تأثیر محلول‌پاشی اسید هیومیک و تنش خشکی بر خصوصیات رشدی و فیزیولوژیک گل جعفری

مریم دالوند[۱]، موسی سلگی[۱*] و علیرضا خالقی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۰۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۰۹)

چکیده

گیاهان در دوران رشد خود با تنش‌های متعدد محیطی مواجه می‌شوند. هر یک از این تنش‌ها، با توجه به میزان حساسیت و مرحله رشد گیاه، می‌توانند اثرهای متفاوتی بر رشد، متابولیسم و عملکرد آن داشته باشند. یکی از راه حل‌ها برای کاهش اثرهای منفی ناشی از تنش‌ها، استفاده از مواد هیومیک است. مطالعه حاضر به‌منظور بررسی تأثیر اسید هیومیک و تنش خشکی بر شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گل جعفری صورت گرفت. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار طی پائیز و زمستان سال ۱۳۹۴ در گروه علوم باغبانی دانشگاه اراک به اجرا درآمد. در این تحقیق، تأثیر چهار سطح اسید هیومیک (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و سه دوره آبیاری (۵، ۱۰ و ۱۵ روزه) بر ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گل جعفری (طول ریشه، تعداد برگ و گل، میزان کلروفیل a، b و کل، کارتنوئید، فسفر، کلسیم و پرولین) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، طول ریشه‌ها و میزان پرولین افزایش یافت، به‌طوری که بیشترین میزان پرولین در تیمار با دور آبیاری ۱۵ روز و بدون استفاده از اسید هیومیک و کمترین مقدار نیز در دور آبیاری ۵ روزه و کاربرد ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد. با این حال، تنش خشکی موجب کاهش تعداد برگ‌ها و گل‌ها، رنگیزه‌های کلروفیل (a، b و کل)، کارتنوئید، میزان فسفر و کلسیم گردید. غلظت‌های بیشتر اسید هیومیک، به‌ویژه ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر، میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید، فسفر، طول ریشه‌ها، تعداد برگ در هفته ششم و تعداد گل را افزایش داد؛ ولی میزان کلسیم و پرولین را کاهش داد. تیمار ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک علاوه بر اینکه اثر منفی تنش خشکی را کاهش داد، توانست ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک را بهبود بخشد. به‌طور کلی، استفاده از اسید هیومیک، به‌ویژه غلظت‌های زیاد آن، برای افزایش دور آبیاری گل جعفری پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: اسید هیومیک، تنش خشکی، فسفر، کلروفیل

مقدمه

گل‌های فصلی، با توجه به تنوع رنگ فراوان خود، از عناصر بسیار مهم فضای سبز در شهرها هستند و بسیار مورد توجه طراحان فضای سبز هستند. این گیاهان حالت رشدی علفی داشته و کمتر از ۱۲ ماه در فضای سبز حضور دارند (۲). گل‌های فصلی دارای دو گروه فصل گرم (تابستانه) و فصل سرد

۱. گروه مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m-solgi@araku.ac.ir

(زمستانه) هستند. از گروه گل‌های فصلی تابستانه می‌توان به گل‌های جعفری، آهار، ناز و تاج خروس زینتی اشاره نمود. گل جعفری گونه آفریقایی با نام علمی *Taget erecta* از خانواده کاسنی است. گل جعفری گیاهی علفی با برگ‌های مرکب و بریدگی‌های عمیق و معطر است. رنگ گل‌هایش ممکن است زرد روشن، نارنجی یا قرمز- قهوه‌ای باشد (۱۶).

