

ارزیابی صفات مورفوفیزیولوژیکی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در پاسخ به محلول پاشی پوتریسین و ۲۴-اپی براسینولید تحت تنش کم آبی

فرشته دارابی^۱، نصرت‌اله عباسی^{۲*} و محمد جواد زارع^۳

۱- دانش‌آموخته دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

پست الکترونیک: abbasinosrat@gmail.com

۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

تاریخ پذیرش: فروردین ۱۴۰۰

تاریخ اصلاح نهایی: اسفند ۱۳۹۹

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۹

چکیده

آزمایشی با هدف بررسی نقش پوتریسین و ۲۴-اپی براسینولید، بر تغییرات مورفوفیزیولوژیکی در تحمل به کمبود آب در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام در سال‌های زراعی ۹۸-۱۳۹۶ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی در سه سطح (۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) در کرت‌های اصلی، محلول پاشی پوتریسین در سه سطح (Put₀: صفر، Put₁: ۰/۵ و Put₂: ۲ میلی‌مولار) و محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید در سه سطح (Br₀: صفر، Br₁: ۰/۵ و Br₂: ۲ میکرومولار) به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی اجرا گردید. نتایج نشان داد که برهم‌کنش اثرهای چندگانه سال، تنش خشکی، پوتریسین و ۲۴-اپی براسینولید تأثیر معنی‌داری بر صفات کلروفیل a، کلروفیل b و درصد اسانس ریحان گذاشت؛ به طوری که در هر دو سال آزمایش، محلول پاشی با ۲ میلی‌مولار پوتریسین و ۲ میکرومولار ۲۴-اپی براسینولید در همه سطوح تنش خشکی به ویژه ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، سبب افزایش بیشتر این صفات شد و این افزایش در سال اول بیشتر از سال دوم بود. تیمار آبیاری مطلوب (۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) همراه با کاربرد غلظت ۲ میلی‌مولار پوتریسین و ۰/۵ میکرومولار ۲۴-اپی براسینولید و تیمارهای تنش خشکی (۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) همراه با کاربرد غلظت ۲ میلی‌مولار پوتریسین و با ۲ میکرومولار ۲۴-اپی براسینولید تعداد برگ و شاخه فرعی بیشتری را داشتند. نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی سهم مهمی بر کاهش فاکتورهای اساسی در رشد ریحان دارد. به طور کلی، طبق نتایج به دست آمده، مصرف غلظت ۲ میلی‌مولار پوتریسین همراه با ۲ میکرومولار ۲۴-اپی براسینولید برای بهبود فعالیت‌های فیزیولوژیکی و افزایش میزان اسانس و کاربرد توأم ۲ میلی‌مولار پوتریسین و ۰/۵ میکرومولار ۲۴-اپی براسینولید جهت افزایش عملکرد دانه ریحان در شرایط تنش خشکی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پوتریسین، درصد اسانس، ریحان (*Ocimum basilicum* L.)، کلروفیل، محلول پاشی، گیاه دارویی، تنش خشکی.

مقدمه

ریحان (*Ocimum basilicum* L.) گیاهی یک‌ساله و متعلق به تیره نعناعیان است که حاوی ترکیب‌های فنلی می‌باشد و از اسانس آن در صنایع مختلف غذایی، دارویی و آرایشی-بهداشتی استفاده می‌شود (Rostami *et al.*, 2019). یکی از مهمترین محدودیت‌های محیطی که بر بسیاری از پاسخ‌های فیزیولوژیکی، مولکولی و سلولی گیاه تأثیر می‌گذارد تنش خشکی می‌باشد، به‌نحوی که قرار گرفتن گیاهان در معرض تنش خشکی سبب ایجاد انواع اختلالات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی می‌گردد (Parmoon *et al.*, 2019). برای افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی، از برخی روش‌ها مانند کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های رشد استفاده می‌گردد (Reis *et al.*, 2016). پلی‌آمین‌ها (پوتریسین، اسپرمین و اسپرمیدین) ترکیب‌های چند منظوره پلی‌کاتیونیک از دسته کربوهیدرات‌های آلیفاتیک با وزن مولکولی کم و ساختار زنجیره‌ای بوده و در تنظیم برخی از فرایندهای اساسی سلول مانند تقسیم سلولی، تنظیم فعالیت آنزیم‌ها، حفظ پایداری غشاءها، جاروب کردن رادیکال‌های فعال و تحمل تنش‌های مختلف مشارکت دارند (Liu *et al.*, 2016). از آنجا که پوتریسین یکی از پلی‌آمین‌های فعال بوده و بخشی از متابولیسم‌های ترکیب‌های نیتروژنی را شامل می‌شود، باعث افزایش شاخص‌های رشد گیاه می‌گردد (Farsari, 2019). براسینواستوئیدها نوع جدیدی از فیتوهورمون‌های استروئیدی پلی‌هیدروکسی هستند که قادر به تأکید برجسته بر رشد و نمو گیاهان می‌باشند (Vardhini *et al.*, 2015) و تحمل گیاهان را در محدوده وسیعی از تنش‌های محیطی خشکی، شوری، سرما و گرما افزایش داده و این افزایش عموماً وابسته به تولید و افزایش رونوشت ژن‌های مسئول پاسخ به تنش، برای بالا بردن تحمل به تنش در درون گیاهان تیمار شده با براسینواستروئید بوده است (Eskandari, 2013). تحت تنش کم آبی، کاربرد پوتریسین در گیاه دارویی آویشن و جعفری مکزیکی باعث افزایش میزان اسانس و بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی شد

(Arasteh *et al.*, 2020; Ola *et al.*, 2019).

۲۸- هموبراسینوئید در شرایط تنش ملایم و شدید سبب بهبود برخی خصوصیات رشد مانند افزایش ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، قطر گیاه و درصد اسانس گیاه شوید (Haghshenas & Eskandari, 2011) و مریم‌گلی (Wang *et al.*, 2016) شد.

کاربرد پوتریسین ۰/۵ میلی‌مولار و براسینواستروئید ۰/۱ میکرومولار بیشترین تأثیر افزایشی را بر رنگدانه‌های فتوسنتزی رازیانه تحت تأثیر تنش کم‌آبی نشان دادند (Parmoon *et al.*, 2019).

این آزمایش با هدف بررسی کاهش اثرهای کم‌آبی و بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و درصد اسانس گیاه دارویی ریحان تحت تأثیر استفاده از پوتریسین و آبی‌براسینوئید طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در اردیبهشت‌ماه سال‌های ۹۸-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل تنش خشکی در سه سطح (D₁:۱۴۰، D₂:۸۰ و D₃:۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) به‌عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی پوتریسین در سه سطح (Put₀:۰، Put₁:۰/۵ و Put₂:۲ میلی‌مولار) و محلول‌پاشی براسینواستروئید در سه سطح (Br₀:۰، Br₁:۰/۵ و Br₂:۲ میکرومولار) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار داده شد. غلظت مواد محلول‌پاشی براسینواستروئیدها انجام شده انتخاب شد (Coka & Karaman, 2015). نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه (عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متری) در جدول ۱ نشان داده شده است. در هر کرت آزمایشی ۵ ردیف کاشت به طول دو متر با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر از همدیگر و فاصله بذرها در روی ردیف دو سانتی‌متر قرار داده شد. در هر دو سال آزمایش برای کشت از بذرها ریحان سبز افغانی، از شرکت پاکان

شد. برای کنترل علف‌های هرز در این آزمایش وجین دستی انجام شد و از هیچ علف‌کشی استفاده نشد. به دلیل مشاهده نشدن هیچ گونه آفات و بیماری در کرت‌های آزمایشی از سموم آفت‌کش استفاده نشد.

بذر اصفهان تهیه گردید. میزان بذر مصرفی ریحان ۳ کیلوگرم در هکتار بود. برای مانع شدن از حرکت جانبی آب، اطراف هر کرت پشته‌هایی به عرض یک متر و فاصله بین کرت‌های مربوط به تیمارهای مختلف آبیاری دو متر در نظر گرفته

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

pH	EC (dS/m ⁻¹)	روی (ppm)	مس (ppm)	منگنز (ppm)	پتاسیم (ppm)	فسفر (ppm)	نیتروژن (%)	کربن آلی (%)	عمق خاک	بافت خاک
۷	۰/۳	۱/۰۸	۱/۲	۷/۹۶	۵۹۰	۷	۰/۱۸	۱/۸۳	۰-۳۰	لومی رسی

$$ETC0 = KC \times ET \quad \text{رابطه ۳}$$

ET: تبخیر و تعرق گیاه مرجع، KP: ضریب تشتک تبخیر کلاس A، ETP: میزان تبخیر روزانه از تشتک تبخیر ETC0: تبخیر و تعرق محصول، KC: ضریب گیاهی ریحان
ضریب گیاهی ریحان Kc برای مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به ترتیب برابر با ۰/۱۴، ۰/۵۲، ۰/۹۳ و ۰/۸۳ در نظر گرفته شد (Ebrahimi et al., 2018).

$$\text{رابطه ۴} = \frac{(\theta_{Fc} - \theta_{PWP}) \times D \times MAD \times BD}{ETc0} = \text{دور آبیاری}$$

D: عمق توسعه ریشه (میلی‌متر)، MAD: حد مجاز تخلیه رطوبت برای گیاه ریحان، Pb: وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مربع)
پس از اعمال تنش، نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی در مرحله آغاز گلدهی انجام شد و تعداد ۷ بوته در هر کرت برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، قطر ساقه) مشخص شد. صفات اندازه‌گیری شده در این آزمایش شامل صفات زیر بودند.

محلول‌پاشی برگ‌ی هورمون‌های پوتریسین و براسینواستروئید (تهیه شده از شرکت سیگما) در سه نوبت به فاصله ۷۲ ساعت یک‌بار و نزدیک به یک هفته قبل از آغاز تنش خشکی انجام شد (Zand et al., 2010). برای اعمال تیمارهای آبیاری بعد از استقرار گیاهچه (۶-۷ برگ‌ی) میزان حجم آب مورد نیاز برای آبیاری با محاسبه ظرفیت زراعی مزرعه و نقطه پژمردگی دائم و میزان تبخیر از تشتک تبخیر با جایگزینی اعداد در رابطه مورد نظر (رابطه ۱) محاسبه گردید (Bucks et al., 1982). همچنین از طریق میزان تبخیر از تشتک تبخیر و محاسبه نیاز آبی گیاه و رابطه‌های ۲، ۳ و ۴ دور آبیاری مشخص و آبیاری با شیلنگ و کنتور انجام گردید (Allen et al., 1998).

$$\text{رابطه ۱} \quad Vw = \frac{(Fc - PWP) \times BD \times A \times D \times MAD}{Ea}$$

Vw: حجم آب آبیاری (مترمکعب)، FC: درصد وزنی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه، PWP: درصد وزنی رطوبت خاک در حالت پژمردگی دائم، BD: وزن مخصوص ظاهری خاک مزرعه (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
A: مساحت کرت فرعی آزمایش (مترمربع)، D: عمق ریشه (متر)، MAD: حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، Ea: بازدهی آب آبیاری

$$ET0 = KP \times ETP \quad \text{رابطه ۲}$$

شد. سپس نمونه‌ها در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. برای پاره شدن سلول‌ها و خروج محتویات آنها به محلول، عمل یخ زدن و ذوب شدن چندین بار تکرار گردید. در نهایت هدایت الکتریکی نهایی (EC_2) قرائت گردید. با استفاده از فرمول زیر (رابطه ۶) میزان نشت یونی محاسبه گردید.

$$\text{رابطه ۶} \quad \frac{EC_1}{EC_2} \times 100 = \text{نشت یونی}$$

اندازه‌گیری محتوای کلروفیل و کاروتنوئید: برای سنجش میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید از روش Arnon (۱۹۷۶) استفاده شد. ۰/۵ گرم از ماده تر گیاهی در هاون با استفاده از نیتروژن مایع خرد شده و ۲۰ میلی‌لیتر استن ۸۰٪ به آء اضافه کرده، سپس در دستگاه سانتریفوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد. عصاره فوقانی را به بالن شیشه‌ای منتقل و مقداری از آن را در کووت اسپکتروفتومتر ریخته و بعد توسط اسپکتروفتومتر (UV-Visible مدل Cary-50 ساخت شرکت Varian) به‌طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ برای کاروتنوئیدها مقدار جذب قرائت گردید. از استون ۸۰٪ به‌عنوان شاهد برای تنظیم دستگاه استفاده شد. با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئید محاسبه گردید. نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه و ارائه شد.

