



UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI
Přírodovědecká fakulta
Laboratoř růstových regulátorů

**Využití karrikinů pro zlepšení
parametrů vzcházení a výnosu polních
plodin**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor: **Vilma Hofmanová**
Studijní program: B1501 Experimentální biologie
Studijní obor: Experimentální biologie
Forma studia: Prezenční
Vedoucí práce: **Ing. Radoslav Koprna, Ph.D.**
Termín odevzdání práce: 2022

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora	Vilma Hofmanová
Název práce	Využití karrikinů pro zlepšení parametrů vzcházení a výnosu polních plodin
Typ práce	Bakalářská
Pracoviště	Centrum Regionu Haná – oddělení chemické biologie a genetiky
Vedoucí práce	Ing. Radoslav Koprna, Ph.D.
Rok obhajoby práce	2022
Abstrakt	<p>Bakalářská práce pojednává o karrikinech (syn. butenolidech), což je skupina růstových regulátorů, které přirozeně vznikají při spalování rostlinného materiálu. Jsou schopny stimulovat klíčení semen a vývoj u mnoha druhů rostlin již při velmi nízkých koncentracích. Chemicky se jedná o butenolidy, které se od sebe liší postranními řetězci navázanými v polohách na C–3,4,5 a 7.</p> <p>Experimentální část je zaměřena na zhodnocení působení vybraných butenolidů, na odnožování, výnos zrna, hmotnost rostliny a další parametry u ječmene jarního (<i>Hordeum vulgare</i> L.) a pšenice ozimé (<i>Triticum aestivum</i> L.) při maloparcelních polních pokusech. Dále byly vytvořeny nádobové pokusy na ječmeni jarním, ve kterých byly hodnoceny hmotnosti a poměr nadzemní a podzemní biomasy, klíčivost, rychlost vzcházení/klíčení a obsah cytokininů.</p>
Klíčová slova	karrikiny, butenolidy, klíčení, ječmen, pšenice
Počet stran	78
Počet příloh	7
Jazyk	Český

Bibliographical identification

Author's first name and surname	Vilma Hofmanová
Title of thesis	Use of karrikines for seed coating for improving of filed plants germination and yield
Type of thesis	Bachelor
Department	Centre of Region Haná – Department of chemical biology and genetics
Supervisor	Ing. Radoslav Koprna, Ph.D.
The year of presentation	2022
Abstract	<p>The bachelor thesis deals with karrikins (syn. butenolides), a group of growth regulators that are naturally produced during the combustion of plant material. They are able to stimulate seed germination and development in many plant species at very low concentrations. Chemically, they are butenolides which differ from each other by side chains linked at the C-3,4,5 and 7 positions.</p> <p>The experimental part is aimed at evaluating the effect of selected butenolides, on branching, grain yield, plant weight and other parameters in spring barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.) and winter wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) in small-plot field experiments. In addition, container experiments were set up on spring barley in which the weights and ratio of above-ground to below-ground biomass, germination, emergence/germination rate and cytokinin content were evaluated.</p>
Keywords	karrikins, butenolides, germination, barley, wheat
Number of pages	78
Number of appendices	7
Language	Czech

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

V Olomouci dne 16. května 2022

.....

Na tomto místě bych chtěla poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Radoslavu Koprnovi, Ph.D. za odborné vedení, rady a motivaci při tvorbě této práce, dále Doc. Mgr. Ondřeji Novákovi, Ph.D. a Haně Martínkové za analýzy cytokininů v rostlinném materiálu, Mgr. Jakubovi Hrdličkovi, Ph.D. za analýzu karrikinů, Mgr. Tomáši Guckému, Ph.D. a RNDr. Marku Zatloukalovi, Ph.D. za syntézu karrikinů a Mgr. Zdeňkovi Špíškovi, Ph.D. za polní experimenty. Výsledky bakalářské práce byly financovány z prostředků projektu IGA_PrF_2022_012.

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK	8
1 ÚVOD A CÍLE PRÁCE	9
2 TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1 KARRIKINY JAKO RŮSTOVÉ REGULÁTORY	10
2.1.1 Účinky karrikinů	11
2.2 CHEMICKÁ STRUKTURA	11
2.2.1 Analogy substituované na třetím uhlíku	13
2.2.2 Analogy substituované na čtvrtém uhlíku	13
2.2.3 Analogy substituované na pátém uhlíku	13
2.2.4 Analogy substituované na sedmém uhlíku	14
2.2.5 Syntetické cesty při tvorbě KAR 1	15
2.3 POTENCIÁLNÍ VYUŽITÍ KAR V ZEMĚDĚLSTVÍ	15
2.3.1 Kukuřice setá (<i>Zea mays</i>)	15
2.3.2 Rýže setá (<i>Oryza sativa</i> L.)	16
2.3.3 Milička habešská (<i>Eragrostis tef</i> (Zucc.) Trotter)	16
2.3.4 Pšenice ozimá (<i>Triticum aestivum</i> L.)	16
2.3.5 Genotoxicita a mutagenita	17
2.3.6 Aplikace kouře	17
2.3.6.1 Aerosolový kouř	17
2.3.6.2 Kouřová voda	17
2.4 JEČMEN OBECNÝ	18
2.5 PŠENICE OZIMÁ	19
2.6 FENOLOGICKÉ FÁZE OBILNIN	20
2.6.1 Klíčení (BBCH 00–07)	23
2.6.1.1 Vnější podmínky klíčení	23
2.6.1.2 Vnitřní podmínky klíčení	24
2.7 CYTOKININY	24
3. MATERIÁL A METODIKA	26
3.1 POUŽITÉ LÁTKY	26
3.1.1 Butenolidy	26
3.2 ROSTLINNÝ MATERIÁL	26
3.2.1 Odrůdy ječmene jarního	26
3.2.2 Odrůdy pšenice ozimé	27
3.3 POUŽITÁ TECHNIKA	28
3.4 MALOPARCELNÍ POKUSY	28
3.4.1 Založení maloparcelního pokusu	28
3.4.2 Odběry a hodnocení rostlin	29
3.5 METEODATA	30
3.6 NÁDOBOVÉ POKUSY	31
3.6.1 Test na měření nadzemní a podzemní biomasy	31
3.6.2 Test na vzcházení/ klíčení a rychlost vzcházení/ klíčení semen	32
3.6.3 Analýza cytokininů	32
3.6.4 Analýza karrikinů	32
3.6.5 Založení nádobového pokusu	33
4 VÝSLEDKY A DISKUZE	34
4.1 MALOPARCELNÍ POKUSY	34
4.1.1 Ječmen jarní, BUT 122 (50 µg/l)	35
4.1.2 Ječmen jarní, BUT 122 (500 µg/l)	35

4.1.3 Ječmen jarní, BUT 121 (50 µg/l)	36
4.1.4 Ječmen jarní, BUT 121 (500 µg/l)	37
4.1.5 Ječmen jarní, BUT 108 (500 µg/l)	38
4.1.6 Ječmen jarní, BUT 106 (500 µg/l)	38
4.1.7 Pšenice, BUT 122 (50 µg/l).....	39
4.1.8 Pšenice, BUT 122 (500 µg/l)	39
4.1.9 Pšenice, BUT 121 (500 µg/l)	40
4.1.10 Pšenice, BUT 106 (500 µg/l)	41
4.2 NÁDOBOVÉ POKUSY.....	42
4.2.1 Vyhodnocení testu na měření nadzemní a podzemní biomasy	42
4.2.1.1 Ječmen, BUT 122 (1000 µg/l, 100 µg/l a 10 µg/l)	43
4.2.1.2 Ječmen, BUT 121 (1000 µg/l, 100 µg/l a 10 µg/l)	44
4.2.1.3 Ječmen, BUT 108 (1000 µg/l, 100 µg/l a 10 µg/l)	45
4.2.1.4 Ječmen, KAR 2 (1000 µg/l, 100 µg/l a 10 µg/l)	46
4.2.1.5 Vliv aplikace butenolidů na nárůst nadzemní biomasy	47
4.2.1.6 Vliv aplikace butenolidů na nárůst podzemní biomasy.....	49
4.2.2 Vyhodnocení testu na vzcházení/ klíčení a rychlost vzcházení/ klíčení semen	50
4.2.2.1 Porovnání koncentrací BUT 122 (10 µg/l a 1000 µg/l), varianta bez PEGu.....	51
4.2.2.2 Porovnání koncentrací BUT 122 (10 µg/l a 1000 µg/l), varianta s PEGem.....	52
4.2.2.3 Porovnání účinku BUT 122 (10 µg/l) ve variantách s PEGem a bez PEGu	53
4.2.2.4 Porovnání účinku BUT 122 (1000 µg/l) ve variantách s PEGem a bez PEGu	54
4.2.2.5 Porovnání koncentrací BUT 121 (10 µg/l a 1000 µg/l), varianta bez PEGu.....	54
4.2.2.6 Porovnání koncentrací BUT 121 (10 µg/l a 1000 µg/l), varianta s PEGem.....	55
4.2.2.7 Porovnání účinku BUT 121 (10 µg/l) ve variantách s PEGem a bez PEGu	57
4.2.2.8 Porovnání účinku BUT 121 (1000 µg/l) ve variantách s PEGem a bez PEGu	58
4.2.2.9 Porovnání koncentrací BUT 108 (10 µg/l a 1000 µg/l), varianta bez PEGu.....	59
4.2.2.10 Porovnání koncentrací BUT 108 (10 µg/l a 1000 µg/l), varianta s PEGem.....	60
4.2.2.11 Porovnání účinku BUT 108 (10 µg/l) ve variantách s PEGem a bez PEGu	61
4.2.2.12 Porovnání účinku BUT 108 (1000 µg/l) ve variantách s PEGem a bez PEGu	62
4.2.3 Analýza cytokininů	63
4.2.4 Analýza karrikinů	64
5 ZÁVĚR.....	65
6 ZDROJE	67
7 PŘÍLOHY.....	71

Seznam zkratek

ABA	kyseliny abscisová
BUT	butenolid
BAP	6–benzylaminopurin
CK	cytokinin
FW	fresh weight
GA	kyselina giberelová
HTZ	hmotnost tisíce zrn v gramech
iP	N6–(Δ^2 –izopentenyl)–adenin
KAR	karrikin
LOD	mez detekce
PEG	polyethylenglykol
tZ	trans–zeatin

1 Úvod a cíle práce

Karrikiny jsou malou skupinou růstových regulátorů, které přirozeně vznikají při spalování rostlinného materiálu. Jsou schopny stimulovat klíčení semen a vývoj u mnoha druhů rostlin již při velmi nízkých koncentracích. Chemicky se jedná o butenolidy, které se od sebe liší postranními řetězci navázanými v polohách na C-3,4,5 a 7.

Cíli bakalářské práce jsou vypracování literární rešerše na téma karrikiny a jejich účinky na polní plodiny (se zaměřením na obilniny). Dalším cílem je vyhodnocení biologické aktivity vybraných karrikinů v podmínkách maloparcelních polních pokusů. Dále vyhodnocení účinku vybraných karrikinů na klíčení/vzcházení a na rychlost klíčení/vzcházení v řízených podmínkách při nádobových pokusech. Poté vyhodnocení poměru nadzemní a podzemní biomasy po moření vybranými karrikiny. Posledním cílem bylo vyhodnocení analýzy na obsah cytokininů v rostlinách mořených vybranými karrikiny. Pokusy probíhaly na ječmeni jarním (*Hordeum vulgare L.*) a pšenici ozimé (*Triticum aestivum L.*).

2 Teoretická část

2.1 Karrikiny jako růstové regulátory

Růstové regulátory jsou látky, které regulují růstové a vývojové procesy v rostlinách (Procházka a kol., 1998). Pod růstové regulátory spadají jak látky přirozeně se vyskytující, tak látky synteticky připravené. Přirozené regulátory lze dále dělit na rostlinné hormony (tzv. fytohormony), které si je rostlina schopna sama syntetizovat a další látky s regulační aktivitou. Tyto látky jsou účinné již při velmi nízkých koncentracích a mohou mít stimulační i inhibiční vlastnosti. Mezi látky s regulační aktivitou se řadí také karrikiny. Jedná se o poměrně novou skupinu regulátorů růstu rostlin, která ovlivňuje fyziologické procesy klíčení u široké škály rostlin.

V roce 2003 byla ze spálené celulózy a z kouře rostlinného původu izolována biologicky aktivní butenolidová sloučenina, která je silným induktorem klíčení (Flematti a kol., 2004; van Staden a kol., 2004). Tato sloučenina dostala název karrikinolid, který vznikl z australského domorodého slova „karrik“ znamenající kouř, přípona „olid“ naznačuje, že se jedná o lakton (Flematti a kol., 2015). Po prvotní izolaci této sloučeniny byla v kouři identifikována celá nová rodina růstových regulátorů nazvaných karrikiny (Kulkarni a kol., 2011).

Na kouř reaguje více než 1200 druhů rostlin z 80 různých rodů. Mezi tyto rostliny patří fylogeneticky různorodé skupiny, včetně gymnospermů, což poukazuje na to, že reakce na kouř může být starodávnou vlastností. Zdá se, že působení kouře je nezávislé na fylogenezi rostlin, jejich životním cyklu, struktuře semen, ekosystému a geografii. Na karrikiny reaguje i mnoho druhů rostlin, které nejsou citlivé na oheň, jako například huseníček rolní (*Arabidopsis thaliana*) nebo některé druhy plodin jako je rajče, kukuřice, rýže a salát. Stále není jasné, proč karrikiny ovlivňují takové množství druhů rostlin. Jednou z teorií je, že karrikiny, nebo sloučeniny jim podobné nemusí být specifické pouze pro oheň a kouř, ale mohou se vyskytovat i při rozkladu biomasy nebo při metabolismu rostlin (Nelson a kol., 2012).

2.1.1 Účinky karrikinů

Tyto sloučeniny rostlinného původu vyvolávají v semenech mnoho změn. Mění citlivost semen na fytohormony, snižují požadavky semen na světlo, vyvolávají změny v morfologii a mění propustnost semenného obalu. Předpokládá se, že mohou ovlivňovat produkci nebo metabolismus fytohormonů (Chiwocha a kol., 2009).

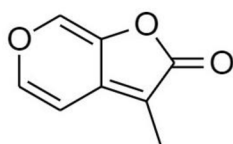
Karrikiny byly testovány na modelové rostlině *Arabidopsis thaliana*, což je druh rostliny, který není citlivý na oheň (Antala a kol., 2020). Nejaktivnějším karrikinem byl KAR 2. Na ošetření karrikinem KAR 4 *Arabidopsis* téměř nereagovala. Karrikiny pozitivně ovlivnily morfogenezi u semenáčků. Při ošetření semen došlo k inhibici prodlužování hypokotylu a k expanzi kotyledonu. Bylo pozorováno viditelné zezelenání v apikální části hypokotylu. U semen ošetřených KAR 1 bylo změřeno zvýšené množství chlorofylu A a chlorofylu B o 15–20 %. Dále došlo k expanzi povrchové plochy dělohy o 20–30 % (Nelson a kol., 2010). Jak již bylo zmíněno, karrikiny podporují klíčení, nejsou však schopny narušit fyziologickou dormanci semen. U *Arabidopsis* nejsou karrikiny schopny překonat požadavky na světlo a požadavek na syntézu nebo vnímání fytohormonů. V reakci na karrikiny nedochází ke změně množství GA a ABA v semenech, což jsou fytohormony účastníci se klíčení (Waters a kol., 2014).

2.2 Chemická struktura

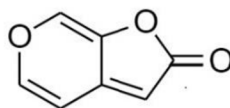
Karrikiny jsou po chemické stránce malé polární heterocyklické sloučeniny obsahující pouze sedm až devět atomů uhlíku a dále atomy vodíku a kyslíku. Jsou tvořeny dvěma kruhovými strukturami, z nichž jedna je šestičlenný pyran a druhá lakton obsahující pětičlenný kruh známý jako butenolid (Flematti a kol., 2015). Karrikiny nemají chirální centrum a jsou stabilní při pokojové teplotě i ve vodním prostředí. Ztráta aktivity nebyla pozorována ani po několika letech skladování při teplotě 4 °C bez přístupu světla (Nelson a kol., 2012). Čistá sloučenina je krystalická látka s bodem tání 118–119 °C, která se snadno rozpouští v organických rozpouštědlech a mírně ve vodě (Flematti a kol., 2015).

Prvním objeveným karrikinem byl KAR 1, karrikinolid, což je 3–methyl–2H–furo[2,3–c]pyran–2–on (viz obr. 1). Později bylo objeveno

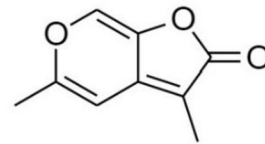
dalších pět analogů přirozeně se vyskytujících v kouři, popsaných jako KAR 2– KAR 6 (Nelson a kol., 2012). Rozdíly ve struktuře mezi těmito karrikiny jsou založeny na methylových substitucích (Flematti a kol., 2007).



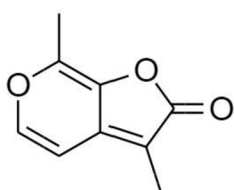
KAR 1



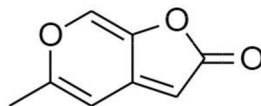
KAR 2



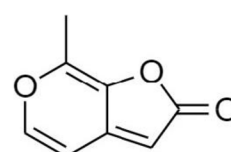
KAR 3



KAR 4



KAR 5



KAR 6

Obr. 1: Chemická struktura přirozeně vyskytujících se karrikinů (KAR 1 - KAR 6). KAR 1 (3- methyl- 2H- furo(2,3- c)pyran-2-on), KAR 2 (2H-furo(2,3-c)pyran-2-on), KAR 3 (3, 5- dimethyl- 2H- furo(2,3-c)pyran-2-on), KAR 4 (3, 7-dimethyl-2H-furo(2,3-c)pyran-2-on), KAR 5 (5- methyl-2H-furo(2,3-c)pyran-2-on) a KAR 6 (7-methyl-2H-furo(2,3-c)pyran-2-on)

Doposud bylo syntetizováno dalších téměř 50 analogů KAR 1 s různými substitucemi na třetím, čtvrtém, pátém a sedmém uhlíku. Biologická aktivita analogů byla testována na třech rostlinných druzích, které jsou vysoce citlivé na kouř (*Locika setá* (*Lactuca sativa* L.), *Emmenanthe penduliflora*, lilek (*Solanum orbiculatum*)) (Flematti a kol., 2007 a Nelson a kol., 2012).

Znalost vztahů mezi strukturou a aktivitou karrikinů je důležitá pro návrh molekulárních sond na bázi karrikinů pro studium jejich způsobu účinku. Za tímto účelem poskytuje struktura karrikinolidu pouze čtyři uhlíky, které lze modifikovat. Níže prezentované výsledky ukazují, že karrikiny modifikované v poloze na třetím uhlíku mají sníženou aktivitu ve srovnání s karrikinolidem nesoucím methyl, což naznačuje, že methylový substituent na třetím uhlíku je důležitý pro biologickou aktivitu. Sloučeniny substituované v poloze na čtvrtém uhlíku vykazovaly výrazně zhoršenou biologickou aktivitu. Modifikace na pátém a sedmém uhlíku byly lépe tolerovány, přičemž bylo zjištěno,

že sloučeniny modifikované na C5 si zachovávají nejvyšší biologickou aktivitu (Flematti a kol., 2010).

2.2.1 Analogy substituované na třetím uhlíku

Poloha na třetím uhlíku je aktivována elektrofilní substitucí, což dává možnosti k syntéze 3–substituovaných analogů. Tyto analogy lze dále modifikovat a získat tak skupinu sloučenin s různými sterickými účinky. Odstraněním methylové skupiny na třetím uhlíku dochází ke snížení klíčivosti rostlin přibližně o dva řády. Nahrazení methylové skupiny většími alkylovými substituenty také snižuje účinnost karrikinů. Ethylový analog je řádově aktivnější než větší propylový analog, stále je však stokrát méně účinný než methyl–nosný karrikinolid. Analogy, které jsou na třetím uhlíku oksyložené, například obsahují hydroxymethyl nebo methoxymethyl, mají v porovnání s KAR 1 sníženou aktivitu. Sloučeniny s elektron odtahujícími skupinami na třetím uhlíku mají značně sníženou klíčivost. Analogy obsahující na třetím uhlíku aldehyd, methylketon, oxim nebo difluormethyl jsou mnohem méně aktivní než KAR 1 a klíčení podporují pouze při nejvyšší testované koncentraci. Analogy, které mají na třetím uhlíku *fenyl*, *kyano* nebo *nitro* skupinu jsou v testovaných koncentracích neúčinné. Chlorid substituovaný na třetím uhlíku má znatelnou aktivitu podporující klíčení, stále však aktivita není vyšší než aktivita původního KAR 1. Biologická aktivita klesá s periodickým pořadím atomů halogenů. Z těchto pokusů lze vyvodit, že methylová skupina je na třetím uhlíku nejvhodnější pro biologickou aktivitu podporující klíčení (Flematti a kol., 2010).

2.2.2 Analogy substituované na čtvrtém uhlíku

Analogy substituované přes čtvrtý uhlík nejsou vhodné a dochází u nich ke ztrátě aktivity (Flematti a kol., 2010).

2.2.3 Analogy substituované na pátém uhlíku

Nalezením účinné syntetické cesty k 5–methoxykarbonyl analogu, který má nízkou biologickou aktivitu, protože na třetím uhlíku není methylová skupina, se otevírají možnosti pro přípravu analogů substituovaných na pátém uhlíku. Substituované sloučeniny 3,5–dimethyl a 5–methoxymethyl–3–methyl analogy mají dobrou biologickou aktivitu podporující klíčení. Analog 5–hydroxymethyl–3–methyl obsahující alkohol, připravený

z 5–methoxykarbonyl analogu vykazuje omezenou aktivitu podporující klíčení. Vzhledem k tomu, že dříve testovaný methoxymethylový analog vykazoval vysokou klíčivost, byly připraveny další analogy převedením hydroxymethylmethylového analogu na řadu jednoduchých etherových derivátů. N–butoxymethyl analog byl shledán vysoce účinným a jeho aktivita je srovnatelná s karrikinolidem. Rozšíření alkylového řetězce výrazně snížilo aktivitu, což bylo pozorováno u n–heptoxymethyl a n–dodekoxymethyl analogů. Nízká aktivita hydroxymethyl derivátu, v porovnání s methylovým derivátem naznačuje, že klíčivost je snížena, pokud je v derivátu obsažen hydrofilní substituent v poloze na pátém uhlíku. Pozoruhodnou skutečností je, že n–butoxymethyl derivát je podstatně aktivnější než dříve připravený 5–methoxymethylový derivát, což naznačuje, že lipofilní substituenty jsou v této poloze dobře snášeny. Navzdory skutečnosti, že je pozorováno snížení klíčivosti v přítomnosti velkých alkylových skupin na pátém uhlíku, je zřejmé, že tato poloha snáší modifikace mnohem lépe než v poloze na třetím a čtvrtém uhlíku (Flematti a kol., 2010).

2.2.4 Analogy substituované na sedmém uhlíku

Analogy substituované methylovou skupinou na sedmém uhlíku mají výrazně sníženou klíčivost ve srovnání s KAR 1. Dobrou aktivitu vykazoval 7–methylester analog, zatímco 7–hydroxymethyl analog vykazoval aktivitu pouze při nejvyšší testované koncentraci. Tento výsledek je analogický substitucím na pátém uhlíku, kde byla hydroxymethylová skupina rovněž špatně tolerována. Z alkoholu na 7–hydroxymethyl analogu bylo připraveno několik etherů s očekáváním, že by mohlo dojít k opětovnému získání určité aktivity, jako tomu bylo v případě sloučenin substituovaných na pátém uhlíku. Ukázalo se, že n–butoxymethyl a benzyloxymethyl deriváty jsou řádově méně účinné než odpovídající analogy substituované na pátém uhlíku. Překvapivě 7–trimethylsilyl derivát vykazoval vysokou aktivitu podporující klíčení, která byla srovnatelná s aktivitou karrikinolidu. Pravděpodobným odůvodněním je, že 7–trimethylsilyl derivát může podléhat spontánní hydrolyze za uvolnění karrikinolidu, což by vysvětlovalo jeho silnou klíčivost (Flematti a kol., 2010).

2.2.5 Syntetické cesty při tvorbě KAR 1

Dosud bylo vyvinuto pět různých syntetických cest k přípravě KAR 1, některými z nich je například tříkroková syntéza z kyseliny pyromekonové (Flematti a kol., 2005), nebo syntéza v devíti krocích z komerčně dostupné 1,2-O-isopropyliden-D-xylofuranózy (Goddard-Borger a kol., 2007).

2.3 Potenciální využití KAR v zemědělství

Objev karrikinů otevírá cesty k jejich potencionálnímu využití v zemědělství pro zvýšení vitality rostlin v nepříznivých podmínkách a pro podporu kořenového systému. Pro hodnocení biologické dostupnosti chemických látek jsou klíčovými parametry mobilita a stálost v půdě. Poločas rozpadu ukazuje, jako dlouho sloučenina přetrvává v půdě. Časový interval poločasu rozpadu musí být dostatečně dlouhý, aby sloučenina poskytla požadovaný biologický účinek. V laboratorních podmínkách byl poločas rozpadu KAR 1 při 25 °C 37 dní, což lze považovat za dostatečně dlouhý časový interval. Kombinace perzistence a vysoké mobility v půdě naznačuje, že KAR 1 může být dostatečně biologicky aktivní, jakmile je aplikován do půdy přímo nebo prostřednictvím ošetření osiva (Lachia a kol., 2018).

Pro využití v zemědělství byla kouřová voda, aerosolový kouř a KAR 1 testovány na různých zemědělských plodinách, jako jsou kukuřice (*Zea mays*), tet (Eragostis tet Zucc.), rýže (*Oryza sativa L.*) a pšenice (*Triticum aestivum L.*).

2.3.1 Kukuřice setá (*Zea mays*)

Semena kukuřice byla namočena v kouřové vodě při ředění 1:500 nebo v roztoku KAR 1 o koncentraci 10^{-7} M po dobu jedné hodiny. U ošetřených semen došlo k výraznému zvýšení procenta klíčivosti na 90 %, kontrola měla procento klíčivosti 78 %, došlo tedy ke zvýšení procenta klíčivosti o 12 %. Dále bylo zaznamenáno zvýšení hmotnosti rostliny. U ošetřených rostlin byl pozorován zvýšený růst kořenů a nadzemní biomasy. Poté byl hodnocen index vitality, který je roven součtu délky nadzemní a podzemní biomasy vynásobený procentem klíčivosti. Nejvyšší index vitality (6152) měla semena ošetřená KAR 1, poté semena ošetřená kouřovou vodou (5448) a nejnižší index vitality (3520) měla kontrolní semena (van Staden a kol., 2006).

