

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**  
**katedra zahradnictví**

**Možnosti využití rostlinných stimulátorů jako prostředku pro omezení  
důsledků vláhového deficitu při pěstování zeleniny**

doktorská disertační práce

**Autor: Ing. et Ing. Jitka Doležalová**

**Školitel: doc. Ing. Sus Josef, CSc.**

**Konzultant: doc. Ing. Koudela Martin, PhD.,  
katedra zahradnictví, FAPPZ, ČZU**

**Praha 2 0 1 6**

#### Prohlášení

Prohlašuji, že svou disertační práci „**Možnosti využití rostlinných stimulátorů jako prostředku pro omezení důsledků vláhového deficitu při pěstování zeleniny**“ jsem vypracovala samostatně pod vedením školitele a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené disertační práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob a že tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

V Praze, dne 1. června 2016

.....  
Ing. et Ing. Jitka Doležalová

## Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala svému školiteli doc. Ing. Josefu Susovi, CSc. za vedení mé disertační práce, podporu a odborný dohled. Mé poděkování patří také konzultantovi doc. Ing. Martinovi Koudelovi, Ph.D., vedoucímu katedry, za odbornou pomoc, věcné připomínky a v neposlední řadě za vytvoření příznivých podmínek na pracovišti a umožnění realizace této práce. Děkuji rovněž kolektivu katedry zahradnictví a pracovníkům Demonstrační a výzkumné stanice v Troji za pomoc při polních pokusech.

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Literární přehled</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1 Stres rostlin</b> .....	<b>7</b>
2.1.1 Vodní deficit.....	7
2.1.2 Reakce rostlin na vodní deficit.....	8
<b>2.2 Biologicky aktivní látky</b> .....	<b>10</b>
2.2.1 Růstové regulátory.....	10
2.2.2 Rostlinné hormony .....	13
2.2.2.1 Auxiny.....	13
2.2.2.2 Cytokininy.....	13
2.2.2.3 Gibereliny .....	14
2.2.2.4 Kyselina abscisová .....	14
2.2.2.5 Etylén.....	15
2.2.2.6 Brassinosteroidy.....	15
2.2.2.7 Kyselina jasmonová .....	18
2.2.2.8 Strigolaktony .....	18
2.2.3 Další látky s regulační aktivitou .....	19
2.2.3.1 Kouřové látky .....	19
2.2.3.2 Polyaminy.....	19
2.2.3.3 Oligosachariny.....	19
2.2.3.4 Fenolické látky.....	20
<b>2.3 Vybrané zeleninové druhy</b> .....	<b>22</b>
2.3.1 Cibule kuchyňská .....	22
2.3.1.1 Původ, rozšíření.....	22
2.3.1.2 Nutriční hodnota .....	23
2.3.1.3 Nároky na stanoviště.....	23
2.3.1.4 Pěstování a nároky na vláhu.....	24
2.3.1.5 Sklizeň.....	25
2.3.2 Salát hlávkový .....	26
2.3.2.1 Původ, rozšíření.....	26
2.3.2.2 Nutriční hodnota .....	26
2.3.2.3 Nároky na stanoviště.....	27
2.3.2.4 Pěstování a nároky na vláhu.....	27
2.3.2.5 Sklizeň.....	28

<b>3</b>	<b>Cíle a hypotéza.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Cíle.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Hypotéza.....</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>Publikované práce.....</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>Sumární diskuse.....</b>	<b>86</b>
<b>5.1</b>	<b>Syntetický brassinolid.....</b>	<b>86</b>
5.1.1	Cibule kuchyňská .....	86
5.1.1.1	Klíčení .....	86
5.1.1.2	Pěstování na poli .....	87
5.1.2	Salát hlávkový .....	88
5.1.2.1	Sadba .....	88
5.1.2.2	Pěstování na poli .....	90
<b>5.2</b>	<b>Atonik.....</b>	<b>91</b>
5.2.1	Cibule kuchyňská .....	91
5.2.1.1	Klíčení .....	91
<b>6</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>93</b>
<b>6.1</b>	<b>Syntetický brassinolid.....</b>	<b>93</b>
<b>6.2</b>	<b>Atonik.....</b>	<b>94</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>95</b>

# 1 Úvod

Doktorská disertační práce na téma „Možnosti využití rostlinných stimulatorů jako prostředku pro omezení důsledků vláhového deficitu při pěstování zeleniny“ byla vypracována v rámci prezenčního doktorského studia na Fakultě agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity v Praze (studijní program „Fytotechnika“, obor „Speciální produkce rostlinná“).

Předkládaná práce je příspěvkem k obecnému řešení problematiky omezení negativních důsledků vláhového deficitu na hospodářské ukazatele zeleniny.

Práce se soustřeďuje na sledování některých faktorů, které ve vzájemných interakcích ovlivňují produkční proces, a to především na použití rostlinných stimulatorů při různých úrovních závlahy.

Problematika vody je v současnosti jedním z nejdiskutovanějších témat na poli vědeckém, společenském i politickém. Sucho je v řadě zemí značným problémem, který ovlivňuje přirozené ekosystémy i produkci agroekosystémů. Nejde ani tak o zásoby vody, ale především o její distribuci v jednotlivých oblastech a v rámci vegetačního období hospodářských druhů rostlin.

Skutečně optimální podmínky pro růst a vývoj jednotlivých druhů zeleniny po celou dobu vegetace lze při polním pěstování stěží zajistit. Polní porosty zeleniny proto během svého vývoje musí čelit řadě stresujících vlivů. Tyto vlivy mohou výrazně limitovat zdárný vývoj rostlin a v konečné fázi i výnos a ekonomický efekt z produkce. Za nejvíce limitující stresový faktor pro rostliny je považováno sucho (vodní deficit).

Vzhledem k výše uvedeným důvodům je zřejmé, že se zkoumají možnosti využití prostředků pro omezení důsledků stresu z vláhového deficitu také v zelinářské praxi.

Tato práce by měla přispět ke zdrojům informací z oblasti pěstování cibule kuchyňské a salátu hlávkového a doplnit je o poznatky týkající se účinků syntetického brassinosteroidu a přípravku Atonik na jejich pěstování při rozdílné úrovni závlahy, resp. rozdílné úrovni vlhkosti prostředí v případě klíčení rostlin.

Doktorská disertační práce svým tématem navazuje na řešení a naplňování dílčích cílů projektu NAZV č. QH81110 (Ministerstva zemědělství ČR) „Zvýšení odolnosti zeleniny k vodnímu stresu“ a výzkumného záměru č. MSM6046070901 „Setrvalé zemědělství, kvalita zemědělské produkce, krajinné a přírodní zdroje“ Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy.

## 2 Literární přehled

Literární přehled je věnován problematice vláhového deficitu a jeho vlivu na pěstování zeleniny. V dalších kapitolách je uveden výběr rostlinných regulátorů s důrazem na jejich funkci v podmínkách stresu. Podrobněji je pojednáno o účincích brassinosteroidů a některých fenolických látek, které byly zkoumány v rámci předkládané disertační práce. Popsány jsou rovněž použité modelové plodiny a jejich nároky.

### 2.1 Stres rostlin

Růst a kvalita rostlin jsou ovlivněny různými vlivy životního prostředí. Zátěž rostlin způsobená faktory prostředí přesahujícími jejich běžnou úroveň bývá nazývána stresem (Ondřej, 1992).

Podle Gloser et Prášil (1998) se termín stres obvykle používá pro souhrnné označení stavu, ve kterém se rostlina nachází pod vlivem stresorů. Ke stresorům (stresovým faktorům) patří zejména nepříznivé teploty, sucho, nečistoty v ovzduší i v půdě a anaerobióza. Působení stresorů se rostliny přizpůsobují na úrovni molekulární, subcelární, celulární, orgánové i na úrovni organismu jako celku (Šebánek, 2001a).

Dle Šarapatky et al. (2010) lze stres také chápat jako situaci, která byla způsobena jakoukoliv zjevnou odchylkou od optimálních hodnot faktoru.

#### 2.1.1 Vodní deficit

Voda je nezbytným faktorem pro růst a vývoj všech rostlin, tedy i zeleniny. Tendence klimatických změn za posledních sto let signalizuje stálý pokles sumy ročních atmosférických srážek a pokles ročních průměrů relativní vlhkosti vzduchu. Současně rostou průměrné roční teploty vzduchu a tím narůstají evaporační požadavky rostlin na vodu. Období sucha mezi srážkami se prodlužují, takže rostliny jsou častěji vystavené vodnímu deficitu. Tyto nepříznivé klimatické podmínky se následně projeví ve snížení rychlosti růstu a tím i v nižší produkci (Havrila et Novák, 2006).

Voda má v ekosystémech rychlý koloběh a její zásoba, ať už v půdě nebo v rostlinách, stačí jen na krátkou dobu. Navíc doplňování vody srážkami bývá nepravidelné a nejsou vyloučeny ani delší periody sucha. Drobné výkyvy v zásobení rostlin vodou zpravidla nepůsobí na rostliny negativně. Naopak dlouhodobý vodní deficit, vznikající právě jako důsledek období sucha, je nutné považovat za limitující faktor, který vyvolává řadu

biochemických, anatomických a morfologických změn (Šarapatka et al., 2010). Z abiotických faktorů, které omezují růst a produktivitu rostlin, stojí nedostatek vody na prvním místě (Gloser et Prášil, 1998; Rajabbeigi et al., 2013). V dnešní době se proto intenzivní pěstování zeleniny neobejde bez optimalizace vodního režimu (Malý et al., 1998).

Vzhledem ke složitým vztahům mezi množstvím vody v rostlině a v okolním prostředí nelze dosti dobře zavést jednoduché kritérium, podle kterého by bylo hodnoceno, jak velkému stresu z nedostatku vody (vodnímu stresu) je rostlina vystavena (Gloser et Prášil, 1998).

Zeleniny mají většinou vysoký transpirační koeficient, pohybující se v rozmezí 280 – 830, a klesne-li zásoba vody pod 50 % využitelné vodní kapacity, trpí zeleniny vláhovým deficitem (Malý et al., 1998).

Je třeba poznamenat, že vlastní příjem vody rostlinou závisí rovněž na obsahu živin a solí v půdě a na půdní reakci. Vodní stres je tak často ovlivněn i zasolením (Bláha et al., 2003).

Na postupné prodlužování období sucha, při setrvalém poklesu zásoby využitelné půdní vody k bodu vadnutí, reagují rostliny narušením poměru fotosyntézy a respirace, poklesem tvorby nové biomasy, poklesem turgoru, vadnutím a nakonec odumřením (Brestič et Olšovská, 2001).

Pokud se vodní deficit, ale i mnohé další typy stresu (těžké kovy, deficit minerálních látek) vyvíjí pomalu, resp. má chronický charakter, vykazují rostliny všeobecnou morfologickou reakci v podobě tzv. stresem vyvolané morfogenní odpovědi. Tato stresem vyvolaná morfogenní odpověď zahrnuje: 1) inhibici prodlužování buněk, 2) lokalizovanou stimulaci buněčného dělení a 3) změny ve stavu diferenciaci buněk (Potters et al., 2007).

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že vodní deficit je jedním z nejdůležitějších zátěžových faktorů, který nepříznivě ovlivňuje rovněž produktivitu a kvalitu plodin.

### **2.1.2 Reakce rostlin na vodní deficit**

Reakce rostlin na nedostatek vody v prostředí do značné míry závisí od evoluce daného způsobu hospodaření s vodou. Většina hospodářských plodin patří mezi rostliny homoiohydričné a prostřednictvím četných mechanismů se snaží minimalizovat výkyvy ztráty vody v pletivech a zajistit si relativně stabilní vodní bilanci.

Všeobecně lze konstatovat, že na dlouhodobý stres z nedostatku vody reagují rostliny mnoha aklimačními a adaptačními mechanismy jako je: omezení růstu a velikosti listové plochy, zavírání průduchů, osmotické přizpůsobení buněk pletiv, stimulace stárnutí a opadu



listů, změna rozptýlení tepelné energie a energie záření z listů, vytváření silnější voskové vrstvy na povrchu listu, zvýšení transpiračního odporu, rychlejší růst kořenů do větších hloubek, vytváření kompenzačních kořenů, změna poměru hmotnosti nadzemní a kořenové části rostliny a zvýšená produkce stresových proteinů (Brestič et Olšovská, 2001).

Nejcitlivější reakce rostlin na nedostatek vody bývá pravidelně zjišťována u dlouhivého růstu buněk postižených orgánů. K měřitelnému zpomalení růstu dochází již při velmi malé ztrátě vody, kdy turgor klesne jen o 0,1 až 0,2 MPa. Úplné zastavení růstu nastává při poklesu na prahovou hodnotu pro růst (tj. 0,3 až 0,4 MPa). K zastavení růstu tedy dochází dříve než k zjevnému vadnutí (nulový turgor) či k ovlivnění fotosyntézy. Při dalším poklesu vodního potenciálu buněk dochází ke změnám aktivity enzymů. To má za následek např. zrychlení hydrolýzy škrobu či naopak zpomalení redukce nitrátů. Snižuje se tvorba cytokininů a v buňkách dochází k velmi podstatnému zvýšení koncentrace kyseliny abscisové, což vede k zavírání průduchů. Následně dochází ke snížení rychlosti výměny plynů a tím i rychlosti fotosyntézy a transpirace. Při dalším poklesu vodního potenciálu dochází u některých druhů rostlin k tvorbě aminokyseliny prolinu, jiné druhy reagují syntézou cukrů, alkoholů či betainu. Význam těchto syntéz je zřejmě ve zvýšení osmotického tlaku v buňkách (Gloser et Prášil, 1998). Na buněčné úrovni je stres provázen reakcemi, které vedou k aklimaci a adaptaci rostlin nebo častěji k jejich poškození (Beck et al., 2007). Působením stresových faktorů dochází ke ztrátě turgoru buněk, působí osmotický stres a nakonec dojde i k poškození buněčných membrán (Mahajan et Tuteja, 2005).

Při vnějším pohledu se stres suchem na rostlinách projevuje vadnutím listů, inhibicí růstu nadzemní části a kořenů, opadem listů, opadem květních poupat, zasycháním a poškozením květů a redukcí výnosu (Guilioni et al., 2003).

Schopnost adaptace rostlin na stresové podmínky je geneticky fixována a závisí na ontogenezi (Ondřej, 1992). Podle Liu et al. (2011) je citlivost rostlin k nedostatku vody rozdílná nejenom v závislosti na druhu rostlin, fázi vývoje, ale také na odrůdě a délce trvání tohoto stresového vlivu. Nejodolnější jsou rostliny ve fázi dormance, nejméně odolné jsou v juvenilní fázi při vzcházení a v době formování gamet (Šebánek, 2001a).

Pro růst rostlin a jejich přežití je tedy nezbytná aklimatizace na měnící se podmínky životního prostředí. V průběhu fylogeneze se vyvinuly takzvané stresové proteiny, které jsou syntetizovány při stresových podmínkách a umožňují překonat situace na hranici možností existence (Ondřej, 1992; Šebánek, 2001a).

V poslední době se věnuje zvýšená pozornost šlechtění na odolnost vůči suchu a intenzivně se pracuje i na využití transgenních rostlin (Hervé et Serraj, 2009).

Z praktického pohledu je však šlechtění rostlin na odolnost vůči abiotickým stresorům, zvláště k vodnímu deficitu, velmi komplikované a časově náročné (Vegh et Rajkai, 2006)

## 2.2 Biologicky aktivní látky

Jedním z přístupů, jak zlepšit odolnost rostlin vůči suchu, je použití různých biologicky aktivních látek. Jsou to strukturálně a funkčně aktivní látky přítomné v živých organismech. V širším slova smyslu lze za tyto látky považovat všechny sloučeniny od vody až po aminokyseliny. Důraz je však kladen na slovo aktivní. Jedná se tedy o látky vykonávající nebo podněcující činnost a pro danou činnost specifické (Dřimalová, 2005).

Cílem aplikace biologicky aktivních látek je zvýšení produkční výkonnosti rostlin a zlepšení kvality produkce, jak uvádí Černý et Javor (2004) nebo Bynum et al. (2007). Další autoři (Fecenko et al., 1997; Pulkrábek et al., 1999; Černý et al., 2000; Hudec et al., 2001) považují za biologicky aktivní látky takové sloučeniny, které pozitivně ovlivňují životní funkce rostlin - podporují, inhibují či jinak modifikují fyziologické a morfogenetické procesy u rostlin. Biologicky aktivní látky se používají též jako prostředek zmírnění důsledků stresu vyvolaného vnějšími podmínkami, ovlivňují tvorbu úrody a zlepšují využití genetického potenciálu odrůd (Šanta, 1995). Při pěstování polních plodin, jako jsou obilniny, cukrovka, řepka atd., se v praxi používá řada těchto přípravků - například Sunagreen (Biosfor s.r.o., Pardubice, ČR), Hergit (Biosfor s.r.o., Pardubice, ČR), Energren (EGT system spol. s.r.o., Otice, ČR), Lexin (Lexicon s.r.o., Praha, ČR) a další.

### 2.2.1 Růstové regulátory

Jednou z kategorií biologicky aktivních látek jsou růstové regulátory rostlin (Dřimalová, 2005).

U všech organismů se setkáváme s přísnou regulací procesů, které vycházejí z vnějších ale i vnitřních podnětů. Rostliny pro udržení homeostázy využívají růstové regulátory. Tyto látky regulují růstové a vývojové procesy u rostlin. Jako růst rostlin označujeme ireverzibilní změnu jejich tvaru. Často se zdůrazňuje jeho kvantitativní stránka, avšak růst je spjat rovněž s diferenciací, tedy se změnami kvalitativními, zahrnovanými pod pojem vývoj.

Pod označením růstové regulátory se dnes nacházejí jak látky přirozené, tak i látky získané synteticky.

Regulátory růstu (Tabulka 1) se dle Macháčkové (1998) dělí do dvou kategorií:

- 1) rostlinné hormony (fytohormony)
- 2) další látky s regulační aktivitou

Rostlinné hormony jsou považovány za přirozené regulátory růstu. Jsou to organické sloučeniny syntetizované v jedné části rostliny a translokované do jiné. Pro tvorbu fytohormonů existuje metabolická dráha, která jejich hladinu zajišťuje. Na základě aktivity enzymů metabolických drah pak mohou rostliny regulovat syntézu fytohormonů v odpovědi na vnitřní a vnější signály, jako jsou světelné podmínky, přítomnost nutričních, biotických a abiotických stresů atd. Z výzkumu zákonitostí růstu rostlin vyplývá, že v těchto procesech hrají významnou roli interakce jednotlivých fytohormonů. Neexistuje růstový proces, který by byl regulován pouze jedním fytohormonem (Procházka, 1997).

Fyziologickou reakci vyvolávají velmi malé dávky - hormony jsou často účinné při koncentracích okolo  $1\mu\text{M}$ . Těmito vlastnostmi se mohou fytohormony lišit od ostatních biologických látek, které se též řadí do obecné skupiny růstových regulátorů. To však neubírá růstovým regulátorům na jejich významu, protože se mohou účastnit velice významných procesů, jako je například mezidruhová komunikace. Navíc hranice mezi fytohormony a dalšími látkami s regulační aktivitou může být velice úzká, protože i tyto látky mohou stejně jako rostlinné hormony účinkovat za velmi nízkých koncentrací (Chiwocha et al., 2009) a existují pro ně v rostlině specifické receptory (Waters et al., 2012).

Jak fytohormony, tak i syntetické regulátory růstu lze rozlišit na regulátory povahy stimulační (stimulátory) a povahy inhibiční (inhibitory). Rozlišení je však málo přesné, neboť i stimulátor může ve vyšší koncentraci růst inhibovat a naopak inhibitor ve velmi nízké koncentraci může působit stimulačně (Macháčková, 1998).

Mezi hlavní vlivy, které způsobují stres rostlin, patří vodní deficit, teplota, nedostatek kyslíku v půdě, vliv imisí a další. Na působení těchto faktorů (stresorů) se rostlina adaptuje. Vlivem stresorů je zasažen metabolismus rostlin, transkripce i translace, zvyšuje se permeabilita membrán, zvedá se obsah prolinu atd. Většina stresorů zasahuje i do hladiny fytohormonů a do jejich metabolismu. Tímto způsobem se mění růst a vývoj rostlin (Procházka, 1997).

Následující text je věnován významným růstovým regulátorům a jejich funkcím v případě vodního stresu u rostlin. Důraz je kladen na brassinosteroidy a některé fenolické látky (Atonik), jejichž vliv byl sledován u zeleniny pěstované v podmínkách vláhového deficitu v rámci této práce.

Tabulka 1. Přehled hlavních typů regulátorů růstu dle Procházky et Šebánka (1997)

Fytohormony	
Nativní (přirozené)	Syntetické
A. Růstové látky (stimulátory)	
<p>Auxiny</p> <p>kyselina indolyl-3-octová (IAA)</p> <p>4-chlor-IAA</p> <p>kyselina fenylloctová (PAA)</p> <p>kyselina indolyl-3-máselná (IBA)</p> <p>Gibereliny (GA<sub>1</sub>, GA<sub>2</sub>, atd.)</p> <p>Cytokininy</p> <p>izopentenyladenin</p> <p><i>trans</i>-zeatin</p> <p>dihydrozeatin</p> <p>deriváty N<sup>6</sup>-benzyladeninu (BA)</p> <p>difenylmočovina</p> <p>tidiazuron</p>	<p>Auxiny</p> <p>kyselina <math>\alpha</math>-naftyloctová (NAA)</p> <p>kyselina 2,4-dichlorfenoxyoctová (2,4-D)</p> <p>kyselina 2,4,5-trichlorfenoxyoctová (2,4,5-T)</p> <p>kyselina 2metyl-4-chlorfenoxyoctová (MCPA)</p> <p>-</p> <p>Cytokininy</p> <p>N<sup>6</sup>-benzyladenin (BA)</p> <p>N<sup>6</sup>-(<i>m</i>-hydroxybenzyl)adenin</p> <p>kinetin</p>
B. Zábranné látky (inhibitory)	
<p>kyselina abscisová (ABA)</p> <p>xantoxin</p> <p>kyselina jasmonová</p> <p>fenolické látky</p>	<p>maleinhydrazid (MH)</p> <p>kyselina 2,3,5-trijodbenzoová (TIBA)</p> <p>chlorcholinchlorid (CCC)</p> <p>ancymidol</p> <p>paclobutrazol</p> <p>AMO-1618</p> <p>B-995 (kyselina N-dimetyljantarová)</p>
C. Etylen	kyselina 2-chloretylfosfonová (CEPA)
D. Ostatní	
<p>brassinolid</p> <p>polyaminy (spermin, spermidin)</p> <p>oligosachariny</p> <p>turgoriny</p>	<p>benzolinon</p> <p>a další...</p>

## 2.2.2 Rostlinné hormony

### 2.2.2.1 Auxiny

Prvním objeveným a nejlépe prozkoumaným fytohormonem je kyselina indolyl-3-octová (IAA). Biosyntéza IAA vychází z aminokyseliny tryptofanu a jsou známy čtyři biosyntetické cesty. Aktivní formou je volný auxin, jehož zdrojem jsou u vyšších rostlin rostoucí nadzemní orgány, zejména pupeny. Základní fyziologickou funkcí auxinu je indukce dlouhivého růstu a stimulace dělení, fototropismus a gravitropismus, apikální dominance a zakládání postranních a adventivních kořenů. Účastní se též procesu opadu plodů a listů (Dřimalová, 2005).

Kyselina indolyl-3-octová byla dlouho považována za jediný přirozený auxin. V poslední době byly v rostlinách nalezeny látky - kyselina indolyl-3-máselná (IBA) a 4chlor-IAA, které byly dříve považované za syntetické. Při hledání látek s růstově regulační aktivitou byla nalezena řada dalších syntetických látek s účinky podobnými IAA, které se označují jako syntetické auxiny (Macháčková, 1998).

Obsah endogenní IAA se zpravidla vlivem sucha výrazně nemění (Kannangara et al., 1983).

Jiní autoři však uvádí, že vlivem sucha dochází k poklesu IAA. Auxin zvyšuje permeabilitu protoplazmy pro vodu a výdej vody z vadnoucích rostlin je urychlen (Šebánek et al., 1997).

### 2.2.2.2 Cytokininy

Chemicky se jedná o deriváty adeninu se substitucí v N<sup>6</sup>-poloze. Nejvyšší aktivitu mají látky, které jako substituent mají izoprenoidní řetězec s dvojnou vazbou (Kamínek, 1992). Biosyntéza probíhá ve všech rostlinných orgánech, převážně však ve vrcholové části kořenů. Základní fyziologickou funkcí cytokininů je stimulace buněčného dělení. Cytokininy mají vliv na reakce ve fázi S buněčného cyklu a na replikaci DNA během mitózy. Spolu s auxiny tvoří základ regeneračních procesů. Snižují apikální dominanci, zpomalují stárnutí (degradaci chlorofylu) a udržují vysokou metabolickou aktivitu pletiv (Dřimalová, 2005).

Ve vztahu k reakci na stres suchem mohou cytokininy aplikované na listy pozitivně působit na otevírání průduchů a podpořit transpiraci. Významnou roli však hraje stáří listů. Na aplikaci kinetinu reagují otevíráním průduchů spíše starší listy (Blackman et Davies, 1984).

Pozitivní vliv exogenně aplikovaných cytokininů na otevírání průduchů může souviset s jejich kladným vlivem na retardaci stárnutí urychlovaného vlivem ABA. Hladina

endogenních cytokininů v listech je vlivem sucha zpravidla snížena, neboť poklesne jejich syntéza v kořenech a dojde ke snížení transportu do lodyhy (Šebánek et al., 1997).

### 2.2.2.3 Gibereliny

Aktivita giberelinů (GA) je dána *ent*-giberelanovým skeletem a liší se podle struktury. Tyto fytohormony se tvoří pravděpodobně ve všech rostlinných orgánech. Nejvyšší hladiny se nachází v místech aktivního růstu a v nově se tvořících orgánech. Jsou transportovány ve floému (i když byly detekovány i v xylému), což svědčí o jejich syntéze v kořenech. Hlavním fyziologickým účinkem giberelinů je stimulace prodlužovacího růstu nadzemních částí rostlin. Tyto hormony se rovněž podílí na indukci kvetení u dlouhodobých rostlin, které ve vegetativním stavu tvoří přizemní růžici. Regulují období juvenility. Ovlivňují ontogenezi při klíčení semen indukcí produkce enzymů mobilizujících zásobní látky (Macháčková, 1998; Dřimalová, 2005).

Z pokusů, které byly provedeny na lnu, vyplývá vztah mezi vzestupem vodního deficitu a poklesem obsahu giberelinů v dělohách klíčících rostlin. Tento pokles lze prokázat i u jiných rostlin. Rostliny ošetřené giberelinem vydávají vodu během vadnutí rychleji, což svědčí o tom, že GA snižují odolnost rostlin k suchu (Šebánek et al., 1997).

Exogenně aplikované látky retardační povahy mění korelaci mezi kořenem a lodyhou ve prospěch kořene. Takto aplikované gibereliny naopak působí ve prospěch růstu lodyhy. Tento fakt může vysvětlit, proč také sucho, zvyšující obsah ABA a snižující obsah endogenních giberelinů, podporuje více růst kořene než prýtu (Šebánek et al., 1997).

### 2.2.2.4 Kyselina abscisová

Chemicky se jedná o seskviterpen s 15 uhlíkovými atomy a cyklickou částí v molekule. Fyziologicky aktivní formou kyseliny abscisové (ABA) je výhradně (+)-S-izomer. Nejvíce se tvoří v dormantních orgánech (pupenech, semenech, hlízách) a rychle rostoucích pletivech (listech). Tvoří se rovněž v kořenových špičkách. Tvorba ABA je vyšší za krátkého dne a silně stoupá při nedostatku vláhy (Macháčková, 1998). Pro své funkce je nazývána hormonem stresu. Snižováním transpirace a zvyšováním odolnosti cytoplazmy brání ztrátám vody. Stimuluje degradační procesy a urychluje stárnutí. Reguluje dormanci semen a pupenů (Dřimalová, 2005).

ABA má rozhodující roli ve zprostředkování informace o suchu a regulaci růstu nadzemní části rostliny na začátku působení stresu. Později tuto roli přebírá hydraulický signál (Goodger et al., 2005). Zvýšená hladina ABA je nejnápadnější hormonální změnou

způsobenou suchem (Harris et Outlaw, 1991). ABA podporuje růst kořenů a omezuje růst prýtlů, takže rostliny vystavené suchu mohou mít snížený poměr mezi prýty a kořeny (Mansfield et Mc Ains, 1995). ABA stojí za krátkodobou stimulací růstu hlavního kořene (Davies et Bacon, 2003). Exogenně aplikovaná ABA snižuje uzavírání průduchů a tím ovlivňuje rezistenci rostlin vůči suchu (Bradford, 1983). Z toho vyplývá, že ztráty vody v rostlinách během vodního stresu je možno redukovat, a tak zvýšit odolnost rostlin vůči suchu aplikací ABA (Jeong et Ota, 1981, Marshall et al., 1991). Výdej vody během vadnutí může brzdit také ošetření TIBA, jak uvádí Šebánek et al. (1997).

#### 2.2.2.5 Etylén

Biosyntéza etylenu vychází z aminokyseliny L-methioninu. Mezi jeho fyziologické účinky patří účast na procesech stárnutí, inhibice prodlužovacího a stimulace radiálního růstu. Signalizuje fyziologický stres a vyvolává ochranné reakce (Dřimalová, 2005).

Vlivem sucha se může zvedat produkce etylenu v rostlinách podobně jako vlivem jiných stresových faktorů (Wright, 1977). Existují však i odlišné údaje, které souvisí se skutečností, že uzavření průduchů může zpomalit difuzi etylenu do okolního vzduchu (Šebánek et al., 1997). U některých druhů jsou k dispozici rostliny s nižší hladinou etylénu, které méně citlivě reagují na kolísání množství půdní vody. Nižší hladina etylénu má za následek zlepšený růst kořenů a též částečně snižuje růst listů - zmenšuje se tak plocha pro výpar vody (Bláha, 2011).

Šebánek et al. (1997) konstatují, že gibereliny a jiné růstově stimulační látky snižují odolnost rostlin k suchu, zatímco ABA, retardanty, etylen a další substance, působící inhibičně na růst, tuto odolnost zvyšují.

Zatímco Macháčková (1998) uvádí 5 druhů fytohormonů (auxiny, gibereliny, cytokininy, kyselinu abscisovou a etylen), pozdější autoři již mezi fytohormony řadí i brassinosteroidy (Oklestkova et al., 2015), kyselinu jasmonovou, salicyláty a strigolaktony (Wasternack, 2015).

#### 2.2.2.6 Brassinosteroidy

Brassinosteroidy jsou skupina rostlinných steroidů s růstově regulačními vlastnostmi. První steroid s regulačním účinkem byl izolován v roce 1979 z pylu řepky – odtud triviální název brassinolid (Grove et al., 1979). Byl identifikován jako (22 R, 23 R, 24 S) 2 $\alpha$ -3 $\alpha$ -22,23-tetrahydroxy-24-methyl-B- homo-7-oxa-5 $\alpha$ -cholestan-6-on. Dnes je známo okolo dvaceti typů

brassinosteroidů. Jejich charakteristickým znakem vůči živočišným steroidům jsou změny v jádře B a po dvou hydroxylových skupinách v kruhu A v bočním řetězci (Pavlová et Fischer, 2011). Jako všechny steroidní hormony mají i brassinosteroidy receptory v buněčném jádře (Krekule et Zmrhal, 1994).

Brassinosteroidy se nacházejí v nadzemních částech rostlin (např. v klasech a latách trav). Můžeme se s nimi setkat také v kořenech, kde pozitivně ovlivňují jejich růst a vývoj (Pavlová et Fischer, 2011). Jak uvádí Krekule et Zmrhal (1994) brassinosteroidy vykazují i další efekty podobné auxinu (např. podporují tvorbu etylénu). Účinné koncentrace brassinosteroidů se pohybují v rozmezí 0,01 až 10 nM (Macháčková, 1998). Vysoké koncentrace brassinosteroidů však mohou mít retardační účinky, jak ukazují výsledky Procházky et al. (2011).

Brassinosteroidy významně aktivují dlouhivý růst a dělení buněk (Mandava, 1988). Účastní se dějů od klíčení (Tanaka et al., 2003; Divi et Krishna, 2010) po přechod rostlin od vegetativní k reprodukční fázi (Suge, 1986). Na konkrétních příkladech byl prokázán jejich stimulační vliv při proliferaci kalusu u *Arabidopsis thaliana* či při regeneraci pletiv kvěťáku (Hu et al., 2000; Sasaki, 2002). Stimulují rozvíjení listů a jejich odklánění od stébla a v generativní fázi vývoje řídí tvorbu a dozrávání zrna (Hradecká et al., 2006). Další autoři zaznamenali po aplikaci brassinosteroidů rychlejší růst také u rostlin rodu *Geranium* (Swamy et Rao, 2008), *Coleus* (Swamy et Rao, 2011), druhu *Vicia faba* (Piñol et Simón, 2009) nebo u různých genotypů kukuřice (Holá et al., 2010).

Brassinosteroidy na růst stonku nepůsobí samostatně, ale interagují s dalšími rostlinnými hormony. Mají především doplňkový vliv na působení giberelinů a synergický efekt s auxinem (Tong et al., 2014; Unterholzner et al., 2015).

Brassinosteroidy nejenom podporují růst (Müssig, 2005), ale také zvyšují výnos a zlepšují jeho kvalitu. Rovněž Khripach et al. (2000) považují tyto látky za velmi perspektivní způsob podpory výnosu v případě zemědělských plodin. Po jejich aplikaci byl zaznamenán vyšší výnos u důležitých polních plodin, jako je např. pšenice, brambory, rýže, fazole či hořčice (Ramraj et al., 1997; Khripach et al., 2000; Zullo et Adam, 2002; Upreti et Murti, 2004; Fariduddin et al., 2008; Janeczko et al., 2010). Při testování v polních pokusech v Číně jejich použití vedlo ke zvýšení výnosu pšenice o 8 – 15 % (Cutler, 1994).

Z hlediska zvýšení kvality produkce byl prokázán kladný vliv brassinosteroidů na podzemnici olejnou (Vardhini et Rao, 1998) či mučenku jedlou (Gomes et al., 2006). U endivie byl po aplikaci brassinosteroidů společně s přípravkem Tomex Amin zaznamenán nárůst celkové antioxidační aktivity (Serna et al., 2013).



V podmínkách naší republiky byl vliv brassinosteroidů posuzován u máku. Byl hodnocen začátek kvetení, poléhání, zdravotní stav listů a výnos semene. Stanovován byl rovněž obsah tuku v semeni a obsah morfinu v makovině. Byl prováděn postřik rostlin ve fázi 8 pravých listů a v období dlouhivého růstu. Výsledky ukázaly, že efekt ošetření brassinosteroidy je silně závislý na konkrétním ročníku. Zatímco v roce 2006 byl vliv ošetření na rostliny minimální, tak v předchozím roce aplikace brassinosteroidů vedla ke zvýšení výnosu semen o 12 – 30 % (Havel, 2008).

Při pokusech s brassinosteroidy na řepě cukrové (ve fázi 9 a více listů rozvinuto, postřik 24-epibrassinolidem o koncentraci 1 $\mu$ M), prováděných v letech 2005 a 2007, byl prokázán příznivý vliv na výnosové i kvalitativní ukazatele – vyšší výnos bulev i bílého cukru (Hradecká et al., 2009).

Macháčková (1998) upozorňuje, že brassinosteroidy rovněž významně zvyšují odolnost rostlin vůči stresům - po jejich aplikaci překonávají rostliny stres s menšími ztrátami. Zvláště zahradní plodiny jsou citlivé k „sub-optimálním“ podmínkám prostředí a právě aplikace brassinosteroidů u nich slibuje do budoucna zvýšení produkce (Kang et Guo, 2011).

Ogweno et al. (2008) při pokusech na rajčeti zjistil, že aplikací 24-epibrassinolidu lze zmírnit účinky vysokých teplot. Jager et al. (2008) uvádí, že v rámci prováděných studií bylo prokázáno, že vnější aplikace brassinosteroidů vede také ke zlepšení různých aspektů růstu rostlin v podmínkách vodního stresu.

U jednoho z brassinosteroidů – 24-epibrassinolid – se při pokusech na rajčeti prokázalo, že hraje roli při zmírnění následků stresu suchem. V rámci pokusu byly rostliny rajčete ošetřeny postřikem roztokem 24-epibrassinolidu na list a vystaveny suchu (0; 3 a 5 dní bez závlivy). Poté byly měřeny biochemické a antioxidační parametry u těchto rostlin. Zjištěné údaje dokládají, že 24-epibrassinolid hraje roli při zmírnění poškození rostlin následkem vodního stresu (Behnamnia et al., 2009). Výsledky měření při pokusech na *Brassica napus* rovněž ukázaly, že tato látka dokáže zmírnit důsledky vodního stresu a pomoci rostlinám přežít v nepříznivých podmínkách (Mousavi et al., 2009).

Brassinosteroidy také mírní projevy dalších stresových faktorů na fyziologii rostlin, např. v závislosti na použití pesticidů (Xia et al., 2006), herbicidů (Pinol et Simon, 2011) či v případě zasolení (Núñez et al., 2003; Shahid et al. 2011).

Brassinosteroidy jsou považovány za netoxické látky (Esposito et al., 2011), šetrné k životnímu prostředí (Kang et Guo, 2011).

Jak bylo zmíněno výše, v současné době jsou brassinosteroidy považovány za samostatnou skupinu fytohormonů (Bishop et Yokota, 2001; Zullo et Adam, 2002).

Přírodní brassinosteroidy jsou vzhledem k vysoké pořizovací ceně pro praxi nepoužitelné.

Některé, z dnes známých účinných molekul, proto byly připraveny synteticky a očekává se jejich využití v praxi. Nejčastěji používaným syntetickým brassinosteroidem je dnes 24-epibrassinolid. Přesto jeho cena poněkud omezuje širší využití (Hradecká et al., 2006).

Byla provedena řada pokusů týkajících se působení brassinosteroidů na fyziologické procesy u rostlin. Avšak není dosud shromážděn dostatek poznatků o skutečném dopadu těchto rostlinných stimulantů a jejich syntetických analogů na kvalitu a kvantitu výnosu u zeleniny.

#### 2.2.2.7 Kyselina jasmonová

Kyselina jasmonová a její metylester jsou obsaženy ve všech orgánech mnoha rostlinných druhů, a to v relativně vysokých množstvích. Jejím nejdéle známým fyziologickým účinkem je urychlující vliv na stárnutí listových segmentů. Kumuluje se ve stárnoucích listech. Podobně jako kyselina abscisová má růstově inhibiční vlastnosti (brzdí růst kalusu, inhibuje klíčení a růst kořenů). Významný je vliv kyseliny jasmonové na zakládání hlíz bramboru. Avšak její nejvýznamnější úlohou je její funkce jako signálu při reakci na dotyk (úponkaté rostliny), na patogeny a na poranění (Macháčková, 1998).

#### 2.2.2.8 Strigolaktony

K fytohormonům se dle Wasternacka (2015) řadí i strigolaktony, kterých je známo již devět, např. strigol, orobanchol, alectrol, sorgolakton a další (Xie et al., 2008; Yoneyama et al., 2008). Jejich chemická struktura je odvozena od tetračlenné molekuly, nazvané strigol. Strigolaktony jsou vylučovány kořenovým systémem rostliny a regulují její větvení, modifikují účinek auxinu a podílí se na vzájemném působení rostlin a prostředí, ve kterém rostou. Hrají významnou úlohu při parazitismu (Yoneyama et al., 2008).

Semena parazitických rostlin rodů *Orobanche* (záraza) a *Striga* přežívají celé roky v dormantním stavu. Klíčit začínají teprve po indukci chemickým signálem (strigolaktony), vylučovaným kořenovým systémem hostitelské rostliny do blízkého okolí. Jakmile molekula strigolaktonu pronikne do semene, již během několika minut dochází ke stimulaci mitochondrií, během hodiny k nastartování biosyntézy a poté následuje exprese genů aktivujících buněčné dělení, růst a diferenciaci (Brewer et al., 2009). Strigolaktony jsou také rozpoznávacím signálem pro mykorhizní mikroorganismy (Soto et al., 2010).

### 2.2.3 Další látky s regulační aktivitou

#### 2.2.3.1 Kouřové látky

Další z fyzikálních veličin, která ovlivňuje rostliny a souvisí s vláhovým deficitem, je teplota. Důsledkem vysokých teplot jsou pak požáry. Každoroční rozsáhlé požáry devastují obrovské oblasti vegetace na Zemi. Ačkoliv rostliny se mohou požáru jen těžko bránit, vyvinuly se u nich mechanismy, které umožňují využít některých faktorů spojených s požárem ve svůj prospěch. Takovým faktorem mohou být látky obsažené v kouři ze spálené vegetace, které pomáhají urychlit proces klíčení rostlin. Chemická podstata těchto látek byla odhalena v roce 2003 a sloučeniny byly nazvány karrikiny. Dle chemické struktury je řadíme do skupiny butenolidů, mezi které se řadí i výše uvedené strigolaktony.

Karrikiny se svými účinky na klíčení a navazující procesy výrazně podobají účinkům některých fytohormonů, jako jsou např. gibbereliny. Dosud však nebyla v rostlinách identifikována biosyntetická dráha, která by k syntéze karrikinů vedla (Nelson et al., 2012). Molekulární podstata pozitivních účinků kouřových látek dosud není objasněna, přesto se karrikiny ukazují jako zajímavé látky uplatnitelné v zahradnictví.

#### 2.2.3.2 Polyaminy

Polyaminy se nejčastěji v rostlinách vyskytují jako putrescin, spermin a spermidin. Vyskytují se v různém poměru, a to i v dost vysokých koncentracích (až stovky  $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$  čerstvé hmotnosti). Nejvyšší hladiny se nacházejí v meristematických pletivech. Polyaminy stimulují růst, zejména v kulturách in vitro, kde probíhá intenzivní buněčné dělení. Dále stimulují, zejména putrescin, somatickou embryogenezi. Hrají rovněž významnou roli v obraně rostlin proti stresům. To je dáno jejich ochranným působením na membrány a na DNA (Macháčková, 1998).

