



به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۲ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۹

صفحه‌های ۸۹-۱۰۲

ارزیابی کاربرد فیتوهورمون‌های رشدی و غلظت‌های مختلف دودآب بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد

بیولوژیک گیاهان دارویی بادرنجبویه و ریحان

فریده نوروزی شهری^۱، سعید جلالی هنرمند^{۲*}، محسن سعیدی^۳، فرزاد مندنی^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۲. دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۳. استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۱۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۱۸

چکیده

کشاورزان به‌طور سنتی از آتش و دود در بخش‌های مختلفی از کشاورزی استفاده می‌کنند. مطالعات متعددی نشان می‌دهد که ترکیبات بیواکتیو دود به‌عنوان خانواده جدید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی شناخته می‌شوند. به‌منظور ارزیابی پتانسیل دودآب به‌عنوان یک فیتوهورمون بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد بیولوژیک گیاهان دارویی ریحان و بادرنجبویه آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در زمان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصافی با سه تکرار طی سال ۱۳۹۶ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه رازی اجرا شد. در این آزمایش هشت سطح محلول‌پاشی (شامل شاهد، غلظت‌های ۱:۱۰۰۰، ۱:۵۰۰ و ۱:۱۰۰ دودآب (v/v) به‌همراه سایتوکینین، اکسین و جیبرلیک اسید هر یک با غلظت ۵۰ میکرومولار) در پلات‌های اصلی و دو چین برداشت در پلات‌های فرعی قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع تاج پوشش در گیاه ریحان و بادرنجبویه به‌ترتیب از تیمارهای جیبرلیک اسید و دودآب ۱:۵۰۰ (v/v) و بیش‌ترین شاخص سطح برگ در هر دو گیاه از تیمار سایتوکینین حاصل شد. در نهایت بیش‌ترین عملکرد زیست‌توده در گیاه ریحان و بادرنجبویه (به‌ترتیب ۴۸۰/۸۶ و ۴۳۱/۳۲ گرم در مترمربع) از غلظت ۱:۱۰۰ (v/v) دودآب حاصل شد که نسبت به شاهد به‌ترتیب ۵۲ و ۳۹ درصد افزایش داشته است. در این مطالعه کاربرد غلظت‌های بالای دودآب (۱:۱۰۰ و ۱:۵۰۰ (v/v)) مشابه با فیتوهورمون‌ها خصوصاً سایتوکینین موجب بهبود ویژگی‌های رشدی و عملکرد بیولوژیک گیاهان شد.

کلیدواژه‌ها: اکسین، جیبرلین، دودآب، سایتوکینین، کاریکینولید، ویژگی‌های رشدی.

Evaluation of Growth Phytohormones and Different Concentrations of Plant Derived Smoke Applications on Growth Characteristics and Biological Yield of Medicinal Plants Lemon Balm and Basil

Faride Noroozi Shahri¹, Saeid Jalali Honarmand^{2*}, Mohsen Saeidi², Farzad Mondani³

1. Ph.D. Candidate, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Science and Agricultural Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

2. Associate Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Science and Agricultural Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Science and Agricultural Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

Received: May 7, 2019 Accepted: June 8, 2019

Abstract

Farmers have been traditionally using fire and smoke in various parts of agriculture. Several studies have reported that smoke bioactive components act as a new family of plant growth regulators. In order to evaluate and explore the potential of smoke-water as a phytohormone on growth characteristics and biological yield of medicinal plants of basil and lemon balm, an experiment has been conducted as a split plot based on complete randomized block design with three replications. Conducted at research greenhouse of Razi University in 2017, the study has eight factors, including four concentrations smoke-water (i.e., 1:5000, 1:1000, 1:500, and 1:100 (v/v)) accompanied with cytokinin, auxin, and gibberellic acid (each with a concentration of 50 μ M), as well as the control, assigned to the main plots, and two harvest stages, assigned to the sub plots. Results indicate that the gibberellic acid significantly increases basil canopy height in comparison to others treatments, while the maximum canopy height in lemon balm has been obtained from smoke-water at concentrations of 1:500 (v/v). Foliar-application with cytokinin result in the highest leaf area index in both plants, compared to the control. Eventually, the highest biomass yield in basil and lemon balm belongs to smoke-water at concentrations of 1:100 (v/v) that has increased by 52% and 39%, respectively, compared with the control. In the current study, applying high level of smoke-water foliar (1:100 and 1:500 (v/v)) induces growth characteristics and biological yield, similar to phytohormone treatments, especially cytokinin.

Keywords: Auxin, cytokinin, gibberellin, growth characteristics, karrikinolide, smoke-water.

۱. مقدمه

آتش به عنوان ابزار مدیریتی اکوسیستم از جنگل‌ها تا علفزارها و یکی از ویژگی‌های حیات روی کره زمین شناخته شده است. جنبه‌های مختلفی از آتش شامل گرما، رهاسازی سریع عناصر غذایی حاصل از سوختن بافت‌های گیاهی و ترکیبات خاکستر برای جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه مطالعه شده‌اند. نقش دود حاصل از گیاهان در تحریک جوانه‌زنی ابتدا در آفریقای جنوبی در مطالعه‌ای روی گیاه *Audouinia capitata* مشاهده شده است (Govindaraj et al., 2016). کاربرد دود در کشاورزی، باغبانی و جنگلداری نشان می‌دهد که دود می‌تواند در شکستن خواب بذر، بهبود جوانه‌زنی بذر، رشد گیاهچه، گل‌دهی، تجمع زیست‌توده، ریزازدیادی درون شیشه در تیره‌های مختلف گیاهی و کنترل پاتوژن‌ها (ویژگی‌های آنتی‌میکروبی) نقش داشته باشد (Govindaraj et al., 2016).

دود می‌تواند از دو روش آئروسول و دودآب در کشاورزی استفاده شود. در روش آئروسول دانه‌ها به صورت مستقیم در معرض مواد گیاهی در حال سوخت قرار می‌گیرند. دودآب یکی از آسان‌ترین روش‌های استفاده از دود می‌باشد. ترکیبات مؤثره موجود در دود به آسانی در آب حل می‌شوند و وقتی این عصاره دود رقیق می‌شود موجب بهبود قابل توجهی در جوانه‌زنی بذر، رشد و تمایز بسیاری از گونه‌ها می‌شود. از نظر شیمیایی بیش از ۴۰۰۰ ترکیب در دود شناسایی شده است (Govindaraj et al., 2016). دودآب محلولی اسیدی و حاوی ترکیبات متنوعی از جمله ترکیبات فنولیک، قندهای محلول، الکل‌ها، لاکتون‌ها، آلدئیدها، کتون‌ها و آلکالوئیدها است (Chumpookam et al., 2012). هم‌چنین حاوی مقادیر قابل توجهی از مواد غذایی همانند آمونیوم است، که می‌تواند به عنوان یک منبع مهم از

نیتروژن برای رشد گیاه، بهبود کیفیت سطح برگ و افزایش تولید میوه و دانه محسوب شود (Chumpookam et al., 2012). علاوه بر این نقش محرک دود در جوانه‌زنی خصوصاً در غلظت‌هایی در حد نانومولار (10^{-9} مولار) نشان داد که ترکیباتی بسیار بیواکتیو در دود وجود دارد (Light et al., 2010).

از برهم‌کنش پروتئین‌ها یا آمینواسیدها با قندها (به‌طور عمده سلولز) تحت دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۳۰ دقیقه ترکیباتی محلول در آب تحت عنوان کاریکین‌ها حاصل می‌شود که محرک جوانه‌زنی و رشد گیاهچه می‌باشند (Light et al., 2005). کشف کاریکین‌ها به عنوان گروهی جدید از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی دستاوردی مهم در بیوشیمی و فیزیولوژی گیاهی است (Dixon et al., 2009; Nair et al., 2014). این ترکیبات یک سیستم حلقوی ادغام‌شده از بوتنولید و پیرانند که می‌توانند استخلاف‌های مختلفی از متیل داشته باشند (Nair et al., 2014). کاریکین I (KAR_1) یا 3-methyl-2H-furo[2,3-c]pyran-2-one به عنوان عامل اصلی محرک این خانواده شناسایی شده که به آن کاریکینولید نیز گفته می‌شود (Dixon et al., 2009). این نام‌گذاری اشاره به ساختار لاکتونی این ترکیب دارد (Flematti et al., 2013). علاوه بر کاریکین‌ها، بوتنولید دیگری نیز با نام 3,4,5-trimethyl furan-2(5H)-one از دود حاصل از گیاهان ایزوله می‌شود که از جوانه‌زنی و رشد گیاهان جلوگیری می‌کند و در غلظت‌های بالاتری (بیش از ۱۰ میکرومولار) نسبت به کاریکین‌ها فعالیت می‌کند (Light et al., 2010). علاوه بر این ماده، ترکیباتی مانند دی‌هیدروکسی تولون (کرزول‌ها)، دی‌هیدروکسی بنزن‌ها، ۲-فروئیک اسید و نفتالن در غلظت‌های بالای دودآب بازدارنده رشد می‌باشند (Light et al., 2010). محلول‌های رقیق‌نشده دودآب باعث ممانعت از جوانه‌زنی و رشد