2.3.2 Rýže setá (*Oryza sativa* L.)

Semena rýže byla ošetřena kouřovou vodou (ředění v poměru 1:500, 1:1000 a 1:2000 obj./obj.) nebo roztoky KAR 1 (koncentrace 10^{-8} M, 10^{-9} M a 10^{-10} M). Semena ošetřena kouřovou vodou (1:500) vykazovala největší prodloužení nadzemní biomasy a kořene. S klesající koncentrací kouřové vody se snižovala délka nadzemní biomasy. Kouřová voda (1:1000) neměla významný vliv na délku kořene. Při ošetření semen různými koncentracemi KAR 1 došlo k největšímu růstu nadzemní biomasy s KAR 1 (10^{-8} M) a největšímu růstu kořene s KAR 1 (10^{-10} M). Nízké koncentrace KAR 1 tedy podporují prodlužování kořene. Rozdíly v růstu nadzemní biomasy a kořene mezi jednotlivými koncentracemi KAR 1 byly malé. Všechny koncentrace kouřové vody a KAR 1 podporovali tvorbu postranních kořenů a došlo ke zvýšení hmotnosti rostliny. Nejvyšší hmotnosti dosáhly semenáčky ošetřené kouřovou vodou (1:1000) a KAR 1 (10^{-10} M), největšího počtu laterálních kořenů dosáhly sazenice ošetřené kouřovou vodou (1:2000) a KAR 1 (10^{-8} M). Docházelo tedy nejen k prodloužení délky kořenů, ale také ke zvýšenému počtu postranních kořenů. Nejvyšší index vitality (13 409) měla semena ošetřená kouřovou vodou (1:500), poté semena ošetřená KAR 1 (10^{-8} M), kde byl index vitality 13 343, index vitality 10550 pak měla kontrolní semena (Kulkarni a kol., 2006).

2.3.3 Milička habešská (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter)

Semena miličky habešské byla ošetřena kouřovou vodou (1:500) nebo KAR 1 (10^{-8} M). U semen ošetřených KAR 1 došlo k prodloužení výšky rostliny, u semen ošetřených kouřovou vodou došlo k méně výraznému nárůstu. U rostlin ošetřených kouřovou vodou i KAR 1 se zvětšila tloušťka stonku. Při ošetření semen kouřovou vodou došlo k mírnému nárůstu výnosu zrna, zatímco při aplikaci KAR 1 zůstal výnos semen stejný (Ghebrehiwot a kol., 2013).

2.3.4 Pšenice ozimá (*Triticum aestivum* L.)

Zrna pšenice byla ponořena do destilované vody po dobu 6 hodin, aby došlo k jejich nasáknutí. Ostatní zrna se použila nenasátá. Zrna byla ošetřena aerosolovým kouřem pocházejícím z rostlin po dobu jedné hodiny. Aplikací kouře na zrna pšenice došlo k vyšší klíčivosti, vyšší vitalitě vzcházejících

rostlin a také bylo zaznamenáno zvýšení růstu kořenů. U zrn pšenice předem nasáklých vodou došlo k utlumení účinku kouře (Iqbal a kol., 2016).

2.3.5 Genotoxicita a mutagenita

KAR 1 byl testován na genotoxicitu pomocí Amesova testu. Dalším testem na mutagenní a genotoxické účinky byl VITOTOX®, který testoval KAR 1 v koncentracích 1×10^{-4} až 3×10^{-10} M, což jsou koncentrace, při kterých jsou mnohá semena stimulována (Kulkarni a kol., 2011). Výsledky testů neprokázaly žádné toxické účinky, KAR 1 lze tedy považovat za relativně bezpečný pro použití v zemědělství (Kulkarni a kol., 2011; Antala a kol., 2020).

2.3.6 Aplikace kouře

Potenciálních výhod kouře v zemědělství a zahradnictví lze dosáhnout různými metodami, například aplikací „surového“ kouře ve formě aerosolového kouře nebo aplikací kouřových extraktů. Aerosolový kouř a kouřovou vodu lze také aplikovat na půdu nebo na substrát v květináčích, což může poskytnout vhodný způsob pro prvotní ošetření média před zasetím semen (Kulkarni a kol., 2011).

2.3.6.1 Aerosolový kouř

Nejjednodušší metodou použití aerosolového kouře je jeho přímá aplikace. Při této metodě jsou semena přímo vystavena kouři vznikajícímu při spalování rostlinného materiálu. Semena je třeba umístit v dostatečné vzdálenosti od spalovaného rostlinného materiálu, aby nedošlo k vystavení semen vysokým teplotám. Také je vhodné semena po ošetření opláchnout vodou, protože kouř obsahuje také inhibiční sloučeniny, které by mohly negativně ovlivnit rychlost klíčení a vzházení sazenic (Kulkarni a kol., 2011).

2.3.6.2 Kouřová voda

Kouřová voda je levná a snadno použitelná metoda, kdy po jejím vyrobění může být používána po mnoho let. Principem je rozpuštění biologicky aktivních látek přítomných v kouři ve vodě. Jako první o této metodě informovali De Lange a Boucher v roce 1990. Ti vytvořili kouř ze spáleného rostlinného materiálu v bubnu, který byl pomocí stlačeného vzduchu probubláván destilovanou vodou (De Lange a kol., 1990). Při zahřívání suchých listů *Themeda trindra* bylo zjištěno, že aktivní složky nejvíce vznikají při

160– 200 °C. Při vyšších teplotách dochází ke ztrátě aktivity, pravděpodobně v důsledku nestálosti stimulačních sloučenin. Obecně jsou všechny rostlinné materiály vhodné pro přípravu kouřových extraktů, záleží spíše na rychlosti a rozsahu spalování (Brown a kol., 1997). Koncentrovaná kouřová voda inhibuje klíčení semen, není však pro semena toxická. Kouřový extrakt bývá nejčastěji ředěn v poměru 1:250; 1:500; 1:1000; 1:1500 a 1:2000 (obj./obj.). Ředění v těchto poměrech jsou obvykle značně účinná při podpoře klíčení (Kulkarni a kol., 2011). Odlišná účinnost různých koncentrací kouřových extraktů může souviset s rozdílnou citlivostí rostlin na účinné látky.

Kouřová voda indukuje zakořeňování, somatickou embryogenezi a vykazuje antimikrobiální a herbicidní vlastnosti, čímž by mohla překonat negativní dopady chemických hnojiv, pesticidů, fungicidů a herbicidů na půdu a životní prostředí, tím, že by se snížila jejich aplikace (Gupta a kol., 2020).

2.4 Ječmen obecný

Ječmen je jednoděložná krytosemenná rostlina, která se řadí do čeledi lipnicovitých (*Poaceae*). Jedná se o jednoletou mělce kořenící rostlinu, podle doby setí ji rozlišujeme na ječmen jarní a ozimý. Duté stéblo ječmene dorůstá 50–100 cm a skládá se z pěti až osmi hladkých článků. Listy jsou střídavé, květenství je klas (Šašková a kol., 1993). Jsou známé jarní i ozimá forma, na většině ploch se pěstuje jarní forma.

Původem je z Přední a východní Asie, kde byl zkulturněn před více než 8 tisíci lety. Na území České republiky byl dovezen Kelty (Černý, 2007). Jedná se o jednu z nejpěstovanějších plodin v České republice, která je vyseta na výměře kolem 400 tisíc ha. Tato velice ekonomicky významná plodina se využívá ke krmení (přibližně 70% produkce), k výrobě sladu (kolem 30 % produkce) a v potravinářství (agromanual.cz). Data z roku 2007 ukazují, že se ročně celosvětově vyprodukuje 139 miliónů tun ječmene celkem na výměře 57,3 milióny ha s průměrným výnosem $2,4 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$ zrna (Černý, 2007). Výnos zrna ječmene je v České republice mnohem vyšší, v závislosti na ročníku mezi $5\text{--}7 \text{ t} \times \text{ha}^{-1}$.

V České republice byly nejvhodnější oblasti pro pěstování ječmene jarního nížiny např. Polabská nížina, střední Morava a především Haná. V posledních letech, kdy dochází k oteplování a ke snižování srážek se

provádí výsev i v chladnějších oblastech kolem 500 m.n.m, kde období sucha nezanechávají takové následky na produkci jako v teplejších oblastech (Černý, 2007). Nároky ječmene na teplotu a vláhu nejsou veliké, při podeschnutí před sklizní však může dojít k vysokému obsahu dusíkatých látek v zrně (Černý, 2007, agromanual.cz). Pro pěstování je důležitý typ půdy, protože 90 % kořenů se nachází v hloubce do 30 cm (agromanual.cz). Nejvhodnějšími půdami jsou černozemě nebo hnědozemě s dostatkem jílu, který napomáhá k udržení vody a podporuje vzlínání za sucha. Nejvhodnějšími předplodinami jsou okopaniny jako např. brambory, řepa cukrovka, které zvyšují obsah humusu v půdě. Méně vhodnými předplodinami jsou olejnin a luskoviny, které přináší větší riziko poléhání ječmene. Nevhodnými předplodinami jsou jeteloviny. Ječmen vytváří za krátkou vegetační dobu značné množství organické hmoty (agromanual.cz).

2.5 Pšenice ozimá

Pšenice je jednoděložná krytosemenná rostlina, která se řadí do čeledi lipnicovitých (Poaceae). Jedná se o jednoletou mělce kořenicí rostlinu, jejíž kořeny pronikají do hloubky 25–50 cm. Pšenice má duté stéblo, které dorůstá délky 40–160 cm. Listy jsou střídavé. Květenství pšenice je lichoklas, který je složený z 8–20 klásků. Podle doby setí se pšenice rozlišuje na pšenici ozimou, jarní a přesívku (Šašková a kol., 1993). Na většině ploch se pěstuje ozimá forma pšenice

Nejstarší nálezy o pěstování pšenice (6 500 let př.n.l.) pochází z Íránu, odkud se tato obilnina rozšířila do celého světa (Šašková a kol., 1993). Pšenice je nejpěstovanější polní plodinou v České republice, kde zaujímá rozlohu o cca 830 tisíc ha (agromanual.cz). Využívá se v pekárenském průmyslu jako krmivo a k výrobě lihu. Mimo zrna se využívají i vedlejší produkty jako jsou otruby, plevy nebo sláma, která je obvyklým stelivem pro hospodářská zvířata (Šašková a kol., 1993). Důležitým požadavkem je obsah škrobu v zrně, který by měl dosahovat alespoň 65 %.

Pšenice je náročná obilnina na pěstování. Nejvyšší kvalita pšenice bývá pěstována v oblastech, kde se pěstuje kukuřice, naopak nejméně kvalitní v bramborářských oblastech (Šašková a kol., 1993). Má vysoké nároky na vláhu i na půdu. Nejvhodnějšími půdami jsou černozemě, degradované

hnědozemě a hnědozemě hlinité a jílovitohlinité povahy (agromanual.cz). Nejvhodnějšími předplodinami pro pěstování jsou jeteloviny, luskoviny a vojtěška, protože poskytují dostatek organické hmoty s vhodným poměrem uhlíku a dusíku a dalšími mikroprvky (selgen.cz) Nevhodnými předplodinami jsou obiloviny, které způsobují zhoršení půdních vlastností nebo zvyšují riziko zaplevelení pleveli obilnin (Zimolka a kol., 2005). Opakované pěstování pšenice v osevním postupu po mnoho let vede k devastaci půdy (Šašková a kol., 1993).

2.6 Fenologické fáze obilnin

Fenologická fáze (fenofáze) je konkrétní okamžik ve vývoji rostliny, který jednou nastane a poté pomine (Reitschlägera kol., 2014). Vývoj a růst zahrnuje změny probíhající během životního cyklu rostliny. V rostlině probíhají změny kvantitativní, kdy dochází ke změnám v prostorovém uspořádání a k nárůstu hmoty a změny kvalitativní, kdy dochází ke změnám v diferenciaci rostliny, které vedou k přechodu z vegetativního stádia do stádia generativního (Zimolka a kol., 2006).

Zkratka BBCH značí metodiku pro určování fenofází. Jedná se o metodiku vypracovanou na Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie (Reitschlägera kol., 2014). V tab. 1 se nachází růstové fáze s odpovídajícím BBCH označením.

Tab. 1: Růstové fáze obilnin

Růstová fáze	Mezinárodní značení (BBCH)
Klíčení	00–07
Vzcházení	10
První listy	11–19
Odnožování	20–29
Sloupkování	30–39
Zduřování listové plochy	43–49
Metání	51–59
Kvetení	61–69
Zrání	71–92
Plná zralost	91–99

- **Klíčení (BBCH 00–07)**

Klíčení je první fází růstu rostlin. Nastává při vhodných podmínkách, jako jsou například teplota a vlhkost, čímž se aktivují hormony iniciující prodlužování buněk radikuly a hypokotylu embrya.

- **Vzcházení (BBCH 10)**

Fáze vzcházení je stav, kdy nad povrch půdy pronikly první nadzemní orgány. V případě obilovin se jedná o první list, který vyrůstá z koleoptile (Reitschläger a kol., 2014).

- **Odnožování (BBCH 20–29)**

Ve fázi odnožování dochází k tvorbě dalších listů, čímž dochází k zahušťování povrchu. Jako základ odnože je považován úžlabní pupen, který se nachází v úžlabí každého listu. Tato schopnost tvořit odnože neboli vedlejší stébla zcela nekončí ve fázi odnožování, ale trvá po celou dobu růstu (Zimolka a kol., 2006).

- **Sloupkování (BBCH 30–39)**

Jako počátek fáze sloupkování se považuje vytvoření prvního kolénka nad povrchem půdy. Při této fázi dochází k intenzivnímu růstu, kdy se kolénka od sebe oddalují za vzniku článků (internodií). Nejkratší články se nacházejí na spodu stébla, protože ze začátku je růst pomalejší. Jako první se zastavuje růst spodního článku, poté se zastavují postupně směrem k vrcholu stébla. Dále také dochází k přechodu rostliny do generativního stádia (Zimolka a kol., 2006).

- **Naduřování listové pochvy (BBCH 43–49)**

Naduřování listové pochvy je stav, při kterém je pochva praporcového listu (poslední list, který je svinutý) plně nadmutá, není však nikde rozevřená a nevyčnívají z ní osiny. K tomuto dochází v důsledku růstu květenství (Reitschlägera kol., 2014).

- **Metání (BBCH 51–59)**

Metání je stav, při kterém dochází k prasknutí a uvolnění klasu u posledního praporcového listu. V této fázi jsou již plně vyvinuty generativní orgány rostliny (Zimolka a kol., 2006).

- **Kvetení (BBCH 61–69)**

Ve fázi kvetení dochází k rozevírání květů. K tomuto dochází po dozrání pohlavních orgánů květu. Jako první začínají kvést kvítky ve střední části klasu, následuje spodní část klasu a jako poslední kvetou kvítky na vrchní části klasu (Zimolka a kol., 2006).

- **Zrání (BBCH 71–92)**

Zrání se dělí na zralost mléčnou, voskovou, žlutou a plnou. Po opylení dochází k uzavírání kvítku a k zasychání blizen. Endosperm postupně vyplňuje celý střed semeníku, čímž přitiskne tvořící se zárodek k boční stěně bazální částí tvořící se obilky. Diferenciace zrna do konečného tvaru trvá přibližně 12–15 dní od oplodnění (Zimolka a kol., 2006).

V mléčné zralosti jsou obilky zelené, u vyvinutějších obilek dochází po zmáčknutí k uvolnění mléčně zbarvené šťávy. V plné zralosti již dosáhly plody i se semeny svého konečného stavu. Semena jsou tvrdá a dají se snadno uvolnit z klasu (Reitschlägera kol., 2014).

2.6.1 Klíčení (BBCH 00–07)

U krytosemenných rostlin se vývin embrya skládá ze tří fází. První fází je embryogeneze, následuje zrání, kdy si rostlina hromadí zásoby a dochází k vysychání a finální fází je klíčení samotné (Procházka a kol., 1998). Klíčení je počátkem aktivního života nového jedince, kdy dochází k aktivaci metabolické dráhy semen, které vedou k prodlužování buněk radikuly a hypokotylu embrya (Lhotská a kol., 1985; Procházka a kol., 1998). U většiny rostlinných druhů před klíčením probíhá klíčící odpočinek neboli dormance semen, kdy je aktivita životních procesů nepatrná. Tento jev napomáhá rostlinám přizpůsobit se k podmínkám vnějšího prostředí, jedná se tedy o vlastnost přispívající k zachování druhu. Dormance například zabraňuje diasporám vyklíčit na mateřské rostlině nebo aby období sucha či zimy přečkaly ve formě semen (Lhotská a kol., 1985). Příjmem vody dochází k bobtnání semene, čímž je narušena dormance a dochází ke zvýšení intenzity dýchání. V prvních 24–36 hodinách převažuje u semen anaerobní dýchání. Následuje dýchání aerobní. (Procházka a kol., 1998).

Morfologicky klíčení započíná růstem kořínku, který nejprve brzdí růst plumuly, jenž je základem pro nadzemní části rostliny. U lipnicovitých je pozorován tzv. ovesný typ klíčení, kdy dochází k zakrnění dělohy v tzv. epiblast a funkci dělohy přejímá štítek obilky. Ten se účastní čerpání látek z endospermu a metabolismu fytohormonů. Plumula je kryta kápovitým primárním listem, který se nazývá koleoptile. Štítek obilky čerpá z endospermu auxin, který převádí do neaktivní formy. V neaktivní formě je transportován do koleoptile, kde dochází k jeho aktivaci a pomalému proudění dolů. Tím vyvolává růst prodlužovací zóny pod vrcholkem (Procházka a kol., 1998).

2.6.1.1 Vnější podmínky klíčení

Nejdůležitějšími vnějšími podmínkami jsou voda, kyslík, teplota a světlo. Zbobtnání je děj, při kterém dochází k absorpci vody semeny. Tento děj předchází samotnému klíčení. Například kilogram obilky pšenice spotřebuje 550 ml. První fáze bobtnání jsou nezávislé na životních pochodech semen. Největší úroveň dehydratace se nachází v embryu. Při zvýšení obsahu vody nad 60 % v embryu dochází k aktivaci metabolických drah v semeni, čímž dochází k přípravě na objemový růst embryonálních buněk. Rychlost

příjmu vody se zvýší proražením kořínku embrya do osemení. Voda plní procesy jak fyzikální, tak biochemicky–fyziologické. Jejich hranice však nejsou jednoznačně dány (Procházka a kol., 1998). Například v embryích pšenice začíná syntéza RNA již za 30 minut od začátku bobtnání (Hess, 1983).

Dalším důležitým faktorem je kyslík, který je potřeba pro získání energie, která vzniká při oxidační fosforylaci. Každý druh rostliny vyžaduje jinou míru přísunu kyslíku. Tyto požadavky musí být zohledňovány při hloubce setby a při výběru půdy (Procházka a kol., 1998).

Kardinální teplotní body pro klíčení semen ječmene jsou následující: minimum 3–4 °C, optimum 20 °C a maximum 28–30 °C. Pro semena pšenice je minimum 3–4 °C, optimum 25 °C a maximum 30–32 °C. Kardinální teplotní body pro růst jsou obvykle o trochu více než kardinální teplotní body pro klíčení (Procházka a kol., 1998).

Světlo u většiny rostlinných druhů není podmínkou klíčení jako takovou, některá semena však klíčí na světle rychleji než ve tmě. Taková semena se nazývají kladně fotoblastická. Tato semena často nemívají dostatek zásobních látek a rostliny proto musí rychle dosáhnout podmínek, které jsou vhodné pro jejich autotrofní existenci. Semena, jejichž klíčení je světlem inhibováno se nazývají záporně fotoblastická. Takto negativní reakce na světlo se může uplatňovat při nevhodných podmínkách pro klíčení (Procházka a kol., 1998).

2.6.1.2 Vnitřní podmínky klíčení

Mezi nejzásadnější vnitřní podmínky klíčení patří nevyvinutost embrya, nepropustnost povrchových vrstev pro vodu a plyny, mechanická pevnost osemení, vysoký obsah inhibičních látek v semenech, vliv mateřské rostliny a samozřejmě hormonální regulace klíčení (Procházka a kol., 1998).

2.7 Cytokininy

Cytokininy jsou fytohormony, jejichž účinky mají vliv na růst a vývoj rostlin. Podílejí se například na iniciaci buněčného dělení, na kontrole diferenciaci a na determinaci kvetení a tvorby plodů. Jejich regulace je úzce spojena s auxiny, kdy vyšší hladiny auxinu potlačují hromadění cytokininů. Jejich hlavním místem biosyntézy jsou kořeny, odkud jsou transportovány do nadzemních částí rostlin. Nejvyšší koncentrace cytokininů se nacházejí v intenzivně se dělících a rostoucích pletivech (Procházka a kol., 1998).

Po chemické stránce se cytokininy řadí mezi deriváty N6– substituovaného adeninu. Dělí se podle povahy postranního řetězce. Izoprenoidní cytokininy mají v poloze N–6 navázaný izoprenoidní řetězec, cytokininy s izoprenoidním řetězcem s dvojnou vazbou mají vysokou biologickou aktivitu. Řadí se mezi ně například iP nebo tZ. Druhou skupinou jsou aromatické cytokininy, které vznikají navázáním aromatického jádra v poloze N–6, příkladem jsou BAP, či topolin (Procházka a kol., 1998).

Cytokininy se v přírodě nacházejí buď ve formě volné, při které mají vyšší biologickou aktivitu než cytokininy konjugované. Konjugací se sacharidy vznikají ribozidy a ribotidy, N–glokosidy a O–glykosidy. Jedná se o reverzibilní vazbu, při které dochází k inaktivaci cytokininů. Ribozidy vznikají navázáním ribózy v pozici N9, u ribotidů je na ribóze navázaný fosfát. N–glukosidy vznikají konjugací glukózy v pozici N3, N7 nebo N9. U O–glukosidů je glukóza navázána na hydroxylovou skupinu postranního řetězce (Pavlová a kol., 2011).

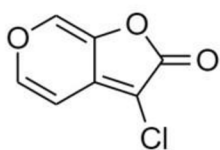
Vliv a korelace cytokininů, ve vztahu k účinku a obsahu karrikinů v klíčících rostlinách zatím nebyl nikým zkoumán, ani publikován.

3. Materiál a metodika

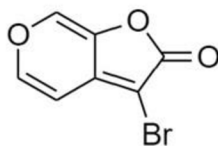
3.1 Použité látky

3.1.1 Butenolidy

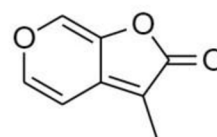
- BUT 122
- BUT 121
- BUT 108
- BUT 106
- KAR 2



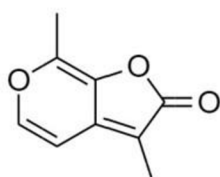
BUT 122



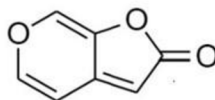
BUT 121



BUT 108



BUT 106



KAR 2

Obr. 2: Chemická struktura látek testovaných v experimentální části. BUT 122 (3-methyl-2H-furo(2,3-c)pyran-2-on-Cl) a BUT 121 (3-methyl-2H-furo(2,3-c)pyran-2-on-Br) jsou analogy KAR 1 na třetím uhlíku, BUT 108 (neboli KAR 1, 3-methyl-2H-furo(2,3-c)pyran-2-on), BUT 106 (neboli KAR 4, 3,7-dimethyl-2H-furo(2,3-c)pyran-2-on) a KAR 2 (2H-furo(2,3-c)pyran-2-on)

3.2 Rostlinný materiál

3.2.1 Odrůdy ječmene jarního

3.2.1.1 Bojos (Udržovatel odrůdy: Limagrain Česká republika, s.r.o.)

Registrace odrůdy: 2005, prodloužení registrace 2013

Popis odrůdy: Bojos je sladovnická polopozdní odrůda. Rostliny středně vysoké až vysoké, odrůda středně odolná proti poléhání, středně odolná proti lámání stébla. Zrno středně velké, výtěžnost předního zrna středně vysoká.

Výnos zrna ve všech zemědělských výrobních oblastech vysoký. Odrůda vhodná pro výrobu piva českého typu (ÚKZÚZ).

Použita v maloparcelních pokusech v roce 2014 v Olomouci.

3.2.1.2 Francin (Udržovatel odrůdy: SELGEN, a.s.)

Registrace odrůdy: 2014

Popis odrůdy: Francin je sladovnická polopozdní odrůda. Rostliny středně vysoké, odrůda odolná proti poléhání, odolná proti lámání stébla. Zrno středně velké až velké, podíl předního zrna vysoký. Výnos předního zrna v neošetřené variantě pěstování v kukuřičné zemědělské výrobní oblasti velmi vysoký, v neošetřené variantě pěstování v řepařské a obilnářské zemědělské výrobní oblasti vysoký, v ošetřené variantě pěstování v řepařské a obilnářské zemědělské výrobní oblasti středně vysoký až vysoký, v obou variantách pěstování v bramborářské zemědělské výrobní oblasti a v ošetřené variantě pěstování v kukuřičné zemědělské výrobní středně vysoký (ÚKZÚZ).

Použita v maloparcelních pokusech v letech 2014 až 2021 (mimo roky 2015 a 2017) v Olomouci a Kujavách. Dále použita při nádobových pokusech.

3.2.2 Odrůdy pšenice ozimé

3.2.2.1 Etana (Udržovatel odrůdy: Deutsche Saatveredelung AG)

Registrace odrůdy: 2013

Popis odrůdy: Etana je pekařská polopozdní odrůda. Rostliny středně vysoké, středně odolné proti poléhání. Zrno středně velké. Odolná proti vymrzání. Výnos zrna v neošetřené i ošetřené variantě pěstování ve všech zemědělských výrobních oblastech vysoký (ÚKZÚZ).

Použita v maloparcelních pokusech v roce 2015 v Olomouci.

3.2.2.2 Turandot (Udržovatel: SELGEN, a.s.)

Rok registrace: 2012

Popis odrůdy: Turandot je pekařská polopozdní odrůda. Rostliny středně vysoké, středně odolné proti poléhání. Zrno velké. Středně odolná proti vymrzání. Výnos zrna v neošetřené variantě pěstování v zemědělských výrobních oblastech kukuřičné a v obilnářské a bramborářské vysoký, v řepařské vysoký až velmi vysoký. Výnos zrna v ošetřené variantě pěstování

v zemědělské výrobní oblasti kukuřičné středně vysoký až vysoký, v řepařské a v obilnářské a bramborářské středně vysoký (ÚKZÚZ).

Použita v maloparcelních pokusech v letech 2016 až 2020 (mimo rok 2019) v Olomouci.

3.2.2.3 Fakir (Udržovatel: Syngenta Seeds GmbH)

Rok registrace: 2013

Popis odrůdy: Fakir je pekařská polopozdní odrůda. Rostliny středně vysoké, středně odolné proti poléhání. Zrno středně velké. Odolná proti vymrzání. Výnos zrna v neošetřené variantě pěstování v zemědělské výrobní oblasti kukuřičné vysoký až velmi vysoký, v řepařské a v obilnářské a bramborářské vysoký. Výnos zrna v ošetřené variantě pěstování v zemědělských výrobních oblastech kukuřičné a v řepařské vysoký, v obilnářské a bramborářské středně vysoký (ÚKZÚZ).

Použita v maloparcelních pokusech v roce 2019 v Olomouci.