#### 2.2.3.3 Oligosachariny

Oligosachariny jsou fragmenty buněčné stěny a chemicky se jedná o oligosacharidy. Podle monosacharidů obsažených v jejich molekule se dělí do několika skupin. Xyloglukanové i pektinové oligosachariny inhibují dlouhivý růst, glukózaminové oligosachariny se účastní odezvy rostlin na napadení patogeny. Mezi tyto látky patří též „nodulační faktory“ produkované bakteriemi *Rhizobium*, které se účastní raných stádií nodulace (Macháčková, 1998).

#### 2.2.3.4 Fenolické látky

Fenolické látky reprezentují rozsáhlou skupinu sekundárních metabolitů. Do této kategorie se řadí jednoduché deriváty benzenu, kyseliny benzoové a skořicové, dále flavonoidy, antokyany a kumariny, ale i látky složité jako jsou třísloviny a lignin. Některé z těchto látek mají růstově regulační vlastnosti.

Deriváty kyseliny skořicové (p-kumarová, nerulová, kávová), kyseliny benzoové a některé flavonoidy inhibují přirozený dlouhivý růst i růst indukovaný IAA. Tyto účinky se vysvětlují vlivem zmíněných fenolů na odbourání IAA peroxidázou. Jiné vysvětlení spočívá v tom, že deriváty kyseliny skořicové jsou přímými prekurzory stavební jednotky ligninu a lignifikace omezuje dlouhivý růst (Macháčková, 1998).

Při regulaci pěstebního procesu řady plodin (jako je např. cukrová řepa, kukuřice, len, řepka, rajče, paprika, ovocné ale i léčivé rostliny), jsou často využívanými účinnými látkami nitrofenoláty (Panajotov, 1997; Babuška, 1998; Zahradníček et al., 1998; Pulkrábek et al., 1999; Černý et Ondříšek, 2003; Djanaguiraman et al., 2004b; Serrano et al., 2010).

Jak uvádí Kovár et Černý (2008), zatím není dostatek detailních poznatků o reakci rostlinné buňky na nitrofenoláty v rámci regulace stresu. Je však zřejmé, že nitrosloučeniny minimalizují oxidativní poškození prostřednictvím zvýšené aktivity antioxidantních enzymů, což se v konečném důsledku projeví na úrovni celé rostliny její lepší produkční výkonností (Grassmann et al., 2002). Nitrofenoláty byly identifikovány jako endogenní součást rostlinného metabolismu stimulující růst změnou aktivity specifických antioxidantních enzymů (Djanaguiraman et al., 2004a). Tyto enzymy jsou zapojeny do detoxikačních reakcí reaktivních forem kyslíku (Mittler, 2002). Při optimálních fyziologických podmínkách podléhá kyslík několika metabolickým přeměnám spojeným s tvorbou reaktivních forem. Oxidativní poškození, jako důsledek stresové situace v buňce, je indukováno tehdy, když je produkce reaktivních forem kyslíku vyšší než schopnost buňky homeostaticky tyto reaktivní formy detoxikovat. Z toho vyplývá, že produkce reaktivních forem kyslíku je všeobecným syndromem stresové reakce buňky (Lichtenthaler, 1996).

Jedním z přípravků, který využívá principů fungování aromatických nitrosloučenin, je Atonik (AT). Účinnými látkami AT jsou 2-nitrofenolát sodný v množství 2 g.l<sup>-1</sup>, 4-nitrofenolát sodný v množství 3 g.l<sup>-1</sup>, 5-nitroguajakolát sodný v množství 1 g.l<sup>-1</sup>.

Při exogenním použití AT zvyšuje aktivitu auxinů, stimuluje proces kvetení, umožňuje rychlou adaptaci na nepříznivé environmentální podmínky a zvyšuje výnos (Zahradníček et al., 1998; Černý et al., 2002; Gruszczuk et Berbec, 2004; Kołodziej, 2004; 2008). AT

obsahuje přírodní složky šetrné k životnímu prostředí, přičemž stimuluje rostlinný metabolismus bez jeho poškození, resp. bez toxicity, jak prokázaly pokusy na rajčeti a bavlníku (Djanaguiraman et al., 2004c). AT zlepšuje přímo příjem minerálních živin z půd, akumulaci produktů fotosyntézy do zásobních orgánů a rozvoj půdních bakterií. Taktéž zvyšuje aktivitu nitrátreduktázy (Sharma et al., 1984).

Výrobce AT doporučuje také ke stimulaci výnosu chmele, cukrovky, řepky, rajčat, polní papriky, k zakořeňování řízků karafiátů, stimulaci klíčení semen květin a zeleniny a stimulaci růstu a výnosu máku setého (Anonym, 2008).

Další autoři zjistili pozitivní vliv AT na výnos a kvalitativní parametry u cukrové řepy (Zahradníček et Pulkrábek, 2001; Zahradníček et al., 2004a; 2004b). V případě pěstování zeleniny sledoval Serrano et al. (2010) vliv aplikace směsi nitrofenolátů na růst a dozrávání papriky. Během vegetace měřili hmotnost plodů, jejich barvu, výživové hodnoty a bioaktivní složky (obsah polyfenolů, karotenoidů, organických kyselin a celkovou antioxidační aktivitu). Sledované parametry byly po použití nitrofenolátů průkazně vyšší. Aplikace směsi nitrofenolátů tedy vedla ke zlepšení kvality plodů a především ke zvýšení jejich výživové hodnoty. Při použití AT ve formě listové aplikace u cukrovky ve fázi BBCH 14 - 16 a 30 - 31 byl zjištěn statisticky významný rozdíl ve výnosu bulev (Černý et al., 2009). Použití AT vedlo též k nárůstu obsahu inulinu a sušiny u kořene čekanky (Černý et al., 2007). V případě testování u révy vinné byl prokázán příznivý vliv AT na výnos i na kvalitu hroznů (Yaneva et al., 2010).

V rámci pokusů bylo u stimulatoru AT prokázáno, že zmírňuje stresové působení herbicidů na cibuli (Petříková et al., 2006). AT rovněž urychlil regeneraci rostlin řepy cukrové stresovaných aplikací postemergentních herbicidů (Pulkrábek et al., 2007). V případě ječmene, pěstovaného v podmínkách vláhového stresu, vedlo použití AT k mírnému zvýšení počtu zrn v klase (Svobodová et Míša, 2004). Byl zkoumán vliv rovněž AT o koncentraci 0,1 % na rychlost fotosyntézy, transpiraci a efektivitu využití vody u rostlin cukrovky při aplikaci na list v průběhu vodního stresu. Výsledky těchto pokusů však nebyly přesvědčivé (Hejnák, 2010).

Účinky AT při pěstování zeleniny v podmínkách vláhového deficitu dosud nebyly dostatečně prozkoumány, i když pokusy provedené na polních plodinách mají slibné výsledky.

Sodné soli nitrofenolů jsou kromě Atoniku obsaženy též v přípravcích M-Fenol Mix (AGRA GROUP a. s., Střelské Hoštice, ČR), Sviton (Biom s. r.o., Kamenný Újezd, ČR),

Racine (ASAHI CHEMICAL MFG. CO., LTD., Ikomagun Nara, Japonsko), Agrostim Nitrofenol (AgroProtec s.r.o., Kamenný Újezd, ČR) aj.

Z řady pomocných rostlinných přípravků, které využívají efektu derivátů kyseliny benzoové lze uvést např. Almiron (ALMIRO energy for vegetation, s.r.o., Praha, ČR), Rexan, Sunagreen a Hergit (Bisfor s.r.o., Pardubice, ČR).

## 2.3 Vybrané zeleninové druhy

Pro pokusy v rámci disertační práce byly vybrány tyto plodiny – cibule kuchyňská *Allium cepa* L. a salát hlávkový *Lactuca sativa* L. var. *capitata* L.

### 2.3.1 Cibule kuchyňská

#### 2.3.1.1 Původ, rozšíření

Cibule kuchyňská pochází se Střední Asie, odkud se rozšířila do Středomoří. Doklady o jejím pěstování ji řadí mezi nejstarší zeleniny vůbec (Malý et Petříková, 2000).

Cibule patří k nejpěstovanějším zeleninám v ČR (Petříková et al., 2006) a je též významným druhem zeleniny v rámci celé Evropské unie. Cibule spolu s rajčaty, mrkví a zelím představuje více jak polovinu celkové produkce zeleniny v rámci Evropské unie (Buchtová, 2013). Na trh je cibule dodávána jako čerstvá (suchá, s krátce seříznutou natí, s natí) nebo konzervovaná. Svým charakterem je to zelenina kořeninová, která se využívá díky svým chuťovým a aromatickým vlastnostem.

V současnosti se v naší republice cibule kuchyňská pěstuje na ploše 1581 ha (Buchtová, 2015), nicméně v roce 2006 pěstitelské plochy činily dokonce 2 235 ha (Buchtová, 2013). V roce 2014 byl průměrný hektarový výnos cibule v České republice na úrovni 20,97 tuny (Buchtová, 2015), v letech 2004 až 2013 se výnos pohyboval v rozmezí 15,28 až 24,45 t.ha<sup>-1</sup> (Buchtová, 2011). Petříková et al. (2006) upozorňuje, že špičkoví pěstitelé dosahují hektarového výnosu 60 až 70 t.ha<sup>-1</sup>. Příčinou nízkých výnosů u cibule v porovnání s reálným potenciálním výnosem je hlavně nekvalitní příprava půdy, vysoká hrudovitost, nízká vzcházivost, vysoká mezerovitost porostu a nízký počet rostlin v době sklizně (Malý et Petříková, 2000).

Roční spotřeba cibule je relativně stabilní, pohybuje se okolo 10,6 kg na osobu a rok, přičemž asi polovina roční domácí spotřeby je kryta dovozem (Petříková et al., 2012). Buchtová (2013) uvádí aktuální údaj o spotřebě - 11,2 kg na osobu a rok.

### 2.3.1.2 Nutriční hodnota

Cibule má vysokou nutriční hodnotu. Obsah sušiny u cibule činí 10,5 – 15 % (Malý et al., 1998). Šebánek (2001b) uvádí obsah sušiny 14 % a Kopec (1998) udává průměrný obsah 121 g.kg<sup>-1</sup>. Malý et al. (1998) upozorňuje, že obsah sušiny závisí na odrůdě a typu cibule. Podíl bílkovin v cibuli činí 1,5 – 2 %, sacharidů (glukózy a sacharózy) 9,6 %, vlákniny 0,7 – 1,4 %, popelovin 0,5 – 0,6 %. Podle obsahu silic se rozlišují odrůdy sladké (s nejmenším obsahem silic), poloostře a ostré. Cenný je obsah minerálních látek, např. síry, křemíku, zinku a železa (Malý et al., 1998; Malý et Petříková, 2000). Obsah vitamínu C je uváděn v rozmezí 90 – 100 mg.kg<sup>-1</sup> (Velíšek, 2002). Ze sirných složek je významný alliin a z něho vznikající allicin, který posiluje imunitní systém člověka. Jsou zde však také antioxidační diallylsulfidy a cepaeny. Pravděpodobně hlavním faktorem léčivých účinků cibule je kvercetin. Cibule obsahuje značné množství zdraví prospěšné potravinové vlákniny a pektinu (Kopec, 2010).

### 2.3.1.3 Nároky na stanoviště

Cibule patří mezi jednoděložné rostliny z čeledi *Amaryllidaceae* (dříve byla řazena mezi *Liliaceae*). Je to dvouletá rostlina, v prvním roce vytváří zásobní orgán – cibuli, v druhém roce květenství – lichookolík obalený blanitým toulcem (Petříková et al., 2012). Tvorba cibule jakožto zásobního orgánu je fyziologicky podmíněna délkou dne. V našich podmínkách dlouhého dne (asi 15 hodin světelná fáze v 24hodinovém cyklu) je vhodné pěstovat odrůdy dlouhodobní. Hmotnost tisíce semen (HTS) je 2 – 4 g (Moravec, 1994). Cibule je pěstována v širokém geografickém areálu s odlišnými teplotními podmínkami. Jedná se původně o stepní rostlinu, proto jsou pro ni vhodná stanoviště teplejší a otevřená. Cibule vyžaduje 250 – 300 mm srážek za vegetaci, s kritickým obdobím ve fázi vrcholícího růstu, které nastává koncem června či v první dekádě července (Malý et al., 1998). Chladné a vlhké počasí během léta způsobuje porůstání cibule a její horší vyzrávání (Vogel et al., 1996). Cibule nemá vyhraněné nároky na půdu, vhodnější je však středně těžká až lehčí půda, která neulpívá při sklizni na cibulích. Příliš nízké pH (pod 5,5) je pro cibuli nevhodné (Moravec, 1994). Za ideální se považuje spíše slabě alkalická reakce, tj. pH 6,5 – 7,5. Malý et Petříková (2000) dále uvádějí, že nejvyšší výnosy dává cibule na těžších, hlubokých černozemních půdách v řepařské oblasti. Nevhodné jsou půdy slévavé, na nichž cibule nestejněměrně vzchází a vyskytuje se více krkatých cibulí. Výhodná jsou stanoviště chráněná proti větrné erozi, zvláště na jaře.

Cibule patří ke středně náročným plodinám na živiny. Cibule se zařazuje do druhé trati, v humózních půdách i do trati třetí. Nesnáší přímě hnojení chlévským hnojem (Malý et Petříková, 2000). Tato rostlina má zvýšený požadavek na draslík, který příznivě ovlivňuje její skladovatelnost. Podobně působí i dusík, pokud není výrazně v přebytku. Zvýšená potřeba síry pro tvorbu silic je zajišťována hnojením síranem amonným. Ten je také používán pro základní hnojení. Při pěstování ze semen se provádí přihnojení ve fázi 4 - 6 pravých listů. Při výnosu 40 t.ha<sup>-1</sup> je střední odběr živin okolo 120 kg N.ha<sup>-1</sup>, 24 kg P.ha<sup>-1</sup> a 132 kg K.ha<sup>-1</sup> (Vaněk et al., 2012).

#### 2.3.1.4 Pěstování a nároky na vláhu

Při přípravě půdy pro cibuli je nutno dosáhnout optimálních podmínek vzcházení, tzn. 30 – 40 mm svrchní vrstvy půdy musí být jemně drobtovité struktury a pod ní homogenní výsevní lože, pro dosažení kapilárního vztlínání vody k semeni (Malý et Petříková, 2000).

Cibule se nejčastěji pěstuje z přímých výsevů na jaře - zpravidla v první polovině března - při tradiční technologii pěstování cibule na uskladnění. Nejvhodnější je záhonový výsev na záhony šířky 1500 mm přesným secím strojem do dvoj- nebo třířádkových pásů (Malý et Petříková, 2000). Vysévá se do hloubky 20 – 30 mm. Obvyklá hustota porostu je 70 až 100 rostlin.m<sup>-2</sup>. Klíčení cibule je velmi pomalé, trvá dva až tři týdny, avšak probíhá i za nízké teploty (Petříková et al., 2006). Moravec (1994) konkrétně uvádí, že při teplotách 5 – 10 °C cibule vzchází 13 – 30 dnů. Optimální teplota pro růst rostlin je pak 13 – 24 °C (Peirce, 1987). Vzhledem k úzkolistému charakteru rostliny, která během celé vegetační doby nezakryje povrch půdy, vyžaduje cibule intenzivní odplevelování (Petříková et al., 2012). K potlačení plevelů je nejvhodnější kombinace mechanických a chemických prostředků. Kultivace však musí být mělká, aby nedošlo k poškození kořenové soustavy. Proto většina pěstitelů volí chemickou cestu kontroly plevelů (Peirce, 1987). Zaplevelení snižuje nejen výnos, ale značně také ztěžuje, ne-li znemožňuje sklizeň a následné dosoušení (Malý et Petříková, 2000).

Větší nároky na vláhu má cibule kuchyňská jen na začátku vegetace. Hloubka provlhčení by se měla pohybovat v rozmezí 10 – 20 mm. Minimální zásoba půdní vláhy je okolo 50 % využitelné vodní kapacity (VVK). Závlahové množství za celou vegetaci činí okolo 60 mm s aplikací během května a června (Bartoš et al., 2000). V případě vláhového deficitu v kritickém období vzcházení může dojít k výrazné redukci počtu vzešlých rostlin. Následná mezerovitost porostu se pak projeví snížením množství resp. kvality výnosu této hospodářsky významné plodiny. Singh et Alderfer (1966) zaznamenali, že nedostatek půdní



vláhy v jakékoliv fázi růstu vede ke snížení tržního výnosu. Dále poznamenali, že cibule je citlivější na vodní stres při formování konzumní části než v průběhu vegetativní fáze. Pelter et al. (2004) uvádí, že nedostatek vody v růstové fázi 3 – 7 listů může snížit výnos a to až o 26 % v porovnání s rostlinami dostatečně zavlažovanými. Naopak omezení závlahy během posledních fází růstu cibule je běžnou praxí, díky které dochází k minimalizaci ztrát způsobených hnilobami při skladování cibule (Rattin et al., 2011). Omezení závlahy na konci vegetace rovněž doporučuje Kumar et al. (2007). Tito autoři též upozorňují, že závlaha má významný vliv i na parametry růstu cibule a následně ovlivňuje celkový výnos porostu.

Enciso et al. (2009) uvádí, že celkově nejvyšší výnosy a největší rozměry cibulí byly získány, pokud byla vlhkost půdy udržována nad hranicí 30 kPa.

### 2.3.1.5 Sklizeň

Cibule kuchyňská se sklízí v době, kdy je polovina až dvě třetiny natě přirozeně polehlé. Sklízí se buď ručně, nebo mechanizovaně (mechanizovaně většinou dvoufázově). Při vyorávce prosévacím vyorávačem se cibule nechává 7 – 10 dní proschnout. Proschlá se pak sklízí pomocí nakládacích vyorávačů. Při sklizni je nutné před naskladněním vytřídit vykvetlice.

Cibule se dříve třídila dle ČSN 46 3161 do dvou jakostních tříd. V I. jakostní třídě musí být cibule pevné, kompaktní bez květního stvolu, bez kořínků, typického tvaru a vybarvení pro odrůdu, s dobře uzavřeným, suchým krčkem. V II. jakosti musí být cibule dostatečně pevné, kompaktní, povoluje se tvar a vybarvení netypické pro odrůdu, počátek rašení maximálně 10 % počtu nebo hmotnosti a lehké otlaky neovlivňující skladovatelnost. U obou jakostí musí být rozdíl mezi největší a nejmenší cibulí nejvýše 5 mm při průměru cibule 10 – 20 mm, 10 mm u průměru 15 – 25 mm, 15 mm u průměru 20 – 40 mm a 30 mm, je-li příčný průměr 70 mm a více. Minimální průměr prodejné cibule je 10 mm (Malý et Petříková, 2000). Nyní se obchodní norma stanoví dle Nařízení Komise č. 2001/1508/ES (Petříková et al., 2006).

Suchá cibule se skladuje obvykle volně ložená na podlaze s větracími kanály. Možné je též skladování ve větratelných kontejnerech. Skladovací teploty jsou v rozmezí od -2°C do +1°C. Při dlouhodobém skladování by teplota neměla překročit +3°C. Petříková et al. (2012) uvádí jako vhodnou relativní vzdušnou vlhkost skladování 78 – 80 %, starší údaje hovoří o doporučené relativní vzdušné vlhkosti na úrovni 65 – 75 % (Malý et Petříková, 2000) i 60 – 70 % (Peirce, 1987).

Přínosem by bylo, pokud by se předset'ovou úpravou osiva či aplikací růstových stimulátorů během růstu podařilo omezit ztráty, ať už snížením mezerovitosti porostu nebo lepší adaptací rostlin na deficitní vláhové poměry a dosáhnout tak průkazného zvýšení výnosu a zlepšení jeho jakosti.

Pro testování byly použity dvě reprezentativní dlouhodobní odrůdy 'Alice' a 'Lusy', vhodné pro pěstování z přímého jarního výsevu.

### 2.3.2 Salát hlávkový

Jako další modelová rostlina byl použit salát hlávkový.

#### 2.3.2.1 Původ, rozšíření

Salát hlávkový byl pravděpodobně vyšlechtěn z planě rostoucí lociky kompasové (*Lactuca serriola* L.), která se využívala jako zelenina v Egyptě, Řecku a Persii již před rokem 500 n. l. (Petříková et al., 2012). Dnešní formy hlávkového salátu však byly poprvé popsány až v 16. století (Vogel et al., 1996).

Salát hlávkový je jeden z nejdůležitějších zástupců listové zeleniny, který se konzumuje v čerstvém stavu (Putnam et al., 2000). Tržním zbožím jsou uzavřené hlávky široce vejčitých listů různých barev (žlutozelené, zelené, hnědozelené) a textury (hladké, bublinaté, zkadeřené). Z jakostních znaků je významná křehkost a svěžest listů, pevnost a kompaktnost hlávky (Kopec, 2010).

V posledních letech byl na území ČR salát pěstován na 198 až 245 ha (Buchtová, 2015). Průměrný hektarový výnos byl v roce 2011 8,26 tun a o rok později 9,45 tun a v roce 2014 dokonce 11,53 tun (Buchtová, 2015).

#### 2.3.2.2 Nutriční hodnota

Průměrný obsah sušiny u salátu hlávkového činí 4 - 10 %. Šebánek (2001b) uvádí 6% obsah sušiny a Kopec (1998) pouze 53 g sušiny na 1000 g. Podíl sacharidů činí 2 - 6 %. V případě vlákniny se údaje jednotlivých autorů liší - Kopec (2010) uvádí 9 g.kg<sup>-1</sup>, Malý et al. (1998) pouze 7,1 g.kg<sup>-1</sup>.

Z hlediska obsahu vitamínu C se údaje jednotlivých autorů také liší. Dle Petříkové et al. (2004) hlávkový salát obsahuje průměrně 120 až 210 mg.kg<sup>-1</sup> vitamínu C, Velíšek (2002) uvádí rozsah od 60 do 300 mg.kg<sup>-1</sup> a Kopec (1998) 81 mg.kg<sup>-1</sup>.

Z desítek přítomných bioaktivních látek jsou významné hořké látky (např. laktucin). Ochrannou složkou pro lidské zdraví je chlorofyl (Kopecký, 2010).

Listová zelenina obecně má tendenci hromadit dusičnany. Dle Nařízení Komise (ES) č. 466/2001 je povolen maximální obsah dusičnanů pro salát pěstovaný na poli a sklizený v době od 1. dubna do 30. září do  $2500 \text{ mg NO}_3 \cdot \text{kg}^{-1}$ . V případě sklizně v termínu od 1. října do 31. března činí tento maximální limit  $4000 \text{ mg NO}_3 \cdot \text{kg}^{-1}$  (Petříková et al., 2012).

#### 2.3.2.3 Nároky na stanoviště

Salát vyžaduje lehčí až středně těžké humózní, propustné půdy s dobrou strukturou a dobrou vodní jímavostí. (Petříková et al., 2012). Nevhodné jsou půdy těžké, uléhavé, kyselé, mokré nebo extrémně suché. Vhodná půdní reakce je 5,8 až 6,5 pH (Mareček et Moravec, 2001). Petříková et al. (2012) uvádí jako vhodný rozsah pH 6,2 – 7,5, jako prevenci před výskytem okrajové nekrózy. Tato porucha se rovněž může vyskytnout při náhlém oteplení po sérii chladných a deštivých dnů.

Na teplotu je nenáročný, roste již při teplotě nad  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  (Petříková et al., 2012). Teplotní optimum pro růst rostlin je  $15 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Semena klíčí při  $16 - 22 \text{ }^\circ\text{C}$ , při teplotách  $25 - 30 \text{ }^\circ\text{C}$  se však klíčivost snižuje (Mareček et Moravec, 2001).

Salát není náročný na zařazení do osevního postupu, pěstuje se v druhé nebo třetí trati. Je středně náročný na živiny. Jedna tuna produkce odčerpá z půdy 2,2 kg dusíku; 0,4 kg fosforu; 4 kg draslíku; 0,8 kg vápníku; 0,24 kg hořčíku a 0,5 kg síry. Obezřetně je třeba hnojit dusíkem, který při nadměrných dávkách zvyšuje obsah zdravotně nežádoucích nitrátů. Pro přihnojení během vegetace připadá v úvahu dávka dusíku do  $20 \text{ kg/ha}$  a aplikace by měla proběhnout nejpozději čtyři týdny před sklizní (Vaněk et al., 2007). Při pěstování v systému integrované produkce zeleniny je pro salát povolen maximální limit  $65 \text{ kg}$  dusíku na hektar (Petříková et al., 2012).

#### 2.3.2.4 Pěstování a nároky na vláhu

Salát je jednoletou rostlinou. Kořenová soustava se skládá z hlavního kulového kořene s velkým množstvím kořenového vlášení. Kořenová soustava je mělká (Burns, 1980), kulový kořen sahá do hloubky  $40 - 100 \text{ mm}$  (Malý et al., 1998). Petříková et al. (2012) uvádí, že v dobře prokypřené ornici dosahuje hlavní kořenová masa do hloubky až  $250 \text{ mm}$ . Z hlediska zavlažování je salát problematická plodina, neboť závlaha je nutná během celé vegetace a celková potřeba vody je  $140 - 150 \text{ mm}$ . Závlahou se obvykle dodá  $80$  až  $120 \text{ mm}$ , jedna závlahová dávka je  $10 - 15 \text{ mm}$ . Zavlažuje se pokaždé, když využitelná vodní kapacita klesne

pod 65 % (Petříková et al., 2006). Šlechtitelské programy se v případě salátu zaměřily především na odolnost vůči chorobám a na vysoký výnos, kterého je dosahováno v podmínkách konvenčního systému produkce díky vysoké spotřebě živin a častému používání závlahy (Gallardo et al., 1996). Tyto moderní odrůdy také více podléhají stresu z nedostatku vody a živin, protože kořenový systém se nachází hlavně v horní vrstvě půdy (Johnson et al., 2000).

Obecně nedostatek vody výrazně snižuje podíl sušiny a tím také konečný výnos (Wu et al., 2008). Ale výzkumy Rajabbeigiho et al.(2013) ukazují, že zatímco výnos biomasy u salátu byl působením sucha snižen, obsah sušiny nebyl působením tohoto faktoru statisticky významně ovlivněn.

Salát se pěstuje především z předpěstované sadby. Výsev obaleného osiva se obvykle provádí do sadbovačů se 160 buňkami. Klíčení probíhá nejlépe při teplotě 14 – 18 °C (Petříková et al. 2012). Při pěstování sadby potřebuje salát denní kolísání teplot - během dne 15 °C a v noci 10°C i méně. Délka předpěstování sadby se pohybuje od 30 dnů do 70 dnů v závislosti na ročním období.

Výsadba na venkovní stanoviště probíhá od března do konce srpna. Obvyklý spon je 250 mm x 250 mm až 300 mm x 300 mm (Malý et al., 1998). Sucho, dlouhý den a vysoká teplota podporují nežádoucí vyběhání rostlin do květu (Petříková et al., 2012).

#### 2.3.2.5 Sklizeň

Sklizeň salátu hlávkového je prováděna ručně, probírkou. Hlávky se třídí dle ČSN 46 3110 do dvou jakostních tříd. V obou třídách musí být hlávky nevyběhlé, mohou být načervenalé vlivem chladu, košťál musí být odříznut těsně pod spodními listy. Minimální hmotnost hlávky je 100 g u rychleného a 150 g u polního salátu. V případě II. jakosti mohou být hlávky i méně dobře utvořené (Malý et al., 1998). Jak uvádějí Mareček et Moravec (2001), dobrý porost poskytne 80 % tržních hlávek (tj. 80 – 120 tis. ks.ha<sup>-1</sup>).

Pro tuto práci byly vybrány dvě reprezentativní odrůdy hlávkového salátu 'Mars' a 'Maršalus'.

## 3 Cíle a hypotéza

### 3.1 Cíle

Cílem práce bude ověřit účinek vybraných rostlinných stimulátorů (Atonik a syntetický brassinolid), jako prostředků omezujících důsledky vláhového deficitu při pěstování vybraných druhů zeleniny (cibule, salát) v různých vláhových podmínkách (optimálních a deficitních).

Dílčím cílem bude sledovat vliv Atoniku a syntetického brassinolidu na klíčení a vzcházení rostlin a následně otestovat vzcházení osiva v nádobovém a v polním pokusu.

U salátu bude dílčím cílem posoudit vliv těchto stimulátorů na klíčení a na rychlost následného růstu rostlin a tedy na možnost zkrácení doby předpěstování sadby.

Cílem bude také ekonomicky zhodnotit reálnou efektivitu použití uvedených stimulátorů při polním pěstování v zelinářské praxi.

### 3.2 Hypotéza

Rostlinné stimulatory (syntetický brassinolid 2  $\alpha$ , 3  $\alpha$ , 17  $\beta$ -trihydroxy-5  $\alpha$ -androstan-6-on a přípravek Atonik, který je tvořen směsí dvou nitrofenolátů a nitroguajakolátu), použité v různých vláhových podmínkách:

- ovlivní průkazně růst nadzemní části cibule kuchyňské *Allium cepa* L. při pěstování z jarních výsevů
- ovlivní průkazně růst rostlin salátu hlávkového *Lactuca sativa* L. var. *capitata* při pěstování sadby
- ovlivní průkazně růst nadzemní části salátu hlávkového *Lactuca sativa* L. var. *capitata* pěstovaného na poli ze sadby
- povedou ke zvýšení výnosu a zlepšení jeho jakosti u obou testovaných druhů plodin

## 4 Publikované práce

Očíslované kopie originálů publikovaných prací

Článek 1: Doležalová, J., Koudela, M. 2013. Klíčení osiva cibule kuchyňské po aplikaci brassinolidu při optimální a při snížené vlhkosti. In: Pazderů, K. (ed.). Osivo a sadba, XI. Odborný a vědecký seminář 7. února 2013. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. s. 159-165. ISBN: 9788021323582.

Článek 2: Doležalová, J., Koudela, M., Sus, J., Ptáček, V. 2016. Effects of synthetic brassinolide on the yield of onion grown at two irrigation levels. *Scientia Horticulturae*. 202. 125-132.

Článek 3: Doležalová, J., Koudela, M., Sus, J. 2014. Evaluation of the effect of synthetic brassinolide on the seedlings of lettuce in different moisture conditions. In: Polák, O., Cerkal, R., Škarpa, P. (eds.). *MendelNet 2014 - Proceedings of International PhD Students Conference*. Mendel University in Brno. Brno. p. 28-32. ISBN: 9788075091741.

Článek 4: Doležalová, J., Koudela, M., Dubský, M. 2016. Brassinosteroide analogue effect on lettuce grown at different moisture levels. *Journal of Applied Horticulture*. (v tisku)

Článek 5: Koudela, M., Hnilička, F., Martinková, J., Svozilová, L., Doležalová, J. 2012. Yield and quality of head lettuce after 24-epibrassinolide application under optimal and reduced irrigation. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 60 (3). 93-100.

Článek 6: Doležalová, J., Koudela, M., Sus, J., Ptáček, V. 2015. Klíčení osiva cibule kuchyňské po aplikaci Atoniku při optimální a při snížené vlhkosti. In: Pazderů, K. (ed.). *Osivo a sadba, XII*. Odborný a vědecký seminář 5. února 2015. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. s. 57-63. ISBN: 9788021325449.

## Článek 1:

Doležalová, J., Koudela, M. 2013. Klíčení osiva cibule kuchyňské po aplikaci brassinolidu při optimální a při snížené vlhkosti. In: Pazderů, K. (ed.). Osivo a sadba, XI. Odborný a vědecký seminář 7. února 2013. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. s. 159-165. ISBN: 9788021323582.

# KLÍČENÍ OSIVA CIBULE KUCHYŇSKÉ PO APLIKACI BRASSINOLIDU PŘI OPTIMÁLNÍ A PŘI SNÍŽENÉ VLHKOSTI

*Germination of Onion Seeds after Application of Brassinolide at Optimum and Reduced Moisture Conditions*

Jitka Doležalová, Martin Koudela  
KZ ČZU v Praze

## Abstract

The aim of this work was to investigate the effect of synthetic brassinolide (analogous to 24-epibrassinolide) as a growth stimulant promoting the germination and as a tool for increasing the seeds' tolerance to water stress. There were used 2 varieties of onion ('Alice', 'Lusy'). The seeds were treated with solution of brassinolide (concentrations were  $10^{-5}$  M,  $10^{-7}$  M,  $10^{-9}$  M and  $10^{-11}$  M). Untreated seeds and seeds treated with distilled water only were used as dry control (S) and wet control (M). The optimum (OPT) and deficit (STR) conditions for germination were prepared in the laboratory. The number of germinated seeds was monitored regularly for 19 days. The positive effect of the treatment with brassinolide ( $10^{-9}$  M and  $10^{-11}$  M) was showed the sixth day in the variety 'Alice' compared to dry seeds and seeds treated with water only. This effect was not significant in case of variety 'Lusy'. The treatment with brassinolide with concentration of  $10^{-5}$  M had inhibitory effect. The results also showed varietal differences in response to the treatment.

**Keywords:** seed, vegetable, onion, 24-epibrassinolide, water stress

## Souhrn

Cílem této práce bylo sledovat působení syntetického brassinolidu (analogu k 24-epibrassinolidu) jako růstového stimulantu podporujícího klíčení a prostředku ke zvýšení odolnosti klíčícího osiva k vodnímu stresu. Bylo použito dvou odrůd cibule kuchyňské ('Alice', 'Lusy'), které byly ošetřeny namočením do vodného roztoku syntetického brassinolidu v koncentracích  $1.10^{-5}$  mol.l<sup>-1</sup>,  $1.10^{-7}$  mol.l<sup>-1</sup>,  $1.10^{-9}$  mol.l<sup>-1</sup> a  $1.10^{-11}$  mol.l<sup>-1</sup>. Jako neošetřená kontrola byl proveden výsev suchého osiva a osiva ošetřeného pouze vodou. Pro klíčení v laboratoři byly navozeny optimální a deficitní vlhkostní podmínky. Po dobu 19 dní byl pravidelně sledován počet vyklíčených semen. Ošetření osiva cibule syntetickým brassinolidem mělo vliv na klíčivost osiva převážně v prvních dnech klíčení. V případě deficitních vláhových podmínek se při počítání provedeném 6. den ukázal pozitivní vliv ošetření brassinolidem o koncentraci  $1.10^{-9}$  mol.l<sup>-1</sup> a  $1.10^{-11}$  mol.l<sup>-1</sup> u odrůdy 'Alice' oproti suchému osivu a osivu ošetřenému pouze vodou. V případě odrůdy 'Lusy' tento vliv nebyl průkazný. Ve všech případech působilo inhibičně ošetření syntetickým brassinolidem o koncentraci  $1.10^{-5}$  mol.l<sup>-1</sup>. Výsledky rovněž ukázaly na odrůdové rozdíly (resp. rozdíly partie) v reakci na ošetření.

**Keywords:** osivo, zelenina, cibule, 24-epibrassinolid, vodní stres

## Úvod

Klíčení, jako první krok v životním cyklu rostliny, závisí na mnoha vnějších faktorech. Jedním z nich je i dostatečná vlhkost prostředí. Cibule kuchyňská (*Allium cepa* L.) patří k nejpěstovanějším zeleninám v ČR (Petříková et al., 2006). Klíčení cibule je velmi pomalé, trvá dva až tři týdny (Petříková



et al., 2006). V případě méně příznivých podmínek při klíčení může dojít k výrazné redukcii počtu vzešlých rostlin a tím následně i ke ztrátám na výnosu. Přínosem by bylo, pokud by se podařilo předseťovou úpravou osiva omezit tyto ztráty. Testují se proto biologicky aktivní látky, které by mohly částečně eliminovat vlivy stresových faktorů, jako je např. nedostatek vody během klíčení. Jednou z těchto látek jsou rostlinné hormony - brassinosteroidy.

Brassinosteroidy jsou rozsáhlou skupinou rostlinných růstových regulátorů na bázi sterolů (Müssig, 2005). Tyto látky a jejich analogy hrají klíčovou roli v nejrůznějších fyziologických procesech včetně klíčení (Tanaka et al., 2003; Divi and Krishna, 2010), kvetení, při vývoji plodu, zlepšují odolnost rostlin vůči biotickým a abiotickým stresům (Kang and Guo, 2011). Byla také prokázána jejich účinnost při zmírnění následků působení vysokých teplot (Ogweno et al., 2008) a při stresu suchem (Jager et al., 2008; Behnamnia et al., 2009; Mousavi et al., 2009). Brassinosteroidy mají též příznivý vliv na zvýšení výnosu (Cutler, 1994; Khripach et al., 2000; Hradecká et al., 2009) a jeho kvalitu (Koudela et al., 2012). Účinné koncentrace brassinosteroidů se pohybují v rozmezí  $10^{-8}$  až  $10^{-11}$  mol.l<sup>-1</sup> (Procházka et al., 1998). Nejvíce používaným syntetickým brassinosteroidem je dnes 24-epibrassinolid, ale vysoká pořizovací cena nicméně omezuje jeho praktické využití (Hradecká et al., 2006).

Byla provedena řada pokusů týkajících se působení brassinosteroidů na fyziologické procesy u rostlin. Avšak není dosud shromážděn dostatek poznatků o skutečném dopadu těchto rostlinných hormonů a jejich syntetických analogů na klíčovost osiva zeleniny. Jako pokusná plodina byla vybrána cibule kuchyňská.

### Metodika

Účelem pokusu, provedeného v laboratoři katedry zahradnictví České zemědělské univerzity v Praze v únoru roku 2012, bylo sledovat vliv ošetření syntetickým brassinolidem na klíčovost osiva cibule kuchyňské v optimálních a deficitních vlhkostních podmínkách. Pro pokusy byl použit syntetický brassinolid 2 $\alpha$ ,3 $\alpha$ ,17 $\beta$ -trihydroxy-5 $\alpha$ -androstan-6-on vyvinutý Ústavem organické chemie a biochemie AV ČR, v.v.i., převedený do roztoku. Jedná se o syntetický analog k 24-epibrassinolidu a jeho přesné složení podléhá patentové ochraně. Pro použití v laboratoři byla tato látka připravena a dodána firmou PHPchem, s.r.o. se sídlem v Kutné Hoře.

Jako pokusné osivo byly vybrány dlouhodobní kultivary cibule kuchyňské 'Alice' a 'Lusy'. Jsou to rané odrůdy s vegetační dobou kolem 120 dní, určené pro pěstování cibule ke skladování z přímých jamních výsevů.

Pro testování bylo použito osivo kategorie S od výrobce Semo a.s., Smržice. Osivo bylo baleno 3/2012 v případě odrůdy 'Lusy' a 12/2011 v případě 'Alice'. Záruční doba u obou odrůd byla do 12/2012.

Ošetření osiva obou odrůd bylo provedeno namočením semen po dobu 20 minut do 100 ml vodného roztoku syntetického brassinolidu v těchto koncentracích:  $1.10^{-5}$  mol.l<sup>-1</sup> (B10<sup>-5</sup>),  $1.10^{-7}$  mol.l<sup>-1</sup> (B10<sup>-7</sup>),  $1.10^{-9}$  mol.l<sup>-1</sup> (B10<sup>-9</sup>) a  $1.10^{-11}$  mol.l<sup>-1</sup> (B10<sup>-11</sup>). Ošetření bylo provedeno roztoky o běžné laboratorní teplotě. Uvedené koncentrace byly připraveny smícháním aktivní látky s destilovanou vodou. Kontrolní ošetření byla dvě: „suchá“ kontrola (S), kdy byl proveden výsev suchého neošetřeného osiva a „mokrý“ kontrola (M), která spočívala v namočení osiva do destilované vody na 20 minut. Po ošetření bylo osivo vyjmuté z roztoku a osušeno při běžné laboratorní teplotě. Za dva dny proběhl jeho výsev do pokusných nádob.

Testy klíčovosti byly založeny na základě metodiky pro zkoušení osiv (Trnka, 2004). Výsev byl proveden do pokusných nádob na zvlhčený filtrační papír o gramáži 120 g.m<sup>-2</sup>. Pro navození optimálních vlhkostních podmínek klíčení byl filtrační papír zvlhčen 30 ml destilované vody (OPT), pro vyjádření deficitních podmínek (STR) bylo použito pouze 20 ml destilované vody. Pokus byl založen ve 4 opakováních vždy po 100 semenech. Zakryté pokusné nádoby byly umístěny do růstové komory Binder KWB 400 a udržovány ve tmě při konstantní teplotě 20 °C. Sledování bylo realizováno každých 24 hodin, pokaždé ve stejné denní dobu. Jednotlivé nádoby byly vyjmuty z komory společně, vždy po

jednom opakování. Pokus byl ukončen po 19 dnech. Klíčivost vzorků byla stanovena jako fyziologická, byly počítány denní klíčivosti a za vyklíčená byla považována semena s kořínkem 3 mm dlouhým.

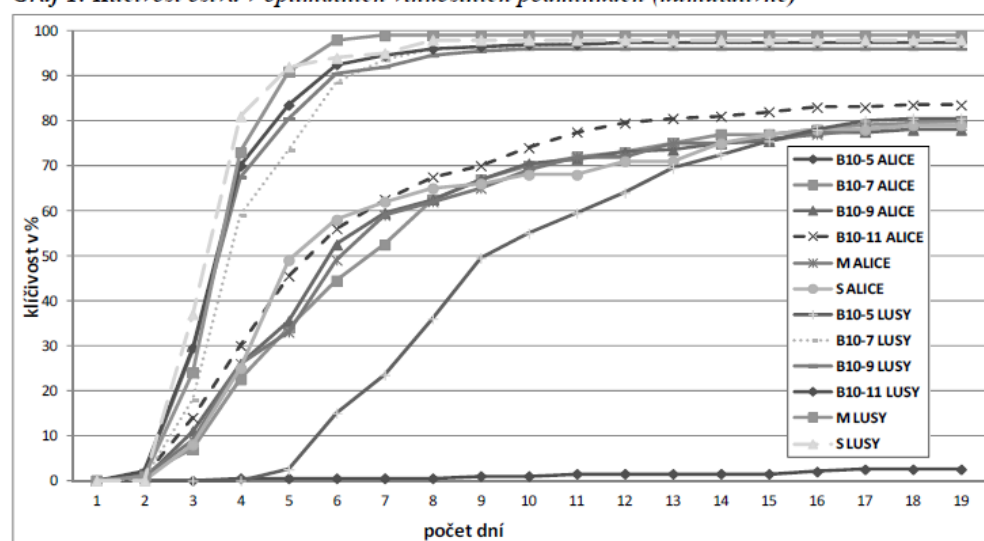
Zjištěná data byla statisticky zpracována programem STATISTICA verze 9.0, od firmy StatSoft CR (2001).