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 * A_{663} - 0.86 * A_{645}) V/100W$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 * A_{645} - 3.6 * A_{663}) V/100W$$

$$\text{Carotenoides} = 100(A_{470}) - 3.27(\text{mg chl. a}) - 104(\text{mg chl. b})/227$$

۴۷۰ نانومتر؛ W = وزن تر نمونه بر حسب گرم

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ: برای تعیین محتوای نسبی آب برگ از روش Diaz-Perez و همکاران (۲۰۰۶) استفاده شد. ابتدا در موقعیت یکسان روی بوته برگ جوان از هر نمونه انتخاب و جدا شد. سپس بلافاصله نمونه‌ها در محیط آزمایشگاهی به وسیله ترازو (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) وزن شد و بعد به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شد و پس از خشک شدن آب سطحی توسط دستمال کاغذی دوباره وزن شد (وزن اشباع). پس از آن برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در داخل آون قرار گرفت و وزن خشک نمونه‌ها بدست آمد. محتوای نسبی آب برگ از طریق رابطه ۵ محاسبه شد.

$$\text{رابطه ۵} \quad RWC = \frac{WF-WD}{WT-WD} \times 100$$

RWC: محتوای نسبی آب برگ، FW: وزن تر، WD: وزن خشک، WT: وزن اشباع

اندازه‌گیری میزان نشت یونی: از روش Flinnet و همکاران (۱۹۶۶) برای اندازه‌گیری نشت یونی استفاده شد. در موقعیت یکسان از هر بوته یک برگ جدا و توسط پانچر از هر برگ دیسک‌هایی تهیه و بر روی کاغذ صافی واتمن برای حذف الکترولیت‌هایی که به سطوح آنها چسبیده است قرار داده شد و بعد با آب مقطر شستشو داده شدند. سپس نمونه‌ها داخل لوله‌های درب‌دار حاوی ۵ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شدند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری گردیدند. هدایت الکتریکی اولیه (EC_1) محلول در تماس با نمونه‌ها توسط EC متر (مدل Jenway 4010) اندازه‌گیری

V = حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفوژ)؛ A = جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و

استخراج اسانس

در مرحله گلدھی، سرشاخه‌های گلدار برداشت و در شرایط سایه خشک شد. پس از آسیاب کردن گیاه، استخراج اسانس به روش تقطیر با آب به مدت ۴ ساعت انجام شد. برای جداسازی اسانس از دی‌اتیل اتر استفاده شد. اسانس بدست آمده با سولفات سدیم خشک و بازده آن محاسبه شد (Dastborhan *et al.*, 2011).

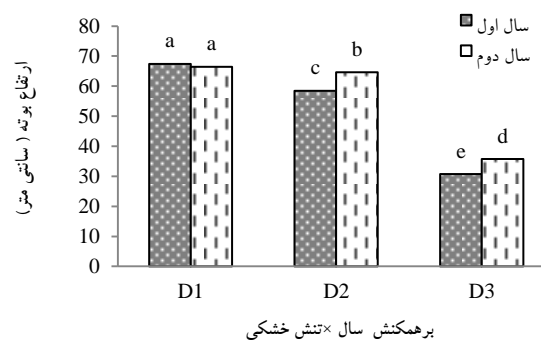
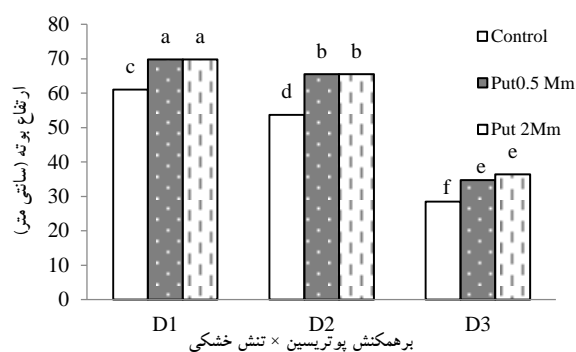
تجزیه واریانس مرکب داده‌ها و آزمون همگنی بارتلت و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD با نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد و نمودارها در نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج

ارتفاع بوته

نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، گویای این بود که اثرهای ساده تنش خشکی ($P \leq 0.01$)، پوتریسین ($P \leq 0.01$)، اپی‌براسینولید ($P \leq 0.01$) و اثر برهم‌کنش دوگانه

سال × تنش خشکی، تنش خشکی × اپی‌براسینولید، تنش خشکی × پوتریسین، پوتریسین × اپی‌براسینولید) بر ارتفاع بوته معنی‌دار گردید (جدول ۳). طبق جدول مقایسه میانگین اثرهای اصلی (جدول ۲) در شرایط ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب ۷/۹۵٪ و ۵۱/۸۹٪ ارتفاع بوته بیشتر بود و غلظت کمتر پوتریسین (۰/۵ میلی‌مولار) و غلظت بیشتر اپی‌براسینولید (۲ میکرومولار) نسبت به شاهد (عدم محلول‌پاشی) به ترتیب ۱۵/۷۲٪ و ۱۰٪ ارتفاع بیشتری حاصل شد. در سال اول و دوم آزمایش، ارتفاع بوته تحت تنش خشکی روند کاهشی داشته، به طوری که در تیمارهای ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به تیمار ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب در سال اول ۷/۶٪ و ۵۵/۱۲٪ و در سال دوم ۱۳/۲٪ و ۵۴/۴۳٪ ارتفاع بوته کاهش یافت (شکل ۱).



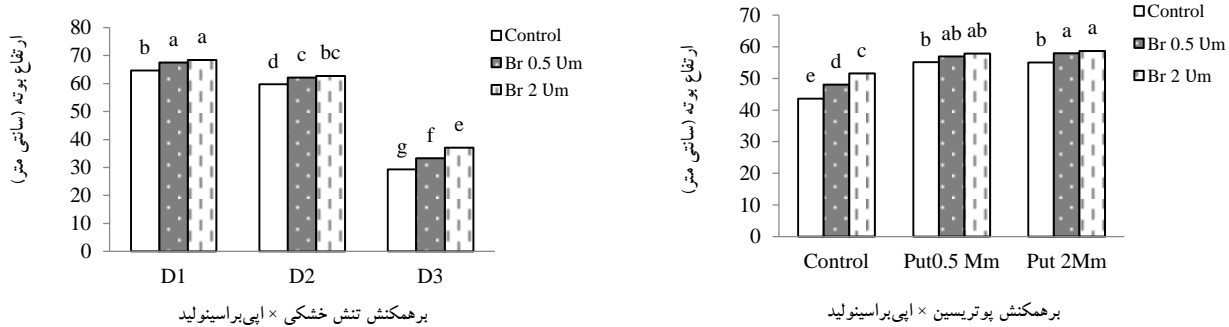
شکل ۱- اثر برهم‌کنش سال و تنش خشکی و اثر برهم‌کنش تنش خشکی و پوتریسین بر ارتفاع بوته

بوته (۲۸/۵۲ سانتی‌متر) را داشتند (شکل ۱). کاربرد اپی‌براسینولید در همه سطوح تنش خشکی نیز ارتفاع بوته را افزایش داد، به طوری که غلظت ۲ میلی‌مولار اپی‌براسینولید نسبت به شاهد در ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب سبب افزایش ۵/۴۳، ۴/۷ و ۲۱/۱۱ درصدی

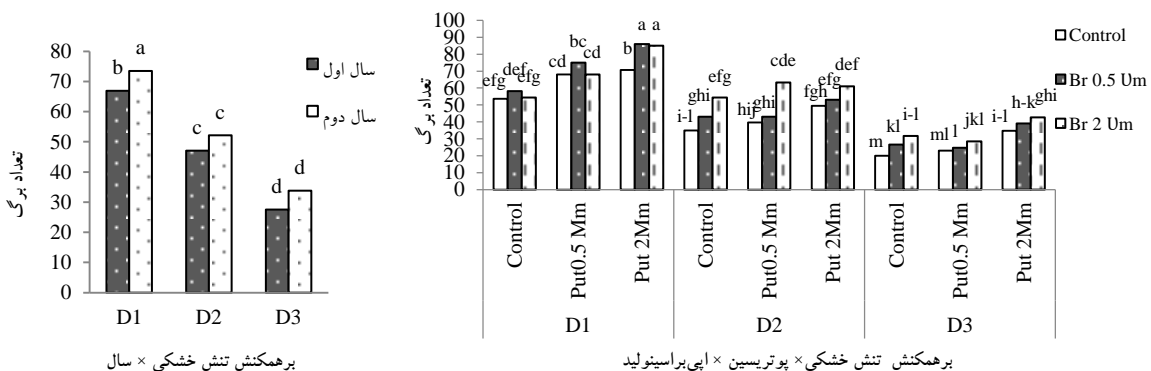
در هر سه سطح از تنش خشکی کاربرد پوتریسین سبب افزایش ارتفاع بوته نسبت به شاهد شد (شکل ۱). تیمارهای ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر همراه با ۲ میلی‌مولار پوتریسین بیشترین ارتفاع بوته (۶۹/۸ سانتی‌متر) و تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و شاهد کمترین ارتفاع

به شاهد، به ترتیب در غلظت ۲، ۵/۰ و عدم کاربرد پوتریسین (شاهد) سبب افزایش ۶/۳۳، ۴/۶۶ و ۱۵/۶۴ درصدی ارتفاع بوته شد (شکل ۱).