3.3 Použitá technika

Pro maloparcelní pokusy byla použita technika:

- Maloparcelní secí stoj Haldrup CB–25
- Samochodný víceúčelový secí stroj Hege
- Maloparcelní kombajn Wintersteiger Classic
- Maloparcelní kombajn Hege 160
- Maloparcelní kombajn Wintersteiger Delta

3.4 Maloparcelní pokusy

V letech 2014 až 2021 byly prováděny maloparcelní polní pokusy na ječmenu jarním (odrůdy Bojos a Francin), který byl mořen čtyřmi vybranými látkami (butenolidy) o koncentracích 50 µg/l a 500 µg/l a na pšenici ozimé (odrůdy Etana, Fakir a Turandot), která byla mořena třemi vybranými látkami o koncentracích 50 µg/l a 500 µg/l. Pokusy byly prováděny v lokalitách Olomouc a Kujavy (Zemědělská zkušební stanice Kuajvy, s.r.o.).

3.4.1 Založení maloparcelního pokusu

Pokusy probíhaly na parcelách o velikosti 9,00 x 1,15 m (celkem 10 m²). Opakování byla náhodně randomizovaná dle metodiky Good Experimental

Practice. V Kroměříži byl pokus ve čtyřech opakováních, v Olomouci pak v pěti opakováních.

Pro maloparcelní pokus bylo výsevní množství 3,5 milionu klíčivých semen na 1 ha plochy. Předsetřové přihnojení fosforu a draslíku bylo dle normativů a rozborů půdy z dané lokality. Přihnojení dusíkem byla v závislosti na půdní zásobě v termínu odnožování 30 kg dusíku na 1 ha (případně 60 kg dusíku čistých živin). V pokusech byly použity standartní herbicidy a insekticidy. Nebyly použity žádné pesticidy, které regulují počet odnoží a délku stébla, ani žádné fungicidy.

Termín setí byl mezi 10.3 až 31.3, dle doporučené agrotechnické lhůty pro danou lokalitu. Zrno bylo zaseto do hloubky 2,5 cm pomocí maloparcelního secího stroje Haldrup SB–25, nebo samochodného víceúčelového secího stroje Hege. Sklizeň probíhala ve sklizňové zralosti, pomocí maloparcelních kombajnů Hege 160 a Wintersteiger Delta.



Obr. 3: Maloparcelní polní pokusy ve fázi vzcházení (BBCH 14-16)

3.4.2 Odběry a hodnocení rostlin

Pro každou variantu bylo odebráno 15 rostlin ze středu parcely. Odběr a vyhodnocení, byl prováděn ve dvou opakováních. U rostlin byla ve fázi odnožování (BBCH 21-23) hodnocena hmotnost kořenů, nadzemní biomasy a počet odnoží, v další fázi sloupkování (BBCH 33-36), byl hodnocen počet jednotlivých typů odnoží (silné – produktivní, střední a slabé – neproduktivní),

ve fázi metání, byl hodnocen počet klasů na 1 m², po sklizni byl vyhodnocen výnos zrna přepočtený na standardizovanou vlhkost 12 % a HTZ.

3.5 Meteodata

V tab. 2 se nachází přehled srážkových úhrnů za jednotlivé měsíce v letech 2013–2021. Pro optimální růst a vývoj obilnin je nejdůležitější dostatek vody v období, kdy nejvíce rostou a dochází k nárůstu jejich odnoží a následně klasů. Pro ječmen je toto období od března do května, pro pšenici od září do listopadu. V období od září do října byl nejvyšší srážkový úhrn v roce 2017/2018, který se zvýšil na 177,7 %. Nejnižší srážkový úhrn byl v roce 2015/2016, který se snížil na 60,8 %. V období od března do května byl nejvyšší srážkový úhrn v roce 2018/2019, který byl zvýšen na 107,8 %. Naopak nejnižší srážkový úhrn byl v roce 2017/2018, který se snížil na 60,3 %.

Tab. 2: Měsíční úhrny srážek v Olomouci v letech 2013 až 2021

Měsíc	Měsíční úhrn srážek [mm] dlouhodobý normál	Vegetační rok 2013/14	Vegetační rok 2014/15	Vegetační rok 2015/16	Vegetační rok 2016/17	Vegetační rok 2017/18	Vegetační rok 2018/19	Vegetační rok 2019/20	Vegetační rok 2020/21
IX	44,2	64,4	74,6	23,1	40,8	113,5	121,3	62,8	93,0
X	40,0	44,2	28,7	28,3	35,7	67,9	21,5	39,7	107,4
XI	40,4	29,1	18,9	24,3	39,8	40,0	11,1	29,2	19,3
XII	30,3	12,2	32,1	17,0	8,2	20,0	32,4	40,8	42,0
I	27,5	33,5	42,6	23,0	18,6	21,3	23,4	11,6	37,4
II	25,5	14,1	10,1	74,5	12,8	20,1	30,6	39,2	30,5
III	27,2	19,8	43,3	21,8	22,7	30,8	24,2	26,3	12,6
IV	37,8	34,1	21,4	56,9	50,7	20,6	21,8	6,6	28,1
V	73,3	45,3	45,7	36,3	27,6	32,0	103,1	67,9	86,5
VI	78,4	40,1	43,3	37,9	54,8	41,6	39,4	158,4	34,4
VII	76,4	91,9	35,2	168,5	116,7	30,6	70,5	66,6	75,4
VIII	68,8	90,6	42,1	59,8	31,7	18,2	75,6	83,3	86,5
Počet srážek za rok [mm]	569,8	519,3	438,0	571,4	460,1	456,6	574,9	632,4	653,1
% na součet III-V	100,0	71,7	79,8	83,2	73,0	60,3	107,8	72,9	92,0
% na součet IX-XI	100,0	110,5	98,1	60,8	93,3	177,7	123,5	105,7	176,3

Z tab. 3 vyplývá, že průměrné roční teploty v letech 2013 až 2021 byly mírně vyšší oproti dlouhodobému normálu. Obzvláště teplé byly roky 2017/2018 a 2018/2019, kdy se průměrná roční teplota vyšplhala na 11,2 °C. Tabulka však nezachycuje krátkodobé teplotní výkyvy, které by také mohly mít vliv na rostlinu.

Tab. 3: Měsíční teplotní průměry v Olomouci v letech 2013 až 2021

Měsíc	Měsíční teplotní průměr [°C] - dlouhodobý normál	Vegetační rok 2013/14	Vegetační rok 2014/15	Vegetační rok 2015/16	Vegetační rok 2016/17	Vegetační rok 2017/18	Vegetační rok 2018/19	Vegetační rok 2019/20	Vegetační rok 2020/21
IX	14,3	13,4	14,3	15,9	17,5	14,0	16,7	15,2	15,8
X	9,1	10,4	9,1	9,1	8,9	10,4	11,7	10,5	10,6
XI	3,7	5,5	3,7	5,9	4,3	4,8	5,9	7,7	4,9
XII	-0,4	2,2	-0,4	2,9	-0,4	2,1	1,8	2,4	3,0
I	-2,4	1,3	-2,4	-1,6	-5,7	2,4	-1,2	-0,1	0,2
II	-0,2	3,4	-0,2	4,9	1,0	-1,8	2,2	4,9	-0,6
III	3,8	8,1	3,8	5,2	7,5	2,4	7,4	5,9	3,9
IV	9,1	11,5	9,1	9,7	8,8	15,1	11,9	10,8	7,6
V	14,2	14,4	14,2	15,6	15,9	18,9	12,9	13,0	13,0
VI	17,2	18,4	17,2	19,9	20,3	20,2	22,8	18,6	21,5
VII	18,6	21,5	18,6	20,7	20,5	22,0	20,8	19,7	22,2
VIII	18,0	17,8	18,0	19,0	21,1	23,7	21,3	21,3	18,4
Průměrná roční teplota [°C]	8,8	10,7	8,8	10,6	10,0	11,2	11,2	10,8	10,0

3.6 Nádobové pokusy

3.6.1 Test na měření nadzemní a podzemní biomasy

Semena ječmene jarního (odrůda Francin), byla mořena čtyřmi vybranými butenolidy (KAR 2, BUT 122, BUT 121 a BUT 108) o třech různých koncentracích (1000 µg/l, 100 µg/l a 10 µg/l). Dávka roztoku s butenolidem, byla 9 ml/1 kg osiva. Po vyklíčení rostlin (po 168 hodinách), byla zvážena její nadzemní a podzemní biomasa na analytických vahách. Jedna varianta byla testována na 48 rostlinách.



Obr 4: Vážení nadzemní biomasy a kořenů

3.6.2 Test na vzcházení/ klíčení a rychlost vzcházení/ klíčení semen

V rámci bakalářské práce byl zřízen nádobový pokus na ječmeni jarním (odrůda Francin) v řízených podmínkách na vzcházení/klíčení semen. Byly vytvořeny dvě varianty, z nichž u jedné došlo k plnému nasycení vody, zatímco druhá varianta byla plně nasycena 30% roztokem PEG-6000. Tato varianta simulovala stres rostliny z nedostatku vody. Zrna byla mořena třemi vybranými látkami (BUT 122, BUT 121 a BUT 108) o koncentracích 10 µg/l a 1000 µg/l. Pro vyhodnocení byla zaznamenávána absolutní klíčivost semen neboli počet vzešlých semen ze 110 celkově možných. Rostliny byly hodnoceny od založení pokusu až po jeho ukončení (13. den).

3.6.3 Analýza cytokininů

Pro ječmen (odrůda Francin), který byl mořen třemi vybranými butenolidy (BUT 122, BUT 121 a BUT 108) o koncentraci 1 mg/l byla provedena analýza na obsah cytokininů v nadzemní a podzemní biomase. Kvantitativní analýza CK, byla provedena podle metody Svačinová a kol. (2012), včetně modifikace metody na vzorky jarního ječmene. U analyzovaných vzorků byl udělán technický replikát (měření z 1 vzorku) a vypočten průměr hodnot.

Odběr rostlinného materiálu (kořeny a nadzemní biomasa), byl proveden 168 hodin po založení pokusu. Vzorky (20 mg FW) byly homogenizovány a extrahovány společně se směsí vnitřních standardů značených stabilními izotopy. Extrakt byl přenesen na kolonu Oasis MCX. Poté byla provedena dvoustupňová eluce a eluláty byly odpařeny do sucha ve vakuu a skladovány při -20 °C. Hladiny cytokininů byly stanoveny pomocí ultra-vysokoúčinné kapalinové chromatografie ve spojení s elektrosprejovou tandemovou hmotnostně spektrometrickou detekcí (UHPLC-MS/MS) metodou vnitřních standardů značených stabilními izotopy (Svačinová a kol., 2012).

3.6.4 Analýza karrikinů

Pro ječmen (odrůda Francin), který byl mořen KAR 2 o koncentraci 500 µg/l byla provedena analýza na obsah KAR 1 a KAR 2 v nadzemní biomase a v kořenech. Pokus byl prováděn ve dvou variantách s PEGem a bez PEGu. Kvantitativní analýza KAR, byla provedena podle metody Hrdlička a kol. (2021), včetně modifikace metody na vzorky jarního ječmene.

U analyzovaných vzorků byly udělány tři technické replikáty (měření z 1 vzorku) a byl vypočten průměr hodnot. Odběr rostlinného materiálu (kořeny a nadzemní biomasa), byl proveden 168 hodin po založení pokusu. Vzorky (20 mg FW) byly homogenizovány a extrahovány s vnitřním standardem značeným stabilním izotopem. Dále bylo provedeno efektivní jednostupňové čištění vzorku. Vzorky byly vysušeny ve vakuu a skladovány při – 20 °C. Hladina KAR byla stanovena pomocí ultra-vysokoúčinné kapalinové chromatografie ve spojení s elektrosprejovou tandemovou hmotnostně spektrometrickou detekcí (UHPLC-MS/MS) metodou vnitřního standardu značeného stabilním izotopem. Jako vnitřní standard byl použit syntetizovaný KAR 1 značený deuteriem (Hrdlička a kol., 2021).

3.6.5 Založení nádobového pokusu

Doporučený objem pro moření obilnin je 9,0 l mořidla (butenolid rozpuštěný v demineralizované vodě) na 1 tunu zrna (9 ml / 1 kg osiva). Pro moření na jednu variantu se využilo 50 g semen, která byla namořena 0,45 ml mořidla.

Sadbovače o počtu jamek 110 byly naplněny zeminou Potgrond P. Do zeminy se vytvořil 2–centimetrový důlek, do kterého bylo vloženo zrno embryem dolů. Zemina se zahladila.

Sadbovače byly plně nasyceny vodou vložением sadbovačů na podtácky plné vody. Sadbovače s variantami s PEGem byly plně nasyceny 30% roztokem PEG–6000 ředěným vodou vložением na podtácky plné zálivky. Po plném nasycení zálivkou, byla přebytečná voda/roztok PEGu vylity a byl použit jen sadbovač se 100 % naplněnou vodní kapacitou. Následně byly sadbovače umístěny do fytotronu při teplotě 20 °C, fotoperiodě 16 hodin den a 8 hodin noc, intenzita osvětlení byla 9,800 lux. a vlhkost vzduchu byla nastavena na 60 %. Pátý den byla do sadbovačů přidána voda dle nasycenosti.

Vyhodnocení nadzemní a podzemní biomasy a odběr vzorků na analýzu, bylo provedeno po 168 hodinách od výsevu. Vzorky na analýzu byly přímo po odebrání uchovány ve zmraženém stavu (v tekutém dusíku) a poté předány na analýzu. Vyhodnocení rychlosti vzcházení bylo prováděno průběžně od založení pokusu až do doby zrušení pokusu (13. den).



Obr. 5: Nádobové pokusy v době založení pokusu

4 Výsledky a diskuze

4.1 Maloparcelní pokusy

U většiny rostlin mořených vybranými butenolidy došlo ke zvýšení hodnocených parametrů. Při zvýšeném poměru kořenů oproti listům byl pozorován zvýšený výnos zrna. Podrobné výsledky měření z jednotlivých let jsou uvedené v přílohách na konci této práce (tab. 15-18).

4.1.1 Ječmen jarní, BUT 122 (50 µg/l)

V roce 2014 byl na semena ječmene (odrůda Bojos) aplikován BUT 122 o koncentraci 50 µg/l. Po jeho aplikaci byl zaznamenán mírně snížený výnos zrna (98,45 %) oproti kontrole. Toto snížení nebylo statisticky průkazné. Přestože ve fázi odnožování (BBCH 21–23) došlo ke snížení počtu listů na 82,83 %, hmotnost listů se zvýšila na 102,92 %. Došlo však k výraznému snížení hmotnosti kořene na 88,50 %. Celková hmotnost rostliny se snížila na 89,62 %. Ve fázi odnožování došlo ke snížení počtu odnoží na 82,84 %.

Ve fázi sloupkování (BBCH 33–36) však došlo k zvýšení počtu odnoží na 109,18 %. U silných a slabých odnoží došlo ke zvýšení počtu odnoží, a to u silných na 118,00 % a u slabých na 108,17 %. Počet středních odnoží se snížil na 81,31 %. Počet klasů na m² a počet zrn v klasu se oproti kontrole téměř nezměnil. Hmotnost tisíce zrn se zvýšila na 103,77 % (viz tab. 4).

Tab. 4: Zhodnocení aplikace látky BUT 122 (50 µg/l) (% na kontrolu), ječmen jarní

Rok	Výnos zrna	Hodnocení v odnožování (v BBCH 21-23)					Hodnocení ve sloupkování (v BBCH 33-36)						
		Počet listů	Počet odnoží	Hmotnost listů	Hmotnost kořene	Hmotnost rostliny	Silné odnože	Střední odnože	Slabé odnože	Odnože celkem	Počet klasů na m ²	Počet zrn v klasu	HTZ
2014	98,45	82,83	82,84	102,92	88,50	89,62	118,00	81,31	108,17	109,18	100,63	100,48	103,77

4.1.2 Ječmen jarní, BUT 122 (500 µg/l)

V letech 2016, 2019 a 2021 bylo provedeno moření semen ječmene (odrůda Francin) BUT 122 o koncentraci 500 µg/l, při kterém došlo ke zvýšení výnosu zrna oproti kontrole v průměru na 104,64 %. Počet listů se ve fázi odnožování (BBCH 21–23) v průměru zvýšil na 117,23 %, hmotnost listů průměrně výrazně vzrostla na 145,81 %. Došlo také ke zvýšení hmotnosti kořene v průměru na 155,58 %, celková hmotnost rostliny se v průměru zvedla na 127,87 %. Počet odnoží se v průměru zvýšil na 112,89 %.

Ve fázi sloupkování (BBCH 33–36) došlo k navýšení počtu odnoží v průměru na 116,37 %. K největšímu zvýšení došlo průměrně u silných odnoží a to na 142,56 %, počet středních odnoží se průměrně zvýšil na 111,45 % a počet slabých odnoží se v průměru oproti kontrole téměř nezměnil. V průměru došlo k mírnému snížení počtu klasů na m² a to

na 95,26 %. Průměrná hmotnost tisíce zrn se oproti kontrole zvýšila na 100,92 % (viz tab. 5).

Tab. 5: Zhodnocení aplikace látky BUT 122 (500 µg/l) (% na kontrolu), ječmen jarní

Rok	Výnos zrna	Hodnocení v odnožování (v BBCH 21-23)					Hodnocení ve sloupkování (v BBCH 33-36)					
		Počet listů	Počet odnoží	Hmotnost listů	Hmotnost kořene	Hmotnost rostliny	Silné odnože	Střední odnože	Slabé odnože	Odnože celkem	Počet klasů na m ²	HTZ
2016	108,88	138,46	130,30	142,08	133,94	140,63	118,52	137,21	74,51	110,29	99,51	105,19
2019	103,90	109,20	91,18	–	–	103,94	168,42	97,14	61,70	105,83	97,72	97,67
2021	101,14	104,04	117,18	149,53	97,22	139,04	140,74	100,00	166,67	132,99	88,53	99,89
Průměr	104,64	117,23	112,89	145,81	115,58	127,87	142,56	111,45	100,96	116,37	95,26	100,92

4.1.3 Ječmen jarní, BUT 121 (50 µg/l)

V roce 2014 byla semena ječmene (odrůda Bojos) mořena BUT 121 o koncentraci 50 µg/l, při čemž došlo ke zvýšenému výnosu zrna na 111,17 %. Ve fázi odnožování (BBCH 21–23) došlo k navýšení počtu listů na 105,56 %, hmotnost listů se však snížila na 91,10 %. Hmotnost kořene byla zvýšena na 111,67 %. Celková hmotnost rostliny byla mírně zvýšena na 109,15 %. Počet odnoží se snížil na 96,45 %.

Ve fázi sloupkování (BBCH 33–36) se celkový počet odnoží zvýšil na 112,20 %, k nejvyššímu nárustu došlo u silných odnoží, kdy se počet zvýšil na 114,29 %, počet středních odnoží byl 111,51 % a k nejmenšímu nárustu došlo u slabých odnoží, a to na 105,79 %. Počet klasů na m² se výrazně zvýšil na 115,99 %. Počet zrn v klasu a hmotnost tisíce zrn se oproti kontrole téměř nezměnili (viz tab. 6).

Tab. 6: Zhodnocení aplikace látky BUT 121 (50 µg/l) (% na kontrolu), ječmen jarní

Rok	Výnos zrna	Hodnocení v odnožování (v BBCH 21-23)					Hodnocení ve sloupkování (v BBCH 33-36)						
		Počet listů	Počet odnoží	Hmotnost listů	Hmotnost kořene	Hmotnost rostliny	Silné odnože	Střední odnože	Slabé odnože	Odnože celkem	Počet klasů na m ²	Počet zrn v klasu	HTZ
2014	111,17	105,65	96,45	91,09	110,67	109,15	114,29	111,51	105,79	112,20	115,99	99,25	100,22

4.1.4 Ječmen jarní, BUT 121 (500 µg/l)

V letech 2014–2021 (mimo roky 2015 a 2017) byl aplikován BUT 121 o koncentraci 500 µg/l na semena ječmene (odrůdy Bojos a Francin). Z výsledků vyplývá, že průměrný výnos zrna oproti kontrole zvýšil na 105,19 %. Ve fázi odnožování (BBCH 21–23) počet listů průměrně vzrostl na 117,18 %, hmotnost listů vzrostla v průměru na 121,54 %. Stejně tak vzrostla i hmotnost kořene, a to v průměru na 188,34 %. Celková hmotnost rostliny se průměrně zvýšila na 132,92 %. Došlo také k průměrnému zvýšení počtu odnoží na 116,55 %.

Ve fázi sloupkování (BBCH 33–36) se počet odnoží v průměru změnil na 109,49 %. Nejvyššímu nárůstu počtu odnoží došlo u středních odnoží, a to v průměru na 120,07 %, u silných odnoží došlo ke zvýšení počtu v průměru na 113,54 %, u slabých odnoží došlo pouze k mírnému zvýšení počtu odnoží v průměru, a to na 103,37 %. Počet klasů na m² se průměrně mírně snížil na 97,66 %. Hmotnost tisíce zrn se v průměru oproti kontrole mírně zvýšila na 100,70 % (viz. tab. 7).

Tab. 7: Zhodnocení aplikace látky BUT 121 (500 µg/l) (% na kontrolu), ječmen jarní

Rok	Výnos zrna	Hodnocení v odnožování (v BBCH 21-23)					Hodnocení ve sloupkování (v BBCH 33-36)					
		Počet listů	Počet odnoží	Hmotnost listů	Hmotnost kořene	Hmotnost rostliny	Silné odnože	Střední odnože	Slabé odnože	Odnože celkem	Počet klasů na m ²	HTZ
2014	107,80	114,95	111,35	111,23	125,46	124,36	122,94	61,54	124,00	111,40	110,17	102,68
2016	102,23	–	–	131,17	131,19	131,18	–	–	–	–	–	–
2016	103,75	118,32	110,10	122,33	117,44	121,46	100,00	132,56	125,49	115,43	100,85	104,72
2016	111,44	126,01	122,22	149,75	136,60	147,41	97,53	104,65	105,88	101,71	99,63	104,39
2018	106,23	148,89	142,22	–	–	187,64	117,65	122,86	87,50	110,53	88,46	98,72
2020	106,75	100,00	100,00	84,83	94,69	93,54	109,80	209,52	77,33	102,40	90,17	91,76
2021	98,15	94,95	113,40	129,93	104,64	124,86	133,33	89,29	100,00	115,46	96,68	101,95
Průměr	105,19	117,18	116,55	121,54	118,34	132,92	113,54	120,07	103,37	109,49	97,66	100,70

4.1.5 Ječmen jarní, BUT 108 (500 µg/l)

Semena ječmene (odrůda Francin) byla v letech 2018, 2019 a 2021 mořena BUT 108 o koncentraci 500 µg/l. Výnos zrna se oproti kontrole zvýšil v průměru na 102,66 %. Počet listů se ve fázi odnožování (BBCH 21–23) zvýšil průměrně na 105,65 %, hmotnost listů se také zvýšila, a to v průměru na 124,86 %. Došlo k výraznému zvýšení hmotnosti kořene v průměru na 141,19 %. Celková hmotnost rostliny se průměrně zvýšila na 126,22 %. Počet odnoží se mírně zvýšil v průměru na 102,80 %.

Ve fázi sloupkování (BBCH 33–36) došlo k vysokému zvýšení počtu silných odnoží, a to v průměru na 144,21 %, u středních odnoží došlo pouze k mírnému zvýšení počtu v průměru na 106,43 %, počet slabých odnoží stoupl průměrně na 117,97 %. Celkový počet odnoží se tedy průměrně zvýšil na 119,62 %. Počet klasů na m² se průměrně snížil na 98,11 %. Došlo ke zvýšení hmotnosti tisíce zrn v průměru na 101,80 % (viz tab. 8).

Tab. 8: Zhodnocení aplikace látky BUT 108 (500 µg/l) (% na kontrolu), ječmen jarní

Rok	Výnos zrna	Hodnocení v odnožování (v BBCH 21-23)					Hodnocení ve sloupkování (v BBCH 33-36)					
		Počet listů	Počet odnoží	Hmotnost listů	Hmotnost kořene	Hmotnost rostliny	Silné odnože	Střední odnože	Slabé odnože	Odnože celkem	Počet klasů na m ²	HTZ
2018	105,66	140,74	123,33	–	–	175,55	194,12	134,29	133,33	147,37	99,55	102,59
2019	101,97	88,34	76,47	–	–	74,99	123,68	74,29	87,23	95,00	101,14	100,09
2021	100,35	87,88	108,59	124,86	141,19	128,14	114,81	110,71	133,33	116,49	93,74	102,72
Průměr	102,66	105,65	102,80	124,86	141,19	126,22	144,21	106,43	117,97	119,62	98,14	101,80

4.1.6 Ječmen jarní, BUT 106 (500 µg/l)

Při ošetření semen ječmene (odrůdy Bojos a Francin) BUT 106 o koncentraci 500 µg/l v letech 2014, 2016 a 2019 došlo k mírnému zvýšení výnosu zrna oproti kontrole, a to v průměru na 102,92 %. Ve fázi odnožování (BBCH 21–23) se počet listů zvýšil průměrně na 114,94 %, hmotnosti listů se také zvýšila, a to v průměru na 131,16 %. Hmotnost kořene se poměrně výrazně zvýšila v průměru na 125,29 %. Došlo tedy k průměrnému zvýšení celkové hmotnosti rostliny na 119,97 %. Počet odnoží se průměrně zvýšil na 104,72 %.

Ve fázi sloupkování (BBCH 33–36) se zvýšil počet odnoží v průměru na 108,34 %. K nevyššímu nárůstu počtu odnoží došlo k silným odnožím, a to

v průměru na 126,52 %, poté počet středních odnoží se průměrně zvýšil na 107,04 a počet slabých odnoží se snížil v průměru na 96,53 %. Počet klasů na m² se průměrně zvýšil na 105,22 %. Počet zrn v klasu se průměrně zvýšil na 103,05 %. Hmotnost tisíce zrn se oproti kontrole mírně snížila v průměru na 99,87 % (viz tab. 9).

Tab. 9: Zhodnocení aplikace látky BUT 106 (500 µg/l) (% na kontrolu), ječmen jarní

Rok	Výnos zrna	Hodnocení v odnožování (v BBCH 21-23)					Hodnocení ve sloupkování (v BBCH 33-36)					
		Počet listů	Počet odnoží	Hmotnost listů	Hmotnost kořene	Hmotnost rostliny	Silné odnože	Střední odnože	Slabé odnože	Odnože celkem	Počet klasů na m ²	HTZ
2014	100,97	120,87	111,24	127,30	135,60	134,96	120,85	93,20	126,43	116,59	109,94	99,13
2016	105,30	120,88	116,16	135,02	114,97	131,45	87,65	127,91	107,84	103,43	108,18	103,55
2019	102,48	103,07	86,76	–	–	93,50	171,05	100,00	55,32	105,00	97,53	96,93
Průměr	102,91	114,94	104,72	131,16	125,29	119,97	126,52	107,04	96,53	108,34	105,21	99,87

4.1.7 Pšenice ozimá, BUT 122 (50 µg/l)

Při aplikaci BUT 122 o koncentraci 50 µg/l na semena pšenice (odrůda Fakir) v roce 2019 nedošlo téměř k žádnému zvýšení výnosu zrna. Ve fázi sloupkování došlo ke snížení celkového počtu odnožování na 92,86 %. Počet silných odnoží se snížil na 96,30 %, počet středních odnoží se zvýšil na 106,25 % a počet slabých odnoží se poměrně výrazně snížil na 86,42 %. Došlo však k nárůstu počtu klasů na m² a to na 110,25 %. Hmotnost tisíce zrn se mírně snížila na 96,79 % (viz tab. 10).