## Výsledky a diskuse

### Optimální vlhkostní podmínky

Z grafu 1 a z tab. 1, které popisují klíčení v optimálních vlhkostních podmínkách je patrné, že při ošetření syntetickým brassinolidem o koncentraci  $1.10^{-5}$  mol.l<sup>-1</sup> (B10<sup>-5</sup>) byl zaznamenán silný inhibiční vliv na klíčení osiva u obou sledovaných odrůd. Retardační účinek silných dávek brassinosteroidů ukazují i výsledky Kohouta (2001) a Procházky et al. (2011).

Graf 1: Klíčivost osiva v optimálních vlhkostních podmínkách (kumulativně)



Tab. 1: Klíčivost osiva v optimálních vlhkostních podmínkách – kumulativně (%)

Odrůda	Ošetření	Klíčivost 1. - 19. den od výsevu [%]																		
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.
ALICE	B 10 <sup>-5</sup>	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,5	2,5	2,5
	B 10 <sup>-7</sup>	0,0	1,5	7,0	22,5	34,0	44,5	52,5	62,5	67,0	70,0	72,0	73,0	75,0	77,0	77,0	78,0	79,0	79,5	80,0
	B 10 <sup>-9</sup>	0,0	0,5	11,0	26,0	35,5	52,5	59,5	62,5	67,0	70,5	71,5	73,0	73,5	75,0	75,5	77,5	77,5	78,0	78,0
	B 10 <sup>-11</sup>	0,0	1,0	14,0	30,0	45,5	56,0	62,5	67,5	70,0	74,0	77,5	79,5	80,5	81,0	82,0	83,0	83,0	83,5	83,5
	M	0,0	1,0	9,0	26,0	33,0	49,0	59,0	62,0	65,0	69,0	72,0	72,0	75,0	75,0	76,0	77,0	78,0	79,0	79,0
	S	0,0	0,0	8,0	25,0	49,0	58,0	62,0	65,0	66,0	68,0	68,0	71,0	71,0	75,0	77,0	78,0	78,0	79,0	79,0
LUSY	B 10 <sup>-5</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	15,0	23,5	36,0	49,5	55,0	59,5	64,0	69,5	72,5	75,5	78,0	80,0	80,5	80,5
	B 10 <sup>-7</sup>	0,0	0,5	18,0	59,0	73,5	88,5	93,5	96,0	96,5	96,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5
	B 10 <sup>-9</sup>	0,0	1,5	29,0	67,5	80,5	90,5	92,0	94,5	95,5	96,0	96,0	96,0	96,0	96,0	96,0	96,0	96,0	96,0	96,0
	B 10 <sup>-11</sup>	0,0	2,0	29,5	70,0	83,5	92,5	94,5	96,0	96,5	97,0	97,0	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5
	M	0,0	1,0	24,0	73,0	91,0	98,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
	S	0,0	0,0	37,0	81,0	92,0	94,0	95,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0

Patrný stimulační vliv ošetření syntetickým brassinolidem oproti kontrole byl zaznamenán druhý den. V případě odrůdy 'Alice' mělo stimulační vliv šetření B10<sup>-7</sup>, u odrůdy 'Lusy' pak ošetření B10<sup>-9</sup> a

B10<sup>-11</sup>. Třetí den je patrný oproti kontrolám (M, S) pozitivní vliv ošetření B10<sup>-9</sup> a B10<sup>-11</sup> u odrůdy 'Alice'.

Z výsledků, zaznamenaných na konci pokusu 19. den v optimálních vlhkovních podmínkách, vyplývá pozitivní vliv ošetření pouze vodou (M) - odrůda 'Lusy'. Na kladný vliv ošetření osiva vodou upozorňují i např. Luštinec a Žárský (2003). V případě 'Alice' v optimálních podmínkách byla zaznamenána nejvyšší klíčovost na konci pokusu při použití koncentrace B10<sup>-11</sup>.

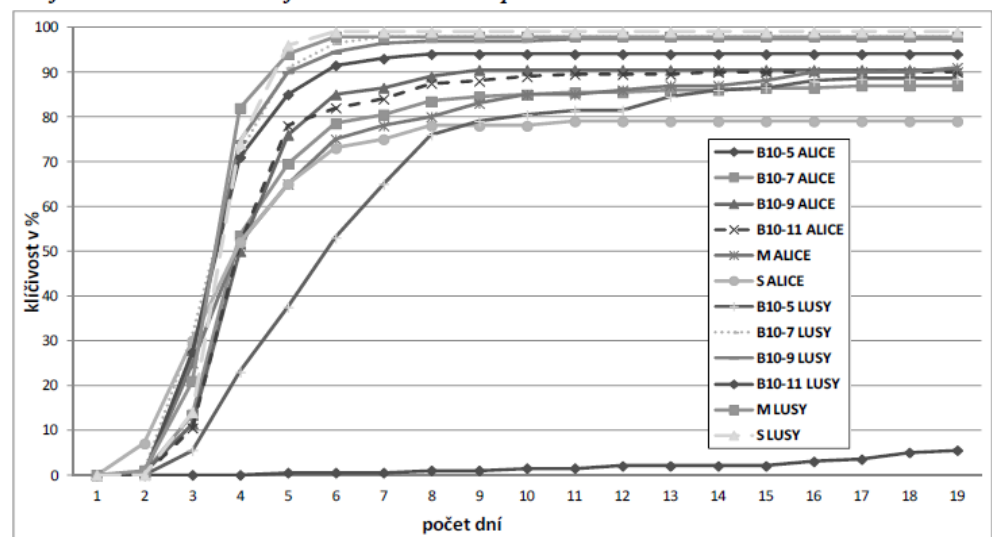
#### Deficitní vlhkovní podmínky

Při klíčení v deficitních vlhkovních podmínkách (graf 2 a tab. 2) se opět ukázal silný inhibiční účinek brassinosteroidů o vysoké koncentraci (B10<sup>-5</sup>). V případě odrůdy 'Alice' mělo zpočátku (2. den) vysokou klíčovost suché osivo (S), avšak při tzv. prvním počítání 6. den byl již patrný vliv ošetření. Nejlepší klíčovost prokazovalo ošetření B10<sup>-9</sup>, urychlilo tedy klíčení šestý den oproti kontrole (S, M). V případě odrůdy 'Lusy' se vliv ošetření projevil třetí den, kdy osivo ošetřené (B10<sup>-7</sup>, B10<sup>-9</sup>, B10<sup>-11</sup>) mělo lepší klíčovost než kontroly (S, M).

Tab. 2: Klíčovost osiva v deficitních vlhkovních podmínkách – kumulativně (%)

Odrůda	Ošetření	Klíčovost 1. - 19. den od výsevu [%]																		
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.
ALICE	B 10 <sup>-5</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	3,0	3,5	5,0	5,5	
	B 10 <sup>-7</sup>	0,0	0,5	13,5	53,5	69,5	78,5	80,5	83,5	84,5	85,0	85,5	85,5	86,0	86,0	86,5	86,5	87,0	87,0	87,0
	B 10 <sup>-9</sup>	0,0	0,5	11,5	50,0	76,0	85,0	86,5	89,0	90,5	90,5	90,5	90,5	90,5	90,5	90,5	90,5	90,5	90,5	90,5
	B 10 <sup>-11</sup>	0,0	0,0	10,5	51,5	78,0	82,0	84,0	87,5	88,0	89,0	89,5	89,5	89,5	89,5	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
	M	0,0	0,0	25,0	52,0	65,0	75,0	78,0	80,0	83,0	85,0	85,0	86,0	87,0	87,0	88,0	90,0	90,0	90,0	91,0
	S	0,0	7,0	30,0	52,0	65,0	73,0	75,0	78,0	78,0	78,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0
LUSY	B 10 <sup>-5</sup>	0,0	0,0	5,5	23,0	37,5	53,0	65,0	76,0	79,0	80,5	81,5	81,5	84,5	86,0	86,5	88,0	88,5	88,5	88,5
	B 10 <sup>-7</sup>	0,0	1,0	31,5	72,0	91,0	96,5	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0
	B 10 <sup>-9</sup>	0,0	0,5	27,0	74,5	90,0	94,5	96,5	97,0	97,0	97,0	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5
	B 10 <sup>-11</sup>	0,0	0,0	27,5	71,0	85,0	91,5	93,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0
	M	0,0	1,0	21,0	82,0	94,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0
	S	0,0	0,0	14,0	74,0	96,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0

Graf 2: Klíčovost osiva v deficitních vlhkovních podmínkách



V deficitních podmínkách byla na konci pokusu 19. den vyhodnocena jako nejlepší klíčivost 99 % u odrůdy 'Lusy' při použití suchého osiva (S), u odrůdy 'Alice' pak mělo nejvyšší klíčivost 91 % osivo ošetřené vodou (M).

#### Statistické vyhodnocení

Tab. 3: Klíčivost 6. den v závislosti na ošetření (%) – rozdíly mezi koncentracemi\*

závlaha	odrůda	B10 <sup>-5</sup>	B10 <sup>-7</sup>	B10 <sup>-9</sup>	B10 <sup>-11</sup>	S	M
OPT	ALICE	0,5 a	44,5 c	52,5 d	56,0 d	58,0 d	49,0 c d
STR	ALICE	0,5 a	78,5 e f g	85,0 g h i	82,0 f g h	73,0 e	75,0 e f
OPT	LUSY	15,0 b	88,5 h i j	90,5 i j k	92,5 j k	94,0 j k	98,0 k
STR	LUSY	53,0 d	96,3 k	94,5 j k	91,5 i j k	99,0 k	98,0 k

Tab. 4: Klíčivost 12. den v závislosti na ošetření (%) – rozdíly mezi koncentracemi\*

závlaha	odrůda	B10 <sup>-5</sup>	B10 <sup>-7</sup>	B10 <sup>-9</sup>	B10 <sup>-11</sup>	S	M
OPT	ALICE	1,5 a	73,0 c d	73,0 c d	79,5 d e	71,0 b c	72,0 b c d
STR	ALICE	2,0 a	85,5 e f	90,5 f g h j	89,5 f g h	79,0 c d e	86,0 e f g
OPT	LUSY	64,0 b	97,5 i	96,0 h i j	97,5 i	98,0 i j	99,0 i
STR	LUSY	81,5 e	97,8 i	97,5 i	94,0 g h i j	99,0 i	98,0 i j

Tab. 5: Klíčivost 19. den v závislosti na ošetření (%) – rozdíly mezi koncentracemi\*

závlaha	odrůda	B10 <sup>-5</sup>	B10 <sup>-7</sup>	B10 <sup>-9</sup>	B10 <sup>-11</sup>	S	M
OPT	ALICE	2,5 a	80,0 b	78,0 b	83,5 b c	79,0 b	79,0 b
STR	ALICE	5,5 a	87,0 c d	90,5 d e f h	90,0 d e f	79,0 b	91,0 c d e f g h
OPT	LUSY	80,5 b	97,5 g	96,0 f g h	97,5 g	98,0 g h	99,0 g
STR	LUSY	88,5 c d e	98,0 g	97,5 g	94,0 e f g h	99,0 g	98,0 g h

\*Tabulky 3 až 5 znázorňují průměrné hodnoty klíčivosti osiva ošetřeného různými koncentracemi syntetického brassinolidu v odlišných vlhkostních podmínkách v různých dnech. Hodnoty klíčivosti, které jsou označeny v řádcích různými písmeny, jsou statisticky významně odlišné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Z hodnocení provedeného 6. den (tab. 3) je patrné, že ošetření B10<sup>-9</sup> a B10<sup>-11</sup> má v deficitních podmínkách (STR) u odrůdy 'Alice' statisticky průkazný pozitivní vliv na procento vyklíčených rostlin oproti kontrole (S, M). V optimálních vláhových podmínkách (OPT) tento vliv ošetření oproti kontrole není u odrůdy 'Alice' patrný. V případě odrůdy 'Lusy' není vliv ošetření průkazný.

Hodnocení provedené 12. den (tab. 4) ukazuje, že v případě odrůdy 'Alice' v deficitních podmínkách (STR) není rozdíl mezi kontrolou M a ošetřeními B10<sup>-7</sup>, B10<sup>-9</sup> a B10<sup>-11</sup>. Nicméně je zde statisticky významný rozdíl mezi ošetřením brassinolidem B10<sup>-7</sup>, B10<sup>-9</sup> a B10<sup>-11</sup> a použitím suchého osiva (kontrola S).

Z posledního hodnocení provedeného 19. den pokusu (tab. 5) vyplývá, že v případě optimálních vlhkostních podmínek (OPT) u odrůdy 'Alice' není statisticky průkazný rozdíl ošetření oproti oběma kontrolám (je zde statisticky významný rozdíl pouze v případě ošetření B10<sup>-5</sup>, které však na klíčení působilo vyloženě inhibičně). V případě deficitních podmínek (STR) u téže odrůdy jsou výsledky totožné s pozorováním provedeným 12. den.

U odrůdy 'Lusy' působilo ošetření B10<sup>-5</sup> inhibičně na klíčení v obou vlhkostních podmínkách. Mezi ošetřeními B10<sup>-7</sup>, B10<sup>-9</sup>, B10<sup>-11</sup> a oběma kontrolami (S, M) nebyl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl.

## Závěr

Z výše uvedeného vyplývá, že ošetření osiva cibule syntetickým brassinolidem může mít příznivý vliv na klíčivost osiva, převážně však v prvních dnech klíčení. Je rovněž třeba stanovit vhodné koncentrace. Vyloženě inhibičně působilo ošetření syntetickým brassinolidem o koncentraci  $1.10^{-5}$  mol.l<sup>-1</sup>. V případě deficitních vláhových podmínek se ukázal v prvních dnech klíčení (počítání provedené 6. den) pozitivní vliv ošetření syntetickým brassinolidem o koncentraci  $1.10^{-9}$  mol.l<sup>-1</sup> a  $1.10^{-11}$  mol.l<sup>-1</sup> u odrůdy 'Alice' oproti suchému osivu a osivu ošetřenému pouze vodou. V případě odrůdy 'Lusy' tento vliv nebyl průkazný.

Výsledky také poukazují na odrůdové rozdíly (resp. rozdíly partie) v reakci na ošetření syntetickým brassinolidem.

## Poděkování

Tato práce byla podpořena projektem NAZV (MZe) QH81110 a výzkumným záměrem MSM604607091.

## Literatura

- BEHNAMNIA, M., KALANTARI, K. M., ZIAIE, J. (2009). The effects of brassinosteroid on the induction of biochemical changes in *Lycopersicon esculentum* under drought stress. *Turkish Journal of Botany*, 33, č. 6, s. 417 – 428.
- CUTLER, H. G. (1994). Advances in the use of brassinosteroids. In: Conference on Natural and Derived Pest Management Agents 09-14 Aug. 1992, 551, s. 85 – 102.
- DIVI, U.K., KRISHNA, P. (2010). Overexpression of the brassinosteroid biosynthetic gene AtDWF4 in *Arabidopsis* seed overcomes abscisic acid –induced inhibition of germination and increases cold tolerance in transgenic seedling. *J Plant Growth Regul*, 29, č. 4, s. 385 – 393.
- HRADECKÁ, D., BEČKA, D., KLOUČEK, P. (2006). Aplikace brassinosteroidů u řepky ozimé. In: sborník Prosperující olejny 2006. ČZU, Praha: s. 57 – 61
- HRADECKÁ, D., URBAN, J., KOHOUT, L., PULKRÁBEK, J., HNLIČKA, R. (2009). Využití brassinosteroidů k regulaci stresu během růstu a tvorby výnosu řepy cukrové. *Listy cukrovnické a řepařské*, 125, č. 9 – 10, s. 271 – 273.
- JAGER, C.E., SYMONS, G.M., ROSS, J.J., REID, J.B. (2008). Do brassinosteroids mediate the water stress response? *Physiologia Plantarum*, 113, č. 2, s. 417 – 425.
- KANG, Y. Y., GUO, S. R. (2011). Role of brassinosteroids on horticultural crops. In : *Brassinosteroids: A Class of Plant Hormone*. Springer New York, s. 269 – 288.
- KHRIPACH, V., ZHABINSKII, V., DE GROOT, A. (2000). Twenty years of brassinosteroids: Steroidal plant hormones warrant better crops for the XXI century. *Annals of Botany*, 86, č. 3, s. 441 – 447.
- KOHOUT, L. (2001). Brassinosteroidy, *Chemické listy*, 95, s. 583.
- KOUDELA, M., HNLIČKA, F., MARTINKOVÁ, J., SVOZILOVÁ, L., DOLEŽALOVÁ, J. (2012) Yield and Quality of Head Lettuce after 24-epibrassinolide Application under Optimal and Reduced Irrigation. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 60, č. 11, s. 93 – 99.
- LUSTINEC, J., ŽARSKÝ, V. (2003). Úvod do fyziologie vyšších rostlin. *Karolinum Praha*, 261 s.
- MOUSAVI, E.A., KALANTARI, K.M., JAFARI, S.R. (2009). Change of Some Osmolytes Accumulation in Water-stresses Colza (*Brassica napus* L.) as Affected by 24 – Epibrassinolid. *Iranian Journal of Science and Technology Transaction A – Science*, 33, č. A1, s. 1 – 11.
- MÜSSIG, C. (2005). Brassinosteroid - promoted growth. *Plant Biology*, 7, č. 2, s. 110 – 117.
- OGWENO, J. O., SONG, X.S., SHI, K., HU, W.H., MAO, W.H., ZHOU, Y.H., YU, J.Q., NOGUES, S. (2008). Brassinosteroids alleviate heat-induced inhibition of photosynthesis by increasing carboxylation efficiency and enhancing antioxidant systems in *Lycopersicon esculentum*. *J Plant Growth Regul*, 27, č. 1, s. 49 – 57.
- PETŘÍKOVÁ, K., JÁNSKÝ, J., MALÝ, I., PEZA, Z., POLÁČKOVÁ, J., ROD, J. (2006). Zelenina - pěstování ekonomika, prodej. *Profi Press Praha*, 240 s.
- PROCHÁZKA, P., ŠTRANC, P., PAZDERŮ, K., ŠTRANC, J., KOHOUT, L. (2011). Moření osiva biologicky aktivními látkami. In: *Sborník Osivo a sadba X*, Praha, s. 157 – 163.
- PROCHÁZKA, S., MACHÁČKOVÁ, I., KREKULE, J., ŠEBÁNEK, J. (eds.). (1998). *Fyziologie rostlin*. Academia Praha, 484 s.

TANAKA, K., NAKAMURA, Y., ASAMI, T., YOSHIDA, S., MATSUO, T., OKAMOTO, S. (2003). Physiological roles of brassinosteroids in early growth of Arabidopsis : brassinosteroids have a synergistic relationship with gibberellin as well as auxin in light-grown hypocotyl elongation. J Plant Growth Regul, 22, č. 3, s. 259 – 271.

TRNKA, Z. (2004). Metodika zkoušení osiva a sadby. MZe. Věstník MZe, částka 3, vydáno 13.9.2004 [cit.2011-12-19]. Dostupné z <<http://www.ukzuz.cz/Uploads/5718-7-Metodika+zkouseni+osivapdf.aspx>>

---

*Contact address: Ing. et Ing. Jitka Doležalová, Katedra zahradnictví, ČZU v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbát, E-mail: [dolezalovajitka@af.czu.cz](mailto:dolezalovajitka@af.czu.cz)*

Článek 2:

Doležalová, J., Koudela, M., Sus, J., Ptáček, V. 2016. Effects of synthetic brassinolide on the yield of onion grown at two irrigation levels. *Scientia Horticulturae*. 202. 125-132.



Review

Effects of synthetic brassinolide on the yield of onion grown at two irrigation levels



J. Doležalová\*, M. Koudela, J. Sus, V. Ptáček

Department of Horticulture, Faculty of Agrobiolgy, Food and Natural Resources, Czech University of Life Sciences Prague, Prague, Czech Republic

ARTICLE INFO

*Article history:*  
Received 14 September 2015  
Received in revised form 5 February 2016  
Accepted 14 February 2016

*Keywords:*  
*Allium cepa* L.  
Bulb  
Brassinosteroids  
Growth  
Water deficit

ABSTRACT

Field experiments were conducted in two seasons to investigate the influence of a synthetic brassinolide on the growth and yield of onion grown at two irrigation levels. The onion plants were treated with a synthetic brassinolide analogue ( $2\alpha, 3\alpha, 17\beta$ -trihydroxy-5 $\alpha$ -androstan-6-one) at concentrations of 100 nM, 1 nM and 0.01 nM. These were sprayed to foliage of two long-day cultivars (cv. Lusy and cv. Alice). The height of the part aboveground and the diameter of the neck were measured in the plants. After harvesting, the marketable yield, parameters of the individual bulbs and the amount of dry matter and ascorbic acid were assessed. Under conditions with optimal irrigation the influence of the treatments with 1 nM and 0.01 nM synthetic brassinolide in the cultivar Alice was proven on the mass of the individual bulbs and yield in 2013. In the case of reduced irrigation, the treatment with a concentration of 1 nM had a statistically significant positive influence on the mass of the individual bulbs (2013) and yield (2012) in the cultivar Alice. With the cultivar Lusy, the treatments with a concentration of 1 nM and 0.01 nM significantly increased the marketable yield relative to the control variant in 2012.

The results confirm that it was possible to reduce the negative impact of the water deficit in the cultivation of onions with synthetic brassinolide. It is, however, necessary to bear in mind which parameter of the plants should be affected and last but not least also the varying sensitivity of the cultivars to the treatment.

© 2016 Elsevier B.V. All rights reserved.

Contents

1. Introduction .....	126
2. Material and methods .....	126
2.1. Field experimental design .....	126
2.2. Climate and soil conditions .....	126
2.3. Assessment of plants, bulbs and yield .....	127
2.4. Statistical analysis .....	127
3. Results .....	128
3.1. Optimal irrigation – Tables 1, 2 .....	128
3.2. Reduced irrigation – Tables 3, 4 .....	128
4. Discussion .....	128
4.1. Size of the plants .....	128
4.2. Parameters of the harvested bulbs .....	128
4.3. Substances contained .....	128
4.4. Yield .....	129
5. Conclusion .....	130
Acknowledgements .....	130
References .....	130

\* Corresponding author at: Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Agrobiolgy, Food and Natural Resources, Department of Horticulture, Kamýcká 129, Praha 6-Suchdol, 165 21, Czech Republic.  
E-mail address: [dolezalovajitka@af.czu.cz](mailto:dolezalovajitka@af.czu.cz) (J. Doležalová).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.023>  
0304-4238/© 2016 Elsevier B.V. All rights reserved.



## 1. Introduction

Water deficit is considered to be among the most severe environmental stresses and the major constraint on plant productivity; losses in crop yield due to water stress probably exceed the loss from all other causes combined (Kramer 1980). This deficit has an evident effect on plant growth that depends on both severity and duration of the stress (Araus et al., 2002; Bartels and Souer 2004). The sensitivity of plants to drought differs among species, populations and varieties and also depends upon the physiological stage of the plant (Liu et al., 2011). Water shortage considerably reduces plant dry matter production and thus final yield (Wu et al., 2008). Drought stress and UV irradiation are the most adverse factors for plant growth and productivity (Rajabbeigi et al., 2013). In this context, it is necessary to look for ways to reduce the negative impact of water deficit for growing practices.

Brassinosteroids (BRs) were first discovered in oilseed rape pollen in 1979 (Grove et al., 1979) and nowadays they are considered to function as a separate class of phytohormones (Bishop and Yokota 2001; Zullo and Adam, 2002). The growth induced by BRs has been related to increases in RNA and DNA amount, polymerase activity and protein synthesis (Kalinich et al., 1985). It has been well documented in the literature that these hormones act mainly in the meristem regions, causing cell lengthening and division (Mandava 1988).

BRs seem to be involved in the expression of critical development periods, from germination to the transition from plant vegetative to reproductive development (Suge 1986). BRs stimulated callus proliferation in *Arabidopsis thaliana*, regeneration in cauliflower and embryogenesis in conifers, rice and coconuts (Hu et al., 2000; Sasaki 2002; Azpeitia et al., 2003; Pullman et al., 2003). Growth promotion due to BRs application was reported earlier in increased growth of the geranium plant (Swamy and Rao 2008), *Coleus* plant (Swamy and Rao 2011), *Vicia faba* plants (Piñol and Simon 2009) and maize (Holá et al., 2010). In addition to promoting growth (Müssig 2005), the application of BRs increased the yield of important field crops—wheat, potatoes, rice and mustard (Ramraj et al., 1997; Khripach et al., 2000; Zullo and Adam 2002; Janeczko et al., 2010). BRs have also the potential to increase yields of horticultural crops (Cutler 1994; Fariduddin et al., 2008; Kang and Guo 2011). Their positive effect is also reflected by higher quality of the yield. The application of BRs improved quality of groundnut (Vardhini and Rao 1998), head lettuce (Koudela et al., 2012), increased total antioxidant activity of endive (Serna et al., 2013) and soluble solids contents (Gomes et al., 2006).

These phytohormones also reduce the effects of environmental stress on plant physiology, e.g. in relation to temperature (Ogweno et al., 2008), pesticides (Xia et al., 2006), herbicides (Pinol and Simon 2011), salinity stresses (Núñez et al., 2003; Shahid et al., 2011) and water deficiency (Upreti and Murti 2004; Jager et al., 2008; Behnamnia et al., 2009; Mousavi et al., 2009). Furthermore, BRs are type of environmentally-friendly (Kang and Guo 2011) and non-toxic (Esposito et al., 2011) hormone.

The application of BRs could be one way to reduce the negative impact of water deficit in vegetable production. Therefore, the aim of this two-year study was to examine how treatment with synthetic brassinolide influences plant characteristics, including yields and parameters of consumable part after the harvest, for onions grown at different irrigation levels.

## 2. Material and methods

### 2.1. Field experimental design

The investigations were conducted in 2012 and 2013 at the Demonstration and Research Station in Troja district of Prague

(50°7'21.198'N, 14°23'56.359'E). The field experiment was set up in a randomized block design in four replications. The experimental factors were different levels of irrigation, concentration of synthetic brassinolide and the cultivar. Irrigation was based on current values of efficient water capacity (EWC); the critical value of the EWC was 70% for optimally irrigated variants, and 50% for variants with reduced levels of irrigation.

For the determination of EWC, the method following Brežný (1970) and Benetin (1979) was used, which arises from the relationship between the soil hydrolimits and the mechanical-physical features of the soil. The current values of EWC in the known grain size composition of the soil were monitored by measuring the soil moisture—using the sensor Virrib (AMET, Velké Bílovice, Czech Republic). When the values of the soil moisture fell below the selected level, watering was begun.

The total quantities of irrigation water during the trial: optimally irrigated variants in 2012—225 mm; 2013—390 mm; reduced irrigation in 2012—190 mm; 2013—345 mm.

A synthetic analogue of the natural brassinosteroid – substance 2 $\alpha$ , 3 $\alpha$ , 17 $\beta$ -trihydroxy-5 $\alpha$ -androstan-6-one – was used for testing (patent pending No. 252605 Industrial Property Office, Czech Republic). Plants were sprayed with 100 nM (B100), 1 nM (B1) or 0.01 nM (B0.01) solutions of synthetic analogue or with tap water (B0—control, 0 concentration).

Two long-day cultivars of *Allium cepa* L.—cv. Lusy and cv. Alice were assessed (Semo a.s., Czech Republic). These cultivars slightly differ in the length of their vegetation period ('Lusy' is 3 days earlier from 'Alice'). Both cultivars have medium round bulbs with yellow peels. The cv. Alice is one of the most widely cultivated in the Czech Republic. The cv. Lusy is newer and should gradually replace the cv. Alice in the growers assortment. These cultivars are intended primarily for direct sowing in spring and they are characterized by good storage stability.

Seeds were sown in double rows (the distance between double rows 30 cm, the distance between seeds in rows 5 cm), 80 plants per m<sup>2</sup>. Experiments were arranged in a split split-plot design with four replicates (main plot=irrigation level, subplots=cultivars, sub-subplots=synthetic brassinosteroid treatments). Each sub-subplot consisted of 2 double rows with 20 seeds per row (80 seeds), the layout of each type of plot in the field was random. Cultivation took place between April and August of 2012 and 2013.

The plants were cultivated in accordance with techniques recommended by Petříková et al. (2012). Standard methods of fertilizer application (following a soil sample test) and strategies of weed management were used.

### 2.2. Climate and soil conditions

The experimental field was located on a gentle slope with western exposure at an altitude of 196 m. The area has a moderately warm climate and the district is slightly warm and dry, with mostly mild winters. The characteristics of the precipitation, radiation and thermal conditions during onion vegetation are presented in Figs. 1 and 2.

The vegetative season of 2012 was subpar in terms of moisture (minus 124 mm relative to the long period of 1961–1990), with an average temperature 2.47 °C higher than the average. The average temperature during growth season 2012 was 16.9 °C and 15 °C in 2013.

Excessive precipitation amounts were noted in June 2013, but overall the vegetative season of 2013 was normal in terms of moisture and temperature.

A pedological survey detected modal fluvisol soil on non-calcareous alluvial with gravel subsoil terraces. At depths of 0–0.34 m the soil is humic sandy loam containing quartz pebbles up to 50 mm. This soil is deeply cultivated, and significantly enriched

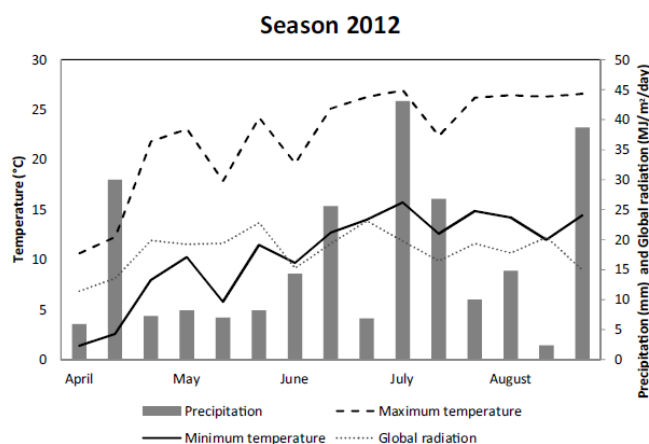


Fig. 1. Daily maximum temperature, minimum temperature, global radiation and precipitation in growth season 2012.

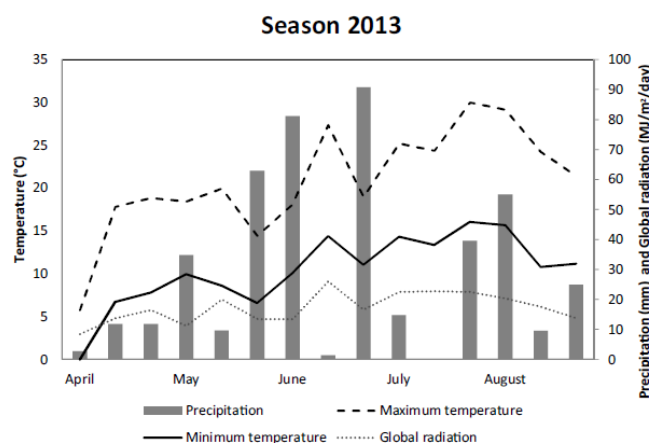


Fig. 2. Daily maximum temperature, minimum temperature, global radiation and precipitation in growth season 2013.

by deeply embedded organic substances. It is neutral with pH values of 6.6–6.9.

### 2.3. Assessment of plants, bulbs and yield

Foliage of plants was sprayed with synthetic brassinolide on the 45th day after sowing; care was taken to avoid possible contamination. Plants were at the maturation phase BBCH 13–14 (Meier 2001). Two weeks later the neck diameter and height of the above-ground parts of twenty plants from each replication (80 plants per treatment) were measured.

From the economic perspective, the most important parameter measured was marketable yield. Onion harvesting, during which the yield was determined, was conducted in mid-August. Marketable yield assessment was evaluated using the Commission Regulation (European Commission) No. 1508/2001 of 24 July 2001 laying down the marketing standard for onions.

After harvest, forty-eight bulbs per treatment (twelve bulbs per treatment and replicate) were selected and parameters – mass, diameter and height of single bulbs – were measured.

Also some of the contained substances were measured as complementary data.

The four bulbs were cut off and grouped into one subsample per replicate, rendering 4 subsamples per treatment (16 bulbs per treatment). These subsamples were used for measurements of ascorbic acid and dry matter. The reflectometric method (Reflectometer RQflex plus10, Merck, Darmstadt, Germany) was used for the determination of ascorbic acid. Dry matter content was determined by drying at 105 °C in a Memmert UFP500 oven (Mettler, Schwabach, Germany) until constant mass was reached and expressed as grams per 1 kg of fresh mass (Javorský 1987).

### 2.4. Statistical analysis

The data from two years were subjected to ANOVA with interactions (treatments, cultivar). Means were compared by the Fisher's

LSD test with 0.05 level of probability to determine the statistical significance of the differences among treatments.

All statistical evaluations were made with the STATISTICA CZ, version 12.0 software system (Stat Soft CR s.r.o., Czech Republic).

### 3. Results

#### 3.1. Optimal irrigation – Tables 1, 2

From the results of the measurement of the size of the plants in 2012 (measured as the height of the plant and the diameter of the neck), the influence of the treatment of B1 in the cultivar Alice was statistically conclusive. Also the values measured after treatment in 2013 with this cultivar were higher than the values of the control variant, although the results were not conclusive in this case.

With the cultivar Lusy no differences were recorded that were statistically conclusive. In 2013 higher values of the parameter of the height of the plants were measured after the use of a synthetic brassinolide, but the results were not conclusive.

The values of the parameters of the harvested onions (height of the bulb, diameter of the bulb) were not conclusively influenced in 2012. In 2013 all of those treated with a synthetic brassinolide conclusively showed a positive influence on the diameter of the onion with the cultivar Alice. On the contrary the height of the bulb was negatively affected in the cultivar Lusy in 2013 (B100 and B0.01—conclusively).

Conclusively higher values of the average mass of the individual bulbs were measured in 2013 for the cultivar Alice; all of the variations treated with a synthetic brassinolide. The cultivar Lusy did not react positively for treatment in this parameter; in 2012 the data measured (B100 and B0.01) with the cultivar Lusy were even conclusively lower than in the control group.

From the perspective of the grower, the most important category evaluated was marketable yield. In 2012 the treatment B100 led to a conclusive reduction of the marketable yield in both cultivars. In the following year, the highest yield was recorded for the cultivar Alice (B1 and B0.01—conclusively as compared to the control). With the cultivar Lusy the results were not conclusive, but the highest measured value of the yield was also with the treatment B1. From the assessment of the parameters of the substances contained, the differences in the measured values in both years were not patently statistically conclusive—with the exception of 2012, when the treatment B0.01 led to a conclusive reduction of the amount of dry matter with the cultivar Alice.

#### 3.2. Reduced irrigation – Tables 3, 4

The use of B1 led to a conclusive enlargement of the neck in both years with the cultivar Alice. The highest values of the height of the aboveground parts of the plants were measured with this treatment (cultivar Alice), where these values were not conclusively different from the control. With the cultivar Lusy, the use of a synthetic brassinolide did not lead to larger plants; in 2012 a statistically significant reduction of the average value of the height of the plants was measured with the treatment B1.

With the values of the parameters of the bulbs (height of the bulb, diameter of the bulb), differences were measured in the case of the treatment B1, cultivar Alice. Whereas in year 2012, the influence was rather negative, in the more favourable year in terms of moisture 2013, the treatment B1 had a conclusively positive influence on the parameters measured with this cultivar. Conclusively higher values of the average mass of the individual bulbs were measured with the treatments B100 (2012) and B1 (2013) with the cultivar Alice. Cultivar Lusy did not react positively in this parameter to the

treatment; in 2012 the measured data (B1) were even conclusively lower with the cultivar Lusy than the control.

In the case of the marketable yield, the treatment B1 in 2012 led to an increase with both cultivars. In the following year, these results were not conclusive, but the values measured for B1 were higher with the cultivar Lusy by 9.8% as compared to the control; with the cultivar Alice they were on the same level as the control.

From the evaluation of the parameters of the substances contained, statistically conclusive differences were not clear in the measured values in both years—with the exception of 2013, when the treatment B0.01 led to a conclusive reduction of the amount of the dry matter in the cultivar Lusy.

### 4. Discussion

#### 4.1. Size of the plants

As regards the influence of BRs on plant height or leaf number, previous studies with various plant species usually reported positive results. Arora et al. (2008) found the positive effect of the addition of 1 nM (but not 100 nM or 0.01 nM) solution of 28-homobrassinolide to the growth medium on the shoot length of maize. The shoot length of 7-days old seedlings of Indian mustard (*Brassica juncea*) also increased after pre-sowing treatment of seeds with 100–0.01 nM 24-epibrassinolide, with the 100 nM concentration being the most effective one (Sharma and Bhardwaj 2007). Similarly, repeated foliar spray of *Arachis hypogaea* plants with brassinolide or 24-epibrassinolide solutions in 1 µM concentration range had positive effect on the shoot length (Vardhini and Rao 1998). In sorghum, it was demonstrated that the effect of the treatments with BR in leaf lengthening depended both on the hormone concentration and the plant development stage (Amzallag 2002). These results are also confirmed by the data we found on the positive influence of B1 on the size of the plants of the cultivar Alice in the conditions of reduced irrigation. On the other hand, Özdemir et al. (2004) observed a slight decrease in the elongation of rice shoot after soaking of seeds in  $3 \times 1 \mu\text{M}$  24-epibrassinolide solution. In the sense of the reaction of the varieties to the treatment, the data we found confirms that the effective BRs concentration apparently also depends on plant genotype (Holá et al., 2010).

#### 4.2. Parameters of the harvested bulbs

In some cases, the parameters of the harvested bulbs (diameter and height, mass of the individual bulb) differed from the control variant. The values we measured were confirmed also by the results of Serna et al. (2012a), who presented a significant positive change in the size of the head of the lettuces (diameter and length) after the application of an analogue of a brassinosteroid along with the agent Tomex Amin.

#### 4.3. Substances contained

Regarding the amount of the measured content parameters, a higher amount of ascorbic acid and dry matter is evident with the variants with reduced irrigation. Similar results concerning the amount of ascorbic acid in lettuce under the conditions of water stress are presented also by Koudela et al. (2012). In our case, higher values were measured (75.1–83.5 mg/kg) in onions under conditions with reduced irrigation, than the average value of 69 mg/kg of vitamin C shown in the tables (Kopeck 1998). The increase of antioxidant compounds (including ascorbic acid) in plants due to abiotic stresses is mentioned by Babu and Devaraj (2008), Nair et al. (2008) in trials with beans and Koudela et al. (2011) in trials with cauliflower. It further arises from our results that in the case of two types of irrigation the differences in the amount of ascorbic acid

**Table 1**  
Effect of brassinosteroid analogue foliar spray on the plant parameters of onions grown at optimal irrigation.

Cultivar	Treatment	Plant height (mm)		Neck diameter (mm)		Bulb height (mm)		Bulb diameter (mm)	
		2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Alice	B0	392.8 <sup>cde</sup>	339.1 <sup>ab</sup>	8.754 <sup>ab</sup>	8.489 <sup>a</sup>	58.39 <sup>gh</sup>	50.07 <sup>bc</sup>	61.98 <sup>f</sup>	48.28 <sup>a</sup>
	B100	360.2 <sup>bcd</sup>	342.8 <sup>ab</sup>	8.955 <sup>abc</sup>	8.631 <sup>a</sup>	57.03 <sup>fgh</sup>	52.01 <sup>cde</sup>	59.30 <sup>f</sup>	54.45 <sup>de</sup>
	B1	439.5 <sup>f</sup>	348.5 <sup>abc</sup>	10.663 <sup>f</sup>	9.128 <sup>abcde</sup>	58.03 <sup>fgh</sup>	51.91 <sup>cde</sup>	61.97 <sup>f</sup>	53.20 <sup>cd</sup>
	B0.01	429.5 <sup>ef</sup>	348.9 <sup>abc</sup>	10.128 <sup>bcdef</sup>	8.863 <sup>abcd</sup>	59.42 <sup>h</sup>	50.97 <sup>cd</sup>	62.27 <sup>f</sup>	52.15 <sup>bcd</sup>
Lusy	B0	408.6 <sup>ef</sup>	310.3 <sup>a</sup>	10.302 <sup>def</sup>	9.449 <sup>abcdef</sup>	54.89 <sup>efg</sup>	50.74 <sup>bcd</sup>	58.48 <sup>f</sup>	50.97 <sup>abc</sup>
	B100	406.8 <sup>ef</sup>	329.9 <sup>ab</sup>	10.637 <sup>f</sup>	9.666 <sup>abcdef</sup>	53.87 <sup>def</sup>	46.42 <sup>a</sup>	58.71 <sup>f</sup>	49.09 <sup>ab</sup>
	B1	388.6 <sup>cde</sup>	315.2 <sup>ab</sup>	9.783 <sup>abcdef</sup>	9.092 <sup>abcde</sup>	53.97 <sup>cdefg</sup>	47.88 <sup>ab</sup>	59.49 <sup>ef</sup>	49.66 <sup>ab</sup>
	B0.01	404.3 <sup>def</sup>	341.7 <sup>ab</sup>	10.221 <sup>cdef</sup>	10.402 <sup>ef</sup>	54.06 <sup>def</sup>	47.00 <sup>a</sup>	58.10 <sup>ef</sup>	48.49 <sup>a</sup>
A: Cultivar (p-value)		NS	NS	NS	0.031	<0.001	<0.001	0.006	0.006
B: Treatment (p-value)		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
A × B (p-value)		0.013	NS	0.012	NS	NS	0.031	NS	0.009

B0 is the control, B100 is 100 nM brassinosteroid analogue treatment; B1 is 1 nM brassinosteroid analogue treatment, B0.01 is 0.01 nM brassinosteroid analogue treatment. NS is not significant. Values compared by ANOVA to determine the variant effect. Means followed by different letters within a columns indicate significant differences between treatments based on LSD test ( $\alpha = 0.05$ ).

**Table 2**  
Effect of brassinosteroid analogue foliar spray on the plant and yield parameters of onions grown at optimal irrigation.