سنسی و همکاران (۴۳) معتقدند که مواد هیومیک به‌عنوان بخشی از مواد آلی خاک از تحولات فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیک مولکول‌های زیستی ناشی می‌شوند که براساس قابلیت حل شدن به سه دسته اسید هیومیک، اسید فولویک و هیومین تقسیم می‌شوند. اسید هیومیک بیشترین میزان از مواد هیومیک را شامل می‌شود. امروزه، با استفاده از اسید هیومیک، افزایش تولید محصولات کشاورزی مقرون به‌صرفه است و به‌صورت مستقیم در خاک و یا به‌صورت محلول‌پاشی استفاده می‌شود (۲۲). نحوه عمل اسید هیومیک بر رشد گیاه به اثرهای مستقیم و غیرمستقیم آن و تأثیر آن بر غشا و در نتیجه بهبود انتقال عناصر غذایی، افزایش سنتز پروتئین و فتوسنتز نسبت داده می‌شود. مهم‌ترین خاصیت هیومیک اسید این است که از یک طرف به انحلال و آزاد سازی عناصر تثبیت شده، به‌خصوص در خاک‌های قلیایی، کمک می‌کند و از طرف دیگر همانند یک مخزن، عناصر اضافی موجود در محیط را در خود ذخیره می‌نماید، به موقع در اختیار ریشه می‌گذارد و بدین‌ترتیب گیاه متعادلی را می‌پروراند. اسید هیومیک می‌تواند با بهبود جذب نیتروژن سبب افزایش میزان آنزیم‌ها، انواع پروتئین‌ها، به‌ویژه آنزیم‌ها و پروتئین‌های شرکت کننده در چرخه فتوسنتزی نظیر سیتوکروم‌ها، فردوکسین‌ها، پلاستوسیانین و آنزیم رابیسکو شده و از این طریق رشد را افزایش دهد (۱۷).

تحت تنش کم‌آبی، تغذیه برگی با مولکول‌های آلی موجب نگهداری محتوای آب برگ‌ها، افزایش فتوسنتز و سوخت و ساز آنتی‌اکسیدان‌ها می‌شود (۱۹). از جمله آثار فیزیولوژیک خشکی بر گیاهان، کاهش رشد رویشی، به‌ویژه رشد بخش‌های هوایی، است. گسترش سلولی تنها زمانی می تواند اتفاق افتد که فشار تورژسانس بیشتر از آستانه تحمل دیواره سلولی باشد. به‌علت کاهش فشار تورژسانس طی تنش آبی، فرایند رشد یکی از حساس‌ترین فرایندهای فیزیولوژیک در تنش آبی محسوب می‌شود. تنش خشکی عمدتاً به‌واسطه کاهش فشار تورژسانس، بزرگ شدن سلولی و رشد سلولی را متوقف می‌کند (۲۷). مصرف بهینه آب در تولید محصولات کشاورزی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر رشد و نمو گیاهان، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (۱۲). ردی و همکاران (۳۹) اظهار داشتند که خشکی یکی از تنش‌های محیطی محدودکننده رشد و بهره‌وری محصولات است که از طریق عوامل روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای بر میزان فتوسنتز تأثیر می‌گذارد و در نهایت فتوسنتز کاهش پیدا می‌کند. بنابراین، کاهش فتوسنتز همراه با کاهش رشد و عملکرد تولیدی در گیاهان خواهد بود. پژوهشگران نتیجه گرفتند که اثرهای تحریکی مواد هیومیک بر متابولیسم ثانویه گیاه یک رویکرد نوآورانه برای کشف پاسخ گیاه به تنش فراهم می‌کند. افزایش قابل توجه فعالیت PAL در برگ گوجه‌فرنگی با کودهای هوموسی مشاهده شد (۳۷). هرناندز و همکاران (۲۴) نتایج مشابه را در افزایش فعالیت PAL در کاهو گزارش کردند.

بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف اسید هیومیک بر صفات رشدی و فیزیولوژیک گل جعفری تحت تنش خشکی به‌منظور مقابله با مشکل کم‌آبی و افزایش برخی ویژگی‌های کمی و کیفی این گل بود.