ارتفاع بوته گردید (شکل ۱). کاربرد توأم پوتریسین و اپی براسینولید نیز توانست تأثیر افزایشی بر ارتفاع بوته داشته باشد، به طوری که غلظت ۲ میکرومولار اپی براسینولید نسبت



شکل ۲- اثر برهم کنش تنش خشکی و اپی براسینولید و اثر برهم کنش پوتریسین و اپی براسینولید بر ارتفاع بوته



شکل ۳- اثر برهم کنش سال و تنش خشکی و اثر برهم کنش تنش خشکی، پوتریسین و اپی براسینولید بر تعداد برگ در بوته

تعداد برگ در بوته حاصل شده و نسبت به عدم تنش خشکی (۴۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر) و تنش خشکی شدید (۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر) به ترتیب ۳۱/۲٪ و ۵۷/۵٪ و کاربرد غلظت‌های کمتر پوتریسین و اپی براسینولید نسبت به شاهد به ترتیب ۱۲/۶۳٪ و ۹/۴۱٪ تعداد برگ در بوته بیشتر شد. تعداد برگ در سال اول و دوم آزمایش با افزایش تنش خشکی کاهش یافت اما در سال اول آزمایش کاهش بیشتری مشاهده شد. در ۴۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به ۸۰ و ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب

تعداد برگ در بوته

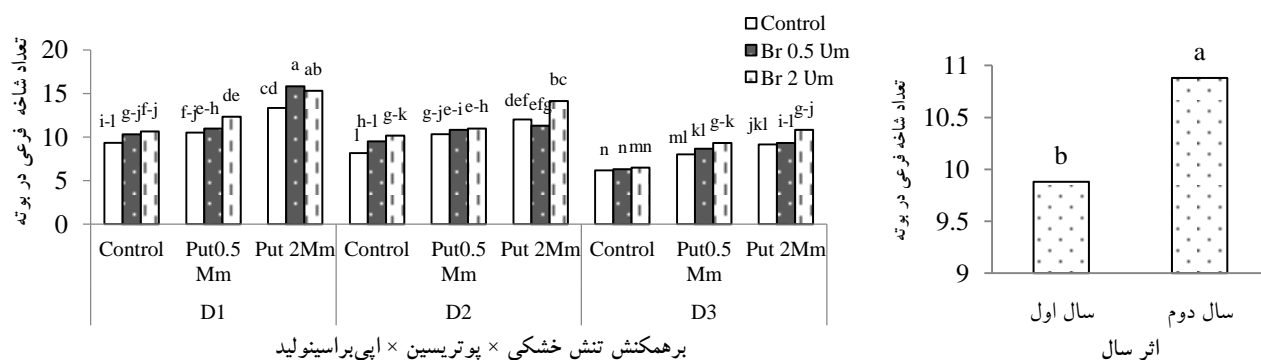
در این پژوهش تجزیه واریانس مرکب داده‌ها بیانگر این بود که اثرهای ساده تنش خشکی ($P \leq 0.01$)، پوتریسین ($P \leq 0.01$)، اپی براسینولید ($P \leq 0.05$) و اثر سه عامله تنش خشکی × پوتریسین × اپی براسینولید ($P < 0.01$) و اثر دو عامله سال × تنش خشکی ($P < 0.01$) تأثیر معنی داری بر تعداد برگ دارند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرهای اصلی (جدول ۲) نشان داد که در تنش خشکی متوسط (۸۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر) تعداد برگ بیشتری

شدید، تعداد شاخه فرعی در بوته بیشتری تولید شد (جدول ۲). اثرهای ساده پوتریسین و اپی براسینولید نیز نشان داد که غلظت بیشتر این دو ماده (۲ میلی مولار پوتریسین و ۲ میکرومولار اپی براسینولید) نسبت به شاهد (عدم محلول پاشی) به ترتیب ۱۲/۶۳٪ و ۱۱/۹٪ تعداد شاخه فرعی در بوته افزایش یافت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرهای برهم کنش تنش خشکی × پوتریسین × اپی براسینولید نشان داد که تنش خشکی تعداد شاخه فرعی را در گیاه ریحان کاهش داد اما محلول پاشی پوتریسین و اپی براسینولید سبب افزایش تعداد شاخه فرعی در هر سه سطح تنش خشکی گردید. به طوری که در شرایط ۸۰ و ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر ۲ میلی مولار پوتریسین و ۲ میکرومولار اپی براسینولید نسبت به شاهد به ترتیب در شرایط ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک ۴۳/۱۲٪ و در ۸۰ میلی متر تبخیر از تشتک ۴۲/۳۷٪ تعداد شاخه فرعی ریحان افزایش نشان داد (شکل ۴).

در سال اول آزمایش ۲۹/۶۶٪ و ۵۸/۷۷٪ و در سال دوم ۲۹/۰۴٪ و ۵۴/۵۸٪ تعداد برگ افزایش یافت (شکل ۳). غلظت ۲ میلی مولار پوتریسین به همراه ۲ میکرومولار اپی براسینولید نسبت به شاهد در شرایط ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب سبب ۳۶/۸۷، ۴۲/۶۲ و ۵۳/۱۱ درصد افزایش تعداد برگ در بوته ریحان شد (شکل ۳).

تعداد شاخه فرعی در بوته

در این پژوهش عوامل آزمایشی تنش خشکی × پوتریسین × اپی براسینولید ($P < 0.01$) و اثر ساده سال ($P < 0.05$)، تنش خشکی ($P \leq 0.01$)، پوتریسین ($P \leq 0.01$) و اپی براسینولید ($P \leq 0.01$) تأثیر معنی داری بر تعداد شاخه فرعی در بوته داشتند (جدول ۳). تعداد شاخه در سال دوم نسبت به سال اول ۹/۱۹٪ افزایش نشان داد (شکل ۴). در تیمارهای ۴۰ و ۸۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر تفاوت معنی داری ایجاد نشد اما نسبت به تنش خشکی



شکل ۴- اثر ساده سال و اثر برهم کنش تنش خشکی، پوتریسین و اپی براسینولید بر تعداد شاخه فرعی در بوته

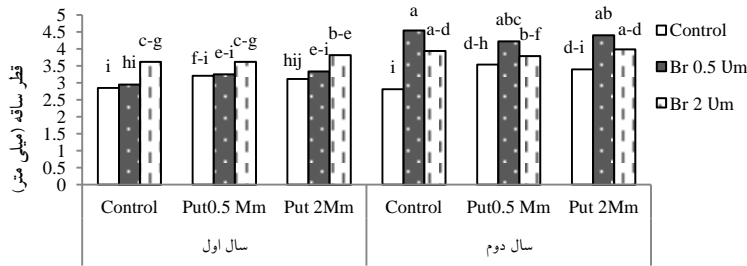
ریحان داشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرهای اصلی نشان داد که قطر ساقه در تنش خشکی متوسط نسبت به عدم تنش خشکی ۹/۶۲٪ و نسبت به تنش خشکی شدید، ۲۴/۹٪ و تیمار محلول پاشی ۰/۵ میکرومولار اپی براسینولید نسبت به شاهد، ۸/۸۴٪ قطر ساقه بیشتری

قطر ساقه

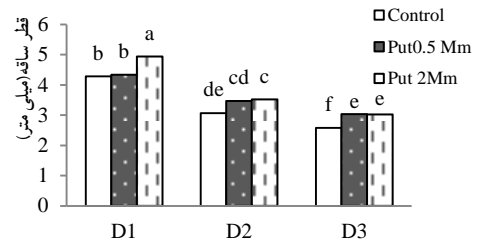
اثر ساده تنش خشکی ($P \leq 0.01$)، اپی براسینولید ($P \leq 0.05$) و اثر برهم کنش تنش خشکی × پوتریسین ($P < 0.01$) و برهم کنش اثرهای سه گانه سال × پوتریسین × اپی براسینولید ($P < 0.05$) تأثیر معنی داری بر قطر ساقه

افزایش قطر ساقه شد (شکل ۵). به طوری که غلظت ۲ میلی مولار پوتریسین نسبت به شاهد به ترتیب در ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر ۱۳/۳۶، ۱۲/۷۸ و ۱۴ درصد قطر ساقه افزایش یافت (شکل ۵).

حاصل شد (جدول ۲). بیشترین قطر ساقه در عدم تنش خشکی و کمترین در تنش خشکی شدید حاصل شده اما محلول پاشی ۲ میلی مولار پوتریسین در هر سه سطح تنش خشکی سبب



برهمکنش سال × پوتریسین × اپی براسینولید

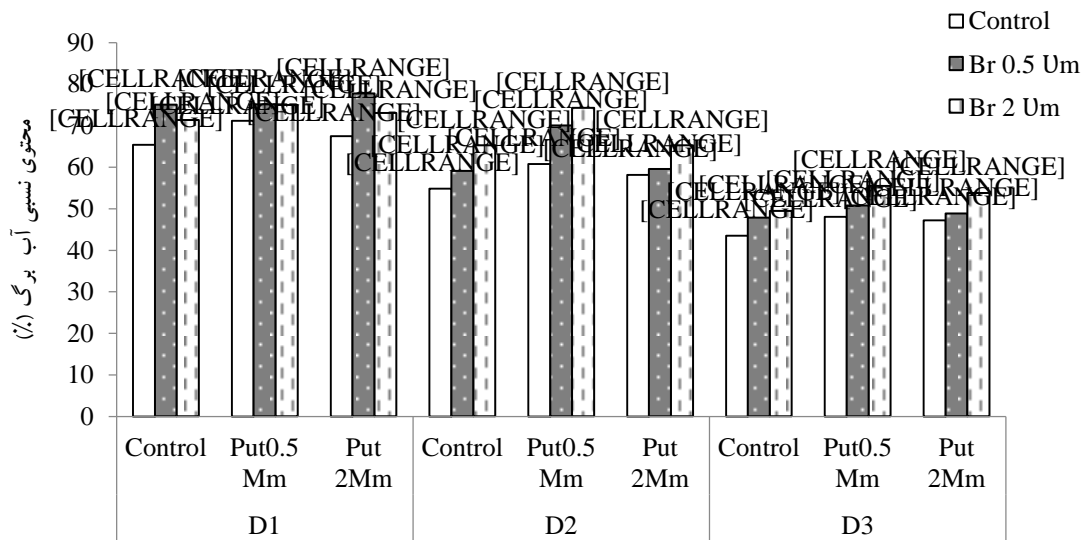


برهمکنش تنش خشکی × پوتریسین

شکل ۵- اثر برهم کنش تنش خشکی و پوتریسین و اثر برهم کنش سال، پوتریسین و اپی براسینولید بر قطر ساقه

در غلظت ۰/۵ میکرومولار اپی براسینولید قطر ساقه بیشتر شد.

هر دو سال محلول پاشی این دو ماده تأثیری مثبت و افزایشی بر قطر ساقه داشت. در همه سطوح پوتریسین در سال اول غلظت ۲ میکرومولار اپی براسینولید و در سال دوم



برهمکنش تنش خشکی × پوتریسین × اپی براسینولید

شکل ۶- اثر برهم کنش، تنش خشکی، پوتریسین و اپی براسینولید بر محتوای نسبی آب برگ

محتوای نسبی آب برگ

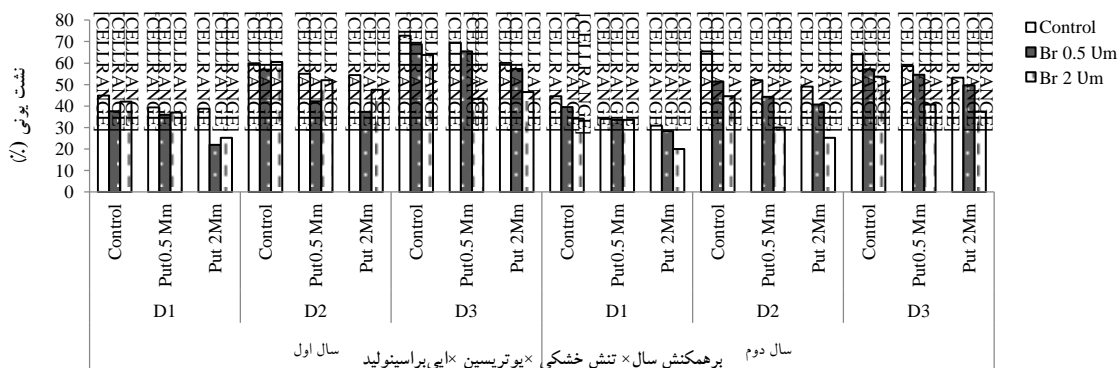
طبق نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها اثرهای ساده تنش خشکی ($P \leq 0.01$)، پوتریسین ($P \leq 0.01$)، اپی‌براسینولید ($P \leq 0.01$) و اثر برهم‌کنش سه‌گانه تنش خشکی \times پوتریسین \times اپی‌براسینولید ($P \leq 0.01$) بر میزان محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرهای ساده نشان داد که میزان محتوای نسبی آب برگ در ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب ۵۲/۵٪ و ۶۷/۱۷٪ افزایش یافت (جدول ۲). محلول‌پاشی پوتریسین در غلظت کم (۰/۵ میلی‌مولار) و اپی‌براسینولید در غلظت بیشتر (۲ میکرومولار) نسبت به شاهد سبب افزایش ۵/۹۶ و ۸/۲۱ درصدی محتوای نسبی آب برگ ریحان شد (جدول ۲).