ارزیابی کاربرد فیتوهورمون‌های رشدی و غلظت‌های مختلف دودآب بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد بیولوژیک گیاهان دارویی بادرنجبویه و ریحان

جایگزین الگوهای درونی جیبرلیک اسید در طول جوانه‌زنی می‌شود (Schwachtje & Baldwin, 2004). در یک مطالعه اثر دودآب حاصل از گیاه *Themeda triandra* Forssk. (در غلظت‌های ۱:۵۰۰، ۱:۱۰۰۰ و ۱:۱۵۰۰ (v/v)) و کاریکینولید (با غلظت‌های 10^{-7} ، 10^{-8} و 10^{-9} مولار) به همراه بنزیل‌آدنین چهار میکرومولار و آلفا نفتالن استیک اسید پنج میکرومولار روی صفات آگرونومیک و پروفیل سایتوکینین درون‌زاد گیاه لاله واژگون^۴ مورد بررسی قرار گرفت. در گیاهان تیمار شده با دودآب ۱:۵۰۰ (v/v) و کاریکینولید 10^{-8} مولار افزایش در ریشه‌زایی، اندازه برگ، اندازه پیاز و زیست‌توده نسبت به شاهد و فیتوهورمون‌های اکسین و سایتوکینین مشاهده شد (Aremu et al., 2016).

هدف از این مطالعه بررسی ویژگی‌های رشدی و عملکرد بیولوژیک دو گیاه دارویی از تیره نعنائیان شامل بادرنجبویه^۵ و ریحان^۶ تحت محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف دودآب و سه فیتوهورمون سایتوکینین، جیبرلیک اسید و اکسین می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۶ در گلخانه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در دو آزمایش جداگانه به صورت اسپلینت پلات در زمان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای مختلف محلول‌پاشی به‌عنوان عامل اصلی در هشت سطح و دو چین برداشت هر گیاه به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. محلول‌پاشی شامل چهار غلظت دودآب (۱:۵۰۰، ۱:۱۰۰۰، ۱:۵۰۰ و ۱:۱۰۰ (v/v)) و سه فیتوهورمون سایتوکینین، اکسین و جیبرلین (هر یک با

گیاهان می‌شود. روش معمول برای به‌دست‌آوردن محرک‌های رشد، رقیق‌کردن دودآب به مقدار ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر است (Nelson et al., 2012).

مطالعات متعددی نشان می‌دهد که غلظت‌های پایین دودآب و کاریکینولید دارای پاسخ‌های شبه فیتوهورمونی و هم‌چنین برهم‌کنش با فیتوهورمون‌های درون‌زاد و برون کاربرد گیاه هستند. برخی از پژوهش‌گران پاسخ‌های شبه فیتوهورمونی دودآب و کاریکینولید را که احتمالاً در اثر برهم‌کنش آن‌ها با تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی درونی می‌باشد گزارش نموده‌اند (Chiwocha et al., 2009). در یک مطالعه به‌منظور تعیین فعالیت شبه فیتوهورمونی ترکیبات بیواکتیو دود، دامنه‌ای از غلظت‌های بوتنولید (10^{-20} تا 10^{-8} مولار) به همراه کیتین ($2/5 \times 10^{-8}$ مولار یا ۵ میکروگرم در لیتر) و ایندول-۳-بوتیریک اسید (10^{-7} مولار) روی کالوس سویا^۱ و ماش^۲ مورد استفاده قرار گرفت. در سویا فعالیت شبه سایتوکینینی بوتنولید در غلظت‌های 10^{-18} تا 10^{-10} مولار معادل با $2/5 \times 10^{-8}$ مولار کیتین بود. علاوه بر این مشاهده شد که بوتنولید و کیتین با هم اثر هم‌افزایی داشته و تیمار بوتنولید 10^{-6} مولار به همراه کیتین، فعالیتی معادل با 5×10^{-8} مولار یا ۱۰ میکروگرم در لیتر کیتین نشان داد. در کالوس ماش نیز پاسخی وابسته به غلظت و مشابه مشاهده شد. غلظت بوتنولید اپتیمم برای فعالیت شبه‌اکسینی معادل با 10^{-7} تا 10^{-8} مولار بود. کاربرد 10^{-7} مولار ایندول-۳-بوتیریک اسید در سطوح مختلف بوتنولید پاسخ ریشه‌زایی را افزایش داد، به طوری که این مقدار اکسین به همراه 10^{-18} مولار بوتنولید فعالیتی معادل با 10^{-6} تا 10^{-5} مولار ایندول-۳-بوتیریک اسید داشتند (Jain et al., 2008). مطالعه روی بذرهاى توتون وحشی^۳ نشان داد که دود

4. *Eucomis autumnalis*
5. *Melissa officinalis*
6. *Ocimum basilicum*

1. *Glycine max*
2. *Vigna radiata*
3. *Nicotiana attenuata*

نظر گرفته شد و سپس با استفاده از آب مقطر در غلظت‌های مورد نظر رقیق و جهت اعمال تیمارها به کار برده شد. سه روز پس از اعمال آخرین مرحله از تیمار در هر چین، از هر دو گیاه جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های رشدی و عملکرد بیولوژیک نمونه برداری شد. به این صورت که از هر واحد آزمایشی پنج بوته انتخاب و پس از اندازه‌گیری تعداد برگ و ارتفاع بوته، برگ‌های آن از ساقه جدا شد. ابتدا طول، عرض و سطح برگ با استفاده از نرم‌افزار پردازش تصویر JMicoVision محاسبه و میانگین آن به عنوان سطح برگ تک بوته منظور شد. سپس با توجه به تراکم استقرار بوته از تقسیم آن بر مساحت اشغال شده در هر واحد آزمایشی، شاخص سطح برگ محاسبه شد. جهت محاسبه عملکرد بیولوژیک نیز پس از حذف حاشیه، گیاهان برداشت و در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و پس از ۲۴ ساعت توزین شدند. داده‌های حاصل پس از بررسی نرمال بودن با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ آنالیز و با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی دار فیشر (LSD) مقایسه میانگین شدند.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. ارتفاع تاج پوشش

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح محلول پاشی و چین‌های برداشت به طور معنی داری ($P \leq 0/01$) ارتفاع تاج پوشش ریحان را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۱). جیبرلیک اسید موجب تولید بیشترین ارتفاع تاج پوشش در گیاه ریحان (۳۱/۶۸ سانتی‌متر) شد. در افزایش ارتفاع تاج پوشش این گیاه، جیبرلیک اسید با غلظت‌های ۱:۵۰۰ و ۱:۱۰۰ دودآب (v/v) و فیتوهورمون‌های سایتوکینین و اکسین تفاوت معنی داری نداشت. ارتفاع تاج پوشش ریحان در چین دوم نسبت به چین اول ۳۴/۴۱ درصد افزایش داشت (جدول ۳). ارتفاع تاج پوشش بادرنجبویه به طور معنی داری ($P \leq 0/01$) تحت تأثیر سطوح محلول پاشی،

غلظت ۵۰ میکرومولار) بود. فیتوهورمون‌های مورد استفاده عبارت از ۶- بنزیل آمینوپورین (6-BAP) (سایتوکینین)، جیبرلیک اسید (GA_3) و ۳- ایندول استیک اسید (IAA) (اکسین) ساخت شرکت سیگما آلدریچ بودند. تیمار شاهد شامل محلول پاشی با آب مقطر بود. در هر ۲۵۰ میلی‌لیتر از محلول‌های مورد استفاده که شامل آب مقطر واحدهای آزمایشی شاهد نیز می‌شد از یک قطره توئین ۲۰ به عنوان سورفکتانت استفاده شد. بستر کاشت شامل خاک مزرعه، کود دامی و ماسه به نسبت ۱:۱:۱ بود. بذر گیاهان دارویی بادرنجبویه و ریحان از مرکز ملی ذخایر ژنتیکی و زیستی ایران تهیه شد.