مواد و روش‌ها

تیمارها، زمان و مکان آزمایش

این پژوهش طی پائیز و زمستان سال ۱۳۹۴ در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشگاه اراک، به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و سه گلدان در هر تکرار

اجرا شد. عامل اول این آزمایش شامل اسید هیومیک در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و عامل دوم شامل دوره‌های آبیاری در سه سطح (۵، ۱۰، ۱۵ روزه) بودند. بذرهای گل جعفری رقم آفریقایی رقم پاکوتاه گل درشت (شرکت پاکان بذر) در سینی نشا حاوی کوکوپیت و پیت‌ماس در اواسط آذر ماه ۱۳۹۴ کشت شدند. سپس، تعداد سه نشا در مرحله چهاربرگی در اوایل دی ماه به گلدان‌هایی از جنس پلاستیک با قطر دهانه ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر منتقل گردیدند. بستر کشت شامل ترکیبی از خاک برگ، کود دامی، ماسه و خاک معمولی (به نسبت ۲:۱:۱:۱) بود. میانگین دمای گلخانه در زمستان حدود ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵۰٪ بود. پس از انتقال نشاها به گلدان و استقرار آنها، محلول‌پاشی اسید هیومیک به‌صورت هفتگی و به مدت چهار هفته اجرا گردید و دوره‌های آبیاری نیز از ابتدای کاشت آنها در گلدان‌ها (پس از انتقال نشاها) تا آخرین مرحله نمونه‌گیری اعمال شد.

صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک

به‌منظور بررسی اثر تیمارها بر صفات ظاهری گیاه، هر دو هفته (هفته‌های دوم، چهارم و ششم) تعداد برگ هر گیاه شمارش شدند و در پایان دوره تعداد گل و طول ریشه ثبت شدند.

اندازه‌گیری رنگیزه‌ها

پس از گذشت یک ماه، از هر تکرار یک گلدان به‌صورت تصادفی انتخاب شد و میزان کلروفیل و کارتنوئیدها مورد سنجش قرار گرفت. برای سنجش کلروفیل برگ‌ها از روش آرنون (۹) و کارتنوئید از روش لیختن‌تالر و ولبرن (۲۹) استفاده شد. جهت استخراج عصاره از استون ۸۰٪ و قرائت جذب محلول حاصل توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (CE) (4400 UV VIS Double Beam Scanning Spectrophotometer) در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ برای کلروفیل a و b و طول موج ۴۷۰ نانومتر برای کارتنوئید انجام گردید.

اندازه‌گیری غلظت کلسیم و فسفر

پس از گذشت یک ماه، از هر تکرار یک گلدان به‌صورت تصادفی انتخاب شد و برای سنجش میزان کلسیم و فسفر به ترتیب از روش بائو (۱۰) و کروس و همکاران (۱۴) استفاده گردید.

ارزیابی پرولین

پس از گذشت یک ماه، از هر تکرار یک گلدان به‌صورت تصادفی انتخاب شد و میزان پرولین گیاهچه‌ها از روش بتیس و همکاران (۱۱) استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) اجرا شد. داده‌های حاصل با استفاده از آنالیز آماری ANOVA و توسط نرم‌افزار SAS (نسخه 9.1) تجزیه شدند. آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای تعیین معنی‌دار بودن تفاوت آماری بین میانگین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. برای رسم نمودارها نیز نرم‌افزار EXCEL به کار گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنش خشکی بر صفات کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل، کارتنوئید، پرولین، فسفر، کلسیم، طول ریشه، تعداد برگ و تعداد گل در هفته‌های دوم، چهارم و ششم تفاوت معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۱$) نشان داد. محلول‌پاشی اسید هیومیک در صفات کلروفیل a، b و کل، کارتنوئید، پرولین، فسفر، کلسیم و تعداد گل تفاوت معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۱$) نشان داد. اثر متقابل تنش خشکی و اسید هیومیک روی کلروفیل a، کلروفیل کل، کارتنوئید، پرولین، فسفر، کلسیم و طول ریشه در سطح احتمال ۱٪ و روی تعداد برگ هفته ششم و تعداد گل در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول‌های ۱ و ۲).