با افزایش شدت تنش خشکی محتوای آب نسبی برگ کاهش یافته، به طوری که بیشترین میزان آن در سطح عدم تنش خشکی بدست آمد اما محلول‌پاشی پوتریسین و اپی‌براسینولید در همه سطوح تنش خشکی سبب بهبود محتوای نسبی آب برگ شد (شکل ۶). در شرایط تنش خشکی متوسط و شدید غلظت ۰/۵ میلی‌مولار پوتریسین و ۲ میکرومولار اپی‌براسینولید و در شرایط عدم تنش خشکی غلظت ۲ میلی‌مولار پوتریسین و ۰/۵ اپی‌براسینولید محتوای آب نسبی برگ بیشتری حاصل شد. در همه سطوح محلول‌پاشی پوتریسین، در تنش خشکی شدید و متوسط غلظت

۲ میکرومولار اپی‌براسینولید و در شرایط عدم تنش خشکی غلظت ۰/۵ میکرومولار اپی‌براسینولید سبب بهبود بیشتر محتوای آب نسبی برگ شد (شکل ۶). به طوری که محلول‌پاشی غلظت ۰/۵ میلی‌مولار پوتریسین و ۲ میکرومولار اپی‌براسینولید نسبت به شاهد در شرایط تنش خشکی شدید و متوسط به ترتیب ۱۱/۹۷٪ و ۲۶/۰۶٪ و در شرایط عدم تنش خشکی محلول‌پاشی غلظت ۲ میلی‌مولار پوتریسین و ۰/۵ میکرومولار اپی‌براسینولید ۱۵/۸۸٪ افزایش در محتوای آب نسبی برگ نشان داد (شکل ۶).

نشت یونی

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها بیانگر معنی‌دار بودن اثرهای ساده تنش خشکی ($P \leq 0.01$)، پوتریسین ($P \leq 0.01$)، اپی‌براسینولید ($P \leq 0.01$) و اثرهای برهم‌کنش سال \times تنش خشکی \times پوتریسین \times اپی‌براسینولید ($P \leq 0.01$) بر میزان نشت یونی بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرهای ساده نشان داد که در ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به ۴۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب ۴۴٪ و ۳۴٪ میزان نشت یونی افزایش یافت و محلول‌پاشی غلظت بیشتر پوتریسین و اپی‌براسینولید سبب کاهش میزان نشت یونی در گیاه ریحان شدند و بین عدم کاربرد پوتریسین (شاهد) و غلظت کمتر (۰/۵ میلی‌مولار) تفاوت معنی‌داری ایجاد نشد (جدول ۲).



شکل ۷- اثر برهم‌کنش سال، تنش خشکی، پوتریسین و اپی‌براسینولید بر نشت یونی

تحت تأثیر ساده تنش خشکی ($P \leq 0.01$)، پوتریسین ($P \leq 0.01$)، اپی‌براسینولید ($P \leq 0.01$) و اثر برهم‌کنش سال × تنش خشکی × پوتریسین × اپی‌براسینولید ($P \leq 0.01$) معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرهای اصلی نشان داد که میزان کلروفیل a در تنش خشکی شدید افزایش یافته و در تنش متوسط و عدم تنش خشکی، تفاوت معنی‌داری ایجاد نشد و کاربرد غلظت بیشتر پوتریسین و غلظت بیشتر اپی‌براسینولید نسبت به شاهد به ترتیب ۵۸/۱۱٪ و ۵۰٪ افزایش یافت (جدول ۲).

در سال اول و دوم آزمایش با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل a افزایش یافته و محلول‌پاشی پوتریسین و اپی‌براسینولید در همه سطوح تنش خشکی سبب افزایش بیشتر کلروفیل a شد (شکل ۸). البته افزایش بیشتر کلروفیل a در سال دوم آزمایش بیشتر از سال اول آزمایش بود.

غلظت ۲ میلی‌مولار پوتریسین به همراه ۲ میکرومولار اپی‌براسینولید نسبت به شاهد، در شرایط ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب در سال اول زراعی سبب ۶۸/۶۶، ۶۵/۵۸ و ۷۰/۸۲ درصد و در سال دوم زراعی ۶۰/۵۶، ۴۲/۷۸ و ۵۷/۸۹ درصد افزایش کلروفیل a در برگ ریحان شد (شکل ۸).

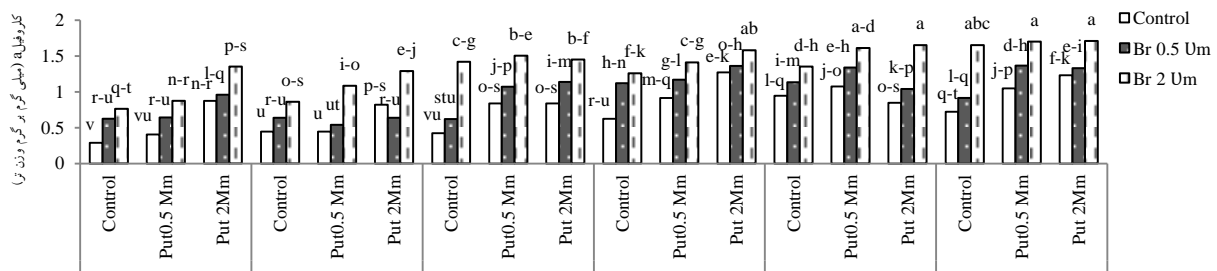
با افزایش تنش خشکی از آبیاری نرمال تا تنش خشکی شدید میزان نشت یونی افزایش یافت و در سال اول آزمایش میزان نشت یونی افزایش بیشتری داشته که می‌تواند به دلیل کاهش بارندگی و میزان رطوبت موجود در هوا و خاک باشد (شکل ۷).

در سال اول آزمایش غلظت ۰/۵ میکرومولار اپی‌براسینولید و ۲ میلی‌مولار پوتریسین نسبت به تیمار شاهد در تنش خشکی متوسط ۳۷/۸۲٪ و عدم تنش خشکی ۵۱/۰۶٪ و در تنش خشکی شدید کاربرد غلظت ۲ میلی‌مولار پوتریسین و ۲ میکرومولار اپی‌براسینولید نسبت به تیمار شاهد ۳۵/۹۸٪ نشت یونی کاهش یافت؛ در سال دوم آزمایش غلظت ۲ میلی‌مولار پوتریسین و ۲ میکرومولار اپی‌براسینولید نسبت به شاهد در ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب ۵۵/۱۵، ۶۱/۵۶ و ۴۱/۵ درصد نشت یونی کاهش نشان داد (شکل ۷).

رنگی‌های فتوسنتزی

کلروفیل a

جدول تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که میزان کلروفیل a



شکل ۸- اثر برهم‌کنش سال، تنش خشکی، پوتریسین و اپی‌براسینولید بر میزان کلروفیل a

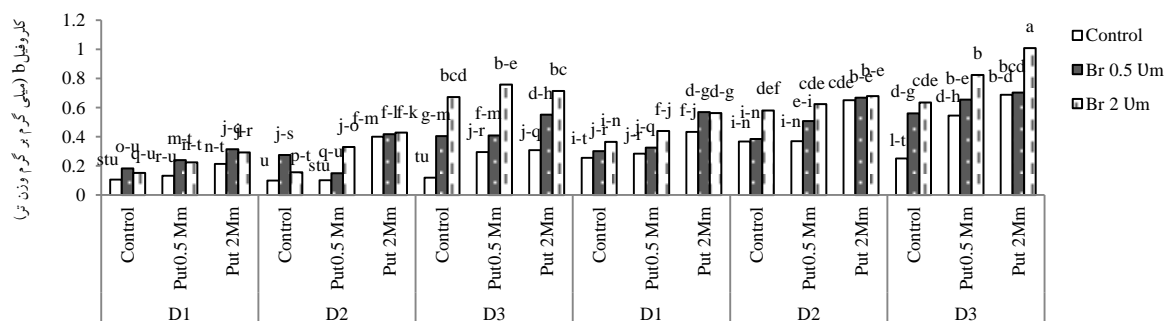
چهارگانه سال × تنش خشکی × پوتریسین × اپی‌براسینولید ($P \leq 0.05$) بر کلروفیل b معنی‌دار شد (جدول ۲). میزان کلروفیل b تحت شرایط تنش خشکی شدید نسبت به تنش متوسط و عدم تنش خشکی به ترتیب ۱۴/۱۴٪ و ۳۹/۳۹٪

کلروفیل b

با توجه به نتایج جدول تجزیه مرکب داده‌ها، مشخص شد که اثرهای ساده تنش خشکی ($P \leq 0.01$)، پوتریسین ($P \leq 0.01$)، اپی‌براسینولید ($P \leq 0.01$) و اثر برهم‌کنش

اپی‌براسینولید نسبت به شاهد، در شرایط ۴۰،۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب در سال اول زراعی سبب افزایش ۶۴/۰۴، ۷۶/۶۳ و ۸۳/۱۹ درصد و در سال دوم زراعی ۴۵/۸۷٪ و ۷۵/۱۹٪ کلروفیل b برگ ریحان شد (شکل ۸). در سال دوم زراعی در تیمار ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر غلظت ۲ میلی‌مولار پوتریسین به همراه ۰/۵ میکرومولار اپی‌براسینولید نسبت به تیمار عدم کاربرد پوتریسین و اپی‌براسینولید (شاهد) ۵۵/۱۸٪ کلروفیل b برگ افزایش یافت (شکل ۹).