در ریحان و بادرنجبویه به ترتیب ۱۴ و ۲۱ روز پس از استقرار کامل گیاه، اقدام به محلول پاشی شد. اعمال تیمارها در چین دوم برای ریحان و بادرنجبویه، ۱۴ روز پس از برداشت اول بود. به این ترتیب که در هر آزمایش به مدت چهار هفته و در هر هفته دو روز متوالی بین ساعت‌های ۱۸ تا ۲۰ به وسیله سمپاش دستی محلول پاشی شد. جهت تهیه دودآب بر مبنای روش Staden et al. (2004) Van دستگاهی بهبود یافته طراحی شد. تغییر این دستگاه به منظور کاهش اتلاف دود حاصل از گیاهان، افزایش مدت زمان ورود دود به آب، کاهش بیش‌تر دمای دود حاصل از سوخت جهت افزایش انحلال پذیری آن، افزایش سطح تماس ذرات دود با آب و به طور کلی افزایش دقت تولید محلول پایه دودآب صورت گرفت. با استفاده از این دستگاه دود ناشی از سوختن اندام‌های خشک شقایق وحشی^۱ در مرحله گل‌دهی، ابتدا از مخزنی حاوی آب مقطر تا زمان سوختن کامل ماده گیاهی عبور داده شد، به طوری که آب مقطر کاملاً به رنگ تیره و چگال درآمد (Light et al., 2005). محلول حاصل پس از عبور از کاغذ صافی نمره یک واتمن به عنوان محلول پایه در

1. *Papaver boeas*

ارزیابی کاربرد فیتوهورمون‌های رشدی و غلظت‌های مختلف دودآب بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد بیولوژیک گیاهان دارویی بادرنجبویه و ریحان

می‌کنند (Wang et al., 2017). افزایش ارتفاع گیاه در نتیجه کاربرد جیبرلیک اسید با نتایج Zhang et al. (2008) مطابقت داشت. Kulkarni et al. (2008) و هم‌چنین Kulkarni et al. (2007) افزایش ارتفاع گیاهان مورد مطالعه را تحت تیمار دودآب گزارش نمودند. جیبرلین‌ها با برهم‌کنش با سایر فیتوهورمون‌های درونی گیاه موجب افزایش کشتش دیواره سلولی از طریق هیدرولیز نشاسته به قند، کاهش پتانسیل آب سلول و در نتیجه ورود آب به درون سلول و طولیل شدن آن می‌شوند (Taiz & Zeiger, 2012; Wang et al., 2017).

چین‌های برداشت و اثر متقابل این دو قرار گرفت (جدول ۲). نتایج برش‌دهی نشان داد که در هر دو چین برداشت، تیمار محلول‌پاشی اثر معنی‌داری بر ارتفاع تاج پوشش این گیاه داشته است (جدول ۴). به این صورت که در چین اول، کاربرد جیبرلیک اسید بیش‌ترین ارتفاع تاج پوشش (۳۹/۴۴ سانتی‌متر) و در چین دوم کاربرد دودآب ۱:۵۰۰ (۷/۷) بیش‌ترین مقدار این صفت (۴۸/۳۳ سانتی‌متر) را نسبت به شاهد موجب شد (شکل ۲-a). جیبرلین‌ها نقشی کلیدی در تنظیم ارتفاع گیاهان ایفا

جدول ۱. تجزیه واریانس ویژگی‌های رشدی و عملکرد بیولوژیک ریحان

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | |
|-----------------------------|------------|----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|--------------------|---------------|-----------------------|
| | | ارتفاع ریحان | طول برگ ریحان | عرض برگ ریحان | تعداد برگ ریحان | سطح برگ ریحان | شاخص سطح برگ ریحان | وزن برگ ریحان | وزن ساقه عملکرد ریحان |
| بلوک | ۲ | ۳/۱۴ | ۷/۱۷ | ۲/۱۲ | ۰/۹۲ | ۰/۰۰۰۰۱ | ۰/۵۰ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۰۴ |
| محلول‌پاشی | ۷ | ۱۵/۲۳** | ۴۶/۸۵** | ۱۱/۶۰** | ۱۵۶/۰۱** | ۰/۰۰۰۲** | ۱۰/۰۷** | ۰/۰۱۳** | ۰/۰۰۶** |
| اشتباه a | ۱۴ | ۲/۵۵ | ۶/۷۰ | ۱/۹۲ | ۸/۴۴ | ۰/۰۰۰۰۳ | ۰/۱۳ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۳ |
| چین‌های برداشت | ۱ | ۹۳۳/۶۸** | ۷۸۵/۰۷** | ۳/۶۳ ns | ۶۸۱/۲۶** | ۰/۰۰۰۶** | ۲۴/۷۱** | ۱/۰۰۴** | ۴/۵۲۲** |
| محلول‌پاشی × چین‌های برداشت | ۷ | ۳/۱۴ ns | ۳/۴۷ ns | ۱/۱۰ ns | ۱۶/۸۳* | ۰/۰۰۰۰۲** | ۰/۸۲** | ۰/۰۰۹** | ۰/۰۰۶ s |
| بلوک × چین‌های برداشت | ۲ | ۰/۳۶ ns | ۷/۲۱ ns | ۱/۲۴ ns | ۸/۶۹ ns | ۰/۰۰۰۰۲* | ۰/۸۳* | ۰/۰۰۱ ns | ۰/۰۰۳ ns |
| اشتباه b | ۱۴ | ۴/۵۸ | ۶/۹۹ | ۱/۳۵ | ۴/۳۷ | ۰/۰۰۰۰۰۴ | ۰/۱۷ | ۰/۰۰۰۰۸ | ۰/۰۰۳ |
| ضریب تغییرات % | | ۷/۱۲ | ۷/۵۸ | ۷/۱۷ | ۸/۹۴ | ۱۰/۸۴ | ۱۰/۸۴ | ۱۵/۰۱ | ۱۵/۸۳۹ |

ns: معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی‌داری. *, **, ***: معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی‌داری.

جدول ۲. تجزیه واریانس ویژگی‌های رشدی و عملکرد بیولوژیک بادرنجبویه

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | |
|-----------------------------|------------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|
| | | ارتفاع بادرنجبویه | طول برگ بادرنجبویه | عرض برگ بادرنجبویه | تعداد برگ بادرنجبویه | سطح برگ بادرنجبویه | شاخص سطح برگ بادرنجبویه | وزن برگ بادرنجبویه | وزن ساقه عملکرد بادرنجبویه |
| بلوک | ۲ | ۵۶/۴۰ | ۳۳۰/۴۲ | ۱۲۱/۸۹ | ۰/۱۲ | ۰/۰۰۰۰۲ | ۰/۹۹ | ۰/۱۰ | ۰/۰۲ |
| محلول‌پاشی | ۷ | ۱۱۶/۵۱** | ۲۳۲/۹۲** | ۱۱۴/۶۴** | ۸۱/۸۴* | ۰/۰۰۰۱** | ۵/۲۴** | ۰/۱۲** | ۰/۰۰۹** |
| اشتباه a | ۱۴ | ۱۲/۹۹ | ۳۵/۶۶ | ۱۳/۸۲ | ۲۷/۵۷ | ۰/۰۰۰۰۱ | ۰/۷۷ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ |
| چین‌های برداشت | ۱ | ۵۸۵/۰۸** | ۵۲۱۱/۶۱** | ۷۲۹۵/۵۸** | ۴۳۱۳/۰۲** | ۰/۰۰۰۶** | ۲۶/۱۰** | ۰/۲۸** | ۰/۶۴** |
| محلول‌پاشی × چین‌های برداشت | ۷ | ۷۱/۶** | ۶۲/۴۵ ns | ۳۱/۴۴ ns | ۲۱۶/۳۵ ns | ۰/۰۰۰۰۳* | ۱/۴۹* | ۰/۰۴ ns | ۰/۰۰۵** |
| بلوک × چین‌های برداشت | ۲ | ۸۳/۹۲** | ۳۰۹/۰۵** | ۱۶۱/۱۲** | ۴/۷۹ ns | ۰/۰۰۰۰۳ ns | ۱/۲۹ ns | ۰/۰۴ ns | ۰/۰۰۶ ns |
| اشتباه b | ۱۴ | ۵/۳۹ | ۴۳/۴۴ | ۲۳/۱۷ | ۲۲/۹۷ | ۰/۰۰۰۰۱ | ۰/۴۹ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ |
| ضریب تغییرات % | | ۶/۴۸ | ۱۲/۱۲ | ۱۴/۸۸ | ۱۹/۵۶ | ۱۶/۴۱ | ۱۶/۴۱ | ۱۹/۵۶ | ۲۷/۰۶ |

ns: معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی‌داری. *, **, ***: معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی‌داری.