جدول ۱. تأثیر سطوح مختلف اسید هیومیک و تنش خشکی بر صفات رشدی گل جعفری گونه آفریقایی

		میانگین مربعات MS				
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی DF	طول ریشه (میلی‌متر) Root length (mm)	تعداد برگ‌ها (هفته دوم) Number of leaves (۲st week)	تعداد برگ‌ها (هفته چهارم) Number of leaves (۴nd week)	تعداد برگ‌ها (هفته ششم) Number of leaves (۶rd week)	تعداد گل Flowers number
اسید هیومیک Humic Acid	۳	۱۶۵/۷۴ns	۰/۶۵ns	۰/۵۴ns	۷/۱۱ns	۰/۳۳**
تنش خشکی Drought	۲	۷۷۵۸/۳۳**	۵/۹۸**	۱۳/۸۸**	۵۳/۴۴**	۲/۱۸**
اسید هیومیک × تنش خشکی Humic Acid × Drought	۶	۳۱۵۴/۶۲**	۰/۲۲ns	۱/۳۴ns	۸/۷۷*	۰/۱۳*
خطا Error	۲۴	۹۲۲/۲۲	۱/۰۲	۱/۰۱	۳/۲۷	۰/۰۴
ضریب تغییرات CV =٪		۱۷/۹۵	۲۵/۱۷	۱۷/۱۷	۱۹/۸۷	۱۴/۸۳

**: signification at the 1% level, *: significant at the 5% level, ns: not significant

طول ریشه

گرچه تأثیر سطوح مختلف اسید هیومیک بر طول ریشه‌ها معنی‌دار نگردید، اما اثر تنش خشکی و اثر متقابل آنها تفاوت معنی‌دار (P≤۰/۰۱) نشان داد (جدول ۱). بیشترین طول ریشه (۲۱۶/۶ میلی‌متر) مربوط به بیشترین غلظت اسید هیومیک (۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و تنش خشکی ۱۰ روزه بود و کمترین طول ریشه (۱۰۶/۶ میلی‌متر) هم مربوط به همین سطح از اسید هیومیک ولی در تنش خشکی ۱۵ روز به‌دست آمد (شکل ۱). طبق اظهارات چن و آویاد (۱۳) این نتایج می‌تواند به‌علت اثر مثبت مواد هیومیک بر جذب بیشتر عناصر غذایی باشد. مواد هیومیک علاوه بر بهبود جذب عناصر غذایی مانند فسفر از طریق ریشه‌ها، به‌دلیل اثر شبه اکسینی که بر رشد ریشه مؤثر هستند منجر به افزایش رشد طولی ریشه‌ها می‌شوند (۳۶). همچنین، ماهاجان و توتجا (۳۱) اظهار داشتند که رشد نسبی ریشه در شرایط تنش خشکی ممکن است حتی دستخوش افزایش نیز شود. این امر، توانایی سیستم ریشه‌ای را برای جذب بیشتر آب از لایه‌های عمقی‌تر خاک امکان‌پذیر می‌سازد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. یک سیستم ریشه‌ای نیرومند می‌تواند باعث تسریع رشد در مراحل اولیه رشد در گیاهان شده و آب را از لایه‌های سطحی خاک خارج کند (۳۳). اروین و همکاران (۱۸) نشان دادند که اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک روی چمن پوا موجب افزایش طول ریشه‌ها می‌شود.