و مقایسه میانگین اثرهای اصلی پوتریسین و اپی‌براسینولید نیز نشان داد که غلظت کمتر پوتریسین (۰/۵ میلی‌مولار) و غلظت بیشتر اپی‌براسینولید (۲ میکرومولار) نسبت به شاهد به ترتیب ۵۵/۲٪ و ۵۲/۰۸٪ افزایش یافت (جدول ۲). با افزایش تنش خشکی و محلول‌پاشی پوتریسین و اپی‌براسینولید در همه سطوح تنش خشکی میزان کلروفیل b در هر دو سال زراعی اول و دوم افزایش یافت و این افزایش در سال دوم بیش از سال اول زراعی بود (شکل ۹). غلظت ۲ میلی‌مولار پوتریسین به همراه ۲ میکرومولار

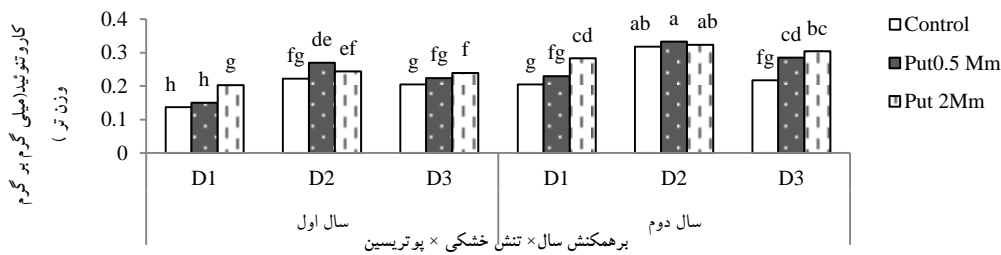


شکل ۹- اثر برهم‌کنش سال، تنش خشکی، پوتریسین و اپی‌براسینولید بر میزان کلروفیل b

شدید و شاهد، به ترتیب درصد میزان در سال اول و دوم آزمایش در تیمار ۴۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر محلول‌پاشی غلظت ۲ میلی‌مولار و در تیمار ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر غلظت ۰/۵ میکرومولار پوتریسین بیشترین میزان کاروتنوئید در گیاه ریحان حاصل گردید. به طوری که میزان کاروتنوئید در تیمار ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و غلظت ۰/۵ میلی‌مولار پوتریسین نسبت به ۱۲۰ و ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و عدم محلول‌پاشی پوتریسین (شاهد) در سال اول آزمایش ۲۴/۰۷٪ و ۴۹/۲۵٪ و در سال دوم آزمایش ۳۴/۸۳٪ و ۳۸/۴۳٪ افزایش نشان داد (شکل ۱۰).

کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو سال آزمایش کاروتنوئید نشان داد اثر برهم‌کنش سال × تنش خشکی × پوتریسین ($P < 0.05$) معنی‌دار شد (جدول ۳). اثرهای اصلی تنش خشکی ($P \leq 0.01$) و پوتریسین ($P \leq 0.01$) تفاوت معنی‌داری بر میزان کاروتنوئید داشته اما اپی‌براسینولید تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد (جدول ۳). کاربرد غلظت بیشتر پوتریسین (۲ میلی‌مولار) سبب افزایش بیشتر میزان کاروتنوئید شد اما بین غلظت کمتر و عدم کاربرد (شاهد) این ماده تفاوت معنی‌داری ایجاد نشد (جدول ۲). در شرایط تنش خشکی متوسط نسبت به تنش خشکی



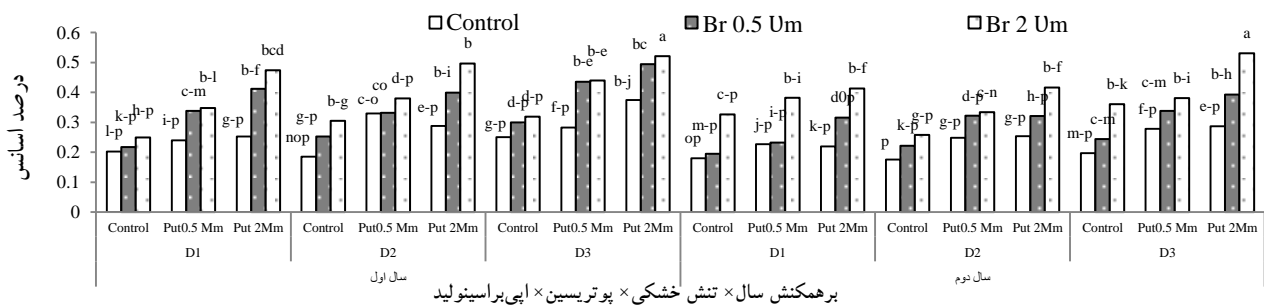
شکل ۱۰- اثر برهم کنش سال، تنش خشکی و پوتریسین بر میزان کاروتنوئید

مقایسه میانگین اثرهای برهم کنش سال، تنش خشکی،

پوتریسین و اپی براسینوئید نیز نشان داد که در هر دو سال آزمایش استفاده از مواد محلول پاشی بکاربرده شده در غلظت‌های بالا (۲ میلی‌مولار پوتریسین و ۲ میکرومولار اپی براسینوئید) در همه سطوح تنش خشکی سبب افزایش بیشتر درصد اسانس ریحان شد که این افزایش در سال اول بیشتر از سال دوم بود (شکل ۱۲). غلظت ۲ میکرومولار اپی براسینوئید و ۲ میلی‌مولار پوتریسین نسبت به شاهد در ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر در سال اول به ترتیب ۵۷/۳۸، ۶۲/۷ و ۵۲ در سال دوم ۵۶/۴۱، ۵۷/۶۹ و ۶۲/۹ درصد اسانس افزایش یافت (شکل ۱۱).

درصد اسانس

درصد اسانس تحت تأثیر برهم کنش اثرهای سال × تنش خشکی × پوتریسین × اپی براسینوئید ($P < 0.01$) قرار گرفت (جدول ۳). اثر ساده تنش خشکی نشان‌دهنده افزایش درصد اسانس گیاه ریحان تحت تنش خشکی بود و شدت افزایش در تنش خشکی شدید نسبت به تنش متوسط و عدم تنش خشکی، ۳۲/۶٪ و ۴۲/۷۴٪ بیشتر بود (شکل ۱۱). اثرهای ساده پوتریسین و ۲۴- اپی براسینوئید نیز گویای این بود که غلظت‌های بیشتر پوتریسین و ۲۴- اپی براسینوئید نسبت به غلظت کمتر و عدم محلول پاشی (شاهد) سبب افزایش بیشتر درصد اسانس گیاه ریحان شد (جدول ۲).



شکل ۱۱- اثر برهم کنش سال، تنش خشکی، پوتریسین و اپی براسینوئید بر درصد اسانس

خشکی نشان‌دهنده کاهش معنی‌دار عملکرد ماده خشک

تحت تنش خشکی می‌باشد، به طوری که در شرایط ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب ۲۲/۳۹٪ و

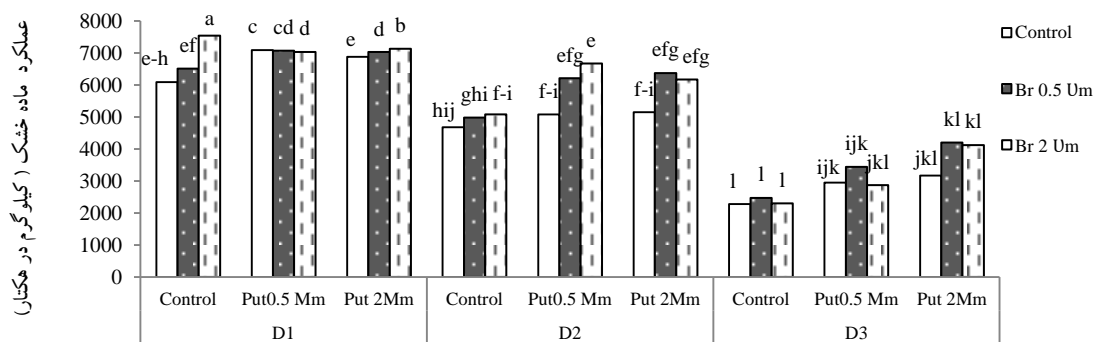
عملکرد ماده خشک

برهم کنش اثرهای تنش خشکی × پوتریسین × اپی براسینوئید تأثیر معنی‌داری ($P < 0.01$) بر عملکرد ماده خشک داشت (جدول ۳). میانگین اثرهای ساده تنش

و اپی‌براسینولید سبب افزایش عملکرد ماده خشک در هر سه سطح تنش خشکی شد. به طوری که بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب در تیمارهای عدم تنش خشکی همراه با محلول‌پاشی ۲ میلی‌مولار پوتریسین و ۲ میکرومولار اپی‌براسینولید (۷۵۴۱/۸ کیلوگرم در هکتار) و تیمار تنش خشکی شدید و عدم محلول‌پاشی هر دو ماده مذکور (۲۲۷۵/۲ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد. محلول‌پاشی ۲ میلی‌مولار پوتریسین همراه با ۲ میکرومولار اپی‌براسینولید نسبت به شاهد، در ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب سبب افزایش ۱۴/۵، ۲۴/۲۹ و ۴۴/۸ درصدی عملکرد ماده خشک شد (شکل ۱۲).

۵۴/۹۲٪ عملکرد ماده خشک بیشتر بود. محلول‌پاشی پوتریسین نیز سبب افزایش میزان عملکرد ماده خشک ریحان شد اما بین غلظت کم (۰/۵ و ۲ میکرومولار) تفاوت معنی‌داری ایجاد نشد (جدول ۲) و محلول‌پاشی غلظت بیشتر اپی‌براسینولید (۲ میکرومولار) نیز سبب تأثیر مثبت و افزایش در عملکرد ماده خشک شد اما بین غلظت کمتر (۰/۵ میکرومولار) و عدم کاربرد این ماده (شاهد) تفاوت معنی‌داری ایجاد نشد (جدول ۲).

مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی، پوتریسین و اپی‌براسینولید نیز نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد ماده خشک کاهش یافت اما محلول‌پاشی پوتریسین



برهم‌کنش تنش خشکی × پوتریسین × اپی‌براسینولید

شکل ۱۲- اثر برهم‌کنش تنش خشکی، پوتریسین و اپی‌براسینولید بر عملکرد ماده خشک

قبیل اکسین و جیبرلین و کاهش آبسزیک‌اسید است که سبب بهبود رشد می‌گردد (Pal *et al.*, 2015). اثر اپی‌براسینولید در بهبود رشد گیاهان در شرایط طبیعی و در شرایط تنش‌های محیطی دلایل مختلفی می‌تواند داشته باشد. یکی از این دلایل افزایش بیان ژن‌ها و سنتز پروتئین و در نتیجه افزایش آنزیم‌های مؤثر بر فرایندهای دخیل در افزایش رشد از جمله آنزیم‌های فتوسنتز بیان شده است (Latha & Vardhini, 2018). سلول‌های گیاه در پاسخ به براسینواستروئید بعضی از عوامل نرم‌کننده دیواره سلولی را خارج کرده که سبب افزایش انبساط‌پذیری دیواره می‌شود (Nolan *et al.*, 2020).