Tab. 10: Zhodnocení aplikace látky BUT 122 (50 µg/l) (% na kontrolu), pšenice ozimá

Rok	Výnos zrna	Hodnocení ve sloupkování (v BBCH 33-36)					
		Silné odnože	Střední odnože	Slabé odnože	Odnože celkem	Počet klasů na m ²	HTZ
2019	100,05	96,30	106,25	86,42	92,86	110,25	96,79

4.1.8 Pšenice ozimá, BUT 122 (500 µg/l)

Při moření semen pšenice (odrůdy Etana a Turandot) v letech 2015–2017 BUT 122 o koncentraci 500 µg/l došlo v průměru k vyššímu výnosu zrna

(104,40 %) oproti kontrole. Ve fázi odnožování (BBCH 21–23) došlo průměrně ke zvýšení počtu listů na 105,74 %, přesto hmotnost listů klesla v průměru na 94,67 %. Hmotnost kořene v průměru stoupla na 108,029 %, hmotnost celé rostliny se však v průměru snížila na 96,82 %. Počet odnoží se v průměru zvýšil na 115,78 %.

Odnože byly dále hodnoceny ve fázi sloupkování (BBCH 33–36), kdy celkově došlo v průměru k mírnému zvýšení počtu odnoží na 101,49 %. Počet silných odnoží se průměrně zvýšil na 110,28 %, počet středních odnoží se v průměru téměř nezměnil, počet slabých odnoží se v průměru mírně snížil na 98,08 %. Došlo ke zvýšení počtu klasů na m² v průměru na 104,27 %. Průměrná hmotnost tisíce zrn se zvýšila na 103,94 % (viz tab. 11).

Tab. 11: Zhodnocení aplikace látky BUT 122 (500 µg/l) (% na kontrolu), pšenice ozimá

Rok	Výnos zrna	Hodnocení v odnožování (v BBCH 21-23)					Hodnocení ve sloupkování (v BBCH 33-36)					
		Počet listů	Počet odnoží	Hmotnost listů	Hmotnost kořene	Hmotnost rostliny	Silné odnože	Střední odnože	Slabé odnože	Odnože celkem	Počet klasů na m ²	HTZ
2015	105,25	102,33	101,98	–	–	97,70	113,89	85,47	99,09	100,26	98,29	101,51
2016	101,77	113,46	135,04	107,22	107,04	107,09	103,92	100,00	92,77	96,96	110,19	107,49
2017	106,16	101,42	110,33	82,13	109,02	85,67	113,04	113,64	102,38	107,24	104,32	102,82
Průměr	104,40	105,74	115,78	94,67	108,03	96,82	110,28	99,70	98,08	101,49	104,27	103,94

4.1.9 Pšenice ozimá, BUT 121 (500 µg/l)

V letech 2015–2021 se průměrný výnos zrna při moření semen pšenice (odrůdy Etana, Fakir a Turandot) BUT 121 o koncentraci 500 µg/l oproti kontrole mírně zvýšil na 101,52 %. Při hodnocení ve fázi odnožování (BBCH 21–23) došlo ke zvýšení počtu listů v průměru na 103,32 %, hmotnost listů se průměrně zvýšila na 102,19 %. Hmotnost kořene se v průměru zvýšila na 107,55 %, hmotnost celé rostliny se mírně zvýšila na 101,37 %. Průměrný počet odnoží stoupl na 105,19 %.

Celkový počet odnoží ve fázi sloupkování (BBCH 33–36) se oproti kontrole v průměru snížil na 93,30 %. Počet silných odnoží se v průměru zvýšil na 107,24 %, počet středních odnoží se průměrně snížil na 103,18 %. Došlo ke snížení počtu slabých odnoží, a to v průměru na 86,93 %. Došlo

k výraznému zvýšení počtu klasů na m² v průměru na 113,04 %. Hmotnost tisíce zrn se mírně zvýšila na 102,25 % (viz tab. 12).

Tab. 12: Zhodnocení aplikace látky BUT 121 (50 µg/l) (% na kontrolu), pšenice ozimá

Rok	Výnos zrna	Hodnocení v odnožování (v BBCH 21-23)					Hodnocení ve sloupkování (v BBCH 33-36)					
		Počet listů	Počet odnoží	Hmotnost listů	Hmotnost kořene	Hmotnost rostliny	Silné odnože	Střední odnože	Slabé odnože	Odnože celkem	Počet klasů na m ²	HTZ
2015	105,67	108,14	107,92	–	–	94,75	112,71	70,21	89,86	91,96	104,16	99,84
2016	100,29	91,00	72,82	93,56	94,34	93,82	125,49	113,73	84,34	92,14	102,46	112,71
2017	102,97	109,95	119,02	90,94	117,94	94,50	110,87	104,55	116,67	113,16	97,19	102,51
2018	95,37	–	96,11	95,29	87,11	93,61	96,43	107,14	102,13	101,12	110,49	101,76
2019	102,52	–	–	–	–	–	81,48	87,50	70,37	76,43	119,87	99,02
2020	104,17	100,00	122,73	97,76	109,50	101,64	88,89	160,98	82,09	96,35	141,62	97,64
2021	99,67	107,49	112,56	133,38	128,87	129,88	134,84	78,13	63,04	81,94	115,45	102,27
Průměr	101,52	103,31	105,19	102,19	107,55	101,37	107,24	103,17	86,93	93,30	113,04	102,25

4.1.10 Pšenice ozimá, BUT 106 (500 µg/l)

Při moření semen pšenice (odrůdy Etana a Turandot) BUT 106 o koncentraci 500 µg/l v letech 2015–2017 došlo v průměru k vyššímu výnosu zrna a to na 103,71 %. Ve fázi odnožování (BBCH 21–23) byl počet listů průměrně zvýšen na 105,40 %, hmotnost listů se však snížila na 92,62 %. Došlo ke zvýšení hmotnosti kořene v průměru na 103,49 %. Hmotnost celé rostliny klesla průměrně na 94,78 %. Počet odnoží ve fázi odnožování se snížil v průměru na 96,94 %, zatímco počet odnoží ve fázi sloupkování (BBCH 33–36) se zvýšil průměrně zvýšil na 111,28 %. Ve fázi sloupkování došlo k nejvyššímu nárůstu počtu silných odnoží, a to v průměru na 117,17 %, počet středních odnoží se zvýšil na 106,18 %, počet slabých odnoží se také zvýšil, a to v průměru na 108,12 %. Počet klasů na m² se oproti kontrole téměř nezměnili. Hmotnost tisíce zrn se v průměru zvýšila pouze na 100,97 % (viz tab. 13).

Tab. 13: Zhodnocení aplikace látky BUT 106 (500 µg/l) (% na kontrolu), pšenice ozimá

Rok	Výnos zrna	Hodnocení v odnožování (v BBCH 21-23)					Hodnocení ve sloupkování (v BBCH 33-36)					Počet klasů na m ²	HTZ
		Počet listů	Počet odnoží	Hmotnost listů	Hmotnost kořene	Hmotnost rostliny	Silné odnože	Střední odnože	Slabé odnože	Odnože celkem			
2015	105,81	112,40	110,89	–	–	98,71	106,23	111,86	104,07	106,29	104,90	98,93	
2016	102,96	96,15	75,02	105,77	96,56	102,07	123,53	129,41	104,82	115,71	97,98	104,49	
2017	102,35	107,64	104,89	79,46	110,42	83,54	121,74	77,27	115,48	111,84	95,10	99,49	
Průměr	103,70	105,40	96,93	92,62	103,49	94,78	117,17	106,18	108,12	111,28	99,32	100,97	

4.2 Nádobové pokusy

4.2.1 Vyhodnocení testu na měření nadzemní a podzemní biomasy

Z hlediska hospodaření s vláhou, lepšího rozvoje kořenové biomasy a poté i lepšího příjmu živin z půdního roztoku, je v počátku vývoje pro rostlinu lepší vyvíjet více podzemní biomasy. Tím se zvyšuje schopnost rostliny přijímat více živin z půdy, což následně podpoří růst nadzemní části rostliny. Tabulka s hmotnostmi nadzemní, podzemní biomasy, % nadzemní biomasy a % podzemní biomasy se nachází v přílohách na konci této práce (tab. 19). Na obr. 6 a 7 je pozorovatelný účinek KAR oproti kontrole, kdy došlo k prodloužení a ke změně morfologie kořenů.



Obr. 6: Kořeny kontrolního ječmene

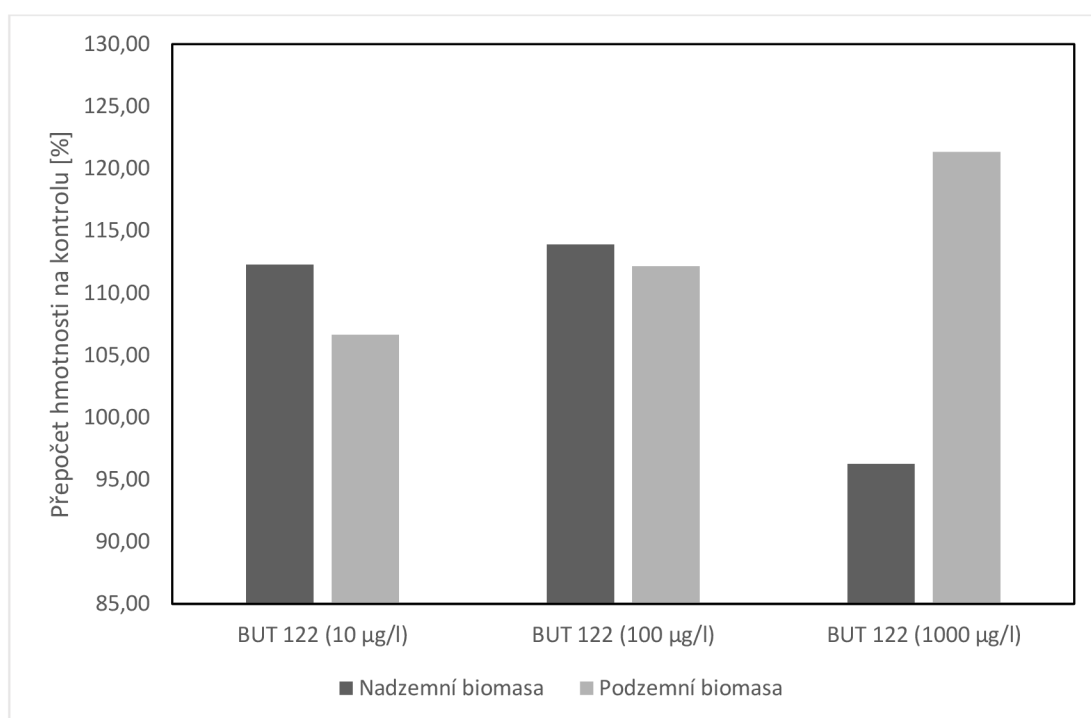


Obr. 7: Kořeny ječmene mořeného KAR 2

Po aplikaci KAR 1 (10^{-8} M, 10^{-9} M a 10^{-10} M) na semena rýže seté, která byla inkubována v tmavých podmínkách v Petriho miskách, došlo ve všech variantách ke zvýšení hmotnosti rostliny a ke zvýšení počtu postranních kořenů (Kulkarni a kol., 2006). Dále byl KAR 1 (10^{-7} M) testován na semenech kukuřice seté. U ošetřených semen došlo ke zvýšení hmotnosti rostliny (van Staden a kol., 2006). V bakalářské práci došlo ke zvýšení hmotnosti rostlin, které byly ošetřeny karrikiny.

4.2.1.1 Ječmen, BUT 122 (1000 $\mu\text{g/l}$, 100 $\mu\text{g/l}$ a 10 $\mu\text{g/l}$)

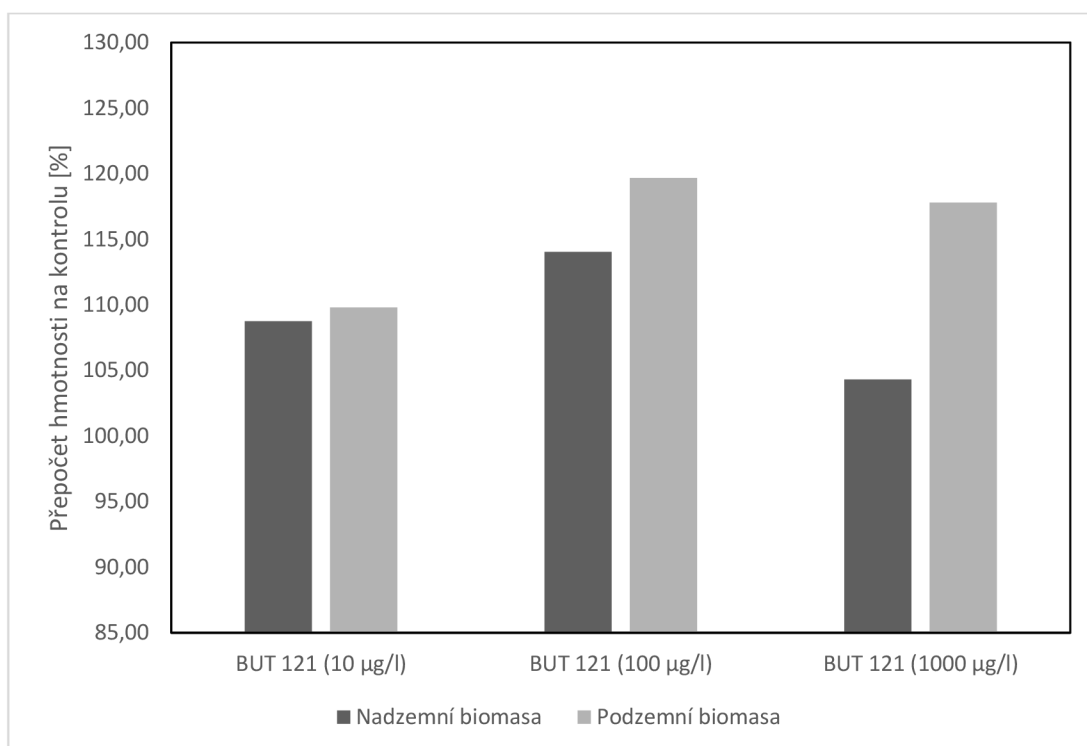
Semena ječmene byla mořena BUT 122 o vybraných koncentracích (1000 $\mu\text{g/l}$, 100 $\mu\text{g/l}$, 10 $\mu\text{g/l}$). U hmotnosti podzemní části je pozorovatelný pozitivní efekt zvyšující se koncentrace. U všech variant došlo ke zvýšení hmotnosti podzemní části oproti kontrole. Jako nejlepší se jevila varianta o koncentraci 1000 $\mu\text{g/l}$, kde hmotnost nadzemní části oproti kontrole klesla, ale hmotnost podzemní biomasy vzrostla na 121 %. U zbylých variant došlo k vyššímu nárůstu nadzemní biomasy než biomasy podzemní (viz obr.8).



Obr. 8: Nadzemní a podzemní biomasa u ječmene mořeného BUT 122 o vybraných koncentracích

4.2.1.2 Ječmen, BUT 121 (1000 µg/l, 100 µg/l a 10 µg/l)

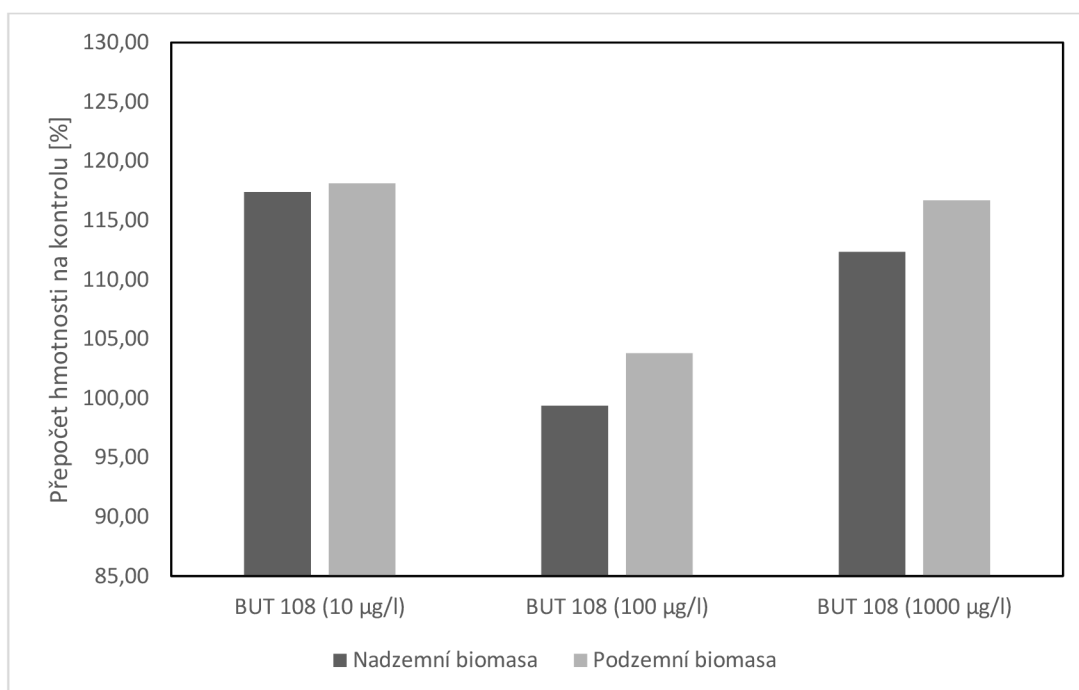
Semena ječmene byla mořena BUT 121 o vybraných koncentracích (1000 µg/l, 100 µg/l, 10 µg/l). U všech variant došlo ke zvýšení hmotnosti nadzemní části i kořenů oproti kontrole. Ve všech variantách také došlo k vyššímu nárůstu hmotnosti kořenů oproti nadzemní části. K nejvyššímu nárůstu hmotnosti listů i kořenů došlo u varianty (100 µg/l). Nejvyšší rozdíl mezi nadzemní a podzemní biomasou byl sledován u varianty (1000 µg/l) (viz obr. 9).



Obr. 9: Nadzemní a podzemní biomasa u ječmene mořeného BUT 121 o vybraných koncentracích

4.2.1.3 Ječmen, BUT 108 (1000 µg/l, 100 µg/l a 10 µg/l)

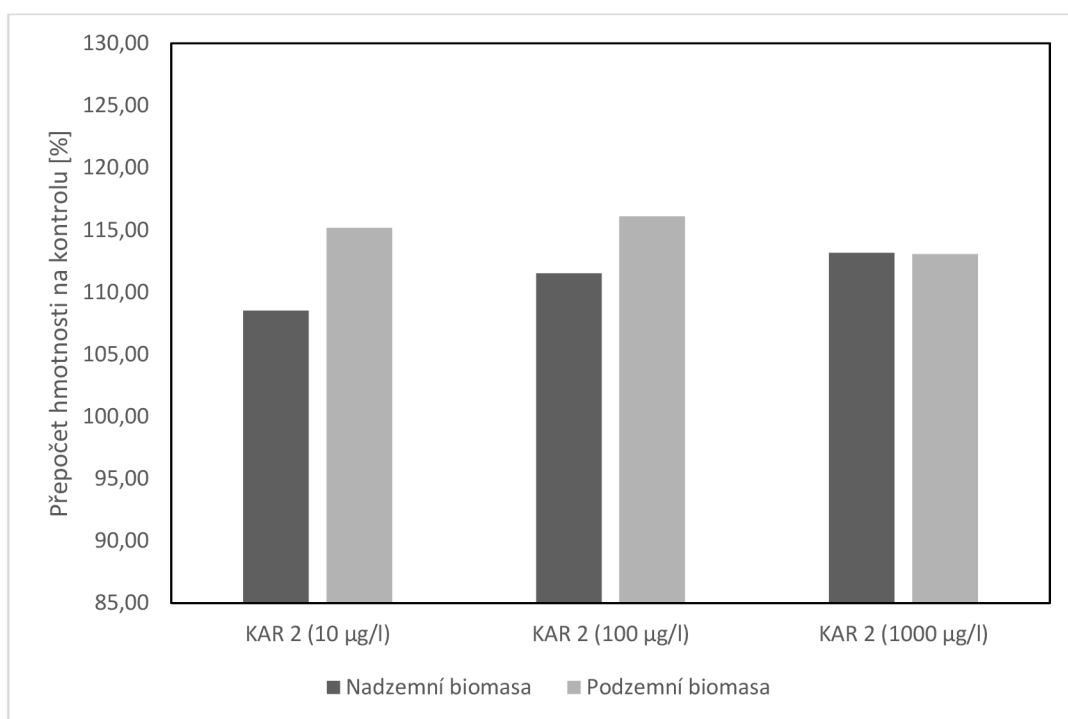
Semena ječmene byla mořena BUT 108 o vybraných koncentracích (1000 µg/l, 100 µg/l, 10 µg/l). Lze konstatovat, že u všech variant došlo ke zvýšení hmotnosti podzemní části oproti kontrole. Jako nejméně účinná se jevila varianta o koncentraci 100 µg/l, kde nadzemní biomasa byla oproti kontrole mírně nižší. Naopak k nejvyššímu nárustu hmotnosti nadzemní i podzemní části došlo u varianty s koncentrací 10 µg/l, kde se hmotnost částí rostlin zvýšila o více než 15 % (viz. obr. 10).



Obr. 10: Nadzemní a podzemní biomasa u ječmene mořeného BUT 108 o vybraných koncentracích

4.2.1.4 Ječmen, KAR 2 (1000 µg/l, 100 µg/l a 10 µg/l)

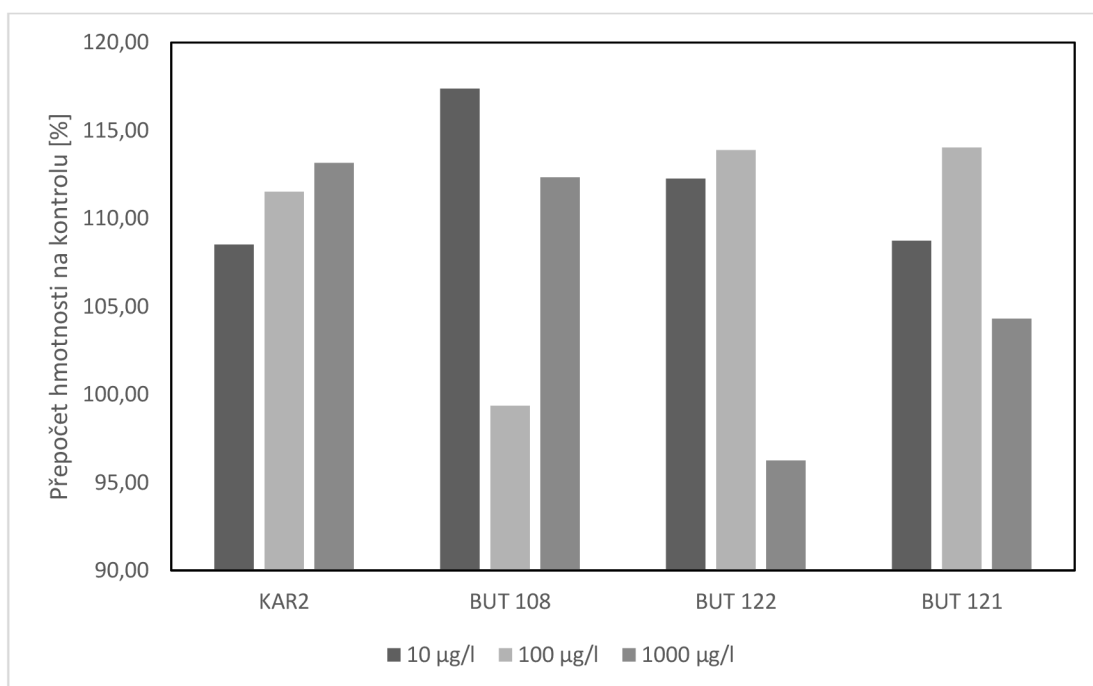
Semena ječmene byla mořena KAR 2 o vybraných koncentracích (1000 µg/l, 100 µg/l a 10 µg/l). U všech variant došlo ke zvýšení hmotnosti nadzemní části i kořenů oproti kontrole. U nadzemní biomasy je viditelný pozitivní efekt vyšší koncentrace. K nejvyššímu nárustu podzemní biomasy došlo u varianty s koncentrací 100 µg/l, k nejnižšímu pak u varianty s koncentrací 1000 µg/l (viz obr. 11).



Obr. 11: Nadzemní a podzemní biomasa u ječmene mořeného KAR 2 o vybraných koncentracích

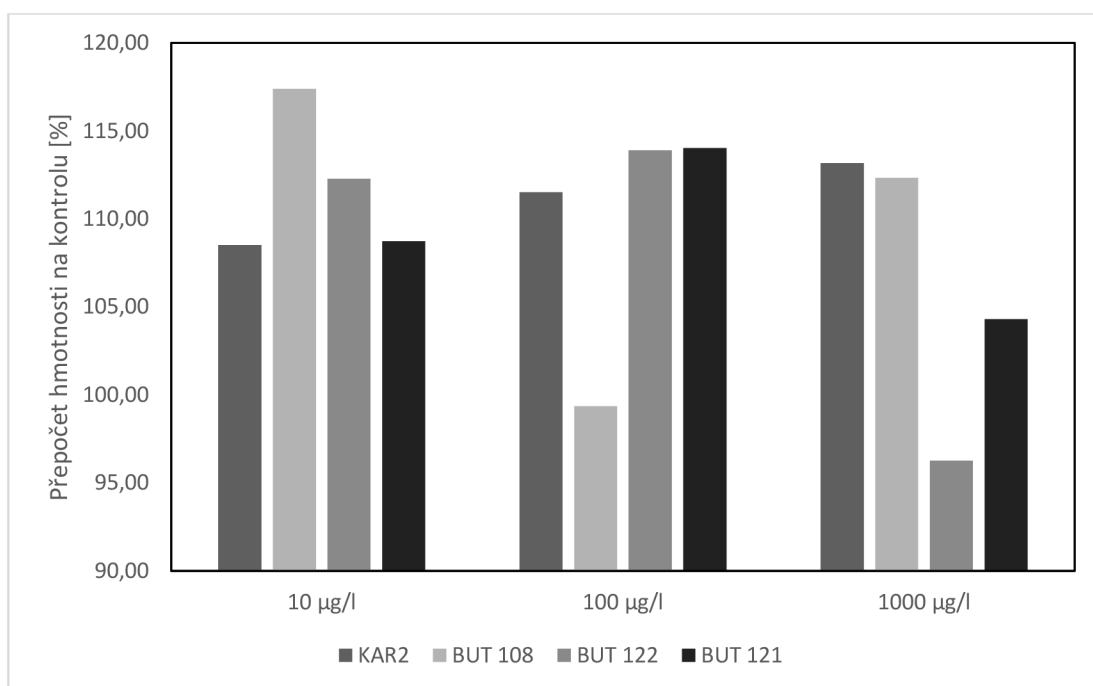
4.2.1.5 Vliv aplikace butenolidů na nárůst nadzemní biomasy

U rostlin ošetřených KAR 2, (jak vyplývá z grafu na obr. 12) je pozorovatelný lineární vzrůst hmotnosti listu se zvyšující se koncentrací. Naopak u rostlin ošetřených BUT 108 došlo k nejvyššímu nárůstu hmotnosti u varianty s nejnižší koncentrací, u varianty s koncentrací 100 µg/l došlo k poklesu hmotnosti oproti kontrole. Stejně tak došlo k poklesu hmotnosti u rostlin ošetřených BUT 122 (1000 µg/l). U rostlin ošetřených BUT 122 a BUT 121 se nejvíce zvýšila hmotnost u varianty s 100 µg/l.