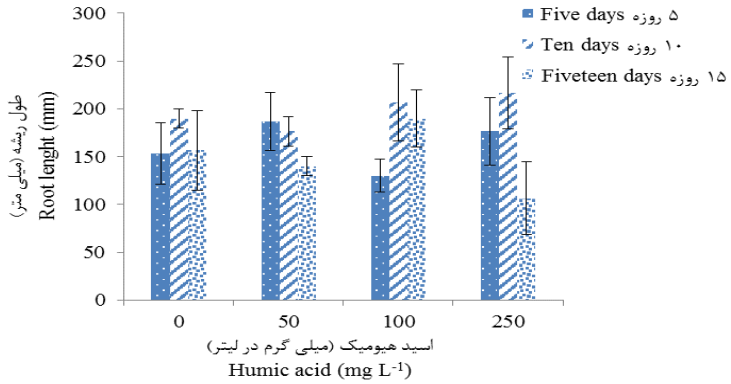
تعداد برگ

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، تأثیر اسید هیومیک روی تعداد برگ در هفته‌های دوم و چهارم تفاوت معنی‌دار نشان نداد؛ در حالی که تأثیر تیمارهای خشکی تفاوت معنی‌داری (P≤۰/۰۱) را نشان داد (جدول ۱). همچنین، اثر متقابل بین تنش خشکی و اسید هیومیک در صفت تعداد برگ در هفته ششم تفاوت معنی‌دار نشان داد (P≤۰/۰۵) که بیشترین تعداد برگ در هفته ششم با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک و دور آبیاری پنج روزه حاصل شد و کمترین تعداد برگ هم با همین غلظت از اسید هیومیک ولی در دور آبیاری ۱۵ روزه به‌دست آمد. غلظت‌های زیاد اسید هیومیک در شرایط تنش شدید نه تنها تعداد برگ را افزایش نداد بلکه تأثیر منفی روی تعداد برگ نسبت به سایر تیمارها گذاشت. ولی غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، تأثیر تنش خشکی را بهتر تعدیل کرد (شکل ۲). برخی محققین، از جمله نظری دلجو و ویردی زاده (۴) در مورد

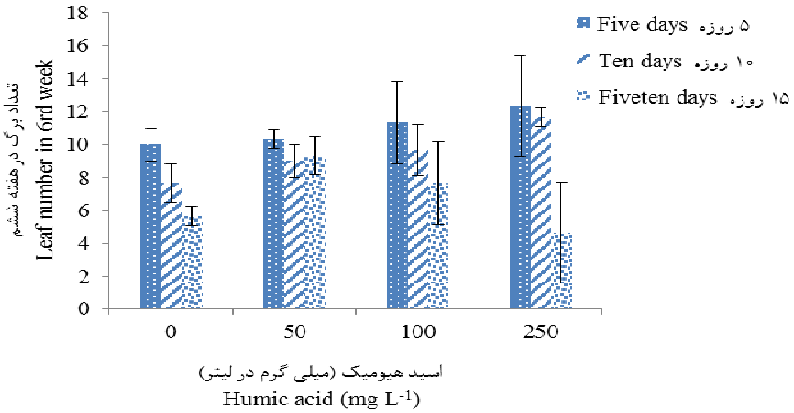
جدول ۲. تاثیر سطوح مختلف اسید هیومیک و تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیکی گل جعفری گونه آفریقایی

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی DF	میانگین مربعات MS						
		کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll a (mg g^{-1}fw)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll b (mg g^{-1}fw)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Total Chlorophyll a (mg g^{-1}fw)	کارتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Carotenoid (mg g^{-1}fw)	پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر) Prolin (µm g^{-1}fw)	فسفر (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Phosphorus (mg g^{-1}fw)	کلسیم (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Calcium (mg g^{-1}fw)
اسید هیومیک Humic Acid	۳	۰/۷۹**	۰/۲۷**	۱/۹**	۰/۹۵**	۴۳۳/۷۴**	۸/۳۹**	۳۶۰/۰۰۴**
تنش خشکی Drought	۲	۰/۶**	۰/۳۷**	۱/۹**	۱/۶۹**	۶۲۱/۳۳	۴/۸۶**	۳۶۱/۹۷**
اسید هیومیک × تنش خشکی Drought ×Humic Acid	۶	۰/۰۵**	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰۵**	۰/۰۱**	۱۸/۸۹**	۰/۲۴**	۱۸/۱۷**
خطا Error	۲۴	۰/۲۹	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۱/۵۴	۰/۰۲	۰/۶۵
ضریب تغییرات % = CV		۸/۵	۹/۴۴	۶/۰۵	۴/۲۳	۴/۴	۶/۸	۳/۲۱