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد شاخه و قطر ساقه ریحان شد اما تیمار محلول‌پاشی پوتریسین و اپی‌براسینولید تأثیر معنی‌داری بر افزایش این صفات داشت. افزایش فواصل آبیاری باعث کاهش تعداد سلول‌های آغازین تشکیل شده برای تولید انشعابات اولیه ساقه شده که در نهایت سبب کاهش تعداد انشعابات ساقه در بوته گردید (Mostafaei *et al.*, 2014). تأثیر مثبت پوتریسین احتمالاً مربوط به نقش این هورمون در افزایش فعالیت تقسیم‌سلولی، افزایش هورمون‌های گیاهی از

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرهای ساده تیمارهای تنش خشکی، پوتریسین و ۲۴- اپی‌براسینولید بر صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه ریحان در سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

تیمار	ارتفاع بوته	تعداد برگ در بوته	تعداد شاخه فرعی در بوته	قطر ساقه	محتوای نسبی آب برگ	نشت یونی	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	درصد اسانس	عملکرد ماده خشک
تنش خشکی											
D₁	۶۶/۸۸a	۴۹/۶۱b	۱۱/۶۶a	۳/۶۶b	۸۲/۵۸a	۲۸c	۱/۶۳b	۰/۶c	۰/۳۳c	۰/۲۸c	۶۸۵۱a
D₂	۶۱/۵۶b	۷۲/۲a	۱۱/۲۴a	۴/۰۵a	۷۸/۰۲b	۳۳b	۱/۶۹b	۰/۸۵b	۰/۷۵a	۰/۳۳b	۵۵۹۷/۳b
D₃	۳۳/۲۱c	۳۰/۶۸c	۸/۲۵b	۳/۰۴c	۶۷/۹۸c	۵۰a	۱/۸۹a	۰/۹۹a	۰/۵۱b	۰/۵a	۳۰۸۷/۸c
پوتریسین											
Put₀	۴۷/۷۵b	۴۷/۲۲b	۸/۷۴c	۳/۴۶a	۷۶/۶۳b	۵۴a	۰/۸c	۰/۴۳c	۰/۳۸b	۰/۲۸۸b	۵۶۰۱/۲b
Put_۱	۵۶/۶۶a	۵۱/۲۲ab	۱۰/۱۶b	۳/۶۱a	۸۱/۴۹a	۲۹b	۱/۲b	۰/۹۶a	۰/۴۸b	۰/۲۹۷b	۶۴۷۶a
Put_۲	۵۷/۲۴a	۵۴/۰۵a	۱۲/۲۵a	۳/۶۸a	۷۷/۴۷b	۲۸b	۱/۹۱a	۰/۶۶b	۰/۶۴a	۰/۵۴۴a	۶۴۵۹/۳a
۲۴- اپی‌براسینولید											
Br₀	۵۱/۲۴c	۴۷/۹b	۹/۷۷c	۳/۴b	۷۵/۰۶c	۴۲/۷a	۰/۵۱c	۰/۴۶c	۰/۴۵a	۰/۳۲۲c	۵۴۶۶b
Br_۱	۵۴/۳۵b	۵۲/۸۸a	۱۰/۲۹b	۳/۷۳a	۷۸/۷۴b	۳۸b	۰/۸۸b	۰/۱۳b	۰/۵a	۰/۳۸۱b	۵۸۳۲/۷b
Br_۲	۵۶/۹۷a	۵۱/۷ab	۱۱/۰۹a	۳/۶۱ab	۸۱/۷۸a	۳۲c	۱/۰۲a	۰/۹۶a	۰/۵۴a	۰/۴۲۷a	۷۲۳۷/۹a

در هر ستون تیمارهایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند از نظر آماری در سطح ۰.۵٪ اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۳- تجزیه مرکب (میانگین مربعات) اثر سطوح مختلف تیمارهای تنش خشکی، پوتریسین و اپی‌براسینولید بر صفات فیزیولوژیکی گیاه ریحان در سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

عملکرد بیولوژیک	درصد اسانس	کاروتنوئید	کلروفیل b	کلروفیل a	نشت یونی	محتوای نسبی		تعداد شاخه فرعی در بوته	تعداد برگ در بوته	ارتفاع بوته	درجه آزادی	منبع تغییرات
						آب برگ	قطر ساقه					
۳۷۸۲۵۷ ^{ns}	۰/۰۶۵۵۳**	۰/۲۵۳۳**	۱/۹۱۹**	۶/۸۱۳**	۸۱۸/۶۳۱**	۱۰۳/۱۷۳ ^{ns}	۱۱/۷۶۱*	۴۰/۵*	۱۳۳/۳۸۸ ^{ns}	۴۶۷/۵۰۰۲*	۱	سال
۲۶۰۸۳۷۳ ^{ns}	۰/۶۳۵۹**	۰/۰۰۰۴۱ ^{ns}	۰/۸۱۸**	۰/۵۳۲**	۱۵۷/۴۶۶*	۶۶۶/۲۵۹ ^{ns}	۲/۹۲۶ ^{ns}	۲/۱۶۶۶ ^{ns}	۶۷/۸۵۱۸ ^{ns}	۷/۹۸۹۱ ^{ns}	۲	بلوک
۸۱۶۳۵۸	۰/۰۰۰۳۰۳	۰/۰۰۱۴۸	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۲۸	۶/۷۱۹	۹۰/۷۲۴	۰/۳۷۵۳	۱/۷۲۲۲	۸۴/۲۲۲۲	۷/۶۴۴۶۹	۲	بلوک (سال)
۶۳۱۲۹۰۵۸۲**	۰/۶۷۸۸۹**	۰/۰۹۵۹**	۰/۹۳۹۵**	۰/۶۰۰۹**	۵۳۲۸/۱۹۹**	۷۹۱/۱۳۹**	۱۳/۸۹۹**	۱۸۶/۱۲۹**	۲۳۳۳۱/۶۲۹**	۱۷۶۹۲/۰۳۶**	۲	تنش خشکی
۱۷۳۱۲۳۷ ^{ns}	۰/۰۲۱۲۷۵*	۰/۰۰۰۲۸ ^{ns}	۰/۰۴۳۵ ^{ns}	۰/۱۵۵۷**	۷/۷۴۲ ^{ns}	۴۰/۵۹۵ ^{ns}	۱/۲۷۲ ^{ns}	۱۱/۹۰۷ ^{ns}	۶۵۵/۴۰۷۴**	۲۰۰/۱۹۱۹**	۲	سال × تنش خشکی
۱۷۲۶۵۵۸ ^{ns}	۰/۰۰۳۹۹۸	۰/۰۰۱۴۴	۰/۰۳۲۲	۰/۰۱۱۶	۶۹/۰۵	۱۱۲/۷۷۵	۰/۳۶۲۶	۵/۱۵۷۴	۱۰۵/۵۸۳۳	۲۲/۷۶۹۶	۸	خطای اصلی (تنش) × بلوک × سال
۱۳۵۱۷۹۷۳**	۰/۱۴۲۸۱**	۰/۰۰۸۷**	۰/۲۳۹۷**	۱/۳۲۸**	۶۵۹/۹۷۹**	۳۶۴/۸۱۹**	۰/۶۹۲۷ ^{ns}	۱۶۹/۱۲۹**	۶۳۶/۵**	۱۵۲۶/۷۴۲**	۲	پوتریسین
۴۷۲۳۶۰۴۰**	۰/۱۴۹۷۸**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۳۰۵۱**	۲/۸۹۵**	۷۲۳/۱۰۵**	۶۱۱/۴۴۹**	۱/۵۳*	۲۳/۶۸۵۱**	۳۶۵/۶۸۵۱*	۳۲۴/۳۲۰۴**	۲	اپی‌براسینولید
۱۱۱۲۰۶۹**	۰/۶۱۵۵۴**	۰/۰۰۸۵**	۰/۰۵۵۹**	۰/۳۷**	۴۴۶/۸۶۰**	۱۳۵/۳۷۹ ^{ns}	۱۴/۳۱۹**	۱۶/۷۸۷**	۶۵۹۱/۹۳۵**	۳۹/۵۰۶۵**	۴	تنش خشکی × پوتریسین
۴۸۸۲۲۰۲۵ ^{ns}	۰/۱۶۲۱۹**	۰/۰۰۲۲ ^{ns}	۰/۰۵۸۱**	۰/۰۴۵۲ ^{ns}	۳۰۱/۲۷۲*	۸۳/۲۲ ^{ns}	۰/۴۲۴۹ ^{ns}	۴/۳۴۲۵ ^{ns}	۱۳۵/۳۷۰۳ ^{ns}	۳۲/۵۱۴۸**	۴	تنش خشکی × اپی‌براسینولید
۲۱۲۱۰۱۵۱**	۰/۱۸۷۰۲**	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۱۵۳۳**	۰/۱۵۱۱**	۴۹۴/۰۶۱**	۱۱۱/۷۱۹ ^{ns}	۰/۱۸۱۶ ^{ns}	۴/۸۷۰۳*	۷۱۴/۱۸۵**	۳۷/۶۹۲۲۸**	۴	پوتریسین × اپی‌براسینولید
۱۳۷۸۹۸۰**	۰/۰۰۰۵۱۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۸۴ ^{ns}	۰/۰۷۴۷**	۰/۰۲۸۹ ^{ns}	۳۳۱/۳۲۵*	۵۳۱/۸۸۱ ^{ns}	۰/۰۶۶۵۵ ^{ns}	۰/۹۰۷۴ ^{ns}	۳۳/۵۷۴ ^{ns}	۱۲/۸۹۸۲۱ ^{ns}	۲	پوتریسین × سال

جدول ۳- ...

منبع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد برگ در بوته	تعداد شاخه فرعی در بوته	قطر ساقه	محتوای نسبی آب برگ	نشت یونی	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	درصد اسانس	عملکرد بیولوژیک
اپی براسینولید × سال	۲	۱۷/۸۴۶۳ ^{ns}	۲۰۱/۵ ^{ns}	۲/۴۶۲۹ ^{ns}	۸/۹۴۰۹**	۶۷/۵۵ ^{ns}	۲۸/۵۳۱ ^{ns}	۰/۴۱۹۵**	۰/۰۴۶*	۰/۰۰۲۸ ^{ns}	۰/۵۵۴۷۹**	۳۷۹۴۴۷ ^{ns}
تنش خشکی × پوتریسین × اپی براسینولید	۸	۱۲/۱۱۱۷ ^{ns}	۵۵۳/۱۷۵**	۷/۱۸۰۵**	۰/۸۱۳۶ ^{ns}	۱۴۹/۹۵۸*	۲۵۵/۴۶۱**	۰/۳۷۷**	۰/۰۸۲۸**	۰/۰۰۱۲/ ^{ns}	۰/۲۳۴۳۶**	۲۴۷۵۷۷۰۲ ^{ns}
سال × تنش خشکی × پوتریسین	۴	۷/۹۶۷۶ ^{ns}	۸۷/۲۸۷ ^{ns}	۰/۱۲۰۳ ^{ns}	۰/۰۱۴۵ ^{ns}	۶۵/۹۰۹ ^{ns}	۳۷۰/۳۵۶**	۰/۰۲۶۹ ^{ns}	۰/۰۷۱۷**	۰/۰۰۳*	۰/۰۰۰۴۲۶ ^{ns}	۱۳۷۸۹۸۰**
سال × تنش خشکی × اپی براسینولید	۴	۱۷/۳۷۹۶ ^{ns}	۱۸/۴۰۷۴ ^{ns}	۰/۱۲۰۳۷ ^{ns}	۰/۷۹ ^{ns}	۳۸/۱۹۳ ^{ns}	۲۰۲/۸۲۶ ^{ns}	۰/۰۰۶۷ ^{ns}	۰/۰۰۴۶ ^{ns}	۰/۰۰۱۵ ^{ns}	۰/۰۰۵۹۸۱**	۳۷۹۴۴۷ ^{ns}
سال × پوتریسین × اپی براسینولید	۴	۲/۳۹۸۷ ^{ns}	۶۴/۹۶۲ ⁿ	۰/۳۷۰۳ ^{ns}	۱/۴۰۹*	۳۴/۰۰۳ ^{ns}	۲۲۵/۵۵۲ ^{ns}	۰/۱۴۷۱**	۰/۰۰۴۰۶ ^{ns}	۰/۰۰۱۲ ^{ns}	۰/۵۶۳۵۷۹**	۵۷۰۹۱۴ ^{ns}
سال × تنش خشکی × پوتریسین × اپی براسینولید	۸	۱/۳۰۵۷ ^{ns}	۵۹/۳۹۸۱ ^{ns}	۰/۱۲۵ ^{ns}	۰/۵۶۰۶ ^{ns}	۱۲۸/۵۳۶ ^{ns}	۵۲۵/۰۹۸**	۰/۱۳۴۸**	۰/۰۲۹*	۰/۰۰۱۸ ^{ns}	۰/۵۰۷۷۸۷**	۵۷۰۹۱۴ ^{ns}
اشتباه آزمایشی	۹۶	۹/۳۷	۱۱۷/۶۹۲	۱/۸۲۹	۰/۴۱۸	۶۶/۴۷	۹۵/۲۱۷	۰/۰۲۴۳	۰/۰۱۱۳	۰/۰۰۰۹۸	۰/۰۰۸۷۸	۱۵۹۷۶۶۰ ^{ns}
ضریب تغییرات (%)		۵/۶۸	۲۱/۳۴	۱۳/۰۱	۱۸/۰۲	۱۰/۳۸	۱۳/۷۸	۱۲/۵	۱۷/۲۳	۱۲/۵۶	۲۴/۸۶	۲۰/۴۵

ns, * و **: به ترتیب بیانگر عدم معنی داری و معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