Cultivar	Treatment	Mass of 1 bulb (g)		Marketable yield (t/ha)		Ascorbic acid (mg/kg)		Dry matter (g/kg)	
		2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Alice	B0	95.91 <sup>fg</sup>	70.96 <sup>abd</sup>	27.7 <sup>fg</sup>	21.1 <sup>a</sup>	71.1 <sup>abcde</sup>	65.6 <sup>abc</sup>	118.12 <sup>b</sup>	109.96 <sup>ab</sup>
	B100	92.24 <sup>efg</sup>	87.42 <sup>ef</sup>	21.2 <sup>ac</sup>	25.2 <sup>abcdef</sup>	80.8 <sup>e</sup>	66.4 <sup>abcd</sup>	109.86 <sup>ab</sup>	104.36 <sup>ab</sup>
	B1	102.01 <sup>g</sup>	85.65 <sup>ef</sup>	27.2 <sup>ef</sup>	25.7 <sup>bcdef</sup>	78.0 <sup>de</sup>	62.9 <sup>a</sup>	110.70 <sup>ab</sup>	108.45 <sup>ab</sup>
	B0.01	103.85 <sup>g</sup>	85.13 <sup>ef</sup>	25.5 <sup>bdef</sup>	27.2 <sup>bdefg</sup>	75.8 <sup>cde</sup>	63.3 <sup>ab</sup>	100.15 <sup>a</sup>	109.92 <sup>ab</sup>
Lusy	B0	92.97 <sup>fg</sup>	75.49 <sup>abcd</sup>	31.4 <sup>g</sup>	22.5 <sup>abc</sup>	72.4 <sup>abcde</sup>	67.5 <sup>abcd</sup>	111.02 <sup>ab</sup>	112.61 <sup>ab</sup>
	B100	81.65 <sup>ce</sup>	70.05 <sup>ab</sup>	26.5 <sup>def</sup>	22.8 <sup>abcde</sup>	75.3 <sup>bcde</sup>	71.3 <sup>abcde</sup>	111.60 <sup>ab</sup>	107.67 <sup>ab</sup>
	B1	84.98 <sup>cdef</sup>	73.35 <sup>abcd</sup>	27.7 <sup>fg</sup>	23.0 <sup>abcd</sup>	78.7 <sup>de</sup>	68.9 <sup>abcde</sup>	111.35 <sup>ab</sup>	111.44 <sup>ab</sup>
	B0.01	80.36 <sup>bcde</sup>	68.91 <sup>a</sup>	28.4 <sup>fg</sup>	22.7 <sup>abcd</sup>	72.1 <sup>abcde</sup>	69.9 <sup>abcde</sup>	108.74 <sup>ab</sup>	109.03 <sup>ab</sup>
A: Cultivar (p-value)		<0.001	<0.001	0.007	NS	NS	NS	NS	NS
B: Treatment (p-value)		NS	NS	0.004	NS	NS	NS	NS	NS
A × B (p-value)		NS	0.004	NS	NS	NS	NS	NS	NS

B0 is the control, B100 is 100 nM brassinosteroid analogue treatment; B1 is 1 nM brassinosteroid analogue treatment, B0.01 is 0.01 nM brassinosteroid analogue treatment. NS is not significant. Values compared by ANOVA to determine the variant effect. Means followed by different letters within a columns indicate significant differences between treatments based on LSD test ( $\alpha = 0.05$ ).

**Table 3**  
Effect of brassinosteroid analogue foliar spray on the plant parameters of onions grown at reduced irrigation.

Cultivar	Treatment	Plant height (mm)		Neck diameter (mm)		Bulb height (mm)		Bulb diameter (mm)	
		2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Alice	B0	302.1 <sup>abcde</sup>	308.1 <sup>abcde</sup>	7.048 <sup>ab</sup>	6.933 <sup>ab</sup>	49.70 <sup>de</sup>	43.91 <sup>b</sup>	53.02 <sup>h</sup>	47.09 <sup>ef</sup>
	B100	315.0 <sup>bcde</sup>	302.0 <sup>abcde</sup>	7.332 <sup>abc</sup>	7.419 <sup>abc</sup>	51.82 <sup>e</sup>	43.21 <sup>b</sup>	56.67 <sup>i</sup>	44.92 <sup>de</sup>
	B1	330.8 <sup>de</sup>	340.9 <sup>e</sup>	8.116 <sup>c</sup>	8.155 <sup>c</sup>	46.56 <sup>c</sup>	47.15 <sup>cd</sup>	47.40 <sup>efg</sup>	50.05 <sup>gh</sup>
	B0.01	316.9 <sup>bcde</sup>	288.9 <sup>abc</sup>	7.258 <sup>abc</sup>	6.618 <sup>a</sup>	47.77 <sup>cd</sup>	43.93 <sup>b</sup>	49.73 <sup>fgh</sup>	45.95 <sup>de</sup>
Lusy	B0	311.6 <sup>bcde</sup>	307.7 <sup>abcde</sup>	7.499 <sup>abc</sup>	7.423 <sup>abc</sup>	44.59 <sup>bc</sup>	42.28 <sup>ab</sup>	46.09 <sup>de</sup>	44.12 <sup>cd</sup>
	B100	280.1 <sup>ab</sup>	313.1 <sup>abcde</sup>	6.750 <sup>a</sup>	7.737 <sup>bc</sup>	42.71 <sup>ab</sup>	42.15 <sup>ab</sup>	44.51 <sup>bcde</sup>	44.13 <sup>cd</sup>
	B1	273.7 <sup>a</sup>	300.8 <sup>abcd</sup>	7.172 <sup>abc</sup>	7.447 <sup>abc</sup>	41.36 <sup>ab</sup>	40.80 <sup>a</sup>	39.64 <sup>a</sup>	43.85 <sup>bcd</sup>
	B0.01	314.7 <sup>bcde</sup>	318.4 <sup>cde</sup>	7.381 <sup>abc</sup>	7.397 <sup>abc</sup>	41.50 <sup>ab</sup>	40.29 <sup>a</sup>	41.52 <sup>abc</sup>	41.46 <sup>ab</sup>
A: Cultivar (p-value)		0.018	NS	NS	NS	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
B: Treatment (p-value)		NS	NS	NS	NS	0.001	NS	<0.001	0.004
A × B (p-value)		0.039	NS	NS	NS	NS	0.009	NS	0.030

B0 is the control, B100 is 100 nM brassinosteroid analogue treatment; B1 is 1 nM brassinosteroid analogue treatment, B0.01 is 0.01 nM brassinosteroid analogue treatment. NS is not significant. Values compared by ANOVA to determine the variant effect. Means followed by different letters within a columns indicate significant differences between treatments based on LSD test ( $\alpha = 0.05$ ).

from the influence of treatment with synthetic brassinolide were not proven statistically conclusively. Similar results were also presented by Serna et al. (2012b) when using analogues of BRs (along with the agent Tomex Amin) in red peppers, when the amount of ascorbic acid was not significantly influenced. In the case of the experiments on lettuce, the same author states that treatment with a synthetic brassinolide did not change practically the overall amounts of the acids (Serna et al., 2012a). Koudela et al. (2012) also confirmed that in experiments on lettuce there was no change in the amount of ascorbic acid through the influence of treatment with a synthetic brassinolide.

#### 4.4. Yield

The yield increase in the onion may be related to an improvement in the assimilation efficiency of photosynthetic carbon of the sprayed plants, because some authors verified that BRs also stimulated greater CO<sub>2</sub> assimilation (Gomes et al., 2003). In mustard plants, the BRs application led to an increase in the photosynthesis rates that were directly related to growth and seed production (Hayat et al., 2000). The BRs application in wheat and mustard plants stimulated photosynthetic activity expressed by accelera-

**Table 4**  
Effect of brassinosteroid analogue foliar spray on the plant and yield parameters of onions grown at reduced irrigation.

Cultivar	Treatment	Mass of 1 bulb (g)		Marketable yield (t/ha)		Ascorbic acid (mg/kg)		Dry matter (g/kg)	
		2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Alice	B0	65.95 <sup>h</sup>	55.16 <sup>ef</sup>	19.2 <sup>g</sup>	19.0 <sup>fg</sup>	78.2 <sup>abc</sup>	76.0 <sup>ab</sup>	118.34 <sup>bcd</sup>	111.12 <sup>abc</sup>
	B100	76.15 <sup>i</sup>	51.44 <sup>de</sup>	18.6 <sup>efg</sup>	16.8 <sup>def</sup>	77.0 <sup>abc</sup>	78.4 <sup>abc</sup>	115.30 <sup>abcd</sup>	114.81 <sup>abcd</sup>
	B1	63.01 <sup>gh</sup>	64.61 <sup>gh</sup>	21.7 <sup>h</sup>	19.0 <sup>fg</sup>	86.0 <sup>cd</sup>	75.6 <sup>ab</sup>	125.87 <sup>d</sup>	116.69 <sup>bcd</sup>
	B0.01	59.13 <sup>fg</sup>	55.14 <sup>ef</sup>	20.3 <sup>gh</sup>	16.3 <sup>cde</sup>	79.4 <sup>abc</sup>	70.8 <sup>a</sup>	124.81 <sup>d</sup>	103.59 <sup>a</sup>
Lusy	B0	47.43 <sup>cd</sup>	40.63 <sup>ab</sup>	12.7 <sup>a</sup>	14.3 <sup>abc</sup>	83.6 <sup>bcd</sup>	78.1 <sup>abc</sup>	118.31 <sup>bcd</sup>	120.53 <sup>cd</sup>
	B100	45.79 <sup>bcd</sup>	43.16 <sup>bc</sup>	13.5 <sup>ab</sup>	14.3 <sup>abc</sup>	84.5 <sup>bcd</sup>	79.2 <sup>abc</sup>	117.86 <sup>bcd</sup>	111.54 <sup>abc</sup>
	B1	34.70 <sup>a</sup>	42.76 <sup>abc</sup>	15.1 <sup>bcd</sup>	15.7 <sup>bcd</sup>	90.1 <sup>d</sup>	76.8 <sup>abc</sup>	125.59 <sup>d</sup>	122.59 <sup>cd</sup>
	B0.01	40.05 <sup>abc</sup>	41.35 <sup>abc</sup>	15.9 <sup>cd</sup>	12.1 <sup>a</sup>	86.1 <sup>cd</sup>	77.8 <sup>abc</sup>	117.29 <sup>bcd</sup>	107.22 <sup>ab</sup>
A: Cultivar (p-value)		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.030	NS	NS	NS
B: Treatment (p-value)		<0.001	0.001	0.003	0.006	NS	NS	NS	0.033
A × B (p-value)		NS	0.003	NS	NS	NS	NS	NS	NS

B0 is the control, B100 is 100 nM brassinosteroid analogue treatment; B1 is 1 nM brassinosteroid analogue treatment, B0.01 is 0.01 nM brassinosteroid analogue treatment. NS is not significant. Values compared by ANOVA to determine the variant effect. Means followed by different letters within a columns indicate significant differences between treatments based on LSD test ( $\alpha = 0.05$ ).

tion in CO<sub>2</sub> fixing, increasing protein biosynthesis and reducing sugar amounts (Braun and Wild 1984).

Due to the morphology of the onion plant, increase in plant height and the weight of one bulb could be directly to the effect from BRs, since Nakaya et al. (2002) found that mutants of *A. thaliana* with known defects in the perception of BRs develop small leaves. Treatment of the mutants with BRs reversed the mutation and restored the potential for growth to that of the wild type. BRs play a role in regulating cell expansion and cell proliferation in the leaf (Kim et al., 2008; Oh et al., 2011).

Increases in yields caused by B1, cv. Lusy were due to an increased number of marketable bulbs and less to an increase of the mass of single bulbs. It seems that the application of brassinosteroid analogue supported uniformity of the harvested bulbs. Whereas in the case of the cultivar Alice the increased yield was realized rather through an increase of the relative mass of the individual bulbs. The data we found on the different reactions of varieties to the treatment is confirmed also by the results of other authors. Holá et al. (2010) reported that dependence of plant response to BRs treatment on the genotype is evident for yield parameters. Other authors who simultaneously examined the effect of exogenous application of BRs on plants of more than one genotype of the same species have often found that the response of individual genotypes can be markedly different (Pipattanawong et al., 1996; Hnilička et al., 2007; Janeczko and Swaczynová, 2010; Doležalová and Koudela, 2013).

It can be said generally that the application of BRs helps plants, which are exposed to unfavorable environmental conditions (Kang et al., 2007; Shahbaz et al., 2008; Vardhini and Rao 2003). This claim is also confirmed by our results. Last but not least, the different tolerance of the cultivar to water deficit must be taken into consideration, as presented by Ghane et al. (2012), Ennajeh et al. (2009) or Pazderú and Koudela (2013).

## 5. Conclusion

Under conditions with optimal irrigation, the influence of a synthetic brassinolide in the cultivar Alice was proven on the mass of the individual bulbs and yield in 2013. With the cultivar Lusy, the results of the treatment were not significantly positive under optimal conditions.

In the case of reduced irrigation, the treatment with a concentration of 1 nM had a statistically significant positive influence on the diameter of the neck, the mass of the individual bulbs (2013) and yield (2012) in the cultivar Alice. With the cultivar Lusy, the treatment with a concentration of 1 nM and 0.01 nM signifi-

cantly increased the marketable yield relative to the control variant (2012).

It thus confirmed the assumption that it was possible to reduce partially the negative impact of a water deficit in growing onions with a synthetic brassinolide. The acquired results show that the spray treatment of the onion plants in the initial stage of the development with a solution of an analogue of synthetic brassinolide with a concentration of 1 nM can be recommended for the conditions of growing onions with reduced irrigation.

Although the exogenous application of BRs to plants can certainly in many ways change onion growth and, consequently, influence both total yield and yield parameters. Prior to their use the most effective concentration should be always taken into account, and a particular point of view regarding which parameter of plant is expected to be changed by the application of BRs.

## Acknowledgements

This work was supported by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic, Project No. QH81110 and the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic, Project No. MSM6046070901.

## References

- Amzallag, G.N., 2002. Brassinosteroids as metamorphoses: evidence for their specific influence during the critical period in *Sorghum* development. *Plant Biol.* 4, 656–663. <http://dx.doi.org/10.1055/s-2002-37397>.
- Araus, J.L., Slafer, G.A., Reynolds, M.P., Royo, C., 2002. Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for? *Ann. Bot.* 89, 925–940.
- Arora, N., Bhardwaj, R., Sharma, P., Arora, H.K., 2008. Effect of 28-homobrassinolide on growth, lipid peroxidation and antioxidative enzyme activities in seedlings of *Zea mays* L. under salinity stress. *Acta Physiol. Plant.* 30, 833–839. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-008-0188-9>.
- Azpeitia, A., Chan, J.L., Saenz, L., Oropeza, C., 2003. Effect of 22(S), 23(S)-homobrassinolide on somatic embryogenesis in plumule explants of *Cocos nucifera* (L.) cultured in vitro. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 78, 591–596.
- Babu, N.R., Devaraj, V.R., 2008. High temperature and salt stress response in French bean (*Phaseolus vulgaris*). *Aust. J. Crop Sci.* 2, 40–48.
- Bartels, D., Souer, E., 2004. Molecular responses of higher plants to dehydration. In: Hirt, H., Shinozaki, K. (Eds.), *Plant Responses to Abiotic Stress*. Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg, Germany, pp. 9–38.
- Behnamnia, M., Kalantari, K.M., Ziaie, J., 2009. The effects of brassinosteroid on the induction of biochemical changes in *Lycopersicon esculentum* under drought stress. *Turk. J. Bot.* 33, 417–428. <http://dx.doi.org/10.3906/bot-0806-12>.
- Benetin, J., 1979. *Závlahy (Irrigation)*. Příroda, Bratislava, pp. 544.
- Bishop, G.J., Yokota, T., 2001. Plants steroid hormones, brassinosteroids: current highlights of molecular aspects on their synthesis/metabolism, transport, perception and response. *Plant Cell Physiol.* 42, 114–120. <http://dx.doi.org/10.1093/pcp/pcp018>.
- Braun, P., Wild, A., 1984. The influence of brassinosteroid on growth and parameters of photosynthesis of wheat and mustard plants. *J. Plant Physiol.* 116, 189–196.
- Brežný, O., 1970. Vzt'ahy medzi pôdnymi hydrolimitmi a mechanicko-fyzikálnymi vlastnosťami pôdy. (The relationship between soil hydrolimits and

- mechanical—physical properties of soil.) Vedecké práce Výzkumného ústavu závlahového hospodářství v Bratislavě, 8 53–80.
- Cutler, H.G., 1994. Advances in the use of brassinosteroids. *ACS Symposium Series*, vol. 551. Amer. Chem. Soc., Washington, DC, pp. 85–102.
- Doležalová, J., Koudela, M., 2013. Germination of onion seeds after application of brassinolid at optimum and reduced moisture conditions. In: Scientific and Technical Seminar on Seed and Seedlings, Czech University Life Sciences Prague, Dept Systems Eng, Prague, Czech Republic, Feb 07, 2013 159–165.
- Ennaje, M., Vadel, A.M., Khemira, H., 2009. Osmoregulation and osmoprotection in the leaf cells of two olive cultivars subjected to severe water deficit. *Acta Physiol. Plant.* 31, 711–772. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-009-0283-6>.
- Esposito, D., Komarnytsky, S., Shapses, S., Raskin, L., 2011. Anabolic effect of plant brassinosteroid. *FASEB J.* 25 (10), 3708–3719. <http://dx.doi.org/10.1096/fj.11-181271>.
- Fariduddin, Q., Hasan, S.A., Ali, B., Hayat, S., Ahmad, A., 2008. Effect of modes of application of 28-homobrassinolide on mungo bean. *Turk. J. Biol.* 32, 17–21.
- Ghane, S.G., Lokhande, V.H., Nikam, T.D., 2012. Differential growth, physiological and biochemical responses of niger (*Gutierrezia abyssinica* Cass.) cultivars to water-deficit (drought) stress. *Acta Physiol. Plant.* 34, 215–225. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-011-0820-y>.
- Gomes, M.M.A., Camprostrini, E., Leal, N.R., Viana, A.P., Ferraz, T.M., Siqueira, L.N., Rosa, R.C.C., Netto, A.T., Núñez-Vázquez, M., 2006. Brassinolide analogue effects on the yield of yellow passion fruit plants (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Sci. Hortic.* 110, 235–240. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2006.06.030>.
- Gomes, M.M.A., Ferraz, T.M., Netto, A.T., Rosa, R.C.C., Camprostrini, E., Leal, N.R., Zullo, M.A.T., Núñez-Vázquez, M., 2003. Efeitos da aplicação de brassinosteróides nas trocas gasosas e fluorescência da corolofia em maracujazeiro amarelo submetido à deficiência hídrica. Application effects of brassinosteroids in gas exchange and chlorophyll fluorescence in yellow passion fruit submitted to water deficit. *Braz. J. Plant Physiol.* 15, 348.
- Grove, M.D., Spencer, G.F., Rohwedder, W.K., Mandawa, N., Worley, J.F., Warthen, J.D., Steffens, G.L., Flippen-Anderson, J.L., Cook, J.C., 1979. Brassinolide, a plant growth-promoting steroid isolated from *Brassica napus* pollen. *Nature* 281, 216–217. <http://dx.doi.org/10.1038/281216a0>.
- Hayat, S., Ahmad, A., Mobin, M., Hussain, A., Fariduddin, Q., 2000. Photosynthetic rate, growth and yield of mustard plants sprayed with 28-homobrassinolide. *Photosynthetica* 38, 469–471. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1010954411302>.
- Hnilíčková, H., Martinková, F., Bláha, F., 2007. The influence of drought and the application of 24-epibrassinolide on the formation of dry matter and yield in wheat. *Cereal Res. Commun.* 35, 457–460. <http://dx.doi.org/10.1556/CRC.35.2007.2.73>.
- Holá, D., Rothová, O., Kočová, M., Kohout, L., Kvasnica, M., 2010. The effect of brassinosteroids on the morphology development and yield of field-grown maize. *Plant Growth Regul.* 61, 29–43. <http://dx.doi.org/10.1007/s10725-010-9446-0>.
- Hu, Y.X., Bao, F., Li, J.Y., 2000. Promotive effect of brassinosteroids on cell division involves a distinct CycD3-induction pathway in *Arabidopsis*. *Plant J.* 24, 693–701. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-3113x.2000.00915.x>.
- Jager, C.E., Symons, G.M., Ross, J.J., Reid, J.B., 2008. Do brassinosteroids mediate the water stress response? *Physiol. Plant.* 113, 417–425. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01057.x>.
- Janecko, A., Biesaga-Koscielniak, J., Oklest'kova, J., Filek, M., Dziurka, M., Szarek-Lukaszewska, G., Koscielniak, J., 2010. Role of 24-epibrassinolide in wheat production: physiological effects and uptake. *J. Agron. Crop Sci.* 196, 311–332. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00413.x>.
- Janecko, A., Swaczynová, J., 2010. Endogenous brassinosteroids in wheat treated with 24-epibrassinolide. *Biol. Plant.* 54, 477–482. <http://dx.doi.org/10.1007/s10535-010-0084-1>.
- Javorský, P., 1987. Chemické rozbor y v zemědělských laboratořích (Chemical Analysis in Agricultural Laboratories). České Budějovice Ministerstvo zemědělství a výživy ČR 397.
- Kalinich, J.F., Mandava, N.B., Todhunter, J.A., 1985. Relationship of nucleic acid metabolism to brassinolide-induced responses in beans. *Plant Physiol.* 120, 207–214.
- Kang, Y.Y., Guo, S.R., 2011. Role of brassinosteroids on horticulture crops. In: Hayat, S., Ahmad, A. (Eds.), *Brassinosteroids: A Class of Plant Hormone*. Springer, New York, pp. 269–288. [http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-0189-2\\_9](http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-0189-2_9).
- Kang, Y., Guo, S., Li, J., Duan, J., 2007. Effects of 24-epibrassinolide on antioxidant system in cucumber seedling roots under hypoxia stress. *Agric. Sci. China* 6, 281–289. [http://dx.doi.org/10.1016/S1671-2927\(07\)60046-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1671-2927(07)60046-7).
- Khrpach, V., Zhabinskii, V., De Groot, A., 2000. Twenty years of brassinosteroids: steroidal plant hormones warrant better crops for the XXI century. *Ann. Bot.* 86, 441–447. <http://dx.doi.org/10.1006/anbo.2000.1227>.
- Kim, S.L., Lee, Y., Lee, S.H., Kim, S.H., Han, T.J., Kim, S.K., 2008. Brassinolide influences the regeneration of adventitious shoots from cultured leaf discs of tobacco. *J. Plant Biol.* 51, 221–226. <http://dx.doi.org/10.1007/BF03030702>.
- Kopec, K., 1998. Tabulky nutričních hodnot ovoce a zeleniny. (Tables of Nutritional Values of Fruits and Vegetables). Praha, Ústav zemědělských a potravinářských informací.
- Koudela, M., Hnilíčková, F., Martinková, J., Svozilová, L., Doležalová, J., 2012. Yield and quality of head lettuce after 24-epibrassinolide application under optimal and reduced irrigation. *Acta Univ. Agric. Silv. Mendel. Brun.* 60, 93–99.
- Koudela, M., Hnilíčková, F., Svozilová, L., Martinková, J., 2011. Cauliflower qualities in two irrigation levels with the using of hydrophilic agent. *Hortic. Sci.* 38, 81–82.
- Kramer, P.J., 1980. Drought, stress, and the origin of adaptation. In: Turner, N.C., Kramer, P.J. (Eds.), *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*. John Wiley and Sons, New York, NY, USA, pp. 7–20.
- Liu, C., Liu, Y., Guo, K., Fan, D., Li, G., Zheng, Y., Yu, L., Yang, R., 2011. Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. *Environ. Exp. Bot.*
- Mandava, N.B., 1988. Plant growth-promoting brassinosteroids. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 39, 23–52. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.39.1.23>.
- Meier, U., 2001. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants—BBCH monograph. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, Braunschweig, Germany.
- Mousavi, E.A., Kalantari, K.M., Jafari, S.R., 2009. Change of some osmolytes accumulation in water-stresses Colza (*Brassica napus* L.) as affected by 24-epibrassinolide. *Iran. J. Sci. Technol. Trans. A: Sci.* 33, 1–11.
- Müssig, C., 2005. Brassinosteroid—promoted growth. *Plant Biol.* 7, 110–117. <http://dx.doi.org/10.1055/s-2005-837493>.
- Nair, A.S., Abraham, T.K., Jaya, D.S., 2008. Studies on the changes in lipid peroxidation and antioxidants in drought stress induced cowpea (*Vigna unguiculata* L.) varieties. *J. Environ. Biol.* 29, 689–691.
- Nakaya, M., Tsukawa, H., Murakami, N., Kato, M., 2002. Brassinosteroids control the proliferation of leaf cells of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Physiol.* 43 (2002), 239–244. <http://dx.doi.org/10.1093/pcp/pcf024>.
- Núñez, M., Mazzalera, F., Mazorra, L.M., Siqueira, W.J., Zullo, M.A.T., 2003. Influence of a brassinosteroid analogue on antioxidant enzymes in rice grown in culture medium with NaCl. *Biol. Plant.* 47 (1), 67–70.
- Ogwen, J.O., Song, X.S., Shi, K., Hu, W.H., Mao, W.H., Zhou, Y.H., Yu, J.Q., Noguees, S., 2008. Brassinosteroids alleviate heat-induced inhibition of photosynthesis by increasing carboxylation efficiency and enhancing antioxidant systems in *Lycopersicon esculentum*. *J. Plant Growth Regul.* 27, 49–57. <http://dx.doi.org/10.1007/s00344-007-9030-7>.
- Oh, M.H., Sun, J., Oh, D.H., Zielinski, R.E., Clouse, S.D., Huber, S.C., 2011. Enhancing *Arabidopsis* leaf growth by engineering the brassinosteroid insensitive 1 receptor kinase. *Plant Physiol.* 157, 120–131. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.111.182741>.
- Ozdemir, F., Bor, M., Demiral, T., Türkan, I., 2004. Effects of 24-epibrassinolide on seed germination, seedling growth, lipid peroxidation proline content and antioxidative system of rice (*Oryza sativa* L.) under salinity stress. *Plant Growth Regul.* 42, 203–211. <http://dx.doi.org/10.1023/B:GROW.0000026509.25995.13>.
- Pazderů, K., Koudela, M., 2013. Influence of hydrogel on germination of lettuce and onion seed at different moisture levels. *Acta Univ. Agric. Silv. Mendel. Brun.* 6, 1817–1822. <http://dx.doi.org/10.1118/actaun201361061817>.
- Petříková, K., Hlušek, J., Jáněský, J., Koudela, M., Lošák, T., Malý, I., Pokluda, R., Poláčková, J., Rod, J., Ryant, P., Škarpa, P., 2012. Zelenina pěstování, výživa, ochrana a ekonomika (Vegetable growing, nutrition, protection and economy). Profi Press, Praha.
- Pinol, R., Simon, E., 2011. Protective effects of brassinosteroids against herbicides. In: Hayat, S., Ahmad, A. (Eds.), *Brassinosteroids: A Class of Plant Hormone*. Springer, New York, pp. 309–344. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-0189-2-11>.
- Pinol, R., Simon, E., 2009. Effect of 24-epibrassinolide on chlorophyll fluorescence and photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in *Vicia faba* plants treated with the photosynthesis-inhibiting herbicide terbutryn. *J. Plant Growth Regul.* 28, 97–105. <http://dx.doi.org/10.1007/s00344-008-9077-0>.
- Pipattanawong, N., Fujishige, N., Yamane, K., 1996. Effects of brassinosteroid on vegetative and reproductive growth in two day-neutral strawberries. *J. Jap. Soc. Hortic. Sci.* 65, 651–654.
- Pullman, G.S., Zhang, Y., Phan, B.H., 2003. Brassinolide improves embryogenic tissue initiation in conifers and rice. *Plant Cell Reprod.* 22, 96–104. <http://dx.doi.org/10.1007/s00299-003-0674-x>.
- Rajabbeigi, E., Eichholz, I., Beesk, N., Ulrichs, C., Kroh, L., Rohn, S., Huyskens-Keil, S., 2013. Interaction of drought stress and UV-B radiation—impact on biomass production and flavonoid metabolism in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *J. Appl. Bot. Food Qual.* 86, 190–197. <http://dx.doi.org/10.5073/JABFO.2013.086.026>.
- Ramraj, V.M., Vyas, B.N., Godrej, N.B., Mistry, K.B., Swami, B.N., Singh, N., 1997. Effects of 28-homobrassinolide on yields of wheat, rice, groundnut, mustard, potato and cotton. *J. Agric. Sci.* 128, 405–413. <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859697004322>.
- Sasaki, H., 2002. Brassinolide promotes adventitious shoot regeneration from cauliflower hypocotyl segments. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 71, 111–116. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1019913604202>.
- Serna, M., Hernández, F., Coll, F., Amóros, A., 2012a. Brassinosteroid analogues effect on yield and quality parameters of field-grown lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Sci. Hortic.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2012.05.019>.
- Serna, M., Hernández, F., Coll, F., Coll, Y., Amóros, A., 2012b. Brassinosteroid analogues effects on the yield and quality parameters of greenhouse-grown pepper (*Capsicum annum* L.). *Plant Growth Regul.* <http://dx.doi.org/10.1007/s10725-012-9718-y>.
- Serna, M., Hernández, F., Coll, F., Coll, Y., Amóros, A., 2013. Effects of brassinosteroid analogues on total phenols, antioxidant activity, sugars, organic acids and yield of field grown endive (*Cichorium endivia* L.). *J. Sci. Food Agric.* <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.5968>.
- Shahbaz, M., Ashraf, M., Athar, H.R., 2008. Does exogenous application of 24-epibrassinolide ameliorate salt induced growth inhibition in wheat (*Triticum aestivum* L.)? *Plant Growth Regul.* 55, 51–64. <http://dx.doi.org/10.1007/s10725-008-9262-y>.

- Shahid, M.A., Pervez, M.A., Balal, R.M., Mattson, N.S., Rashid, A., Ahmad, R., Ayyub, C.M., Abbas, T., 2011. Brassinosteroid (24-epibrassinolide) enhances growth and alleviates the deleterious effects induced by salt stress in pea (*Pisum sativum* L.). *Aust. J. Crop Sci.* 5, 500–510.
- Sharma, P., Bhardwaj, R., 2007. Effect of 24-epibrassinolide on seed germination, seedling growth and heavy metal uptake in *Brassica juncea* L. *Gen Appl. Plant Physiol.* 33, 59–73. <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202007000300004>.
- Suge, H., 1986. Reproductive development of higher plant as influenced by brassinolides. *Plant Cell Physiol.* 27, 199–205.
- Swamy, K.N., Rao, S.S.R., 2008. Influence of 28-homobrassinolide on growth, photosynthesis metabolite and essential oil content of geranium [*Pelargonium graveolens* (L.) Herit]. *Am. J. Plant Physiol.* 3, 173–174. <http://dx.doi.org/10.3923/ajpp.2008.173.179>.
- Swamy, K.N., Rao, S.S.R., 2011. Effect of brassinosteroids on the performance of *Coleus* (*Coleus forskohlii*). *J. Herbs Spices Med. Plants* 17, 12–20. <http://dx.doi.org/10.1080/10496475.2011.556985>.
- Upreti, K.K., Murti, G.S.R., 2004. Effects of brassinosteroids on growth, nodulation, phytohormone content and nitrogenase activity in French bean under water stress. *Biol. Plant.* 48, 407–411. <http://dx.doi.org/10.1023/B:BIOP.0000041094.13342.1b>.
- Vardhini, B.V., Rao, S.S.R., 1998. Effect of brassinosteroids on growth, metabolite content and yield of *Arachis hypogaea*. *Phytochemistry* 48, 927–930. [http://dx.doi.org/10.1016/S0031-9422\(97\)00710-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0031-9422(97)00710-3).
- Vardhini, B.V., Rao, S.S.R., 2003. Amelioration of osmotic stress by brassinosteroids on seed germination and seedling growth of three varieties of sorghum. *Plant Growth Regul.* 41, 25–31. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1027303518467>.
- Wu, F., Bao, W., Li, F., Wu, N., 2008. Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedlings. *Environ. Exp. Bot.* 63, 248–255. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.11.002>.
- Xia, X.J., Huang, Y.Y., Wang, L., Huang, L.F., Yu, Y.L., Zhou, Y.H., Yu, J.Q., 2006. Pesticides-induced depression of photosynthesis was alleviated by 24-epibrassinolide pretreatment in *Cucumis sativus* L. *Pestic. Biochem. Physiol.* 86, 42–48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pestbp.2006.01.005>.
- Zullo, M.A.T., Adam, G., 2002. Brassinosteroid phytohormones: structure, bioactivity and applications. *Braz. J. Plant Physiol.* 14, 83–121. <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202002000300001>.

### Článek 3:

Doležalová, J., Koudela, M., Sus, J. 2014. Evaluation of the effect of synthetic brassinolide on the seedlings of lettuce in different moisture conditions. In: Polák, O., Cerkal, R., Škarpa, P. (eds.). MendelNet 2014 - Proceedings of International PhD Students Conference. Mendel University in Brno. Brno. p. 28-32. ISBN: 9788075091741.



## Evaluation of the effect of synthetic brassinolide on the seedlings of lettuce in different moisture conditions

JITKA DOLEZALOVA, MARTIN KOUDELA, JOSEF SUS

Department of Horticulture  
Czech University of Life Sciences in Prague  
Kamycka 129, 165 21 Prague 6  
CZECH REPUBLIC

dolezalovajitka@af.czu.cz

**Abstract:** The aim of this work was evaluation of synthetic brassinolide influence on growth of the lettuce seedlings (cultivar 'Maršálus') in optimal and reduced moisture conditions. The experiments were established in the growth chamber. Irrigation was based on EWC; 75 % for optimally irrigated trays (OPT), and 60 % for reduced irrigation (STR). The four variants of treatment were in both conditions: c0 – no application of synthetic brassinolide (SB), c11 - application of SB concentration  $1.10^{-11}$  M, c9 - concentration  $1.10^{-9}$  M, c7 - concentration  $1.10^{-7}$  M. The plants were treated with SB 15<sup>th</sup> day after the sowing. The growth was assessed by harvesting 20 individuals per treatment (upper-part; root fresh weight; root length, root neck diameter; greater leaf length and dry matter content were measured. On 21<sup>st</sup> day the highest value of average leaf length (50.1 mm) was observed in STR, c9. The highest value of average length of roots (52.6 mm) was measured in OPT, c11. The parameters were not statistically significantly different from those measured in the control variants. On 28<sup>th</sup> day, the highest average value of length of upper-parts (65.5 mm) was found out for variant STR, c9. This value was statistically significantly different from the control value (c0), variants STR and OPT. The highest average value of length of roots (81.5 mm) was measured at OPT, c11 (same as 21<sup>st</sup> day). The maximum value of dry matter content (4.95 %) was found in variant STR, c9 treatment - statistically significantly different from other treatments in STR variant. The laboratory study indicates a tendency of treatment SB  $1.10^{-9}$  M (c9) to support the aboveground plant size and the dry matter content in condition with reduced irrigation. But we cannot submit that the effect would be also valid for root growth of plants or root neck diameter.

**Key-Words:** lettuce, draught, brassinosteroids, vegetable, juvenile plant

### Introduction

The insufficient water supply may cause wilting plants. The absence of accessible water in the soil profile may lead to irreversible wilting [1]. The most of vegetable species have a high transpiration rate (from 280 to 830 ml of water per 1 g dry matter). As limit value of efficient water capacity is reported at 50 %. If there is a drop below this level, vegetables suffer from lack of water [2]. Sensitivity of plants to drought differs among species, populations and varieties and depends upon physiological stage of the plant and duration of stress impact [3]. Water shortage considerably lowers plant dry matter production and thus final yield [4]. Drought stress as well as UV irradiation is the most adverse factors for plant growth and productivity [5]. In this context it is necessary to look for means to reduce the negative impact of water deficit for grower praxis.

The application of brassinosteroids could be one way to reduce the negative impact of water deficit in vegetable production. These hormones help by reducing of environmental stress impact of plant physiology, e.g. in connection to temperature [6] and to water deficiency [7, 8, 9]. This growth regulators on the basis of sterols not only promotes growth [10], but they also have the potential to increase yield and economic parameters in horticultural crops [11, 12, 13].

The hypothesis of this work was: application of synthetic brassinolide can minimize negative influence of water deficit in cultivation of head lettuce seedlings.

### Material and Methods

The trials were carried out in the laboratory belonging to Department of Horticulture, CULS in Prague in 2012 and 2013. The experiments were established in the growth chamber BINDER KBW 400 with illumination, that allows to create constant lighting and temperature conditions. The synthetic analogue of the natural brassinosteroids - substance  $2\alpha, 3\alpha, 17\beta$ -trihydroxy- $5\alpha$ -androstan- $6\alpha$ -one (SB) was used for testing (patent pending No. 252605 Industrial Property Office). The seeds of cultivar 'Maršálus' (seed category S; producer Semo a.s.) were sown (5 mm depth) in plastic seedling trays TEKU JP3050 160 (1 seed per cell; 20 cell per replication; four replications per treatment; 16 ml cell capacity) in ready-mixed seed-sowing compost based on peat (Agro CS a.s.).

Irrigation was based on current values of efficient water capacity (EWC); the critical value of the EWC was 75 % for optimally irrigated trays (irrigation OPT), and 60 % for variants with reduced levels of irrigation (irrigation STR). The total quantities of irrigation water during test were as follows: the variant with optimal levels of irrigation (OPT) had 39 mm; the variant with reduced levels of irrigation (STR) had 28 mm. The irrigation was done by hand sprayer. Together with the first irrigation fungicide Previcur (concentration 0.25 %) was applied. The seedlings were cultivated in accordance with techniques recommended by Petříková et al. [14]: 20 °C /full illumination 13000 lx - 12 hours / day; 15 °C / 12 hours night.

The experiment was carried out in randomized design. Four variants were in both (OPT and STR) conditions: c0 - no application of SB, c11 - application of SB concentration  $1.10^{-11}$  M, c9 - application of SB concentration  $1.10^{-9}$  M, c7 - application SB concentration  $1.10^{-7}$  M. The plants were treated with SB 15<sup>th</sup> day after sowing. Just before the using of SB, the controls out measurements of plants were carried. On 21<sup>st</sup> and 28<sup>th</sup> day (DC 19 - 29, according to Vogel et al. [15]) the seedling growth was assessed by harvesting 20 individuals per treatment (five plants per each replication). The juvenile plants were counted, cleaned, and upper-part and root fresh weight (g / plant) as well as the root length (mm / plant), root neck diameter (mm / plant) and the greater leaf length (mm / plant) were measured. For upper-part of plant dry matter content was determined [16].

The entire experiment was repeated again. The measured values were statistically analyzed using the STATISTICA CZ, version 12.0 software system for data analysis.

### Results and Discussion

The first evaluation of plants was done 15<sup>th</sup> day. The differences between the lengths of upper-parts of plants (leaf length) were not significant. The average length of the plants in OPT was 33.1 mm and 31.4 mm in STR variant of irrigation.

The average values of the measured lettuce seedlings parameters are given in Table 1.

On 21<sup>st</sup> day (sixth day after the treatment) juvenile plants were in stage of two true leaves (DC 11 - 19). The highest value of average leaf length (50.1 mm) was observed in variant with reduced irrigation, treatment c9. The highest value of average length of roots (52.6 mm) was measured at optimally irrigated variant, treatment c11. The average root neck diameter (0.746 mm) has a maximum in the control (c0) variant STR. The maximum measured average parameters were not statistically significantly different from those measured in the control variants. The detailed statistical survey results are given in Table 1. The average values of the dry matter content of the upper parts of the plant are shown in Fig. 1. The highest average dry matter content (4.92 %) was found in variant STR, c9 treatment. Conversely, the lowest average dry matter contained samples of both non-treated (c0) variants (STR 3.78 %, OPT 3.85 %). There were not statistically significant differences between treatments. In case of the average fresh weight of upper-parts (Fig. 2), the highest average weight was observed at treatment c11 (0.145 g), irrigation OPT. The lowest average values were obtained for variant STR - treatment c7 (0.103 g).

On 28<sup>th</sup> day (13<sup>th</sup> day after the treatment) seedlings were in stage DC 21 - 29. When the measurement was carried out 28<sup>th</sup> day (Table 1), the highest average value of length of upper-parts (65.5 mm) was found out for variant STR, treatment c9. This value was statistically significantly different from the control value (c0), variants STR and OPT. The highest average value of length of roots (81.5 mm) was measured at optimally irrigated variant (OPT), treatment c11 - as in the case of measurements made 21<sup>st</sup> day. The average value of root neck diameter (0.970 mm) has a maximum in the variant OPT, treatment c9. The average values of the dry matter content in the upper-parts of the plant are shown in Fig.3. The highest average value of dry matter content (4.95 %) was found in variant STR, c9 treatment - as in the case of measurements made 21<sup>st</sup> day. This value is statistically significantly different from other treatments in condition with reduced irrigation. In case of average weight of fresh matter (Fig. 4) the highest

value (0.358 g) was found in variant OPT, c9 treatment. However, this value did not differ statistically significantly from the value for the treatment c9 (in STR) and all other treatments in conditions with optimum irrigation (OPT). In case of measurements carried out 21<sup>st</sup> day values of treated variants do not differ from the control (c0),

but during measurement carried out 28<sup>th</sup> day there are some differences already evident. It is mainly the average length of upper-parts (leaf length) with treatment c9, where the variants with reduced and optimum irrigation statistically significantly differed from the control variants.

Table 1 Average values of measured parameters (21<sup>st</sup> and 28<sup>th</sup> day)

		21 <sup>st</sup> day			28 <sup>th</sup> day		
		Leaf length (mm)	Root length (mm)	Root neck diameter (mm)	Leaf length (mm)	Root length (mm)	Root neck diameter (mm)
c0	OPT	48.6 <sup>a</sup>	47.9 <sup>ab</sup>	0.644 <sup>ab</sup>	56.8 <sup>a</sup>	74.6 <sup>ac</sup>	0.875 <sup>ab</sup>
	STR	48.3 <sup>a</sup>	44.1 <sup>abc</sup>	0.746 <sup>b</sup>	51.6 <sup>b</sup>	68.8 <sup>a</sup>	0.854 <sup>ab</sup>
c11	OPT	49.4 <sup>a</sup>	52.6 <sup>b</sup>	0.705 <sup>ab</sup>	57.9 <sup>a</sup>	81.5 <sup>c</sup>	0.945 <sup>b</sup>
	STR	47.0 <sup>ab</sup>	41.3 <sup>ac</sup>	0.686 <sup>ab</sup>	51.6 <sup>b</sup>	67.0 <sup>ab</sup>	0.814 <sup>a</sup>
c9	OPT	49.4 <sup>a</sup>	42.7 <sup>abc</sup>	0.629 <sup>ab</sup>	58.8 <sup>ac</sup>	74.4 <sup>ac</sup>	0.970 <sup>b</sup>
	STR	50.1 <sup>a</sup>	45.6 <sup>abc</sup>	0.581 <sup>a</sup>	65.5 <sup>c</sup>	67.0 <sup>ab</sup>	0.848 <sup>ab</sup>
c7	OPT	47.4 <sup>ab</sup>	48.9 <sup>ab</sup>	0.690 <sup>ab</sup>	59.4 <sup>ac</sup>	67.2 <sup>ab</sup>	0.878 <sup>ab</sup>
	STR	45.5 <sup>b</sup>	37.6 <sup>c</sup>	0.662 <sup>ab</sup>	51.9 <sup>b</sup>	60.7 <sup>b</sup>	0.782 <sup>a</sup>

Legend: In each column; values followed by the same letter did not differ significantly ( $P < 0.05$ ) according to Fisher's LSD test.