Obr. 12: Porovnání účinnosti koncentrací látek na nárůst hmotnosti nadzemní biomasy ječmene

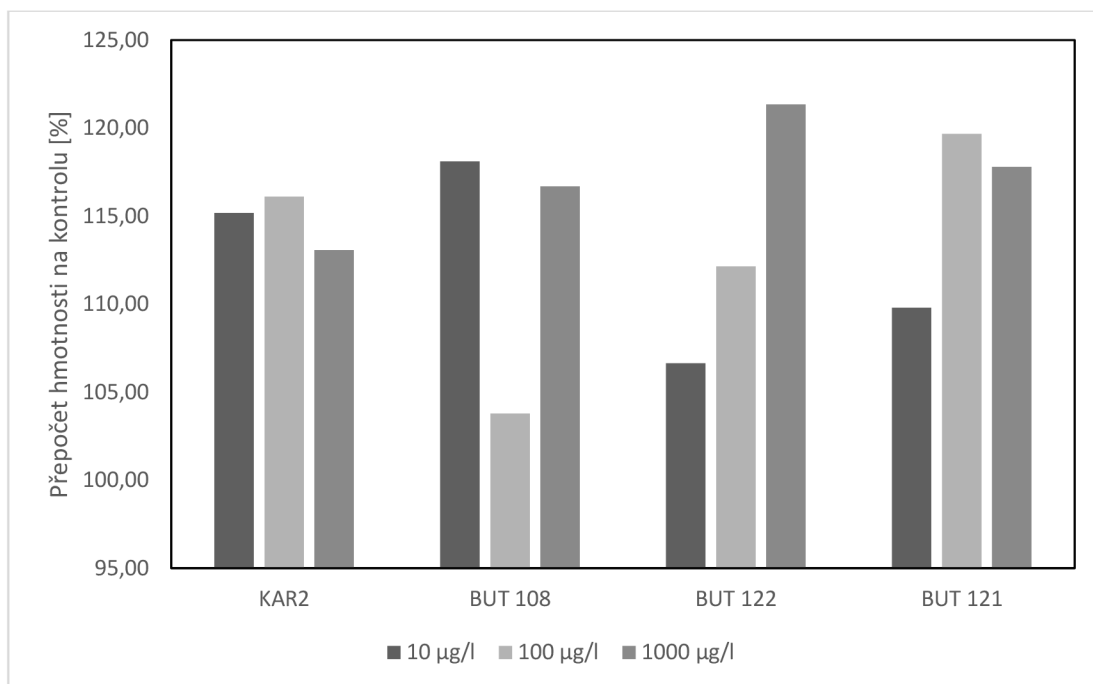
U rostlin, které byly mořeny vybranými látkami o koncentraci 1000 µg/l, došlo k nejvyššímu nárustu hmotnosti u rostlin ošetřených KAR 2 a k nejmenšímu nárustu došlo u rostlin ošetřených BUT 122. Při koncentraci 100 µg/l nejvíce vzrostla hmotnost u rostlin ošetřených BUT 121 a BUT 122, u rostlin ošetřených látkou BUT 108 se hmotnost oproti kontrole mírně snížila. Nejvyšší nárůst hmotnosti byl pozorován u látky BUT 108 s koncentrací 10 µg/l, kde se hmotnost oproti kontrole zvýšila o 17,39 %. Při této koncentraci došlo k nejmenšímu nárustu hmotnosti u rostlin mořených KAR 2 (viz obr. 13).



Obr. 13: Porovnání účinnosti látek na nárůst hmotnosti nadzemní biomasy ječmene

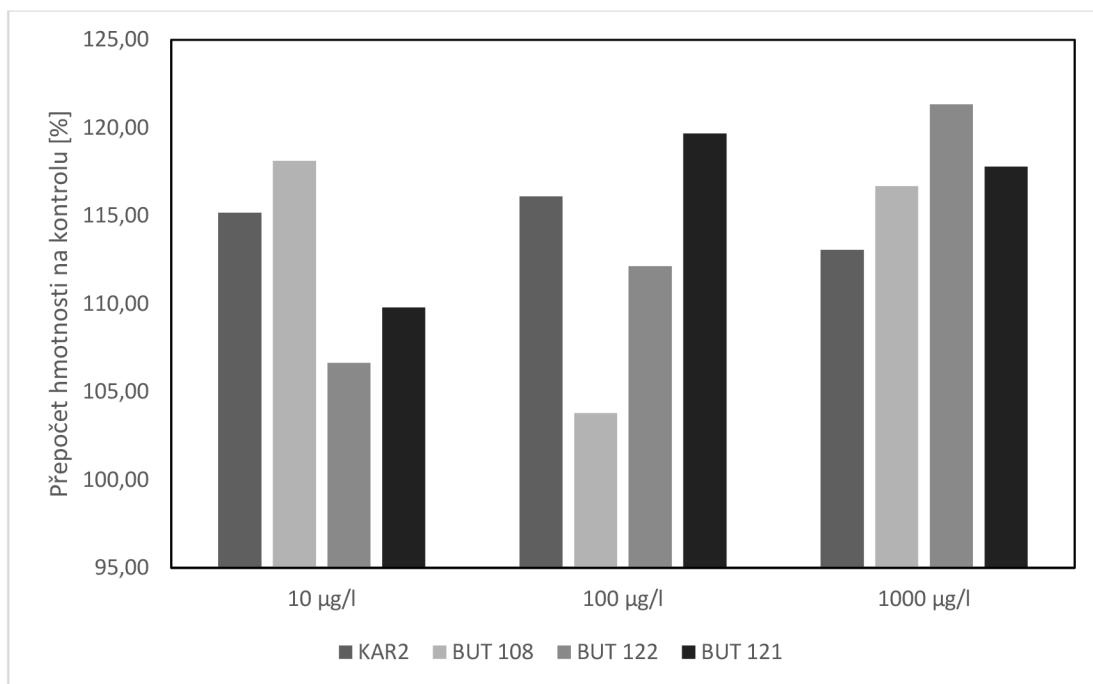
4.2.1.6 Vliv aplikace butenolidů na nárůst podzemní biomasy

U rostlin, ošetřených BUT 122 byl pozorovatelný lineární pokles hmotosti kořene se snižující se koncentrací. Naopak BUT 108 byl nejúčinnější při nejnižší koncentraci, při koncentraci 100 µg/l došlo k nejmenšímu nárůstu hmotnosti. Varianta o koncentraci 100 µg/l byla nejúčinnější u látek KAR 2 a BUT 121 (viz obr. 14).



Obr. 14: Porovnání účinnosti koncentrací látek na nárůst hmotnosti podzemní biomasy ječmene

U rostlin, které byly ošetřeny vybranými látkami o koncentraci 1000 µg/l došlo k nejvyššímu nárůstu hmotnosti kořene u ječmene mořeného BUT 122. K nejnižšímu nárůstu hmotnosti došlo k rostlin ošetřených KAR 2. Při koncentraci 100 µg/l byla nejúčinnější látka BUT 121 a nejméně účinná látka byla BUT 108. U rostlin, mořených látkami o koncentraci 10 µg/l došlo k nejvyššímu nárůstu hmotnosti s látkou BUT 108, a k nejmenšímu nárůstu u rostlin ošetřených BUT 122. Lze konstatovat, že účinnost butenolidů na nárůst kořenové biomasy byla výraznější u vyšší koncentrace (1000 µg/l), naopak nejnižší účinnost na tento sledovaný parametr byl u varianty 10 µg/l. Všechny varianty butenolidů ve všech koncentracích však překonali hmotnost kořenů neošetřené kontroly (viz. obr. 15).



Obr. 15: Porovnání účinnosti látek na nárůst hmotnosti podzemní biomasy ječmene

4.2.2 Vyhodnocení testu na vzcházení/ klíčení a rychlost vzcházení/ klíčení semen

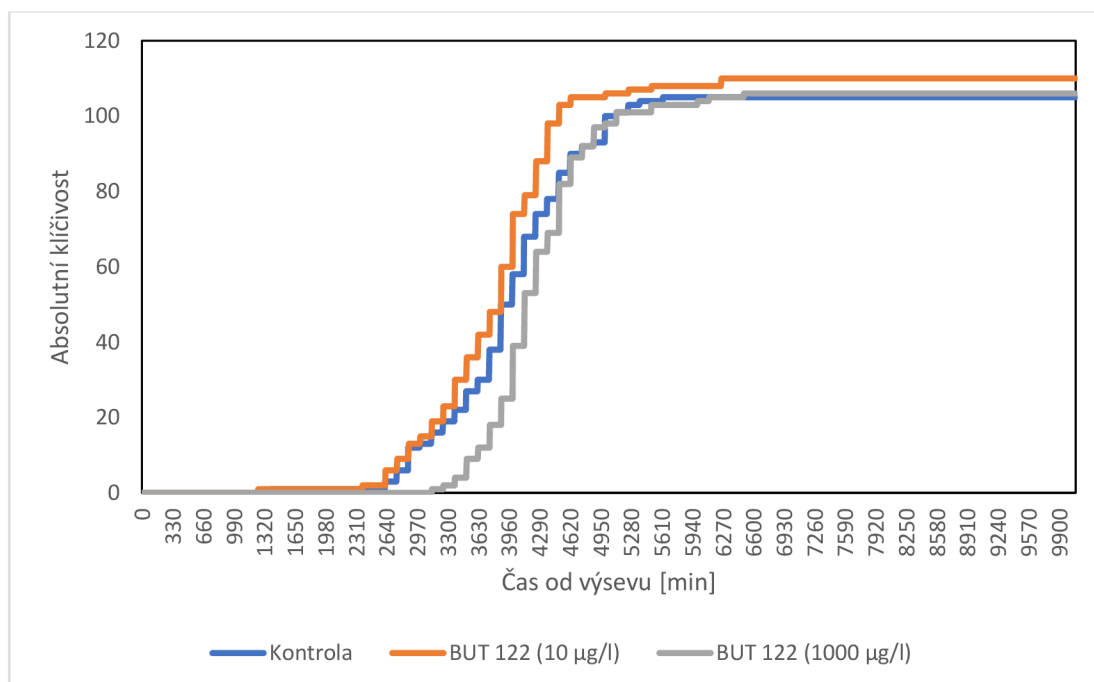
U většiny semen mořených vybranými butenolidy došlo ke zvýšení klíčivosti, rychlost klíčení se však oproti kontrole snížila. Zpomalení klíčení mohlo být způsobeno v důsledku investování energie do podzemní biomasy. Semena, která klíčila ve stresových podmínkách klíčila pomaleji než semena v ideálních podmínkách.

Flematti testoval biologickou aktivitu analogů KAR 1 na třech druzích salátů, (*Lactuca sativa L.*, *E. penduliflora* a *S. orbiculatum*) při vybraných koncentracích (1 µg/l, 10 µg/l, 100 µg/l a 1000 µg/l). Z výsledků byla pozorovatelná zvyšující se klíčivost semen po aplikaci analogů KAR 1 se zvyšující se koncentrací. Téměř u všech testovaných analogů došlo ke zvýšení klíčivosti semen (Flematti a kol., 2007). V bakalářské práci tuto závislost vykazovaly pouze BUT 108 v nestresových podmínkách a BUT 121 a BUT 108 ve stresových podmínkách. Ve zbylých případech tato závislost neplatí. Jedním z důvodů může být, že v práci není hodnocena laboratorní klíčivost, ale reálná vzcházevost.

Při aplikaci KAR 1 (10^{-7}) na semena kukuřice seté došlo k výraznému zvýšení procenta klíčivosti (o 12 %) oproti kontrole (van Staden a kol., 2006). Z výsledků v bakalářské práci je pozorovatelná zvýšená klíčivost u většiny semen ošetřených karrikiny.

4.2.2.1 Porovnání koncentrací BUT 122 (10 $\mu\text{g/l}$ a 1000 $\mu\text{g/l}$), varianta bez PEGu

Semena byla ošetřena butenolidem BUT 122 o koncentracích 10 a 1000 $\mu\text{g/l}$. Po aplikaci uvedených látek (viz. obr. 16) byla pozorována nejvyšší rychlost klíčení a zároveň i nejvyšší klíčivost u semen mořených butenolidem BUT 122 o koncentraci 10 $\mu\text{g/l}$. První semeno začalo klíčit v již v 1255. minutě, 50 % semen vyklíčilo v 3880. minutě a poslední semeno vyklíčilo v 6225. minutě. Celkově takto ošetřených semen vzešlo 110 ze 120 možných. Kontrolní semena začala klíčit v 1380. minutě, polovina semen vzešla v 4000. minutě, poslední semeno vyklíčilo v 5625. minutě. Kontrolních semen vzešlo 105. Semena mořená butenolidem BUT 122 o koncentraci 1000 $\mu\text{g/l}$ začala klíčit až v 3130. minutě, kdy, již bylo vyklíčeno 16 kontrolních rostlin, 50 % semen vyklíčilo v 4230. minutě. Poslední semeno vyklíčilo v 6500. minutě. Celkově vzešlo 106 semen.

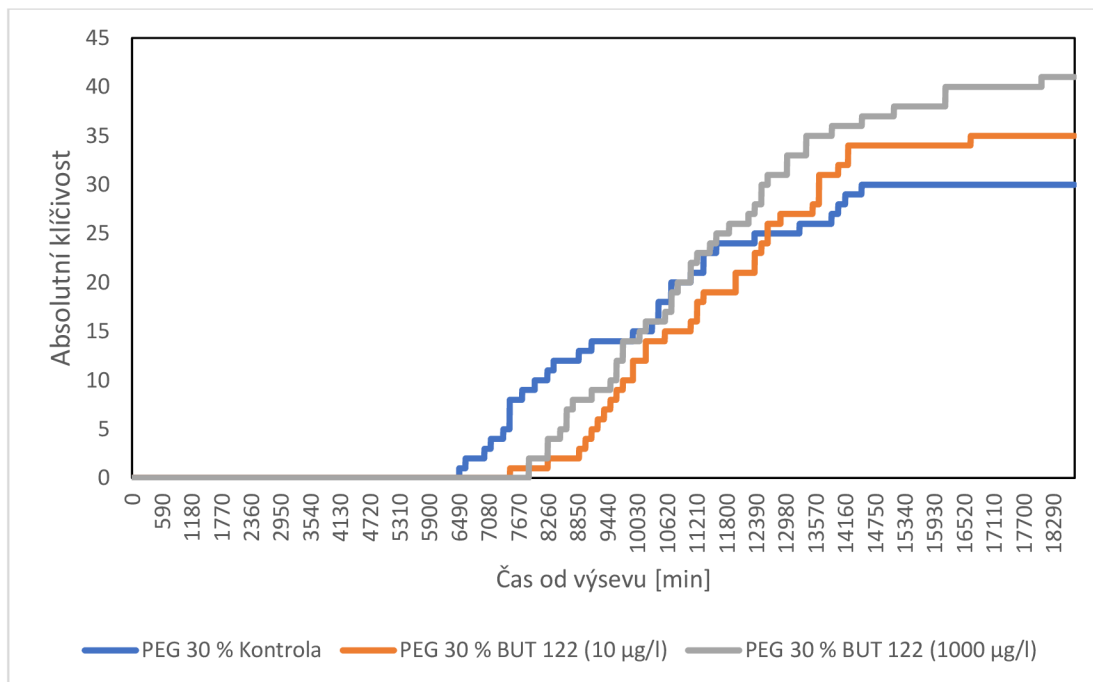


Obr. 16: Vzcházení/klíčení semen ječmene při ošetření BUT 122 o vybraných koncentracích

4.2.2.2 Porovnání koncentrací BUT 122 (10 µg/l a 1000 µg/l), varianta s PEGem

Semena byla ošetřena butenolidem BUT 122 o koncentracích 10 a 1000 µg/l. Nejvyšší rychlost vzcházení byla zaznamenána u kontrolních semen, kterých na konci testu vzešlo nejméně. Nejnižší rychlost vzcházení a nejvyšší počet vyklíčených semen měla semena ošetřená butenolidem o koncentraci 1000 µg/l. Je zde pozorovatelný pozitivní efekt vyšší koncentrace (viz obr. 17).

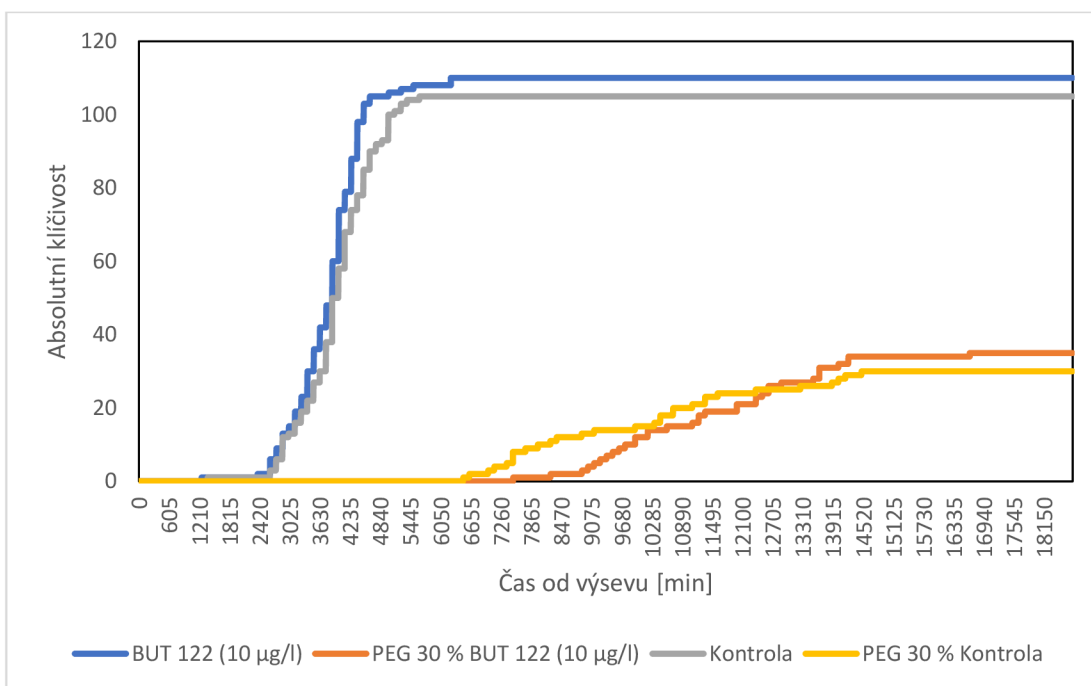
První kontrolní semeno vyklíčilo v 6500. minutě, 50 % semen vzešlo v 9945. minutě, poslední pak v 14490. minutě. Kontrolních semen vzešlo 30 ze 110 celkově možných. Semena ošetřená butenolidem o koncentraci 10 µg/l začala vzcházet v 7505, minutě, polovina semen vyklíčila v 11225. minutě. Poslední semeno vyklíčilo v 16660. minutě. Takto ošetřených semen vzešlo celkově 35. Semena ošetřená butenolidem o koncentraci 1000 µg/l začala vzcházet v 7880. minutě, polovina semen vyklíčila v 11095. minutě, poslední semeno vyklíčilo v 18065. minutě. Těchto semen vzešlo 41.



Obr. 17: Vzcházení/klíčení semen ječmene v 30% PEGu při ošetření BUT 122 o vybraných koncentracích

4.2.2.3 Porovnání účinku BUT 122 (10 µg/l) ve variantách s PEGem a bez PEGu

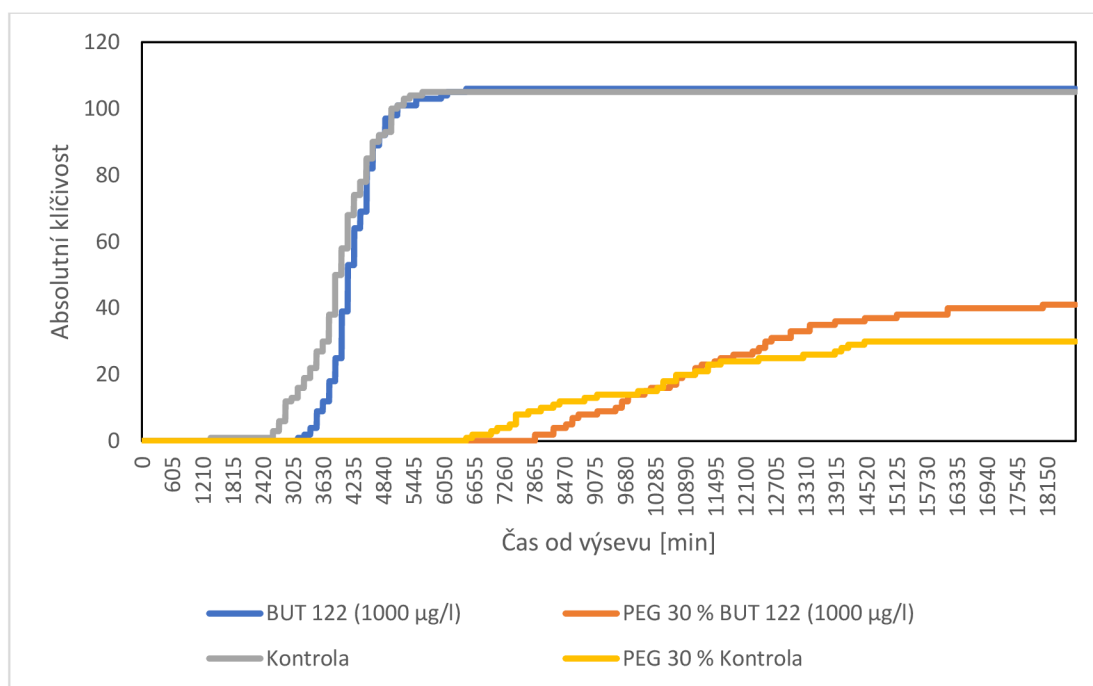
Semena mořená butenolidem BUT 122 o koncentraci 10 µg/l měla vyšší klíčivost než semena kontrolní. V obou variantách vyklíčilo o pět semen více oproti kontrole. Z grafu na obr. 18 vyplývá, že ošetřená semena ve variantě bez PEGu měla vyšší rychlost vzcházení oproti kontrole. Ve variantě s 30% PEGem byla vyšší rychlost vzcházení u neošetřených semen.



Obr. 18: Porovnání klíčivost semen ječmene při ošetření BUT 122 (10 µg/l) u variant s PEGem a bez PEGu

4.2.2.4 Porovnání účinku BUT 122 (1000 µg/l) ve variantách s PEGem a bez PEGu

U semen ošetřených butenolidem BUT 122 o koncentraci 1000 µg/l je pozorovatelný větší vliv u varianty s 30% PEGem, kde vzešlo o jedenáct semen více oproti kontrole. U varianty bez PEGu vzešlo pouze o jedno semeno více. Rychlost klíčení byla vyšší u kontrolních semen (viz obr. 19).



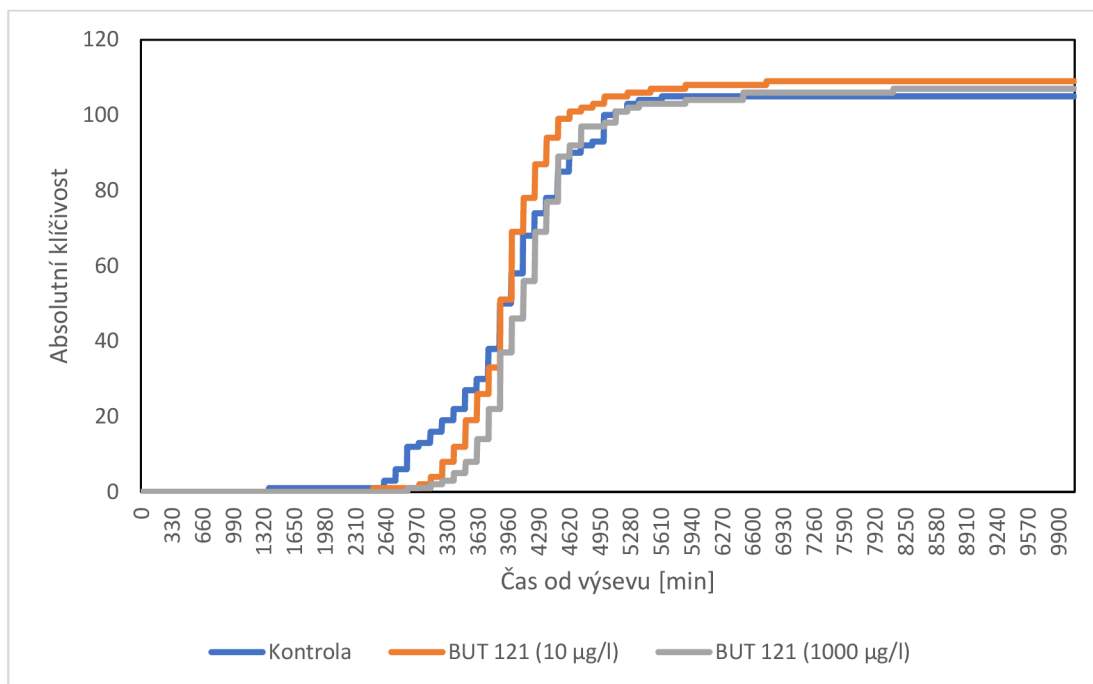
Obr. 19: Porovnání klíčivosti semen ječmene při ošetření BUT 122 (1000 µg/l) u variant s PEGem a bez PEGu

4.2.2.5 Porovnání koncentrací BUT 121 (10 µg/l a 1000 µg/l), varianta bez PEGu

Při moření semen butenolidem BUT 121 o koncentracích 10 a 1000 µg/l byla pozorována nejvyšší rychlost vzcházení u kontrolních semen. Aplikací uvedených látek bylo zjištěno, že nejvyšší klíčivost byla u semen ošetřených butenolidem BUT 121 o koncentraci 10 µg/l (viz. obr. 20).

První kontrolní semeno vyklíčilo v 1380. minutě, polovina semen vyklíčila v 4000. minutě a poslední semeno v 5625. minutě. Kontrolních semen vzešlo 105 ze 120 celkově možných. Následně vzcházela semena ošetřená butenolidem BUT 121 o koncentraci 10 µg/l, první klíčení bylo zaznamenáno v 2505. minutě, v 4005. minutě vzešlo 50 % semen. Klíčení posledního

semena bylo zaznamenáno v 6755. minutě. Těchto semen vzešlo 109. Semena mořená butenolidem BUT 121 o koncentraci 1000 $\mu\text{g/l}$ začala klíčit jako poslední a to v 2880. minutě, 50 % semen vyklíčilo v 4130. minutě, poslední semeno vzešlo v 8125. minutě, celkově vzešlo jich 107.