جدول ۳. مقایسه میانگین ویژگی‌های رشدی و عملکرد بیولوژیک ریحان و بادرنجبویه

| تیمارها | سطوح تیمارها | طول برگ ریحان (mm) | عرض برگ ریحان (mm) | وزن ساقه ریحان (gr) | ارتفاع ریحان (cm) | عملکرد ریحان (gr.m ²) | طول برگ بادرنجبویه (mm) | عرض برگ بادرنجبویه (mm) | تعداد برگ بادرنجبویه | وزن برگ بادرنجبویه (gr) | عملکرد بادرنجبویه (gr.m ²) |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|--|
| شاهد | | ۲۹/۱۴ | ۱۴/۶۳ | - | ۲۷/۸۸ | ۳۱۴/۹۹ | ۴۶/۰۲ | ۲۵/۸۶ | ۱۸/۶۱ | ۰/۴۳ | ۳۰۸/۵۷ |
| دودآب ۱:۵۰۰۰ (v/v) | | ۳۲/۷۲ | ۱۵/۰۳ | - | ۲۷/۶۸ | ۳۱۹/۹۳ | ۴۸/۲۴ | ۲۹/۵۶ | ۲۲/۵۰ | ۰/۶۱ | ۳۹۱/۴۸ |
| دودآب ۱:۱۰۰۰ (v/v) | | ۳۴/۲۷ | ۱۵/۲۳ | - | ۲۹/۳۵ | ۳۸۸/۶۱ | ۵۰/۱۲ | ۲۸/۲۸ | ۲۵/۵۰ | ۰/۶۵ | ۳۹۱/۳۴ |
| دودآب ۱:۵۰۰ (v/v) | | ۳۵/۵۷ | ۱۶/۳۱ | - | ۳۱/۲۲ | ۴۳۱/۳۴ | ۵۸/۰۲ | ۳۳/۴۶ | ۲۳/۲۸ | ۰/۷۱ | ۴۲۰/۹۱ |
| دودآب ۱:۱۰۰ (v/v) | | ۳۶/۷۵ | ۱۵/۴۶ | - | ۳۱/۱۴ | ۴۸۰/۸۶ | ۵۹/۰۲ | ۳۶/۷۹ | ۲۷/۶۱ | ۰/۸۷ | ۴۳۱/۳۲ |
| سایتوکینین | | ۳۵/۹۶ | ۱۷/۱۰ | - | ۳۱/۳۸ | ۳۶۶/۳۳ | ۶۳/۲۷ | ۳۸/۰۴ | ۳۰/۸۳ | ۰/۸۸ | ۴۲۸/۷۸ |
| جیبرلین | | ۳۷/۵۸ | ۱۸/۷۶ | - | ۳۱/۶۸ | ۳۸۸/۴۰ | ۵۹/۰۸ | ۳۵/۸۰ | ۲۵/۲۲ | ۰/۷۳ | ۴۲۱/۰۰ |
| اکسین | | ۳۶/۹۵ | ۱۷/۱۱ | - | ۲۹/۹۶ | ۳۳۶/۷۹ | ۵۱/۲۱ | ۳۰/۹۴ | ۲۲/۵۰ | ۰/۶۶ | ۳۵۰/۹۲ |
| LSD | | ۳/۲۰ | ۰/۷۱ | - | ۱/۹۸ | ۸۵/۱۰ | ۷/۳۹ | ۴/۶۰ | ۶/۵۰ | ۰/۱۸ | ۵۷/۵۹ |
| اول | چین‌های برداشت دوم | ۳۰/۸۲ | - | ۰/۰۵ | ۲۵/۶۳ | ۳۰۱/۸۱ | ۴۳/۹۵ | ۲۰/۰۱ | ۱۵/۰۲ | ۰/۶۱ | ۲۱۸/۷۷ |
| دوم | | ۳۸/۹۱ | - | ۰/۶۶ | ۳۴/۴۵ | ۴۵۵/۰۱ | ۶۴/۷۹ | ۴۴/۶۷ | ۳۳/۹۸ | ۰/۷۷ | ۵۶۷/۳۲ |
| LSD | | ۱/۶۳ | - | ۰/۰۳ | ۱/۳۲ | ۲۹/۲۷ | ۴/۰۸ | ۲/۹۸ | ۲/۹۶ | ۰/۰۸ | ۳۶/۶۸ |

میانگین‌های هر ستون که دارای حروف مشترکند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ۴. تجزیه واریانس برش‌دهی اثر سطوح مختلف محلول‌پاشی در هر چین

| چین‌های برداشت | درجه آزادی | شاخص سطح برگ ریحان | تعداد برگ ریحان | وزن برگ ریحان | میانگین مربعات | | |
|----------------|------------|--------------------|-----------------|---------------|-------------------------|---------------------|-------------------|
| | | | | | شاخص سطح برگ بادرنجبویه | وزن ساقه بادرنجبویه | ارتفاع بادرنجبویه |
| چین اول | ۷ | ۳/۳۸** | ۴۸/۵۰** | ۰/۰۰۰۱ns | ۴/۰۴** | ۰/۰۱ ns | ۴۳/۶۵* |
| چین دوم | ۷ | ۷/۵۰** | ۱۲۴/۳۴** | ۰/۰۲** | ۲/۶۹** | ۰/۱۳** | ۱۴۴/۵۴** |

ns، *، ** و *** معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی‌داری.

۳.۲. طول و عرض برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح محلول‌پاشی به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0/01$) طول و عرض برگ هر دو گیاه ریحان و بادرنجبویه را تحت تأثیر قرار داد (جدول‌های ۱ و ۲). بیش‌ترین مقدار طول و عرض برگ

ریحان (به‌ترتیب ۳۷/۵۸ و ۱۸/۷۶ میلی‌متر) در تیمار جیبرلیک اسید و کم‌ترین مقدار این صفات (به‌ترتیب ۲۹/۱۴ و ۱۴/۶۳ میلی‌متر) در تیمار شاهد مشاهده شد. در افزایش طول برگ ریحان تیمار جیبرلیک اسید تفاوت معنی‌داری با اکسین، سایتوکینین و غلظت‌های ۱:۵۰۰ و

در مطالعه Kulkarni et al. (2007) دودآب ۱:۵۰۰ (v/v) و کاریکینولید در غلظت 10^{-7} مولار موجب افزایش تعداد برگ و سطح برگ گیاهچه‌های بامیه^۱ و گوجه‌فرنگی^۲ شد. افزایش تعداد برگ تحت تیمار سایتوکینین نیز با نتایج Sosnowski et al. (2017) مطابقت دارد.

۴. سطح برگ تک بوته

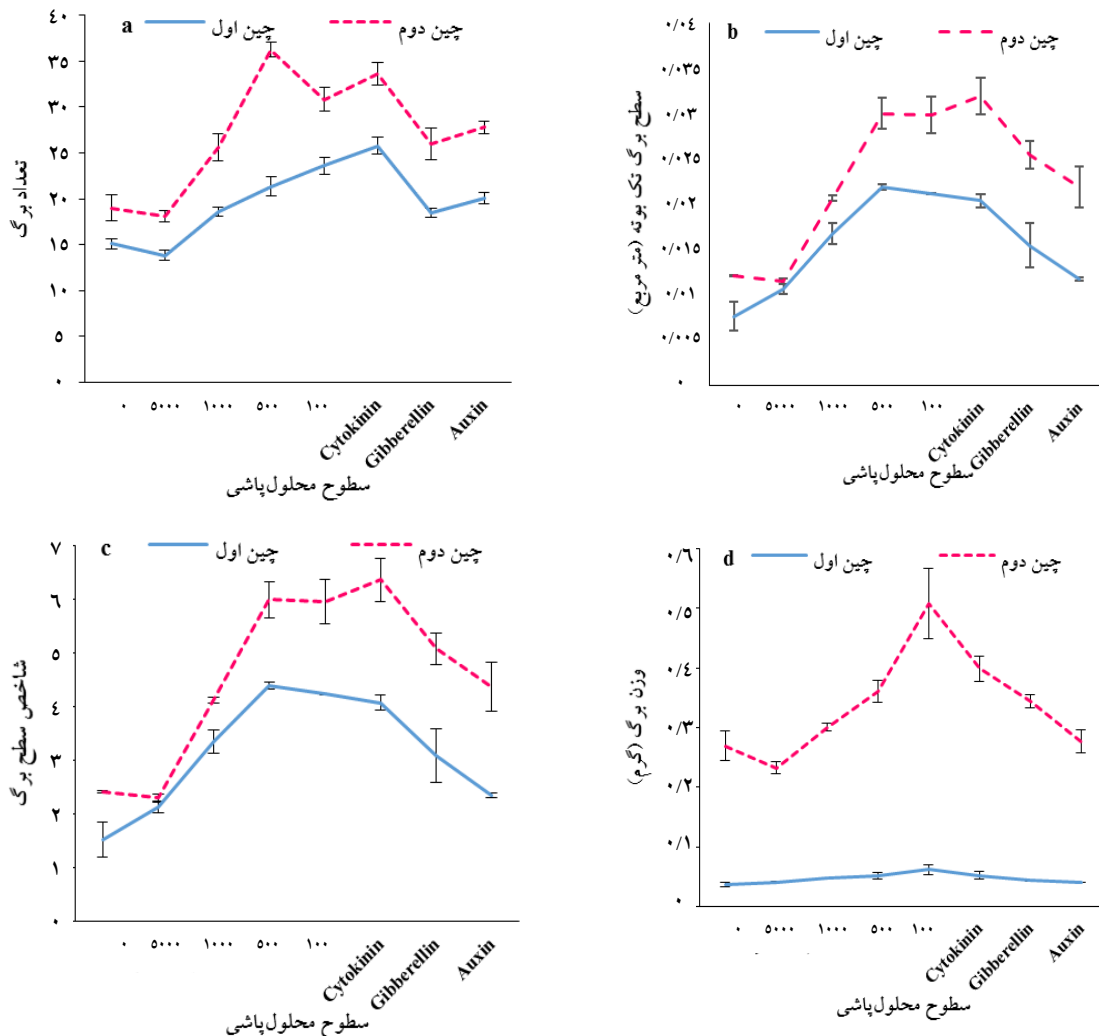
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطح برگ ریحان به طور معنی‌داری ($P \leq 0/01$) تحت تأثیر سطوح محلول‌پاشی، چین‌های برداشت و اثر متقابل این دو قرار گرفت (جدول ۱). نتایج برش‌دهی نشان داد که در هر دو چین برداشت، تیمار محلول‌پاشی اثر معنی‌داری بر سطح برگ ریحان داشته است (جدول ۴). به این صورت که در چین اول، کاربرد دودآب ۱:۵۰۰ (v/v) موجب تولید بیش‌ترین سطح برگ (به ترتیب ۰/۰۲۱۹ مترمربع با شاخص سطح برگ ۴/۳۸) نسبت به شاهد شد. در چین دوم کاربرد سایتوکینین موجب تولید بیش‌ترین سطح برگ (۰/۰۳۱۸ مترمربع با شاخص سطح برگ ۶/۳۷) نسبت به شاهد شد (شکل ۱-b,c). سطح برگ بادرنجبویه به طور معنی‌داری تحت تأثیر چین‌های برداشت ($P \leq 0/01$)، سطوح محلول‌پاشی ($P \leq 0/01$) و اثر متقابل این دو عامل ($P \leq 0/05$) قرار گرفت (جدول ۲). نتایج برش‌دهی نشان داد که در هر دو چین برداشت، تیمار محلول‌پاشی اثر معنی‌داری بر سطح برگ بادرنجبویه داشته است (جدول ۴). به این صورت که در چین اول، کاربرد اکسین موجب تولید بیش‌ترین سطح برگ تک‌بوته (۰/۰۲۶۴ مترمربع با شاخص سطح برگ ۵/۲۹) نسبت به شاهد شد. در چین دوم کاربرد دودآب ۱:۱۰۰ (v/v) موجب تولید بیش‌ترین سطح برگ تک‌بوته (۰/۰۳۱۲ مترمربع با شاخص سطح برگ ۶/۲۵) نسبت به شاهد شد (شکل ۲-b,c).