Fig. 1 Dry matter 21<sup>st</sup> day, upper-parts (in %)

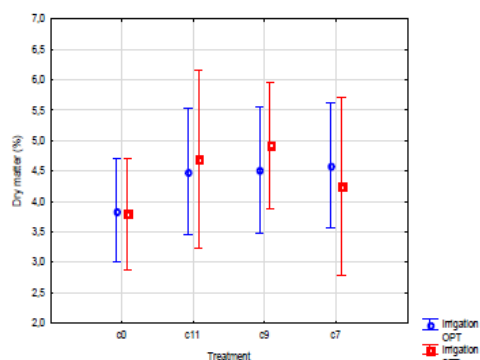


Fig. 2 Fresh weight 21<sup>st</sup> day, upper-parts (in g)

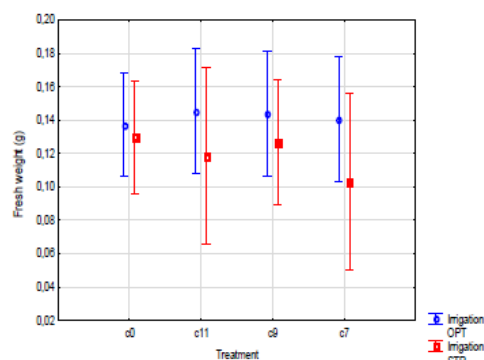
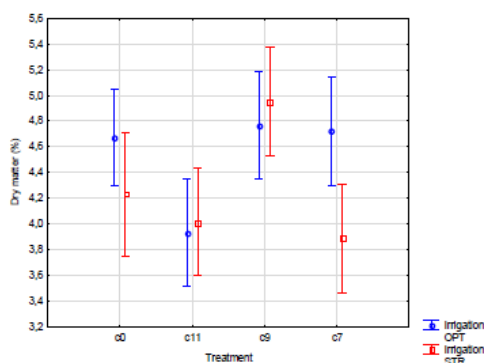


Fig. 3 Dry matter 28<sup>th</sup> day, upper-parts (in %)

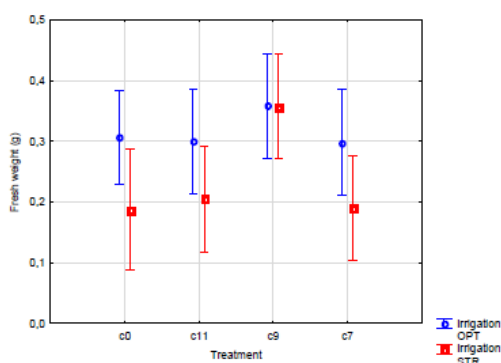
Also in this case, the treatment c9 variant STR is showing promising. However, the value of dry matter - treatment c9 in variant STR is not statistically significantly different from the values of c0, c7 and c9 treatments in optimum irrigation conditions (OPT).

As indicated by numerous studies, application of brassinosteroids can reduce negative environmental impacts, e.g. negative influence of pesticides [17] or biotic stressors [18]. The positive effect of synthetic brassinolide is reflected by increase of value of leaf length and together with increase of dry matter content. The obtained data show a positive effect of treatment c9 in both - reduced and optimal irrigation conditions.

Although there are not always statistically significant differences, the tendency is evident. This finding is consistent with data of Procházka et al. [19], who reported effective concentration from  $10^{-8}$  to  $10^{-11}$ M. We can also agree with the conclusions of Mussig [10] and Pavlová et Fischer [20], who talks about supporting effect of brassinosteroids on growth and the size of plant, respectively.

### Conclusion

The study indicates a tendency of treatment with synthetic brassinolide concentration  $1.10^{-9}$  M (c9) to support the aboveground plant size and thus the growth of the plant. We cannot, however, clearly state that the effect would be valid completely for root growth of plants or root neck diameter. The positive effect of treatment c9 was observed in both - reduced and optimal irrigation conditions. The effect of application of synthetic brassinolide was reflected in measuring carried out 28<sup>th</sup> day (i.e. 13<sup>th</sup> day after the treatment). The highest average value of length of upper-parts (65.5 mm) was found out for variant with reduced irrigation, treatment c9. This

Fig. 4 Fresh weight 28<sup>th</sup> day, upper-parts (in g)

value was statistically significantly different from the control value (c0), both variant - with optimal and reduced irrigation. It is known that lack of water in the cultivation leads to a decrease of dry matter content [4]. The results (treatment c9, variant STR), however, show that this effect can be limited by application of synthetic brassinolide.

It would be appropriate to verify results, obtained in the laboratory, in cultivation of seedlings in the greenhouse.

### Acknowledgement

The research was financially supported by the project No. NAZV QJ 1210165.

### References:

- [1] Šebánek J, Gréc L, Javor A, Švihra J, Kupka J, Procházka S, *Fyziologie rostlin*, SZN Praha, 1983.
- [2] Malý I, Bartoš J, Hlušek J, Kopec K, Petříková K, Rod J, Spitz P, *Polní zelinářství*, Agrospoj, 1998.
- [3] Liu C, Liu Y, Guo K, Fan D, Li ., Zheng Y, Yu L, Yang R, Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China, *Environmental and Experimental Botany*, Vol.71, No.2, 2011,pp. 174 – 183.
- [4] Wu F, Bao W, Li F, Wu N, Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedlings. *Environmental and Experimental Botany*. Vol.63, No.1 – 3, 2008, pp. 248 – 255.
- [5] Rajabbeigi E, Eichholz I, Beesk N, Ulrichs, C, Kroh LW, Rohn S, Huyskens-Keil S Interaction of drought stress and UV-B

- radiation - impact on biomass production and flavonoid metabolism in lettuce (*Lactuca sativa* L.), *Journal of Applied Botany and Food Quality*. Vol.86, 2013, pp. 190- 197.
- [6] Ogwenio J O , Song XS , Shi K, Hu WH, Mao WH, Zhou YH, Yu JQ, Noguees S, Brassinosteroids alleviate heat-induced inhibition of photosynthesis by increasing carboxylation efficiency and enhancing antioxidant systems in *Lycopersicon esculentum*, *Journal of Plant Growth Regulation*, Vol.27, No.1, 2008, pp. 49 – 57.
- [7] Jager CE, Symons GM, Ross JJ, Reid JB, Do brassinosteroids mediate the water stress response? *Physiologia Plantarum*, Vol.113, No.2, 2008, pp. 417 – 425.
- [8] Behnamnia M, Kalantari K M, Ziaie J, The effects of brassinosteroid on the induction of biochemical changes in *Lycopersicon esculentum* under drought stress, *Turkish Journal of Botany*, Vol.33, No.6, 2009, pp.417 – 428.
- [9] Mousavi EA, Kalantari KM, Jafari SR, Change of Some Osmolytes Accumulation in Water-stresses Colza (*Brassica napus* L.) as Affected by 24 – Epibrassinolid, *Iranian Journal of Science and Technology Transaction A – Science*. Vol.33, No. A1, 2009, pp. 1 – 11.
- [10] Müssig C, Brassinosteroid - promoted growth. *Plant Biology*. Vol.7, No.2, 2005, pp. 110 – 117.
- [11] Cutler HG, Advances in the use of brassinosteroids, *Acs Symposium Series*, Vol. 551, 1994, pp. 85-102 Leslie JF, Summerell BA, Bullock S, *The Fusarium Laboratory Manual*, Blackwell Publishing, 2006.
- [12] Khripach V, Zhabinskii V, De Groot A, Twenty years of brassinosteroids: Steroidal plant hormones warrant better crops for the XXI century, *Annals of Botany*, Vol.86, No. 3, 2000, pp. 441 – 447.
- [13] Koudela M, Hnilička F, Martinková J, Svozilová L, Doležalová J, Yield and Quality of Head Lettuce after 24-epibrassinolide Application under Optimal and Reduced Irrigation, *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, Vol. 60, No.11, 2012, pp. 93 – 99.
- [14] Petříková K, Hlušek J, Jánký J, Koudela M, Lošák T, Malý I, Pokluda R, Poláčková, J, Rod J, Ryant P, Škarpa P, *Zelenina pěstování, výživa, ochrana a ekonomika*. Profi Press, 2012.
- [15] Vogel G, Hartmann HD, Krahnstöver K, *Handbuch des speziellen Gemüsebaues*. Eugen Ulmer GmbH & Co, 1996.
- [16] Javorský P, *Chemické rozborý v zemědělských laboratořích*, Díl 1. Výstavnictví zemědělství a výživy, 1987.
- [17] Xia, XH, Huang Y Y, Wang L, et al., Pesticides-induced depression of photosynthesis was alleviated by 24-epibrassinolide pretreatment in *Cucumis sativus* L, *Pesticide Biochemistry and Physiology*, Vol. 86, No. 1, 2006, pp. 42 – 48.
- [18] Masuda D, Ishida M, Yamaguchi K, et al. Phytotoxic effects of trichothecenes on the growth and morphology of *Arabidopsis thaliana*, *Journal of Experimental Botany*, Vol.58, No.7, 2007, pp. 1617 – 1626.
- [19] Procházka S, Macháčková I, Krekule J, Šebánek J, *Fyziologie rostlin*, Academia, 1998.
- [20] Pavlová L, Fischer L, *Růst a vývoj rostlin*. Karolinum. 2011.

Článek 4:

Doležalová, J., Koudela, M., Dubský, M. 2016. Brassinosteroid analogue effect on lettuce grown at different moisture levels. *Journal of Applied Horticulture*. (v tisku)

Brassinosteroide analogue effect on lettuce grown at different moisture levels

J. Doležalová<sup>1</sup>, M. Koudela<sup>1</sup> and M. Dubský<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Horticulture, Faculty of Agrobiolgy, Food and Natural Resources, Czech University of Life Sciences Prague, Prague, Czech Republic

<sup>2</sup>Silva Tarouca Research Institute for Landscape and Ornamental Gardening, Průhonice, Czech Republic

Corresponding author:

Ing. et Ing. Jitka Doležalová, Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Agrobiolgy, Food and Natural Resources, Department of Horticulture, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchdol, Czech Republic; phone: + 420 224382500; fax + 420 234381801, e-mail: dolezalovajitka@af.czu.cz

### **Abstract**

Water deficit is one of the most adverse factors for plant growth and productivity. The experiments were conducted to investigate the influence of synthetic brassinolide analogue at concentrations 100 nM , 1 nM , 0.01 nM and 0 nM on lettuce seedling grown at two moisture levels (reduced, control). The plants were cultivated in growth chamber under day / night temperature of 20°C/15°C. The total quantities of irrigation water during the experiment: reduced – 28 mm; control – 39 mm. The seedlings of two butter head lettuce cultivars (cv. Mars and cv. Maršálus) were sprayed to foliage at juvenile stage of growth. The plant parameters (length, fresh weight of shoots and roots) and dry matter content were measured on 21<sup>st</sup> and 28<sup>th</sup> day after sowing. Significantly higher values of the average fresh weight and length of aboveground part and roots were measured on 28<sup>th</sup> day for the cultivar Maršálus treated with brassinosteroide analogue at concentration 1 nM in conditions with reduced irrigation. The results showed that treatment of plants in the initial stage of the

development with 1 nM solution can be used to limit the consequences of reduced moisture conditions. Prior to use the most effective concentration should be taken into account which parameter of plant is expected to be changed and also the varying sensitivity of the cultivars to the treatment.

**Key words:** *Lactuca sativa* L. var. *capitata* L., seedling, growth, water deficit, brassinolide, vegetable, stimulant

#### Abbreviations

BA – synthetic analogue of the natural brassinosteroids

BRs – brassinosteroids

NS – not significant

#### Introduction

**Water deficit** is considered to be among the most severe environmental stresses and the major constraint on plant productivity; losses in crop yield due to water stress probably exceed the loss from all other causes combined (Kramer, 1980). The sensitivity of plants to drought differs among species, populations and varieties and also depends upon the physiological stage of the plant (Liu *et al.*, 2011). Water shortage considerably reduces plant dry matter production and thus final yield (Wu *et al.*, 2008). In this context, it is necessary to look for ways to reduce the negative impact of water deficit for growing practices.

**Brassinosteroids** (BRs) were first discovered in oilseed rape pollen in 1979 (Grove *et al.*, 1979). It has been well documented in the literature that these hormones act mainly in the meristem regions, causing cell lengthening and division (Mandava, 1988). BRs seem to be involved in the expression of critical development periods, from germination to the transition from plant vegetative to reproductive development (Suge, 1986). BRs stimulated callus proliferation in *Arabidopsis thaliana* and embryogenesis in conifers and rice (Hu *et al.*,



2000; Pullman *et al.*, 2003). Growth promotion due to BRs application was reported in increased growth of the geranium plant (Swamy and Rao, 2008), *Vicia faba* plants ( Piñol and Simon, 2009) and maize ( Holá *et al.*, 2010). These phytohormones also reduce the effects of environmental stress on plant physiology, e.g. in relation to temperature (Ogweno *et al.*, 2008) and water deficiency (Upreti and Murti, 2004; Jager *et al.*, 2008; Behnamnia *et al.*, 2009). Furthermore, BRs are type of environmentally-friendly (Kang and Guo, 2011) and non-toxic (Esposito *et al.*, 2011) hormone.

The application of BRs could be one way to reduce the negative impact of water deficit in vegetable production. Therefore, the aim of this study was to examine how treatment with synthetic analogue of the natural brassinosteroide influences plant parameters of lettuce seedlings grown at different moisture levels.

### **Materials and methods**

Two investigations were conducted in 2013 (July – October) in the laboratory belonging to Department of Horticulture, Czech University of Life Sciences Prague. The object of investigation was butter head lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata* L.), cultivars Mars and Maršálus (produced by Semo Smržice, Czech Republic). A synthetic analogue of the natural brassinosteroide (BA) - substance  $2\alpha, 3\alpha, 17\beta$ -trihydroxy-5 $\alpha$ -androstan-6-one - was used for testing (patent pending No. 252605 Industrial Property Office, Czech Republic). The experimental factors were: different moisture levels (reduced irrigation and control), concentration of BA and the cultivar. The seeds were sown (5 mm depth) in plastic seedling trays TEKU JP3050 160 (1 seed per cell; 20 cells per replication; three replications per treatment; 16 ml of cell capacity) in ready-mixed seed-sowing compost based on peat (Profi Sowing Substrate; Agro CS a.s., Czech Republic). The plants were cultivated in growth chamber (KBW 400 Binder, Germany) under day / night temperature of 20°C / 15°C

(Petříková *et al.*, 2012), day - illumination 13000 lx. The total quantities of irrigation water during the experiment: reduced variants – 28 mm; control variants – 39 mm. Irrigation was based on current values of available water content; the critical value was 75% for control, and 60% for variants with reduced moisture conditions. The soil moisture was monitored using the ECH<sub>2</sub>O sensor (Decagon, USA). The experiment was carried out in randomized design. Four variants were in both (reduced and control) conditions: 0 nM – no application of BA, application of 0.01 nM, 1 nM and 100 nM concentration of BA. The plants were treated with BA on 15<sup>th</sup> day after sowing. On 21<sup>st</sup> and 28<sup>th</sup> day - BBCH 12 - 13, according to Meier (2001) - the seedling growth was assessed by harvesting 30 individuals per treatment (ten plants per each replication). The juvenile plants were cleaned; lengths of aboveground parts and roots (mm/plant), fresh weight (mg/plant) as well as the root neck diameter (mm/plant) were measured. Dry matter content was determined by drying at 105 °C in a Memmert UFP500 oven (Memmert, Schwabach, Germany) until constant weight was reached. Two months later, the entire experiment was repeated and results were evaluated together.

The data from two experiments were subjected to ANOVA. Means were compared by the Fisher's LSD test with 0.05 level of probability to determine the statistical significance of the differences among treatments. All statistical evaluations were made with the STATISTICA CZ, version 12.0 software systems (Stat Soft CR s.r.o., Czech Republic).

## **Results and discussion**

**The results of measurements made on 21<sup>st</sup> day** (Tab. 1,2) shows significant effect of 1 nM treatment on length and fresh weight of roots with cv. Mars in both moisture conditions. The length of aboveground parts was positively influenced in conditions with reduced

irrigation. Also the means of neck diameter, length of aboveground parts and roots after treatment 0.01 nM were significantly higher with cv. Mars in the same conditions.

The treatment 1 nM significantly influenced length of roots and aboveground parts with cv. Maršálus in reduced conditions and fresh weight of upper parts in both moisture conditions.

**The measurement carried on 28<sup>th</sup> day** (Tab.3, 4) confirmed positive influence of 1 nM, cv. Mars on length of aboveground parts and roots in conditions with reduced irrigation and length of aboveground parts in control irrigation. From the perspective of the grower, the most important category evaluated was fresh weight of plant. In the case of cv. Maršálus, treatment 1 nM significantly increased fresh weight of aboveground parts and length of roots in both moisture conditions.

Significantly higher values of the average fresh weight of roots were measured on 28<sup>th</sup> day for the cultivar Maršálus; all of the variations treated with a brassinosteroid analogue in conditions with reduced irrigation. On the other hand, cv. Mars did not react significantly for treatment in this parameter. The influence of a brassinosteroid analogue treatment 1 nM with the cultivar Maršálus was proven on length of aboveground parts in same conditions.

Moreover, positive influence of treatment 0.01 nM on length and fresh weight of aboveground parts was also detected with cv. Maršálus in conditions with reduced irrigation.

As regards the influence of BRs on plant height or leaf number, previous studies with various plant species usually reported positive results. The increase in plant size could be directly to the effect from BRs, since Nakaya *et al.* (2002) found that mutants of *Arabidopsis thaliana* with known defects in the perception of BRs develop small leaves. Treatment of the mutants with BRs reversed the mutation and restored the potential for growth to that of the wild type. BRs play a role in regulating cell expansion and cell proliferation in the leaf (Kim *et al.*, 2008; Oh *et al.*, 2011). Arora *et al.* (2008) found the positive effect of the addition of 1 nM

(but not 100 nM or 0.01 nM) solution of 28-homobrassinolide to the growth medium on the shoot length of maize. Similarly, repeated foliar spray of *Arachis hypogaea* plants with brassinolide or 24-epibrassinolide solutions in 1 $\mu$ M concentration range had positive effect on the shoot length (Vardhini and Rao, 1998). These results are also confirmed by the data we found on the positive influence of 1 nM on the size of the plants of lettuce in the conditions of reduced irrigation. The values we measured were proved also by the results of Serna *et al.* (2012), who presented a significant positive change in the size of the head of the lettuces (diameter and length) after the application of an analogue of a brassinosteroid along with the agent Tomex Amin.

In the sense of the reaction of the cultivars to the treatment, the data we found confirms that the effective concentration apparently also depends on plant genotype (Holá *et al.*, 2010).

Other authors who simultaneously examined the effect of exogenous application of BRs on plants of more than one genotype of the same species have often found that the response of individual genotypes can be markedly different (Pipattanawong *et al.*, 1996; Janeczko and Swaczynová, 2010; Doležalová *et al.*, 2016).

It can be said generally that the application of BRs helps plants, which are exposed to unfavorable environmental conditions (Kang *et al.*, 2007; Shahbaz *et al.*, 2008). This claim is also confirmed by our results with cv. Maršálus in conditions with reduced level of irrigation. Last but not least, the different tolerance of the cultivar to water deficit must be taken into consideration, as presented by Ghane *et al.* (2012) or Pazderů and Koudela (2013).

The assumption that it is possible to reduce partially the negative impact of a water deficit in growing of lettuce seedlings with a brassinosteroid analogue was confirmed. The acquired results show that the spray treatment of the lettuce plants in the initial stage of the

development with 1 nM solution of an analogue of synthetic brassinolide can be used to limit the consequences of reduced moisture conditions. Although the exogenous application of BRs to plants can certainly in many ways change lettuce growth and, consequently, influence plant parameters. Prior to their use the most effective concentration should be always taken into account, and a particular point of view regarding which parameter of plant is expected to be changed by the application of BRs.

### References

- Arora, N., Bhardwaj, R., Sharma, P. and H.K Arora, 2008. Effect of 28-homobrassinolide on growth, lipid peroxidation and antioxidative enzyme activities in seedlings of *Zea mays* L. under salinity stress. *Acta Physiologiae Plant.*, 30: 833-839.
- Behnamnia, M., Kalantari, K.M. and J. Ziaie, 2009. The effects of brassinosteroid on the induction of biochemical changes in *Lycopersicon esculentum* under drought stress. *Turkish J. of Bot.*, 33: 417-428.
- Doležalová, J., Koudela, M., Sus, J. and V. Ptáček, 2016. Effects of synthetic brassinolide on the yield of onion grown at two irrigation levels. *Scientia Hort.*, 202: 125-132.
- Esposito, D., Komarnytsky, S., Shapses, S. and I. Raskin, 2011. Anabolic effect of plant brassinosteroid . *FASEB J.*, 25: 3708-3719.
- Ghane, S.G., Lokhande, V.H. and T.D. Nikam, 2012. Differential growth, physiological and biochemical responses of niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) cultivars to water-deficit (drought) stress. *Acta Physiologiae Plant.*, 34: 215-225.
- Grove, M.D., Spencer, G.F., Rohwedder, W.K., Mandawa, N., Worley, J.F., Warthen, J.D., Steffens, G.L., Flippen-Anderson, J.L. and J.C. Cook, 1979. Brassinolide, a plant growth-promoting steroid isolated from *Brassica napus* pollen. *Nature*, 281: 216-217.

- Holá, D., Rothová, O., Kočová, M., Kohout, L. and M. Kvasnica, 2010. The effect of brassinosteroids on the morphology, development and yield of field-grown maize. *Plant Growth Regulat.*, 61: 29-43.
- Hu, Y.X., Bao, F. and J.Y. Li, 2000. Promotive effect of brassinosteroids on cell division involves a distinct CycD3-induction pathway in Arabidopsis. *Plant J.*, 24: 693-701.
- Jager, C.E., Symons, G.M., Ross, J.J. and J.B. Reid, 2008. Do brassinosteroids mediate the water stress response? *Physiol. Plant.*, 113: 417-425.
- Janeczko, A. and J. Swaczynová, 2010. Endogenous brassinosteroids in wheat treated with 24-epibrassinolid. *Biologia Plant.*, 54: 477-482.
- Kang, Y.Y. and S.R. Guo, 2011. Role of Brassinosteroids on Horticulture Crops. p. 269-288. In: *Brassinosteroids: A Class of Plant Hormone*, Hayat, S. and A. Ahmad (eds.). Springer, New York.
- Kang, Y., Guo, S., Li, J. and J. Duan, 2007. Effects of 24-epibrassinolide on antioxidant system in cucumber seedling roots under hypoxia stress. *Agricultural Sciences in China*, 6: 281-289.
- Kim, S.L., Lee, Y., Lee, S.H., Kim, S.H., Han, T.J. and S.K. Kim, 2008. Brassinolide influences the regeneration of adventitious shoots from cultured leaf discs of tobacco. *J. of Plant Biol.*, 51: 221-226.
- Kramer, P.J. 1980. Drought, stress, and the origin of adaptation. p. 7-20. In: *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*, Turner, N.C. and P.J. Kramer (eds.). John Wiley and Sons, Inc.
- Liu, C., Liu, Y., Guo, K., Fan, D., Li, G., Zheng, Y., Yu, L. and R. Yang, 2011. Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. *Environmental and Experimental Bot.*, 71: 174-183.
- Mandava, N.B. 1988. Plant growth-promoting brassinosteroids. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 39: 23-52.

- Meier, U. 2001. *Growth stages of mono-and dicotyledonous plants-BBCH monograph*. Braunschweig, Germany Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry.
- Nakaya, M., Tsukawa, H., Murakami, N. and M. Kato, 2002. Brassinosteroids control the proliferation of leaf cells of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Physiol.*, 43: 239-244.
- Ogweno, J.O., Song, X.S. , Shi, K., Hu, W.H., Mao, W.H., Zhou, Y.H., Yu, J.Q. and S. Noguees, 2008. Brassinosteroids alleviate heat-induced inhibition of photosynthesis by increasing carboxylation efficiency and enhancing antioxidant systems in *Lycopersicon esculentum*. *J. Plant Growth Regulat.*, 27: 49-57.
- Oh, M.H., Sun, J., Oh, D.H., Zielinski, R.E., Clouse, S.D. and S.C. Huber, 2011. Enhancing *Arabidopsis* leaf growth by engineering the BRASSINOSTEROID INSENSITIVE1 receptor kinase. *Plant Physiol.*, 157: 120-131.
- Pazderů, K. and M. Koudela, 2013. Influence of hydrogel on germination of lettuce and onion seed at different moisture levels. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 6: 1817-1822.
- Petříková, K., Hlušek, J., Jánský, J., Koudela, M., Lošák, T., Malý, I., Pokluda, R., Poláčková, J., Rod, J., Ryant, P. and P. Škarpa, 2012. *Zelenina pěstování, výživa, ochrana a ekonomika (Vegetable growing, nutrition, protection and economy)*. Praha, Profi Press.
- Piñol, R. and E. Simon, 2009. Effect of 24-epibrassinolide on chlorophyll fluorescence and photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in *Vicia faba* plants treated with the photosynthesis-inhibiting herbicide terbutryn. *J. Plant Growth Regulat.*, 28: 97-105.
- Pipattanawong, N., Fujishige, N. and K. Yamane, 1996. Effects of brassinosteroid on vegetative and reproductive growth in two day-neutral strawberries. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 65: 651-654.

- Pullman, G.S., Zhang, Y. and B.H. Phan, 2003. Brassinolide improves embryogenic tissue initiation in conifers and rice. *Plant Cell Rpt.*, 22: 96-104.
- Serna, M., Hernández, F., Coll, F. and A. Amóros, 2012. Brassinosteroid analogues effect on yield and quality parameters of field-grown lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Scientia Hort.*, 143: 29-37.
- Shahbaz, M., Ashraf, M. and H.R. Athar, 2008. Does exogenous application of 24-epibrassinolide ameliorate salt induced growth inhibition in wheat (*Triticum aestivum* J.)? *Plant Growth Regulat.*, 55: 51-64.
- Suge, H.1986. Reproductive development of higher plant as influenced by brassinolides. *Plant Cell Physiol.*, 27: 199-205.
- Swamy, K.N. and S.S.R. Rao, 2008. Influence of 28-homobrassinolide on growth, photosynthesis metabolite and essential oil content of geranium [*Pelargonium graveolens* (L.) Herit] *Amer. J. Plant Physiol.*, 3: 173-174.
- Upreti, K.K. and G.S.R. Murti, 2004. Effects of brassinosteroids on growth, nodulation, phytohormone content and nitrogenase activity in French bean under water stress. *Biologia Plant.*, 48: 407-411.
- Vardhini, B.V. and S.S.R. Rao, 1998. Effect of brassinosteroids on growth, metabolite content and yield of *Arachis hypogaea*. *Phytochemistry*, 48: 927-930.
- Wu, F., Bao, W., Li, F. and N. Wu, 2008. Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedlings. *Environmental and Experimental Bot.*, 63: 248-255.

## **Acknowledgement**



This work was supported by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic, Project No. QH81110 and the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic, Project No. MSM6046070901.

Table 1. Brassinosteroide analogue effect on the plant size, root length, neck diameter and dry matter content of lettuce seedlings grown at control level of irrigation, measured 21<sup>st</sup> day

Cultivar	Concentration (nM)	Aboveground parts			Neck		Roots	
		Length (mm)*	Fresh weight (mg)*	Dry matter content (g.g <sup>-1</sup> )* 1)*	diamete r (mm)*	Length (mm)*	Fresh weight (mg)*	Dry matter content (g.g <sup>-1</sup> )*
Mars	0	50.4 ±	103.7 ±	0.042 ± 0.006 <sup>b</sup>	0.579 ±	32.7 ±	17.7 ±	0.053 ±
		6.3 <sup>abc</sup>	17.6 <sup>ac</sup>		0.097 <sup>abc</sup>	8.4 <sup>b</sup>	4.4 <sup>a</sup>	0.011 <sup>a</sup>
	0.01	50.0 ±	88.3 ± 16.6 <sup>a</sup>	0.045 ±	0.557 ±	34.3 ±	19.0 ±	0.052 ±
		4.3 <sup>abc</sup>		0.006 <sup>ab</sup>	0.114 <sup>a</sup>	7.6 <sup>bc</sup>	4.2 <sup>ab</sup>	0.011 <sup>a</sup>
	1	52.5 ± 6.1 <sup>c</sup>	106.0 ±	0.046 ±	0.573 ±	40.3 ±	22.8 ±	0.054 ±
			14.9 <sup>abc</sup>	0.006 <sup>ab</sup>	0.080 <sup>ab</sup>	9.9 <sup>de</sup>	4.3 <sup>bc</sup>	0.013 <sup>a</sup>
	100	51.3 ±	95.2 ± 16.5 <sup>a</sup>	0.046 ±	0.589 ±	37.5 ±	19.6 ±	0.048 ±
		6.0 <sup>bc</sup>		0.008 <sup>ab</sup>	0.102 <sup>abc</sup>	8.0 <sup>cd</sup>	3.9 <sup>abc</sup>	0.010 <sup>a</sup>
Maršálus	0	49.1 ±	117.9 ±	0.050 ± 0.009 <sup>a</sup>	0.627 ±	45.7 ±	23.6 ±	0.055 ±
		7.6 <sup>ab</sup>	24.4 <sup>bc</sup>		0.143 <sup>bcd</sup>	11.0 <sup>af</sup>	4.5 <sup>cd</sup>	0.013 <sup>a</sup>
	0.01	50.3 ±	123.5 ±	0.051 ± 0.008 <sup>a</sup>	0.670 ±	49.3 ±	27.7 ±	0.056 ±
		6.1 <sup>abc</sup>	26.7 <sup>bd</sup>		0.153 <sup>d</sup>	10.6 <sup>a</sup>	6.8 <sup>de</sup>	0.014 <sup>a</sup>
	1	49.7 ±	141.4 ±	0.045 ±	0.632 ±	42.8 ±	21.5 ±	0.052 ±
		4.0 <sup>ab</sup>	22.2 <sup>d</sup>	0.007 <sup>ab</sup>	0.119 <sup>cd</sup>	10.2 <sup>ef</sup>	3.8 <sup>abc</sup>	0.009 <sup>a</sup>
	100	48.1 ± 6.0 <sup>a</sup>	124.0 ±	0.050 ± 0.007 <sup>a</sup>	0.660 ±	47.4 ±	29.9 ±	0.059 ±
			22.4 <sup>bd</sup>		0.146 <sup>d</sup>	11.0 <sup>a</sup>	6.5 <sup>e</sup>	0.012 <sup>a</sup>
A: Cultivar (p-value)		0.008	< 0.001	0.013	< 0.001	< 0.001	< 0.001	NS

B: Treatment ( <i>p</i> -value)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
A × B ( <i>p</i> -value)	NS	NS	NS	NS	< 0.001	0.002	NS

\* The values followed by the same letter show no statistically significant differences

(*P*<0.05). Mean values ± standard deviation. NS = not significant

Table 2. Brassinosteroide analogue effect on the plant size, root length, neck diameter and dry matter content of lettuce seedlings grown at reduced level of irrigation, measured 21<sup>st</sup> day

Cultivar	Concentration (nM)	Aboveground parts			Neck		Roots	
		Length (mm)*	Fresh weight (mg)*	Dry matter content (g.g <sup>-1</sup> )*	diamete r (mm)*	Length (mm)*	Fresh weight (mg)*	Dry matter content (g.g <sup>-1</sup> )*
Mars	0	52.7 ±	99.7 ± 9.2 <sup>a</sup>	0.040 ±	0.579 ±	32.7 ±	17.7 ±	0.053 ±
		6.5 <sup>cd</sup>		0.003 <sup>ab</sup>	0.097 <sup>abc</sup>	8.4 <sup>b</sup>	4.4 <sup>a</sup>	0.011 <sup>a</sup>
	0.01	55.8 ±	108.9 ±	0.037 ± 0.007 <sup>a</sup>	0.557 ±	34.3 ±	19.0 ±	0.052 ±
		4.8 <sup>b</sup>	24.0 <sup>ab</sup>		0.114 <sup>a</sup>	7.6 <sup>bc</sup>	4.2 <sup>ab</sup>	0.011 <sup>a</sup>
	1	57.2 ±	115.8 ±	0.037 ± 0.008 <sup>a</sup>	0.573 ±	40.3 ±	22.8 ±	0.054 ±
		9.3 <sup>b</sup>	21.2 <sup>ab</sup>		0.080 <sup>ab</sup>	9.9 <sup>de</sup>	4.3 <sup>bc</sup>	0.013 <sup>a</sup>
100	55.4 ±	106.2 ±	0.038 ±	0.589 ±	37.5 ±	19.6 ±	0.048 ±	
	5.5 <sup>bd</sup>	20.7 <sup>a</sup>	0.005 <sup>ab</sup>	0.102 <sup>abc</sup>	8.0 <sup>cd</sup>	3.9 <sup>abc</sup>	0.010 <sup>a</sup>	
Maršálus	0	46.8 ± 4.9 <sup>a</sup>	113.5 ±	0.041 ±	0.627 ±	45.7 ±	23.6 ±	0.055 ±
			21.3 <sup>ab</sup>	0.008 <sup>ab</sup>	0.143 <sup>bcd</sup>	11.0 <sup>af</sup>	4.5 <sup>cd</sup>	0.013 <sup>a</sup>
	0.01	46.5 ± 5.5 <sup>a</sup>	126.4 ±	0.038 ± 0.009 <sup>a</sup>	0.670 ±	49.3 ±	27.7 ±	0.056 ±
			12.7 <sup>bc</sup>		0.153 <sup>d</sup>	10.6 <sup>a</sup>	6.8 <sup>de</sup>	0.014 <sup>a</sup>
	1	52.2 ± 6.0 <sup>c</sup>	132.8 ±	0.045 ± 0.007 <sup>b</sup>	0.632 ±	42.8 ±	21.5 ±	0.052 ±
			27.7 <sup>c</sup>		0.119 <sup>cd</sup>	10.2 <sup>ef</sup>	3.8 <sup>abc</sup>	0.009 <sup>a</sup>
100	45.3 ± 5.7 <sup>a</sup>	117.5 ±	0.036 ± 0.008 <sup>a</sup>	0.660 ±	47.4 ±	29.9 ±	0.059 ±	
		16.3 <sup>abc</sup>		0.146 <sup>d</sup>	11.0 <sup>a</sup>	6.5 <sup>e</sup>	0.012 <sup>a</sup>	

A: Cultivar ( <i>p</i> -value)	< 0.001	0.001	NS	< 0.001	< 0.001	< 0.001	NS
B: Treatment ( <i>p</i> -value)	< 0.001	0.018	NS	NS	NS	NS	NS
A × B ( <i>p</i> -value)	0.020	NS	NS	< 0.001	< 0.001	0.002	NS

\* The values followed by the same letter show no statistically significant differences

(*P*<0.05). Each value is the mean ± SD. NS = not significant

Table 3. Brassinosteroide analogue effect on the plant size, root length, neck diameter and dry matter content of lettuce seedlings grown at control level of irrigation, measured 28<sup>st</sup> day

Cultivar	Concentration (nM)	Aboveground parts			Neck		Roots	
		Length (mm)*	Fresh weight (mg)*	Dry matter content (g.g <sup>-1</sup> 1)*	diamete r (mm)*	Length (mm)*	Fresh weight (mg)*	Dry matter content (g.g <sup>-1</sup> )*
Mars	0	58.5 ±	293.6 ±	0.044 ±	0.579 ±	32.7 ±	17.7 ±	0.053 ±
		7.4 <sup>abc</sup>	53.3 <sup>a</sup>	0.001 <sup>abc</sup>	0.097 <sup>abc</sup>	8.4 <sup>b</sup>	4.4 <sup>a</sup>	0.011 <sup>a</sup>
	0.01	61.4 ±	267.9 ±	0.045 ±	0.557 ±	34.3 ±	19.0 ±	0.052 ±
		6.0 <sup>cd</sup>	49.5 <sup>a</sup>	0.003 <sup>bc</sup>	0.114 <sup>a</sup>	7.6 <sup>bc</sup>	4.2 <sup>ab</sup>	0.011 <sup>a</sup>
	1	62.8 ±	281.5 ±	0.043 ±	0.573 ±	40.3 ±	22.8 ±	0.054 ±
		8.2 <sup>d</sup>	54.9 <sup>a</sup>	0.001 <sup>abc</sup>	0.080 <sup>ab</sup>	9.9 <sup>de</sup>	4.3 <sup>bc</sup>	0.013 <sup>a</sup>
	100	60.4 ±	268.1 ±	0.043 ±	0.589 ±	37.5 ±	19.6 ±	0.048 ±
		5.4 <sup>bcd</sup>	38.8 <sup>a</sup>	0.001 <sup>abc</sup>	0.102 <sup>abc</sup>	8.0 <sup>cd</sup>	3.9 <sup>abc</sup>	0.010 <sup>a</sup>
Maršálus	0	56.8 ± 8.6 <sup>a</sup>	279.1 ±	0.047 ± 0.007 <sup>c</sup>	0.627 ±	45.7 ±	23.6 ±	0.055 ±
			58.0 <sup>a</sup>		0.143 <sup>bcd</sup>	11.0 <sup>af</sup>	4.5 <sup>cd</sup>	0.013 <sup>a</sup>
	0.01	58.0 ±	270.4 ±	0.039 ± 0.007 <sup>a</sup>	0.670 ±	49.3 ±	27.7 ±	0.056 ±
		7.9 <sup>ab</sup>	51.4 <sup>a</sup>		0.153 <sup>d</sup>	10.6 <sup>a</sup>	6.8 <sup>de</sup>	0.014 <sup>a</sup>
	1	59.9 ±	350.6 ±	0.044 ±	0.632 ±	42.8 ±	21.5 ±	0.052 ±
		7.2 <sup>abcd</sup>	72.3 <sup>b</sup>	0.009 <sup>abc</sup>	0.119 <sup>cd</sup>	10.2 <sup>ef</sup>	3.8 <sup>abc</sup>	0.009 <sup>a</sup>
	100	59.3 ±	261.2 ±	0.042 ±	0.660 ±	47.4 ±	29.9 ±	0.059 ±

	8.5 <sup>abc</sup>	55.7 <sup>a</sup>	0.009 <sup>ab</sup>	0.146 <sup>d</sup>	11.0 <sup>a</sup>	6.5 <sup>e</sup>	0.012 <sup>a</sup>
A: Cultivar ( <i>p</i> -value)	0.006	NS	NS	< 0.001	< 0.001	< 0.001	NS
B: Treatment ( <i>p</i> -value)	0.019	0.029	NS	NS	NS	NS	NS
A × B ( <i>p</i> -value)	NS	NS	NS	0.001	< 0.001	0.002	NS

\* The values followed by the same letter show no statistically significant differences

(*P*<0.05). Each value is the mean ± SD. NS = not significant

Table 4. Brassinosteroide analogue effect on the plant size, root length, neck diameter and dry matter content of lettuce seedlings grown at reduced level of irrigation, measured 28<sup>st</sup> day

Cultivar	Concentration (nM)	Aboveground parts			Neck		Roots	
		Length (mm)*	Fresh weight (mg)*	Dry matter content (g·g <sup>-1</sup> )*	diamete r (mm)*	Length (mm)*	Fresh weight (mg)*	Dry matter content (g·g <sup>-1</sup> )*
Mars	0	57.8 ±	254.0 ±	0.044 ± 0.001	0.579 ±	32.7 ±	17.7 ±	0.053 ±
		9.1 <sup>ab</sup>	45.6 <sup>a</sup>	ac	0.097 <sup>abc</sup>	8.4 <sup>b</sup>	4.4 <sup>a</sup>	0.011 <sup>a</sup>
	0.01	58.6 ±	230.9 ±	0.048 ±	0.557 ±	34.3 ±	19.0 ±	0.052 ±
		6.9 <sup>abc</sup>	49.4 <sup>ab</sup>	0.005 <sup>ab</sup>	0.114 <sup>a</sup>	7.6 <sup>bc</sup>	4.2 <sup>ab</sup>	0.011 <sup>a</sup>
	1	61.4 ± 4.9 <sup>c</sup>	251.7 ±	0.046 ±	0.573 ±	40.3 ±	22.8 ±	0.054 ±
			22.8 <sup>a</sup>	0.003 <sup>abc</sup>	0.080 <sup>ab</sup>	9.9 <sup>de</sup>	4.3 <sup>bc</sup>	0.013 <sup>a</sup>
100	58.8 ±	234.7 ±	0.049 ±	0.589 ±	37.5 ±	19.6 ±	0.048 ±	
	5.5 <sup>abc</sup>	58.3 <sup>a</sup>	0.002 <sup>ab</sup>	0.102 <sup>abc</sup>	8.0 <sup>cd</sup>	3.9 <sup>abc</sup>	0.010 <sup>a</sup>	
Maršálus	0	51.6 ±	191.1 ±	0.051 ± 0.010 <sup>b</sup>	0.627 ±	45.7 ±	23.6 ±	0.055 ±
		6.6 <sup>d</sup>	17.5 <sup>c</sup>		0.143 <sup>bcd</sup>	11.0 <sup>af</sup>	4.5 <sup>cd</sup>	0.013 <sup>a</sup>
	0.01	56.3 ±	231.8 ±	0.040 ± 0.004 <sup>c</sup>	0.670 ±	49.3 ±	27.7 ±	0.056 ±
		11.4 <sup>ae</sup>	38.8 <sup>ab</sup>		0.153 <sup>d</sup>	10.6 <sup>a</sup>	6.8 <sup>de</sup>	0.014 <sup>a</sup>
	1	60.6 ±	301.6 ±	0.049 ±	0.632 ±	42.8 ±	21.5 ±	0.052 ±
		8.3 <sup>bc</sup>	65.5 <sup>d</sup>	0.008 <sup>ab</sup>	0.119 <sup>cd</sup>	10.2 <sup>ef</sup>	3.8 <sup>abc</sup>	0.009 <sup>a</sup>

	100	54.3 ±	189.5 ±	0.041 ± 0.004 <sup>c</sup>	0.660 ±	47.4 ±	29.9 ±	0.059 ±
		7.5 <sup>de</sup>	36.3 <sup>c</sup>		0.146 <sup>d</sup>	11.0 <sup>a</sup>	6.5 <sup>e</sup>	0.012 <sup>a</sup>
A: Cultivar ( <i>p</i> -value)		< 0.001	NS	NS	< 0.001	< 0.001	< 0.001	NS
B: Treatment ( <i>p</i> -value)		< 0.001	< 0.001	NS	NS	NS	NS	NS
A × B ( <i>p</i> -value)		NS	< 0.001	< 0.001	NS	< 0.001	0.002	NS

---

\* The values followed by the same letter show no statistically significant differences

( $P < 0.05$ ). Each value is the mean ± SD. NS = not significant.