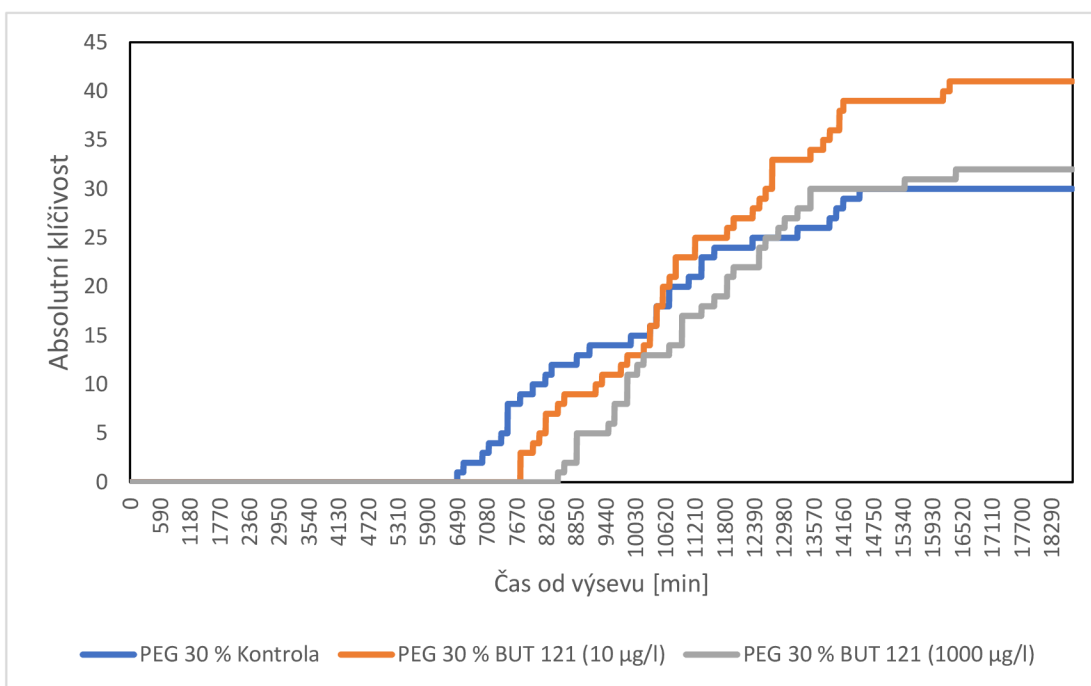
Obr. 20: Vzcházení/klíčení semen ječmene při ošetření BUT 121 o vybraných koncentracích

4.2.2.6 Porovnání koncentrací BUT 121 (10 $\mu\text{g/l}$ a 1000 $\mu\text{g/l}$), varianta s PEGem

Semena byla mořena butenolidem BUT 121 o koncentraci 10 a 1000 $\mu\text{g/l}$. Nejvyšší rychlost vzcházení byla pozorována u kontrolních semen, kterých ale na konec testu vzešlo nejméně. Nejvíce vzešlo semen ošetřených butenolidem o koncentraci 10 $\mu\text{g/l}$. Bylo zjištěno, že i když varianty ošetřené butenolidem BUT 121 vzcházeli pomaleji, postupně však byl počet vzejitých rostlin vyšší než u neošetřených kontrolních semen. Nižší koncentrace butenolidu BUT 121 (10 $\mu\text{g/l}$), se jevila jako více stimulující klíčení rostlin ve stresových podmínkách (viz obr. 21). V tomto případě nebyl pozorován pozitivní efekt vyšší koncentrace.

První kontrolní semeno vyklíčilo v 6500. minutě, 50 % semen vzešlo v 9945. minutě, poslední pak v 14490. minutě. Kontrolních semen vzešlo

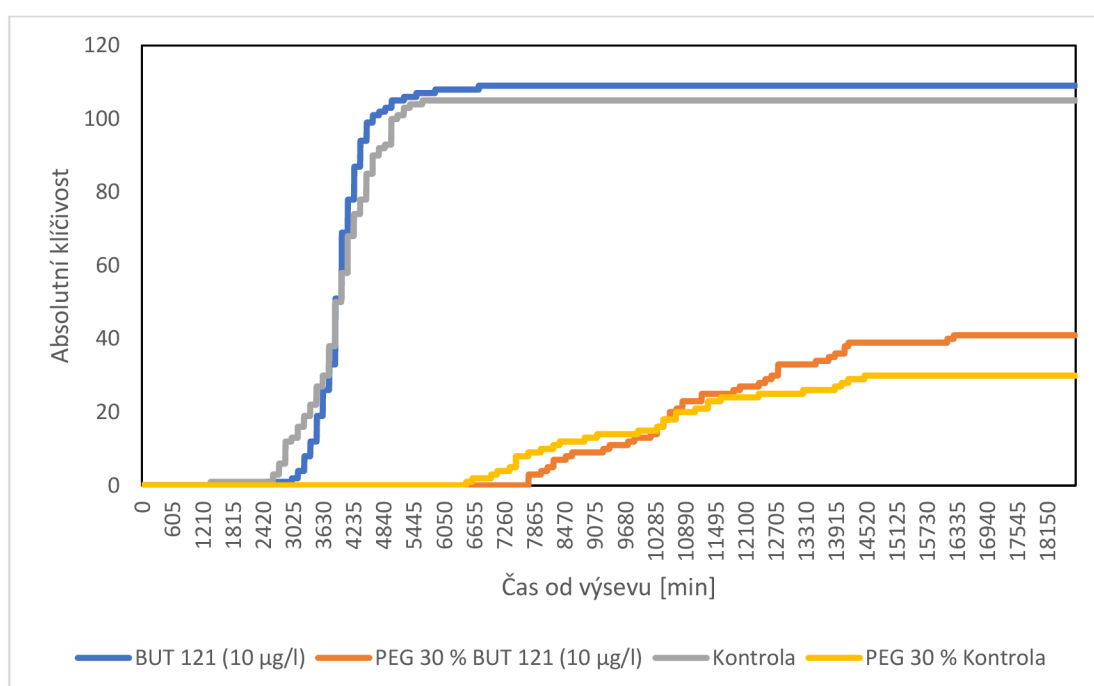
30 ze 110 celkově možných. Nevíce vzešlo semen ošetřených butenolidem o koncentraci 10 µg/l a to 41. První semeno vzešlo v 7755. minutě, polovina semen vzešla v 10715. minutě, poslední vyklíčilo 16280. v minutě. První semeno ošetřené butenolidem BUT 121 o koncentraci 1000 µg/l vzešlo v 8500 minutě, 50 % semen vyklíčilo v 10965. minutě, poslední vzešlo v 16405. minutě. Takto ošetřených semen vyklíčilo 32.



Obr. 21: Vzházení/klíčení v 30% PEGu při ošetření semen ječmene BUT 121 o vybraných koncentracích

4.2.2.7 Porovnání účinku BUT 121 (10 µg/l) ve variantách s PEGem a bez PEGu

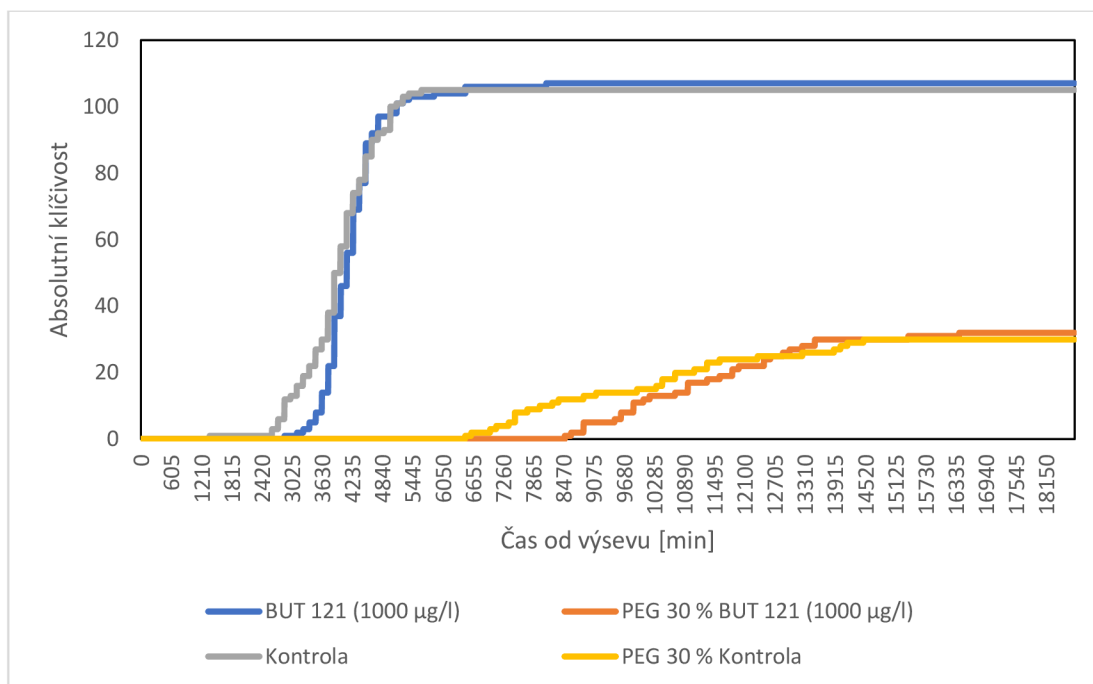
Z grafu na obr. 22 je patrné, že se projevila vyšší klíčivost při použití butenolidu BUT 121 o koncentraci 10 µg/l na semena s 30% PEGem. Těchto semen vzešlo o 11 více než semen kontrolních. Při moření semen bez PEGu došlo k vyšší klíčivosti než kontrola, vyklíčilo však pouze o čtyři semena více oproti kontrolním rostlinám. Rychlost klíčení byla u obou variant při moření semen nižší.



Obr. 22: Porovnání klíčivosti semen ječmene při ošetření BUT 121 (10 µg/l) u variant s PEGem a bez PEGu

4.2.2.8 Porovnání účinku BUT 121 (1000 µg/l) ve variantách s PEGem a bez PEGu

Při moření semen butenolidem BUT 121 o koncentraci 1000 µg/l došlo pouze k mírnému zvýšení klíčivosti v obou variantách. U obou variant vzešla o dvě semena více oproti kontrole. Rychlost vzcházení byla vyšší u kontrolních semen (viz obr. 23).

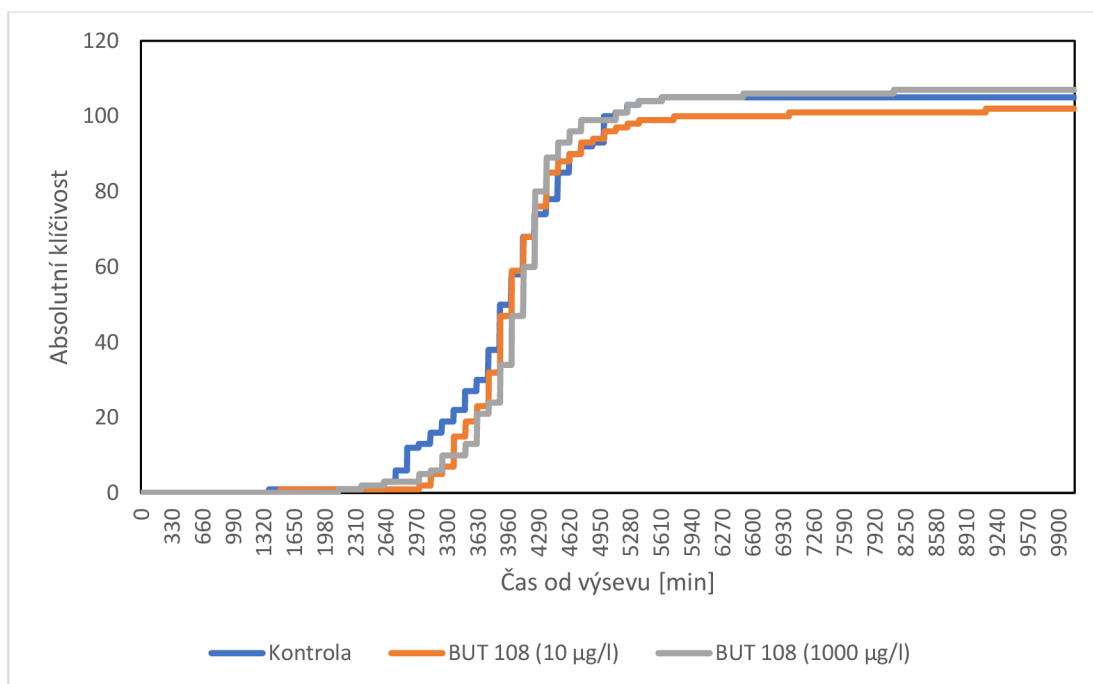


Obr. 23: Porovnání klíčivosti semen ječmene při ošetření BUT 121 (1000 µg/l) u variant s PEGem a bez PEGu

4.2.2.9 Porovnání koncentrací BUT 108 (10 µg/l a 1000 µg/l), varianta bez PEGu

Semena byla mořena butenolidem BUT 108 o koncentracích 10 a 1000 µg/l. Nejvyšší rychlost vzcházení měla kontrolní semena, nejvyšší klíčivost měla semena ošetřena butenolidem BUT 108 o koncentraci 1000 µg/l. Semena ošetřená butenolidem o koncentraci 10 µg/l měla nižší klíčivost než kontrolní semena (viz obr. 24).

Kontrolní semena začala klíčit v 1380. minutě, polovina semen vzešla v 4000. minutě a poslední semeno vyklíčilo v 5625. minutě. Kontrolních semen vzešlo 105 ze 120 celkově možných. Semen ošetřených BUT 108 o koncentraci 1000 µg/l vyklíčilo 107. Semena začala klíčit v 2130. minutě, 50% semen vyklíčilo v 4130. minutě, poslední semeno vyklíčilo v 8130. minutě. Semen ošetřených BUT 108 o koncentraci 10 µg/l vzešlo celkově pouhých 102. První semeno vyklíčilo v 1505. minutě, polovina semen vyklíčila v 4005. minutě, poslední semeno vzešlo v 9125. minutě.

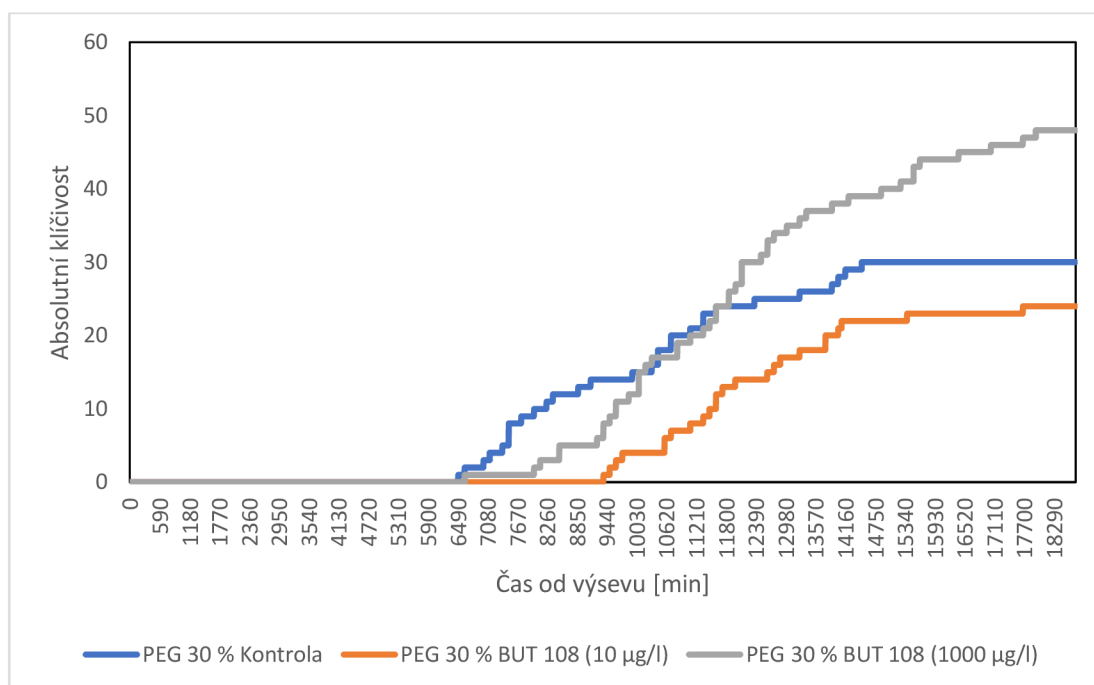


Obr. 24: Vzcházení/klíčení semen ječmene při ošetření BUT 108 o vybraných koncentracích

4.2.2.10 Porovnání koncentrací BUT 108 (10 µg/l a 1000 µg/l), varianta s PEGem

Semena byla mořena butenolidem BUT 108 o koncentracích 10 a 1000 µg/l. Z grafu na obr. 25 byla pozorována nejvyšší vzcházivost semen ošetřených butenolidem o koncentraci 1000 µg/l. Nejvyšší rychlost vzcházení byla zaznamenána u kontrolních semen. Průběh klíčení byl zde odlišný oproti butenolidu BUT 121. Vyšší koncentrace butenolidu BUT 108 (1000 µg/l), se jevila jako více stimulující klíčení rostlin ve stresových podmínkách. Zde je tedy pozorovatelný pozitivní efekt vyšší koncentrace.

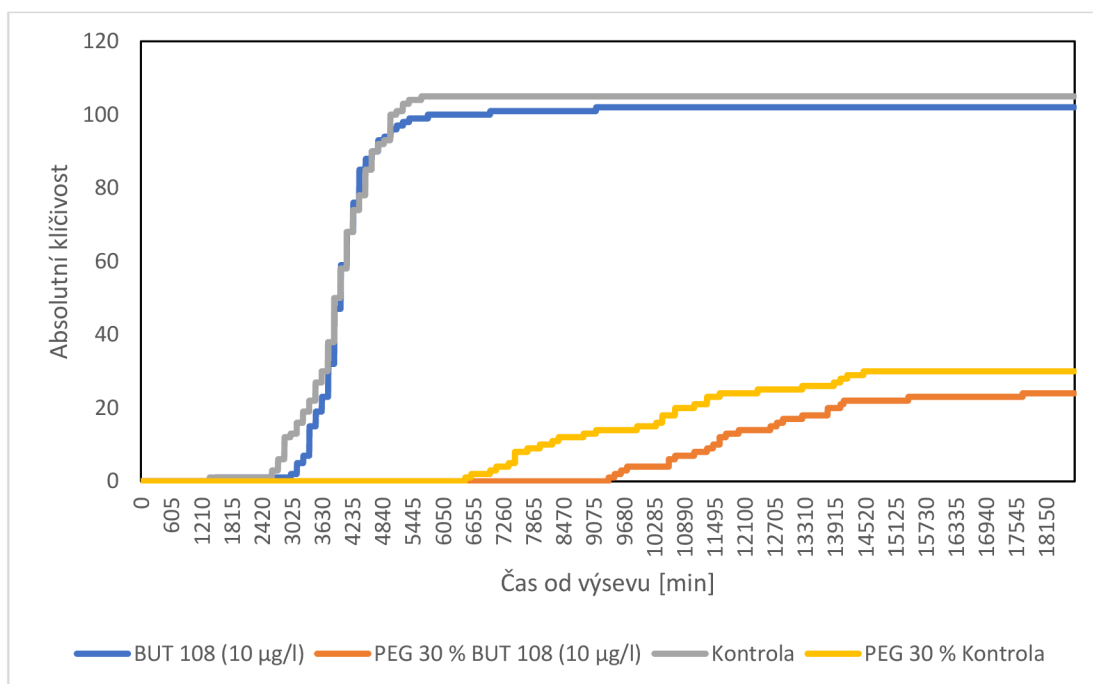
První kontrolní semeno vyklíčilo v 6500. minutě, 50 % semen vzešlo v 9945. minutě, poslední pak v 14490. minutě. Kontrolních semen vzešlo 30 ze 110 celkově možných. První semeno ošetřené butenolidem o koncentraci 10 µg/l vzešlo v 9375. minutě, 50 % semen vzešlo v 11605. minutě, poslední pak v 17680. minutě. Takto ošetřených semen celkem vzešlo 24. Semena ošetřena butenolidem o koncentraci 1000 µg/l začala vzcházet v 6630. minutě. Polovina semen vzešla v 11605. minutě, Poslední semeno vyklíčilo v 17935. minutě. Celkově vyklíčilo 48 semen.



Obr. 25: Vzcházení/klíčení semen ječmene v 30% PEGu při ošetření BUT 108 o vybraných koncentracích

4.2.2.11 Porovnání účinku BUT 108 (10 µg/l) ve variantách s PEGem a bez PEGu

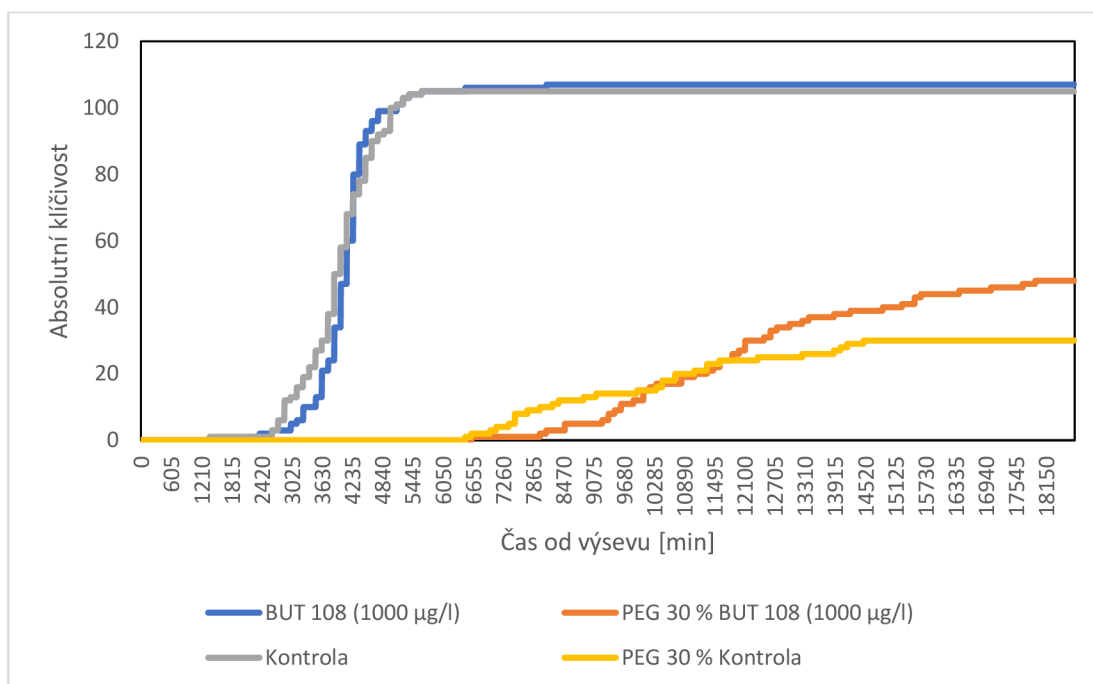
Semena mořená butenolidem BUT 108 o koncentraci 10 µg/l měla v obou variantách nižší klíčivost oproti kontrolním semenům. Ve variantě bez PEGu vzešlo ošetřených semen o tři méně oproti kontrole. Ve variantě s 30% PEGem vzešlo o šest semen méně. Kontrolní semena měla vyšší rychlost vzcházení oproti ošetřeným semenům (viz obr. 26).



Obr. 26: Porovnání klíčivost semen ječmene při ošetření BUT 108 (10 µg/l) u variant s PEGem a bez PEGu

4.2.2.12 Porovnání účinku BUT 108 (1000 µg/l) ve variantách s PEGem a bez PEGu

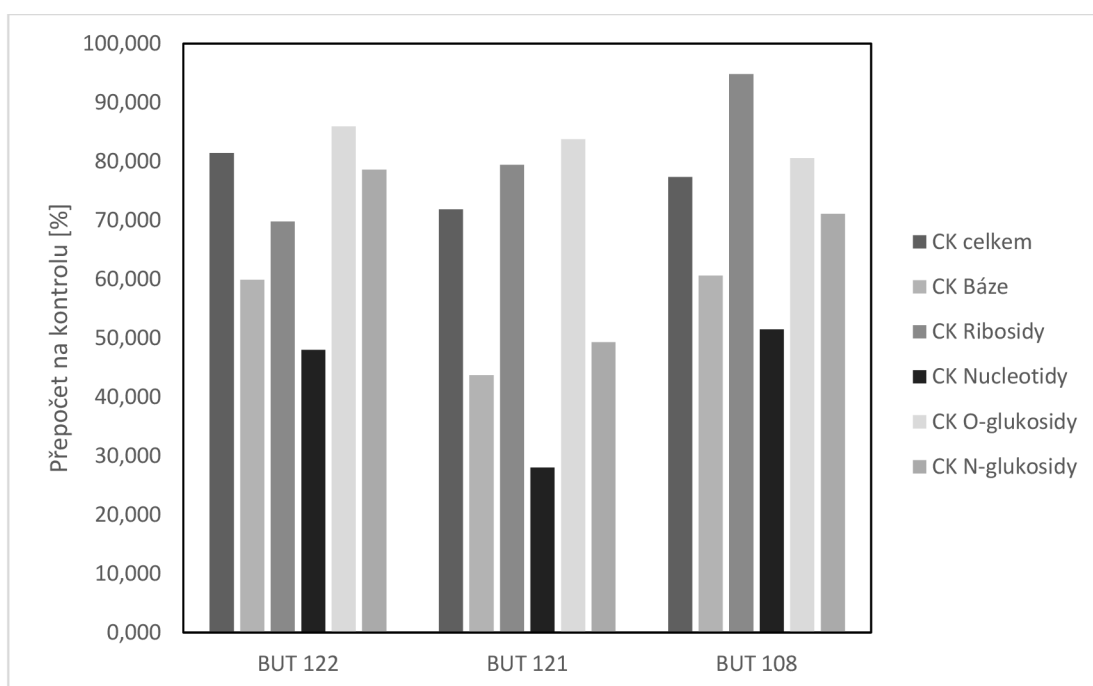
Při ošetření semen butenolidem BUT 108 o koncentraci 1000 µg/l je pozorovatelný velký vliv na variantu s 30% PEGem, při níž došlo k navýšení klíčivosti o 18 semen. U varianty bez PEGu došlo ke zvýšení klíčivosti, vzešlo o dvě semena více oproti kontrole. Rychlost vzcházení je vyšší u kontrolních semen (viz obr. 27).



