měsíční teplotní průměr (C°) - dlouhodobý normál	Měsíční teplotní průměr (C°) - dlouhodobý normál (1981-2010)	Vegetační rok 2021/22
3	3,8	3,9	4,4
4	9,1	9,7	8,5
5	14,2	14,9	16,2
6	17,2	17,6	20,6
7	18,6	19,7	21,2
8	18	19,2	21,6

Tab. 7 Meteodata z polního pokusu – srážky.

Měsíc	Měsíční úhrn srážek (mm) - dlouhodobý normál	Měsíční úhrn srážek (mm) - dlouhodobý normál (1981-2010)	Vegetační rok 2021/22
3	27,2	27,7	14,7
4	37,8	32,9	31,6
5	73,3	63	57,2
6	78,4	67,6	62,1
7	76,4	73,6	92,5
8	68,8	61,7	59,5

4.6 ANALÝZA FYTOHORMONŮ POMOCÍ UHPLC-MS/MS

Analýza fytohormonálního profilu ve vzorcích ječmene jarního probíhala ve spolupráci s Laboratoří růstových regulátorů, analýzy byly provedeny pod dozorem Prof. Ondřeje Nováka a Mgr. Ivana Petříka. Příprava vzorků a analýza fytohormonů byla provedena podle publikované práce Šimura et al., 2018.

4.6.1 Princip metody UHPLC-MS/MS

Fytohormony byly analyzovány pomocí instrumentální metody UHPLC-MS/MS, jejíž hlavní výhodou je získání jak kvantitativních, tak kvalitativních (molekulová hmotnost a struktura) informací o vzorku. Principem UHPLC je rozdílná distribuce analyzovaných složek mezi fází stacionární a mobilní. Analyty mají rozdílnou afinitu k pevné-stacionární fázi, a tedy jsou různou měrou zadržovány (Králová et al., 2001). Takto „před“ separované molekuly jsou následně převedeny do plynného skupenství pomocí elektrosprejová ionizace (ESI) a jsou usměrněny do tandemové hmotnostní spektrometrie. Propojení hmotnostních spektrometrů MS-MS výrazně pomáhá zvyšovat citlivost analýzy (McLafferty, 1981). Díky ionizaci získávají molekuly analytu náboj a jsou separovány na základě m/z (poměr hmotnosti a náboje). Posledním pomyslným krokem je detekce pomocí detektoru, který měří a zaznamenává dopadající ionty (Králová et al., 2001).

4.6.2 Biologický materiál k analýze

Vzešlý ječmen jarní byl v rámci experimentu v řízených podmínkách odebrán, kořenový systém byl opláchnut a zbaven přebytečné vody. Od každé varianty byly do alobalu zabaleny dva kořeny a dvě nadzemní biomasy. Alobal se vzorky byl následně vložen do tekutého dusíku a poté do mrazáku při teplotě - 80 °C.

4.6.3 Postup analýzy fytohormonů

Odebrané vzorky kořenů a listů všech variant byly nejprve zhomogenizovány a rozváženy ve 3 opakováních po 15 mg čerstvé hmoty. Kvůli snadné degradaci fytohormonů bylo nutné pracovat rychle a při nízké teplotě pod 4 °C. Jako rozpouštědlo byl zvolen studený 60% acetonitril (v/v), ve kterém jsou fytohormony rozpustné a stabilní. Ke každému replikátu byl připipetován 1 ml 60% acetonitrilu (v/v), směs izotopicky značených interních standardů a byly přidány 4 keramické homogenizační kuličky.

Vzorky byly extrahovány v oscilačním mlýnku, sonifikovány a inkubovány 30 min při 4 °C. Pomocí tuhé fáze v extrakční kazetě Oasis® HLB 30 mg/1 ml (Waters, Milford, CT, USA) byl supernatant purifikován. Průtoková frakce byla posbírána do skleněné zkumavky a odpařená na vakuové rotační odparce. Zakoncetrovaný vzorek byl rozpuštěn ve 40 μ l 25% acetonitrilu (v/v), převeden do LC vialky a 5 μ l vzorku bylo analyzováno pomocí UHPLC (Acquity® I-Class, Waters, Milford, CT, USA) ve spojení s MS/MS typu

trojitého kvadrupólu vybaveného ionizací elektrosprejem (Xevo TQ-XS, Waters, Manchester, UK).

Za účelem experimentu byly hodnoceny vybrané fytohormony a jejich metabolity uvedené v Tab. 8.

Tab. 8 Tabulka vybraných fytohormonů a jejich metabolitů stanovených pomocí UHPLC-MS/MS.

Skupina fytohormonů	Produkt metabolismu	Zkratka
CK	<i>trans</i> -zeatin	<i>tZ</i>
CK	<i>trans</i> -zeatin ribosid	<i>tZR</i>
CK	<i>cis</i> -zeatin	<i>cZ</i>
CK	<i>cis</i> -zeatin ribosid	<i>cZR</i>
CK	dihydrozeatin ribosid	DHZR
CK	isopentenyladenin	iP
CK	isopentenyladenin ribosid	iPR
Auxin	kyselina indol-3-octová	IAA

4.7 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ

Monitoring vzcházivosti ječmene jarního probíhal v daných intervalech, počet rostlin byl zapisován do tabulky. K vypočítání parametru „procento vzešlého ječmene jarního“ a vytvoření grafů byl použit program MS Excel - Microsoft Office 365.

V případě Experimentu 1, Experimentu 2 a Experimentu 3 a polním experimentu byl odebrán kořenový systém a nadzemní biomasa, které byly zváženy. Průměry hmotností kořenových systémů a nadzemních biomas byly vypočítány u jednotlivých variant. Byl vypočten parametr Root/shoot ratio. V případě polního hodnocení byly vypočítány průměry silných, středních a slabých odnoží. Dále byly provedeny TTESTY s podmíněným formátováním: hodnoty tmavě šedé prokazují vysoký statistický významný rozdíl oproti kontrole ($TTEST \leq 0,01$) a hodnoty světle šedé prokazují statisticky průkazný rozdíl oproti kontrole ($0,01 \geq TTEST \leq 0,05$). Ke statistické interpretaci dat byl použit program MS Excel - Microsoft Office 365. K vyhodnocení výnosu osiva byl použit MS Excel - Microsoft Office 365.

K vyhodnocení dat analýzy fytohormonů pomocí UHPLC-MS/MS byl využit MS Excel - Microsoft Office 365. Byly provedeny TTESTY s podmíněným formátováním: hodnoty tmavě šedé prokazují vysoký statistický významný rozdíl oproti kontrole ($TTEST \leq 0,01$) a hodnoty světle šedé prokazují statisticky průkazný rozdíl oproti kontrole ($0,01 \geq TTEST \leq 0,05$).

5 VÝSLEDKY

5.1 VÝSLEDKY EXPERIMENTU V ŘÍZENÝCH PODMÍNKÁCH

V následujících kapitolách jsou zaznamenány výsledky z Experimentu 1, Experimentu 2 a Experimentu 3, které probíhaly v řízených podmínkách popsanych v metodické části této práce.

5.1.1 Výsledky experimentu 1

Experiment 1 sloužil jako předvýběr variant mořících roztoků a jeho výsledky jsou uvedeny v Tab. 9. Jako kontrola byla použita semena mořena destilovanou vodou. Hodnoty tmavě šedě zbarvených polí prokazují vysoký statisticky významný rozdíl oproti kontrole ($TTEST \leq 0,01$) a hodnoty světle šedivých polí prokazují statisticky průkazný rozdíl oproti kontrole ($0,01 \geq TTEST \geq 0,05$).

Varianta 1 obsahující Fe o nejnižší testované koncentraci 0,1 mg/kg osiva statisticky významně podpořila růst kořenového systému. Mořící roztok obsahující Fe o koncentraci nejvyšší – 10 mg/kg osiva, statisticky významně snížilo hmotnost kořenů. U varianty 23 [Fe (0,1 mg/kg osiva) + GA-3 (50 μ Mol)] byl zaznamenán statisticky významný přírůstek nadzemní biomasy.

Vyšší koncentrace Mo (1 mg/kg osiva a 10 mg/kg osiva) měly spíše negativní vliv na růst nadzemní biomasy na statisticky průkazné úrovni. Nejnižší koncentrace Mo - 0,1 mg/kg osiva (varianta 4) měla lehce podpurný vliv na růst rostliny. Mo (o nejnižší koncentraci 0,1 mg/kg osiva) v kombinaci s M-Sunagreenem měl statisticky významný vliv na růst kořenového systému.

Varianta 7 obsahující Zn v nejnižší koncentraci 0,1 mg/kg osiva statisticky významně podpořila růst kořenů.

Varianty obsahující Cu statisticky průkazně ovlivnily nárůst kořenového systému (koncentrace 0,1 a 10 mg/kg osiva). U těchto variant byla také pozorován nárůst hmotností nadzemních biomas na statistické významnosti. U varianty 32 [Cu (0,1 mg/kg osiva) + GA-3 (50 μ Mol)] byl zaznamenán statisticky významný přírůstek kořenů. Naopak varianta 33 [Cu (0,1 mg/kg osiva) + BUT-108 (500 μ g/l)] statisticky průkazně podpořila růst nadzemní biomasy.

Samotný roztok Mn o všech koncentracích spíše pozitivně ovlivnil celkový růst rostlin. U varianty 35 [Mn (0,1 mg/kg osiva) + BUT-108 (500 µg/l)] byla statisticky průkazně snížena hmotnost kořenů, a naopak zvýšena nadzemní biomasa.

Kombinace B o nejnižší koncentraci (0,1 mg/kg osiva) s regulátory růstu: M - Sunagreenem, BUT-108 i GA-3 pozitivně ovlivnil růst nadzemní biomasy.

Tab. 9 Tabulka výsledků z Experimentu 1, výsledné průměrné hmotnosti kořenů, listů a celé rostliny. Byl spočítán průměr a TTEST. Na základě hodnot TTEST byly zbarveny pole: hodnoty tmavě šedé prokazují vysoký statisticky významný rozdíl oproti kontrole (TTEST ≤ 0,01) a hodnoty světle šedé prokazují statisticky průkazný rozdíl oproti kontrole (0,01 ≥ TTEST ≤ 0,05).

Varianta-mikroprvek	Varianta - koncentrace mikroprvku (mg/kg osiva), stimulant růstu	Kořeny			Listy			Celá rostlina		
		(mg)	(%)	T-test	(mg)	(%)	T-test	(mg)	(%)	T-test
Kontrola		146,21	0,00		298,06	0,00		444,26	0,00	
1	Fe 0,1 (mg/kg osiva)	189,35	129,51	0,000	315,24	105,77	0,074	504,59	113,58	0,000
2	Fe 1 (mg/kg osiva)	140,09	95,81	0,381	310,22	104,08	0,157	450,31	101,36	0,662
3	Fe 10 (mg/kg osiva)	123,75	84,64	0,001	310,00	104,01	0,159	433,75	97,63	0,437
4	Mo 0,1 (mg/kg osiva)	154,83	105,89	0,272	285,65	95,84	0,184	440,48	99,15	0,798
5	Mo 1 (mg/kg osiva)	152,42	104,25	0,402	276,46	92,75	0,015	428,88	96,54	0,276
6	Mo 10 (mg/kg osiva)	144,63	98,92	0,847	255,21	85,62	0,000	399,83	90,00	0,004
7	Zn 0,1 (mg/kg osiva)	172,21	117,78	0,008	294,17	98,70	0,713	466,38	104,98	0,212
8	Zn 1 (mg/kg osiva)	155,76	106,53	0,349	246,00	82,53	0,000	401,76	90,43	0,027
9	Zn 10 (mg/kg osiva)	160,04	109,46	0,124	313,08	105,04	0,164	473,12	106,49	0,100
10	Cu 0,1 (mg/kg osiva)	169,46	115,90	0,014	284,58	95,48	0,210	454,04	102,20	0,579
11	Cu 1 (mg/kg osiva)	164,38	112,43	0,044	347,50	116,59	0,000	511,88	115,22	0,000
12	Cu 10 (mg/kg osiva)	159,32	108,97	0,154	334,40	112,19	0,002	493,72	111,13	0,008
13	Mn 0,1 (mg/kg osiva)	145,54	99,54	0,940	301,67	101,21	0,731	447,21	100,66	0,863
14	Mn 1 (mg/kg osiva)	158,29	108,26	0,202	317,08	106,38	0,086	475,38	107,00	0,089
15	Mn 10 (mg/kg osiva)	139,00	95,07	0,421	289,17	97,02	0,402	428,17	96,38	0,351
16	H ₃ BO ₃ 0,1 (mg/kg osiva)	143,80	98,35	0,781	310,36	104,13	0,241	454,16	102,23	0,550
17	H ₃ BO ₃ 1 (mg/kg osiva)	155,52	106,37	0,301	295,16	99,03	0,790	450,68	101,44	0,715
18	H ₃ BO ₃ 10 (mg/kg osiva)	159,04	108,78	0,140	292,40	98,10	0,598	451,44	101,62	0,672
19	M-Sunagreen 1,5 l/t	126,84	86,75	0,028	285,80	95,89	0,275	412,64	92,88	0,074
20	GA-3 50 µMol	153,67	105,10	0,396	307,92	103,31	0,370	461,58	103,90	0,313
21	BUT-108 500 µg/l	154,35	105,57	0,361	305,22	102,40	0,487	459,57	103,44	0,365
22	Fe 0,1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)	142,08	97,18	0,638	324,88	109,00	0,018	466,96	105,11	0,199
23	Fe 0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 µMol)	160,40	109,71	0,103	346,00	116,09	0,000	506,40	113,99	0,000
24	Fe 0,1 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 µg/l)	142,92	97,75	0,712	307,50	103,17	0,369	450,42	101,38	0,721
25	Mo 0,1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)	176,83	120,95	0,001	297,50	99,81	0,958	474,33	106,77	0,081
26	Mo 0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 µMol)	150,46	102,91	0,619	304,17	102,05	0,568	454,63	102,33	0,539
27	Mo 0,1 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 µg/l)	153,13	104,73	0,432	316,09	106,05	0,128	469,22	105,62	0,157
28	Zn 0,1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)	153,42	104,93	0,428	280,42	94,08	0,106	433,83	97,65	0,552
29	Zn 0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 µMol)	152,75	104,47	0,467	305,83	102,61	0,470	458,58	103,22	0,398
30	Zn 0,1 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 µg/l)	151,20	103,41	0,570	288,40	96,76	0,379	439,60	98,95	0,789
31	Cu 0,1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)	156,24	106,86	0,266	310,80	104,28	0,280	467,04	105,13	0,201
32	Cu 0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 µMol)	171,17	117,07	0,009	311,88	104,64	0,214	463,72	104,38	0,361
33	Cu 0,1 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 µg/l)	136,88	93,62	0,265	354,40	118,90	0,000	491,28	110,58	0,005
34	Mn 0,1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)	132,33	90,51	0,120	311,67	104,57	0,187	426,24	95,94	0,357
35	Mn 0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 µMol)	127,50	87,20	0,036	324,63	108,91	0,014	434,04	97,70	0,609
36	Mn 0,1 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 µg/l)	139,38	95,33	0,422	313,46	105,17	0,160	452,85	101,93	0,619
37	H ₃ BO ₃ 0,1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)	135,84	92,91	0,223	337,60	113,27	0,000	473,44	106,57	0,092
38	H ₃ BO ₃ 0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 µMol)	141,67	96,89	0,603	320,00	107,36	0,048	443,20	99,76	0,958
39	H ₃ BO ₃ 0,1 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 µg/l)	142,56	97,50	0,660	345,60	115,95	0,000	488,16	109,88	0,010

5.1.2 Výsledky monitoringu počtu vzcházejícího ječmene jarního z Exp. 2 a Exp. 3

Jedním z dílčích cílů pro výběr vhodných variant mikroprvků se stimulátory klíčení byla rychlost vzcházejícího ječmene jarního. Monitoring probíhal v pravidelných intervalech, první 64 h po založení experimentu a poslední po 136 h. Dále bylo vypočítáno procento vzešlého ječmene oproti kontrole (KO semena mořena pouze vodou, KO-PEG semena mořena pouze vodou za růstu v prostředí abiotického stresu-PEGu).

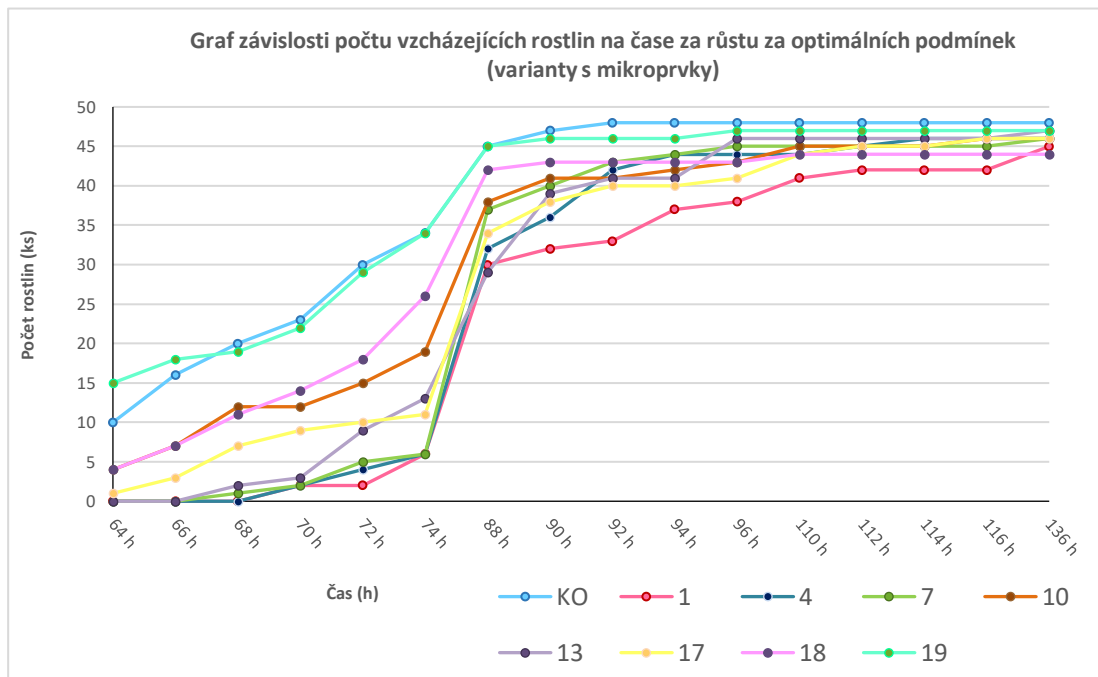
Experiment 2

Výsledky monitoringu a procento vzešlého ječmene jsou zapsány v Tab. 10, složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4. Z hlediska doplňujícího parametru „procento vzešlého ječmene“ bylo zjištěno, že všechny rostliny rostoucích za optimálních podmínek překročily procentuální práh 90 %, oproti kontrolním rostlinám (KO). Hladinu 100 % na kontrolu měly varianty 31, 41 a 19. Nejnižší procento vzešlého ječmene za optimálních podmínek bylo u variant 18 a 40. U rostlin, které byly vystaveny abiotickému stresu se vzcházivost projevila v nižším procentu parametru oproti rostlinám, které rostly za optimálních podmínek. Nejnižší procento vzcházivosti se projevilo u varianty 28 (72,7 %), vztaženo ke kontrolním rostlinám, které rostly za přítomnosti PEGu (KO-PEG). Naopak vzcházivost varianty 34 s 106,8 % překonala hranici 100 % kontrolních rostlin (KO-PEG).