Článek 5:

Koudela, M., Hnilička, F., Martinková, J., Svozilová, L., Doležalová, J. 2012. Yield and quality of head lettuce after 24-epibrassinolide application under optimal and reduced irrigation. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 60 (3). 93-100.

## YIELD AND QUALITY OF HEAD LETTUCE AFTER 24-EPIBRASSINOLIDE APPLICATION UNDER OPTIMAL AND REDUCED IRRIGATION

M. Koudela, F. Hnilička, J. Martinková, L. Svozilová, J. Doležalová

Received: January 10, 2012

### Abstract

KOUDELA, M., HNILIČKA, F., MARTINKOVÁ, J., SVOZILOVÁ, L., DOLEŽALOVÁ, J.: *Yield and quality of head lettuce after 24-epibrassinolide application under optimal and reduced irrigation*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2012, LX, No. 3, pp. 93–100

The aim of this work was evaluation of 24-epibrassinolide influence on yield and quality of head lettuce in optimal and reduced moisture conditions and work out recommendation of 24-brassinosteroids use for lettuce in growers praxis. Field trials were carried out on land belonging to the Demonstration and Research Station of CULS in Prague – Troja in 2009 and 2011. Planting on 27. 8. 2009 and 20. 8. 2011 was done at planting space 0.25 × 0.30 m, each variant in four repetition (single plot 4,5 m<sup>2</sup>). Seedlings of head lettuce (cultivar Santoro – Rijk Zwaan) were used. Irrigation was carried out by microspraying, and was based on current values of efficient water capacity (EWC); the critical value of the EWC was 80% for optimally irrigated fields (irrigation O), and 50% for variants with reduced levels of irrigation (irrigation S). The total amount of irrigation water during vegetation were as follows: the variant with optimal levels of irrigation (O) had 131 mm in 2009 and 123 mm in 2011; the variant with reduced levels of irrigation (S): 58 mm in 2009 and 63 mm in 2011. Three variants were in both (O and S) conditions: A – no application of 24-epibrassinolide, B – 1 × 24-epibrassinolide application immediately after planting, and C – application of 24-epibrassinolide 2 x (immediately after planting and then after 14 days after 1<sup>st</sup> application). Concentration of 24-epibrassinolide was 10<sup>-6</sup>. Following parameters of head lettuce were set after harvesting (10.–12. 10. 2009 and 14.–15. 10. 2011): weight of single heads, marketable heads, marketable yield (in pcs/ha and t/ha) and ascorbic acid and nitrate contents. Influence of 24-epibrassinolide on single lettuce head weight was not significant, decrease of head weight was evident after 24-epibrassinolide application in some variants. Significant increase of marketable heads number and their percentages were noted after 24-epibrassinolide application in optimal moisture conditions – in variant B of 12 261 heads/ha (11.1%) and in variant C of 16 279 heads/ha (14.7%) compared with non treated variant A. This trend was not visible in reduced moisture conditions. Increase (nonsignificant) of total marketable yield (in t/ha) was noted after 24-epibrassinolide application. No significant differences were founded among the ascorbic acid contents in each irrigation variant. A higher ascorbic acid content (by approximately 11.9% in variant C compared with control A) is evident after application of 24-epibrassinolide in the variant with lower levels of irrigation – S. Contrarily, decrease ascorbic acid content is indicated in the optimal levels of irrigation – O (by approximately 16.8% in variant C compared with control A). The influence of 24-epibrassinolide application on the nitrate content was not significant, but the trend of nitrates decrease in optimal irrigation conditions is evident.

24-epibrassinolide, lettuce, yield, quality, ascorbic acid, nitrates

The imbalance in the water status (more water deficit) can occur wilting plants. The absence of accessible water in the soil usually occurs after the initial and transition stage of wilting the permanent

wilting (the irreversible wilt) (Šebánek *et al.*, 1983). As shown by (Malý *et al.*, 1998) most vegetables have a high transpiration rate, ranging from 280 to 830 ml of water to 1 g dry weight, the transpiration rate of

cabbage gives Vogel, (1996) value between 500 and 580. Malý *et al.* (1998) also defines a limit value of 50% of the efficient water capacity, which when it drops below the value of all vegetables are suffering water shortages. In this context it is necessary to seek means to reduce the negative impact of water deficit for growers praxis. Applications of brassinosteroids could be one way to limit the negative impact of water deficit in vegetable production, because this hormones help by reducing of environmental stress impact of plant physiology, e.g. in connection to temperature (Ogwen *et al.*, 2008), to water deficiency (Jager *et al.*, 2008) or water excess (Takematsu and Takeuchi, 1999). The hypothesis of this work was: application of 24-epibrassinolide during vegetation can minimize negative influence of water deficit in head lettuce production.

### MATERIAL AND METHODS

Field trials were carried out on land belonging to the Demonstration and Research Station of CULS in Prague – Troja in 2009 and 2011, which is situated 195 m above sea level, in a mild warm and dry area. Soil of the Demonstration and Research station in Troja is classified as modal fluvisol with a pH of 6.6–6.9. Average temperatures during the vegetation period were 15.8 °C in 2009 and 16.9 °C in 2011. Planting on 27. 8. 2009 and 20. 8. 2011 was done at planting space 0.25 × 0.30 m, each variant in four repetition (single plot 4.5 m<sup>2</sup>). Seedlings of head lettuce (cultivar Santoro – Rijk Zwaan) were used. Irrigation was carried out by microspraying, with an amount 10–20 mm (with respect to the development of the vegetation) and was based on current values of efficient water capacity (EWC); the critical value of the EWC was 80% for optimally irrigated fields (irrigation O – continuous line in graphs), and 50% for variants with reduced levels of irrigation (irrigation S – discontinuous line in graphs). The total amount of irrigation water during vegetation were as follows: the variant with optimal levels of irrigation (O) 131 mm in 2009 and 123 mm in 2011; for the variant with reduced levels of irrigation (S): 58 mm in 2009 and 63 mm in 2011. In the optimal conditions and also in the lower levels of irrigation were three variants: A – no application of 24-epibrassinolide, B – 1 × 24-epibrassinolide application immediately after outplanting, and C – application of 24-epibrassinolide 2 × (immediately after planting and then after 14 days after 1<sup>st</sup> application). Concentration of 24-epibrassinolide was 10<sup>-6</sup>. The lettuce was cultivated in accordance with techniques recommended by Petříková *et al.* (2006). Standard fertilizer applications (according to the analysis) and weed control practices were used. Following parameters of head lettuce were evaluated after harvesting (10.–12. 10. 2009 and 14.–15. 10. 2011): weight of single heads, marketable heads, marketable yield (in pcs/ha and t/ha) and ascorbic acid and nitrate content. The contents of ascorbic acids, nitrates, dry matter, and values of

total antioxidative capacity were also evaluated. The reflectometric method (Reflectoquant – Merck) was used for ascorbic acid and nitrate content determination. Mixed samples from three plants from each repetition (each trial variant was grown in 4 repetitions) were prepared for analysis. The measured values were statistically analyzed using the STATISTICA Cz, versions 9.0 software system for data analysis.

### RESULTS AND DISCUSSION

Average values of the evaluated lettuce parameters are given in Table I. Influence of 24-epibrassinolide on single lettuce head weight was not significant, but decrease of head weight was evident after 24-epibrassinolide application in variant with lower irrigation and 1 x application of 24-epibrassinolide – compared to control variant. Increase of marketable heads number and their percentages were noted after 24-epibrassinolide application. This increase was significant in optimal moisture conditions in variant B with 12 261 heads/ha (of 11.1%) and in variant C with 16 279 heads/ha (of 14.7%) compared with non treated variant A. This trend was not visible in reduced moisture conditions.

Increase of total marketable yield was noted after 24-epibrassinolide application, but effect was not significant. But lettuce is sold for price per piece in praxis, therefore number of marketable heads has a greater interpretative value for praxis.

As indicated by numerous studies, application of brassinosteroids can reduce negative environmental impacts, e.g. application of brassinosteroids limits negative influence of salinisation (El-Fattah, 2007), pesticides (Xia *et al.*, 2006) or biotic stressors (Masuda *et al.*, 2007). The increase of marketable heads (pcs/ha) after 24-epibrassinolide is influenced mainly by reduction of heads rooting. The additional protective effect is also reported by Nakashita *et al.* (2003).

The positive effect of brassinosteroids are therefore not reflected only in increased volumes of phytomass, but by its higher quality, which has considerable significance for quality classification. It can lead to greater profitability of production for per piece sold vegetables such as for lettuce.

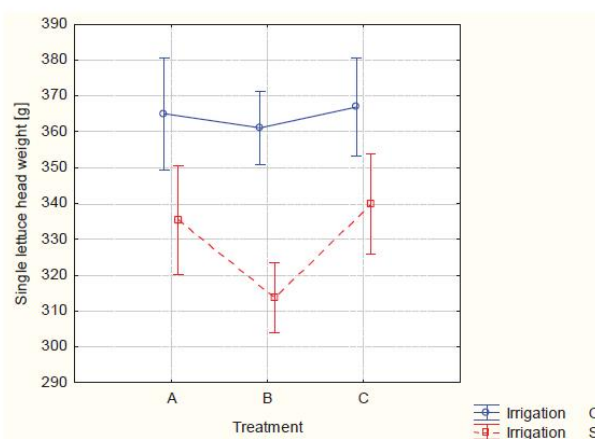
Average values of the ascorbic acid and nitrates contents are given in Table II. However significant differences in ascorbic acid content was not influenced by irrigation, a higher ascorbic acid content is evident after application of 24-epibrassinolide in the variant with lower levels of irrigation (by approximately 11.9% in variant C compared with control A). Contrarily, decreasing ascorbic acid content is evident in the optimal levels of irrigation – O (by approximately 16.8% in variant C compared with control A).

The increase antioxidant compounds (including ascorbic acid) in plants due to abiotic stresses is mentioned by Babu and Devaraj (2008) in trials with *Phaseolus vulgaris* L., Nair *et al.* (2008) in trials with *Vigna unguiculata* L. and Koudela *et al.* (2011) in



## I: Yield and quality of head lettuce

Year	Irrigation	Treatment	Single head weight [g]	Marketable heads [%]	Marketable yield [pcs/ha]	Marketable yield [t/ha]
2009	O	A	352.7 <sup>a</sup>	82.79 <sup>a</sup>	110 390 <sup>a</sup>	39.14 <sup>ab</sup>
		B	353.3 <sup>a</sup>	93.37 <sup>ab</sup>	124 490 <sup>ab</sup>	44.09 <sup>ab</sup>
		C	362.3 <sup>a</sup>	96.56 <sup>b</sup>	128 750 <sup>b</sup>	46.73 <sup>a</sup>
	S	A	332.2 <sup>ab</sup>	87.42 <sup>ab</sup>	116 564 <sup>ab</sup>	38.96 <sup>ab</sup>
		B	330.9 <sup>ab</sup>	86.66 <sup>ab</sup>	115 550 <sup>ab</sup>	38.35 <sup>ab</sup>
		C	338.6 <sup>ab</sup>	89.33 <sup>ab</sup>	119 112 <sup>ab</sup>	40.49 <sup>ab</sup>
<i>The significant differences (P &lt; 0.05) between average values are indicated in the column above by various letters (LSD test).</i>						
2011	O	A	377.4 <sup>a</sup>	82.85 <sup>a</sup>	110 464 <sup>a</sup>	41.86 <sup>ab</sup>
		B	368.8 <sup>a</sup>	90.66 <sup>ab</sup>	120 886 <sup>ab</sup>	44.64 <sup>ab</sup>
		C	371.5 <sup>a</sup>	93.50 <sup>ab</sup>	124 662 <sup>ab</sup>	46.64 <sup>a</sup>
	S	A	338.8 <sup>ab</sup>	87.42 <sup>ab</sup>	116 564 <sup>ab</sup>	39.99 <sup>ab</sup>
		B	296.4 <sup>b</sup>	86.66 <sup>ab</sup>	115 550 <sup>ab</sup>	34.49 <sup>b</sup>
		C	341.1 <sup>ab</sup>	89.33 <sup>ab</sup>	119 112 <sup>ab</sup>	40.98 <sup>ab</sup>
<i>The significant differences (P &lt; 0.05) between average values are indicated in the column above by various letters (LSD test).</i>						
Average	O	A	365.1 <sup>a</sup>	82.82 <sup>b</sup>	110 427 <sup>b</sup>	40.50 <sup>ab</sup>
		B	361.1 <sup>a</sup>	92.02 <sup>a</sup>	122 688 <sup>a</sup>	44.36 <sup>a</sup>
		C	366.9 <sup>a</sup>	95.03 <sup>a</sup>	126 706 <sup>a</sup>	46.69 <sup>a</sup>
	S	A	335.5 <sup>ab</sup>	87.42 <sup>ab</sup>	116 564 <sup>ab</sup>	39.48 <sup>ab</sup>
		B	313.7 <sup>b</sup>	86.66 <sup>ab</sup>	115 550 <sup>ab</sup>	36.42 <sup>b</sup>
		C	339.9 <sup>ab</sup>	89.33 <sup>ab</sup>	119 112 <sup>ab</sup>	40.74 <sup>ab</sup>
<i>The significant differences (P &lt; 0.05) between average values are indicated in the column above by various letters (LSD test).</i>						

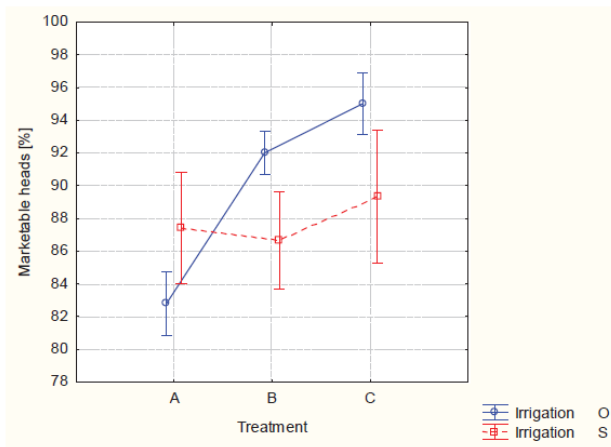


1: Single lettuce head weight [g] - average of 2009 and 2011

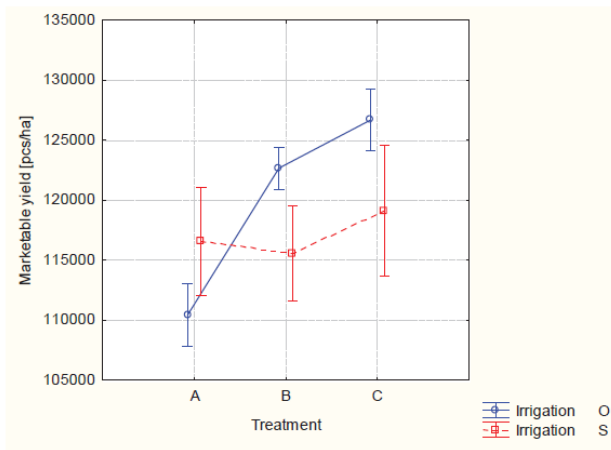
trials with cauliflower. The effect of oxidative biotic and abiotic stress on the increase of antioxidant components in plants is also reported by Hernandez *et al.* (2009).

The influence of 24-epibrassinolide application on the nitrate content was not significantly different, but the trend of nitrates decrease was confirmed in optimal irrigation conditions. This trend may occur

better physiological status and faster metabolism of nitrates in lettuce leaves. Positive influence of the brassinosteroids on the physiological status of crops is described by Müssig (2005) such as effect on the increase photosynthesis rate and by Yadav and Pandey (1997) such as influence on the reduction of the transpiration rate.



2: Marketable lettuce heads [%] – average of 2009 and 2011



3: Marketable yield of lettuce [pcs/ha] – average of 2009 and 2011

## CONCLUSIONS

Influence of 24-epibrassinolide on single lettuce head weight was not significant, in some variants was evident decrease of head weight after 24-epibrassinolide application.

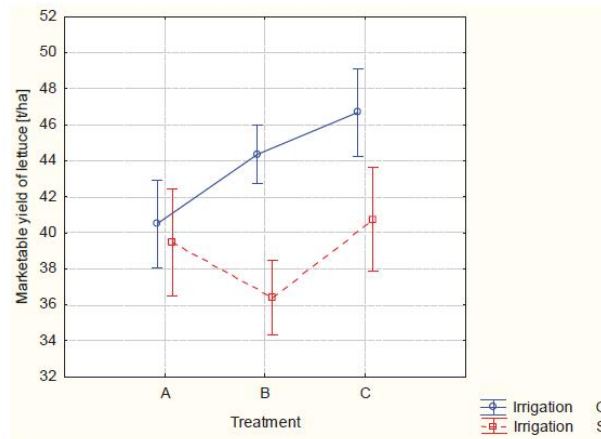
Significant increase of marketable heads number and their percentages were noted after 24-epibrassinolide application. Increasing of marketable heads number was significant in optimal moisture conditions in variant B of 10 421 heads/ha (7.8%) and in variant C of 14 197 heads/ha (10.7%) compared with untreated variant A. This trend was not visible in reduced moisture conditions.

Nonsignificant increase of total marketable yield was noted after 24-epibrassinolide application, but

significant increase of marketable heads number per hectare is more valuable for praxis.

Although no significant differences between ascorbic acid content in each irrigation variant were found, a higher ascorbic acid content (by 11.9% in variant C compared with control A) was confirmed after application of 24-epibrassinolide in the variant with lower levels of irrigation (S). Contrarily, decrease of ascorbic acid content (by 16.8% in variant C compared with control A) was found in the optimal levels of irrigation (O).

The influence of 24-epibrassinolide application on the nitrate content was not significant, but the trend of nitrates decrease was evident in optimal irrigation conditions.

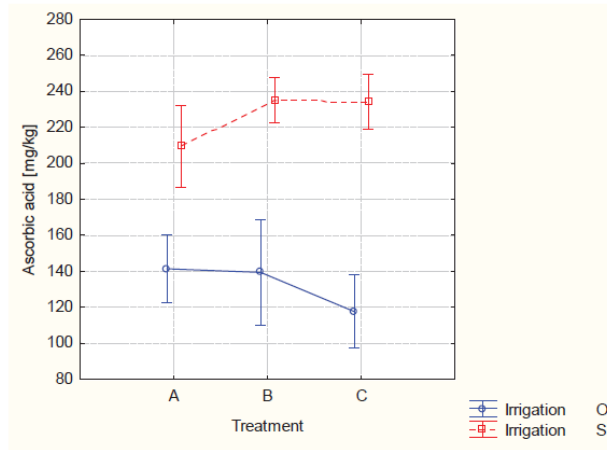


4: Marketable yield of lettuce [t/ha] – average of 2009 and 2011

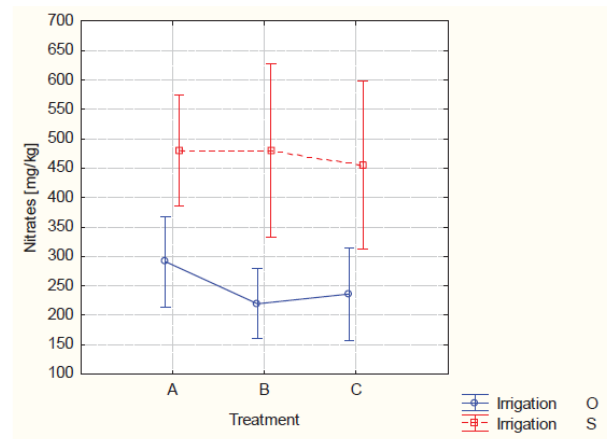
II: Average values of ascorbic acid and nitrates content

Year	Irrigation	Treatment	Ascorbic acid [mg/kg]	Nitrates [mg/kg]
2009	O	A	149.9 <sup>abc</sup>	487.3 <sup>d</sup>
		B	182.3 <sup>abcd</sup>	394.4 <sup>cd</sup>
		C	149.9 <sup>abc</sup>	478.2 <sup>d</sup>
	S	A	173.1 <sup>abcd</sup>	711.3 <sup>f</sup>
		B	245.4 <sup>bed</sup>	936.0 <sup>e</sup>
		C	231.2 <sup>bed</sup>	897.9 <sup>e</sup>
<i>The significant differences (P &lt; 0.05) between average values are indicated in the column above by various letters (LSD test).</i>				
2011	O	A	135.1 <sup>a</sup>	143.6 <sup>ab</sup>
		B	118.1 <sup>a</sup>	131.7 <sup>ab</sup>
		C	101.6 <sup>a</sup>	114.9 <sup>b</sup>
	S	A	246.2 <sup>d</sup>	248.7 <sup>ac</sup>
		B	229.9 <sup>bed</sup>	251.8 <sup>ac</sup>
		C	236.2 <sup>cd</sup>	233.2 <sup>ab</sup>
<i>The significant differences (P &lt; 0.05) between average values are indicated in the column above by various letters (LSD test).</i>				
Average	O	A	141.5 <sup>a</sup>	290.9 <sup>a</sup>
		B	139.4 <sup>a</sup>	219.3 <sup>a</sup>
		C	117.7 <sup>a</sup>	236.0 <sup>a</sup>
	S	A	209.6 <sup>b</sup>	480.0 <sup>b</sup>
		B	235.1 <sup>b</sup>	479.9 <sup>b</sup>
		C	234.5 <sup>b</sup>	454.8 <sup>b</sup>
<i>The significant differences (P &lt; 0.05) between average values are indicated in the column above by various letters (LSD test).</i>				

The obtained results indicated, that use of 24-brassinolide can be recommended only for good moisture conditions (statistically significant increase in quality) in praxis. 24-epibrassinolide treatment is not able to compensate the water deficit in insufficient moisture conditions.



5: Ascorbic acid content in lettuce [mg/kg] – average of 2009 and 2011



6: Nitrate content [mg/kg] – average of 2009 and 2011

### SUMMARY

The aim of this work was evaluation of influence 24-epibrassinolide on yield and quality of head lettuce in different moisture conditions. Field trials were carried out on CULS Prague – Troja in 2009 and 2011. Package seedlings of head lettuce (cultivar Santoro – Rijk Zwaan) were used (spacing 0.30 × 0.25 m). Irrigation was carried out by microspraying and was based on current values of efficient water capacity – EWC (80% for optimal and 50% for limited irrigation). There were three treatments of 24-epibrassinolide in each moisture variant: A – no application, B – 1 × application immediately after outplanting, and C – 2 × application (1<sup>st</sup> application like in B and then after 14 days after 1<sup>st</sup> application). Observed parameters: weight of single heads, marketable heads (%), marketable yield (in pcs/ha and t/ha) and ascorbic acid and nitrate contents. Influence of 24-epibrassinolide on single lettuce head weight was not significant. Significant increase of marketable heads number and their percentages were noted after 24-epibrassinolide application in optimal moisture conditions – in variant B by 12 261 heads/ha (11.1%) and in variant C of 16 279 heads/ha (14.7%) compared with non treated variant A. This differences was not significant in reduced moisture conditions. Differences among marketable yields in t/ha were not significant. No significant differences were among the

ascorbic acid contents, but there is evident the higher content (11.9% in variant C compared with A) in the variant with limited irrigation and decrease of ascorbic acid content (16.8% in variant C compared with A) in the optimal moisture conditions after application of 24-epibrassinolide. The influence of 24-epibrassinolide on the nitrate content was not significant, but the trend of nitrates decrease was evident in optimal moisture conditions after 24-epibrassinolide treatment.

#### Acknowledgement

This work was supported by project NAZV QH 81110 and the project MSM 604607901.

#### REFERENCES

- BABU, R. N., DEVARAJ, V. R., 2008: High temperature and salt stress response in French bean (*Phaseolus vulgaris*). Australian Journal of Crop Science, 2: 40–48.
- EL-FATTAH, R. I. A., 2007: Osmolytes-antioxidant behaviour in *Phaseolus vulgaris* and *Hordeum vulgare* with brassinosteroid under salt stress. American Eurasian J. Agric. Environm. Sci., 2: 639–647.
- HERNANDEZ, I., ALEGRE, L., VAN BREUSEGEM, F., MUNNE-BOSCH, S., 2009: How relevant are flavonoids as antioxidants in plants? Trends in Plant Sciences, 14: 125–132.
- JAGER, C. E., SYMONS, G. M., ROSS, J. J., REID, J. B., 2008: Do brassinosteroids mediate the water stress response? Physiol. Plantarum, 133, 2008: 417–425.
- KOUDELA, M., HNILIČKA, F., SVOZILOVÁ, L., MARTINKOVÁ, J., 2011: Cauliflower qualities in two irrigation levels with the using of hydrophilic agen. Horticultural Science 38 (2): 81–85.
- MALÝ, I., BARTOŠ, J., HLUŠEK, J., KOPEC, K., PETŘÍKOVÁ, K., 1998: Polní zelinářství. Agrospoj, Praha.
- MASUDA, D., ISHIDA, M., YAMAGUCHI, K., YAMAGUCHI, I., KIMURA, M., NISHIUCHI, T., 2007: Phytotoxic effects of trichothecenes on the growth and morphology of *Arabidopsis thaliana*. J. Exp. Bot., 58, 2007: 1617–1626.
- MÜSSIG, C., 2005: Brassinosteroid promoted growth. Plant Biol., 7: 110–117.
- NAKASHITA, H., YASUDA, M., NITTA, T., ASAMI, T., FUJIOKA, S., ARAI, Y., SEKIMATA, K., TAKATSUTO, S., YAMAGUCHI, I., YOSHUDA, S., 2003: Brassinosteroid functions in a broad range of dinase resistance in Tobago and rice. Plant Journal, 33 (5): 887–898.
- NOGUES, S., 2008: Brassinosteroids alleviate heat-induced inhibition of photosynthesis by increasing carboxylation efficiency and enhancing antioxidant systems in *Lycopersicon esculentum*. J. Plant Growth Regul., 27, 2008: 49–57.
- OGWENO, J. O., SONG, X. S., SHI, K., HU, W. H., MAO, W. H., ZHOU, Y. H., YU, J. Q., NAIR, A. S., ABRAHAM, T. K., JAYA, D. S., 2008: Studies on the changes in lipid peroxidation and antioxidant in drought stress induced cowpea (*Vigna unguiculata* L. varieties) Journal of Environmental Biology, 29: 689–691.
- PETŘÍKOVÁ, K., JÁNSKÝ, J., MALÝ, I., PEZA, Z., POLÁČKOVÁ, J., ROD, J., 2006: Zelenina: pěstování, ekonomika, prodej (Vegetable: Growing, Economy, Sale). Prague, Profi Press: 237.
- ŠEBÁNEK, J., GRÉC, L., JAVOR, A., ŠVIHRA, J., KUPKA, J., PROCHÁZKA, S., 1983: Fyziologie rostlin. SZN, Praha.
- TAKEMATSU, T., TAKEUCHI, Y., 1999: Effects of brassinosteroids on growth and yields of crops. In: SAKURAI, A., YOKOTA, T., CLOUSE, S. D. (eds.): Brassinosteroids, pp. 1–253. Tokyo, Springer – Verlag.
- VOGEL, G., 1996: Handbuch des speziellen Gemüsebaues. Ulmer, Stuttgart, 1127 p.
- XIA, X. H., HUANG, Y. Y., WANG, L., HUANG, L. F., YU, Y. L., ZHOU, Y. H., YU, J. Q., 2006: Pesticides-induced depression of photosynthesis was alleviated by 24-epibrassinolide pretreatment in *Cucumis sativus* L. Pest. Biochem. Physiol., 86, 2006: 42–48.
- YADAV, R. S. and PANDEY, A. K., 1997: Effect of antitranspirants on wheat genotypes under moisture stress. Indian J. Plant Physiol., 2: 229–231.

#### Address

Ing. Martin Koudela, Ph.D., Ing. František Hnilička, Ph.D., Ing. Jaroslava Martinková, Ph.D., Ing. Lenka Svozilová, Ing. Jitka Doležalová, Katedra zahradnictví, Katedra botaniky a fyziologie rostlin, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka, Česká republika, koudela@af.czu.cz

Článek 6:

Doležalová, J., Koudela, M., Sus, J., Ptáček, V. 2015. Klíčení osiva cibule kuchyňské po aplikaci Atoniku při optimální a při snížené vlhkosti. In: Pazderů, K. (ed.). Osivo a sadba, XII. Odborný a vědecký seminář 5. února 2015. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. s. 57-63. ISBN: 9788021325449.

# KLÍČENÍ OSIVA CIBULE KUCHYŇSKÉ PO APLIKACI ATONIKU PŘI OPTIMÁLNÍ A PŘI SNÍŽENÉ VLHKOSTI

## *Germination of Onion Seeds after Application of Atonik at Optimum and Reduced Moisture Conditions*

Jitka Doležalová, Martin Koudela, Josef Sus, Vojtěch Ptáček  
KZ, ČZU v Praze

### **Abstract**

The aim of this work was to investigate the effect of Atonik as a growth stimulant promoting the germination and its use as a tool to limit the negative effects of water deficit. There were used 2 varieties of onion ('Alice', 'Lusy'). The seeds were treated with solution of Atonik (concentrations were 0.025 %; 0.05 %; 0.1 % and 0.2 %). Untreated seeds and seeds treated with distilled water only were used as dry control (S) and wet control (M). The optimum (OPT) and reduced (STR) moisture conditions for germination were prepared in the laboratory. The number of germinated seeds was evaluated regularly for 16 days. The positive effect of the treatment with Atonik was showed at the beginning of germination (3<sup>rd</sup> - 6<sup>th</sup> day). The treatment with Atonik 0.05 % resulted in increase of 'Alice' germination, both in optimum and reduced moisture conditions, but effect was not significant compared with the control. In case of 'Lusy' there were no statistically significant differences between the treatments. The results showed varietal differences in response to the treatment.

**Keywords:** seed, vegetable, onion, growth stimulant, water stress

### **Souhrn**

Cílem této práce bylo sledovat působení Atoniku jako růstového stimulantu podporujícího klíčení a prostředku pro omezení negativních důsledků vláhového deficitu. Dvě odrůdy cibule kuchyňské ('Alice', 'Lusy') byly ošetřeny namočením do vodného roztoku přípravku Atonik v koncentracích 0,025 %; 0,05 %; 0,1 % a 0,2 %. Jako kontrola byl proveden výsev suchého osiva a osiva ošetřeného pouze vodou. Pro klíčení v laboratoři byly navozeny optimální a deficitní vlhkostní podmínky. Po dobu 16 dní byl pravidelně hodnocen počet vyklíčených semen. Výsledky ukázaly, že ošetření osiva Atonikem může mít příznivý vliv na klíčivost osiva v deficitních vláhových podmínkách; hlavně v prvních dnech klíčení (3. – 6. den). Ošetření roztokem Atoniku o koncentraci 0,05 % přineslo zvýšení průměrné klíčivosti u odrůdy 'Alice', a to jak v podmínkách s optimální, tak s deficitní závlahou, avšak výsledky pokusu nejsou statisticky průkazné vůči kontrole. V případě odrůdy 'Lusy' nebyly statisticky průkazné rozdíly mezi ošetřeními. Výsledky poukazují na odrůdové rozdíly (resp. rozdíly partie) v reakci na ošetření.

**Klíčová slova:** osivo, zelenina, cibule, růstový stimulant, vodní stres

### **Úvod**

Klíčivost semen závisí na mnoha vnitřních a vnějších podmínkách. K nejdůležitějším faktorům úspěšného klíčení patří i dostatečná vlhkost prostředí. Vysoká citlivost většiny zelenin na nedostatek vody v půdě může způsobit vážné poškození jejich vývoje (Malý *et al.*, 1998). Cibule kuchyňská

(*Allium cepa* L.) patří k nejpěstovanějším zeleninám v ČR (Petříková *et al.*, 2006). Její klíčení je velmi pomalé, cibule vzchází za 13 - 30 dnů (Petříková *et al.*, 2012). V případě méně příznivých podmínek při klíčení může dojít k výrazné redukci počtu vzešlých rostlin a tím následně i ke ztrátám na výnosu. Přínosem by bylo, pokud by se podařilo předseřovou úpravou osiva omezit tyto ztráty. Testují se proto biologicky aktivní látky, které by mohly částečně eliminovat vlivy stresových faktorů, jako je např. nedostatek vody během klíčení.

Atonik (AT) je výrobcem doporučován ke stimulaci výnosu chmele, cukrovky, řepky, rajčat, polní papriky, k zakořeňování řízků karafiátů, stimulaci klíčení semen květin a zeleniny. V rámci pokusů bylo prokázáno, že zmírňuje stresové působení herbicidů na cibuli (Petříková *et al.*, 2006). AT rovněž urychlil regeneraci rostlin řepy cukrové stresovaných aplikací postemergentních herbicidů (Pulkrábek *et al.*, 2007). V případě vláhového stresu u ječmene vedlo použití AT k mírnému zvýšení počtu zrn v klase (Svobodová *et al.*, 2004). Přípravek byl testován rovněž pro další zemědělské plodiny, jako je slunečnice a cukrovka (Černý *et al.*, 2011). Při použití AT ve formě listové aplikace u cukrovky ve fázi BBCH 14 - 16 a 30 - 31 byl zjištěn statisticky významný rozdíl ve výnosu bulev (Černý *et al.*, 2009). Použití AT vedlo též k nárůstu obsahu inulinu a sušiny u kořene čekanky (Černý *et al.*, 2007). V případě testování u révy vinné byl prokázán příznivý vliv AT na výnos i na kvalitu hroznů (Yaneva *et al.*, 2010).

Vzhledem k výše uvedenému byla zkoumána možnost využití přípravku Atonik jako prostředku pro omezení důsledků stresu z vláhového deficitu při klíčení osiva cibule.

### Metodika

V laboratorní Katedry zahradnictví České zemědělské univerzity v Praze byly v únoru roku 2012 provedeny pokusy, jejichž cílem bylo sledovat vliv ošetření přípravkem Atonik na klíčivost osiva cibule kuchyňské v optimálních a deficitních vlhkostních podmínkách.

Pro pokus byly vybrány dlouhodobní kultivary cibule kuchyňské 'Alice' a 'Lusy'. Pro testování bylo použito standardní osivo (kategorie S) od výrobce Semo a.s., Smržice. Osivo bylo baleno 3/2012 v případě odrůdy 'Lusy' a 12/2011 v případě 'Alice'. Záruční doba u obou odrůd byla do 12/2012.

Ošetření osiva bylo provedeno namočením semen do vodného roztoku Atoniku. Tento přípravek je tvořen směsí dvou nitrofenolátů a nitroguajakolátu. Účinnými látkami AT jsou 2-nitrofenolát sodný v množství 2 g/l, 4-nitrofenolát sodný v množství 3 g/l, 5-nitroguajakolát sodný v množství 1 g/l. Výrobcem přípravku je Asahi Chemical Co. Ltd., 500 Takayasu Ikaruga-Cho, Tokyo - Nara Prefektura, Japonsko. Atonik byl použit v následujících koncentracích: 0,025 %; 0,05 %; 0,1 % a 0,2 %. Semena byla po dobu 20 minut ponořena do 100 ml roztoku ve výše uvedených koncentracích. Kontrolní varianty byly dvě: „suchá“ kontrola (S), kdy byl proveden výsev suchého neošetřeného osiva a „mokrý“ kontrola (M), která spočívala v namočení osiva do destilované vody na 20 minut. Po ošetření bylo osivo vyjmuté z roztoku a osušeno při běžné laboratorní teplotě. Za dva dny proběhl jeho výsev do misek.

Testy klíčivosti byly založeny na základě metodiky pro zkoušení osiv (Tmka, 2004). Výsev byl proveden do misek na zvlhčený filtrační papír o gramáži 120 g.m<sup>-2</sup>. Pro navození doporučených (optimálních) vláhových podmínek klíčení byl filtrační papír zvlhčen 30 ml destilované vody (OPT), pro vyjádření redukováných vláhových podmínek (STR) bylo použito pouze 20 ml destilované vody. Pokus byl založen pro každou pokusnou variantu ve 4 opakováních vždy po 100 semenech (4 x 100). Zakryté misky byly umístěny do růstové komory Binder KWB 400 a udržovány ve tmě při konstantní teplotě 20 °C. Hodnocení pokusu bylo realizováno každých 24 hodin, pokaždé ve stejnou denní dobu. Jednotlivé nádoby byly vyjmuty z komory společně, vždy po jednom opakování. Pokus byl ukončen po 16 dnech. Byly počítány denní klíčivosti a za vyklíčená byla považována semena s kořínkem 3 mm dlouhým.

Zjištěná data byla statisticky zpracována programem STATISTICA verze 12.0, od firmy StatSoft CR.



## Výsledky a diskuse

### Doporučené (optimální) vlhkostní podmínky

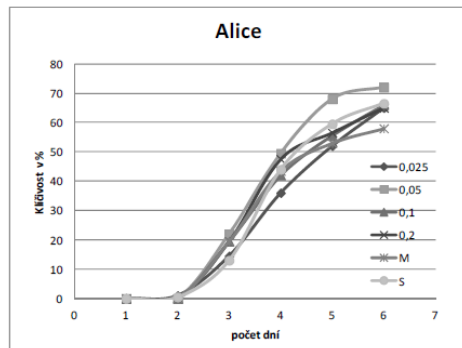
Tabulka 1 a grafy 1 a 2 popisují kumulativní klíčivost osiva obou odrůd v návaznosti na různé úrovně koncentrace Atoniku. Výsledky po prvních šesti dnech klíčení ukazují grafy 1 a 2. U odrůdy 'Alice' se **třetí den** se projevil stimulační vliv Atoniku (0,05 %) – klíčivost 22 % - oproti neošetřené kontrole (S). A tento vliv byl patrný až do ukončení pokusu (16. den).

V případě odrůdy 'Lusy' byla třetí den nejvyšší klíčivost (52 %) zaznamenána u varianty ošetřené pouze vodou. Varianty ošetřené Atonikem v koncentraci 0,025 % a 0,1 % dosáhly vyšší klíčivosti než varianta kontrolní (S).

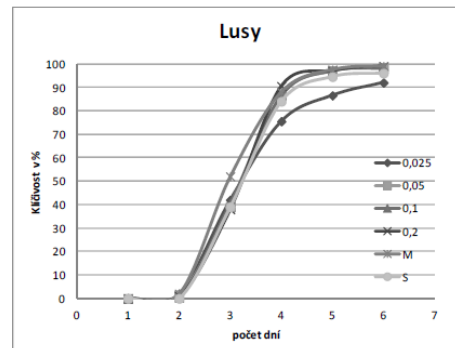
Tab. 1: Klíčivost osiva v optimálních vláhových podmínkách – kumulativně (%)

Odrůda	Koncentrace (%)	Klíčivost 1. - 16. den od výsevu (%)															
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
ALICE	0,025	0,0	1,0	14,5	36,0	52,0	65,0	72,5	76,5	79,0	81,0	81,5	82,0	82,5	83,5	84,0	84,5
	0,05	0,0	0,0	22,0	49,5	68,0	72,0	75,0	78,5	80,5	81,5	84,0	84,5	85,0	85,0	85,0	86,5
	0,1	0,0	0,0	19,5	42,0	55,5	66,0	70,5	73,5	76,5	78,5	78,5	79,0	79,5	82,0	83,0	84,0
	0,2	0,0	0,0	19,5	47,5	56,5	65,0	69,0	73,5	76,5	77,0	78,5	79,0	79,0	81,5	81,5	82,0
	M	0,0	0,0	19,5	43,5	53,0	58,0	62,5	70,0	71,5	74,0	74,5	75,0	75,0	78,0	78,0	78,0
	S	0,0	0,5	13,0	44,0	59,5	66,5	70,5	74,0	75,0	76,5	77,5	79,0	79,0	81,5	82,0	82,0
LUSY	0,025	0,0	2,0	42,0	75,5	86,5	92,0	93,5	95,5	95,5	96,0	96,0	96,0	96,0	96,0	96,0	96,0
	0,05	0,0	1,5	39,0	86,5	97,0	98,5	99,0	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5
	0,1	0,0	0,5	40,5	86,5	97,0	98,0	98,5	98,5	98,5	98,5	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
	0,2	0,0	1,0	38,0	90,5	97,0	99,0	99,0	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5
	M	0,0	2,0	52,0	88,0	97,5	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
	S	0,0	0,0	39,0	84,0	94,5	96,0	96,5	97,5	98,0	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5

Graf 1: Klíčivost osiva v %, 1. - 6. den, odrůda Alice, optimální vlhkostní podmínky



Graf 2: Klíčivost osiva v %, 1. - 6. den, odrůda Lusy, optimální vlhkostní podmínky



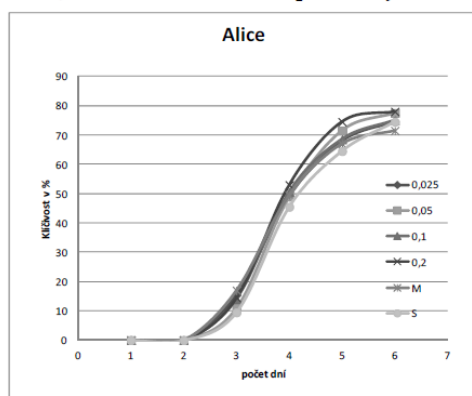
### Redukované vlhkostní podmínky

V případě redukovaných vlhkostních podmínek (tabulka 2, grafy 3 a 4) se vliv Atoniku projevil **třetí den** u odrůdy 'Alice', kde neošetřená kontrola měla klíčivost 9,5 %, zatímco ošetřené varianty dosahovaly klíčivosti 11 až 15,5 %. U odrůdy 'Lusy' se vliv Atoniku projevil rovněž. I zde měly ošetřené varianty vyšší klíčivost (21 až 29,5 %) než varianta neošetřená (20 %). Avšak u obou odrůd nejlepších výsledků v klíčivosti dosáhlo osivo ošetřené pouze vodou (M).