Obr. 27: Porovnání klíčivosti semen ječmene při ošetření BUT 108 (1000 µg/l) u variant s PEGem a bez PEGu

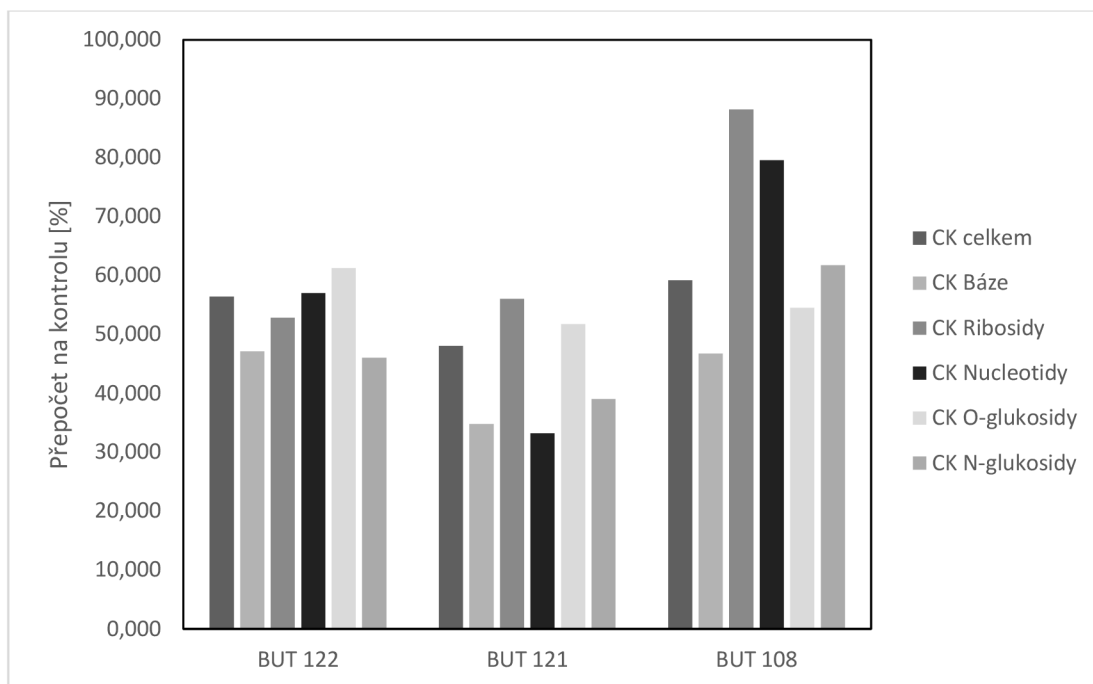
4.2.3 Analýza cytokininů

Provedenou analýzou listů bylo zjištěno, že obsah cytokininů v listech u rostlin mořených butenolidy se oproti kontrole snížil. K největšímu poklesu cytokininů došlo u rostlin ošetřených butenolidem BUT 121. Oproti kontrole se nejvíce snížila hladina CK nukleotidů a poté CK bází. (viz. obr. 28)



Obr. 28: Obsah cytokinů v nadzemní biomase při ošetření butenolidy

Dále byla provedena analýza kořenů. I zde došlo k poklesu cytokininů u kořenů ječmene ošetřených butenolidy. U BUT 122 došlo k největšímu poklesu cytokininů s volnými bázemi a CK N–glukosidů (viz obr. 29). U BUT 121 nejvíce poklesla koncentrace CK bází a CK nukleotidy. U rostlin ošetřených BUT 108 došlo k největšímu úbytku cytokininů s volnými bázemi a CK O–glukosidů.



Obr. 29: Obsah cytokinů v podzemní biomase při ošetření butenolidy

4.2.4 Analýza karrikinů

Při analýze byl obsah KAR 1 a KAR 2 pod limitem detekce (viz tab. 14). Možným vysvětlením je, že se KAR ve vzorcích nenacházely, protože došlo k jejich metabolizaci rostlinou. Další možností může být krátká doba moření osiva, nebo nutnost uchovávat vzorky v médiu s KAR.

Tab. 14: Analýza karrikinů v ječmeni jarním

Vzorek			KAR 1	KAR 2
Kontrola	listy	+PEG	<LOD	<LOD
		-PEG	<LOD	<LOD
	kořeny	+PEG	<LOD	<LOD
		-PEG	<LOD	<LOD
Ošetření KAR 2	listy	+PEG	<LOD	<LOD
		-PEG	<LOD	<LOD
	kořeny	+PEG	<LOD	<LOD
		-PEG	<LOD	<LOD

5 Závěr

V práci byla vyhodnocena měření účinku čtyř vybraných butenolidů o zvolených koncentracích v maloparcelních polních pokusech, které probíhaly v letech 2014 až 2021 na ječmenu jarním a pšenici ozimé. Nejdůležitějšími parametry hodnocení byly výnos zrna, počet produktivních odnoží a hmotnost nadzemní a podzemní biomasy.

Aplikace butenolidů měla pozitivní vliv na formování odnoží. K nejvyššímu nárůstu odnoží došlo především u silných odnoží, čímž se zvýšila i hustota porostu a výnos zrna. Nejvyšší výnos zrna byl zaznamenán po aplikaci BUT 121 (50 µg/l) na ječmen, který dosáhl navýšení na 111,17 %. U této varianty došlo k výraznému průměrnému nárůstu počtu silných (114,29 %) a středních odnoží (111,45 %). U pšenice došlo k nejvyššímu nárůstu výnosu zrna u varianty BUT 122 (500 µg/l), který se zvýšil na 104,40 %. Ke snížení výnosu zrna došlo pouze po aplikaci BUT 122 (50 µg/l) na ječmen, který se mírně snížil na 98,45 %.

Dále v práci byla prezentována měření účinků vybraných látek o určitých koncentracích na ječmen v nádobových pokusech. Pozorovanými parametry byly nárůst a poměr nadzemní a podzemní biomasy, vzcháživost/klíčivost, rychlost vzcházení/klíčení a obsah cytokininů v ječmeni.

Při aplikaci butenolidů na ječmen, došlo ke zvýšení hmotnosti rostliny a k posunu poměru nadzemní a podzemní biomasy směrem k podpoře růstu kořenů. Nejvyšší posun byl sledován po moření semen BUT 122 (1000 µg/l). Byl pozorován pozitivní vliv zvyšující se koncentrace, kdy s vyšší koncentrací látek došlo ke zvýšení hodnoty podzemní biomasy na úkor biomasy nadzemní.

Při moření semen butenolidy došlo ke zvýšení vitality a vzcháživosti rostlin. Vzcháživost u variant bez PEGu se zvýšila po aplikaci všech vybraných látek kromě BUT 108 (10 µg/l), k nejvyšší vzcháživosti došlo u semen mořených BUT 121 (10 µg/l). Nárůst klíčivosti byl pozorovatelný i při stresových podmínkách. Nejvyšší klíčivost semen byla zachycena při aplikaci BUT 108 (1000 µg/l). Jediná látka, která snížila klíčivost byla BUT 108 (10 µg/l). Rychlost vzcházení se u většiny semen ječmene mořeného butenolidy snížila.

Po aplikaci butenolidů na ječmen došlo ke snížení cytokininů v nadzemní i podzemní biomase. U nadzemní biomasy došlo k největšímu poklesu CK nukleotidů, zatímco u podzemní biomasy byl největší pokles zaznamenán u CK volných bází, a CK nukleotidů.

Při analýze karrikinů nebylo možné stanovit jejich obsah v rostlině. Důvodem mohla být metabolizace karrikinů nebo nedostatečné máčení zrn v karrikinu.

Aplikace butenolidů měla pozitivní vliv na počáteční růst a vývoj ječmene i pšenice. Existuje reálná možnost využití těchto látek při vývoji přípravků na ošetření osiva pro následnou registraci v zemědělství.

6 Zdroje

- Agromanuál: Ječmen jarní. [online, cit. 10.4.2022] Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/atlas/plodiny/plodina/jecmen-jarni>
- Agromanuál: Základní hnojení pšenice ozimé. [online, cit. 10.4.2022] Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/zakladni-hnojeni-psenice-ozime>
- Antala, M., O. Sytar, A. Rastogi, a M. Brestic. (2020) Potential of Karrikins as Novel Plant Growth Regulators in Agriculture. *Plants–Basel* **9**.
- Brown, N. A. C., and J. van Staden. (1997) "Smoke as a germination cue: A review. *Plant Growth Regulation* **22**, 115–124.
- Chiwocha, S. D. S., K. W. Dixon, G. R. Flematti, E. L. Ghisalberti, D. J. Merritt, D. C. Nelson, J. A. M. Riseborough, S. M. Smith, a J. C. Stevens. (2009) Karrikins: A new family of plant growth regulators in smoke. *Plant Science* **177**, 252–256.
- Černý, L. (2007) Jarní sladovnický ječmen: pěstitelský rádce. pp. 4–9, Praha: Kurent.
- de Lange, J. H., a C. Boucher. (1990) Autecological studies on *Audouinia capitata* (*Bruniaceae*). I. Plant-derived smoke as a seed germination cue. *South African Journal of Botany* **56**, 700–703.
- Flematti, G. R., E. L. Ghisalberti, K. W. Dixon, a R. D. Trengove. (2004) A compound from smoke that promotes seed germination. *Science* **305**, 977–977.
- Flematti, G. R., E. L. Ghisalberti, K. W. Dixon, a R. D. Trengove. (2005) Synthesis of the seed germination stimulant 3-methyl-2H-furo 2,3-c pyran-2-one. *Tetrahedron Letters* **46**, 5719–5721.
- Flematti, G. R., E. D. Goddard-Borger, D. J. Merritt, E. L. Ghisalberti, K. W. Dixon, a R. D. Trengove. (2007) Preparation of 2H-furo 2,3-c pyran-2-one derivatives and evaluation of their germination-promoting activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **55**, 2189–2194.
- Flematti, G. R., A. Scaffidi, E. D. Goddard-Borger, C. H. Heath, D. C. Nelson, L. E. Commander, R. V. Stick, K. W. Dixon, S. M. Smith, a E. L. Ghisalberti. (2010) Structure–Activity Relationship of Karrikin Germination Stimulants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **58**, 8612–8617.

- Flematti, G. R., K. W. Dixon, a S. M. Smith. (2015) What are karrikins and how were they 'discovered' by plants? *Bmc Biology* **13**.
- Ghebrehiwot, H., M. Kulkarni, M. Bairu, a J. Van Staden. (2013) Plant–derived aerosol–smoke and smoke solutions influence agronomic performance of a traditional cereal crop, tef. *Experimental Agriculture* **49**, 244–255.
- Goddard–Borger, E. D., E. L. Ghisalberti, a R. V. Stick. (2007) Synthesis of the germination stimulant 3–methyl–2H–furo 2,3–c pyran–2–one and analogous compounds from carbohydrates. *European Journal of Organic Chemistry* **23**, 3925–3934.
- Gupta, S., J. Hrdlicka, N. Ngoroyemoto, N. K. Nemahunguni, T. Gucky, O. Novak, M. G. Kulkarni, K. Dolezal, a J. van Staden. (2020) Preparation and Standardisation of Smoke–Water for Seed Germination and Plant Growth Stimulation. *Journal of Plant Growth Regulation* **39**, 338–345.
- Hess, D. (1983) Fyziologie rostlin. Praha: Academia
- Hrdlička, J., T. Gucký, J. van Staden, O. Novák, a K. Doležal (2021). A stable isotope dilution method for a highly accurate analysis of karrikins. *Plant methods* **17**, 37.
- Iqbal, M., S. Asif, N. Ilyas, N. I. Raja, M. Hussain, S. Shabir, M. N. A. Faz, a A. Rauf. (2016) Effect of Plant Derived Smoke on Germination and Post Germination Expression of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *American Journal of Plant Sciences* **7**, 806–813.
- Kulkarni, M. G., S. G. Sparg, M. E. Light, a J. van Staden. (2006) Stimulation of rice (*Oryza sativa* L.) seedling vigour by smoke–water and butenolide. *Journal of Agronomy and Crop Science* **192**, 395–398.
- Kulkarni, M. G., M. E. Light, a J. van Staden. (2011) Plant–derived smoke: Old technology with possibilities for economic applications in agriculture and horticulture. *South African Journal of Botany* **77**, 972–979.
- Lachia, M., R. Fonne–Pfister, C. Screpanti, S. Rendine, P. Renold, D. Witmer, A. Lumbroso, E. Godineau, D. Hueber, a A. de Mesmaeker. (2018) New and Scalable Access to Karrikin (KAR(1)) and Evaluation of Its Potential Application on Corn Germination. *Helvetica Chimica Acta* **101**.
- Lhotská, M., Z. Kropáč. (1985) Kapesní atlas semen, plodů a klíčnicích rostlin. pp. 16–19, Praha: Státní pedagogické nakladatelství.

- Nelson, D. C., G. R. Flematti, J. A. Riseborough, E. L. Ghisalberti, K. W. Dixon, a S. M. Smith. (2010) Karrikins enhance light responses during germination and seedling development in *Arabidopsis thaliana*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **107**, 7095–7100.
- Nelson, D. C., G. R. Flematti, E. L. Ghisalberti, K. Dixon, a S. M. Smith. (2012) Regulation of Seed Germination and Seedling Growth by Chemical Signals from Burning Vegetation. *Annual Review of Plant Biology* **63**, 107–130.
- Pavlová, L., L. Fisher (2011) Růst a vývoj rostlin. pp. 96–98, Praha: Karolinum.
- Procházka, S., I. Macháčková, J. Krekule, J. Šebánek. (1998) Fyziologie rostlin. Praha: Academia.
- Reitschläger, J.D., B. Šerá, a L. Hájková (2014) Fenologické fáze zemědělských plodin ve vztahu k vědecko–výzkumné činnosti. pp. 64–70, Praha: Powerprint.
- Selgen: Pšenice ozimá. [online, cit. 10.4.2022] Dostupné z: <https://selgen.cz/agrotechnicka-doporuceni/psenice-ozima-agt/>
- Svačinová, J., O. Novák, L. Plačková, R. Lenobel, J. Holík, M. Strnad, a K. Doležal (2012) A new approach for cytokinin isolation from *Arabidopsis* tissues using miniaturized purification: pipette tip solid-phase extraction. *Plant Methods* **8**, 17.
- Šašková, D., V. Štolfa. (1993) Trávy a obilí. pp. 24–29, Praha: Artia.
- Ústřední Kontrolní a Zkušební Ústav Zemědělský: Databáze odrůd [online, cit. 12.4.2022]. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/app/sok/odrudyNouQF.do>
- van Staden, J., A. K. Jager, M. E. Light, a B. V. Burger. (2004) Isolation of the major germination cue from plant–derived smoke. *South African Journal of Botany* **70**, 654–659.
- van Staden, J., S. G. Sparg, M. G. Kulkarni, a M. E. Light. (2006) Post–germination effects of the smoke–derived compound 3–methyl–2H–furo 2,3–c pyran–2–one, and its potential as a preconditioning agent. *Field Crops Research* **98**, 98–105.
- Waters, M. T., A. Scaffidi, Y. M. K. Sun, G. R. Flematti, a S. M. Smith. (2014) The karrikin response system of *Arabidopsis*. *Plant Journal* **79**, 623–631.
- Zimolka, J. (2006) Ječmen: Formy a užitkové směry v České republice. pp. 37–45, Praha: Profi Press.

Zimolka, J. (2005) Pšenice: Pěstování, hodnocení a užití zrna. pp. 21, Praha:
Profi Press.

7 Přílohy

Tab. 15: Vyhodnocení účinku vybraných butenolidů na ječmeni jarním

Tab. 16: Vyhodnocení aplikace vybraných butenolidů na morfologii ječmene jarního

Tab. 17: Vyhodnocení aplikace vybraných butenolidů na pšenici ozimé

Tab. 18: Vyhodnocení aplikace vybraných butenolidů na morfologii pšenice ozimé

Tab. 19: Vyhodnocení hmotnosti ječmene jarního po aplikaci vybraných butenolidů o určitých koncentracích

Tab. 20: Analýza nadzemní biomasy ječmene jarního na obsah cytokininů po aplikaci KAR

Tab. 21: Analýza podzemní biomasy ječmene jarního na obsah cytokininů po aplikaci KAR

Tab. 15: Vyhodnocení účinku vybraných butenolidů na ječmeni jarním

Rok	Podlína	Odrůda	Lokality	Varianty - létky	Konzentrace	Forma aplikace	Výnos zrna (t/ha)	% na kontrole	T-test	Výška porostu (cm)	% na kontrole	T-test	počet klasů na m ²	% na kontrole	T-test	počet zrn v klasu	% na kontrole	T-test	HTZ (g)	% na kontrole	% klíčivosti biomasa	% Podzemní biomasa	
2014	Ječmen jarní	Francin	Olomouc	Kontrola			7,65	100,00	-	79,70	100,00	-	700,40	100,00	-	23,49	100,00	-	45,85	100,00	7,76	92,24	
2016	Ječmen jarní	Francin	Kujavy					8,58	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73,98	26,02
2016	Ječmen jarní	Francin	Olomouc					7,64	100,00	-	72,00	100,00	-	655,20	100,00	-	23,55	100,00	-	46,21	100,00	82,21	17,79
2018	Ječmen jarní	Francin	Olomouc					8,53	100,00	-	69,60	100,00	-	174,40	100,00	-	-	-	-	49,12	100,00	-	-
2019	Ječmen jarní	Francin	Olomouc					8,52	100,00	-	83,60	100,00	-	913,60	100,00	-	-	-	-	43,70	100,00	-	-
2020	Ječmen jarní	Francin	Olomouc					8,70	100,00	-	73,33	100,00	-	697,33	100,00	-	-	-	-	40,43	100,00	11,68	88,32
2020	Ječmen jarní	Francin	Olomouc					8,70	100,00	-	73,33	100,00	-	697,33	100,00	-	-	-	-	40,43	100,00	11,68	88,32
2021	Ječmen jarní							9,59	100,00	-	73,60	-	-	844,00	-	-	-	-	-	48,62	-	79,94	20,06
2021	Ječmen jarní							9,79	100,00	-	73,57	-	-	709,14	-	-	-	-	-	46,55	100,00	80,85	19,15
Průměr							8,63	100,00	-	74,84	100,00	-	673,93	100,00	-	23,52	100,00	-	45,14	100,00	49,73	50,27	
2014	Ječmen jarní	Bojos	Olomouc		BUT 122 (50 µg/l) moření			7,53	98,45	0,92	81,50	102,26	0,60	704,80	100,63	-	23,60	100,48	0,87	47,58	103,77	8,92	91,08
2016	Ječmen jarní	Francin	Olomouc	BUT 122 (500 µg/l) moření			8,32	108,88	0,38	73,20	101,67	0,70	652,00	99,51	0,95	-	-	-	48,61	105,19	83,06	16,94	
2019	Ječmen jarní	Francin	Olomouc					8,85	103,90	0,31	83,00	99,28	0,59	892,80	97,72	0,66	-	-	-	42,68	97,67	-	-
2021	Ječmen jarní							9,70	101,14	0,55	74,60	101,36	-	747,20	88,53	-	-	-	46,50	99,89	85,97	14,03	
Průměr							8,96	104,64	-	76,93	100,77	-	764,00	95,26	-	-	-	-	45,93	100,92	84,52	15,48	
2014	Ječmen jarní	Bojos	Olomouc	BUT 121 (50 µg/l) moření			8,51	111,17	0,38	82,10	103,01	0,35	812,40	115,99	-	23,31	99,25	0,81	45,95	100,22	6,48	93,52	
2014	Ječmen jarní	Bojos	Olomouc	BUT 121 (500 µg/l) moření			8,25	107,80	0,57	80,90	101,51	0,72	771,60	110,17	-	23,42	99,70	0,93	47,08	102,68	6,95	93,05	
2016	Ječmen jarní	Francin	Kujavy					8,77	102,23	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73,95	26,05	
2016	Ječmen jarní	Francin	Olomouc					7,92	103,75	0,64	75,00	104,17	0,44	660,80	100,85	0,92	-	-	-	48,39	104,72	82,80	17,20
2016	Ječmen jarní	Francin	Olomouc					8,51	111,44	0,35	75,00	104,17	0,43	652,80	99,63	0,95	-	-	-	48,24	104,39	83,52	16,48
2018	Ječmen jarní	Francin	Olomouc					9,06	106,23	0,14	68,80	100,00	0,42	156,40	88,46	0,28	-	-	-	48,49	98,72	-	-
2020	Ječmen jarní	Francin	Olomouc					9,28	106,75	0,02	71,60	97,64	0,39	628,80	90,17	0,35	-	-	-	37,10	91,76	10,60	89,40
2021	Ječmen jarní							9,41	98,15	0,46	73,80	100,27	0,54	816,00	96,68	0,71	-	-	-	47,46	101,95	83,19	16,81
Průměr							8,74	105,19	-	74,18	101,29	-	614,40	97,66	-	-	-	-	46,13	100,70	56,83	43,17	
2018	Ječmen jarní	Francin	Olomouc	BUT 108 (500 µg/l) moření			9,01	105,66	0,16	68,80	98,85	0,52	176,80	99,55	0,78	-	-	-	50,39	102,59	-	-	
2019	Ječmen jarní	Francin	Olomouc					8,69	101,97	0,77	83,40	99,76	0,84	924,00	101,14	0,87	-	-	-	43,74	100,09	-	-
2021	Ječmen jarní							9,62	100,35	0,56	74,80	101,63	0,69	791,20	93,74	0,49	-	-	-	47,82	102,72	77,90	22,10
Průměr							9,11	102,66	-	75,67	100,08	-	630,67	96,14	-	-	-	-	47,32	101,80	77,90	22,10	
2014	Ječmen jarní	Bojos	Olomouc	BUT 106 (500 µg/l) moření			7,73	100,97	0,94	79,60	99,87	0,97	770,00	109,94	0,06	24,21	103,05	0,29	45,45	99,13	7,32	92,68	
2016	Ječmen jarní	Francin	Olomouc					8,04	105,30	0,56	74,20	103,06	0,65	708,80	108,18	0,35	-	-	-	47,85	103,55	84,44	15,56
2019	Ječmen jarní	Francin	Olomouc					8,73	102,48	0,53	83,80	100,24	0,94	891,00	97,53	0,30	-	-	-	42,36	96,93	-	-
Průměr							8,17	102,91	-	79,20	101,06	-	789,93	105,21	-	24,21	103,05	-	45,22	99,87	45,88	54,12	

Pozn.: Statisticky průkazným rozdílu $p \leq 0,05$ [■] a $p \leq 0,01$ [■].

Tab. 16: Vyhodnocení aplikace vybraných butenolidů na morfologii ječmene jarního

Rok	Podina	Odrůda	Lokalita	Verzina látky	Koncentrace	Forma aplikace	Hodnocení vzhledu porostu v odnožování (v BBCH 21-23)															Hodnocení odnoží ve sloupkování (v BBCH 33-36)														
							Počet listů			Počet odnoží			Hmot. listů			Hmot. kořene			Hmot. rostliny			Silné odnože			Slabé odnože			Odnose CELKEM								
							k na %	Třest	Třest	k na %	Třest	Třest	k na %	Třest	Třest	k na %	Třest	Třest	k na %	Třest	Třest	% na K	Třest	% na K	Třest	% na K	Třest	Třest	% na K	Třest	Třest					
2014	Ječmen jarní	Francin	Olomouc				10,22	100,00	-	3,76	100,00	-	0,15	100,00	-	1,81	100,00	-	1,96	100,00	-	2,88	100,00	-	0,88	100,00	-	0,85	100,00	-	4,61	100,00	-			
2016	Ječmen jarní	Francin	Kujavy				-	-	-	-	-	-	0,71	100,00	-	0,25	100,00	-	0,96	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
2016	Ječmen jarní	Francin	Olomouc				9,10	100,00	-	3,30	100,00	-	0,81	100,00	-	0,18	99,98	-	0,99	100,00	-	2,70	100,00	-	1,43	100,00	-	1,70	100,00	-	5,83	100,00	-			
2018	Ječmen jarní	Francin	Olomouc				11,60	100,00	-	3,50	100,00	-	-	-	-	-	-	-	2,07	100,00	-	0,85	100,00	-	1,75	100,00	-	1,20	100,00	-	3,80	100,00	-			
2019	Ječmen jarní	Francin	Olomouc				10,87	100,00	-	4,53	100,00	-	-	-	-	-	-	-	1,40	100,00	-	1,90	100,00	-	1,75	100,00	-	2,35	100,00	-	6,00	100,00	-			
2020	Ječmen jarní	Francin	Olomouc				7,70	100,00	-	3,33	100,00	-	0,11	100,00	-	0,85	100,00	-	0,97	100,00	-	3,40	100,00	-	0,35	100,00	-	2,50	100,00	-	6,25	100,00	-			
2020	Ječmen jarní	Francin	Olomouc				7,70	100,00	-	3,33	100,00	-	0,11	100,00	-	0,85	100,00	-	0,97	100,00	-	3,40	100,00	-	0,35	100,00	-	2,50	100,00	-	6,25	100,00	-			
2021	Ječmen jarní						3,96	100,00	-	11,64	100,00	-	0,86	100,00	-	0,22	100,00	-	1,07	100,00	-	2,70	100,00	-	1,40	100,00	-	0,75	100,00	-	4,85	100,00	-			
2021	Ječmen jarní						4,48	100,00	-	12,44	-	100,00	0,99	100,00	-	0,23	100,00	-	1,22	100,00	-	2,50	100,00	-	2,00	100,00	-	2,05	100,00	-	6,55	100,00	-			
							8,20	100,00	-	5,73	100,00	-	0,54	100,00	-	0,63	100,00	-	1,29	100,00	-	2,54	100,00	-	1,24	100,00	-	1,74	100,00	-	5,52	100,00	-			
2014	Ječmen jarní	Bojos	Olomouc	BUT 122 (50 µg/l) moření			8,47	82,83	0,00	3,11	82,84	0,02	0,16	102,92	0,76	1,60	88,50	0,04	1,76	89,62	0,06	3,40	118,00	0,01	0,72	81,31	0,23	0,92	108,17	0,64	5,03	109,18	0,11			
2016	Ječmen jarní	Francin	Olomouc	BUT 122 (500 µg/l) moření			12,60	138,46	0,00	4,30	130,30	0,00	1,15	142,08	0,00	0,24	133,94	0,00	1,39	140,63	0,00	3,20	118,52	0,41	1,97	137,21	0,43	1,27	74,51	0,38	6,43	110,29	0,53			
2019	Ječmen jarní	Francin	Olomouc	BUT 122 (500 µg/l) moření			11,87	109,20	0,35	4,13	91,18	0,39	-	-	-	-	-	-	1,46	103,94	0,73	3,20	168,42	0,00	1,70	97,14	0,90	1,45	61,70	0,01	6,35	105,83	0,52			
2021	Ječmen jarní						4,12	104,04	0,55	13,64	117,18	0,03	1,28	149,53	0,00	0,21	97,22	0,80	1,49	139,04	0,00	3,80	140,74	0,00	1,40	100,00	1,00	1,25	166,67	0,06	6,45	132,99	0,00			
							9,53	117,23	-	7,36	112,89	-	1,22	145,81	-	0,22	115,58	-	1,45	127,87	-	3,40	142,56	-	1,69	111,45	-	1,32	100,96	-	6,41	116,37	-			
2014	Ječmen jarní	Bojos	Olomouc	BUT 121 (50 µg/l) moření			10,80	105,65	0,48	3,62	96,45	0,68	0,14	91,09	0,31	2,00	110,67	0,17	2,14	109,15	0,22	3,29	114,29	0,09	0,98	111,51	0,46	0,90	105,79	0,74	5,17	112,20	0,04			
2014	Ječmen jarní	Bojos	Olomouc				11,75	114,95	0,01	4,18	111,35	0,15	0,17	111,23	0,18	2,27	125,46	0,00	2,44	124,36	0,00	3,54	122,94	0,02	0,54	61,54	0,01	1,05	124,00	0,18	5,14	111,40	0,05			
2016	Ječmen jarní	Francin	Kujavy				-	-	-	-	-	-	0,93	131,10	0,00	0,33	131,31	0,00	1,26	131,16	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
2016	Ječmen jarní	Francin	Olomouc				10,77	118,32	0,02	3,63	110,10	0,06	0,99	122,33	0,00	0,21	117,44	0,00	1,20	121,46	0,04	2,70	100,00	1,00	1,90	132,56	0,26	2,13	125,49	0,77	6,73	115,43	0,25			
2016	Ječmen jarní	Francin	Olomouc	BUT 121 (500 µg/l) moření			11,47	126,01	0,00	4,03	122,22	0,00	1,22	149,75	0,00	0,24	136,60	0,00	1,46	147,41	0,00	2,63	97,53	0,03	1,50	104,65	0,01	1,80	105,88	0,04	5,93	101,71	0,06			
2018	Ječmen jarní	Francin	Olomouc				13,40	148,89	0,00	4,27	142,22	0,02	-	-	-	-	-	-	2,96	187,64	0,00	1,00	117,65	0,60	2,15	122,86	0,08	1,05	87,50	0,56	4,20	110,53	0,24			
2020	Ječmen jarní	Francin	Olomouc				7,70	100,00	1,00	3,33	100,00	1,00	0,10	84,83	0,11	0,81	94,69	0,47	0,90	93,54	0,36	3,73	109,80	0,33	0,73	209,52	0,09	1,93	77,33	0,20	6,40	102,40	0,79			
2021	Ječmen jarní						3,76	94,95	0,45	13,20	113,40	0,12	1,12	129,93	0,01	0,23	104,64	0,71	1,34	124,86	0,03	3,60	133,33	0,04	1,25	89,29	0,70	0,75	100,00	1,00	5,60	115,46	0,24			
							9,81	117,18	-	5,44	116,55	-	0,75	121,53	-	0,68	118,36	-	1,65	132,92	-	2,87	113,54	-	1,35	120,07	-	1,45	103,37	-	5,67	109,49	-			
2018	Ječmen jarní	Francin	Olomouc				12,67	140,74	0,04	3,70	123,33	0,30	-	-	-	-	-	-	2,77	175,55	0,00	1,65	194,12	0,01	2,35	134,29	0,00	1,60	133,33	0,12	5,60	147,37	0,00			
2019	Ječmen jarní	Francin	Olomouc	BUT 108 (500 µg/l) moření			9,60	88,34	0,17	3,47	76,47	0,01	-	-	-	-	-	-	1,05	74,99	0,01	2,35	123,68	0,08	1,30	74,29	0,18	2,05	87,23	0,32	5,70	95,00	0,46			
2021	Ječmen jarní						3,48	87,88	0,04	12,64	108,59	0,27	1,07	124,86	0,02	0,30	141,19	0,02	1,38	128,14	0,01	3,10	114,81	0,12	1,55	110,71	0,58	1,00	133,33	0,39	5,65	116,49	0,04			
							8,58	105,65	-	6,60	102,80	-	1,07	124,86	-	0,30	141,19	-	1,73	126,22	-	2,37	144,21	-	1,73	106,43	-	1,55	117,97	-	5,65	119,62	-			
2014	Ječmen jarní	Bojos	Olomouc	BUT 106 (500 µg/l) moření			12,36	120,87	0,00	4,18	111,24	0,17	0,19	127,30	0,00	2,45	135,60	0,00	2,65	134,96	0,00	3,48	120,85	0,04	0,82	93,20	0,68	1,07	126,43	0,13	5,38	116,59	0,01			
2016	Ječmen jarní	Francin	Olomouc	BUT 106 (500 µg/l) moření			11,00	120,88	0,01	3,83	116,16	0,03	1,10	135,02	0,00	0,20	114,97	0,00	1,30	131,45	0,01	2,37	87,65	0,02	1,83	127,91	0,01	1,83	107,84	0,01	6,03	103,43	0,09			
2021	Ječmen jarní	Francin	Olomouc				11,20	103,07	0,77	3,93	86,76	0,23	-	-	-	-	-	-	1,31	93,50	0,59	3,25	171,05	0,00	1,75	100,00	1,00	1,30	55,32	0,00	6,30	105,00	0,48			
							11,52	114,94	-	3,98	104,72	-	0,65	131,16	-	1,33	125,29	-	1,75	119,97	-	3,03	126,52	-	1,47	107,04	-	1,40	96,53	-	5,90	108,34	-			