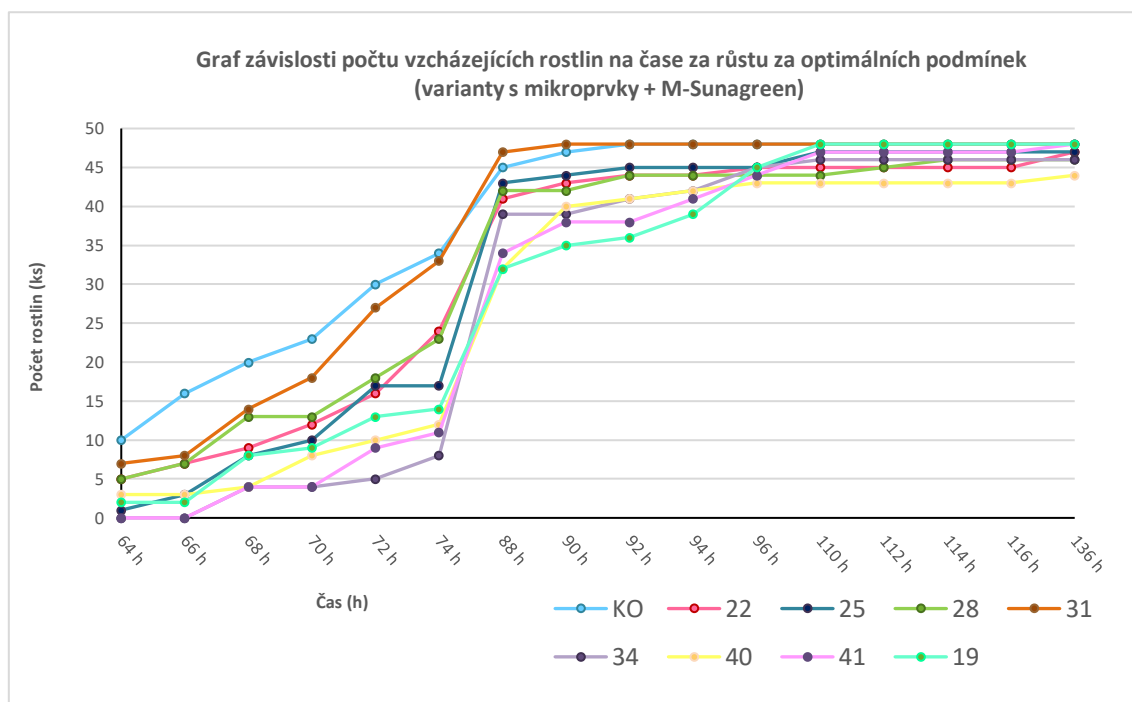
Byly vytvořeny grafy, do kterých byly zaznamenány výsledky monitoringu vzcházejícího ječmene. Grafy 1 a 2 znázorňují vzcházivost rostlin rostoucích za optimálních podmínek. V Grafu 1 je zaznamenána vzcházivost variant mikroprvků a v Grafu 2 varianty kombinace mikroprvku a M-Sunagreenu, složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4. Monitorování vzcházivosti probíhalo současně, avšak grafy jsou rozděleny z důvodu lepší přehlednosti. Většina variant rostoucích za optimálních podmínek začala vzcházet 64 h a 66 h po hydrataci. Nejrychleji vzcházející byly varianty 18, 19 a 31, ve srovnání s kontrolou. Nejpomaleji vzcházely varianty 1, 4, a 34. Grafy 3 a 4 obsahují výsledky monitoringu vzcházení rostlin za přítomnosti abiotického stresu. Většina rostlin začala vzcházet až mezi 70-74 hod. po hydrataci. Nejpomaleji vzcházely varianty 7, 28 a 31. Oproti tomu varianty 19 a 41 se dokázaly vyrovnat s vyvolaným stresem velmi dobře a vzcházivost byla v některých hodinách vyšší, než u kontrolních rostlin.

Tab. 80 Tabulka výsledků monitoringu vzházejícího ječmene z Experimentu 2. U variant bylo spočítáno procento vzešlého ječmene jarního (%). Naměřené varianty rostly za dvou opakovaných – za optimálních podmínek (procento rostlin vtažené ke kontrole KO) a za podmínek abiotické stresu – PEGu (procento rostlin vtaženo ke kontrole KO-PEG). Složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4

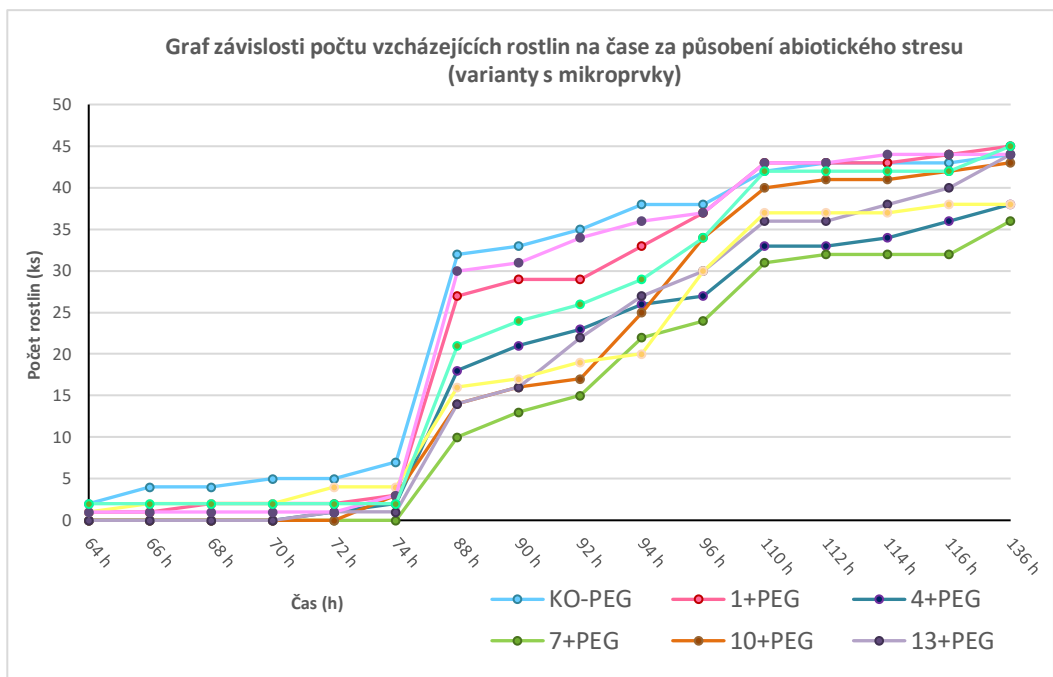
Varianta	Počet hodin od založení experimentu																		Procento vzešlého ječmene (%)
	64 h	66 h	68 h	70 h	72 h	74 h	88 h	90 h	92 h	94 h	96 h	100 h	112 h	114 h	116 h	136 h			
KO	10	16	20	23	30	34	45	47	48	48	48	48	48	48	48	48	48	100,0	
1	0	0	0	2	2	6	30	32	33	37	38	41	42	42	42	45	45	93,8	
4	0	0	0	2	4	6	32	36	42	44	44	44	45	46	46	46	46	95,8	
7	0	0	1	2	5	6	37	40	43	44	45	45	45	45	45	46	46	95,8	
10	4	7	12	12	15	19	38	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	97,9	
13	0	0	2	3	9	13	29	39	41	41	46	46	46	46	46	47	47	97,9	
17	1	3	7	9	10	11	34	38	40	40	41	44	45	45	46	46	46	95,8	
18	4	7	11	14	18	26	42	43	43	43	43	44	44	44	44	44	44	91,7	
19	15	18	19	22	29	34	45	46	46	46	47	47	47	47	47	47	47	97,9	
22	5	7	9	12	16	24	41	43	44	44	45	45	45	45	45	47	47	97,9	
25	1	3	8	10	17	17	43	44	44	45	45	47	47	47	47	47	47	97,9	
28	5	7	13	13	18	23	42	42	44	44	44	44	45	46	46	46	46	95,8	
31	7	8	14	18	27	33	47	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	100,0	
34	0	0	4	4	5	8	39	39	41	42	45	46	46	46	46	46	46	95,8	
40	3	3	4	8	10	12	34	40	41	42	43	43	43	43	43	43	43	91,7	
41	0	0	4	4	9	11	32	38	38	41	44	47	47	47	47	48	48	100,0	
19	2	2	8	9	13	14	32	35	36	39	45	48	48	48	48	48	48	100,0	
KO-PEG	2	4	4	5	5	7	32	33	35	38	38	42	43	43	43	44	44	100,0	
1+PEG	1	1	2	2	2	3	27	29	29	33	37	43	43	43	43	44	45	102,3	
4+PEG	0	0	0	0	1	2	18	21	23	26	27	33	33	34	36	38	38	86,4	
7+PEG	0	0	0	0	0	0	10	13	15	22	24	31	32	32	32	36	36	81,8	
10+PEG	0	0	0	0	0	3	14	16	17	25	34	40	41	41	42	43	43	97,7	
13+PEG	0	0	2	2	4	4	14	16	22	27	30	36	36	38	40	44	44	100,0	
17+PEG	1	2	2	2	4	4	16	17	19	20	30	37	37	37	38	38	38	86,4	
18+PEG	1	1	1	1	1	3	30	31	34	36	37	43	43	44	44	44	44	100,0	
19+PEG	2	2	2	2	2	2	21	24	26	29	34	42	42	42	42	45	45	102,3	
22+PEG	0	0	0	0	3	3	14	15	17	20	22	32	34	36	42	43	43	97,7	
25+PEG	1	1	1	2	2	2	9	10	12	14	17	25	28	30	34	35	35	79,5	
28+PEG	0	0	0	0	0	0	3	6	6	9	12	21	22	24	26	32	32	72,7	
31+PEG	0	0	0	0	0	0	7	7	8	10	12	21	21	23	31	35	35	79,5	
34+PEG	2	3	3	4	5	6	30	33	36	38	38	44	45	45	45	47	47	106,8	
40+PEG	0	0	0	0	1	3	19	19	24	24	28	37	38	40	40	43	43	97,7	
41+PEG	2	3	6	7	9	11	30	31	34	36	37	44	44	44	44	44	44	100,0	
19+PEG	1	1	7	10	13	14	32	33	34	38	39	44	44	44	44	45	45	102,3	



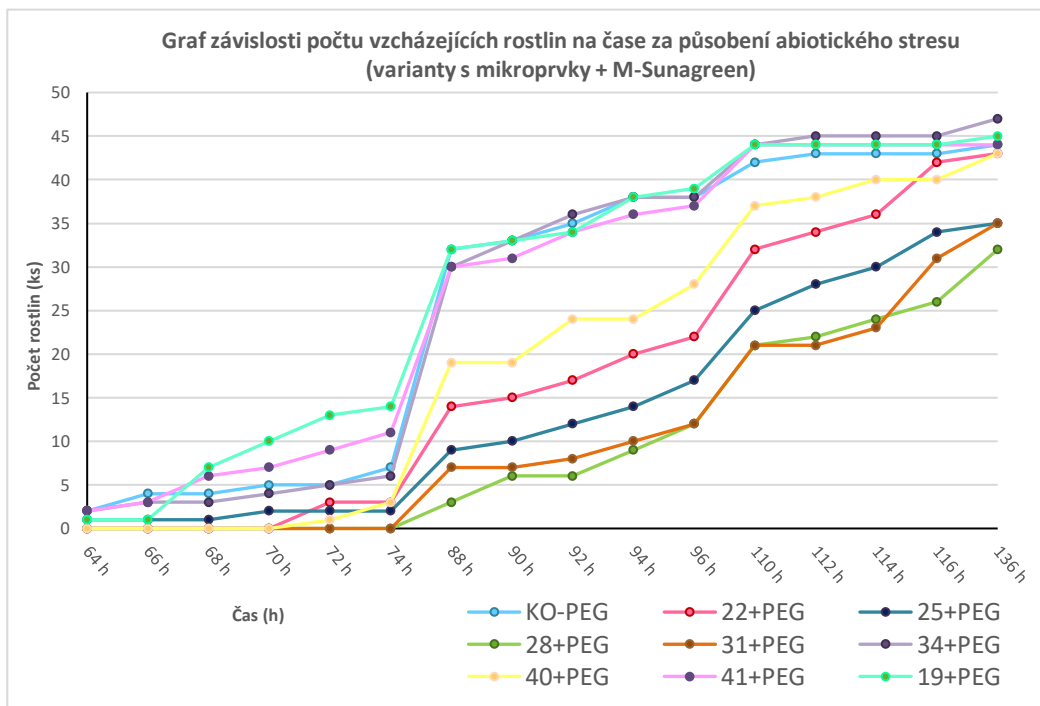
Graf 1: Graf závislosti počtu vzcházejících rostlin na čase za růstu za optimálních podmínek (varianty s mikroprvky), zobrazeny varianty KO, 1, 4, 7, 10, 13, 17, 18, 19.



Graf 2: Graf závislosti počtu vzcházejících rostlin na čase za růstu za optimálních podmínek (varianty s mikroprvky + M-Sunagreen), zobrazeny varianty KO, 22, 25, 28, 31, 34, 40, 41, 19.



Graf 3: Graf závislosti počtu vzházejících rostlin na čase za působení abiotického stresu (PEG) (varianty s mikroprvky), zobrazeny varianty KO, 1, 4, 7, 10, 13, 17, 18, 19.



Graf 4: Graf závislosti počtu vzházejících rostlin na čase za působení abiotického stresu (PEG) (varianty s mikroprvky + M-Sunagreen), zobrazeny varianty KO, 22, 25, 28, 31, 34, 40, 41, 19.

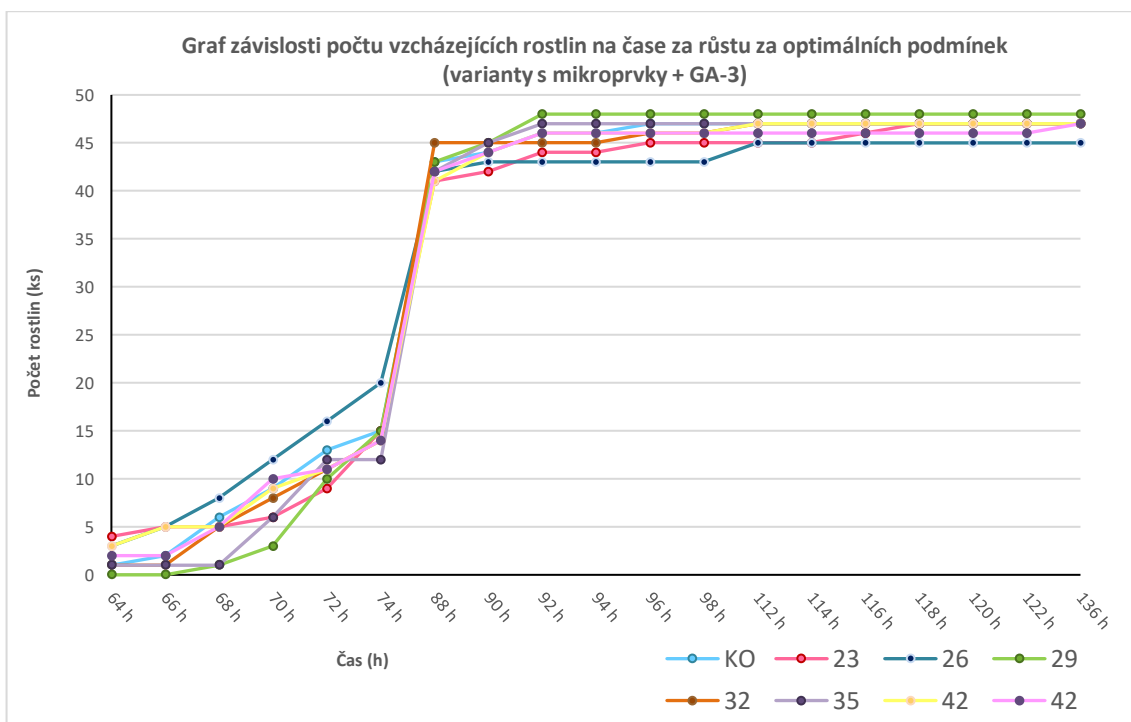
Experiment 3

Vzcházivost ječmene jarního u rostlin rostoucích za optimálních podmínek byl monitorován již po 64 h po hydrataci. Procentuální vzcházivost překročila u všech variant 95 % oproti kontrolním rostlinám (KO). Rostliny vystavené abiotickému stresu začaly vzcházet až po 74 h po hydrataci (výjimka varianta 21). Nejnižší procento vzešlého ječmene bylo zaznamenáno u varianty 23 s 88,6 % oproti KO-PEG. Výsledky zapsány v Tab. 11. Složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4.