۱:۱۰۰ (v/v) دودآب نداشت. هم‌چنین طول برگ‌های این گیاه به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0/01$) در چین دوم بیش از چین اول بود (جدول ۳). در گیاه بادرنجبویه مشاهده شد که بیش‌ترین طول و عرض برگ (به ترتیب ۵۵/۷۷ و ۳۸/۰۴ میلی‌متر) از تیمار سایتوکینین و کم‌ترین مقادیر این صفت (به ترتیب ۳۸/۵۲ و ۲۵/۸۶ میلی‌متر) از تیمار شاهد حاصل شد. تیمار جیبرلیک اسید و غلظت‌های ۱:۵۰۰ و ۱:۱۰۰ (v/v) دودآب در این گیاه تفاوت معنی‌داری با تیمار سایتوکینین نداشتند و موجب افزایش طول و عرض برگ شدند. طول برگ در چین اول و دوم بادرنجبویه به ترتیب ۴۳/۹۵ و ۶۴/۷۹ میلی‌متر و عرض برگ به ترتیب ۲۰/۰۱ و ۴۴/۶۷ میلی‌متر بود (جدول ۳).

۳. تعداد برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تعداد برگ گیاه ریحان به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0/01$) تحت تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی، چین‌های برداشت و اثر متقابل این دو قرار گرفت (جدول ۱). نتایج برش‌دهی نشان داد که در چین دوم، تیمار محلول‌پاشی اثر معنی‌داری بر تعداد برگ ریحان داشته است (جدول ۴). در چین دوم کاربرد دودآب ۱:۵۰۰ (v/v) موجب تولید بیش‌ترین تعداد برگ (۳۶/۲۲) نسبت به شاهد شد (شکل ۱-a). تعداد برگ بادرنجبویه نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر هر دو عامل محلول‌پاشی و چین‌های برداشت (به ترتیب $P \leq 0/05$ و $P \leq 0/01$) قرار گرفت (جدول ۲). بیش‌ترین تعداد برگ از محلول‌پاشی با سایتوکینین (۳۰/۸۳) و کم‌ترین آن از شاهد (۱۸/۶۱) حاصل شد. افزایش تعداد برگ در بادرنجبویه تحت تیمار سایتوکینین تفاوت معنی‌داری با دودآب ۱:۱۰۰ (v/v) و جیبرلیک اسید نداشت. تعداد برگ در چین اول و دوم به ترتیب برابر با ۱۵/۰۲ و ۳۳/۹۸ عدد بود (جدول ۳).

1. *Abelmoschus esculentus*
2. *Solanum lycopersicum*

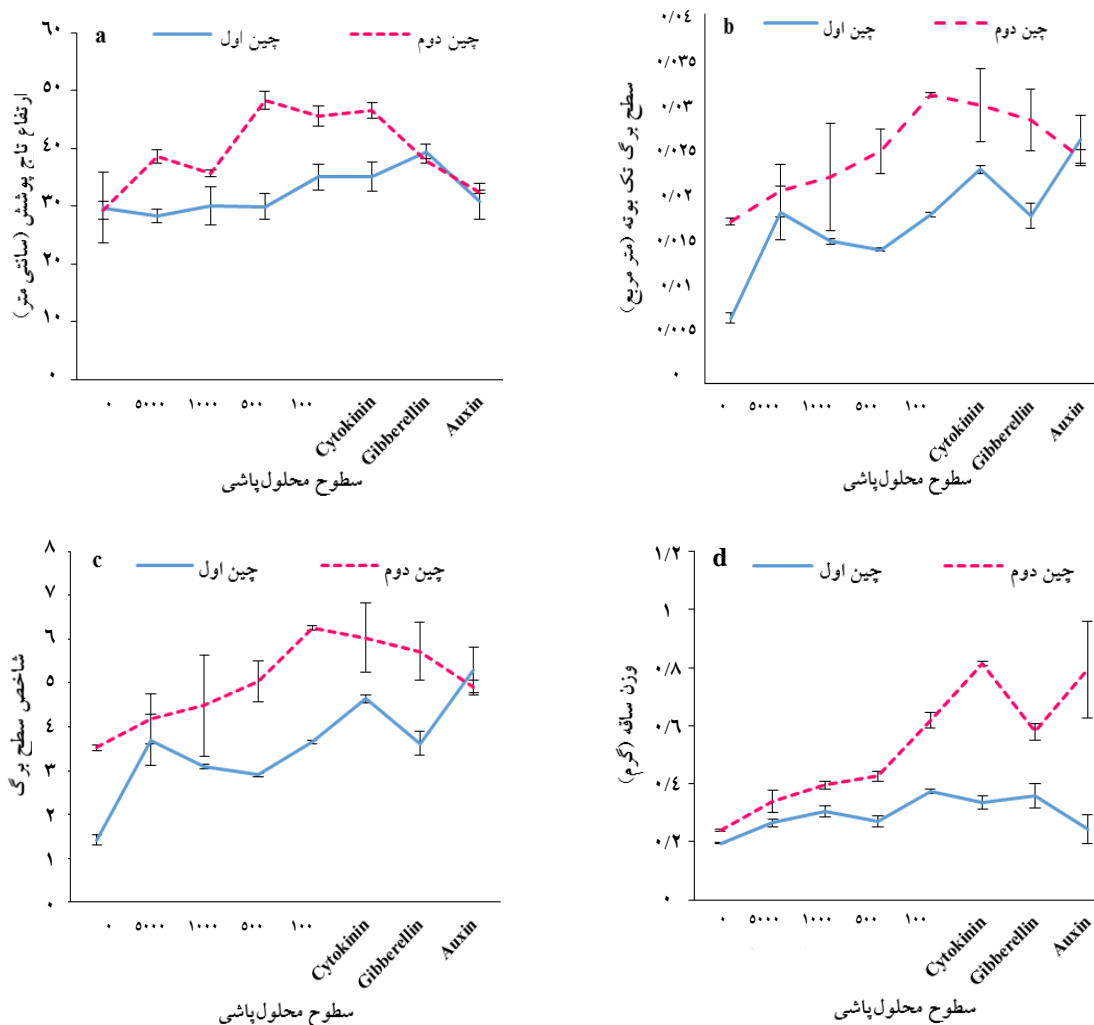


شکل ۱. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف محلول پاشی بر ویژگی‌های رشدی ریحان در هر چین (a: تعداد برگ، b: سطح برگ تک بوته، c: شاخص سطح برگ و d: وزن برگ)

دامنه هم‌پوشانی افزایش این صفات توسط سطوح مختلف محلول پاشی اندکی با صفت تعداد برگ متفاوت است، ولی در نهایت در هر دو گیاه فیتوهورمون سائتوکینین موجب افزایش سطح برگ در واحد سطح شده است که تفاوت معنی‌داری با غلظت ۱:۱۰۰ (v/v) دودآب ندارد و با نتایج Alizadeh *et al.* (2010) مطابقت دارد. افزایش سطح برگ با کاربرد دودآب نسبت به شاهد نیز با نتایج Abdelgadir *et al.* (2013) و Kulkarni *et al.* (2008) مطابقت دارد.