دهنده‌ای در کاهش میزان نشت مواد محلول از غشاء داشت که این را می‌توان به‌عنوان راهکاری برای افزایش مقاومت به خشکی در گیاهان دانست. پوتریسین باعث پایداری غشاء و کاهش نشت یونی از طریق اتصال به ماکرومولکول‌های آنیونی از جمله فسفولیپیدهای غشاء و پلی‌ساکاریدهای پکتینی می‌شود (Ola *et al.*, 2019). یاخته‌های گیاه در پاسخ به براسینواستروئیدها برخی از عامل‌های نرم‌کننده دیواره را خارج می‌کنند که سبب افزایش انبساط‌پذیری دیواره می‌شوند و منجر به کاهش آسیب به غشاء و کاهش میزان نشت یونی می‌گردد (Huang *et al.*, 2020). کاربرد ۲۴-اپی‌براسینواستروئید سبب کاهش نشت یونی در گشنیز (Amiri *et al.*, 2018) و سرخارگل (Hosseinpour *et al.*, 2018) شده است. بنابراین به نظر می‌رسد تنش خشکی با کاهش اندازه سلول سبب کاهش سطح برگ می‌شود که نتیجه آن تجمع سلول‌های بیشتری در واحد وزن برگ و افزایش غلظت کلروفیل برگ می‌باشد (Taiz & Zaygar, 1998). میزان کلروفیل b در گیاه نعنای فلفلی بر اثر تنش خشکی افزایش یافت (Hokmabadi *et al.*, 2017). در شرایط تنش‌های محیطی محتوای کاروتنوئیدها به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند و نقش محافظتی برای کلروفیل‌ها دارند و از تجزیه کلروفیل‌ها به ویژه در تنش شدید خشکی و نوری جلوگیری می‌کنند (Li & Feng, 2011). نتایج این تحقیق با نتایج Cohen و همکاران (۲۰۰۴) که اظهار داشتند پلی‌آمین‌ها از تخریب کلروفیل در شرایط تنش‌زا جلوگیری می‌کنند هم‌راستا می‌باشد که این به اثرهای آنتی‌اکسیدانی پلی‌آمین‌ها نیز می‌تواند مرتبط باشد. در این رابطه، در شرایط تنش مهم‌ترین نقش براسینوئیدها بازسازی سطح کلروفیل و افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز است (Anwar *et al.*, 2018). بکارگیری پوتریسین سبب افزایش میزان کلروفیل a و b در گیاه دارویی بادرشبو (Rahaty *et al.*, 2015) شد.

البته افزایش محتوای کلروفیل در گیاهان تیمار شده با

در گیاه سرخارگل کاربرد محلول‌پاشی اپی‌براسینوئید در شرایط کاهش فراهمی آب باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ و تعداد شاخه گردید (Oveysi Omran *et al.*, 2020). Anjum و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که تنش خشکی سبب اختلال در تقسیم میتوز و طول و حجیم شدن سلول و در نتیجه کاهش رشد گیاه شده که همین سبب کاهش قطر ساقه نیز می‌شود. اپی‌براسینوئید سبب تحریک رشد از طریق تقسیم‌سلولی و همچنین تمایز آوندی در شرایط تنش شده و با تنظیمات هورمونی سبب مقاومت به تنش خشکی شده و شرایط مناسبی را برای رشد فراهم کرده و از این‌رو کاربرد این هورمون در شرایط تنش سبب افزایش قطر ساقه شده است (Asha & Lingakumar, 2015). براساس نتایج تحت تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ کاهش و میزان نشت یونی، کلروفیل a و b و کاروتنوئید و درصد اسانس گیاه ریحان افزایش یافت و محلول‌پاشی پوتریسین و اپی‌براسینوئید بجز کاهش نشت یونی سبب افزایش بیشتر این صفات شده است. حفظ وضعیت آب برگ به‌وسیله کاربرد خارجی پوتریسین می‌تواند به‌دلیل بهبود محتوای پوتریسین آزاد و ویژگی‌های غشاء توجیه‌پذیر باشد (Ola *et al.*, 2019). Kheiry و همکاران (۲۰۱۷) دریافتند که کاربرد براسینوئید در برگ‌های نعنای فلفلی منجر به بهبود محتوای نسبی آب برگ در هر دو شرایط تنش و عدم تنش شده است. نتایج تحقیقات Parmoon و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که تحت تنش خشکی کاربرد توأم پوتریسین در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار و اپی‌براسینوئید در غلظت ۰/۱ میکرومولار بیشترین تأثیر مثبت را بر محتوای آب نسبی برگ گیاه رازیانه داشت. تنش خشکی سبب اختلال در فعالیت‌های بیولوژیک غشاء سلولی، کاهش سیالیت آن و غیرفعال‌سازی یا کاهش سرعت پمپ شدن یون‌های غشایی می‌گردد، بنابراین میزان نشت یون‌ها نیز افزایش می‌یابد (Huang *et al.*, 2020).

کاربرد پوتریسین و اپی‌براسینوئید تأثیر مثبت و بهبود

همراه با ۰/۵ میکرومولار اپی‌براسینولید شد و نیز موجب افزایش تعداد برگ و تعداد شاخه‌های فرعی در شرایط آبیاری مطلوب و در شرایط تنش خشکی و باعث کاهش تأثیرات منفی تنش خشکی و بهبود در صفات ذکر شده گردید. به طوری که در شرایط تنش خشکی شدید محلول‌پاشی ۲ میلی‌مولار پوتریسین همراه با ۲ میکرومولار اپی‌براسینولید نسبت به عدم محلول‌پاشی (شاهد) سبب افزایش ۴۴/۸٪ عملکرد ماده خشک، ۴۳/۱۲٪ تعداد شاخه فرعی و ۵۳/۱۱٪ تعداد برگ شد؛ همچنین درصد اسانس، کلروفیل a و کلروفیل b در سال اول آزمایش به ترتیب ۶۲/۹٪، ۷۰/۸۲٪ و ۸۳/۱۹٪ و در سال دوم آزمایش ۵۲٪، ۵۷/۸۹٪ و ۷۵/۱۹٪ افزایش و میزان نشست‌یونی در سال اول ۳۵/۹۸٪ و در سال دوم ۴۱/۵٪ نشست یونی گیاه ریحان کاهش یافت.

بنابراین در هر دو شرایط تنش خشکی و همچنین شرایط آبی مطلوب، غلظت ۲ میلی‌مولار پوتریسین و ۲ میکرومولار اپی‌براسینولید برای بهبود فعالیت‌های فیزیولوژیکی و افزایش میزان اسانس گیاه ریحان تأثیر مثبتی داشته اما پیشنهاد می‌شود که دامنه غلظت بیشتری بررسی شود تا به طور حتم غلظت بهینه مشخص شود.

منابع مورد استفاده

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements-FAO irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300, 6541.
- Amiri, N., Zeinali, N. and Tavassolian, I., 2018. Influence of 24-epibrassinolide on some physiological characteristics and the yield of *Coriandrum sativum* L. under drought stress. Iranian Journal of Horticultural Science, 48(4): 899-907.
- Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L. and Zou, C.M., 2011. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. Journal of Agronomy and Crop Science, 197: 177-185.
- Anwar, A., Liu, Y. and Dong, R., 2018. The physiological and molecular mechanism of

براسینواستروئید در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Thussagunpanit *et al.*, 2015؛ Anjum *et al.*, 2011). بنابراین با توجه به نقش حفاظتی کاروتنوئیدها، نتایج این تحقیق که افزایش مقدار کاروتنوئیدها در طی تنش خشکی و افزایش بیشتر آن طی استفاده از پوتریسین توأم با تیمار تنش خشکی می‌باشد قابل توجه می‌باشد. بدین ترتیب گیاه ریحان برای کاهش خسارت حاصل از تنش اکسیداتیو، مقدار کاروتنوئیدها را افزایش داده تا بتواند تنش کم‌آبی را بهتر تحمل نماید. نتایج بیانگر افزایش درصد اسانس ریحان تحت تنش خشکی و استفاده از پوتریسین و اپی‌براسینولید بود. در این آزمایش درصد بالای اسانس در تیمار تنش را شاید بتوان به کاهش سطح برگ و متعاقب آن افزایش تراکم غده‌های ترشح‌کننده اسانس ربط داد (Rezaei Chiyaneh & Pirzad, 2014). افزایش درصد اسانس تحت تنش خشکی در گیاه پونه‌سا (Layeghaghghi *et al.*, 2016) و بابونه (Tohidi & Rastegari, 2019) نیز گزارش شده است. در اثر محلول‌پاشی پوتریسین افزایش اسانس می‌تواند به علت نقش پوتریسین بر استحکام غشای سلولی برگ و تنظیم‌کنندگی پوتریسین در ارتباط با واکنش در برابر تنش‌ها و پیری باشد که با استحکام غشاهای سلولی و بازداری از فعالیت آنزیم‌های هیدرولتیکی از پیری ممانعت می‌شود (El-Lethy *et al.*, 2010).