Pozn.: Statisticky průkazným rozdílu $p \leq 0,05$ [] a $p \leq 0,01$ []].

Tab. 17: Vyhodnocení aplikace vybraných butenolidů na pšenici ozimé

Rok	Podlaha	Odrůda	Lokalita	Varianty- létko	Koncentrace	Forma aplikace	Výnos zrna (t/ha)	% na kontrolu	T-test	Výška porostu [cm]	% na kontrolu	T-test	počet klasů na m ²	% na kontrolu	T-test	počet zrn v klasu	% na kontrolu	FTZ (g)	% na kontrolu	T-test	% Nadzemní biomasy	% Podzemní biomasy
2015	Pšenice	Etana	Olomouc	Kontrola			11,42	100,00	-	108,94	100,00	-	544,67	100,00	-	44,58	100,00	50,28	100,00	1,00	-	-
2016	Pšenice	Turandot	Olomouc				9,52	100,00	-	106,80	100,00	-	584,80	100,00	-	38,70	100,00	53,08	100,00	11,00	60,51	39,49
2017	Pšenice	Turandot	Olomouc				12,80	100,00	-	96,00	100,00	-	566,40	100,00	-	37,71	100,00	51,34	103,46	-	86,81	13,19
2018	Pšenice	Turandot	Olomouc				6,72	100,00	-	89,20	100,00	-	432,00	100,00	-	34,92	100,00	39,75	100,00	-	79,40	20,60
2019	Pšenice	Fakir	Olomouc				10,00	100,00	-	93,80	100,00	-	507,20	100,00	-	-	-	37,66	100,00	-	-	-
2020	Pšenice	Turandot	Olomouc				12,43	100,00	-	91,78	100,00	-	484,67	100,00	-	-	-	51,19	100,00	-	66,98	33,02
2021	Pšenice						11,65	100,00	-	92,13	-	-	677,33	-	-	-	-	47,58	100,00	-	22,42	77,58
Průměr							10,65	100,00	-	96,95	100,00	-	542,44	100,00	-	38,98	100,00	47,27	100,49	-	76,16	33,63
2019	Pšenice	Fakir	Olomouc	BUT 122 (50 µg/l) moření			10,01	100,05	-	94,40	100,64	-	559,20	110,25	-	-	-	36,45	96,79	-	-	-
2015	Pšenice	Etana	Olomouc	BUT 122 (500 µg/l) moření			12,02	105,25	0,09	110,00	100,97	0,42	535,33	98,29	0,73	-	-	51,04	101,51	-	-	-
2016	Pšenice	Turandot	Olomouc				9,69	101,77	0,54	104,50	97,85	0,41	588,00	110,19	0,94	-	-	53,34	107,49	-	60,52	39,48
2017	Pšenice	Turandot	Olomouc				13,59	106,16	0,11	98,30	99,90	0,04	598,40	104,32	0,36	-	-	52,79	102,82	-	83,22	16,78
Průměr							11,77	104,40	-	104,27	99,57	-	573,91	104,27	-	-	-	52,39	103,94	-	71,87	28,13
2015	Pšenice	Etana	Olomouc	BUT 121 (500 µg/l) moření			12,07	105,67	0,10	111,06	101,94	0,06	567,33	104,16	0,22	-	-	50,20	99,84	-	-	-
2016	Pšenice	Turandot	Olomouc				9,55	100,29	0,82	102,30	95,79	0,13	533,60	102,46	0,20	-	-	55,93	112,71	-	60,28	39,72
2017	Pšenice	Turandot	Olomouc				13,18	102,97	0,46	97,20	98,88	0,20	581,60	97,19	0,41	-	-	52,63	102,51	-	83,54	16,46
2018	Pšenice	Turandot	Olomouc				6,41	95,37	0,62	88,70	99,44	0,82	488,80	110,49	0,01	-	-	40,45	101,76	-	80,83	19,17
2019	Pšenice	Fakir	Olomouc				10,25	102,52	0,47	94,60	100,85	0,50	608,00	119,87	0,03	-	-	37,29	99,02	-	-	-
2020	Pšenice	Turandot	Olomouc				12,95	104,17	0,26	93,90	102,31	0,67	686,40	141,62	0,01	-	-	49,98	97,64	-	64,43	35,57
2021	Pšenice						11,62	99,67	0,68	92,20	100,07	0,89	782,00	115,45	0,05	-	-	48,66	102,27	-	23,02	76,98
Průměr							10,86	101,52	-	97,14	99,90	-	606,82	113,04	-	-	-	47,88	102,25	-	72,17	38,24
2015	Pšenice	Etana	Olomouc	BUT 106 (500 µg/l) moření			12,09	105,81	0,15	111,61	102,45	0,15	571,33	104,90	0,30	-	-	49,75	98,93	-	-	-
2016	Pšenice	Turandot	Olomouc				9,80	102,96	0,54	105,80	99,06	0,73	582,40	97,98	0,92	-	-	51,85	104,49	-	62,64	37,36
2017	Pšenice	Turandot	Olomouc				13,10	102,35	0,66	96,90	99,69	0,41	558,40	95,10	0,86	-	-	51,08	99,49	-	82,57	17,43
Průměr							11,66	103,70	-	104,77	100,40	-	570,71	99,32	-	-	-	50,89	100,97	-	79,31	20,69

Pozn.: Statisticky průkazným rozdílu $p \leq 0,05$ [■] a $p \leq 0,01$ [■].

Tab. 18: Vyhodnocení aplikace vybraných butenolidů na morfologii pšenice ozimé

Rok	Podina	Otrůda	Lokalita	Varianta- látka	Koncentrace	Forma aplikace	Hodnocení vzešlého porostu v odnožování (v BBCH 21-23)															Hodnocení odnoží ve sloupkování (v BBCH 33-36)														
							Počet listů	k na %	T-test	Počet odnoží	k na %	T-test	Hmot. listů	k na %	T-test	Hmot. kořene	k na %	T-test	Hmot. rostliny	k na %	T-test	Slabé odnože	% na K	T-test	Střední odnože	% na K	T-test	Slabé odnože	% na K	T-test	Odnože CELKEM	% na K	T-test			
2015	Pšenice	Etana	Olomouc	Kontrola			5,86	100,00	-	2,30	100,00	-	-	-	-	0,72	100,00	-	2,24	100,00	-	1,72	100,00	-	4,28	100,00	-	8,24	100,00	-						
2016	Pšenice	Turandot	Olomouc		4,00	100,00	-	0,77	100,00	-	0,29	100,00	-	0,19	100,00	-	0,48	100,00	-	1,70	100,00	-	1,70	100,00	-	2,77	100,00	-	6,22	100,00	-					
2017	Pšenice	Turandot	Olomouc		22,52	100,00	-	7,36	100,00	-	2,63	100,00	-	0,40	100,00	-	3,03	100,00	-	2,30	100,00	-	1,10	100,00	-	4,20	100,00	-	7,60	100,00	-					
2018	Pšenice	Turandot	Olomouc		-	-	-	6,00	100,00	-	1,88	100,00	-	0,49	100,00	-	2,37	100,00	-	1,87	100,00	-	0,93	100,00	-	3,13	100,00	-	5,93	100,00	-					
2019	Pšenice	Fakir	Olomouc		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	100,00	-	1,60	100,00	-	4,05	100,00	-	7,00	100,00	-					
2020	Pšenice	Turandot	Olomouc		3,00	100,00	-	1,10	100,00	-	0,25	100,00	-	0,12	100,00	-	0,37	100,00	-	3,30	100,00	-	1,37	100,00	-	4,47	100,00	-	9,13	100,00	-					
2021	Pšenice				7,41	100,00	-	21,44	100,00	-	0,34	100,00	-	1,18	100,00	-	1,52	100,00	-	1,63	-	-	1,60	-	-	4,60	-	-	7,75	-	-					
	Průměr			8,56	100,00	-	6,49	100,00	-	1,08	100,00	-	0,48	100,00	-	1,42	100,00	-	2,06	100,00	-	1,43	100,00	-	3,93	100,00	-	7,41	100,00	-						
2019	Pšenice	Fakir	Olomouc	BUT 122 (50 µg/l) moření	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,30	96,30	-	1,70	106,25	-	3,50	86,42	-	6,50	92,86	-						
2015	Pšenice	Etana	Olomouc	BUT 122 (500 µg/l) moření	6,00	102,33	0,31	2,34	101,98	0,77	-	-	-	-	-	97,70	0,23	2,55	113,89	0,42	1,47	85,47	0,48	4,24	99,09	0,02	8,26	100,26	0,06							
2016	Pšenice	Turandot	Olomouc		4,54	113,46	0,08	1,04	135,04	0,13	0,31	107,22	0,13	0,20	107,04	0,40	0,52	107,09	0,04	1,77	103,92	0,85	1,70	100,00	0,49	2,57	92,77	0,92	6,03	96,96	0,64					
2017	Pšenice	Turandot	Olomouc		22,84	101,42	0,84	8,12	110,33	0,13	2,16	82,13	0,54	0,44	109,02	0,37	2,59	85,67	0,58	2,60	113,04	0,28	1,25	113,64	0,57	4,30	102,38	0,81	8,15	107,24	0,26					
	Průměr				11,13	105,74	-	3,83	115,78	-	1,24	94,67	-	0,32	108,03	-	1,56	96,82	-	2,31	110,28	-	1,47	99,70	-	3,70	98,08	-	7,48	101,49	-					
2015	Pšenice	Etana	Olomouc	BUT 121 (500 µg/l) moření	6,34	108,14	0,07	2,48	107,92	0,20	-	-	-	-	-	0,68	94,75	0,60	2,53	112,71	0,47	1,21	70,21	0,18	3,84	89,86	0,27	7,58	91,96	0,00						
2016	Pšenice	Turandot	Olomouc		3,64	91,00	0,18	0,56	72,82	0,23	0,27	93,56	0,16	0,18	94,34	0,45	0,45	93,82	0,65	2,13	125,49	0,87	1,93	113,73	0,78	2,33	84,34	0,07	5,73	92,14	0,21					
2017	Pšenice	Turandot	Olomouc		24,76	109,95	0,23	8,76	119,02	0,03	2,39	90,94	0,76	0,47	117,94	0,15	2,86	94,50	0,83	2,55	110,87	0,37	1,15	104,55	0,85	4,90	116,67	0,08	8,60	113,16	0,06					
2018	Pšenice	Turandot	Olomouc		-	-	-	5,77	96,11	0,62	1,79	95,29	0,62	0,43	87,11	0,19	2,22	93,61	0,48	1,80	96,43	0,83	1,00	107,14	0,72	3,20	102,13	0,88	6,00	101,12	0,92					
2019	Pšenice	Fakir	Olomouc		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,10	81,48	0,29	1,40	87,50	0,43	2,85	70,37	0,01	5,35	76,43	0,00					
2020	Pšenice	Turandot	Olomouc		3,00	100,00	-	1,35	122,73	0,06	0,24	97,76	0,65	0,13	109,50	0,12	0,37	101,64	0,69	2,93	88,89	0,22	2,20	160,98	0,01	3,67	82,09	0,09	8,80	96,35	0,58					
2021	Pšenice				7,97	107,49	0,14	24,13	112,56	0,02	0,45	133,38	0,02	1,52	128,87	0,00	1,98	129,88	0,00	2,20	134,84	0,02	1,25	78,13	0,18	2,90	63,04	0,00	6,35	81,94	0,01					
	Průměr			9,14	103,31	-	7,17	105,19	-	1,03	102,19	-	0,55	107,55	-	1,43	101,37	-	2,18	107,24	-	1,45	103,17	-	3,38	86,93	-	6,92	93,30	-						
2015	Pšenice	Etana	Olomouc	BUT 106 (500 µg/l) moření	6,59	112,40	0,04	2,55	110,89	0,31	-	-	-	-	-	98,71	0,77	2,38	106,23	0,13	1,93	111,86	0,31	4,45	104,07	0,30	8,76	106,29	0,96							
2016	Pšenice	Turandot	Olomouc		3,85	96,15	0,61	0,58	75,02	0,29	0,31	105,77	0,35	0,18	96,56	0,63	0,49	102,07	0,66	2,10	123,53	0,11	2,20	129,41	0,07	2,90	104,82	0,35	7,20	115,71	0,02					
2017	Pšenice	Turandot	Olomouc		24,24	107,64	0,40	7,72	104,89	0,57	2,09	79,46	0,49	0,44	110,42	0,38	2,53	83,54	0,53	2,80	121,74	0,08	0,85	77,27	0,29	4,85	115,48	0,24	8,50	111,84	0,21					
	Průměr			11,56	105,40	-	3,61	96,93	-	1,20	92,62	-	0,31	103,49	-	1,51	94,78	-	2,43	117,17	-	1,66	106,18	-	4,07	108,12	-	8,15	111,28	-						

Pozn.: Statisticky průkazným rozdílu $p \leq 0,05$ [■] a $p \leq 0,01$ [■].

Tab. 19: Vyhodnocení hmotnosti ječmene jarního po aplikaci vybraných butenolidů o určitých koncentracích

Varianta	Průměrná hmotnost nadzemní biomasy [mg]	% na kontrolu	Průměrná hmotnost podzemní biomasy [mg]	% na kontrolu	Průměrná hmotnost rostliny [mg]	% na kontrolu	Nadzemní biomasa [%]	Podzemní biomasa [%]
Kontrola	178,97	100,00	107,58	100,00	286,55	100,00	62,46	37,54
BUT 122 (10 µg/l)	200,95	112,28	114,72	106,64	302,81	105,68	66,36	37,88
BUT 121 (10 µg/l)	194,62	108,74	118,11	109,79	313,38	109,36	62,10	37,69
BUT 108 (10 µg/l)	210,09	117,39	127,06	118,11	326,58	113,97	64,33	38,91
KAR 2 (10 µg/l)	194,21	108,52	123,90	115,18	324,17	113,13	59,91	38,22
BUT 122 (100 µg/l)	203,84	113,90	120,64	112,14	324,48	113,24	62,82	37,18
BUT 121 (100 µg/l)	204,09	114,03	128,74	119,68	332,83	116,15	61,32	38,68
BUT 108 (100 µg/l)	177,83	99,36	111,65	103,79	289,48	101,02	61,43	38,57
KAR 2 (100 µg/l)	199,59	111,52	124,89	116,10	324,49	113,24	61,51	38,49
BUT 122 (1000 µg/l)	172,28	96,26	130,53	121,34	315,67	110,16	54,58	41,35
BUT 121 (1000 µg/l)	186,67	104,30	126,71	117,79	312,73	109,14	59,69	40,52
BUT 108 (1000 µg/l)	201,06	112,34	125,53	116,69	337,15	117,66	59,63	37,23
KAR 2 (1000 µg/l)	202,54	113,17	121,63	113,07	318,12	111,02	63,67	38,23

Tab. 20: Analýza nadzemní biomasy ječmene jarního na obsah cytokininů po aplikaci KAR

Vzorek	CK celkem		CK báze		CK ribosidy		CK nukleotidy		CK O-glukosidy		CK N-glukosidy							
Kontrola	132,86	± 25,07	2,55	± 0,33	6,09	± 1,58	4,66	± 1,36	84,82	± 17,05	34,74	± 8,06						
BUT 122	108,17	± 10,66	1,53	± 0,10	4,25	± 0,16	2,23	± 0,43	72,86	± 11,23	27,29	± 5,66						
BUT 121	95,43	± 4,96	1,12	± 0,07	4,83	± 0,76	1,31	± 0,40	71,05	± 4,29	17,13	± 1,14						
BUT 108	102,74	± 13,10	1,54	± 0,03	5,77	± 0,13	2,40	± 0,39	68,32	± 7,00	24,70	± 5,96						
	iP-druhy celkem		iP		iPR		iPR5'MP		iP7G		iP9G							
Kontrola	22,00	± 4,31	0,93	± 0,10	2,16	± 0,45	1,62	± 0,32	<LOD		17,28	± 4,03						
BUT 122	16,83	± 2,43	0,37	± 0,04	1,72	± 0,19	1,17	± 0,16	<LOD		13,57	± 2,81						
BUT 121	11,71	± 0,54	0,28	± 0,04	1,99	± 0,12	0,95	± 0,15	<LOD		8,49	± 0,56						
BUT 108	17,39	± 3,07	0,48	± 0,02	3,03	± 0,14	1,58	± 0,22	<LOD		12,30	± 2,97						
	iZ-druhy celkem		iZ		iZR		iZR5'MP		iZOG		iZROG		iZ7G		iZ9G			
Kontrola	26,33	± 5,09	1,15	± 0,15	3,18	± 1,02	3,03	± 1,14	1,68	± 0,30	<LOD		17,28	± 4,03				
BUT 122	18,43	± 2,58	0,78	± 0,09	1,74	± 0,05	1,06	± 0,27	1,28	± 0,22	<LOD		<LOD		13,57	± 2,81		
BUT 121	11,86	± 0,47	0,62	± 0,03	1,24	± 0,04	0,53	± 0,09	1,15	± 0,09	<LOD		<LOD		8,49	± 0,56		
BUT 108	17,21	± 3,58	0,88	± 0,06	1,79	± 0,17	0,82	± 0,17	1,42	± 0,26	<LOD		<LOD		12,30	± 2,97		
	cZ-druhy celkem		cZ		cZR		cZR5'MP		cZOG		cZROG		cZ7G		cZ9G			
Kontrola	82,56	± 16,63	0,47	± 0,11	0,74	± 0,11	<LOD		62,27	± 10,49	18,90	± 7,52	<LOD		0,18	± 0,03		
BUT 122	71,90	± 10,93	0,38	± 0,04	0,79	± 0,14	<LOD		58,47	± 9,26	12,11	± 1,68	<LOD		0,15	± 0,06		
BUT 121	70,61	± 4,60	0,22	± 0,00	1,60	± 0,62	<LOD		56,33	± 2,82	12,31	± 1,36	<LOD		0,15	± 0,04		
BUT 108	66,98	± 6,58	0,19	± 0,03	0,96	± 0,26	<LOD		56,62	± 5,43	9,12	± 1,26	<LOD		0,10	± 0,02		
	DHZ-druhy celkem		DHZ		DHZR		DHZR5'MP		DHZOG		DHZROG		DHZ7G		DHZ9G			
Kontrola	1,97	± 0,42	<LOD		<LOD		<LOD		0,78	± 0,05	1,19	± 0,36	<LOD		<LOD			
BUT 122	1,00	± 0,18	<LOD		<LOD		<LOD		0,58	± 0,11	0,42	± 0,07	<LOD		<LOD			
BUT 121	1,25	± 0,26	<LOD		<LOD		<LOD		0,56	± 0,06	0,69	± 0,21	<LOD		<LOD			
BUT 108	1,17	± 0,14	<LOD		<LOD		<LOD		0,65	± 0,06	0,52	± 0,09	<LOD		<LOD			

Pozn.: Obsah cytokininů je uveden v pmol/g

Tab. 21: Analýza podzemní biomasy ječmene jarního na obsah cytokininů po aplikaci KAR

Vzorek	CK celkem			CK báze			CK ribosidy			CK nukleotidy			CK O-glukosidy			CK N-glukosidy						
Kontrola	182,13	±	9,59	2,32	±	0,20	12,58	±	1,31	4,12	±	1,28	115,35	±	6,42	47,76	±	3,43				
BUT 122	102,71	±	26,63	1,09	±	0,18	6,65	±	0,66	2,35	±	1,48	70,64	±	18,28	21,98	±	6,50				
BUT 121	87,53	±	6,28	0,81	±	0,02	7,05	±	1,22	1,37	±	0,73	59,67	±	4,03	18,63	±	3,15				
BUT 108	107,80	±	15,67	1,08	±	0,24	11,09	±	0,94	3,28	±	1,68	62,86	±	6,90	29,49	±	6,70				
	iP-druhy celkem			iP			iPR			iPR5'MP			iP7G			iP9G						
Kontrola	31,11	±	2,81	1,20	±	0,02	5,38	±	0,88	1,74	±	0,38	<LOD		22,79	±	1,74					
BUT 122	14,02	±	4,20	0,24	±	0,05	2,93	±	0,77	0,53	±	0,75	<LOD		10,32	±	3,08					
BUT 121	13,32	±	1,92	0,33	±	0,00	3,34	±	0,38	0,90	±	0,66	<LOD		8,75	±	1,53					
BUT 108	20,68	±	3,72	0,41	±	0,09	4,81	±	0,14	1,32	±	0,32	<LOD		14,13	±	3,33					
	iZ-druhy celkem			iZ			iZR			iZR5'MP			iZOG			iZROG			iZ7G	iZ9G		
Kontrola	31,48	±	0,40	0,54	±	0,14	3,83	±	0,38	2,38	±	1,63	1,14	±	0,13	0,80	±	0,06	<LOD	22,79	±	1,74
BUT 122	15,70	±	4,43	0,64	±	0,12	1,98	±	0,18	1,82	±	0,76	0,53	±	0,18	0,41	±	0,15	<LOD	10,32	±	3,08
BUT 121	11,54	±	1,31	0,30	±	0,03	1,26	±	0,28	0,47	±	0,09	0,41	±	0,02	0,34	±	0,07	<LOD	8,75	±	1,53
BUT 108	21,97	±	5,94	0,45	±	0,15	4,26	±	1,29	1,96	±	1,42	0,70	±	0,14	0,48	±	0,13	<LOD	14,13	±	3,33
	cZ-druhy celkem			cZ			cZR			cZR5'MP			cZOG			cZROG			cZ7G	cZ9G		
Kontrola	82,56	±	16,63	0,47	±	0,11	0,74	±	0,11	<LOD		62,27	±	10,49	18,90	±	7,52	<LOD	0,18	±	0,03	
BUT 122	70,05	±	16,56	0,21	±	0,04	1,52	±	0,19	<LOD		35,92	±	4,08	31,26	±	13,18	<LOD	1,14	±	0,21	
BUT 121	61,01	±	3,01	0,18	±	0,01	2,36	±	0,88	<LOD		33,78	±	1,14	23,62	±	2,71	<LOD	1,06	±	0,09	
BUT 108	62,49	±	5,88	0,22	±	0,01	1,91	±	0,30	<LOD		33,93	±	3,74	25,30	±	2,59	<LOD	1,12	±	0,11	
	DHZ-druhy celkem			DHZ			DHZR			DHZR5'MP			DHZOG			DHZROG			DHZ7G	DHZ9G		
Kontrola	3,40	±	0,06	<LOD			0,31	±	0,07	<LOD		0,81	±	0,08	1,99	±	0,16	<LOD	0,29	±	0,06	
BUT 122	2,52	±	1,62	<LOD			0,21	±	0,07	<LOD		0,48	±	0,29	1,63	±	1,10	<LOD	0,20	±	0,16	
BUT 121	1,31	±	0,20	<LOD			0,08	±	0,03	<LOD		0,24	±	0,05	0,92	±	0,16	<LOD	0,07	±	0,02	
BUT 108	2,18	±	0,49	<LOD			0,10	±	0,03	<LOD		0,56	±	0,19	1,41	±	0,35	<LOD	0,11	±	0,01	

Pozn.: Obsah cytokininů je uveden v pmol/g