سطح برگ گیاه برابندی از سه فاکتور طول، عرض و تعداد برگ است. در ریحان فیتوهورمون جیبرلین و در بادرنجبویه فیتوهورمون سائتوکینین موجب تولید برگ‌هایی با طول و عرض بیش‌تر نسبت به شاهد شده‌اند، ولی مشاهده می‌شود که به‌صورت متناوب بین این فیتوهورمون‌ها با هم و با غلظت‌های ۱:۵۰۰ و ۱:۱۰۰ (v/v) دودآب اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود و کاربرد این مواد همگی موجب افزایش طول و عرض برگ‌ها شده است. اگرچه

ارزیابی کاربرد فیتوهورمون‌های رشدی و غلظت‌های مختلف دودآب بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد بیولوژیک گیاهان دارویی بادرنجبویه و ریحان



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف محلول‌پاشی بر ویژگی‌های رشدی بادرنجبویه در هر چین (a: ارتفاع تاج پوشش، b: سطح برگ تک بوته، c: شاخص سطح برگ و d: وزن ساقه)

دوم موجب تولید بیش‌ترین وزن برگ تک‌بوته (به‌ترتیب ۰/۱۸ و ۰/۵۰ گرم) نسبت به شاهد شد (شکل d-۱). وزن برگ بادرنجبویه به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0.01$) تحت تأثیر سطوح مختلف محلول‌پاشی و چین‌های برداشت قرار گرفت (جدول ۲). بیش‌ترین وزن برگ در بادرنجبویه (۰/۸۸۸ گرم) مربوط به تیمار سایتوکینین و کم‌ترین مقدار آن (۰/۴۳۰ گرم) مربوط به تیمار شاهد بود. افزایش وزن برگ تحت تیمار سایتوکینین تفاوت معنی‌داری با مقدار

۳.۵. وزن خشک برگ و ساقه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف محلول‌پاشی، چین‌های برداشت و اثر متقابل این دو به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0.01$) وزن خشک برگ ریحان را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۱). نتایج برش‌دهی نشان داد که در هر دو چین برداشت، تیمار محلول‌پاشی اثر معنی‌داری بر وزن برگ تک‌بوته داشته است (جدول ۴). به این صورت که کاربرد دودآب ۱:۱۰۰ (v/v) در چین اول و

(جدول ۲). چین دوم این گیاه دارای بیشترین مقدار ماده خشک (۵۶۷/۳۲ گرم در مترمربع) و چین اول دارای کمترین مقدار آن (۲۱۸/۷۷ گرم بر مترمربع) بود. بیشترین مقدار زیست توده (۴۳۱/۳۲ گرم در مترمربع) مربوط به محلول پاشی با دودآب ۱:۱۰۰ (v/v) بود که البته از نظر آماری تفاوت معنی داری با دودآب ۱:۵۰۰ (v/v) و فیتوهورمون‌های سایتوکینین و جیبرلیک اسید نداشت. کمترین مقدار زیست توده (۳۰۸/۵۷ گرم بر مترمربع) نیز مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۳).

در این مطالعه وزن برگ، وزن ساقه و در نهایت عملکرد زیست توده ریحان، هم‌چنین وزن برگ و عملکرد زیست توده بادرنجبویه به‌طور معنی داری تحت محلول پاشی با دودآب ۱:۱۰۰ (v/v) و سایتوکینین افزایش یافتند که با سایر پژوهش‌ها مطابقت دارد. در بامیه و گوجه‌فرنگی (Kulkarni et al., 2007)، سورگوم^۱ (Kahn et al., 2014)، گندم^۲ (Aslam et al., 2015) و برنج^۳ (Jamil et al., 2014) افزایش وزن خشک گیاه با تیمار دودآب و ترکیبات مؤثره آن گزارش شده است. نقش سایتوکینین‌ها نیز در بسیاری از فرایندهای مهم نمو گیاهان از طریق مصرف سایتوکینین خارجی به اثبات رسیده است (Ashraf et al., 2008; Polanská et al., 2006; Nordström et al., 2004). سایتوکینین‌ها باعث القای تقسیم سلولی در اندام‌های هوایی، سنتز پروتئین‌ها، تشکیل کلروپلاست، بهبود فتوسنتز و در نهایت افزایش زیست توده می‌شوند (Jana et al., 2013). هم‌چنین موجب تحرک مواد فتوسنتزی در داخل گیاه شده و مواد به سمتی که غلظت این هورمون زیاد است حرکت می‌کنند (Taiz & Zeiger, 2012). لذا محلول پاشی شاخساره با فیتوهورمون سایتوکینین موجب ایجاد مخزنی

این صفت تحت دودآب ۱:۱۰۰ (v/v) و جیبرلین نداشت. وزن برگ در چین‌های اول و دوم به ترتیب برابر با ۰/۶۱۹ و ۰/۷۷۲ گرم بود (جدول ۳).

سطوح مختلف محلول پاشی وزن خشک ساقه ریحان را تحت تأثیر معنی دار قرار نداد و این صفت تنها تحت تأثیر (P≤۰/۰۱) چین‌های برداشت قرار گرفت (جدول ۱). به طوری که بیشترین مقدار وزن ساقه (۰/۶۶۵ گرم) از چین دوم و کمترین مقدار آن (۰/۰۵۱ گرم) از چین اول به دست آمد (جدول ۳). وزن ساقه بادرنجبویه به‌طور معنی داری (P≤۰/۰۱) تحت تأثیر سطوح محلول پاشی، چین‌های برداشت و اثر متقابل این دو قرار گرفت (جدول ۲). نتایج برش‌دهی نشان داد که در چین دوم، تیمار محلول پاشی اثر معنی داری بر وزن ساقه بادرنجبویه داشته است (جدول ۴). در چین دوم، کاربرد سایتوکینین موجب تولید بیشترین وزن ساقه تک بوته (۰/۸۱ گرم) نسبت به شاهد شد (شکل ۲-d).

۶.۳. عملکرد زیست توده

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تولید زیست توده در گیاه ریحان به‌طور معنی داری (P≤۰/۰۱) تحت تأثیر سطوح محلول پاشی و چین‌های برداشت قرار گرفت (جدول ۱). چین دوم ۵۰ درصد زیست توده بیشتری نسبت به چین اول داشت. بیشترین مقدار زیست توده (۴۸۰/۸۶ گرم در مترمربع) نیز مربوط به محلول پاشی با دودآب ۱:۱۰۰ (v/v) بود و تفاوت معنی داری با دودآب ۱:۵۰۰ (v/v) نداشت. تیمار شاهد نیز کمترین مقدار زیست توده (۳۱۴/۹۹ گرم در مترمربع) را تولید نمود که از نظر آماری تفاوت معنی داری با تیمارهای اکسین و دودآب ۱:۵۰۰ (v/v) نداشت (جدول ۳). چین‌های برداشت و سطوح محلول پاشی تفاوت معنی داری (P≤۰/۰۱) در تولید زیست توده بادرنجبویه ایجاد نمودند

1. *Sorghum bicolor* (L.) Moench
2. *Triticum aestivum* L.
3. *Oryza sativa*

موجب افزایش سرعت تعرق و هدایت روزنه‌ای می‌شود (Zhou et al., 2013). افزایش تعرق سرعت انتقال آب و شیره خام را در آوند چوبی افزایش می‌دهد. سایتوکینین فیتوهورمونی است که در آوند چوبی به سمت شاخساره و مخازن متابولیک منتقل و موجب تقسیمات سلولی در شاخساره و ایجاد مخزنی قوی‌تر می‌شود (Takei et al., 2004). در نتیجه آسمیلات‌های بیش‌تری به سمت مخازن متابولیک که در گیاهان مورد مطالعه شاخساره ریحان و بادرنجبویه می‌باشد، جذب می‌شوند. این امر متعاقباً موجب بهبود فعالیت‌های بیوشیمیایی و تثبیت کربن و در نهایت افزایش مقدار فتوسنتز و وزن خشک کل گیاه می‌شود (Zhou et al., 2013).

در پژوهش ما دودآب بیش از سایر فیتوهورمون‌ها به سایتوکینین شباهت داشت و پاسخ‌هایی مشابه با آن در بادرنجبویه و ریحان ایجاد نمود. ولی جیبرلیک اسید و پس از آن اکسین نیز موجب بهبود صفات مورد ارزیابی نسبت به شاهد شدند. تحریک رشد گیاه به‌واسطه افزایش توان فتوسنتزی (Ashraf & Harris, 2013) و ناشی از افزایش سطح و ابعاد برگ (Leite et al., 2003) در مطالعات مختلفی گزارش شده است که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. جیبرلیک اسید علاوه بر افزایش معنی‌دار ارتفاع تاج‌پوشش در هر دو گیاه مورد مطالعه، در اکثر صفات هم‌چون افزایش ابعاد، تعداد و سطح برگ و هم‌چنین افزایش وزن زیست‌توده، تفاوت معنی‌داری با سایتوکینین و غلظت‌های ۱:۱۰۰ و ۱:۵۰۰ دودآب (v/v) نداشت و موجب افزایش آن‌ها نسبت به شاهد شد. اثر جیبرلیک اسید روی رشد، فتوسنتز و فعالیت آنزیمی گزارش شده است (Hayat et al., 2001; Khan, 2003). محلول‌پاشی گیاهان خردل^۱ ۳۰ روز پس از استقرار با جیبرلیک اسید با غلظت ۱۰^{-۶} مولار موجب افزایش

قوی‌تر در بخش هوایی و افزایش جذب آسمیلات‌ها در این قسمت می‌شود.