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی باید گفت که در هر دو سال آزمایش تنش خشکی بر پارامترهای فیزیولوژیکی و مورفولوژی گیاه ریحان تأثیر منفی گذاشت، اما از آنجایی که پوتریسین و اپی‌براسینولید از جمله مولکول‌های مؤثر در مسیر علامت‌رسانی تنش‌ها به‌شمار می‌روند، منجر به القاء پاسخ‌های دفاعی گیاه شد و درصد اسانس را در این شرایط افزایش داد. با کاربرد توأم ۲ میلی‌مولار پوتریسین و ۲ میکرومولار اپی‌براسینولید سبب افزایش کلروفیل a، کلروفیل b، درصد اسانس، عملکرد ماده خشک و کاربرد ۲ میلی‌مولار پوتریسین

- cv. Genove) under salinity stress. *Plant Process and Function*, 8(33): 399-412.
- Flinet, H.I., Boyce, B.R. and Beatti, D.J., 1966. Index of injury drought a useful expression of freezing injury to plant tissues as determined by the electrolytic method. *Canadian Journal of Plant Science*, 47: 229-230.
 - Haghshenas, J. and Eskandari, M., 2011. Growth parameters and essential oil percentage changes of dill (*Anethum graveolens*) as affected by drought stress and use of 28-homobrassinolide. *Journal of Plant Ecophysiology*, 3(9): 29-40.
 - Hokmabadi, K., Nourian Bigdeli, S., Narimani, R. and Moghadam, M., 2017. Study of beet bagasse effect on biochemical characteristics, photosynthetic pigments and antioxidant activity of leaf extracts of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 8(1): 135-145.
 - Hosseinpour, M., Ebadi, A., Nabizadeh, E., Habibi, H. and Jahanbakhsh Godekahriz, S., 2018. The effect of brassinosteroid application on water stress tolerance of coneflower (*Echinacea purpurea* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, 12(48): 525-548.
 - Huang, L., Zhang, L., Zeng, R., Wang, X., Zhang, H., Wang, L., Liu, Sh., Wang, X. and Chen, T., 2020. Brassinosteroid priming improves peanut drought tolerance via eliminating inhibition on genes in photosynthesis and hormone signaling. *Genes*, 11: 919
 - Kheiry, A., Tori, H. and Mortazavi, N., 2017. Effects of drought stress and jasmonic acid elicitors on morphological and phytochemical characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 33(2): 268-280.
 - Latha, P. and Vardhini, B.V., 2018. Effect of homobrassinolide on the growth of mustard crops grown in semi-arid tropics of nizamabad. *International Journal of Current Research in Life Sciences*, 7(6): 2320-2326.
 - Layeghhaghighi, M., Hassanpour Asil, M., Abbaszadeh, B., Sefidkon, F. and Matinizadeh, M., 2016. Effect of water deficit stress on essential oil yield, percentage and components in *Nepeta pogonosperma* Jamzad. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 32(3):513-526.
 - Li, K.R. and Feng, C.H., 2011. Effects of brassinolide on drought resistance of xanthoceras sorbifolia seedlings under water stress. *Acta Physiological Plantarum*, 33: 1293-1300.
 - Liu, E.K., Mei, X.R., Yan, C.R., Gong, D.Z. and Zhang, Y.Q., 2016. Effects of water stress on photosynthetic brassinosteroid in response to stress: a review. *Biological Research*, 51: 46.
 - Arasteh, F, Moghaddam, M. and Ghasemi Pirbalouti, A., 2020. The effect of putrescine foliar application on the induction of drought resistance in Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.). *Journal of Cell and Tissue*, 11(3): 204-220.
 - Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23: 112-121.
 - Asha, A. and Lingakumar, K., 2015. Effect of 24-epibrassinolide on the morphological and biochemical constitutions (*Vigna unguiculata* L.) seedlings. *Indian Journal of Scientific Research and Technology*, 3(1): 35-39.
 - Bucks, D.A., Nakayama, F.S. and Warrick, A.W., 1982. Principles, practices, and potentialities of trickle (DRIP) irrigation. *Advances in Irrigation*, 1: 219-298.
 - Cohen, A.S., Popovic, R.B. and Zalik, S., 2004. Effects of polyamines on chlorophyll and protein content, photochemical activity, and chloroplast ultrastructure of barley leaf discs during senescence. *Plant Physiology*, 64: 717-720.
 - Coka, N. and Karaman, S., 2015. The effects of plant growth regulators and L-phenylalanine on phenolic compounds of sweet basil. *Food Chemistry*, 166: 515-521.
 - Dastborhan, S., Zehtab-Salmasi, S., Nasrollahzadeh, S. and Tavassoli, A.R., 2011. Effect of biofertilizers and different amounts of nitrogen on yield of flower and essential oil and nitrogen use efficiency of german chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 27(2): 290-305.
 - Diaz-Perez, J.C., Shackel, K.A. and Sutter, E.G., 2006. Relative water content. *Annals of Botany*, 97(1): 85-96.
 - Ebrahimi, M., Rezaverdinejad, V., Besharat, S. and Abdi, M., 2018. A study of evapotranspiration as well as crop coefficient in *Ocimum basilicum* L. growth process in greenhouse. *Water and Irrigation Management*, 8(1): 1-10.
 - El-Lethy, S., Ayad, H. and Talaat, I., 2010. Physiological effect of some antioxidant on flax plant (*Linum usitatissimum* L.). *World Journal of Agricultural Sciences*, 6(5): 622-629.
 - Eskandari, M., 2013. Changes in growth parameters and essential oil content of *Satureja bachtiarica* Bunge under the effects of 28-Homobrassinolid and drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 29(1): 176-186.
 - Farsari, S., 2019. Effect of foliar application of putrescine on biomass, water relative content and mineral elements of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.

- Reis, R.S., Vale, E.M., Heringer, A.S. and Al, E., 2016. Putrescine induces somatic embryo development and proteomic changes in embryogenic callus of sugarcane. *Journal of Proteomics*, 130: 170-179.
- Rezaei Chiyaneh, E. and Pirzad, A., 2014. Effect of salicylic acid on yield, component yield and essential oil of black cumin (*Nigella sativa* L.) under water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(3): 427-437.
- Rostami, Gh. and Moghadam, M., 2019. Effects of Azomite on Growth and Some Physiological and Biochemical Characteristics of Basil under Salt Stress Conditions. *Journal of Plant Process and Function*, 8(29): 299-311.
- Taiz, L. and Zeiger, E., 1998. *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Inc, Sunderland: Sinauer Associates, 690p.
- Thussagunpanit, J., Jutamanee, K., Sonjaroon, W., Kaveeta, L., Chai-Arree, W., Pankean, P. and Suksamrarn, A., 2015. Effects of brassinosteroid and brassinosteroid mimic on photosynthetic efficiency and rice yield under heat stress. *Photosynthetica*, 53(2): 312-320.
- Tohidi Nejad, E. and Rastegari, F., 2019. Effects of biological and organic fertilizers on morphological parameters and chamazulene yield of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under drought stress condition. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 34(6): 949-962.
- Vardhini, B.V. and Anjum N.A., 2015. Brassinosteroids make plant life easier under abiotic stresses mainly by modulating major components of antioxidant defense system. *Frontiers in Environmental Science*, 2: 67.
- Wang, Q., Wang, S., Gan, S., Wang, X., Liu, J. and Wang, X., 2016. Role of specific phosphorylation sites of Arabidopsis Brassinosteroid-Insensitive 1 receptor kinase in plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 35: 755-769.
- Zand, B., Sorooshzadeh, A., Ghanati, F. and Moradi, F., 2010. Effect of zinc and auxin foliar application on some anti-oxidant enzymes activity in corn leaf. *Iranian Journal of Plant Biology*, 2(3): 35-48.
- characteristics, dry matter translocation and WUE in two winter wheat genotypes. *Agricultural Water Management*, 167: 75-85.
- Mostafaei, F., Fakhrmirloohi, A., Saedi, Q.A., Sabzalian, M.R., Asgarinia, P. and Qaisari, M., 2014. Evaluation of variation and drought tolerance in F3 generation of a cross between domesticated (*Carthamus tinctorius* L.) and wild (*C. oxyacanthus* L.) safflower species. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 16(3): 165-180.
- Nolan, T.M., Vukasinovic, N., Liu, D., Russinova, E. and Yina, Y., 2020. Brassinosteroids: multidimensional regulators of plant growth, development, and stress responses. *The Plant Cell*, 32: 295-318.
- Ola, H., Elbar, A., Reham, E., Farag, S. and Shehata, A., 2019. Effect of putrescine application on some growth, biochemical and anatomical characteristics of *Thymus vulgaris* L. under drought stress. *Annals of Agricultural Sciences*, 64: 129-137.
- Oveysi Omran, M., Zavareh, M., Sefidkon, F., Abaszadeh, B. and Asadi-Sanam, S., 2020. Effects of potassium and brassinosteroid on some morphophysiological characteristics and essential oil yield of *Echinacea purpurea* (L.) Moench under different regimens of water availability Availability. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 36(1): 40-58.
- Pal, M., Szalai, G. and Janda, T., 2015. Speculation: polyamines are important in abiotic stress signaling. *Plant Science*, 237: 16-23.
- Parmoon, G., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., Hashemi, M. and Moosavi, A., 2019. Assessing photosynthetic performance of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) influenced by plant growth regulators and drought stress imposed at vegetative and reproductive stages. *Italian Journal of Agronomy*, 14: 13-19.
- Rahaty, R., Hakimi, L. and Zare, F., 2015. Effect of polyamines on morphological characteristics, quantity and quality essential oil of moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.). *Applied Microbiology and Biotechnology*, 3(5): 49-58.

Evaluation of morphophysiological traits of *Ocimum basilicum* L. in response to foliar application of putrescine and 24-epibrassinolide under drought stress

F. Darabi¹, N. Abbasi^{2*} and M.J. Zarea³

1- Ph.D. student of plant physiology, Department of Agronomy and Plant breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2*- Corresponding author, Department of Agronomy and Plant breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

E-mail: abbasinosrat@gmail.com

3- Department of Agronomy and Plant breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

Received: November 2020

Revised: March 2021

Accepted: April 2021

Abstract

To investigate the role of putrescine and 24-epibrassinolide on the morphophysiological changes of *Ocimum basilicum* L. in the water deficiency tolerance, an experiment was conducted as a factorial split plot in a randomized complete block design with three replications in the research farm of Agriculture Faculty, Ilam University during 2017-19 crop years. The experimental treatments included the drought stress at three levels (40, 80, and 120 mm evaporation from Class A evaporation pan) in the main plots and putrescine foliar application at three levels (Put₀: 0, Put₁: 0.5, and Put₂: 2 mM) and 24-epibrassinolide foliar application at three levels (Br₀: 0, Br₁: 0.5, and Br₂: 2 μM) factorially in the subplots. The results showed that the multiple interaction of year, drought stress, putrescine, and 24-epibrassinolide had a significant effect on the traits including chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, and basil essential oil percentage, so that the foliar application of 2 mM putrescine and 2 μM 24-epibrassinolide at all levels of drought stress, especially 80 mm evaporation from the evaporation pan, caused a further increase in these traits in both years of the experiment, which was higher in the first year than the second one. The optimal irrigation treatment (40 mm evaporation from evaporation pan) with application of 2 mM putrescine and 0.5 μM 24-epibrassinolide and drought stress treatments (80 and 120 mm evaporation from evaporation pan) with application of 2 mM putrescine and 2 μM 24-epibrassinolide had more leaves and secondary branches. The results of this study showed that the drought stress had an important role in reducing the basic factors in basil growth. In general, according to the results obtained, the foliar application of 2 mM putrescine with 2 μM 24-epibrassinolide to improve the physiological activities and increase the essential oil content, and 2 mM putrescine with 0.5 μM 24-epibrassinolide to increase the seed yield could be recommended in basil under drought stress conditions.

Keywords: Putrescine, essential oil percentage, *Ocimum basilicum* L., chlorophyll, foliar application, medicinal plant, drought stress.