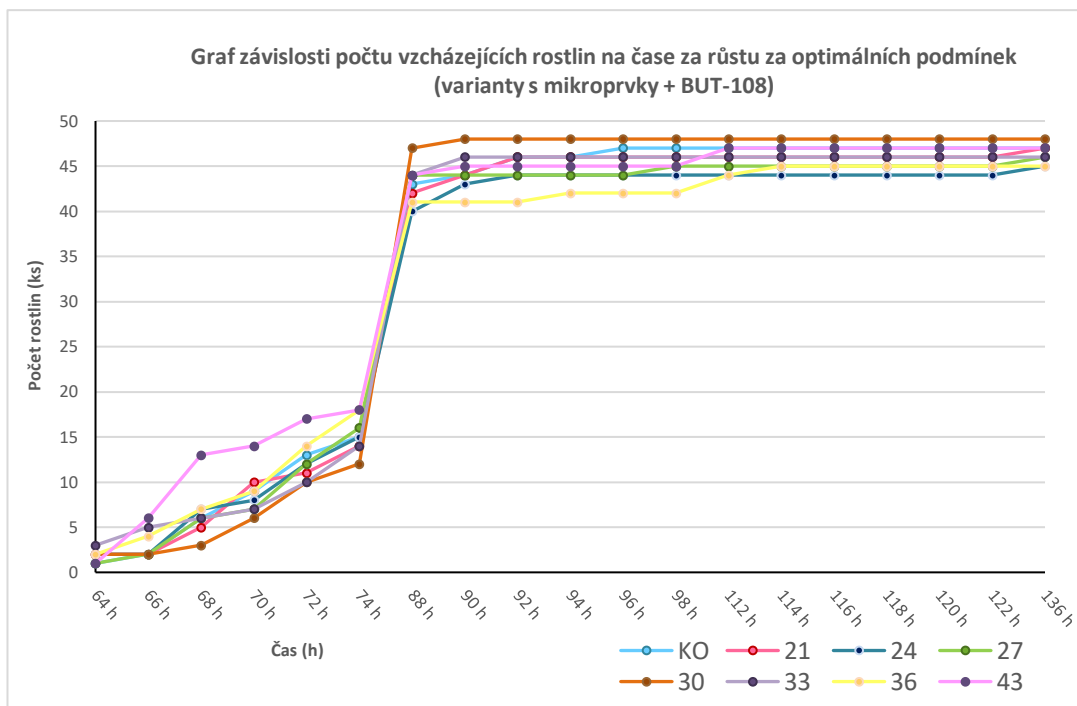
Tab. 9 Tabulka výsledků monitoringu vzcházejícího ječmene z Experimentu 3. U variant bylo spočítáno procento vzešlého ječmene jarního (%). Namožené varianty rostly za dvou opakovaných – za optimálních podmínek (procento rostlin vztažené ke kontrole KO) a za podmínek abiotického stresu – PEGu (procento rostlin vztažené ke kontrole KO-PEG). Složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4

Varianta	Počet hodin od založení experimentu																			Procento vzešlého ječmene (%)	
	64 h	65 h	66 h	68 h	70 h	72 h	74 h	88 h	90 h	92 h	94 h	96 h	98 h	112 h	114 h	115 h	118 h	120 h	122 h		136 h
KO	1	2	2	3	6	9	13	15	43	44	46	46	46	47	47	47	47	47	47	47	100,0
20	1	2	3	6	9	9	13	13	44	45	45	45	45	45	46	46	47	47	47	47	100,0
23	4	5	5	6	6	9	9	15	41	42	44	44	45	45	45	46	47	47	47	47	100,0
26	3	5	8	12	16	20	20	42	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	95,7
29	0	0	1	3	10	15	15	43	45	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	102,1
32	1	1	1	5	8	11	14	14	45	45	45	45	46	46	47	47	47	47	47	47	100,0
35	1	1	1	1	6	11	12	12	42	45	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	100,0
42	3	5	5	5	9	11	14	14	41	44	46	46	46	46	47	47	47	47	47	47	100,0
21	2	2	5	5	10	11	14	14	42	44	46	46	46	46	46	46	46	46	46	47	100,0
24	2	2	7	7	8	12	12	15	40	43	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	95,7
27	1	2	6	6	7	12	16	16	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	97,9
30	2	2	3	6	10	12	12	12	47	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	102,1
33	3	5	6	7	10	14	14	44	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	97,9
36	2	4	7	9	14	18	18	41	41	41	42	42	42	44	45	45	45	45	45	45	95,7
43	1	6	13	14	17	18	44	44	45	45	45	45	45	47	47	47	47	47	47	47	100,0
KO+PEG	0	0	0	0	0	0	1	9	9	9	11	13	16	33	36	38	40	40	40	40	100,0
20+PEG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	20	24	30	32	34	36	44	100,0
23+PEG	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	4	5	6	7	7	7	11	17	25	30	97,7
26+PEG	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	100,0
29+PEG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4	4	4	22	25	30	35	37	41	100,5
32+PEG	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	4	14	20	23	28	31	35	95,5
35+PEG	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	4	4	4	6	28	31	33	37	41	42	102,3
42+PEG	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	3	3	3	4	27	29	35	36	38	40	100,3
21+PEG	0	1	1	1	1	1	1	7	9	9	12	12	16	36	38	41	45	45	45	45	106,8
24+PEG	0	0	0	0	0	0	0	7	10	11	13	14	14	35	38	39	41	41	44	44	100,0
27+PEG	0	0	0	0	0	0	0	8	8	8	8	8	8	10	20	30	32	33	35	37	100,0
30+PEG	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	5	6	10	18	20	26	29	32	34	93,2
33+PEG	0	0	0	0	0	0	0	1	3	3	4	4	4	4	18	23	24	27	29	34	100,0
36+PEG	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	4	4	4	4	27	30	30	30	34	36	100,0
43+PEG	0	0	0	0	0	0	0	4	7	7	8	10	13	35	37	38	39	39	39	43	97,7

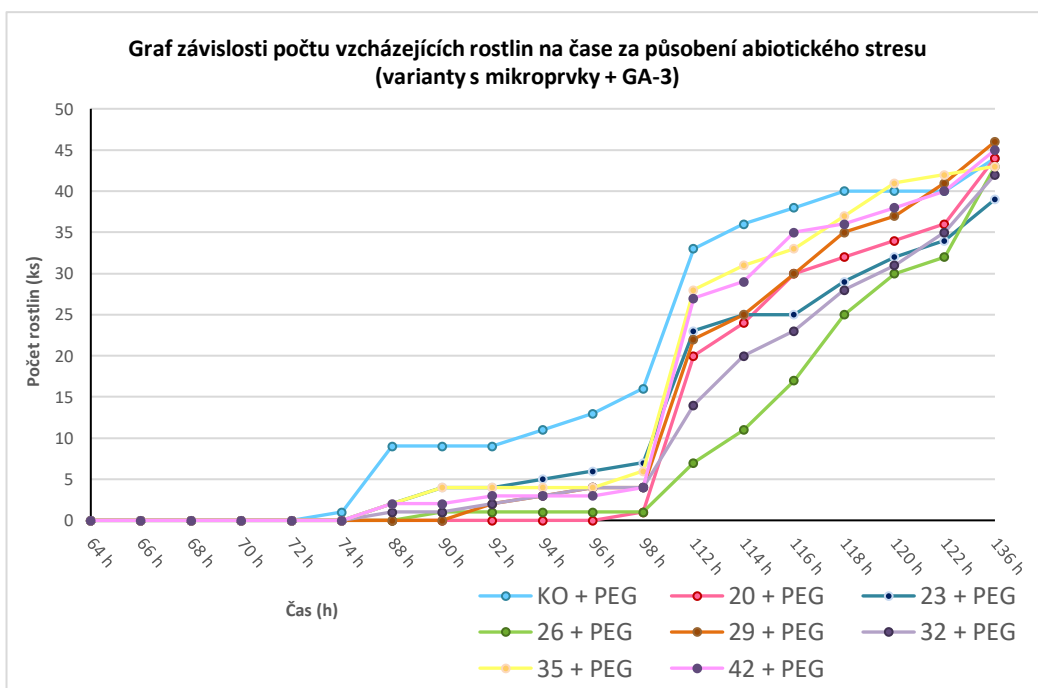
Grafy 5 a 6 znázorňují postupnou vzcházivost rostlin za optimálních podmínek u všech variant tohoto experimentu. V Grafu 5 se nachází varianty kombinace mikroprvku + GA - 3 a v Grafu 6 mikroprvku + BUT-108, složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4. Monitorování vzcházivosti probíhalo současně, avšak grafy jsou rozděleny z důvodu lepší přehlednosti. Varianty rostoucí za optimálních podmínek vzcházely přibližně stejným tempem, rychlejší výjimkou byly varianty 26 a 42. Grafy 7 a 8 představují monitoring variant za přítomnosti PEGu. Nejpomaleji vzcházely varianty 26, 33 a 36.



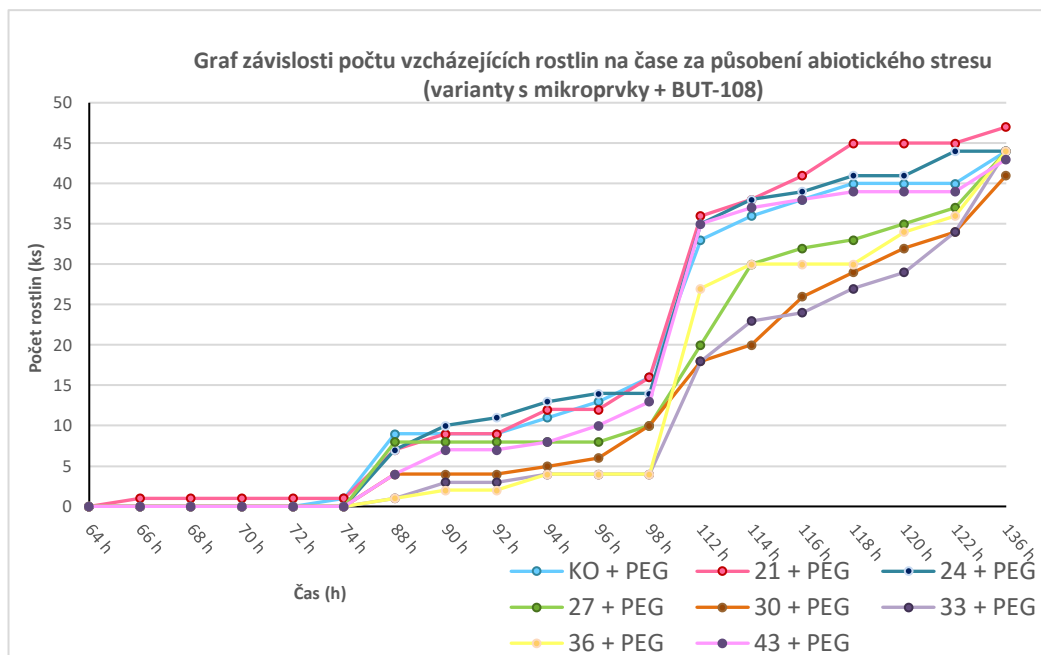
Graf 3: Graf závislosti počtu vzcházějících rostlin na čase za růstu za optimálních podmínek (varianty s mikroprvkem + GA-3), zobrazeny varianty KO, 20, 23, 26, 29, 32, 35, 42.



Graf 4: Graf závislosti počtu vzcházejících rostlin na čase za růstu za optimálních podmínek (varianty s mikroprvky + BUT-18), zobrazeny varianty KO, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 43.



Graf 5: Graf závislosti počtu vzcházejících rostlin na čase za působení abiotického stresu (PEG) (varianty s mikroprvky + GA-3), zobrazeny varianty KO, 20, 23, 26, 29, 32, 35, 42.



Graf 6: Graf závislosti počtu vzcházejících rostlin na čase za působení abiotického stresu (PEG) (varianty s mikroprvky + BUT-108), zobrazeny varianty KO, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 43.

5.1.3 Výsledky – odběr rostlin

Důležitou součástí vyhodnocování experimentu v řízených podmínkách byl odběr rostlin s následným vážením nadzemní a podzemní biomasy. V Tab. 12 a Tab. 13 jsou u každého zkoumaného parametru zaznamenány průměry zvážených hmotností. Na první pohled je patrné, že hmotnost biomasy rostlin pěstovaných za optimálních podmínek jsou 2x až 3x větší než rostlin rostoucích v přítomnosti PEGu. Složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4.

Experiment 2

a) Růst za optimálních podmínek

Vliv na růst kořenového systému se statistickou průkazností měly varianty 7, 10 a 25. Statisticky průkazný vliv na snížení hmotnosti kořenů, byl zjištěn u variant č. 31 a 40. Všechny varianty mořících roztoků měly spíše vliv na snížený růst nadzemní biomasy, což se i projevilo do menší hmotnosti celé rostliny. Z hlediska Root/shoot ratio měly nejvyšší hodnotu varianty 7, 10 a 25. Výsledky jsou uvedeny v Tab. 12.

b) Růst za přítomnosti abiotického stresu

Žádná z variant statisticky nepodpořila růst kořene za stresových podmínek. Většina variant měla statisticky průkazný negativní vliv na růst nadzemní biomasy, nejvíce varianta 31. Největší rozdíl poměru Root/shoot měly varianty 25, 28 a 31. Výsledky jsou uvedeny v Tab. 12.

Tab. 12 Tabulka s celkovými výsledky odběru rostlin Experimentu 2. Byl spočítán průměr hmotností jednotlivých variant, procento ve srovnání s kontrolními rostlinami a TTEST. Na základě hodnot TTEST byly zbarveny pole: hodnoty tmavě šedé prokazují vysoký statisticky významný rozdíl oproti kontrole ($TTEST \leq 0,01$) a hodnoty světle šedé prokazují statisticky průkazný rozdíl oproti kontrole ($0,01 \geq TTEST \leq 0,05$). Složení a legenda jednotlivých variant zapsány v Tab. 4.

Varianta	Kořeny			Listy			Celá rostlina			Root/shoot ratio
	(mg)	(%)	T-test	(mg)	(%)	T-test	(mg)	(%)	T-test	
KO	160,0	100,00		165,75	100,00		325,75	100,00		0,97
1	166,00	103,75	0,892	161,50	97,44	6,049E-07	327,50	100,54	0,004	1,03
4	163,00	101,88	0,702	136,50	82,35	7,394E-08	299,50	91,94	0,017	1,19
7	181,50	113,44	0,006	123,50	74,51	1,457E-10	305,00	93,63	0,062	1,47
10	177,50	110,94	0,032	117,50	70,89	1,252E-12	295,00	90,56	0,008	1,51
13	146,00	91,25	0,050	131,00	79,03	1,050E-07	277,00	85,03	0,000	1,11
17	152,00	95,00	0,303	126,50	76,32	2,190E-11	278,50	85,50	0,000	1,20
18	177,00	110,63	0,039	150,50	90,80	7,319E-03	327,50	100,54	0,875	1,18
19	162,50	101,56	0,659	142,00	85,67	1,985E-07	304,50	93,48	0,121	1,14
22	156,00	97,50	0,582	133,50	80,54	2,952E-08	289,50	88,87	0,001	1,17
25	202,50	126,56	0,000	141,00	85,07	4,205E-06	343,50	105,45	0,110	1,44
28	151,00	94,38	0,192	177,00	106,79	2,619E-02	328,00	100,69	0,814	0,85
31	136,00	85,00	0,001	146,50	88,39	5,230E-04	282,50	86,72	0,000	0,93
34	158,00	98,75	0,772	134,00	80,84	5,582E-08	292,00	89,64	0,001	1,18
40	145,00	90,63	0,031	134,00	80,84	5,582E-08	279,00	85,65	0,000	1,08
41	171,00	106,88	0,154	144,50	87,18	8,273E-05	315,50	96,85	0,345	1,18
KO - PEG	103,00	100,00		80,00	100,00		183,00	100,00		1,29
1+PEG	111,00	107,77	0,276	72,00	90,00	5,321E-01	183,00	100,00	0,596	1,54
4+PEG	111,00	107,77	0,268	55,00	68,75	3,922E-03	166,00	90,71	0,442	2,02
7+PEG	99,00	96,12	0,949	65,00	81,25	1,234E-01	164,00	89,62	0,377	1,52
10+PEG	106,00	102,91	0,538	56,00	70,00	6,048E-03	162,00	88,52	0,290	1,89
13+PEG	105,00	101,94	0,597	55,00	68,75	4,662E-03	160,00	87,43	0,226	1,91
17+PEG	107,00	103,88	0,471	50,00	62,50	3,971E-04	157,00	85,79	0,139	2,14
18+PEG	105,00	101,94	0,601	58,00	72,50	1,346E-02	163,00	89,07	0,334	1,81
19+PEG	101,00	98,06	0,862	51,50	64,38	2,212E-04	152,50	83,33	0,016	1,96
22+PEG	102,00	99,03	0,824	46,00	57,32	2,212E-04	148,00	80,87	0,037	2,22
25+PEG	106,00	102,91	0,536	47,00	58,75	1,292E-04	153,00	83,61	0,083	2,26
28+PEG	103,00	100,00	0,744	41,00	51,25	1,158E-05	144,00	78,69	0,020	2,51
31+PEG	88,00	85,44	0,254	36,00	45,00	5,124E-07	124,00	67,76	0,000	2,44
34+PEG	109,00	105,83	0,362	59,00	73,75	1,643E-02	168,00	91,80	0,529	1,85
40+PEG	108,00	104,85	0,410	52,00	65,00	1,425E-03	160,00	87,43	0,228	2,08
41+PEG	105,00	101,94	0,612	51,00	63,75	1,310E-03	156,00	85,25	0,154	2,06

Experiment 3

a) Růst za optimálních podmínek

Statisticky průkazný pozitivní vliv na růst kořenové biomasy měla varianta 29. Listovou část ovlivnily statisticky významně varianty 23 (+ 14 %), 26 (+12 %), 30 (+16 %) a 33 (+ 13 %). Varianty 29 podporovala růst nadzemní i podzemní biomasy, což se projevilo do hmotnosti rostlin. Nejvyšší hodnoty Root/shoot ratio měly varianty 21, 29 a 35. Výsledky zapsány v Tab. 13.

b) Růst za přítomnosti abiotického stresu

S vyvolaným stresem se nejlépe statisticky významně vypořádala varianta 23 (+ 17 %) a statisticky průkazně varianta 29 (+13 %). Nadzemní biomasa nebyla nijak negativně ovlivněna, ale ani výrazně pozitivně. Nejlépe dopadla varianta 23, jejíž nadzemní i podzemní biomasa byla větší oproti kontrole. Nejvyšší hodnotu parametru Root/shoot ratio měla varianta 30. Výsledky zapsány v Tab. 13.

Tab. 1310 Tabulka s celkovými výsledky odběru rostlin Experimentu 3. Byl spočítán průměr hmotností jednotlivých variant, procento ve srovnání s kontrolními rostlinami a TTEST. Na základě hodnot TTEST byly zbarveny pole: hodnoty tmavě šedé prokazují vysoký statisticky významný rozdíl oproti kontrole (TTEST \leq 0,01) a hodnoty světle šedé prokazují statisticky průkazný rozdíl oproti kontrole (0,01 \geq TTEST \leq 0,05). Složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4.