علاوه بر سایتوکینین سایر فیتوهورمون‌های رشد نیز با اثر بر تعداد گیرنده‌ها و افزایش فعالیت آنزیم‌های بارگیری و تخلیه فلوئم جذب آسمیلات‌ها را افزایش می‌دهند. هم‌چنین هورمون‌ها به‌عنوان سویستراهای انتقال سیگنال در صورت نیاز به یک گیرنده نیز ایفای نقش می‌کنند (Sosnowski et al., 2017). دودآب دارای فعالیت شبه‌سایتوکینینی می‌باشد (Jain et al., 2008). هرچند مکانیسم این عمل هنوز مشخص نیست لیکن دودآب موجب افزایش سطح سایتوکینین درون گیاه می‌شود (Aremu et al., 2016). از طرفی ممکن است که ترکیبات مؤثر در دودآب هم‌چون کاریکینولید و سایر بوتنولیدهای فعال، مشابه با مولکول سایتوکینین عمل کنند.

دودآب علاوه بر ترکیبات بیواکتیو و ترکیبات فنولیک، حاوی عناصر زیادی از جمله نیتروژن در شکل‌های نیترات و آمونیوم می‌باشد که می‌توانند به تأمین نیتروژن گیاه کمک کنند و علاوه بر این سنتز سایتوکینین به‌وسیله نیترات (NO₃⁻) تنظیم می‌شود (Takei et al., 2004). بسیاری از مطالعات نشان می‌دهد که نیترات سنتز بسیاری از سایتوکینین‌های فعال مانند زآتین، ترانس- زآتین ربوزاید و ایزوپنتیل آدنوزین را تحریک می‌کند، در مقابل آمونیوم (NH₄⁺) فاکتوری منفی و محدودکننده سنتز سایتوکینین است (Garnica et al., 2010; Rahayu et al., 2000; Walch-Liu et al., 2005; Rahayu et al., 2001). ولی برخی مطالعات نیز نشان می‌دهد که گیاهان کشت‌شده در محلول‌های غذایی که در آن‌ها از آمونیوم به‌عنوان منبع نیتروژن استفاده می‌شود، دارای سطوح بالاتری از سایتوکینین نسبت به گیاهانی بودند که با نیترات تغذیه شده بودند (Chen et al., 1998; Mercier et al., 1997). مشاهده شده است که کاربرد دودآب

1. *Brassica juncea* (L.) Czern

می‌توانند پاسخ‌هایی مشابه با تیمار سایتوکینین و پس از آن جیبرلین در گیاه ریحان و بادرنجبویه ایجاد کنند. فیتوهورمون اکسین در حد واسطه تیمارهای مذکور و شاهد قرار گرفت. هنوز مشخص نیست که دودآب مشابه با این فیتوهورمون‌ها عمل می‌کند و یا با فیتوهورمون‌های درونی گیاه برهم‌کنش دارد و به واسطه این برهم‌کنش پاسخ‌های رشدی ایجاد می‌کند. ولی مشاهده شد که کاربرد آن می‌تواند اثراتی ماندگار هم از بعد کمی و هم از بعد کیفی (نتایج منتشر نشده است). روی ویژگی‌های مورفولوژیک و منابع درونی فیتوهورمون‌ها داشته باشد. کاربرد دودآب ۱:۱۰۰ (v/v) در این مطالعه موجب افزایش ۵۲ و ۳۹ درصدی عملکرد بیولوژیک به ترتیب در ریحان و بادرنجبویه نسبت به شاهد شد. بر این اساس می‌توان ادعا نمود که این ترکیب می‌تواند به‌عنوان یک ترکیب طبیعی و کم‌هزینه جایگزین فیتوهورمون‌های سنتزی شده و حتی می‌تواند جایگزین بخشی از نیاز محصولات زراعی و باغی به کودهای شیمیایی شود.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۶. منابع

- Abdelgadir, H. A., Kulkarni, M. G., Aremu, A. O. & Van Staden, J. (2013). Smoke-water and karrikinolide (KAR1) foliar applications promote seedling growth and photosynthetic pigments of the biofuel seed crop *Jatropha curcas* L.. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(5), 743-747. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200488>.
- Afroz, S., Mohammad, F., Hayat, S. & Siddiqui, M. H. (2006). Exogenous application of gibberellic acid counteracts the ill effect of sodium chloride in mustard. *Turkish Journal of Biology*, 29, 233-236.
- Alizadeh, O., Haghghi, B. J. & Ordoorkhani, K. (2010). The effects of exogenous cytokinin application on sink size in bread wheat (*Triticum aestivum*). *African Journal of Agricultural Research*, 5, 2893-2898.

فعالیت آنزیم کربونیک آنهیدراز، نیترات ردوکتاز، افزایش فتوستتوز خالص و افزایش محتوای کلروفیل نسبت به گیاهان شاهد شد (Afroz et al., 2006). افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز به وسیله جیبرلیک اسید موجب افزایش کارایی فتوستتوز می‌شود. نیترات ردوکتاز موجب شروع متابولیسم نیترات و متعاقباً سنتز پروتئین در گیاهان می‌شود. فعالیت نیترات ردوکتاز بسیار متغیر و وابسته به حضور فیتوهورمون‌ها می‌باشد (Hayat & Ahmad, 2003; Hayat et al., 2001). از طرفی مطالعات مختلف نشان می‌دهد که ترکیبات بیواکتیو دودآب در گیاه جایگزین الگوهای درونی جیبرلیک اسید می‌شوند (Schwachtje & Baldwin, 2004)، ولی بیش‌تر این مطالعات روی جوانه‌زنی بذر انجام شده، که در اکثر موارد دودآب به راحتی جایگزین جیبرلیک اسید مورد نیاز برای جوانه‌زنی شده است، لذا هنوز عمل دودآب به‌عنوان یک شبه‌جیبرلین در گیاهان بالغ مشخص نیست. کاربرد اکسین در این مطالعه به اندازه دودآب ۱:۱۰۰ و ۱:۵۰۰ (v/v)، سایتوکینین و جیبرلیک اسید موفقیت‌آمیز نبود ولی نسبت به شاهد و دودآب‌های ۱:۱۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰ (v/v) ابعاد و سطح برگ و هم‌چنین عملکرد بهتری را موجب شد که با نتایج Sosnowski et al. (2017) مطابقت دارد.

۴. نتیجه‌گیری

تنظیم هورمونی رشد و متابولیسم گیاهان پیچیده و نتیجه برهم‌کنش فیتوهورمون‌های مختلف است. علاوه بر فیتوهورمون‌های درون‌زاد گیاه و فیتوهورمون‌های سنتزی مشاهده شده است که ترکیبات مختلفی از جمله چند ترکیب در دود حاصل از گیاهان می‌توانند عمل فیتوهورمون‌ها را در تنظیم رشد و تمایز گیاه تقلید و به‌عنوان یک شبه‌فیتوهورمون عمل کنند. در این مطالعه مشاهده شد که غلظت‌های ۱:۱۰۰ و ۱:۵۰۰ (v/v) دودآب