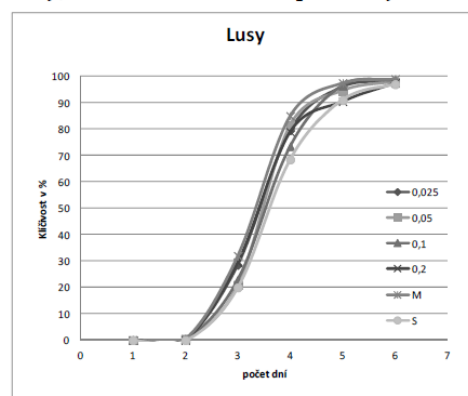
Tab. 2: Klíčivost osiva v redukovaných vlhkostních podmínkách – kumulativně (%)

Odrůda	Koncentrace (%)	Klíčivost 1. - 16. den od výsevu (%)															
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
ALICE	0,025	0,0	0,0	15,5	49,0	68,0	74,5	79,5	84,0	87,0	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	88,5	88,0
	0,05	0,0	0,0	11,0	49,0	71,5	77,5	80,5	83,5	86,5	87,0	88,5	88,5	88,5	90,0	90,0	90,0
	0,1	0,0	0,0	14,0	50,5	68,5	75,0	79,5	81,5	83,0	84,0	84,5	85,5	85,5	86,0	87,0	87,0
	0,2	0,0	0,0	14,5	53,0	74,5	78,0	85,0	86,0	87,0	87,5	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0
	M	0,0	0,0	17,0	49,5	67,0	71,5	75,5	82,0	84,5	85,5	86,5	86,5	86,5	88,0	88,0	88,0
	S	0,0	0,0	9,5	45,5	64,5	74,5	77,0	81,0	82,5	83,0	84,0	84,5	84,5	86,5	86,5	86,5
LUSY	0,025	0,0	0,5	28,5	79,5	96,0	98,0	98,0	98,0	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5
	0,05	0,0	0,5	21,0	81,5	94,5	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0
	0,1	0,0	0,5	23,0	73,5	96,5	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5
	0,2	0,0	0,0	33,5	83,0	90,5	96,5	97,5	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5
	M	0,0	0,5	32,0	85,0	97,5	99,0	99,0	99,0	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5
	S	0,0	0,0	20,0	68,5	91,0	97,0	98,5	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0

Graf 3: Klíčivost osiva v %, 1. - 6. den, odrůda Alice, redukované vlhkostní podmínky



Graf 4: Klíčivost osiva v %, 1. - 6. den, odrůda Lusy, redukované vlhkostní podmínky



### Statistické vyhodnocení

Statistické vyhodnocení bylo provedeno pro 3., 4., 6. a 12. den a rovněž 16. - poslední - den pokusu. Výsledky jsou zaznamenány v tabulkách 3 – 7. Pro rostliny s pomalejším klíčením, mezi které patří i cibule, jsou významná veškerá opatření, která mohou vést k urychlení klíčení hlavně v prvních dnech po výsevu. Je to důležité z hlediska rychlosti zapojení porostů, jejich vitality a schopnosti konkurovat plevelům. Zde se prokázal podpůrný vliv Atoniku, jak ukazují tabulky 3 - 5.

**Třetí den** (tab. 3) byla nejnižší klíčivost zaznamenána u kontrolní varianty (S) odrůdy 'Alice' - pouze 9,5 % - v podmínkách redukované vlhkosti. U téže odrůdy se projevil pozitivní vliv ošetření Atonikem. Hodnoty klíčivosti u ošetření 0,1 % a 0,2 % a M optimálních vlhkostních podmínkách byly statisticky významně rozdílné od kontrolní varianty. I v případě odrůdy Lusy byla nejnižší klíčivost (20 %) zaznamenána u kontrolní varianty s redukovanou vlhkostí. A nejvyšší hodnoty (52 %) dosáhla klíčivost u ošetření M v optimálních vlhkostních podmínkách. Tento ukazatel se statisticky významně lišil od všech ostatních hodnot.

**Čtvrtý den** (tab. 4) v případě odrůdy 'Alice' je zaznamenána nejnižší klíčivost u ošetření M v optimálních vlhkostních podmínkách a u obou kontrolních variant (S). Ošetření Atonikem zaznamenala vyšší klíčivost, která se však statisticky neliší od kontrolního ošetření. U odrůdy 'Lusy' je

nejnižší klíčivost u kontrolní varianty v podmínkách s redukovanou závlahou (68,5 %). Naopak nejvyšší klíčivosti bylo dosaženo u ošetření 0,2 % v doporučených (optimálních) podmínkách.

**Šestý den** (tab. 5) v optimálních vlhkostních podmínkách byla nejvyšší klíčivost (72 %) v případě odrůdy 'Alice' zaznamenána u ošetření Atonikem o koncentraci 0,05 %. Tato klíčivost se však statisticky významně neliší od klíčivosti neošetřené kontroly (66,5 %). Nejnižší klíčivost byla zaznamenána u varianty ošetřené pouze vodou (58 %). Ve stejných podmínkách, v případě odrůdy 'Lusy', nebyly zaznamenány žádné statisticky významné rozdíly mezi ošetřeními a suchou kontrolou. Nejvyšší klíčivost byla pozorována u ošetření 0,2 % a M (99 %). Na kladný vliv ošetření osiva vodou upozorňují i např. Luštinec a Žárský (2003), avšak v případě odrůdy 'Alice' tento efekt nebyl zaznamenán. V podmínkách s redukovanou vlhkostí nebyly rozdíly mezi ošetřeními v rámci obou odrůd. V případě 'Alice' byla nejvyšší klíčivost (78 %) u ošetření 0,2 % roztokem. I zde však byla nejnižší klíčivost (71,5 %) u mokré kontroly (M). U odrůdy 'Lusy' nebyly rozdíly mezi ošetřeními; nejvyšší klíčivost (99 %) byla u mokré kontroly (M).

**Tab. 3: Klíčivost 3. den v závislosti na ošetření (%)\***

závlaha	odrůda / koncentrace (%)	0,025	0,05	0,1	0,2	S	M
OPT	ALICE	14,5 <sup>a,b,c</sup>	22,0 <sup>e</sup>	19,5 <sup>c,d,e</sup>	19,5 <sup>c,d,e</sup>	13,0 <sup>a,b</sup>	19,5 <sup>c,d,e</sup>
	LUSY	42,0 <sup>j</sup>	39,0 <sup>ij</sup>	40,5 <sup>j</sup>	38,0 <sup>h,ij</sup>	39,0 <sup>ij</sup>	52,0 <sup>k</sup>
STR	ALICE	15,5 <sup>b,c,d</sup>	11,0 <sup>a,b</sup>	14,0 <sup>a,b,c</sup>	14,5 <sup>a,b,c</sup>	9,5 <sup>a</sup>	17,0 <sup>b,c,d,e</sup>
	LUSY	28,5 <sup>f,g</sup>	21,0 <sup>d,e</sup>	23,0 <sup>e,f</sup>	33,5 <sup>g,h,i</sup>	20,0 <sup>c,d,e</sup>	32,0 <sup>g,h</sup>

**Tab. 4: Klíčivost 4. den v závislosti na ošetření (%)\***

závlaha	odrůda / koncentrace (%)	0,025	0,05	0,1	0,2	S	M
OPT	ALICE	36,0 <sup>a</sup>	49,5 <sup>b,c,d</sup>	42,0 <sup>a,b</sup>	47,5 <sup>b,c,d</sup>	44,0 <sup>b,c</sup>	43,5 <sup>a,b,c</sup>
	LUSY	75,5 <sup>e,f,g</sup>	86,5 <sup>h,ij</sup>	86,5 <sup>h,ij</sup>	90,5 <sup>j</sup>	84,0 <sup>h,ij</sup>	88,0 <sup>ij</sup>
STR	ALICE	49,0 <sup>b,c,d</sup>	49,0 <sup>b,c,d</sup>	50,5 <sup>c,d</sup>	53,0 <sup>d</sup>	45,5 <sup>b,c,d</sup>	49,5 <sup>b,c,d</sup>
	LUSY	79,5 <sup>f,g,h</sup>	81,5 <sup>g,h,i</sup>	73,5 <sup>e,f</sup>	83,0 <sup>g,h,ij</sup>	68,5 <sup>e</sup>	85,0 <sup>h,ij</sup>

**Tab. 5: Klíčivost 6. den v závislosti na ošetření (%)\***

závlaha	odrůda / koncentrace (%)	0,025	0,05	0,1	0,2	S	M
OPT	ALICE	65,0 <sup>a,b</sup>	72,0 <sup>b,c</sup>	66,0 <sup>b</sup>	65,0 <sup>a,b</sup>	66,5 <sup>b</sup>	58,0 <sup>a</sup>
	LUSY	92,0 <sup>d</sup>	98,5 <sup>d</sup>	98,0 <sup>d</sup>	99,0 <sup>d</sup>	96,0 <sup>d</sup>	99,0 <sup>d</sup>
STR	ALICE	74,5 <sup>c</sup>	77,5 <sup>c</sup>	75,0 <sup>c</sup>	78,0 <sup>c</sup>	74,5 <sup>c</sup>	71,5 <sup>b,c</sup>
	LUSY	98,0 <sup>d</sup>	98,0 <sup>d</sup>	98,5 <sup>d</sup>	96,5 <sup>d</sup>	97,0 <sup>d</sup>	99,0 <sup>d</sup>

**Tab. 6: Klíčivost 12. den v závislosti na ošetření (%)\***

závlaha	odrůda / koncentrace (%)	0,025	0,05	0,1	0,2	S	M
OPT	ALICE	82,0 <sup>b,c</sup>	84,5 <sup>b,c,d</sup>	79,0 <sup>a,b</sup>	79,0 <sup>a,b</sup>	79,0 <sup>a,b</sup>	75,0 <sup>a</sup>
	LUSY	96,0 <sup>e</sup>	99,5 <sup>e</sup>	99,0 <sup>e</sup>	99,5 <sup>e</sup>	98,5 <sup>e</sup>	99,0 <sup>e</sup>
STR	ALICE	88,0 <sup>d</sup>	88,5 <sup>d</sup>	85,5 <sup>c,d</sup>	88,0 <sup>d</sup>	84,5 <sup>b,c,d</sup>	86,5 <sup>c,d</sup>
	LUSY	98,5 <sup>e</sup>	98,0 <sup>e</sup>	98,5 <sup>e</sup>	98,5 <sup>e</sup>	99,0 <sup>e</sup>	99,5 <sup>e</sup>

**Tab. 7: Klíčivost 16. den v závislosti na ošetření (%)\***

závlaha	odrůda / koncentrace (%)	0,025	0,05	0,1	0,2	S	M
OPT	ALICE	84,5 <sup>b,c,d</sup>	86,5 <sup>b,c,d</sup>	84,0 <sup>b,c</sup>	82,0 <sup>a,b</sup>	82,0 <sup>a,b</sup>	78,0 <sup>a</sup>
	LUSY	96,0 <sup>e</sup>	99,5 <sup>e</sup>	99,0 <sup>e</sup>	99,5 <sup>e</sup>	98,5 <sup>e</sup>	99,0 <sup>e</sup>
STR	ALICE	88,0 <sup>c,d</sup>	90,0 <sup>d</sup>	87,0 <sup>b,c,d</sup>	88,0 <sup>c,d</sup>	86,5 <sup>b,c,d</sup>	88,0 <sup>c,d</sup>
	LUSY	98,5 <sup>e</sup>	98,0 <sup>e</sup>	98,5 <sup>e</sup>	98,5 <sup>e</sup>	99,0 <sup>e</sup>	99,5 <sup>e</sup>

\*Tabulky 3 až 7 znázorňují průměrné hodnoty klíčivosti osiva ošetřeného různými koncentracemi Atoniku v odlišných vlhkostních podmínkách v různých dnech. Hodnoty klíčivosti, které jsou označeny různými písmeny, jsou statisticky významně odlišné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

**Dvanáctý den** (tab. 6) je u obou odrůd patrná pokračující tendence vývoje klíčivosti.

U odrůdy 'Alice' se projevuje u obou vlhkostních variant pozitivní vliv ošetřením Atonikem v koncentraci 0,05 % (84,5 %, resp. 88,5 %). Avšak tyto údaje se statisticky významně neliší od klíčivosti u kontrolní varianty S (79,0 % resp. 84,5 %). Odrůda 'Lusy' dosáhla již klíčivosti 96 % a více a mezi jednotlivými ošetřeními není statisticky významný rozdíl.

Výsledky **šestnáctého dne** (tab. 7) u odrůdy 'Alice' potvrzují, že nejvyšší klíčivosti bylo dosaženo u obou vlhkostních variant při použití koncentrace 0,05 % (86,5 % resp. 90,0 %). Toto zjištění je v souladu s obecným doporučením výrobce týkajícího se podpory klíčení obecně, bez ohledu na úroveň vlhkosti. Nejnižší klíčivost byla v optimálních podmínkách u varianty ošetřené pouze vodou (78,0 %) a u deficitní závlahy u neošetřené kontroly (S; 86,5 %).

V případě odrůdy 'Lusy' není mezi jednotlivými ošetřeními statisticky významný rozdíl.

### Závěr

Z dosažených výsledků vyplývá, že ošetření osiva Atonikem může mít příznivý vliv na klíčivost osiva v podmínkách s redukovanou vlhkostí; hlavně v prvních dnech klíčení (3 - 6. den). Ošetření roztokem Atoniku o koncentraci 0,05 % zvýšilo průměrnou klíčivost (12. a 16. den) u odrůdy 'Alice', a to jak v podmínkách s optimální, tak s deficitní závlahou. Avšak výsledky dosažené 6., 12. a 16. den pokusu nejsou statisticky průkazné.

V případě odrůdy 'Lusy' nebyly statisticky průkazné rozdíly mezi ošetřeními. Výsledky též poukazují na odrůdové rozdíly (resp. rozdíly partie) v reakci na ošetření Atonikem.

### Poděkování

Tato práce byla podpořena projektem NAZV (MZe) QH81110 a výzkumným záměrem MSM604607091.

### Literatura

- ČERNÝ I., PAČUTA V., ADAMČINOVÁ B., KOVÁČIK P., KOZAK M., (2009). Produkční parametry repy cukrovky vplyvom zelenej aplikácie Atoniku a listového hnojiva Campofort. Listy cukrovarnické a řepařské. 125 (4). 130-133.
- ČERNÝ I., PAČUTA V., HABÁN M., (2007). Produkční parametry úrody čakanky obyčejnej v závislosti na odrůde a foliárnej aplikácii Atoniku a Polyboru 150. Listy cukrovarnické a řepařské. 123 (9-10). 281-284.
- ČERNÝ I., PAČUTA V., POSPÍŠIL R., ONDŘÍŠÍK P., KOVÁČIK P., (2011). Vplyv Atoniku a Pentakeepu-V na produkční parametry repy cukrovky a plodiny rotujícíej v osevnom postupe. Listy cukrovarnické a řepařské. 127 (5-6). 174-177.
- LUŠTINEC J., ŽÁRSKÝ V., (2003). Úvod do fyziologie vyšších rostlin. Karolinum Praha, 261 s. ISBN 8024605635.

- MALÝ I., BARTOŠ J., HLUŠEK J., KOPEC K., PETŘÍKOVÁ K., ROD J., SPITZ P., (1998). Polní zelinářství. Agrospoj. Praha. 196 s. ISBN: 8023942328.
- PETŘÍKOVÁ K., HLUŠEK J., JÁNSKÝ J., KOUDELA M., LOŠÁK T., MALÝ I., POKLUDA R., POLÁČKOVÁ J., ROD J., RYAN, P., ŠKARPA P., (2012). Zelenina pěstování, výživa, ochrana a ekonomika. Profi Press. Praha. 191 s. ISBN: 9788086726502.
- PETŘÍKOVÁ K., JÁNSKÝ J., MALÝ I., PEZA Z., POLÁČKOVÁ J., ROD J., (2006). Zelenina - pěstování ekonomika, prodej. Profi Press. Praha. 240 s. ISBN: 8086726207
- PULKRÁBEK J., URBAN J., BEČKOVÁ L., (2007). Využití Atoniku Pro k urychlení postresové regenerace a zmírnění dopadů herbicidního stresu na cukrovku. Listy cukrovarnické a řepařské. 123 (2). 43–46.
- SVOBODOVÁ I., MÍŠA P., (2004). Effect of drought stress on the formation of yield elements in spring barley and the potential of stress expression reduction by foliar application of fertilizers and growth stimulator. Plant Soil Environment. 50 (10). 439–446.
- TRNKA Z., (2004). Metodika zkoušení osiva a sadby. MZe. Věstník MZe, částka 3, vydáno 13.9.2004 [cit.2011-12-19]. Dostupné z <<http://www.ukzuz.cz/Uploads/5718-7-Metodika+zkouseni+osivapdf.aspx>>
- YANEVA V., BRAIKOV D., MASHEVA L., (2010). Effect of Atonik, Citro-K, and Ca-20 Preparations on Polyphenol Composition and Antioxidant Activity of Mavrud Grape (*Vitis vinifera* L.). Oxidation Communications. 33 (4). 918–925.

---

**Contact address:** Ing. et Ing. Jitka Doležalová, katedra zahradnictví, FAPPZ, ČZU v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka, E-mail: [dolezalovajitka@af.czu.cz](mailto:dolezalovajitka@af.czu.cz)

## 5 Sumární diskuse

### 5.1 Syntetický brassinolid

#### 5.1.1 Cibule kuchyňská

##### 5.1.1.1 Klíčení

Jedním ze základních faktorů rychlého klíčení osiva cibule je dostatečná vlhkost prostředí. Při pokusech provedených v roce 2012 se syntetickým brassinolidem ve vlhkostně deficitních podmínkách byl - při počítání 6. den podle metodiky Trnky (2004) - prokázán statisticky významný rozdíl v procentu klíčivosti u odrůdy 'Alice' při použití koncentrace 1 nM a 0,01 nM v porovnání s kontrolní variantou (suché osivo). Ošetření roztokem o koncentraci 1 nM bylo statisticky významně lepší i v porovnání s osivem ošetřeným čistou vodou. Na kladný vliv ošetření osiva pouze vodou upozorňují i např. Luštinec et Žárský (2003).

Podobné výsledky byly zjištěny i při počítání provedeném dvanáctý den. I v tomto případě byl zaznamenán průkazný vliv ošetření 1 nM u odrůdy 'Alice' ve vlhkostním deficitu. Takto ošetřené osivo prokazovalo lepší výsledky než osivo suché. Oproti osivu ošetřenému pouze vodou nebyl vliv syntetického brassinolidu průkazný. Zjištění týkající se kladného vlivu syntetického brassinolidu jsou v souladu s výsledky Da Silva et al. (2015), kteří prokázali pozitivní vliv brassinosteroidu (konkrétně 24-epibrassinolidu) na osivo papriky zeleninové. Při jejich pokusech vedlo použití této látky ke zkrácení doby klíčení a ke zlepšení enzymatické aktivity semen. Ve vlhkostně optimálních podmínkách klíčení nemělo ošetření syntetickým brassinolidem pozitivní vliv. Stejná situace nastala i u odrůdy 'Lusy' – i zde se vliv ošetření neprokázal. U odrůdy 'Lusy' to platí jak pro podmínky vlhkostně optimální, tak i pro deficitní. Uvedená zjištění poukazují na odrůdové rozdíly (resp. rozdíly partie) v reakci na ošetření syntetickým brassinolidem.

Z výsledků dále vyplývá, v případě obou odrůd a obou variant vlhkosti prostředí, statisticky významný negativní vliv ošetření brassinolidem o koncentraci 10  $\mu$ M. Tyto výsledky potvrzují i závěry Kohouta (2001) a Procházky et al. (2011), kteří upozorňují na retardační účinek vyšších koncentrací brassinosteroidů.

### 5.1.1.2 Pěstování na poli

Z výsledků pokusů z let 2012 a 2013 provedených v polních podmínkách při dvou úrovních závlahy (optimální a redukované) vyplývají následující poznatky:

V případě optimální závlahy byl zjištěn v roce 2012 statisticky významný pozitivní vliv ošetření o koncentraci 1 nM na výšku a průměr krčku rostlin odrůdy 'Alice'. V následujícím roce byly opět naměřeny u ošetření roztokem o koncentraci 1 nM hodnoty větší než u varianty kontrolní, avšak tyto údaje nebyly statisticky průkazné. U odrůdy 'Lusy' nemělo ošetření syntetickým brassinolidem průkazný vliv na tyto hodnoty.

U variant s redukovanou závlahou v případě odrůdy 'Lusy' nebyla zjištěna pozitivní reakce na ošetření brassinolidem. Ošetření koncentrací 1 nM vedlo u této odrůdy v roce 2012 dokonce ke snížení průměrné výšky rostlin oproti kontrole. U odrůdy 'Alice' byla situace jiná. Zde se prokázal vliv ošetření koncentrací 1 nM na větší průměr krčku rostlin (v obou letech). Rovněž hodnoty pro výšku nadzemních částí rostlin byly větší než u rostlin kontrolních, i když se nejednalo o statisticky průkazné rozdíly.

O pozitivním vlivu brassinolidu na výšku rostlin nebo na počet listů hovoří řada autorů. Například Arora et al. (2008) potvrdili vliv koncentrace 1 nM roztoku 28-homobrassinolidu na velikost prýtu u kukuřice. Ke stejným výsledkům došli i Vardhini et Rao (1998), kteří pro postřik rostlin *Arachis hypogaea* použili roztok 24-epibrassinolidu o koncentraci 1  $\mu$ M.

Hodnoty měření parametrů sklizených cibulí (průměr a výška cibule) nepřinesly vždy kladné statisticky průkazné výsledky. Avšak ošetření syntetickým brassinolidem pozitivně ovlivnilo průměrnou hmotnost jedné cibule. V roce 2013 se tak stalo u všech variant ošetření odrůdy 'Alice' v optimálních vláhových podmínkách. V případě redukované závlahy byly průkazné výsledky zjištěny u odrůdy 'Alice', ošetření 100 nM (rok 2012) a 1 nM (rok 2013). U odrůdy 'Lusy' tyto pozitivní výsledky zaznamenány nebyly.

Ošetření syntetickým brassinolidem neovlivnilo obsah kyseliny askorbové, i když jsou v literatuře k dispozici poznatky o zlepšení kvality produkce po použití brassinosteroidů. Publikovány byly například informace o zvýšení cukernatosti u mučenky jedné (Gomes et al., 2006), o nárůstu obsahu škrobu, cukrů a celkového obsahu olejů u podzemnice olejné (Vardhini et Rao, 1998) či zvýšení celkové antioxidační aktivity u šterbáku (Serna et al., 2013). Naproti tomu Serna et al. (2012b) uvádí, že použití brassinolidu nevedlo ke statisticky průkaznému zvýšení obsahu kyseliny askorbové při pokusech s paprikou zeleninovou.

V případě obsahu sušiny došlo ke snížení tohoto ukazatele při použití koncentrace 0,01 nM u odrůdy 'Alice' (v optimálních závlahových podmínkách, rok 2012) a rovněž u odrůdy 'Lusy' v redukované závlaze (rok 2013) oproti kontrolním variantám.

Z hlediska pěstitelů je jedním z nejvýznamnějších ukazatelů výnos. Proto je podstatné zdůraznit statisticky významné zvýšení výnosu při použití koncentrací 1 nM ('Alice', optimální závlaha, rok 2013 a redukováná závlaha, rok 2012; 'Lusy' redukováná závlaha, rok 2012) a 0,01 nM ('Alice', optimální závlaha, rok 2013; 'Lusy' redukováná závlaha, rok 2012).

Tyto výsledky jsou v souladu s poznatky o zvýšení výnosu po aplikaci brassinosteroidů zveřejněnými v literatuře - ať už se jedná o pšenici (Sharma et al., 2015), salát (Serna et al., 2012a), mučenku (Gomes et al., 2006) či rýži (Thussaganpanit et al., 2015).

Podobně jako u experimentů s klíčením osiva, i v případě polních pokusů se ukázala rozdílná reakce odrůd na ošetření. Předkládané výsledky rovněž potvrzují zjištění Holé et al. (2010), která upozorňuje na odlišnosti v reakci různých genotypů na ošetření brassinosteroidy.

Z literatury (Vardhini et Rao, 2003; Kang et al., 2007; Shahbaz et al., 2008;) vyplývá, že použití brassinosteroidů pomáhá rostlinám, které jsou vystaveny nepříznivým vlivům prostředí. Toto tvrzení potvrzují i zde prezentované výsledky. Avšak je třeba vzít v úvahu též různou toleranci genotypů k vodnímu deficitu, jak plyne z prací Ghane et al. (2012), Ennajeh et al. (2009) nebo Pazderů et Koudela (2013).

Z hlediska výnosu se při experimentech prokázaly jako účinné koncentrace 1 nM a 0,01 nM. Jejich použitím došlo ke zvýšení výnosu přibližně o 20 % (v závislosti na odrůdě, roku a závlaze). Dle údajů Petříkové et al. (2012) činí náklady na hektar cibule 103 000,- Kč při výnosu 14,90 t.ha<sup>-1</sup>. V případě použití syntetického brassinolidu by došlo k navýšení nákladů přibližně o 600,- Kč (pořízení přípravku + aplikace). V celkových nákladech na produkci se jedná o částku zanedbatelnou. Je třeba uvést, že syntetický brassinolid byl nakoupen pro účely experimentu za cenu sjednanou. Tato cena se však může významně lišit od ceny tržní, pokud by byl přípravek nabízen komerčně.

## 5.1.2 Salát hlávkový

### 5.1.2.1 Sadba

Při pokusech provedených v roce 2013 (červenec – říjen) se sazenicemi salátu byl 21. den potvrzen kladný vliv ošetření 1 nM na délku a hmotnost kořenů u odrůdy 'Mars'. A to jak



v případě kontrolní, tak i redukované závlivky. Při snížené závlivce byl rovněž prokázán vliv ošetření o koncentraci 0,01 nM na délku nadzemní části rostliny, průměr krčku a délku kořene u téže odrůdy. Odrůda 'Maršálus' reagovala pozitivně na ošetření 1 nM v parametru hmotnost nadzemní části (kontrolní i redukovaná úroveň závlahy) a délka kořenů i nadzemní části (redukovaná úroveň závlahy).

Při měření provedeném 28. den byl zaznamenán u odrůdy 'Mars' statisticky významný vliv ošetření 1 nM na délku nadzemní části rostliny (kontrolní úroveň závlahy). Naopak u odrůdy 'Maršálus' mělo toto ošetření vliv na hmotnost nadzemní části rostlin a na délku kořenů. Kladně lze hodnotit i působení koncentrace 0,01 nM na průměr krčku, délku a hmotnost kořenů za stejných podmínek.

Při podmínkách s redukovanou závlahou (28. den) byl prokázán kladný vliv ošetření 1 nM na délku nadzemních částí a kořenů u obou odrůd, navíc u odrůdy 'Maršálus' byla rovněž pozitivně ovlivněna hmotnost čerstvé nadzemní části i kořenů. Přetrvával též pozitivní vliv ošetření 0,01 nM (délka nadzemní části, hmotnost nadzemní části i kořenů; odrůda 'Maršálus').

Pokud jde o vliv brassinosteroidů na výšku rostlin nebo počet listů, předchozí studie s různými druhy rostlin ukazují pozitivní výsledky. Změna velikosti rostliny může být přímo důsledkem brassinosteroidů, jak prokázal Nakaya et al. (2002) při pokusech s *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Zjistil, že mutanti *A. thaliana* se známou poruchou v biosyntéze brassinosteroidů tvoří malé lístky. Ošetřením brassinosteroidy došlo u mutantů k obnovení růstového potenciálu jako u původního typu rostlin. Podobně i další autoři (Kim et al., 2008, Oh et al., 2011) prokázali, že brassinosteroidy hrají duální roli v regulaci buněčné expanze a proliferaci buněk v listu.

Sazenice ošetřené 1 nM byly za stejnou dobu pěstování větší, s vyšší hmotností nadzemní části i kořenů. Lze tedy usuzovat, že požadovaných parametrů, vhodných pro výsadbu na trvalé stanoviště, by rostliny mohly dosáhnout za kratší dobu. Tím by použití syntetického brassinolidu mohlo přispět ke zkrácení doby předpěstování sadby.

Stejně jako v případě pokusů provedených na dvou odrůdách cibule, i v případě salátu se ukázaly rozdílné reakce na ošetření u různých kultivarů. Tato zjištění potvrzují i práce dalších autorů (Pipattanawong et al., 1996; Hnilička et al., 2007; Janeczko et Swaczynová, 2010), kteří sledovali vliv exogenní aplikace brassinosteroidů na více genotypů rostlin stejného druhu a zjistili, že se reakce jednotlivých genotypů mohou výrazně lišit.

### 5.1.2.2 Pěstování na poli

Při pěstování salátu hlávkového odrůdy 'Santoro' v polních podmínkách byl prokázán statisticky významný vliv ošetření brassinolidem formou postřiku (koncentrace 1  $\mu\text{M}$ ) na zvýšení počtu tržních hlávek u variant pěstovaných s optimální závlahou. Při společném vyhodnocení obou pěstitelských roků (2009 a 2011) podíl tržních hlávek narostl v průměru o 9,2 resp. 12,21 procentních bodů u varianty s dvojitou aplikací brassinolidu. Tím došlo pochopitelně i k celkovému navýšení tržního výnosu z 1 hektaru. U variant s redukovanou závlahou tento trend nebyl zaznamenán.

Zvýšení hmotnosti jednotlivé hlávky nebylo prokázáno. Na druhou stranu Serna et al. (2012a) prokázali nárůst výnosu salátu při použití analogu syntetického brassinolidu (pod obchodním názvem Biobras-16). Avšak ve svých pokusech používali brassinolid společně s hnojivem Tomex Amin. Nicméně s ohledem na to, že salát je dodáván na trh na kusy, může zvýšení podílu jakostních hlávek přinést ekonomický zisk, i když výnos z hektaru v tunách nebude ošetřením ovlivněn.

Z výsledků rovněž plyne, že ošetření syntetickým brassinolidem nemělo vliv na obsah kyseliny askorbové a dusičnanů. Patrný je vliv redukované závlahy na obsah kyseliny askorbové (rok 2011). Zvýšení obsahu antioxidantů (včetně kyseliny askorbové) z důvodu abiotického stresu zmiňují i Babu et Devaraj (2008), Nair et al. (2008), kteří prováděli pokusy na fazolích a též Koudela et al. (2011) při pokusech s květákem. Mezi ošetřeními v rámci závlahových režimů nebyl zaznamenán rozdíl. Podobné výsledky uvádí i Serna et al. (2012b) při použití brassinolidu společně s hnojivem Tomex Amin na rostliny papriky zeleninové. Stejní autoři zmiňují, že v případě pokusů se salátem syntetický brassinolid prakticky neovlivnil celkové množství kyselin (Serna et al., 2012a).

Při realizační ceně 4,- Kč za 1 kus salátu lze při průměrné sklizni realizovat přibližně o 12000 hlávek z hektaru více při jednom postřiku syntetickým brassinolidem o koncentraci 1  $\mu\text{M}$ , což představuje navíc příjem 48000,- Kč. Pro účely experimentů byl syntetický brassinolid nakoupen za cenu, která při použité koncentraci a při množství postřikové kapaliny 300 l.ha<sup>-1</sup> činí náklad přibližně 3500,- Kč na hektar. Z výsledků pokusů je zřejmá rentabilita použití syntetického brassinolidu v dobrých vláhových podmínkách. Je třeba vzít v úvahu reálnou pořizovací cenu syntetického brassinolidu, která se v případě komerčního použití může významně lišit od ceny pořízení pro vědecké účely.

Jak uvádějí Pulkrábek et Zahradníček (1998), regulátory růstu nejsou samospasitelné, ale mohou být přínosem, pokud jsou dodrženy zásady správné pěstitelské praxe (Zubal, 2000).

I nepatrný vliv regulátoru je možné považovat za pozitivní, hlavně za předpokladu, když je možné ošetření provést jednou aplikací společně např. s pesticidy (Pulkrábek et Zahradníček, 2002) nebo s listovými hnojivy (Bugbee et White, 1984).

## 5.2 Atonik

### 5.2.1 Cibule kuchyňská

#### 5.2.1.1 Klíčení

Jak bylo zmíněno výše, pro klíčení rostlin, zvláště pak pro pomalu klíčící cibuli, je významné, pokud dojde ke zlepšení parametrů klíčení v počátku vývoje. V testech klíčivosti, provedených v roce 2012 dle Trnky (2004), v různých vláhových podmínkách, při ošetření přípravkem Atonik o různých koncentracích, byly zaznamenány následující výsledky:

Třetí den po založení pokusu byl zaznamenán kladný vliv ošetření roztokem o koncentraci 0,05 % u odrůdy 'Alice' v optimálních vlhkostních podmínkách vůči osivu neošetřenému. Nicméně tento efekt není průkazný vůči osivu ošetřenému pouze vodou. O kladném vlivu hydratace osiva na klíčivost se zmiňují i Luštinec et Žárský (2003).

Šestý den, v optimálních vlhkostních podmínkách, byla nejvyšší klíčivost (72 %) v případě odrůdy 'Alice' zaznamenána u ošetření o koncentraci 0,05 %.

I když se tato klíčivost statisticky významně nelišila od klíčivosti neošetřené kontroly (66,5 %), lišila se průkazně od hodnoty klíčivosti osiva ošetřeného pouze vodou. Ve stejných podmínkách, v případě odrůdy 'Lusy', nebyly zaznamenány žádné statisticky významné rozdíly mezi ošetřeními a suchou kontrolou. Nejvyšší klíčivost byla pozorována u ošetření 0,2 % a u osiva ošetřeného jen vodou (99 %).

V podmínkách s redukovanou vlhkostí (6. den) nebyly zjištěny rozdíly mezi ošetřeními v rámci obou odrůd. V případě 'Alice' byla nejvyšší klíčivost (78 %) u ošetření 0,2 % roztokem a nejnižší klíčivost (71,5 %) byla u osiva ošetřeného pouze vodou. U odrůdy 'Lusy' nebyly zaznamenány rozdíly mezi ošetřeními.

Dvanáctý den byly u odrůdy 'Alice' (u obou vlhkostních variant) naměřeny nejvyšší hodnoty klíčivosti při ošetření Atonikem v koncentraci 0,05 % (84,5 % resp. 88,5 %). Avšak tyto údaje se statisticky významně neliší od klíčivosti u kontrolní varianty (79,0 % resp.

84,5 %). Odrůda 'Lusy' dosáhla úroveň klíčivosti 96 % a více a mezi jednotlivými ošetřeními nebyl statisticky významný rozdíl.

Výsledky měření provedeného poslední (16.) den pokusu u odrůdy 'Alice' potvrzují, že nejvyšší klíčivosti bylo dosaženo u obou vlhkostních variant při použití koncentrace 0,05 % (86,5 % resp. 90,0 %). V případě optimálních podmínek se jednalo o hodnotu statisticky významně se lišící od průměrné klíčivosti dosažené při ošetření osiva pouze vodou.

Dosažené výsledky tedy jen částečně potvrzují zjištění autorů Kovár et al. (2015), o stimulačním účinku Atoniku na klíčení (celková klíčivost a rychlost klíčení) osiva trav či údaje dalších autorů (Djanaguiraman et al., 2005; Anonym, 2008) o vlivu na klíčení osiva zeleniny. Z výsledků rovněž není zcela zřejmé, že by účinky Atoniku byly mnohem výraznější v situaci, kdy jsou rostliny vystaveny stresovým podmínkám, jak uvádí ve své práci Przybysz et al. (2014).

Naměřené hodnoty klíčivosti byly při použití Atoniku v některých případech vyšší než hodnoty zjištěné u kontrolních variant, avšak výsledky nebyly vždy statisticky významně odlišné (vůči osivu neošetřenému či ošetřenému pouze vodou).

Rovněž v případě použití Atoniku, je třeba poukázat na odrůdové rozdíly v reakci na ošetření.

## 6 Závěr

Z výsledků provedených polních a laboratorních experimentů a analýz zpracovaných v předkládané práci lze v souladu se stanovenými cíli práce a hypotézami vyvodit následující závěry:

### 6.1 Syntetický brassinolid

Cibule – klíčení

- V případě vlhkostně deficitních podmínek byl potvrzen pozitivní vliv ošetření syntetickým brassinolidem o koncentraci 1 nM v prvních dnech klíčení u odrůdy 'Alice'. V případě odrůdy 'Lusy' tento vliv nebyl statisticky průkazný.

Cibule – pěstování na poli

- Byl potvrzen statisticky významný pozitivní vliv ošetření o koncentraci 1 nM na růst nadzemní části cibule kuchyňské - na výšku a průměr krčku nadzemní části rostlin odrůdy 'Alice' (optimální závlaha, rok 2012). U odrůdy 'Lusy' nemělo ošetření syntetickým brassinolidem statisticky významný vliv na tyto hodnoty.
- Průměrná hmotnost jedné cibule byla pozitivně ovlivněna ošetřením syntetickým brassinolidem u odrůdy 'Alice' (optimální závlaha, rok 2013, všechny varianty ošetření). V případě redukované závlahy byly potvrzeny kladné výsledky u odrůdy 'Alice', ošetření 100 nM (rok 2012) a 1 nM (rok 2013). U odrůdy 'Lusy' tyto pozitivní výsledky zaznamenány nebyly.
- Obsah kyseliny askorbové nebyl ošetřením statisticky významně ovlivněn.
- Snížení obsahu sušiny bylo potvrzeno při použití koncentrace 0,01 nM (odrůda 'Alice', optimální závlaha, rok 2012) a u odrůdy 'Lusy' v redukované závlaze (rok 2013).
- Významné zvýšení výnosu bylo potvrzeno při použití koncentrace 1 nM ('Alice', optimální závlaha, rok 2013 a redukovaná závlaha, rok 2012; 'Lusy' redukovaná závlaha, rok 2012) a 0,01 nM ('Alice', optimální závlaha, rok 2013; 'Lusy' redukovaná závlaha, rok 2012). Maximální zvýšení výnosu, o více jak 28 %, bylo zaznamenáno v roce 2013 u odrůdy 'Alice' při použití koncentrace 0,01 nM v optimálních závlahových podmínkách.

Salát – sadba

- Byl potvrzen kladný vliv ošetření 1 nM na růst rostlin - na délku nadzemních částí a kořenů u obou odrůd salátu, navíc u odrůdy 'Maršálus' byla rovněž pozitivně ovlivněna hmotnost čerstvé nadzemní části i kořenů (redukovaná závlaha, měření provedené 28. den).

V případě odrůdy 'Maršálus' byl potvrzen též pozitivní vliv ošetření koncentrací 0,01 nM na délku nadzemní části a hmotnost nadzemní části i kořenů (redukovaná závlaha).

Salát – pěstování na poli

- Při společném hodnocení obou let byl potvrzen statisticky významný vliv ošetření postřikem syntetickým brassinolidem (koncentrace 1  $\mu$ M) na zvýšení podílu tržních hlávek salátu u variant pěstovaných s optimální závlahou. U variant s redukovanou závlahou tento trend nebyl zaznamenán.
- Vliv ošetření na zvýšení hmotnosti jednotlivých hlávek nebyl potvrzen.
- Vliv ošetření na obsah kyseliny askorbové a dusičnanů při hodnocení obou let společně nebyl potvrzen.

## 6.2 Atonik

Cibule – klíčení

- V počátku klíčení (3. den pokusu) byl potvrzen kladný vliv ošetření roztokem o koncentraci 0,05 % u odrůdy 'Alice' v optimálních vlhkostních podmínkách vůči osivu suchému.
- Byl potvrzen vliv ošetření o koncentraci 0,05 % na klíčivost u odrůdy 'Alice' (měřeno poslední 16. den pokusu, obě vlhkostní varianty) oproti ošetření provedenému pouze vodou.
- V případě odrůdy 'Lusy' nebyl potvrzen vliv ošetření.

Výsledky potvrdily, že použití rostlinných stimulatorů pomáhá rostlinám, které jsou vystaveny nepříznivým vlivům prostředí. Je však třeba vzít v úvahu, jaký parametr rostliny má být aplikací stimulatorů ovlivněn a v neposlední řadě i to, že reakce různých odrůd na ošetření je rozdílná. To se potvrdilo jak u experimentů s klíčením osiva, tak i v případě nádobových a polních pokusů.

Při zohlednění všech výše uvedených faktorů se ošetření těmito látkami může stát účinným agroenvironmentálně šetrným pěstitelským opatřením v zelinářské produkci.

## 7 Seznam použité literatury

- Anonym. 2008. Atonik [online]. [cit. 2011-11-01]. Dostupné z <<http://www.agromanual.cz/cz/pripravky/ostatni/pripravek/atonik.html>>.
- Arora, N., Bhardwaj, R., Sharma, P., Arora, H. K. 2008. Effect of 28-homobrassinolide on growth, lipid peroxidation and antioxidative enzyme activities in seedlings of *Zea mays* L. under salinity stress. *Acta Physiologiae Plantarum*. 30 (6). 833-839.
- Babu, N. R., Devaraj, V. R. 2008. High temperature and salt stress response in French bean (*Phaseolus vulgaris*). *Australian Journal of Crop Science*. 2 (2). 40-48.
- Babuška, P. 1998. Atonik – rostlinný stimulant. *Listy cukrovarnické a řepařské*. 114 (3). 96.
- Bartoš, J., Kopec, K., Mydlil, V., Peza, Z., Rod, J. 2000. Pěstování a odbyt zeleniny. *Agrospoj*. Praha. 323 s. ISBN 8023942425.
- Beck, E. H., Fetting, S., Knake, C., Hartig, K., Bhattarai, T. 2007. Specific and unspecific responses of plants to cold and drought stress. *Journal of Biosciences*. 32 (3). 501-510.
- Behnamnia, M., Kalantari, K. M., Ziaie, J. 2009. The effects of brassinosteroid on the induction of biochemical changes in *Lycopersicon esculentum* under drought stress. *Turkish Journal of Botany*. 33 (6). 417-428.
- Bishop, G. J., Yokota, T. 2001. Plants steroid hormones, brassinosteroids: current highlights of molecular aspects on their synthesis/metabolism, transport, perception and response. *Plant Cell Physiology*. 42 (2). 114-120.
- Blackman, P. G., Davies, W. J. 1984. Modification of the CO<sub>2</sub> Responses of Maize Stomata by Abscisic Acid and by Naturally-Occurring and Synthetic Cytokinins. *Journal of Experimental Botany*. 35 (151). 174-179.
- Bláha, L. 2011. Úvodní slovo: Co vyplývá pro zemědělský výzkum z jednání kongresů ES v Bologni (2008) a v Montpellieru (2010). In: Bláha, L., Hnilička, F. (eds.). *Aktuální kapitoly z fyziologie rostlin a zemědělského výzkumu 2011*. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. s. 5-16. ISBN: 9788074270697.
- Bláha, L., Bocková, R., Hnilička, F., Hniličková, H., Holubec, V., Möllerová, J., Štolcová, J., Zieglerová, J. 2003. *Rostlina a stres*. VÚRV. Praha. 156 s. ISBN: 8086555321.
- Bradford, K. J. 1983. Water relations and growth of the flacca tomato mutant in relation to abscisic-acid. *Plant Physiology*. 72 (1). 251-255.
- Brestič, M., Olšovská, K. 2001. *Vodný stres rostlin - příčiny, dosledky, perspektivy*. SPU. Nitra. p. 149 ISBN: 8071379026.