Varianta	Kořeny			Listy			Celá rostlina			Root/shoot ratio
	(mg)	(%)	T-test	(mg)	(%)	T-test	(mg)	(%)	T-test	
KO	147,27	100,00		146,67	100,00		293,93	100,00		1,00
20	138,60	94,11	0,277	154,67	105,45	1,832E-01	293,27	99,77	0,950	0,90
23	143,47	97,42	0,613	167,33	114,09	4,192E-04	310,80	105,74	0,099	0,86
26	139,27	94,57	0,297	164,67	112,27	4,669E-03	303,93	103,40	0,356	0,85
29	168,13	114,17	0,016	152,67	104,09	3,447E-01	320,80	109,14	0,025	1,10
32	143,73	97,60	0,669	136,00	92,73	8,200E-02	279,73	95,17	0,217	1,06
35	158,47	107,61	0,179	144,00	98,18	6,251E-01	302,47	102,90	0,418	1,10
42	141,60	96,15	0,464	144,00	98,18	6,476E-01	285,60	97,16	0,446	0,98
21	158,93	107,92	0,151	140,67	95,91	3,147E-01	299,60	101,93	0,587	1,13
24	139,67	94,84	0,352	158,00	107,73	1,561E-01	297,67	101,27	0,759	0,88
27	136,87	92,94	0,205	150,00	102,27	6,263E-01	286,87	97,60	0,572	0,91
30	144,60	98,19	0,728	170,67	116,36	7,409E-04	315,27	107,26	0,055	0,85
33	144,80	98,33	0,766	166,67	113,64	2,585E-03	311,47	105,97	0,134	0,87
36	148,73	101,00	0,857	155,33	105,91	1,855E-01	304,07	103,45	0,391	0,96
KO + PEG	85,17	100,00		79,33	100,00		164,50	100,00		1,07
20 + PEG	84,27	98,94	0,847	82,00	103,36	5,720E-01	166,27	101,07	8,218E-01	1,03
23 + PEG	99,93	117,34	0,002	84,67	106,72	2,385E-01	184,60	112,22	7,130E-03	1,18
26 + PEG	91,13	107,01	0,165	82,67	104,20	4,516E-01	173,80	105,65	1,842E-01	1,10
29 + PEG	96,53	113,35	0,014	126,00	158,82	1,631E-01	222,53	135,28	9,190E-02	0,77
32 + PEG	92,47	108,57	0,136	78,00	98,32	7,795E-01	170,47	103,63	4,614E-01	1,19
35 + PEG	87,40	102,62	0,605	88,00	110,92	7,683E-02	175,40	106,63	1,192E-01	0,99
42 + PEG	91,13	107,01	0,183	75,33	94,96	4,424E-01	166,47	101,20	7,248E-01	1,21
21 + PEG	86,40	101,45	0,779	75,33	94,96	3,517E-01	161,73	98,32	6,717E-01	1,15
24 + PEG	91,67	107,63	0,184	84,00	105,88	3,011E-01	175,67	106,79	1,478E-01	1,09
27 + PEG	86,20	101,21	0,818	85,33	107,56	2,412E-01	171,53	104,28	3,677E-01	1,01
30 + PEG	93,07	109,28	0,109	73,33	92,44	2,761E-01	166,40	101,16	8,150E-01	1,27
33 + PEG	92,27	108,34	0,094	78,67	99,16	8,710E-01	170,93	103,91	3,272E-01	1,17
36 + PEG	87,93	103,25	0,547	83,33	105,04	3,899E-01	171,27	104,11	3,744E-01	1,06

5.2 VÝSLEDKY EXPERIMENTU V POLNÍCH PODMÍNKÁCH

5.2.1 Hodnocení 28.4.2022 – odběr nadzemní a podzemní biomasy, počítání odnoží

a) Odběr nadzemní a podzemní biomasy

Statisticky významný vliv na tvorbu kořenů i nadzemní biomasy měla varianta 24 (kořeny +55,6 %, listy +82,8 %). Statisticky průkazný negativní vliv měla varianta 41 na růst podzemní biomasy. Pozitivní a statisticky průkazný vliv na nadzemní biomasu měly varianty 23, 33 a 42. Signifikantní vliv na růst celé rostliny měly varianty 24 (+77,4 %) a 33 (+40,1 %). Nejvyšší poměr Root/shoot ratio měly varianty 25 a 45. Výsledky zapsány v Tab. 14, složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4.

Tab. 14 Tabulka výsledků odběru nadzemní a podzemní biomasy v hodnocení 28.4.2022 z polního experimentu. Byl spočítán průměr hmotností jednotlivých variant, procento ve srovnání s kontrolními rostlinami a TTEST. Na základě hodnot TTEST byly zabarveny pole: hodnoty tmavě šedé prokazují vysoký statisticky významný rozdíl oproti kontrole ($TTEST \leq 0,01$) a hodnoty světle šedé prokazují statisticky průkazný rozdíl oproti kontrole ($0,01 \geq TTEST \leq 0,05$). Složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4.

Varianta	Kořen			Listy			Celá rostlina			Root/shoot ratio
	Průměrná hmotnost (mg)	(%)	T-test	Průměrná hmotnost (mg)	(%)	T-Test	Průměrná hmotnost (mg)	(%)	T-test	
KO	130,35	100,00		529,50	100,00		659,85	100,00		0,25
1	124,73	95,69	0,718	600,67	113,44	0,288	725,40	109,93	0,383	0,21
10	107,67	82,60	0,149	509,33	96,19	0,727	617,00	93,51	0,533	0,21
7	103,73	79,58	0,083	425,33	80,33	0,076	529,07	80,18	0,056	0,24
18	119,40	91,60	0,485	426,00	80,45	0,084	545,40	82,66	0,108	0,28
4	136,33	104,59	0,720	557,33	105,26	0,681	693,67	105,12	0,668	0,24
22	111,60	85,62	0,231	521,33	98,46	0,893	632,93	95,92	0,702	0,21
31	130,87	100,40	0,974	549,33	103,75	0,719	680,20	103,08	0,757	0,24
28	104,20	79,94	0,088	484,00	91,41	0,428	588,20	89,14	0,287	0,22
41	98,47	75,54	0,046	505,33	95,44	0,696	603,80	91,51	0,440	0,19
25	153,40	117,68	0,197	520,67	98,33	0,887	674,07	102,15	0,846	0,29
23	143,80	110,32	0,432	706,00	133,33	0,007	849,80	128,79	0,009	0,20
32	114,93	88,17	0,338	440,00	83,10	0,140	554,93	84,10	0,132	0,26
29	144,67	110,98	0,392	524,00	98,96	0,927	668,67	101,34	0,901	0,28
42	135,47	103,93	0,739	693,33	130,94	0,010	828,80	125,60	0,020	0,20
26	176,47	135,38	0,275	618,67	116,84	0,172	795,13	120,50	0,094	0,29
24	202,87	155,63	0,000	968,00	182,81	0,000	1170,87	177,44	0,000	0,21
33	147,33	113,03	0,314	777,33	146,81	0,000	924,67	140,13	0,000	0,19
30	120,13	92,16	0,549	667,33	126,03	0,021	787,47	119,34	0,058	0,18
43	109,07	83,67	0,179	428,67	80,96	0,065	537,73	81,49	0,062	0,25
27	152,13	116,71	0,223	638,00	120,49	0,079	790,13	119,74	0,080	0,24
45	154,20	118,30	0,173	587,33	110,92	0,311	741,53	112,38	0,235	0,26
44	123,47	94,72	0,665	504,00	95,18	0,677	627,47	95,09	0,651	0,24

b) Počty jednotlivých odnoží

Součástí výzkumu bylo i hodnocení průměru odnoží u každé z variant. Výrazně více odnoží měla varianta 1 (+ 22,8 %) a 24 (+ 49 %), dále varianty 30, 33 a 42. Nejmenší průměrný počet odnoží byl zaznamenán u varianty 32 s 73,2 % ve srovnání s kontrolními rostlinami. Výsledky zapsány v Tab. 15, složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4.

Tab. 15 Tabulka hodnocení průměru odnoží u jednotlivých mořených variant v rámci polního experimentu (28.4.2022). Odnože byly spočítány, byl vypočten průměr a procento odnoží oproti kontrolním rostlinám (%).

Varianta		Průměr odnoží (ks)	Procento odnoží oproti kontrole (%)
KO		2,55	100,00
1	Fe (0,1 mg/kg osiva)	3,13	122,88
10	Cu (0,1 mg/kg osiva)	2,33	91,50
7	Zn (0,1 mg/kg osiva)	2,27	88,89
18	H ₃ BO ₃ (10 mg/kg osiva)	2,07	81,05
4	Mo (0,1 mg/kg osiva)	2,47	96,73
22	Fe 0,1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)	2,53	99,35
31	Cu 0,1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)	2,40	94,12
28	Zn 0,1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)	2,47	96,73
41	H ₃ BO ₃ (10 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)	2,13	83,66
25	Mo 0,1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)	2,60	101,96
23	Fe 0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol)	2,87	112,42
32	Cu 0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol)	1,87	73,20
29	Zn 0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol)	2,13	83,66
42	H ₃ BO ₃ 10 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol)	3,00	117,65
26	Mo 0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol)	2,67	104,58
24	Fe 0,1 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 μg/l)	3,80	149,02
33	Cu 0,1 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 μg/l)	2,93	115,03
30	Zn 0,1 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 μg/l)	2,93	115,03
43	H ₃ BO ₃ 10 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 μg/l)	2,40	94,12
27	Mo 0,1 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 μg/l)	2,87	112,42
45	Zn (0,1 mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol) + BUT-108 (500 μg/l)	2,07	81,05
44	Zn (0,1 mg/kg osiva) + H ₃ BO ₃ (1 mg/kg osiva) + Mo (0,1 mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol) + BUT-108 (500 μg/l)	2,07	81,05

5.2.2 Hodnocení počtu odnoží 20.5.2022

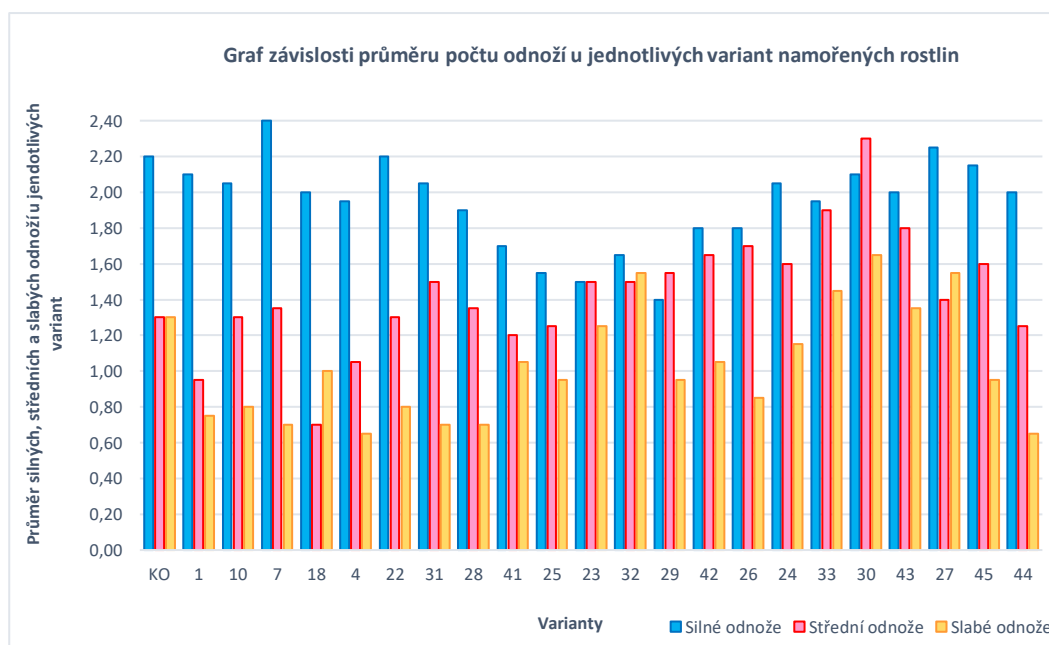
V průběhu května proběhl odběr rostlin variant s následným počítáním silných, středních a slabých odnoží. V Tab. 16 se nacházejí výsledky průměrného počtu odnoží jednotlivých variant se vypočítaným parametrickým T-TESTEM. Statisticky průkazně méně silných odnoží měly varianty 23, 25 a 29 a středních odnoží varianta 18. Pozitivní vliv na tvorbu středních odnoží měly mořící roztoky variant 30 a 33. Výrazně menší průměrný počet slabých odnoží byl u variant 4, 7, 31 a 44. Pro lepší přehlednost byl vytvořen Graf 9.

Dále byl vypočítán parametr „průměrný součet silných a středních odnoží“. Podpoření tvorby těchto odnoží bylo zaznamenáno u variant 7 (+7 %), 30 (+25 %), 33 (+10 %) a 45

(+7 %). Menší průměrný počet silných a středních odnoží oproti kontrole byl u variant 18, 25 a 29.

Tab. 1612 Tabulka hodnocení silných, středních a slabých odnoží z odběru rostlin 20.5.2022 v rámci polního experimentu. Byl spočítán průměr hmotností jednotlivých variant, procento ve srovnání s kontrolními rostlinami a TTEST. Na základě hodnot TTEST byly zabarveny pole: hodnoty tmavě šedé prokazují vysoký statisticky významný rozdíl oproti kontrole ($TTEST \leq 0,01$) a hodnoty světle šedé prokazují statisticky průkazný rozdíl oproti kontrole ($0,01 \geq TTEST \leq 0,05$). Dále byl vypočítán průměrný součet silných a středních odnoží a procento odnoží variant ve srovnání kontrolními rostlinami. Složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4.

Varianta	Silné odnože			Střední odnože			Slabé odnože			Průměrný součet silných a středních odnoží	Procento oproti kontrole (%)
	Průměr	%	T-test	Průměr	%	T-test	Průměr	%	T-test		
KO	2,20	100,00		1,30	100,00		1,30	100,00		3,50	100,00
1	2,10	95,45	0,710	0,95	73,08	0,182	0,75	57,69	0,106	3,05	87,14
10	2,05	93,18	0,571	1,30	100,00	1,000	0,80	61,54	0,138	3,35	95,71
7	2,40	109,09	0,495	1,35	103,85	0,882	0,70	53,85	0,047	3,75	107,14
18	2,00	90,91	0,515	0,70	53,85	0,034	1,00	76,92	0,324	2,70	77,14
4	1,95	88,64	0,395	1,05	80,77	0,372	0,65	50,00	0,038	3,00	85,71
22	2,20	100,00	1,000	1,30	100,00	1,000	0,80	61,54	0,119	3,50	100,00
31	2,05	93,18	0,620	1,50	115,38	0,503	0,70	53,85	0,047	3,55	101,43
28	1,90	86,36	0,315	1,35	103,85	0,873	0,70	53,85	0,067	3,25	92,86
41	1,70	77,27	0,100	1,20	92,31	0,764	1,05	80,77	0,416	2,90	82,86
25	1,55	70,45	0,027	1,25	96,15	0,868	0,95	73,08	0,257	2,80	80,00
23	1,50	68,18	0,021	1,50	115,38	0,515	1,25	96,15	0,889	3,00	85,71
32	1,65	75,00	0,057	1,50	115,38	0,503	1,55	119,23	0,416	3,15	90,00
29	1,40	63,64	0,005	1,55	119,23	0,403	0,95	73,08	0,257	2,95	84,29
42	1,80	81,82	0,179	1,65	126,92	0,226	1,05	80,77	0,491	3,45	98,57
26	1,80	81,82	0,192	1,70	130,77	0,192	0,85	65,38	0,177	3,50	100,00
24	2,05	93,18	0,620	1,60	123,08	0,399	1,15	88,46	0,657	3,65	104,29
33	1,95	88,64	0,410	1,90	146,15	0,033	1,45	111,54	0,666	3,85	110,00
30	2,10	95,45	0,744	2,30	176,92	0,007	1,65	126,92	0,325	4,40	125,71
43	2,00	90,91	0,527	1,80	138,46	0,138	1,35	103,85	0,876	3,80	108,57
27	2,25	102,27	0,866	1,40	107,69	0,757	1,55	119,23	0,463	3,65	104,29
45	2,15	97,73	0,871	1,60	123,08	0,367	0,95	73,08	0,270	3,75	107,14
44	2,00	90,91	0,527	1,25	96,15	0,872	0,65	50,00	0,049	3,25	92,86



Graf 9: Graf závislosti průměru počtu odnoží u jednotlivých variant. Zobrazeny silné, střední a slabé průměry odnoží, data vychází z Tab. 16. Složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4.

5.2.3 Hodnocení počtu klasů na m² z 22.6.2022

V červnu bylo uskutečněno hodnocení počtu klasů na m² s výsledky v Tab. 17. Největší průměrný počet klasů na m² byl zaznamenán u variant 24, 26, 31 a 43 ve srovnání s kontrolními rostlinami. Nejmenší průměrný počet klasů byl u variant 7, 10, 18, které nepřesáhly průměrný počet 600 klasů na m².

Tab. 17 Tabulka hodnocení průměrného počtu klasů na m² v rámci polního experimentu. Složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4.

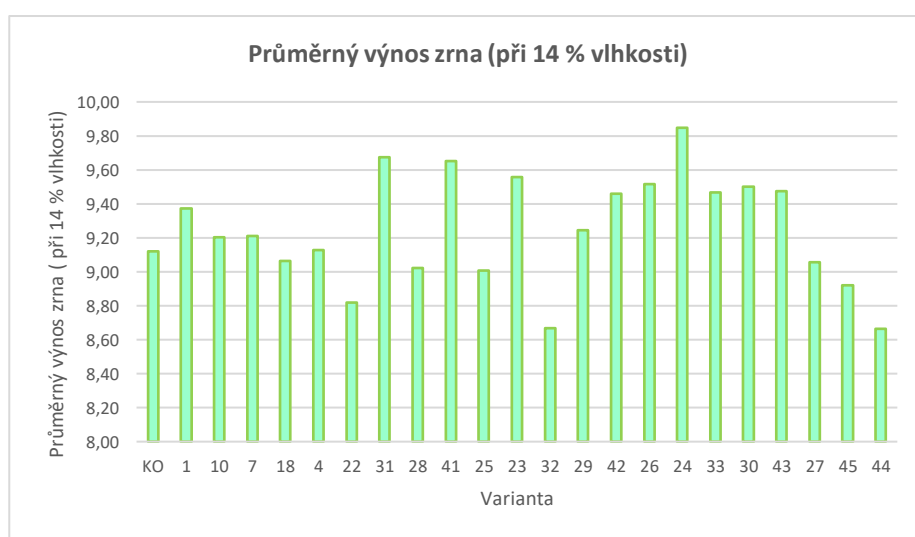
Varianta	Průměrný počet klasů na m ² v polním hodnocení	%klasů na K
KO	898,7	100
1	638,0	71,0
10	552,0	61,4
7	573,3	63,8
18	484,0	53,9
4	714,0	79,5
22	810,0	90,1
31	902,0	100,4
28	774,0	86,1
41	872,0	97,0
25	796,0	88,6
23	746,0	83,0
32	820,0	91,2
29	836,0	93,0
42	740,0	82,3
26	952,0	105,9
24	904,0	100,6
33	844,0	93,9
30	882,0	98,1
43	902,0	100,4
27	832,0	92,6
45	838,0	93,2
44	800,0	89,0

5.2.4 Celkové výsledky výnosu u jednotlivých variant – 25.7.2022

Jedním z nejdůležitějších hodnocení bylo celkové výnosy zrna, který byl po sklizni přepočten na 14 % vlhkost. . Po přepočtu na procentuální srovnání oproti kontrole, měly největší výnos varianty 31 (+ 6 %) a 24 (+ 7 %). Dle parametru hmotnosti tisíc zrn HTZ (g) vyšlo, že největší výnos měly varianty 24, 26 a 29. Výsledky zapsány v Tab. 18 a pro lepší přehled zobrazeny i v Grafu 10.

Tab. 18 Tabulka s celkovým výnosem u jednotlivých variant. Byl vypočítán průměrný výnos zrna (při 14% vlhkosti) a procento oproti kontrole. Dále byl vypočítán parametr HTZ (g) a procento oproti kontrolním rostlinám. Složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4.