- Aremu, O., Plackova, L., Novak, O., Strik, W. A., Dolezal, K. & Van Staden, J. (2016). Cytokinin profiles in ex vitro acclimatized *Eucomis autumnalis* plants pre-treated with smoke-derived karrikinolide. *Plant Cell Reports*, 35, 227-238. doi: 10.1007/s00299-015-1881-y.
- Ashraf, M. & Harris, P. (2013). Photosynthesis under stressful environments: an overview. *Photosynthetica*, 51, 163-190. https://doi.org/10.1007/s11099-013-0021-
- Ashraf, M., Athar, H., Harris, P. & Kwon, T. (2008). Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. *Advances in Agronomy*, 97, 45-110. DOI: 10.1016/S0065-2113(07)00002-8
- Aslam, M. M., Jamil, M., Khaton, A., El-Hendawy, S. E., Al-Suhaibani, N. A., Shakir, S. K., Malook, I. & Rehman, S. (2015). Does weeds-derived smoke improve plant growth of wheat? *Journal of Bio-Molecular Sciences*, 3(2), 86-96.
- Chen, J. G., Cheng, S. H., Cao, W. & Zhou, X. (1998). Involvement of endogenous plant hormones in the effect of mixed nitrogen source on growth and tillering of wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 21, 87-97. https://doi.org/10.1080/01904169809365385.
- Chiwocha, S. D., 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, 252-256. DOI:10.1016/j.plantsci.2009.06.007.
- Chumpookam, J., Lin, H., Shiesh, C. & Ku, K. (2012). Effect of smoke-water on seed germination and resistance to *Rhizoctonia Solani* inciting papaya damping-off. *Horticulture NCHU*, 34(1), 13-29. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.10.1453.
- Dixon, K., Merritt, D., Flematti, G. & Ghisalberti, E. (2009). Karrikinolide—a phytoactive compound derived from smoke with applications in horticulture, Ecological Restoration and Agriculture. *Proceedings of the VI International Symposium on New Floricultural Crops*, 813, 155-170. DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.813.20.
- Flematti, G. R., Waters, M. T., Scaffidi, A., Merritt, D. J., Ghisalberti, E. L. Dixon, K. W. & Smith, S. M. (2013). Karrikin and cyanohydrin smoke signals provide clues to new endogenous plant signaling compounds. *Molecular Plant*, 6(1), 29-37. https://doi.org/10.1093/mp/sss132.
- Garnica, M., Houdusse, F., Zamarreño, A. M. & Garcia-Mina, J. M. (2010). The signal effect of nitrate supply enhances active forms of cytokinins and indole acetic content and reduces abscisic acid in wheat plants grown with ammonium. *Journal of Plant Physiology*, 167, 1264-1272. doi: 10.1016/j.jplph.2010.04.013.
- Govindaraj, M., Masilamani, P., Alex Albert, V., and Bhaskaran, M. (2016). Plant derived smoke stimulation for seed germination and enhancement of crop growth: A review. *Agricultural Reviews*, 37(2), 78-100. DOI: 10.18805/ar.v37i2.10735.
- Hayat, S. & Ahmad, A. (2003). Soaking seeds of *Lens culinaris* with 28-homobrassinolide increased nitrate reductase activity and grain yield in the field in India. *Annals of Applied Biology*, 143, 121-124. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2003.tb00276.x.
- Hayat, S., Ahmad, A., Mobin, M., Fariduddin, Q. & Azam, Z. (2001). Carbonic anhydrase, photosynthesis, and seed yield in mustard plants treated with phytohormones. *Photosynthetica*, 39, 111-114. https://doi.org/10.1023/A:1012456205819.
- Jain, N., Stirk, W. A. & Van Staden, J. (2008). Cytokinin-and auxin-like activity of a butenolide isolated from plant-derived smoke. *South African Journal of Botany*, 74, 327-331. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2007.10.008.
- Jamil, M., Kanwal, M., Aslam, M. M., Kahn, S. U., Malook, I., Tu, J. & Rehman, S. U. (2014). Effect of plant-derived smoke priming on physiological and biochemical characteristics of rice under salt stress condition. *Australian Journal of Crop Science*, 8(2), 159-170.
- Jana, S., Sivanesan, I. & Jeong, B. R. (2013). Effect of cytokinins on in vitro multiplication of *Sophora tonkinensis*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 3, 549-553. https://doi.org/10.1016/S2221-1691(13)60111-2
- Kahn, P., Rehman, S., Jamil, M., Irfan, S., Waheed, M. A., Aslam, M. M., Kanwal, M. & Shakir, S. K. (2014). Alleviation of Boron stress through plant derived smoke extracts in Sorghum bicolor. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 10(3), 153-165.
- Khan, N. (2003). Comparative effect of modes of gibberellic acid application on photosynthetic biomass distribution and productivity of rapeseed-mustard. *Physiology And Molecular Biology Of Plants*, 9, 141-145.
- Kulkarni, M. G., Ascough, G. D. & Van Staden, J. (2007). Effects of foliar applications of smoke-water and a smoke-isolated butenolide on seedling growth of okra and tomato. *Horticultural Science* 42, 179-182. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.1.179.
- Kulkarni, M. G., Ascough, G. D. & Van Staden, J. (2008). Smoke-water and a smoke-isolated butenolide improve growth and yield of tomatoes under greenhouse conditions. *Horticultural Technology*, 18, 449-454. https://doi.org/10.21273/HORTTECH.18.3.449
- Leite, V. M., Rosolem, C. A. & Rodrigues, J. D. (2003). Gibberellin and cytokinin effects on soybean growth. *Scientia Agricola*, 60, 537-541. http://dx.doi.org/10.1590/S0103-

- 90162003000300019.
- Light, M. E., Burger, B. V., Staerk, D., Kohout, L. & Van Staden J. (2010). Butenolides from plant-derived smoke: natural plant-growth regulators with antagonistic actions on seed germination. *Journal of Natural Products*, 73, 267-269. <https://doi.org/10.1021/np900630w>
- Light, M. E., Burger, B. V. & Van Staden, J. (2005). Formation of a seed germination promoter from carbohydrates and amino acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 5936-5942. <https://doi.org/10.1021/jf050710u>.
- Mercier, H., Kerbaudy, G., Sotta, B. & Miginiac, E. (1997). Effects of NO_3^- , NH_4^+ and urea nutrition on endogenous levels of IAA and four cytokinins in two epiphytic bromeliads. *Plant, Cell and Environment*, 20, 387-392. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-72.x>.
- Nair, J., Pošta, M., Papenfus, H., Munro, O., Beier, P. & Van Staden, J. (2014). Synthesis, X-ray structure determination and germination studies on some smoke-derived karrikins. *South African Journal of Botany*, 91, 53-57. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2013.12.003>.
- 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, 107-130. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042811-105545.
- Nordström, A., Tarkowski, P., Tarkowska, D., Norbaek, R., Åstot, C., Dolezal, K. & Sandberg, G. (2004). Auxin regulation of cytokinin biosynthesis in *Arabidopsis thaliana*: a factor of potential importance for auxin-cytokinin-regulated development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101, 8039-8044. DOI: 10.1073/pnas.0402504101.
- Polanská, L., Vičánková, A., Nováková, M Malbeck, J., Dobrev, P. I., Brzobohatý, B., Vaňková, R. & Macháčková, I. (2006). Altered cytokinin metabolism affects cytokinin, auxin, and abscisic acid contents in leaves and chloroplasts, and chloroplast ultrastructure in transgenic tobacco. *Journal of Experimental Botany*, 58, 637-649. DOI: 10.1093/jxb/erl235.
- Rahayu, Y., Walch-Liu, P., Neumann, G., Wirén, N. V., Römheld, V. & Bangerth, F. (2001). Effects of long-term and short-term supply of NO_3^- or NH_4^+ on Cytokinin levels and leaf expansion rate in tomato (*Lycopersicon esculentum* L. cv. Moneymaker). *Journal of Plant Nutrition*, 134-135. https://doi.org/10.1007/0-306-47624-X_64.
- Rahayu, Y. S., Walch-Liu, P., Neumann, G., Römheld, V., Von Wirén, N. & Bangerth, F. (2005). Root-derived cytokinins as long-distance signals for NO_3^- -induced stimulation of leaf growth. *Journal of Experimental Botany*, 56, 1143-1152. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri107>.
- Schwachtje, J. & Baldwin, I. T. (2004). Smoke exposure alters endogenous gibberellin and abscisic acid pools and gibberellin sensitivity while eliciting germination in the post-fire annual, *Nicotiana attenuata*. *Seed Science Research*, 14, 51-60. DOI: <https://doi.org/10.1079/SSR2003154>.
- Sosnowski, J., Malinowska, E., Jankowski, K., Król, J. & Redzik, P. (2017). An estimation of the effects of synthetic auxin and cytokinin and the time of their application on some morphological and physiological characteristics of *Medicago x varia* T. Martyn. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(1), 66-73. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.023>.
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2012). *Plant Physiology*. Sunderland, Massachusetts U.S.A. Pp. 461-517.
- Takei, K., Ueda, N., Aoki, K., Kuromori, T., Hirayama, T., Shinozaki, K., Yamaya, T. & Sakakibara, H. (2004). AtIPT3 is a key determinant of nitrate-dependent cytokinin biosynthesis in *Arabidopsis*. *Plant and Cell Physiology*, 45, 1053-1062. DOI:10.1093/pcp/pch119.
- Van Staden, J., Jäger, A. K., Light, M. E., Burger, B. V., Brown, N. C. & Thomas, T. H. (2004). Isolation of the major germination cue from plant-derived smoke. *South African Journal of Botany*, 70, 654-659. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)30206-4](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)30206-4).
- Walch-Liu, P., Neumann, G., Bangerth, F. & Engels, C. (2000). Rapid effects of nitrogen form on leaf morphogenesis in tobacco. *Journal of Experimental Botany*, 51, 227-237. doi.org/10.1093/jexbot/51.343.227
- Wang, Y., Zhao, J., Lu, W. & Deng, D. (2017). Gibberellin in plant height control: old player, new story. *Plant Cell Reports*, 36, 391-398. doi: 10.1007/s00299-017-2104-5.
- Zhang, Y., Zhu, Y., Peng, Y., Yan, D., Li, Q., Wang, J., Wang, L. & He, Z. (2008). Gibberellin homeostasis and plant height control by EUI and a role for gibberellin in root gravity responses in rice. *Cell Research*, 18(3), 412-421. DOI: 10.1038/cr.2008.28.
- Zhou, J., Fang, L., Wang, X., Guo, L. & Huang, L. (2013). Effects of smoke-water on photosynthetic characteristics of *Isatis indigotica* seedlings. *Sustainable Agriculture Research*, 2(2), 24-28. DOI: 10.5539/sar.v2n2p24.