- Brewer, P. B., Dun, E. A., Ferguson, B. J., Rameau, C., Beveridge, C. A. 2009. Strigolactone acts downstream of auxin to regulate bud outgrowth in pea and Arabidopsis. *Plant Physiology*. 150 (1). 482-493.
- Bugbee, B., White, J. W. 1984. Tomato growth as affected by root-zone temperature and the addition of gibberellic acid and kinetin to nutrient solutions. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 109 (1). 121-125.
- Buchtová, I. 2011. Situační a výhledová zpráva Mze 2011. MZe. Praha. 63 s. ISBN 9788070849880.
- Buchtová, I. 2013. Situační a výhledová zpráva Mze 2013. MZe. Praha. 71 s. ISBN 9788074341304.
- Buchtová, I. 2015. Situační a výhledová zpráva Mze 2015. MZe. Praha. 69 s. ISBN 9788074342608
- Burns, I. G. 1980. Influence of the spatial – distribution of nitrate on the uptake of N by plants – a review and a model for rooting depth. *Journal of Soil Science*. 31 (2). 155-173.
- Bynum, J. B., Cothren, T., Lemon, R. G., Fromme, D. D., Randal K., Boman, R. K. 2007. Field Evaluation of Nitrophenolate Plant Growth Regulator (Chaperone) for the Effect on Cotton Lint Yield. *The Journal of Cotton Science*. 11. 20-25.
- Cutler, H. G. 1994. Advances in the use of brassinosteroids. In: Hedin, P. A., Menn, J. J., Hollingworth, R. M. (eds.). *Conference on Natural and Derived Pest Management Agents*. American Chemical Society. Washington. p. 85-102.
- Černý, I., Javor, D. 2004. Variety – an important intensification factor of Chicory (*Cichorium intybus* L.) growing. *Naše pole*. 5 (6). 22-25.
- Černý, I., Ondříšek, P. 2003. Influence of year and Atonik application on variability of sugar beet root yield and digestion. *Journal of Central European Agriculture*. 4 (4). 411-418.
- Černý, I., Pačuta, V., Adamčinová, B., Kováčik, P., Kozak, M. 2009. Produkčné parametre repy cukrovej vplyvom zelenej aplikácie Atoniku a listového hnojiva Campofort. *Listy cukrovarnícké a řepařské*. 125 (4). 130-133.
- Černý, I., Pačuta, V., Fecková, J., Golian, J. 2002. Vplyv ročníka a aplikácie Atoniku na vybrané parametre úrody cukrovej repy. *Journal of Central European Agriculture*. 3 (1). 15-22.
- Černý, I., Pačuta, V., Habán, M. 2007. Produkčné parametre úrody čakanky obyčajnej v závislosti na odrode a foliárnej aplikácii Atoniku a Polyboru 150. *Listy cukrovarnícké a řepařské*. 123 (9-10). 281-284.



- Černý, I., Pačuta, V., Villár, G. 2000. Vplyv Atoniku na úrodu a technologickú kvalitu cukrovej repy. *Listy cukrovarnícké a řepářské*. 116 (12). 316-319.
- Da Silva, C. B., Marcos-Filho, J., Jourdan, P., Bennett, M. A. 2015. Performance of bell pepper seeds in response to drum priming with addition of 24-epibrassinolide. *HortScience*. 50 (6). 873-878.
- Davies, W. J., Bacon, M. A. 2003. Adaptation of root to drought. In: De Kroon, H., Visser, E. J. W (eds.). *Root Ecology*. Springer. Berlin. p. 173-192. ISBN: 9783540001850.
- Divi, U. K., Krishna, P. 2010. Overexpression of the brassinosteroid biosynthetic gene AtDWF4 in Arabidopsis seed overcomes abscisic acid-induced inhibition of germination and increases cold tolerance in transgenic seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*. 29 (4). 385-393.
- Djanaguiraman, M., Devi, D. D., Shanker, A. K., Bangarusamy, U., Babu, R. 2004a. Effect of oxidative stress on abscission of tomato fruit and its nitroregulation by nitrophenols. *Journal of Tropical Agricultural Science*. 16. 25-36.
- Djanaguiraman, M., Devi, D. D., Shanker, A. K., Sheeba, J. A., Bangarusamy, U. 2004b. The role of nitrophenol on delaying abscission of tomato flowers and fruits. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2 (2). 183-186.
- Djanaguiraman, M., Kathirvelan, P., Manivannan, V. Sheeba, J. A., Devi, D. D., Bangarusamy, U., 2004c. Harvest time residue of Atonik (nitro phenols) in tomato and cotton. *Asian Journal of Plant Science*. 3. 624-627.
- Djanaguiraman, M., Sheeba, J. A., Devi, D. D., Bangarusamy, U. 2005. Effect of Atonik Seed Treatment on Seedling Physiology of Cotton and Tomato. *Journal of Biological Sciences*. 5 (2). 163-169.
- Dřimalová, D. 2005. Růstové regulátory v řasách. *Czech Phycology*. 5 (1). 101-112.
- Enciso, J., Wiedenfeld, B., Jifon, J., Nelson, S. 2009. Onion yield and quality response to two irrigation scheduling strategies. *Scientia Horticulturae*. 120 (3). 301 – 305.
- Ennajeh, M., Vadel, A. M., Khemira, H. 2009. Osmoregulation and osmoprotection in the leaf cells of two olive cultivars subjected to severe water deficit. *Acta Physiologiae Plantarum*. 31 (4). 711-72.
- Esposito, D., Komarnytsky, S., Shapses, S., Raskin, I. 2011. Anabolic effect of plant brassinosteroid. *FASEB Journal*. 25 (10). 3708-3719.
- Fariduddin, Q., Hasan, S. A., Ali, B., Hayat, S., Ahmad, A. 2008. Effect of modes of application of 28-homobrassinolide on mungo bean . *Turkish Journal of Biology*, 32 (1). 17-21.

- Fecenko, J., Ložek, O., Mazur, B., Mazur, K. 1997. The effect of foliar application of humate on wheat grain yield and quality. *Rostlinná výroba*. 43 (1). 37-41.
- Gallardo, M., Jackson, L. E., Thompson, R. B. 1996. Shoot and root physiological responses to localized zones of soil moisture in cultivated and wild lettuce (*Lactuca spp.*). *Plant Cell Environment*. 19 (10). 1169-1178.
- Ghane, S. G., Lokhande, V. H., Nikam, T. D. 2012. Differential growth, physiological and biochemical responses of niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) cultivars to water-deficit (drought) stress. *Acta Physiologiae Plantarum*. 34 (1). 215-225.
- Gloser, J., Prášil, I. 1998. Fyziologie stresu. In: Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J., Šebánek, J. Gloser, J., Havel, L., Nátr, L., Prášil, I., Sladká, Z., Šantrůček, J., Tesařová, M., Vyskot, B. *Fyziologie rostlin*. Academia. Praha. s. 412-430. ISBN: 8020005862
- Gomes, M. M. A., Campostrini, E., Leal, N. R., Viana, A. P., Ferraz, T. M., Siqueira, L. N., Rosa, R. C. C., Netto, A. T., Núñez-Vázquez, M. 2006. Brassinosteroid analogue effects on the yield of yellow passion fruit plants (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Scientia Horticulturae*. 110 (3). 235-240.
- Goodger, J. Q. D., Sharp, R. E., Marsh, E. L., Schachtman, D. P. 2005. Relationships between xylem sap constituents and leaf conductance of well-watered and water-stressed maize across three xylem sap sampling techniques. *Journal of Experimental Botany*. 56 (419). 2389-2400.
- Grassmann, J., Hippeli, S., Elstner, E. F. 2002. Plant's defence and its benefits for animals and medicine: role of phenolics and terpenoids in avoiding oxygen stress. *Plant Physiology and Biochemistry*. 40 (6-8). 471-478.
- Grove, M. D., Spencer, G. F., Rohwedder, W. K., Mandawa, N., Worley, J. F., Warthen, J. D., Steffens, G. L., Flippen-Anderson, J. L., Cook J. C. 1979. Brassinolide, a plant growth-promoting steroid isolated from *Brassica napus* pollen. *Nature*. (281). 216-217.
- Gruszczyk, M., Berbeć, S. 2004. The effect of foliar application of some preparations on yield and quality of feverfew (*Chrysanthemum parthenium* L.) raw material. *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska*. 59 (2). 755-759.
- Guilioni, L., Wery, J., Lecoeur, J. 2003. High temperature and water deficit may reduce seed number in field pea purely by decreasing plant growth rate. *Functional Plant Biology*. 30 (11). 1151-1164.

- Harris, M. J., Outlaw, W. H. 1991. Rapid adjustment of guard-cell abscisic-acid levels to current leaf-water status. *Plant Physiology*. 95 (1). 171-173.
- Havel, J. 2008. Aplikace brassinosteroidů na mák. Sborník z konference „Prosperující olejniny“. 10. – 11. 12. 2008. [cit. 2011-11-09]. Dostupné z <[http://konference.agrobiologie.cz/konference/2006-12-13/23\\_havel\\_osevapro.pdf](http://konference.agrobiologie.cz/konference/2006-12-13/23_havel_osevapro.pdf)>.
- Havrila, J., Novák, V. 2006. Metóda určenia režimu odberu vody z pôdy rastlinami pre potreby produkcie biomasy. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 54 (1). 15-25.
- Hejtnák, V. 2010. Vliv růstových regulátorů na fotosyntézu a vodní režim cukrovky při vodním stresu. *Listy cukrovarnické a řepařské*. 126 (1). 27-30.
- Hervé, P., Serraj, R. 2009. Gene technology and drought: A simple solution for a complex trait? (Review). *African Journal of Biotechnology*. 8(9). 1740-1749.
- Hnilička, F., Hniličková, H., Martinková, J., Bláha, L. 2007. The influence of drought and the application of 24-epibrassinolide on the formation of dry matter and yield in wheat. *Cereal Research Communications*. 35 (2). 457–460.
- Holá, D., Rothová, O., Kočová, M., Kohout, L., Kvasnica, M. 2010. The effect of brassinosteroids on the morphology, development and yield of field-grown maize. *Plant Growth Regulation*. 61 (1). 29-43.
- Hradecká D., Bečka D., Klouček P. 2006. Aplikace brassinosteroidů u řepky ozimé. In: sborník Prosperující olejniny 2006. ČZU. Praha. s. 57-61. ISBN: 8021315814.
- Hradecká, D., Urban, J., Kohout, L., Pulkrábek, J., Hnilička, R. 2009. Využití brassinosteroidů k regulaci stresu během růstu a tvorby výnosu řepy cukrové. *Listy cukrovarnické a řepařské*. 125 (9 – 10). 271-273. Dostupné také z: <[http://www.cukr-listy.cz/on\\_line/2009/pdf/271-273.PDF](http://www.cukr-listy.cz/on_line/2009/pdf/271-273.PDF)>.
- Hu, Y. X., Bao, F., Li, J. Y. 2000. Promotive effect of brassinosteroids on cell division involves a distinct CycD3-induction pathway in Arabidopsis. *Plant Journal*. 24 (5). 693-701.
- Hudec, J., Frančáková, H., Musilová, J. 2001. Yield and quality of the winter wheat kernel after special organomineral liquid fertilizers application. *Agriculture*. 47 (11). 837-849.
- Chiwocha, S. D. S., Dixon, K. W., Flematti, G. R., Ghisalberti, E. L., Merritt, D. J., Nelson, D. C., Riseborough, J. M., Smith, S. M., Stevens, J. C. 2009. Karrikins: A new family of plant growth regulators in smoke. *Plant Science*. 177 (4). 252-256.

- Jager, C. E., Symons, G. M., Ross, J. J., Reid, J. B. 2008. Do brassinosteroids mediate the water stress response? *Physiologia Plantarum*. 113 (2). 417-425.
- Janeczko, A., Biesaga-Koscielniak, J., Oklest'kova, J., Filek, M., Dziurka, M., Szarek-Lukaszewska, G., Koscielniak, J. 2010. Role of 24-Epibrassinolide in Wheat Production: Physiological Effects and Uptake. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 196 (4). 311–321.
- Janeczko, A., Swaczynová J. 2010. Endogenous brassinosteroids in wheat treated with 24-epibrassinolid. *Biologia Plantarum*. 54 (3). 477-482.
- Jeong, Y. H., Ota, Y. 1981. Physiological Studies on Photochemical Oxidant Injury in Rice Plants : III. Relationship between abscisc acid (ABA) and water metabolism in water-stressed rice plants. *Japanese Journal of Crop Science*. 50 (4). 566-569.
- Johnson, W. C., Jackson, L. E., Ochoa, O., van Wijk, R., Peleman, J., St Clair, D. A., Michelmore, R. W. 2000. Lettuce, a shallow-rooted crop, and *Lactuca serriola*, its wild progenitor, differ at QTL determining root architecture and deep soil water exploitation. *Theoretical and Applied Genetics*. 101 (7). 1066-1073. Dostupné také z: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs001220051581>>.
- Kamínek, M. 1992. Process in cytokinin research (Review). *Trends in Biotechnology*. 10 (C). 159-164.
- Kang, Y. Y., Guo, S. R. 2011. Role of brassinosteroids on horticultural crops. In: Hayat, S., Ahmad, A. (eds.). *Brassinosteroids: A Class of Plant Hormone*. Springer. New York. p. 269-288. ISBN: 9789400701892.
- Kang, Y., Guo S., Li J., Duan J. 2007. Effects of 24-epibrassinolide on antioxidant system in cucumber seedling roots under hypoxia stress. *Agricultural Science in China*. 6 (3). 281–289.
- Kannangara, T., Seetharana, N., Durley, P. C., Simpson, G. M. 1983. Drought resistance of *Sorghum-bicolor*. 6. Changes in endogenous growth – regulators of plants grown across an irrigation gradient. *Canadian Journal of Plant Science*. 63 (1). 147-155.
- Khripach, V., Zhabinskii, V., De Groot, A. 2000. Twenty years of brassinosteroids: Steroidal plant hormones warrant better crops for the XXI century. *Annals of Botany*. 86 (3). 441-447.
- Kim, S. L., Lee, Y., Lee, S. H., Kim, S. H., Han, T. J., Kim, S. K. 2008. Brassinolide influences the regeneration of adventitious shoots from cultured leaf discs of tobacco. *Journal of Plant Biology*. 51 (3). 221-226.
- Kohout, L. 2001. Brassinosteroidy. *Chemické listy*. (95). 583.

- Kołodziej, B. 2004. The effect of Atonik and foliar fertilization on yielding and American ginseng (*Panax quinquefolium* L.) raw material quality. *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska*. 59 (1). 157-162.
- Kołodziej, B. 2008. The effect of plantation establishment method and Atonik application in goldenrod (*Solidago virgaurea* L. ssp. *virgaurea*) cultivation. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 7 (3). 33-39.
- Kopec, K. 1998. *Tabulky nutričních hodnot ovoce a zeleniny*. UZPI. Praha. 72 s. ISBN: 8086153649.
- Kopec, K. 2010. *Zelenina ve výživě člověka*. Grada Publishing. Praha. 159 s. ISBN: 9788024728452.
- Koudela, M., Hnilička, F., Svozilová, L., Martinková, J. 2011. Cauliflower qualities in two irrigation levels with the using of hydrophilic agent. *Horticulture Science*. 38 (2). 81-85.
- Kovár, M., Černý, I. 2008. Možnosti regulácie rastovo-produkčného procesu plodín nitrofenolátmi : mechanizmus a fyziologické dôsledky. In: Vavrišínová, K., Vavříková, I. (eds.). *Aktuálne problémy riešené v agrokomplexe*. Zborník recenzovaných príspevkov z XII. ročníka medzinárodného vedeckého seminára. SPU. Nitra. s. 92-103. ISBN: 9788055201511.
- Kovár, P., Vozár, L., Jančovič, J., Hric, P. 2015. Využitie podporných prípravkov pre zlepšenie klíčenia zrn vybraných druhov krmných tráv. In: Pazderů, K. (ed.). *Osivo a sadba, XII. Odborný a vědecký seminář 5. února 2015*. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. s. 175-180. ISBN: 9788021325449.
- Krekule, J., Zmrhal, Z. 1994. Brassinosteroidy. In: Mareček, F., Šebánek, J., Pazourek, J., Vodičková, V., Zmrhal, Z., Opatrný, Z., Rod, J., Pikálek, P., Pekárková, E., Nováková, J., Šedivý, J., Kolář, L., Hron, F., Hadač, E., Coufal, V., Bečvářová, V., Haš, S., Blažek, J., Moravec, J., Obdržálek, J., Kraus, V., Mareček, J., Starý, F., Šašek, V., Kyzlink V., Kopec, K., Valíček, P., Zelený, V., Hieke, K., Hurych, V., Tempír, Z. (eds.). *Zahradnický slovník naučný 1. Ústav zemědělských a potravinářských informací*. Praha. 440 s. ISBN: 8085120518.
- Kumar, S., Imtiyaz, M., Kumar, A., Singh, R. 2007. Response of onion (*Allium cepa* L.) to different levels of irrigation water. *Agricultural Water Management*. 89 (1-2). 161-166.
- Liu, C., Liu, Y., Guo, K., Fan, D., Li, G., Zheng, Y., Yu, L., Yang, R. 2011. Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species

- in karst habitats of southwestern China. *Environmental and Experimental Botany*. 71 (2). 174-183.
- Lichtenthaler, H. K. 1996. Vegetation Stress: an Introduction to the Stress Concept in Plants. *Journal of Plant Physiology*. 148 (1-2). 4-14.
- Luštinec, J., Žárský, V. 2003. Úvod do fyziologie vyšších rostlin. Karolinum. Praha. 261 s. ISBN: 8024605635.
- Mahajan, S., Tuteja, N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 444 (2). 139-158.
- Macháčková, I. 1998. Růst a vývoj: Růstové regulátory. In: Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J., Šebánek, J. Gloser, J., Havel, L., Nátr, L., Prášil, I., Sladká, Z., Šantrůček, J., Tesařová, M., Vyskot, B. *Fyziologie rostlin*. Academia. Praha. s. 226-284. ISBN: 8020005862
- Malý, I., Petříková, K. 2000. Základy pěstování cibulové zeleniny. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství. Praha. 26 s. ISBN: 8071052051.
- Malý, I., Bartoš, J., Hlušek, J., Kopec, K., Petříková, K., Rod, J., Spitz, P. 1998. *Polní zelinářství*. Agrospoj. Praha. 196 s. ISBN: 8023942328.
- Mandava, N. B. 1988. Plant growth-promoting brassinosteroids. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 39. 23-52.
- Mansfield, T. A., Mc Ains, M. R. 1995. Hormones as regulators of water balance. In: Davies, P. J. (ed.). *Plant Hormones*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. p. 598-616. ISBN: 9781402026843.
- Mareček, F., Moravec, J. 2001. Salát. In: Mareček, F., Šebánek, J., Pazourek, J., Vodičková, V., Zmrhal, Z., Rod, J., Pikálek, P., Pekárková, E., Nováková, J., Šedivý, J., Kolář, L., Hron, F., Hadač, E., Coufal, V., Bečvářová, V., Haš, S., Blažek, J., Moravec, J., Obdržálek, J., Kraus, V., Mareček, J., Starý, F., Šašek, V., Kyzlink V., Kopec, K., Valíček, P., Zelený, V., Hieke, K., Hurych, V., Tempír, Z. (eds.). *Zahradnický slovník naučný 5. Ústav zemědělských a potravinářských informací*. Praha. 685 s. ISBN: 8072710753.
- Marsahall, J. G., Scarratt, J. B., Dumbroff, E. B. 1991. Induction of drought resistance by abscisic-acid and paclobutrazol in jack pine. *Tree Physiology*. 8 (4). 415-421.
- Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*. 7 (9). 405-410.
- Moravec, J. 1994. Cibule kuchyňská. In: Mareček, F., Šebánek, J., Pazourek, J., Vodičková, V., Zmrhal, Z., Opatrný, Z., Rod, J., Pikálek, P., Pekárková, E., Nováková, J.,

- Šedivý, J., Kolář, L., Hron, F., Hadač, E., Coufal, V., Bečvářová, V., Haš, S., Blažek, J., Moravec, J., Obdržálek, J., Kraus, V., Mareček, J., Starý, F., Šašek, V., Kyzlink V., Kopec, K., Valíček, P., Zelený, V., Hieke, K., Hurych, V., Tempír, Z. (eds.). Zahradnický slovník naučný 1. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 440 s. ISBN: 8085120518.
- Mousavi, E. A., Kalantari, K. M., Jafari, S. R. 2009. Change of Some Osmolytes Accumulation in Water- stresses Colza (*Brassica napus* L.) as Affected by 24 – Epibrassinolid. Iranian Journal of Science and Technology Transaction A – Science. 33 (A1). 1-11.
- Müssig, C. 2005. Brassinosteroid - promoted growth. *Plant Biology*. 7 (2). 110-117.
- Nair, A. S. Abraham, T. K., Jaya, D. S. 2008. Studies on the changes in lipid peroxidation and antioxidants in drought stress induced cowpea (*Vigna unguiculata* L.) varieties. *Journal of Environmental Biology*. 29 (5). 689-691.
- Nakaya, M., Tsukawa, H., Murakami, N., Kato, M. 2002. Brassinosteroids control the proliferation of leaf cells of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Physiology*. 43 (2). 239-244.
- Nelson, D. C., Flematti, G. R., Ghisalberti, E. L., Dixon, K. W., Smith S. M. 2012. Regulation of seed germination and seedling growth by chemical signals from burning vegetation. *Annual Review of Plant Biology*. 63. 107-30.
- Núñez, M., Mazzafera, P., Mazorra, L. M., Siqueira, W. J., Zullo, M. A. T. 2003. Influence of a brassinosteroid analogue on antioxidant enzymes in rice grown in culture medium with NaCl. *Biologia Plantarum*. 47 (1). 67-70.
- Ogwen, J. O. , Song, X. S., Shi, K., Hu, W. H., Mao, W. H., Zhou, Y. H., Yu, J. Q., Nogues, S. 2008. Brassinosteroids alleviate heat-induced inhibition of photosynthesis by increasing carboxylation efficiency and enhancing antioxidant systems in *Lycopersicon esculentum*. *Journal of Plant Growth Regulation*. 27 (1). 49-57.
- Oh, M. H., Sun, J., Oh, D. H., Zielinski, R. E., Clouse, S. D., Huber, S. C. 2011. Enhancing *Arabidopsis* leaf growth by engineering the BRASSINOSTEROID INSENSITIVE1 receptor kinase. *Plant Physiology*. 157 (1). 120-131.
- Oklestkova, J., Rárová, L., Kvasnica, M., Strnad, M. 2015. Brassinosteroids: synthesis and biological activities *Phytochemistry Reviews*. 14 (6). 1053-1072.
- Ondřej, M. 1992. Genové inženýrství kulturních rostlin. Academia. Praha. 232 s. ISBN: 802000310X.

- Panajotov, N. D. 1997. The effect of plant growth regulator Atonic on the yield and quality of the reproduced seeds of sweet pepper. *Acta Horticulturae*. 1 (462). 757-762.
- Pavlová, L., Fischer, L. 2011. *Růst a vývoj rostlin*. Karolinum. Praha. 325 s. ISBN: 9788024619132.
- Pazderů, K., Koudela, M. 2013. Influence of hydrogel on germination of lettuce and onion seed at different moisture levels. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 61 (6). 1817-1822.
- Peirce, L. C. 1987. *Vegetable: Characteristics, Production, and Marketing*. John Wiley and Sons. New York. p. 433. ISBN: 0471850225.
- Pelter, G. Q., Mittelstadt, R., Leib, B. G., Redulla, C. A. 2004. Effects of water stress at specific growth stages on onion bulb yield and quality. *Agricultural Water Management*. 68 (2). 107-115.
- Petříková, K., Hlušek, J., Jánský, J., Koudela, M., Lošák, T., Malý, I., Pokluda, R., Poláčková, J., Rod, J., Ryant, P., Škarpa, P. 2012. *Zelenina pěstování, výživa, ochrana a ekonomika*. Profi Press. Praha. 191 s. ISBN: 9788086726502.
- Petříková, K., Jánský, J., Malý, I., Peza, Z., Poláčková, J., Rod, J. 2006. *Zelenina - pěstování ekonomika, prodej*. Profi Press. Praha. 240 s. ISBN: 8086726207.
- Petříková, K., Malý, I., Pokluda, R., Pacík, V. 2004. *Integrované pěstování listové zeleniny*. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 44 s. ISBN: 8072711547.
- Pinol, R., Simon, E. 2011. Protective Effects of Brassinosteroids against Herbicides. In: Hayat, S., Ahmad, A. (eds.). *Brassinosteroids: A Class of Plant Hormone*. Springer. New York. p. 309-344. ISBN: 9789400701885
- Piňol, R., Simón, E. 2009. Effect of 24-epibrassinolide on chlorophyll fluorescence and photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in *Vicia faba* plants treated with the photosynthesis-inhibiting herbicide terbutryn. *Journal of Plant Growth Regulation*. 28 (2). 97-105.
- Pipattanawong, N., Fujishige, N., Yamane, K. 1996. Effects of brassinosteroid on vegetative and reproductive growth in two day-neutral strawberries. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*. 65 (3). 651-654.
- Potters, G., Pasternak, T. P., Guisez, Y., Palme, K. J., Jansen, M. A. K. 2007. Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? *Trends in Plant Science*. 12(3). 98-105.
- Procházka, P., Štranc, P., Pazderů, K., Štranc, J., Kohout, L. 2011. Moření osiva biologicky aktivními látkami. In: Pazderů, K (ed.). *Sborník Osivo a sadba X*. ČZU. Praha, s. 157-163. ISBN: 9788021321533.



- Procházka, S. 1997. Podstata účinku rostlinných hormonů. In: Procházka, S., Šebánek, J., Macháčková, I., Krekule, J., Kamínek, M., Borkovec, V., Hradilík, J., Havel, L., Ondřej, M., Psota, V., Luxová, M., Rauscherová, L., Sladký, Z., Vizárová, G., Čížková, R., Klíčová, Š., Rozkošová, V. Regulátory rostlinného růstu. Academia. Praha. s. 21-31. ISBN:8020005978.
- Procházka, S., Šebánek, J. 1997. Úvod. In: Procházka, S., Šebánek, J., Macháčková, I., Krekule, J., Kamínek, M., Borkovec, V., Hradilík, J., Havel, L., Ondřej, M., Psota, V., Luxová, M., Rauscherová, L., Sladký, Z., Vizárová, G., Čížková, R., Klíčová, Š., Rozkošová, V. Regulátory rostlinného růstu. Academia. Praha. s. 17-21. ISBN:8020005978.
- Przybysz, A., Gawrońska, H., Gajc-Wolska, J. 2014. Biological mode of action of a nitrophenolates-based biostimulant: case study. *Frontiers in Plant Science*. 5 (713). 1-15.
- Pulkrábek, J., Šroller, J., Zahradníček, J. 1999. The effect of growth regulators on the yield and quality of sugar beet roots. *Rostlinná výroba*. 45 (8). 379-386.
- Pulkrábek, J., Urban J., Bečková, L. 2007. Využití Atoniku Pro k urychlení postresové regenerace a zmírnění dopadů herbicidního stresu na cukrovku. *Listy cukrovarnické a řepařské*. 123 (2). 43-46.
- Pulkrábek, J., Zahradníček, J. 1998. Regulátory růstu při pěstování cukrovky. In: Řepařství, sborník z konference pořádané dne 10. února 1998 v Praze. ČZU. Praha. s. 142-146. ISBN: 9788021303744.
- Pulkrábek, J., Zahradníček, J. 2002. Uplatnění biologicky aktivních látek u cukrovky. *Úroda*. 50 (10). 23-25.
- Putnam, J., Scott Kantor, L., Allshouse, J. 2000. Per Capita Food Supply Trends: Progress Toward Dietary Guidelines. *FoodReview* . 23 (3). 2-14.
- Rajabbeigi, E., Eichholz, I., Beesk, N., Ulrichs, C., Kroh, L.W., Rohn, S., Huyskens-Keil, S. 2013. Interaction of drought stress and UV-B radiation - impact on biomass production and flavonoid metabolism in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 86. 190- 97.
- Ramraj, V. M., Vyas, B. N., Godrej, N. B., Mistry, K. B., Swami, B. N., Singh, N. 1997. Effects of 28-homobrassinolide on yields of wheat, rice, groundnut, mustard, potato and cotton. *Journal of Agricultural Science*. 128 (4). 405–413.

- Rattin, J. E., Assuero, S. G., Sasso, G. O., Tognetti, J. A. 2011. Accelerated storage losses in onion subjected to water deficit during bulb filling *Scientia Horticulturae*. 130 (1). 25 – 31.
- Sasaki, H. 2002. Brassinolide promotes adventitious shoot regeneration from cauliflower hypocotyl segments. *Plant Cell Tissue Organ Culture*. 71 (2). 111-116.
- Serrano, M., Zapata, P. J., Castillo, S., Fabián Guillén, F., Martínez-Romero, D., Valero, D. 2010. Antioxidant and nutritive constituents during sweet pepper development and ripening are enhanced by nitrophenolate treatments. *Food Chemistry*. 118 (3). 497-503.
- Serna M., Hernández F., Coll F., Amóros A. 2012a. Brassinosteroid analogues effect on yield and quality parameters of field-grown lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Scientia Horticulturae*. 143. 29-37.
- Serna M., Hernández F., Coll F., Coll Y., Amóros A. 2012b. Brassinosteroid analogues effects on the yield and quality parameters of greenhouse-grown pepper (*Capsicum annuum* L.). *Plant Growth Regulation*. 68 (3). 333-342.
- Serna, M., Hernández, F., Coll, F., Coll, Y., Amóros, A. 2013. Effects of brassinosteroid analogues on total phenols, antioxidant activity, sugars, organic acids and yield of field grown endive (*Cichorium endivia* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 93 (7). 1765-1771.
- Shahbaz, M., Ashraf, M., Athar, H. R. 2008. Does exogenous application of 24-epibrassinolide ameliorate salt induced growth inhibition in wheat (*Triticum aestivum* J.)? *Plant Growth Regulation*. 55 (1). 51-64.
- Shahid, M. A., Pervez, M. A., Balal, R. M., Mattson, N. S., Rashid, A., Ahmad, R., Ayyub, C. M., Abbas, T. 2011. Brassinosteroid (24-epibrassinolide) enhances growth and alleviates the deleterious effects induced by salt stress in pea (*Pisum sativum* L.). *Australian Journal of Crop Science*. 5 (5). 500-510.
- Sharma, K. M., Asarey, R., Verma, H. 2015. Response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to the foliar applied brassinosteroid and thiourea with recommended fertilization practice on farmer's fields. *Plant Archives*. 15 (2). 729-732.
- Sharma, R., Sharma, B., Singh, G. 1984. Phenols as regulators of nitrate reductase activity in *Cicer arietinum* L. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*. 44 (2). 185-188.
- Singh, R., Alderfer, R. B. 1966. Effects of Soil – Moisture Stress at Different Periods of Growth of Some Vegetable Crops. *Soil Science*. 101 (1). 69-80.

- Soto, M. J., Fernández-Aparicio, M., Castellanos-Morales, V., García-Garrido, J. M., Ocampo, J. A., Delgado, M. J., Vierheilig, H. 2010. First indication for the involvement of stanolactones on nodule formation in alfalfa (*Medicago sativa*). *Soil Biology and Biochemistry*. 42 (2). 383-385.
- Suge, H. 1986. Reproductive development of higher plant as influenced by brassinolides. *Plant Cell Physiology*. 27 (2). 199-205.
- Swamy, K. N., Rao, S. S. R. 2008. Influence of 28-homobrassinolide on growth, photosynthesis metabolite and essential oil content of geranium [*Pelargonium graveolens* (L.) Herit]. *American Journal of Plant Physiology*. 3 (4). 173-174.
- Swamy, K. N., Rao, S. S. R. 2011. Effect of brassinosteroids on the performance of *Coleus* (*Coleus forskohlii*). *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*. 17 (1). 12-20.
- Svobodová, I., Míša, P. 2004. Effect of drought stress on the formation of yield elements in spring barley and the potential of stress expression reduction by foliar application of fertilizers and growth stimulator. *Plant Soil Environment*. 50 (10). 439-446.
- Šanta, I. 1995. Využitie regulátora rastu Rastim 30 DKV v podmienkach východoslovenskej nížiny. *Agrochémia*. 35 (5-6). 93-94.
- Šebánek, J. 2001a. Stres. In: Mareček, F., Šebánek, J., Pazourek, J., Vodičková, V., Zmrhal, Z., Rod, J., Pikálek, P., Pekárková, E., Nováková, J., Šedivý, J., Kolář, L., Hron, F., Hadač, E., Coufal, V., Bečvářová, V., Haš, S., Blažek, J., Moravec, J., Obdržálek, J., Kraus, V., Mareček, J., Starý, F., Šašek, V., Kyzlink V., Kopec, K., Valíček, P., Zelený, V., Hieke, K., Hurych, V., Tempír, Z. (eds.). *Zahradnický slovník naučný 5*. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 685 s. ISBN: 8072710753.
- Šebánek, J. 2001b. Sušina. Mareček, F., Šebánek, J., Pazourek, J., Vodičková, V., Zmrhal, Z., Rod, J., Pikálek, P., Pekárková, E., Nováková, J., Šedivý, J., Kolář, L., Hron, F., Hadač, E., Coufal, V., Bečvářová, V., Haš, S., Blažek, J., Moravec, J., Obdržálek, J., Kraus, V., Mareček, J., Starý, F., Šašek, V., Kyzlink V., Kopec, K., Valíček, P., Zelený, V., Hieke, K., Hurych, V., Tempír, Z. (eds.). *Zahradnický slovník naučný 5*. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 685 s. ISBN: 8072710753.
- Šebánek, J., Čížková, R., Klíčová, Š. 1997. Růstové regulátory a rezistence vůči suchu, nepříznivým teplotám a imisím. In: Procházka, S., Šebánek, J., Macháčková, I., Krekule, J., Kamínek, M., Borkovec, V., Hradilík, J., Havel, L., Ondřej, M., Psota, V., Luxová, M., Rauscherová, L., Sladký, Z., Vizárová, G., Čížková, R., Klíčová, Š., Rozkošová, V. *Regulátory rostlinného růstu*. Academia. Praha. s. 350-365. ISBN:8020005978.

- Šarapatka, B., Abrahamová, M., Čížková, S., Dotlačil, L., Hluchý, M., Křen, J., Kuas., T., Laštůvka, Z., Lososová, Z., Pokorný, E., Pokorný, J., Pokorný, R., Salašová, A., Tkadlec, E., Tuf, I., Vácha, M., Zámečník, V., Zeidler, M., Žalud, Z. 2010. Agroekologie - východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření. Bioinstitut. Olomouc. 440 s. ISBN: 9788087371107.
- Tanaka, K., Nakamura, Y., Asami, T., Yoshida, S., Matsuo, T., Okamoto, S. 2003. Physiological roles of brassinosteroids in early growth of Arabidopsis: brassinosteroids have a synergistic relationship with gibberellin as well as auxin in light-grown hypocotyl elongation. *Journal of Plant Growth Regulation*. 22 (3). 259-271.
- Thussagunpanit, J., Jutamanee, K., Sonjaroon, W., Kaveeta, L., Chai-Arree, W., Pankean, P., Suksamrarn, A. 2015. Effects of brassinosteroid and brassinosteroid mimic on photosynthetic efficiency and rice yield under heat stress. *Photosynthetica*. 53 (2). 312-320.
- Tong, H., Xiao, Y., Liu, D., Gao, S., Liu, L., Yin, Y., Jin, Y., Qian, Q., Chu, C. 2014. Brassinosteroid regulates cell elongation by modulating gibberellin metabolism in rice. *Plant Cell*. 26 (11). 4376-4393.
- Trnka, Z. 2004. Metodika zkoušení osiva a sadby. MZe. Věstník MZe, částka 3, vydáno 13. 9. 2004 [cit. 2011-12-19]. Dostupné z <<http://www.ukzuz.cz/Uploads/5718-7-Metodika+zkouseni+osivapdf.aspx>>.
- Unterholzner, S. J. Rozhon, W., Papacek, M., Ciomas, J., Lange, T., Kugler, K. G., Mayer, K. F., Sieberer, T., Poppenberger, B. 2015. Brassinosteroids are master regulators of gibberellin biosynthesis in Arabidopsis. *Plant Cell*. 27 (8). 2261-2272.
- Upreti, K. K., Murti, G. S. R. 2004. Effects of brassinosteroids on growth, nodulation, phytohormone content and nitrogenase activity in French bean under water stress. *Biologia Plantarum*. 48 (3). 407-411.
- Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera, J. 2012. Výživa zahradních rostlin. Academia. Praha. 568 s. ISBN: 9788020021472.
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2007. Výživa polních a zahradních plodin. Profi Press. Praha. 167 s. ISBN: 9788086726250.
- Vardhini, B. V., Rao, S. S. R. 1998. Effect of brassinosteroids on growth, metabolite content and yield of *Arachis hypogaea*. *Phytochemistry*. 48 (6). 927-930.

- Vardhini, B. V., Rao, S. S. R. 2003. Amelioration of osmotic stress by brassinosteroids on seed germination and seedling growth of three varieties of sorghum. *Plant Growth Regulation*. 41 (1). 25-31.
- Velišek, J. 2002. *Chemie potravin 2*. OSSIS. Tábor. 320 s. ISBN: 8086659011.
- Vegh, K. R., Rajkai, K. 2006. Root growth and nitrogen use efficiency of spring barley in drying soil. *Cereal Research Communications*. 34 (1). 267-270.
- Vogel, G., Hartmann, H. D., Krahnstöver, K. 1996. *Handbuch des speziellen Gemüsebaues*. Eugen Ulmer GmbH & Co. Stuttgart. p. 1127. ISBN: 3800152851.
- Wasternack, C. 2015. How Jasmonates Earned their Laurels: Past and Present. *Journal of Plant Growth Regulation*. 34 (4). 761-794.
- Waters, M. T., Nelson, D. C., Scaffidi, A., Flematti, G. R., Sun, Y. K., Dixon, K. W., Smith, S. M. 2012. Specialisation within the DWARF14 protein family confers distinct responses to karrikins and strigolactones in *Arabidopsis*. *Development*. 139 (7). 1285-1295.
- Wright, S. T. C. 1977. The relationship between leaf water potential  $\psi_{leaf}$  and the levels of abscisic acid and ethylene in excised wheat leaves. *Planta*. 134 (2). 183-184.
- Wu, F., Bao, W., Li, F., Wu, N. 2008. Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedlings. *Environmental and Experimental Botany*. 63 (1-3). 248-255.
- Xia, X. J., Huang, Y. Y., Wang, L., Huang, L. F., Yu, Y. L., Zhou, Y. H., Yu, J. Q. 2006. Pesticides-induced depression of photosynthesis was alleviated by 24-epibrassinolide pretreatment in *Cucumis sativus* L. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 86 (1). 42-48.
- Xie, X., Yoneyama, K., Kusumoto, D., Yamada, Y., Yokota, T., Takeuchi, Y., Yoneyama, K. 2008. Isolation and identification of alectrol as (+)-orobanchyl acetate, a germination stimulant for root parasitic plants. *Phytochemistry*. 69 (2). 427-431.
- Yaneva, V., Braikov, D., Masheva, L. 2010. Effect of Atonik, Citro-K, and Ca-20 Preparations on Polyphenol Composition and Antioxidant Activity of Mavrud Grape (*Vitis vinifera* L.). *Oxidation Communications*. 33 (4). 918-925.
- Yoneyama, K., Xie, X., Sekimoto, H., Takeuchi, Y., Ogasawara, S., Akiyama, K., Hayashi, H., Yoneyama, K. 2008. Strigolactones, host recognition signals for root parasitic plants and arbuscular mycorrhizal fungi, from Fabaceae plants. *New Phytologist*. 179 (2). 484-494.

- Zahradníček, J., Pokorná, A., Pulkrábek, J., Král, J., Šanda, J. 1998. Vliv foliární aplikace přípravku Atonik na technologickou jakost a skladovatelnost cukrovky. Listy cukrovarnické a řepařské. 114 (5/6). 147-149.
- Zahradníček, J., Pulkrábek, J. 2001. Technologická jakost cukrovky a možnosti jejího zlepšování. Farmář. 7 (11). 26-27.
- Zahradníček, J., Soukup, J., Kotyk, A., Jarý, J. 2004a. Vliv foliárního hnojení a biostimulátorů na metabolismus a technologickou jakost cukrovky vegetující a skladované. Řepářství & Sladovnický ječmen. [online] Praha. ČZU. 18 -19. 2. 2004. [cit. 2016-04-05]. Dostupné z <<http://konference.agrobiologie.cz/2004-02-18/2004-02-konference.pdf>>.
- Zahradníček, J., Šařec, O., Kožnarová, V., Jursík, M., Příbyl, P. 2004b. Intenzifikace výroby cukrovky pomocí biostimulátorů za odlišných agrometeorologických podmínek. Listy cukrovarnické a řepařské. 120 (9/10). 266-269.
- Zubal, P. 2000. Syntetické regulátory rastu rostlín a príspevok domáciho výskumného a vývojového potenciálu na ich príprave a využití. Poľnohospodárstvo. 46 (11). 843-855.
- Zullo, M. A. T., Adam, G. 2002. Brassinosteroid phytohormones: structure, bioactivity and applications. Brazilian Journal of Plant Physiology. 14 (3). 83-121.