Varianta	Průměrný výnos zrna (při 14 % vlhkosti)	% na K	HTZ (g)	% na K
KO	9,12	100,00	48,85	100,00
1	9,37	102,79	47,65	97,54
10	9,20	100,92	47,69	97,63
7	9,21	101,02	49,82	101,99
18	9,06	99,38	49,62	101,58
4	9,13	100,09	49,40	101,13
22	8,82	96,70	49,69	101,72
31	9,67	106,08	50,27	102,91
28	9,02	98,95	50,79	103,97
41	9,65	105,83	50,81	104,01
25	9,01	98,77	49,87	102,09
23	9,56	104,82	50,20	102,76
32	8,67	95,04	48,03	98,32
29	9,24	101,38	51,73	105,90
42	9,46	103,74	50,22	102,80
26	9,52	104,36	51,72	105,88
24	9,85	107,98	51,55	105,53
33	9,47	103,83	49,72	101,78
30	9,50	104,18	49,41	101,15
43	9,48	103,91	48,56	99,41
27	9,06	99,33	49,16	100,63
45	8,92	97,84	48,59	99,47
44	8,66	95,02	48,53	99,34



Graf 10: Graf závislosti průměrného celkového výnosu zrna (při 14% vlhkosti) u jednotlivých variant, hodnoceno v rámci experimentu v polních podmínkách. Složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4.

5.3 VÝSLEDKY ANALÝZY FYTOHORMONŮ POMOCÍ UHPLC - MS/MS

Jedním z testovaných parametrů byla také analýza fytohormonů u jednotlivých variant v rámci experimentu v řízených podmínkách (týkalo se Experimentu 2 a 3). Pomocí UHPLC-MS/MS byly analyzovány následující fytohormony a produkty metabolismu: *tZ*, *tZR*, *DHZR*, *cZ*, *cZR*, *iP*, *iPR* a *IAA*.

a) Výsledky analýzy fytohormonů u semen mořených mikroprvky, viz Tab. 19.

Mikroprvek Fe (0,1 mg/kg osiva) statisticky významně ovlivnil přítomnost *tZ* a *tZR* analyzovaný v nadzemní biomase. Mikroprvky Cu (0,1 mg/kg osiva), Mn (0,1 mg/kg osiva) a B (1 mg/kg osiva) měly statistický negativní vliv cytokinin *tZR* v listech. Vyšší koncentrace B (10 mg/kg osiva) měla statisticky pozitivní vliv na *tZ*, *tZR* a *iP* nacházející se v kořenovém systému. Koncentrace *IAA* v kořenech byla u všech mořených variant někdy i se statistickou průkazností menší oproti kontrolním rostlinám.

Tab. 19 Tabulka analýzy fytohormonů: *tZ*, *tZR*, *cZ*, *cZR*, *DHZR*, *iP*, *iPR* a *IAA*. Odběr rostlin proběhl v rámci experimentu v řízených podmínkách, semena byla mořena mikroprvky. Byl spočítán průměr a TTEST. Na základě hodnot TTEST byly zabarveny pole: hodnoty tmavě šedé prokazují vysoký statisticky významný rozdíl oproti kontrole (TTEST ≤ 0,01) a hodnoty světle šedé prokazují statisticky průkazný rozdíl oproti kontrole (0,01 ≥ TTEST ≤ 0,05). Složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4.

Varianta	tZ				tZR				cZ				cZR			
	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test
KO	0,11		0,23		0,34		0,05		0,24		0,42		2,71		2,12	
Fe	0,10	0,547	0,38	0,002	0,26	0,030	0,10	0,000	0,15	0,035	0,41	0,902	3,11	0,602	2,46	0,118
Mo	0,07	0,014	0,22	0,801	0,25	0,039	0,06	0,004	0,14	0,024	0,41	0,873	1,86	0,262	3,21	0,087
Zn	0,13	0,416	0,26	0,339	0,27	0,086	0,06	0,010	0,27	0,484	0,44	0,902	2,72	0,887	2,09	0,904
Cu	0,08	0,116	0,17	0,117	0,10	0,000	0,04	0,005	0,16	0,043	0,40	0,761	2,07	0,359	2,64	0,116
Mn	0,08	0,084	0,22	0,792	0,15	0,000	0,05	0,463	0,34	0,036	0,43	0,931	2,86	0,876	3,12	0,021
B nižší	0,12	0,810	0,24	0,724	0,22	0,005	0,05	0,216	0,40	0,010	0,38	0,671	2,72	0,989	2,23	0,756
B vyšší	0,55	0,000	0,21	0,487	0,55	0,003	0,06	0,734	0,34	0,061	0,40	0,855	3,56	0,352	5,09	0,178

Varianta	DHZR				iP				iPR				IAA			
	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test
KO	0,05		0,04		0,14		0,06		2,32		0,86		26,62		10,70	
Fe	0,05	0,688	0,05	0,456	0,11	0,373	0,04	0,146	1,73	0,007	0,96	0,474	16,17	0,001	9,74	0,428
Mo	0,04	0,939	0,04	0,792	0,09	0,193	0,05	0,735	1,64	0,004	1,34	0,198	26,62	0,998	12,22	0,285
Zn	0,05	0,673	0,04	0,901	0,15	0,866	0,04	0,070	2,53	0,316	0,74	0,447	24,24	0,331	9,46	0,308
Cu	0,04	0,506	0,04	0,549	0,06	0,056	0,08	0,205	1,19	0,000	1,04	0,264	23,02	0,125	8,54	0,097
Mn	0,04	0,989	0,05	0,599	0,18	0,521	0,02	0,007	1,40	0,002	0,92	0,743	14,45	0,000	9,83	0,466
B nižší	0,04	0,940	0,04	0,934	0,14	0,937	0,04	0,257	1,26	0,000	0,71	0,340	21,91	0,112	9,85	0,512
B vyšší	0,06	0,490	0,04	0,301	0,40	0,008	0,08	0,347	2,30	0,945	1,82	0,219	18,31	0,006	9,36	0,275

b) Výsledky analýzy fytohormonů u semen mořených kombinací mikroprvků a M – Sunagreenem (M-Sun), viz Tab 20.

Samotné moření semen pomocí M-Sun. mělo statisticky průkazný vliv na vyšší přítomnost *tZ* v kořenech. Kombinace M-Sun.+ Zn (0,1 mg/kg osiva) měla významný statistický vliv na fytohormon *cZR* v kořenovém systému (koncentrace 3x vyšší oproti

kontrole). Semena mořená kombinacemi: M-Sun.+ Fe (0,1 mg/kg osiva), M – Sun.+ Mo (0,1 mg/kg osiva), M- Sun.+ Cu (0,1 mg/kg osiva), M-Sun.+ B (1 mg/kg osiva) a M-Sun.+ B (10 mg/kg osiva) měly významně statisticky negativní vliv na přítomnost iPR a IAA.

Tab. 130 Tabulka analýzy fytohormonů: tZ, tZR, cZ, cZR, DHZR, iP, iPR a IAA. Odběr rostlin proběhl v rámci experimentu v řízených podmínkách, semena byla mořena kombinacemi mikroprvků a M-Sunagreenem. Byl spočítán průměr a TTEST. Na základě hodnot TTEST byly zabarveny pole: hodnoty tmavě šedé prokazují vysoký statisticky významný rozdíl oproti kontrole (TTEST ≤ 0,01) a hodnoty světle šedé prokazují statisticky průkazný rozdíl oproti kontrole (0,01 ≥ TTEST ≤ 0,05). Složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4.

Varianta	tZ				tZR				cZ				cZR			
	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test
KO	0,11		0,23		0,34		0,05		0,24		0,42		2,71		2,12	
M-Sunagreen	0,38	0,030	0,22	0,677	0,51	0,221	0,06	0,837	0,36	0,077	0,43	0,926	4,18	0,123	2,79	0,069
M-Sunagreen + Fe	0,08	0,078	0,18	0,094	0,20	0,002	0,04	0,006	0,15	0,033	0,39	0,689	2,56	0,836	3,02	0,104
M-Sunagreen + Mo	0,05	0,005	0,23	0,984	0,18	0,013	0,06	0,431	0,20	0,435	0,44	0,865	2,01	0,452	3,20	0,017
M-Sunagreen + Zn	0,18	0,004	0,15	0,031	0,30	0,254	0,03	0,001	0,37	0,031	0,39	0,704	6,03	0,008	2,44	0,566
M-Sunagreen + Cu	0,09	0,342	0,14	0,087	0,22	0,004	0,03	0,000	0,21	0,505	0,35	0,453	2,69	0,979	2,24	0,802
M-Sunagreen + Mn	0,19	0,004	0,34	0,011	0,53	0,001	0,09	0,003	0,19	0,165	0,36	0,497	4,48	0,206	3,16	0,051
M-Sunagreen + B nízká	0,11	0,929	0,17	0,074	0,17	0,001	0,04	0,003	0,34	0,036	0,37	0,629	3,39	0,334	2,24	0,699
M-Sunagreen + B vysoká	0,09	0,171	0,16	0,046	0,29	0,409	0,04	0,000	0,17	0,140	0,33	0,333	2,90	0,858	2,14	0,974

Varianta	DHZR				iP				iPR				IAA			
	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test
KO	0,05		0,04		0,14		0,06		2,32		0,86		26,62		10,70	
M-Sunagreen	0,06	0,344	0,04	0,967	0,25	0,202	0,07	0,563	1,79	0,059	0,87	0,932	20,84	0,011	11,11	0,766
M-Sunagreen + Fe	0,04	0,803	0,05	0,270	0,08	0,159	0,06	0,866	1,58	0,002	0,95	0,575	20,25	0,030	10,86	0,906
M-Sunagreen + Mo	0,04	0,593	0,05	0,738	0,14	0,970	0,06	0,904	1,08	0,000	1,17	0,038	13,22	0,000	10,24	0,715
M-Sunagreen + Zn	0,05	0,829	0,05	0,468	0,18	0,246	0,05	0,428	2,05	0,134	0,85	0,944	28,95	0,297	9,76	0,464
M-Sunagreen + Cu	0,05	0,952	0,05	0,818	0,08	0,147	0,11	0,072	1,51	0,002	0,76	0,599	18,55	0,005	10,93	0,885
M-Sunagreen + Mn	0,05	0,580	0,04	0,623	0,10	0,337	0,06	0,969	1,95	0,071	1,01	0,347	19,20	0,007	10,72	0,989
M-Sunagreen + B nízká	0,04	0,986	0,04	0,588	0,14	0,913	0,01	0,001	1,19	0,000	0,48	0,015	14,43	0,004	10,60	0,955
M-Sunagreen + B vysoká	0,05	0,812	0,04	0,741	0,11	0,449	0,03	0,073	1,40	0,001	0,72	0,450	23,19	0,215	9,85	0,607

c) Výsledky analýzy fytohormonů u semen mořených kombinací mikroprvků a GA-3, viz Tab. 21.

Samotné moření pomocí GA-3 zvýšilo koncentraci tZ i tZR v nadzemní i podzemní biomase. Mořících roztok skládající se z GA-3+ Fe (0,1 mg/kg osiva) statisticky výrazně ovlivnil tZ v listech, iPR v kořenech a tZR v podzemní i nadzemní biomase.

Tab. 21 Tabulka analýzy fytohormonů: tZ, tZR, cZ, cZR, DHZR, iP, iPR a IAA. Odběr rostlin proběhl v rámci experimentu v řízených podmínkách, semena byla mořena kombinacemi mikroprvků a GA-3. Byl spočítán průměr a TTEST. Na základě hodnot TTEST byly zabarveny pole: hodnoty tmavě šedé prokazují vysoký statisticky významný rozdíl oproti kontrole (TTEST ≤ 0,01) a hodnoty světle šedé prokazují statisticky průkazný rozdíl oproti kontrole (0,01 ≥ TTEST ≤ 0,05). Složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4.

Varianta	tZ				tZR				cZ				cZR			
	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test
KO	0,08		0,27		0,25		0,07		0,17		0,37		4,73		2,18	
GA3	0,18	0,004	0,54	0,001	0,40	0,008	0,16	0,000	0,16	0,804	0,41	0,247	5,30	0,732	1,75	0,270
GA3 + Fe	0,11	0,290	0,48	0,000	0,67	0,000	0,19	0,000	0,14	0,457	0,37	0,940	3,13	0,325	2,38	0,654
GA3 + Mo	0,11	0,294	0,38	0,009	0,32	0,112	0,12	0,002	0,20	0,521	0,39	0,559	3,21	0,351	2,20	0,970
GA3 + Zn	0,06	0,321	0,32	0,139	0,24	0,634	0,06	0,614	0,15	0,679	0,35	0,480	3,56	0,460	2,53	0,353
GA3 + Cu	0,10	0,484	0,39	0,113	0,35	0,032	0,10	0,024	0,22	0,375	0,35	0,759	4,91	0,908	2,39	0,589
GA3 + Mn	0,08	0,966	0,40	0,003	0,29	0,302	0,08	0,397	0,16	0,766	0,36	0,866	3,67	0,491	2,63	0,364
GA3 + B nižší	0,07	0,825	0,27	0,789	0,26	0,892	0,06	0,543	0,13	0,283	0,35	0,470	3,39	0,392	1,65	0,139
GA3 + B vyšší	0,06	0,487	0,47	0,004	0,31	0,154	0,11	0,009	0,12	0,229	0,40	0,417	2,83	0,244	2,63	0,455

Varianta	DHZR				iP				iPR				IAA			
	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test
KO	0,04		0,04		0,07		0,05		2,15		0,76		24,62		11,23	
GA3	0,05	0,807	0,04	0,505	0,05	0,325	0,05	0,854	2,28	0,570	0,86	0,492	17,66	0,072	12,22	0,579
GA3 + Fe	0,06	0,497	0,04	0,782	0,05	0,360	0,05	0,991	3,09	0,002	0,96	0,180	19,79	0,183	10,43	0,595
GA3 + Mo	0,05	0,808	0,04	0,941	0,15	0,062	0,05	0,928	2,49	0,192	0,98	0,281	20,62	0,319	10,12	0,492
GA3 + Zn	0,04	0,866	0,04	0,716	0,07	0,758	0,04	0,648	2,01	0,557	0,84	0,481	25,01	0,909	13,34	0,185
GA3 + Cu	0,05	0,636	0,04	0,993	0,19	0,052	0,06	0,600	2,48	0,186	1,03	0,040	21,16	0,328	12,46	0,367
GA3 + Mn	0,04	0,642	0,05	0,349	0,12	0,404	0,08	0,177	2,01	0,543	1,18	0,065	27,07	0,522	11,43	0,875
GA3 + B nižší	0,05	0,801	0,03	0,225	0,09	0,713	0,05	0,988	2,06	0,686	0,62	0,184	37,90	0,065	10,88	0,793
GA3 + B vyšší	0,04	0,981	0,04	0,535	0,06	0,549	0,07	0,350	2,18	0,889	0,83	0,771	18,89	0,227	12,66	0,352

d) Výsledky analýzy fytohormonů u semen mořených kombinací mikroprvků a BUT-108, viz Tab, 22.

Mořící roztoky skládající se z kombinace BUT-108 + Fe (0,1 mg/kg osiva), BUT-108 + Mo (0,1 mg/kg osiva), BUT-108 + Zn (0,1 mg/kg osiva), BUT-108 + Cu (0,1 mg/kg osiva), BUT - 108 + B (1 mg/kg osiva) podpořily přítomnost *tZ* v listové části. Kombinace BUT-108 + Cu (0,1 mg/kg osiva) vedla ke zvýšení koncentrace *tZR* v podzemní i nadzemní biomase. Statisticky významný vliv měl roztok BUT - 108 + Mn (0,1 mg/kg osiva) v případě *cZR*, *iPR* a *IAA*.

Tab. 22 Tabulka analýzy fytohormonů: *tZ*, *tZR*, *cZ*, *cZR*, *DHZR*, *iP*, *iPR* a *IAA*. Odběr rostlin proběhl v rámci experimentu v řízených podmínkách, semena byla mořena kombinacemi mikroprvků a BUT-108. Byl spočítán průměr a TTEST. Na základě hodnot TTEST byly zabarveny pole: hodnoty tmavě šedé prokazují vysoký statisticky významný rozdíl oproti kontrole (TTEST ≤ 0,01) a hodnoty světle šedé prokazují statisticky průkazný rozdíl oproti kontrole (0,01 ≥ TTEST ≤ 0,05). Složení a legenda jednotlivých variant zapsána v Tab. 4.

Varianta	<i>tZ</i>				<i>tZR</i>				<i>cZ</i>				<i>cZR</i>			
	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test
KO	0,08		0,27		0,25		0,07		0,17		0,37		4,73		2,18	
BUT108 + Fe	0,07	0,662	0,36	0,015	0,27	0,668	0,09	0,133	0,14	0,498	0,42	0,163	4,01	0,674	2,95	0,123
BUT108 + Mo	0,08	0,924	0,43	0,001	0,33	0,143	0,12	0,007	0,12	0,272	0,46	0,043	1,94	0,099	3,01	0,180
BUT108 + Zn	0,09	0,514	0,43	0,017	0,22	0,390	0,11	0,008	0,13	0,296	0,43	0,126	2,90	0,261	3,34	0,037
BUT108 + Cu	0,13	0,281	0,46	0,001	0,39	0,005	0,13	0,003	0,37	0,257	0,38	0,841	3,25	0,352	2,98	0,236
BUT108 + Mn	0,04	0,147	0,39	0,108	0,18	0,059	0,09	0,190	0,13	0,451	0,42	0,491	3,76	0,579	4,06	0,009
BUT108 + B	0,10	0,351	0,50	0,010	0,32	0,099	0,14	0,040	0,27	0,060	0,47	0,123	5,68	0,543	3,32	0,093

Varianta	DHZR				iP				iPR				IAA			
	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test	Kořen	T-test	List	T-test
KO	0,04		0,04		0,07		0,05		2,15		0,76		24,62		11,23	
BUT108 + Fe	0,04	0,956	0,05	0,610	0,05	0,326	0,05	0,720	2,64	0,075	1,04	0,041	21,40	0,413	11,99	0,696
BUT108 + Mo	0,06	0,346	0,04	0,394	0,05	0,413	0,09	0,162	2,18	0,877	1,23	0,028	19,08	0,141	10,65	0,739
BUT108 + Zn	0,04	0,732	0,05	0,721	0,11	0,269	0,05	0,845	2,06	0,697	1,23	0,031	18,11	0,092	12,35	0,462
BUT108 + Cu	0,05	0,780	0,03	0,244	0,03	0,140	0,08	0,326	2,22	0,734	1,31	0,090	20,16	0,208	11,12	0,946
BUT108 + Mn	0,05	0,517	0,04	0,792	0,04	0,233	0,09	0,157	1,70	0,076	1,53	0,003	16,40	0,038	14,72	0,112
BUT108 + B	0,05	0,700	0,06	0,075	0,16	0,011	0,06	0,551	2,29	0,508	1,29	0,054	15,84	0,030	14,58	0,248

6 DISKUZE

Abiotický stres je řešeným environmentálním problémem, který vede k omezení růstu a produkce rostlin. Jednou z možných variant je podpořit semeno v jeho vývoji pomocí předseťové úpravy – primingu. Mikroživiny a růstové regulátory mají schopnost ovlivnit metabolismus semena, posílit toleranční schopnost a překonat tak případný stres. Byly vytvořeny varianty roztoků, které obsahovaly kombinace mikroprvků (Fe, Mo, Zn, Cu, B) a regulátorů růstu (M-Sunagreen, GA-3, BUT-108). Cílem bylo vyhodnotit, jaké varianty mořících roztoků nejvíce podporují vzcházení rostlin (i z hlediska časového), rozvoj kořenového systému, odnožování i výnos plodiny.