**signification at the 1% level, * significant at the 5% level, ns: not significant



شکل ۱. تأثیر دوره‌های مختلف آبیاری و اسید هیومیک بر طول ریشه گل جعفری گونه آفریقایی

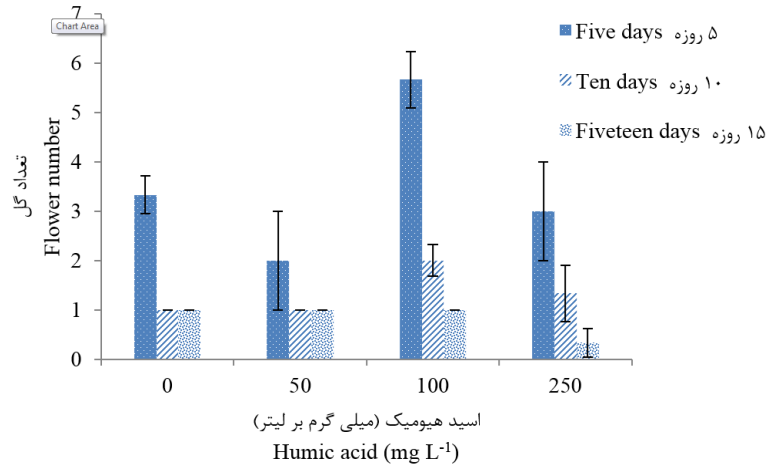


شکل ۲. تأثیر دوره‌های مختلف آبیاری و اسید هیومیک بر تعداد برگ هفته ششم گل جعفری گونه آفریقایی

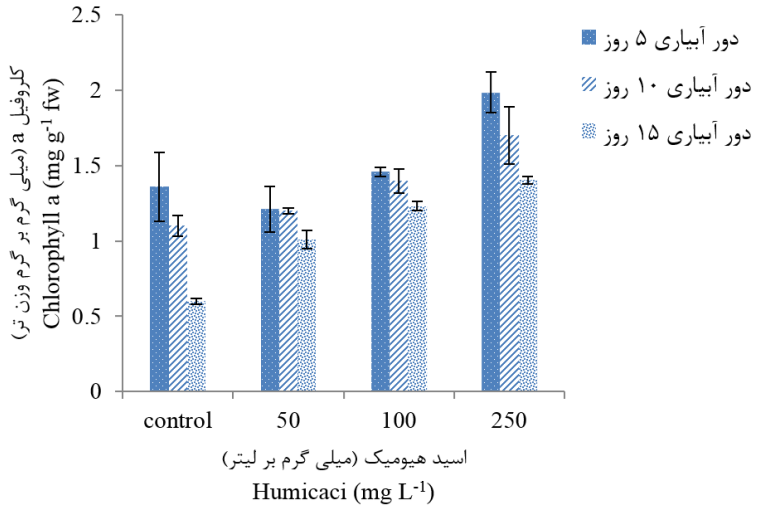
توانایی اسید هیومیک روی افزایش تعداد برگ در گیاهان مختلف مطالبی ارائه کرده‌اند که با یافته‌های این تحقیق همخوانی دارد. همچنین، در گزارشی، کمری شاه‌ملکی و همکاران (۲۶) دریافتند که افزایش تعداد برگ می‌تواند ناشی از اثر مثبت مواد معدنی و فعالیت شبه‌هورمونی اسید هیومیک بر رشد و جذب عناصر غذایی بوته‌های کاهو باشد که با افزایش تعداد برگ در این آزمایش در اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک مطابقت دارد.