Již koncem minulého století proběhly výzkumy, které konstatují, že moření – priming semen mikroprvky má potenciální využití ke zlepšování výnosů plodin, např. pšenice (Marcar & Graham, 1986), luštěnin (Sherrell, 1984) či rýže (Peeran & Natanasanapathy, 1980). Experimenty provedené v rámci této diplomové práce potvrdily, že některé z variant překonaly svým výnosem zrna výnos kontrolních rostlin (nejvyšší výnos varianta 24 + 8 % oproti kontrole).

Farooq et al. (2006) uvádí, že mořená semena klíčí rychleji než semena nemořená. Dochází také k lepší a synchronizovanější klíčivosti a vzcházivosti (Farooq et al., 2006). Náš výzkum může potvrdit, že všechny mořené varianty vzcházely ve společný čas. Velikosti nadzemní biomasy byly u každé varianty vizuálně přibližně stejné. Záleží však na typu mořící látky, některé dokáží stimulovat klíčení a růst nadzemní biomasy, některé látky naopak klíčení zpomalují a podporují růst kořenů.

6.1 DISKUZE VÝSLEDKŮ EXPERIMENTU V ŘÍZENÝCH A POLNÍCH PODMÍNKÁCH

Ze všech provedených analýz a jejich výsledků nelze přímo zjistit, jaká varianta byla „nejlepší“ a podpořila rostlinu ve všech parametrech výzkumu. Byly však vybrány varianty, které byly vhodnější pro účely zemědělské praxe a v některých parametrech překonaly i se statistickou průkazností kontrolní rostliny.

Zajímavým trendem u Experimentu 2 je to, že až na výjimky, všechny varianty měly nižší hmotnost nadzemní biomasy oproti kontrolním rostlinám za růstu jak za optimálních podmínek, tak za působení abiotického stresu. U Experimentu 3 tento trend nebyl pozorován.

Z výsledků byly vybrány nevhodnější varianty (varianty zabarveny žlutě), které jsou zapsány v Tab. 23. Z hlediska vybraného mikroprvku to byly: Fe, Zn, Mo, B (vyšší koncentrace), viz Tab. 23. Modře jsou označeny varianty, které v experimentu v řízených podmínkách působily částečně inhibičně, ale v polním experimentu představovaly varianty s nejvyššími výnosy. V Tab. 24 jsou zobrazeny červeně varianty, které působily spíše inhibičně jak na růst rostlin, tak jejich výnos.

Tab. 23 Tabulka vybraných testovaných variant, které měly pozitivní vliv na růst rostlin, hmotnost nadzemní i podzemní biomasy, počet odnoží, počet klasů a konečný celkový výnos zrna. Nejúspěšnější varianty zabarveny žlutě. Modře zabarveny varianty s inhibičním efektem na růst v experimentu v řízených podmínkách, ale s pozitivním vlivem na výnos zrna.

Varianta-mikroprvek		Varianta - koncentrace mikroprvku (mg/kg osiva), stimulator růstu
1	Fe	0,1 (mg/kg osiva)
7	Zn	0,1 (mg/kg osiva)
10	Cu	0,1 (mg/kg osiva)
18	H ₃ BO ₃	10 (mg/kg osiva)
23	Fe	0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol)
24	Fe	0,1 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 μg/l)
25	Mo	0,1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)
26	Mo	0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol)
29	Zn	0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol)
30	Zn	0,1 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 μg/l)
31	Cu	0,1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)
32	Cu	0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol)
33	Cu	0,1 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 μg/l)
41	H ₃ BO ₃	10 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)
42	H ₃ BO ₃	10 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol)
43	H ₃ BO ₃	10 (mg/kg osiva) + BUT-108 (500 μg/l)

Tab. 24 Tabulka vybraných testovaných variant, které měly negativní vliv na růst rostlin, hmotnost nadzemní i podzemní biomasy, počet odnoží, počet klasů a konečný celkový výnos zrna.

Varianta-mikroprvek		Varianta - koncentrace mikroprvku (mg/kgosiva), stimulator růstu
35	Mn	0,1 (mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol)
40	H ₃ BO ₃	1 (mg/kg osiva) + M-Sunagreen (1,5 l/t)
44	Zn (0,1 mg/kg osiva) + H ₃ BO ₃ (1 mg/kg osiva) + Mo (0,1 mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol) + BUT-108 (500 μg/l)	

6.1.1 Železo

Varianta 1 (Fe; 0,1 mg/kg osiva) svým působením podpořila růst kořenového systému (v Experimentu 1 o 29 %). Zvýšený rozvoj kořenů potvrzuje i Sharifi (2016), který zkoumal efekt primingu semen a listové aplikace mikroprvků pomocí železa ve formě nano-Fe chelátu (7%) a Fe chelátu (Fe_3^+ EDTA) (obě v koncentraci 2 g/L) na kukuřici (*Zea mays*, kultivar SC704). Obě formy hnojiva zvýšily koncentraci chlorofylu v listech, výšku rostlin, celkovou suchou biomasu ve srovnání s kontrolou. Váha kořenových systémů byla větší oproti kontrole (Sharifi, 2016).

Vzcházení rostlin z hlediska počtu bylo pomalejší, avšak můžeme předpokládat, že živiny byly směřovány do kořenového systému namísto do nadzemní části. Root/shoot ratio 1,03 (Tab. 14), však ukazuje, že poměr nadzemní a podzemní biomasy je spíše vyrovnaný. V polním experimentu byla váha rostlin o něco vyšší (podpořena spíše nadzemní biomasou) v porovnání s kontrolou. Též procento odnoží bylo vyšší ze začátku růstu, ale poté bylo spíše průměrné a počet klasů menší. Varianta 23 [Fe (0,1 mg/kg osiva) + GA-3] a 24 [Fe (0,1 mg/kg osiva) + BUT-108] měla pozitivní vliv na tvorbu nadzemní biomasy za růstu za optimálních podmínek. V případě abiotického stresu, varianta 23 výrazně podpořila růst kořenového systému. Můžeme však konstatovat, že všechny varianty s Fe měly jedny z nejvyšších výnosů zrna oproti ostatním variantám. Výsledky jiného výzkumu ukázaly, že dávka mikroživin vyšší jak 4 mg/L Fe negativně ovlivňuje klíčení. Kombinace 2 mg/L Fe + 2 mg/L Zn aktivovala semena, bylo pozorováno rychlé klíčení a lepší odnožování. Pro buňky jsou tyto koncentrace netoxické (Reis et al., 2018).

6.1.2 Zinek

Varianta 7 (Zn; 0,1 mg/kg osiva) podpořila růst kořenového systému v Experimentu 2 (+13 %), byla také zaznamenána rychlejší vzcházivost oproti kontrole. Zlepšení a zvýšení klíčivosti a vzcházivosti rostlin po primingu semen pomocí ZnSO_4 (0,05% roztok) byl pozorován u třapatky nachové (*Echinacea purpurea*) (Babaeva et al., 1999). U semen ječmene jarního (*Hordeum vulgare*) mořených roztokem 10 mM Zn bylo pozorováno zlepšení klíčení a vývoj rostlin (Ajouri et al., 2004). Priming semen s 10 mM Zn může urychlit vzcházení rostlin, přežití zimy a zvýšit odběr vody po dešti (Ghassemi-Golezani & Abdurrahmani, 2012). Proto můžeme předpokládat, že podporou Zn primingu může dojít k rozvoji kořenového systému, a tedy lepší schopností odběru vody rostlinami.

Varianta 29 [Zn (0,1 mg/kg osiva) + GA-3] podpořila též růst kořenů v Experimentu 3 (opět $\pm 14\%$). Varianta 30 [Zn (0,1 mg/kg osiva) + BUT-108] měla statisticky průkazný vliv na růst nadzemní biomasy v Experimentu 3. V polním experimentu bylo u varianty 7 zaznamenáno nejvíce silných odnoží, u variant 29 a 30 nadmíra odnoží oproti ostatním rostlinám. Výnos zrna byl u všech variant vyšší oproti kontrole. Hypotézu, že moření semen pomocí Zn může zvýšit konečný výnos zrna uvádí ve své studii s fazolem obecným (*Phaseolus vulgaris*) Kaya et al. (Kaya et al., 2007). Samotný Zn je zapojen do mnoha fyziologických procesů již během raného vývoje rostlin, reakcí syntézy proteinů či membrán. Zn také pomáhá rostlinám během stresových období (Cakmak, 2000).

Moření pomocí roztoku zinku bylo testováno s pozitivním výsledkem i ve výzkumu Sharifiho (2016). Zinek byl testován ve dvou formách: $\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ a ve formě nano-Zn (12%) (koncentrace 2 g/L). Výsledky ukázaly, že rostliny měly rozvinutější a větší kořenový systém ve srovnání s kontrolou (Sharifi, 2016). Domněnku, že moření zinkem může podpořit vzcháživost podporuje i studie Harris et al. (2007).

6.1.3 Měď

Varianta 10 (Cu; 0,1 mg/kg osiva) se statistickou průkazností podpořila růst kořene v Experimentu 1 i 2. U varianty 31 [Cu (0,1 mg/kg osiva) + M-Sunagreen] byl zaznamenán nejvyšší výnos, ačkoliv v předešlých polních hodnoceních (odběr rostlin, počítání odnoží či počet klasů) varianta korelovala s výsledky kontrolních rostlin. Zajímavé také je, že v Experimentu 2, měla tato varianta statisticky negativní vliv na růst podzemní i nadzemní biomasy. Vzcháživost těchto variant byla jak za optimálních podmínek, tak za působení abiotického stresu spíše pomalejší ve srovnání s dalšími variantami. Malhi (2009) provedl experiment, kdy namáčeli semena pšenice v roztoku Cu-EDTA (0,04 - 0,16 kg Cu/hektar). Tato předseťová úprava zvýšila výnos zrna, ale ve většině případů došlo k významnému snížení vzcháživosti rostlin (Malhi, 2009). Se skoro totožnými výsledky se setkáváme u moření semen pšenice seté (*Triticum aestivum*) pomocí nanočástic Cu. Procento klíčivosti semen bylo menší a bylo též pozorováno snížení délky kořenů (Yasmeen et al., 2015).

Varianta 32 [Cu (0,1 mg/kg osiva) + GA-3] podpořila růst kořenového systému v Experimentu 1, měla také vyrovnaný počet silných, středních a slabých odnoží. Výnos zrna u varianty 32 byl nejnižší ze všech testovaných variant. Akram et al. (2020) uvádí

svůj výzkum, kde mořili různými koncentracemi síranu měďnatého a sledovali jeho vliv na růst vigny zlaté (*Vigna radiata* L.). Největší vliv měla koncentrace 40 μM CuSO_4 . Vyšší dávky byly pro rostliny toxické (70, 80 μM) (Akram et al., 2020).

V kontextu výsledků můžeme říci, že je velice tenká hranice mezi koncentracemi Cu účinnými a toxickými. Také můžeme předpokládat, že ačkoliv vzcházivost může být pomalejší a hmotnosti nadzemní i podzemní biomasy menší, na výsledný výnos zrna to nemusí mít vliv a výnos může být i vyšší ve srovnání s nemořenými semeny.

6.1.4 Molybden

Varianty 25 [Mo (0,1 mg/kg osiva) + M-Sunagreen] podpořila u Experimentu 1 i 2 růst kořenového systému ($\pm 20\%$, za optimálních podmínek. Mo se účastní mnoha procesů spojených s dusíkem. Je důležitý pro fungování NR, která katalyzuje první krok asimilace dusičnanů, a tedy je i důležitý pro vlastní výživu rostlin (Hänsch & Mendel, 2009). Moření semen pšenice pomocí 40 mg Mo/L $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \times 4\text{H}_2\text{O}]$ výrazně podpořilo růst kořínků ve skleníkovém experimentu a v případě polního experimentu podpořilo tvorbu odnoží i počet zrn (Alkhamisi et al., 2017).

U varianty 26 [Mo (0,1 mg/kg osiva) + GA-3] byl pozorován zajímavý trend – za optimálních podmínek došlo k nejrychlejšímu vzcházení rostlin ze všech variant/KO, ovšem za působení abiotického stresu (sucha), tyto rostliny vzcházely nejpomaleji. Al - issawi et al. (2016) zmiňují roli Mo v toleranci a boji proti abiotickému stresu (chladu), u pšenice. Zjistili, že za chladu došlo ke zvýšení regulace exprese genu, který je zodpovědný za chladovou toleranci (Al-issawi et al., 2016). Můžeme se domnívat, že Mo hraje důležitou roli v toleranci určitých negativních podmínek růstu, a proto by bylo přínosné zhotovení dalších experimentů. Přeci jen produkce pšenice a potažmo obilnin, je důležitou celosvětovou rostlinnou komoditou.

Pokud se zaměříme na výnos zrna, varianta 25 měla menší výnos oproti kontrole a varianta 26 čtvrtý nejlepší výnos ze všech našich testovaných variant (byl také zaznamenán největší průměr klasů ze všech variant). Zvýšení výnosu zrna uvádí i další výzkumy (Alkhamisi et al., 2017). Johansen et al. (2007) uvádí, že ošetření semen může být výhodnější jak aplikace do deficientní půdy. Metoda primingu je také ekonomičtější. Pozitivní výsledky také vyšly u kombinace MO + *Rhizobium*, testováno na semenech cizrny (Johansen et al., 2007).

6.1.5 Bor

U varianty 18 (H_3BO_3 ; 10 mg/kg osiva) a 41 [H_3BO_3 (10 mg/kg osiva) + M-Sunagreen] byla zaznamenána rychlá vzcházivost za působení abiotického stresu a také hmotnosti kořenových systémů byly za obou testování v kladných číslech. Procento odnoží bylo v obou případech spíše menší a výnos zrna byl srovnatelný s kontrolními rostlinami. K zamyšlení také je, že nižší koncentrace H_3BO_3 – varianta 40 [H_3BO_3 (1 mg/kg osiva)] měla negativní vliv na růst rostlin.

Některé články priming semen pomocí boru přímo nedoporučují z důvodu snížených výnosů i růstu rostlin (Badiri et al., 2014). Studie potvrdila, že priming 1-2% borem inhibuje klíčení semen mrkve (Munawar et al., 2013) a též 0,5% roztokem boru u rýže (Rehman et al., 2012). Naopak Mirshekari (2012) doporučuje priming semen (provedeno na semenech kopru) kombinací 1,5% Fe + 1% B, kdy u kopru došlo k vysoké klíčivosti semen, rovnoměrnému vzcházení i výnosu esenciálních olejů v porovnání s nemořenými semeny. Uznává však, že vysoké koncentrace boru mohou být toxické (Mirshekari, 2012).

6.1.6 Mangan a varianta 44

V případě variant s Mn (negativní vliv var. 35) experimenty ukázaly spíše žádný či negativní vliv na růst a výnos. Tyto experimenty by měly být zopakovány, neboť více vědeckých skupin dokázalo, že priming pomocí Mn může mít také své využití (Khalid & Malik, 2008; Munawar et al., 2013). Poslední varianta 44 (Zn (0,1 mg/kg osiva) + H_3BO_3 (1 mg/kg osiva) + Mo (0,1 mg/kg osiva) + GA-3 (50 μMol) + BUT-108 (500 $\mu\text{g/l}$) měla pravděpodobně negativní vliv na růst rostlin a jejich výnos. Příčinou mohlo být „předimenzování“ mořícího roztoku a následný inhibiční vliv.

6.1.7 Hormonální moření semen (M-Sunagreen, GA-3 a BUT-108)

Označení „hormonálního primingu“ popisuje ošetření semen a druh podpory růstu rostlin. Ve výzkumu této diplomové práce byly využity: GA-3, M-Sunagreen a BUT-108. Dle výsledků z Experimentu 3, se jeví aplikace GA-3 (50 μMol) a BUT-108 (500 $\mu\text{g/l}$) jako vhodný prostředek pro zlepšení zakořenění rostlin při působení abiotického stresu.

Moření semen cizrny pomocí GA-3 (10^{-6} M) mělo pozitivní vliv na biochemické vlastnosti (obsah bílkovin) a růstové parametry (celkový výnos zrna, počet lusků, hmotnosti rostlin) (Mazid, 2014). V našich experimentech měly varianty 23 [Fe (0,1 mg/kg osiva) + GA-3], 26 [Mo (0,1 mg/kg osiva) + GA-3] a 29 [Zn (0,1 mg/kg osiva) + GA-3] jako kombinace mikroprvků a GA-3 s pozitivní vlivem na růst rostlin

a jejich výnos. Literární zdroje potvrzují naše zjištění, že gibereliny mají schopnost regulovat vývoj a fyziologické procesy v rostlinách. Priming semen pomocí GA3 (20 ppm) by mělo výrazně zvýšit klíčivost a vzcházivost rostlin u ječmene obecného (Naeem & Muhammad, 2006). Tuto skutečnost náš výzkum přímo nepotvrdil, avšak ani nevyvrátil.

Polní pokusy se semeny pšenice (*Triticum aestivum* L.) mořenou IAA (o koncentraci 2 ppm) ukázaly, že semena byla rychleji aktivována a výnos celkového zrna byl vyšší (Karimi et al., 2021). Aktivace semen ječmenice prodloužené (*Agropyron elongatum*) pomocí IAA (50 ppm) zlepšila toleranci vůči stresu ze sucha. Došlo ke zvýšení tvorby enzymů s antioxidačními schopnostmi: katalázy, superoxiddismutázy a peroxidázy (Eisvand et al., 2010). Tyto články došly k závěru, že moření pomocí IAA rychleji aktivuje semena a jejich klíčení. V našem výzkumu byly využity prekurzor pro Trp (látka M-Sunagreen), který může být využit v biosyntéze IAA. Varianta 19 (M-Sunagreen, 1,5 l/t) a 31 [Cu (0,1 mg/kg osiva) + M-Sunagreen] vzcházely rychleji jak ostatní mořené varianty za optimálních podmínek. Za působení abiotického stresu rychlejší vzcházení nebylo pozorováno. Důležité je zmínit, že varianta 31 měla nejvyšší výnos zrna ze všech testovaných variant i kontrolních rostlin.