تعداد گل

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها بیانگر تأثیر مثبت و معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۱$) محلول‌پاشی اسید هیومیک بر تعداد گل بود (جدول ۱). غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک مناسب‌ترین غلظت برای هر سه دوره تنش خشکی بود و تعداد گل در این سطوح از خشکی را افزایش داد. بر همین اساس، تعداد گل به‌عنوان مهم‌ترین شاخص عملکرد، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر محلول‌پاشی اسید هیومیک قرار گرفت. به نحوی که در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با دوره تنش پنج روزه، تعداد گل (۵/۶۶ گل) حدود ۶۰٪ نسبت به شاهد (۳۳/۳ گل) افزایش یافت (شکل ۳). گزارش چمنی و همکاران (۱) بیانگر این موضوع است که اسید هیومیک می‌تواند باعث کاهش عوامل تنش‌زا گردد و در نتیجه عمر گل‌های گلدانی و عملکرد را بهبود بخشد. اثر مثبت اسید هیومیک بر غشای سلولی و بهبود نقل و انتقال عناصر غذایی و افزایش جذب عناصر غذایی در داخل گیاه از جمله مهم‌ترین دلایلی است که جهت افزایش عمر گلدانی و عملکرد نسبت داده می‌شود. لذا اثر مثبت اسید هیومیک بر تعداد گل در این آزمایش می‌تواند با این یافته‌ها



شکل ۳. تأثیر دوره‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف اسید هیومیک بر تعداد گل‌های جعفری گونه آفریقایی

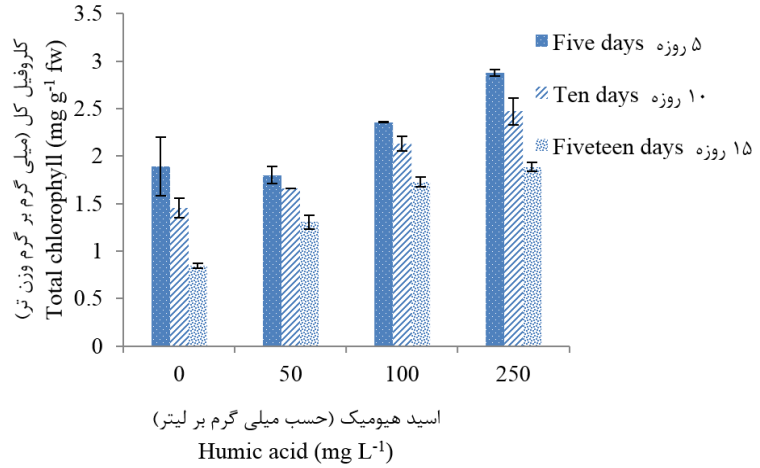


شکل ۴. تأثیر دوره‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف اسید هیومیک بر کلروفیل a گل جعفری گونه آفریقایی

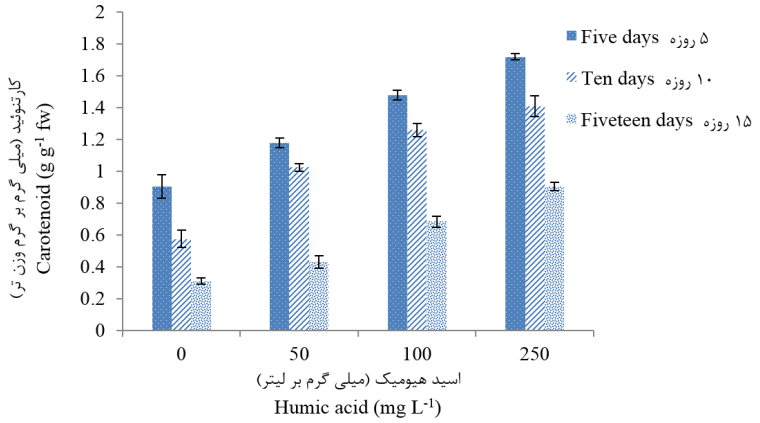
مرتبط باشد. نتایج تحقیق کنونی با نتایج نظری دلجو و ویردی زاده (۴) مبنی بر نقش اسید هیومیک در افزایش تعداد گل در همیشه بهار و نتایج احمد (۷) مبنی بر تأثیر مثبت اسید هیومیک بر افزایش کیفیت گل، عمر گلدانی و تعداد سنبله در گلایول سفید مطابقت دارد. همچنین، در مطالعات دیگری توسط ممون و همکاران (۳۴) نشان داده شد که اسید هیومیک بر شاخص‌های رشد و عملکرد گل فلوکس (Phlox) تأثیر مثبت و معنی‌داری داشته و دوره گلدهی آن را افزایش داد و تعداد گل و دوره گل‌دهی گل اطلسی نیز توسط اسید هیومیک افزایش یافت (۸).