Zlepšení růstu rostlin a celkových výnosů uvádějí i další níže zmíněné články. Aktivaci a zlepšení klíčení (i za stresových podmínek zasolené půdy) u semen pšenice seté (*Triticum aestivum*) pomocí IAA a prekurzoru Trp publikovali Iqbal & Basra (2007). Moření pomocí prekurzoru Trp zvýšilo celkovou suchou biomasu rostlin i celkový výnos zrna, provedeno v zasolené půdě (Iqbal & Basra, 2007). Trp může být aplikován také postřikem na list (Yassen et al., 2010). Abbas et al. (2013) uvádějí, že priming semen cizrny (*Cocor arietinum* L.) pomocí L-Trp (o koncentraci 10^{-3} M) zlepšila vegetativní a reprodukční růst, zvýšila hmotnost biomasy i výnosů lusků oproti kontrolním rostlinám (Abbas et al., 2013). Stejně výsledky potvrzuje i studie s rajčaty (*Lycopersicon esculentum*), kdy došlo ke zvýšení výšky rostlin, hmotnosti plodů i počtu semen (Parvez et al., 2000).

Posledním z testovaných regulátorů růstu byl BUT-108, jeden z karrikinů vyskytujících se v kouřových látkách. Moyo et al. (2022) uvádí, že u mořených semen brukve řepky olejky (*Brassica napus*) pomocí kouřové vody a KAR1, došlo k výraznému zvýšení vitality sazenic a zlepšení klíčení ve srovnání s kontrolou (Moyo et al., 2022).

Náš výzkum ukázal že varianty 21 (BUT-108, 500 µg/l) za optimálních podmínek a varianta 43 [H₃BO₃ (10 mg/kg osiva) + BUT - 108] za působení abiotického stresu, vzcházely rychleji či stejným tempem jako kontrolní rostliny. Varianta 43 měla jeden z nevyšších celkových výnosů zrna z porovnávaných variant.

6.2 DISKUZE VÝSLEDKŮ ANALÝZY FYTOHORMONŮ POMOCÍ UHPLC-MS/MS

Diskuze této části diplomové práce je velice náročná, neboť neexistuje dostatečné množství publikovaných výzkumů. Proto se i nabízí předpoklad hlubšího studia vlivu primingu semen určitými mořícími roztoky s následnou důkladnou fytohormonální analýzou.

Můžeme však zmínit se statistickou významností, že existuje spojitost mezi variantou 1 (Fe; 0,1 mg/kg osiva) a zvýšeným *tZ* a *tZR* v listech a sníženým *iPR* a *IAA* v kořenovém systému, oproti kontrole. Varianta 18 (H₃BO₃; 10 mg/kg osiva) vykazovala vysoce statistický vliv na přítomnost *tZ*, *tZR*, *iP* v kořenech.

Varianta 28 [Zn (0,1 mg/kg osiva) + M-Sunagreen] měla statisticky významný vliv na přítomnost *tZ* a *cZR* (3x více) v kořenech. Varianta 34 [Mn(0,1 mg/kg osiva) + M - Sunagreen] měla vliv na tvorbu *tZ* a *tZR* v podzemní biomase. Priming pomocí mikroprvku a M-Sunagreenem, mělo spíše negativní vliv na koncentraci *IAA*. Nedošlo tedy k předpokladu, že pokud dodáme externě prekurzor Trp, dojde ke zvýšení hladiny *IAA*.

Samotná varianta 20 (GA3; 50 µMol) měla vliv na vyšší obsah CK-nukleotidu *tZ* a *tZR* v nadzemní i podzemní biomase. Zajímavá je též varianta 23 [Fe (0,1 mg/kg osiva) + GA - 3], která ovlivnila metabolismus rostlin ke zvýšení *tZ* v listech a *tZR* v kořenové (3x více oproti kontrole) a nadzemní biomase. CK-nukleotid *iPR* měl statisticky průkazně vyšší hodnotu, ve srovnání s kontrolními rostlinami. Tato varianta měla vyšší procento středních odnoží oproti kontrole, a nakonec i jeden nejvyšších výnosů zrna. Tento výsledek koresponduje s pozitivním účinkem CK na vývoj odnoží.

V případě moření pomocí BUT-108, varianta 33 [Cu (0,1 mg/kg osiva) + BUT-108] ovlivnila syntézu *tZ* v listech a *tZR* v kořenovém systému. V Experimentu 1 byl zaznamenán nárůst hmotností nadzemní biomasy a v polním hodnocení měla tato varianta statisticky průkazný vliv na tvorbu středních odnoží (110 % oproti KO) a vyšší výnos

zrna ve srovnání s kontrolou. Potvrzuje se pozitivní působení CK na tvorbu odnoží, především těch středních.

Varianta 30 [Zn (0,1 mg/kg osiva) + BUT-108] měla statisticky významný vliv na tvorbu středních odnoží a také vyšší výnos zrna oproti kontrole. Hladina CK *tZ*, *tZR*, *cZR* a *iPR* byla statisticky průkazně vyšší oproti kontrolním rostlinám.

Můžeme se tedy domnívat, že pokud jsou hladiny CK vyšší v nadzemních částech rostliny, tyto rostliny mají vyšší schopnost tvořit střední odnože a mají vyšší výnos zrna. Literatura též uvádí, že jedním z důsledků CK aktivity je schopnost indukovat vznik odnoží (Procházka et al., 1998). Naopak v případě zvýšeného auxinu, by měl být počet odnoží nižší a větší kořenový systém. Tuto informaci nelze potvrdit, neboť hladiny auxinu byly sniženy u všech variant ve srovnání s kontrolou.

Můžeme sledovat, že moření určitou kombinací vždy ovlivnilo určitou skupinu fytohormonů či jejich metabolitů na statistické úrovni. U variant mořených samotnými mikroprvky byla snižená hodnota *tZR*, *iPR* i *IAA* v kořenovém systému. Priming pomocí kombinace mikroprvku a M - Sunagreenu měl vliv na sníženou hodnotu *iPR* a *IAA* v kořenovém systému. Varianty obsahující mikroprvek a GA - 3 měly vliv na zvýšenou hodnotu *tZ* a *tZR* listech. Posledním tetsovaným růstovým regulátorem byl BUT-108, který v kombinaci mikroprvkem ovlivnil přítomnost *tZ*, *iPR* a *IAA* v nadzemní biomase.

7 ZÁVĚR

V této práci jsme se zabývali podpurným mořením semen. Technikou, která slouží k podpoře klíčení, zlepšení metabolických procesů, růstu rostlin i výnosu plodin za optimálních podmínek a ideálně i zapůsobení biotické/abiotického stresu. Bylo vytvořeno 45 variant mořících roztoků, které byly testovány v rámci experimentu v řízených podmínkách a polním experimentu. Jako účinné látky byly zvoleny vybrané mikroprvky a regulátory růstu, o zvolených koncentracích.

Důležitým parametrem zkoumání bylo také hodnocení hmotnosti kořenového systému, nadzemní biomasy a jejich vzájemného poměru (Root/shoot ratio). Důvodem tohoto sledování je především sucho a působení dalších biotických/abiotických faktorů. Vycházíme z hypotézy: rostlina v počátečních fázích vývoje (klíčení), investuje energii a živiny buď do nadzemní biomasy, nebo do kořenů. V případě podpory kořenové soustavy, může být rychlost vzcházení pomalejší, ale toto se nakonec projeví pozitivně ve výnosu zrna, protože má rostlina lépe vyvinutý kořenový systém, který zajistí přísun živin a jejich využití během vegetace. Této výhody může následně využít právě v období sucha v podobě podzemní vody. Podpora kořenového systému se však promítne i do celého života rostliny – schopnosti odnožování, počtu klasů i výnosu zrna. Z hlediska tohoto zkoumaného parametru vynikaly varianty 25 [Mo (0,1 mg/kg osiva) + M - Sunagreen] a 29 [Zn (0,1 mg/kg osiva) + BUT-108], které podpořily rozvoj kořenového systému za optimálních podmínek i při působení abiotického stresu v experimentech v řízených podmínkách. Jejich Root/shoot ratia dosahovaly nejvyšších hodnot. V polním hodnocení hmotností biomas opětovně podpořily kořenový systém, což potvrdil parametr Root/shoot ratio. Průměry odnoží byly srovnatelné s kontrolou, taktéž průměrný počet klasů i celkový výnos zrna.

Z celkových výsledků nevyplývá jedna varianta, která by byla nejlepší ve všech testovaných parametrech, ovšem byly nalezeny varianty s výrazně (i se statistickou průkazností) pozitivním vlivem. Jednou z variant je Varianta 1 (Fe; 0,1 mg/kg osiva), která měla výrazný vliv na tvorbu kořenového systému v experimentu v řízených podmínkách. V polním pokusu měla jeden z nejvyšších výnosů celkového zrna, a také průměrně více odnoží. Varianty 23 [Fe (0,1 mg/kg osiva) + GA-3] i 24 [Fe (0,1 mg/kg osiva) + BUT-108] měly pozitivní vliv na tvorbu kořenového systému za působení abiotického stresu v řízených podmínkách. V polním hodnocení měly více odnoží

a průměrné odebrané nadzemní biomasy a vysoký průměrného celkového zrna. Můžeme tedy tvrdit, že priming pomocí Fe (a případně regulátoru růstu) může pomoci rozvoje a růstu kořenového systému, který dostatečně podpoří a vyživí rostlinu, a v konečné fázi bude mít tato předseťová úprava pozitivní vliv na výnos.

Všechny varianty: 7 (Zn; 0,1 mg/kg osiva), 29 [Zn (0,1 mg/kg osiva) + GA-3] a 30 [Zn (0,1 mg/kg osiva) + BUT-108] podpořily růst kořenového systému a měly nejlepší schopnost tvořit odnože. Všechny varianty měly vyšší výnos zrna oproti kontrole.

Další zajímavý výzkum by měl být proveden u varianty 31 [Cu (0,1 mg/kg osiva) + M - Sunagreen], která měla v řízených podmínkách spíše negativní vliv na růst rostliny, avšak v polních podmínkách prakticky ve všech parametrech (především celkový výnos), vliv pozitivní.

U variant v kombinaci s borem můžeme konstatovat, že rostliny byly ve většině testovaných parametrů podpořeny. Byla zaznamenána rychlejší vzháživost za působení abiotického stresu, také hmotnosti kořenových soustav byly podpořeny. Varianta 41 [H₃BO₃ (10 mg/kg osiva) + M-Sunagreen] měla 3. nejvyšší výnos zrna, ale spíše méně odnoží.

U analýzy fytohormonů pomocí UHPLC-MS/MS by bylo zjištěno, že moření semen obecně ovlivňuje určité skupiny fytohormonů a metabolitů CK. U variant mořených samotnými mikroprvky byla snížena hodnota *t*ZR, *i*PR v kořenovém systému. Priming pomocí kombinace mikroprvku a M - Sunagreenu měl vliv na sníženou hodnotu *i*PR. Varianty obsahující mikroprvek a GA - 3 měly vliv na zvýšenou hodnotu *t*Z a *t*ZRv listech. Posledním testovaným růstovým regulátorem byl BUT-108, který v kombinaci mikroprvkem ovlivnil přítomnost *t*Z, *i*PR a IAA v nadzemní biomase. U moření pomocí prekurzoru Trp M-Sunagreenem nedošlo ke zvýšení IAA v kořenech ani nadzemní biomase. Můžeme se domnívat, že mohly vzniknout jiné další auxiny. Zajímavým zjištěním je důležitá úloha CK na schopnost odnožování. Varianty s vyššími hodnotami CK měly schopnost tvořit více produktivních odnoží a v tomto důsledku měly nejvyšší výnosy zrna ve srovnání s kontrolou.

V případě následného použití v zemědělství lze doporučit moření osiva jarního ječmene mikroprvky o nejnižších koncentracích, tedy 0,1 mg/kg osiva. Tato koncentrace nebyla pro rostliny inhibiční, ve srovnání s vyššími koncentracemi 1 mg/kg osiva a 10 mg/kg osiva (výjimkou je B účinný při nejvyšších koncentracích). Kombinace

mikroprvku (0,01 mg/kg osiva) s M-Sunagreenem (1,5 l/t) může pomoci rostlině s rozvojem kořenového systému, jako v případě Mo, B a Cu. Dále testované stimulatory růstu GA-3 (50 μ Mol) a BUT - 108 (500 μ g/l) mohou rostlinám pomoci při působení abiotického stresu. Tyto varianty v kombinaci s Fe, Cu, Zn i B (0,01 mg/kg osiva) mohou zvýšit celkový výnos zrna.

8 REFERENČNÍ SEZNAM

- Abbas, S., Muhammad, S., Saleem, M., Mahmood, T., Aziz, I., Qamar, M., Majeed, A., & Arif, M. (2013). Effect of l-tryptophan on plant weight and pod weight in chickpea under rainfed conditions. *Science, Technology and Development*, 32, 277-280. <https://www.scinapse.io/papers/2551834523>
- Adams D. O., & Yang S. F. (1979). Ethylene biosynthesis: Identification of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 76, 170-174. <https://doi.org/10.1073/pnas.76.1.170>
- Ajouri, A., Asgedom, H. & Becker, M. (2004). Seed priming enhances germination and seedling growth of barley under conditions of P and Zn deficiency. *Journal of plant nutrition and soil science*, 167, 630-636. <https://doi.org/10.1002/jpln.200420425>
- Akram, I., Tahir, M., Saleem, M.A., Ahmad, T., Naz, M. & Ahmad, M. (2020). Seed priming effects of copper sulphate on growth characteristics of green gram. *Journal of Global Innovations in Agriculture and Social Sciences*, 8(1), 23-25. <https://doi.org/10.22194/JGIASS/8.884>
- Al-Issawi, M., Rihan, H. Z., Al-Shmgani, H. & Fuller, M. P. (2016). Molybdenum application enhances antioxidant enzyme activity and COR15a protein expression under cold stress in wheat. *Journal of Plant Interactions*, 11, 5-10. <http://dx.doi.org/10.1080/17429145.2015.1129074>
- Alkhamisi, F., Naeem, M., Hameed, A., Kadhim, A., Salih, A., Hamdan, M., Al-issawi, M., & Alkhamisi, F. (2017). Effect of Seed Priming and Molybdenum Foliar Application in some Physiological and Anatomical Traits in Wheat Crop (*Triticum aestivum*). *Journal of Tikrit University For Agriculture Sciences*, 17, 3-2017. <https://www.iasj.net/iasj/download/1c5a53c9dcb91118>
- Alloway, B. J. (2008). Zinc in soils and crop nutrition. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 7(6).
- Babaeva, E.Y., Volobueva, V.F., Yagodin, B.A., & Klimakhin, G.I. (1999). Sowing quality and productivity of *Echinacea purpurea* in relation to soaking the seed in manganese and zinc solutions. *Izvestiya Timiryazevskoi Sel'skokhozyaistvennoi Akademii*, 4, 73-80.
- Badiri, A., Mirshekari, B., Hadavi, E., & Hamidi, A. (2014). Effect of seeds priming with micronutrients on growth, seed yield and mucilage of plantain. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 4, 335-342. https://www.researchgate.net/publication/266392949_Effect_of_seeds_priming_with_micronutrients_on_growth_seed_yield_and_mucilage_of_plantain
- Balasaraswathi, R., & Sadasivam, S. (1997). Changes in oil, sugars and nitrogenous components during germination of sunflower seeds, *Helianthus annuus*. *Plant Foods Hum Nutr*, 51, 71-77. <https://doi.org/10.1023/A:1007924026633>
- Cakmak, I. (2000). Role of zinc in protecting plant cells from reactive oxygen species. *New Phytol*. 146, 185-205.
- Cerkal, R., Hřivna L., Ryant, P., Prokeš, J., Březinová Belcredi, N., Vejražka, K., Michnová, M., & Tomáš, G. (2010). Zinek–vliv na růst rostlin a kořenů ječmene,

- technologickou kvalitu zrna a kvašení sladiny. *Kvasný průmysl*, 53(3), 152–159. https://www.researchgate.net/publication/262344879_Cerkal_R_Hrivna_L_Ryant_P_Prokes_J_Brezinova_Belcredi_N_Vejrazka_K_Michnova_M_Gregor_T_2010_Zinc_-_effect_on_the_spring_barley's_plant_and_roots_growth_grain_technological_quality_and_yeast_fermentati
- Cerkal, R., & Polák, O. (2013). Trendy v hodnocení kvality a skladování obilnin. (8. prosince 2012). <http://www.smacr.cz/data/public/seminare/Trendy-v-hodnoceni-kvality-a-skladovani-obilnin.pdf>.
- Černý, L., Vašák, L., & Křováček, J., Hájek, M. (2007) Jarní sladovnický ječmen: Pěstitelský rádce. (1. října 2012). <http://metodiky.agrobiologie.cz/PDF/KRV/Jarni-sladovnicky-jecmen-pestitelsky-radce.pdf>
- Chiwocha, S., Dixon, K., Flematti, G., Ghisalberti, E., Merritt, D., Nelson, D., Riseborough, J. M., Smith, S., & Stevens, J. (2009). Karrikins: A new family of plant growth regulators in smoke. *Plant Science*, 177(4), 252–256. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.06.007>
- Davies, P. J. (2010). *Plant Hormones* (3rd ed.) Springer Netherlands.
- Doležal, K., Āstot, C., Hanuš, J., Holub, J., Peters, W., Beck, E., Strnad, M., & Sandberg, G. (2002): Identification of aromatic cytokinins in suspension cultured photoautotrophic cells of *Chenopodium rubrum* by capillary liquid chromatography/frit–fast atom bombardment mass spectrometry. *Plant Growth Regulation*, 36, 181–189. <https://doi.org/10.1023/A:1015027906046>
- Drewes, F.E., Smith, M.T. & van Staden, J. (1995). The effect of a plant-derived smoke extract on the germination of light-sensitive lettuce seed. *Journal of Plant Growth Regulation*, 16, 205–209. <https://doi.org/10.1007/BF00029542>
- Egerton-Warburton L. M. (1998). A smoke-induced alteration of the sub-testa cuticle in seeds of the post-fire recruiter, *Emmenanthe penduliflora* Benth. (*Hydrophyllaceae*), *Journal of Experimental Botany*, 49, 1317–1327. <https://doi.org/10.1093/jxb/49.325.1317>
- Ehrenbergerová, J. (2014). *Odrůdy osivo a sadba*. (10. října 2022). https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/23/23-odrudy,_osivo_a_sadba_-_ehrenbergerova.pdf
- Eisvand, H.R., Tavakkol-Afshari, R., Sharifzadeh, F., Maddah Arefi, H., & Hesamzadeh Hejazi, S.M. (2010). Effects of hormonal priming and drought stress on activity and isozyme profiles of antioxidant enzymes in deteriorated seed of tall wheatgrass. *Seed Science and Technology*, 38, 280–297. <https://doi.org/10.15258/sst.2010.38.2.02>
- Erdelská, O. (1981). *Embryológia krytosemenných rastlín*. Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied.
- Esau, K. (1977). *Anatomy of seed plants* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Fang, Y., & Xiong, L. (2015). General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 72, 673–689. <https://doi.org/10.1007/s00018-014-1767-0>

- Farooq, M., Basra, S.M.A., Khalid, A., Tabassum, R., & Mehmood, T. (2006). Nutrient homeostasis, reserves metabolism and seedling vigor as affected by seed priming in coarse rice. *Canadian Journal of Botany*, 84, 1196-1202. <https://doi.org/10.1139/b06-08>
- Finch-Savage, W. E., & Farrant, J. M. (1997). The development of desiccation-sensitive seeds in *Quercus robur* L.: Reserve accumulation and plant growth regulators. *Seed Science Research*, 7(1), 35–39. <https://doi.org/10.1017/S0960258500003342>
- Flematti, G. R., Emilio, L. Ghisalberti, K., Dixon, W, Robert, D., & Trengove, A. (2004). Compound from Smoke That Promotes Seed Germination. *Science*, 305(5686), 977-977. <https://doi.org/10.1126/science.1099944>
- Frébort, I., Kowalska, M., Hluska, T., Frébortová J., & Galuszka, P. (2011). Evolution of cytokinin biosynthesis and degradation. *Journal of Experimental Botany*, 62, 2431-2452. <https://doi.org/10.1093/jxb/err004>
- Gardner, M., Dalling, K.J., Light, M.E., Jäger, A.K., & Staden, J.V. (2001). Does smoke substitute for red light in the germination of light-sensitive lettuce seeds by affecting gibberellin metabolism? *South African Journal of Botany*, 67, 636-640. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)31194-7](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)31194-7)
- Ghassemi-Golezani, K., & Abdurrahmani, B. (2012). Seed priming, a way for improving grain yield and nutritional value of barley (*Hordeum vulgare* L.) under dry land condition. *Research on Crops*, 13, 62-66. https://www.researchgate.net/publication/233413152_Seed_priming_a_way_for_improving_grain_yield_and_nutritional_value_of_barley_Hordeum_vulgare_L_under_dry_land_condition
- Gloser, J. (2010) Fyziologie rostlin. (22. září 2022). https://is.muni.cz/el/sci/jaro2010/Bi6180/Skripta3_Rust_2010.pdf
- Goldbach, H.E., Wimmer, M.A., & Findelee, P. (2000). Discussion paper: Boron – How can the critical level be defined? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163, 115–121. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1522-2624\(200002\)163:1<115::AID-JPLN115>3.0.CO;2-%23](https://doi.org/10.1002/(SICI)1522-2624(200002)163:1<115::AID-JPLN115>3.0.CO;2-%23)
- Haagen-Smit, A. J., Dandliker, W. B., Wittwer, S. H., & Murneek, A. E. (1946). Isolation of 3-indoleacetic acid from immature corn kernels. *American Journal of Botany*, 33, 118-120. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1946.tb10354.x>
- Hänsch, R., & Mendel, R. R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*, 12, 259-266. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.006>
- Harris, D., Rashid, A., Miraj, G., Arif, M., & Shah, H. (2007). On-farm seed priming with zinc sulphate solution - A cost-effective way to increase the maize yields of resource-poor farmers. *Field Crops Research*, 10, 119-127. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.03.005>
- Hebber, C.A., Laursen, K.H., Ladegaard, A.H., Schmidt, S.B., Pedas, P., Bruhn, D., Schjoerring, J.K., Wulfsohn, D., & Husted S. (2009). Latent manganese deficiency increases transpiration in barley (*Hordeum vulgare*). *Physiologia Plantarum*, 135, 307-316. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01188.x>

- Higuchi, M., Pischke, S., Mahonen, A.P., Miyawaki, K., Hashimoto, Y., Seki, M., Kobayashi, M., Shinozaki, K., Kato, T., Tabata, S., et al. (2004). In planta functions of the *Arabidopsis* cytokinin receptor family. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*, 101, 8821-8826. <https://doi.org/10.1073/pnas.0402887101>
- Horgan R., Hewett E. W., Purse J. G., & Wareing, P. F. (1973). A new cytokinin from *Populus robusta*. *Tetrahedron Letters* 30, 2827–2828.
- Iqbal, M., & Basra, S. (2007). Seed Treatment with Auxins Modulates Growth and Ion Partitioning in Salt-stressed Wheat Plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 49 (7), 1003-1015. <https://doi.org/10.1111/j.1672-9072.2007.00488.x>
- Jain, N., & Van Staden, J. A (2006). Smoke-derived butenolide improves early growth of tomato seedlings. *Plant Growth Regul*, 50, 139–148. <https://doi.org/10.1007/s10725-006-9110-x>
- Johansen, C., Musa, A.M., Kumar, R., J.V.D.K., Harris, D., Yusuf, A. M., Shahidullah, A.K.M., & Lauren, J.G. (2007). Correcting molybdenum deficiency of chickpea in the High Barind Tract of Bangladesh. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170(6), 752-761. <https://doi.org/10.1002/jpln.200700249>
- Jones, L. H., Martínková, H., Strnad, M., & Hanke, D. E. (1996). Occurrence of aromatic cytokinins in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Plant Growth Regulation*, 15, 39–49. <https://doi.org/10.1007/BF00213133>
- Jones, R. L., Ougham, H., Thomas, H., & Waaland, S. (2013). *The molecular life of plants*. Wiley-Blackwell.
- Kapulnik, Y., Delaux, P.M., Resnick, N., Mayzlish-Gati, E., Wininger, S., Bhattacharya, C., Séjalón Delmas, N., Combier, J. P., Bécard, G., Belausov E., et al. (2010). Strigolactones affect lateral root formation and root-hair elongation in *Arabidopsis*. *Planta*, 233, 209–216. <https://doi.org/10.1007/s00425-010-1310-y>
- Karimi, N., Goltapeh, E.M., & Amini, J. (2021). Effect of Azospirillum zeae and Seed Priming with Zinc, Manganese and Auxin on Growth and Yield Parameters of Wheat, under Dryland Farming. *Agricultural Research*, 10, 44–55. <https://doi.org/10.1007/s40003-020-00480-5>
- Kaya, M., Atak, M., Khawar, K.M., Ciftci, C.Y., & Ozcan, S. (2007). Effect of pre-sowing seed treatment with zinc and foliar spray of humic acids on yield of common bean. *International Journal of Agriculture And Biology*, 7, 875-878. <https://doi.org/1560-8530/2005/07-6-875-878>
- Khalid, B.Y., & Malik, N.S.A. (2008). Presowing soaking of wheat seeds in copper and manganese solutions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 13, 981-986. <https://doi.org/10.1080/00103628209367326>
- Koprna, R. (2020). *Podpora kořenů a produktivních odnoží, jako základ stabilního výnosu obilnin*. (8. prosince 2012). <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/stimulace/podpora-korenu-a-produktivnich-odnozi-jako-zaklad-stabilniho-vynosu-obilnin>
- Krall, L., Raschke, M., Zenk, M.H., & Baron, C. (2002). The Tzs protein from *Agrobacterium tumefaciens* C58 produces zeatin riboside 5'-phosphate from 4-hydroxy-

- 3-methyl-2-(E)-butenyl diphosphate and AMP. *FEBS Letters*, 527, 315-318. [https://doi.org/10.1016/S0014-5793\(02\)03258-1](https://doi.org/10.1016/S0014-5793(02)03258-1)
- Králová, B. (2001). *Bioanalytické metody* (3., přepracované vydání). Praha: Vysoká škola chemicko-technologická.
- Kucera, B., Cohn, M., & Leubner-Metzger, G. (2005). Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination. *Seed Science Research*, 15(4), 281-307. <https://doi.org/10.1079/SSR2005218>
- Lack, A., & Evans, D. E. (2005). *Plant biology* (2nd ed.). Taylor & Francis.
- Letham, D. S. (1963). Zeatin, a factor inducing cell division isolated from *Zea mays*. *Life Sciences*, 8, 569-573. [https://doi.org/10.1016/0024-3205\(63\)90108-5](https://doi.org/10.1016/0024-3205(63)90108-5)
- Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333 (6042), 616-620. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1204531>
- Majda, M., Robert, S. (2018). The Role of Auxin in Cell Wall Expansion. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(4) 951. <https://doi.org/10.3390/ijms19040951>
- Malhi, S.S. (2009). Effectiveness of seed-soaked Cu, autumn- versus spring-applied Cu, and Cu-treated P fertilizer on seed yield of wheat and residual nitrate-N for a Cu-deficient soil. *Canadian Journal of Plant Science*, 89, 1017-1030. <https://doi.org/10.4141/CJPS08189>
- Marcar, N.E., & Graham, R.D. (1986). Effect of seed manganese content on the growth of wheat (*Triticum aestivum*) under manganese deficiency. *Plant Soil*. 96, 165-173. <https://doi.org/10.1007/BF02374761>
- Mazid, M. (2014). Seed Priming Application of Gibberellic Acid on Growth, Biochemical, Yield Attributes and Protein Status of Chickpea (*Cicerarietinum* L. cv. DCP 92-3). *International Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 5(1), 17-22.
- McLafferty, F. W. (1981). Tandem mass spectrometry. *Science*, 214(4518), 280–287. <https://doi.org/10.1126/science.7280693>
- Miller, C. O., Skoog, F., Von Saltza, M. H., & Strong, F. (1955a). Kinetin, a cell division factor from deoxyribonucleic acid. *Journal of the American Chemical Society*, 77, 1392.
- Miller, C. O., Skoog, F., Okumura, F. S., Saltza, M. H., & Strong, F. M. (1955b). Structure and synthesis of kinetin. *Journal of the American Chemical Society*, 78, 2662–2663.
- Mirshekari, B. (2012). Seed priming with iron and boron enhances germination and yield of dill (*Anethum graveolens*). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36, 27-33. <https://doi.org/10.3906/tar-1007-966>
- Mougel, C., & Zhulin, I. B. (2001) CHASE: an extracellular sensing domain common to transmembrane receptors from prokaryotes, lower eukaryotes and plants. *Trends in Biochemical Sciences*, 26, 582-584. [https://doi.org/10.1016/s0968-0004\(01\)01969-7](https://doi.org/10.1016/s0968-0004(01)01969-7)
- Moyo, M., Amoo, S.O., & Van Staden, J. (2022). Seed priming with smoke water and karrikin improves germination and seedling vigor of *Brassica napus* under varying

- environmental conditions. *Plant Growth Regul*, 97, 315–326. <https://doi.org/10.1007/s10725-022-00821-0>
- Munawar, M., Ikram, M., Iqbal, M., Raza, M., Habib, S., Hammad, G., Najeebullah, M. & Ashraf, R. (2013). Effect of seed priming with zinc, boron and manganese on seedling health in carrot (*Daucus carota*L.). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5, 2697. https://www.researchgate.net/publication/299410667_Effect_of_seed_priming_with_zinc_boron_and_manganese_on_seedling_health_in_carrot_DaucuscarotaL
- Naeem, M., & Muhammad, S. (2006). Effect of seed priming on growth of barley (*Hordeum vulgare*) by using brackish water in salt affected soils. *Pakistan Journal of Botany*, 38. https://www.researchgate.net/publication/268428018_Effect_of_seed_priming_on_growth_of_barley_Hordeum_vulgare_by_using_brackish_water_in_salt_affected_soils
- Neeman, G., Neeman, R., Keith, D.A., & Whelan, R.J. (2009) Does postfire plant regeneration mode affect the germination response to fire-related cues? *Oecologia*, 159, 483– 492. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-1237-1>
- Nelson, D.C., Riseborough, J.A., Flematti, G.R., Stevens, J., Ghisalberti, E.L., Dixon, K.W., & Smith, S.M. (2009) Karrikins discovered in smoke trigger Arabidopsis seed germination by a mechanism requiring gibberellic acid synthesis and light. *Plant Physiology*, 149, 863– 873. <https://doi.org/10.1104/pp.108.131516>
- Nester, J.E., & Zeevaart, J.A.D. (1988), Flower development in normal tomato and gibberellin-deficient (ga-2) mutant. *American Journal of Botany*, 75, 45-55. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1988.tb12160.x>
- Papenfus, H.B., Kulkarni, M.G., Posta, M., Finnie, J.F., & van Staden, J. (2015) Smoke-isolated trimethylbutenolide inhibits seed germination of different weed species by reducing amylase activity. *Weed Science*, 63, 312– 320. <https://doi.org/10.1614/WS-D-14-00068.1>
- Parvez, M., Faqir, M., & Mumtaz, A. (2000). Effect of Auxin Precursor (L-Tryptophan) on the Growth and Yield of Tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 3. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2000.1154.1155>.
- Pavlová, L., & Fisher, L. (2011) *Růst a vývoj rostlin*. Nakladatelství Karolinum.
- Peeran, S.N., & Natanasabapathy, S. (1980). Potassium chloride pretreatment on rice seeds. *International Rice Research Institute*, 5, 19.
- Podlešáková, K., & Tarkowská D. (2012). Nové trendy v analýze fytohormonů. *Chemické listy*, 106, 373–379.
- Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J., & Šebánek, J. et. al. (1998). *Fyziologie rostlin*. Akademie věd České republiky.
- Příhoda, J., Hrušková, M., & Skřivan, P. (2003). *Cereální chemie a technologie*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.
- Ur Rehman, A., & Farooq, M., Cheema, Z., & Wahid, A. (2013). Role of boron in leaf elongation and tillering dynamics in fine grain aromatic rice. *Journal of Plant Nutrition*, 36. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.733048>

- Reis, S., Pavia, I., & Carvalho, A. (2018). Seed priming with iron and zinc in bread wheat: effects in germination, mitosis and grain yield. *Protoplasma*, 255, 1179–1194. <https://doi.org/10.1007/s00709-018-1222-4>
- Richter, R. (2004). *Mangan*. (20. listopadu 2022). http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/biogenni_prvky/mn.htm
- Sachs, J. (1873). *Lehrbuch der Botanik*. Engelmann.
- Sakakibara H. (2006). Cytokinins: activity, biosynthesis, and translocation. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 431-439. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105231>
- Sharifi, R., Mohammadi, K., & Rokhzadi, A. (2016). Effect of seed priming and foliar application with micronutrients on quality of forage corn (*Zea mays*). *Environmental and Experimental Biology*, 14, 151-156. <http://doi.org/10.22364/eeb.14.21>.
- Shelp B.J. (1993). *Physiology and biochemistry of boron in plants*. CRC Press.
- Sherrell, C.G. (1984). Effect of molybdenum concentration in the seed on the response of pasture legumes to molybdenum. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 27, 417-423. <https://doi.org/10.1080/00288233.1984.10430644>
- Singh, H., Jassal, R.K., Kang, J.S., Sandhu, S.S., Kang, H., & Grewal, K. (2015) Seed Priming Techniques in Field Crops —A Review. *Agricultural Reviews*, 36, 251-264. <https://doi.org/10.18805/ag.v36i4.6662>
- Skoog, F., & Armstrong, DJ. (1970). Cytokinins, *Annual Review of Plant Physiology*. 21(1), 359-384. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.21.060170.002043>
- Sluková, M., Skřivan, P., & Hrušková, M. (2017). *Cereální chemie a technologie: zpracování obilovin - mlýnská a těstářenská výroba*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.
- Snowball, K., & Robson, A.D. (1983). Symptoms of Nutrient Deficiencies: Subterranean Clover and Wheat. *Department of Soil Science and Plant Nutrition, University of Western Australia*.
- Spichal, L. (2012). Cytokinins - Recent news and views of evolutionally old molecules. *Functional Plant Biology*, 39, 267-284. <https://doi.org/10.1071/FP11276>.
- Stockley, C., Werththeim, J., & Oxlade, C. (2003). *Velká encyklopedie vědy: fyzika, chemie, biologie* (2. vydání). Fragment.
- Šetlík, I., Seidlová, F., & Šantrůček, J. (2001). *Fyziologie rostlin: Organogeneze*. (1. listopadu 2022). http://kebr.prf.jcu.cz/download/lectures/KEBR220/KEBR220_Skripta.pdf
- Šetlík, I., Seidlová, F., & Šantrůček, J. (2004). *Fyziologie rostlin*. (22. září 2022). www.natur.cuni.cz/biochem/kucera/rostliny/is/fyzros.html
- Šimura, J., Antoniadi, I., Šíroká, J., Tarkowská, D., Strnad, M., Ljung, K., & Novák, O. (2018). Plant Hormonomics: Multiple Phytohormone Profiling by Targeted Metabolomics. *Plant Physiol*, 177, 476-489. <https://doi.org/10.1104/pp.18.00293>

- Taiz, L., & Zeiger, E. (2015). *Plant Physiology and development* (6th ed.). Sinauer Associates.
- Taiz, L. (2018). *Plant physiology and development*. (6th ed.) Oxford University Press.
- Takahashi, F., Kuromori, T., Sato, H., & Shinozaki, K. (2018). Regulatory gene networks in drought stress responses and resistance in plants. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1081, 189-210. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1244-1_11
- Takei, K., Ueda, N., Aoki, K., Kuromori, T., Hirayama, T., Shinozaki, K., Yamaya, T., & Sakakibara, H. (2004). AtIPT3 is a Key Determinant of Nitrate-Dependent Cytokinin Biosynthesis in Arabidopsis. *Plant Cell Physiol*, 45, 1053–1662. <https://doi.org/10.1093/pcp/pch119>
- Tonini, P.P., Purgatto, E., & Buckeridge, M. S. (2010). Effects of abscisic acid, ethylene and sugars on the mobilization of storage proteins and carbohydrates in seeds of the tropical tree *Sesbania virgata* (Leguminosae). *Annals of Botany*, 106(4) 607–616. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq159>.
- Tsai, C.Y., Dalby, A., Jones, & R.A. (1975). Lysine and tryptophan increases during germination of maize seed. *Cereal Chem*, 52, 356–360.
- Vaněk, V., et al. (2016). *Výživa a hnojení polních plodin*. Profi Press s.r.o.
- Van Staden, J., Jäger, A.K., Light, M.E., & Burger, B.V. (2004). Isolation of the major germination cue from plant-derived smoke. *South African Journal of Botany*, 70, 654–659.
- Wang, W. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00425-003-1105-5>
- Wasson, A.P., Richards, R.A., Chatrath, R., Misra, S.C., Prasad, S.V., Rebetzke, G.J., Kirkegaard, J.A., Christopher, J., & Watt, M. (2012). Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. *Journal of Experimental Botany*, 63, 3485–3498. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers111>.
- Yasmeen, F., Razzaq, A., Raja, N., & Jhazab, H. (2015). Effect of silver, copper and iron nanoparticles on wheat germination. *International Journal of Biosciences*, 6, 112-117. <https://doi.org/10.12692/ijb/6.4.112-117>.
- Yassen, A.A., Mazher, A.A.M., & Zaghloul, S.M. (2010). Response of anise plants to nitrogen fertilizer and foliar spray of tryptophan under agricultural drainage water. *New York Science Journal*, 3, 120–127. http://www.sciencepub.net/newyork/ny0309/19_3602ny0309_120_127.pdf
- Yoshida, S., & Hasegawa, S. (1982). *Drought Resistance in Crops with Emphasis on Rice*. International rice research institute.
- Zimolka, J. (2005). *Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna*. Profi Press.