رنگیزه‌های فتوسنتزی

تأثیر تنش خشکی و اسید هیومیک و اثرهای متقابل آنها (به‌جز اثرهای متقابل در میزان کلروفیل b) بر میزان کلروفیل a، b و کل و کارتنوئید تفاوت معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۱$) نشان داد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که افزایش دور آبیاری در این آزمایش سبب کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود (شکل‌های ۴، ۵ و ۶). از آنجایی که پالج و اسپینال (۳۸) نشان داده‌اند که کلروفیل و پرولین هر دو از پیش ماده مشترک به نام گلوتامات سنتز می‌شوند، بنابراین افزایش سنتز پرولین در شرایط تنش خشکی منجر به کاهش سنتز کلروفیل می‌شود. از سوی

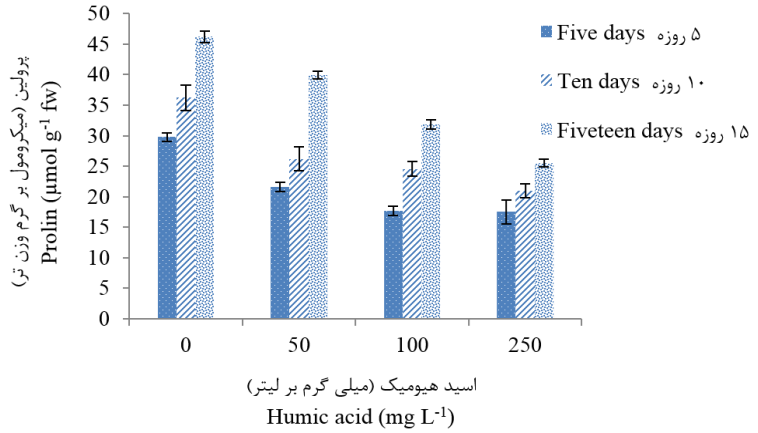


شکل ۵. تأثیر دوره‌های مختلف آبیاری و اسید هیومیک بر کلروفیل کل گل جعفری گونه آفریقایی



شکل ۶ . تأثیر دوره‌های مختلف آبیاری و اسید هیومیک بر میزان کارتنوئید گل جعفری گونه آفریقایی

دیگر، شوت و فانگمیر (۴۲) دریافتند که کاهش میزان کلروفیل a در اثر تنش خشکی مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول است. رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه‌ها می‌شوند (۴۵). در تحقیقی، کاهش رطوبت خاک باعث کاهش کلروفیل کل، کارتنوئیدها و سطح برگ شد (۳). گزارش‌هایی در مورد افزایش و یا کاهش میزان کارتنوئید طی تنش خشکی وجود دارد. افزایش میزان کارتنوئید طی تنش خشکی می‌تواند به‌عنوان یک حامی کلروفیل عمل نماید تا مانع تخریب بیشتر کلروفیل گردد (۵). در حالی که کاهش مقدار آن می‌تواند به علت تخریب ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال باشد (۳۵). نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از اسید هیومیک تأثیر به‌سزایی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گل جعفری دارد. بررسی نتایج مربوط به تأثیر اسید هیومیک و خشکی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان داد که حداکثر مقدار این رنگیزه‌ها در تیمار ۲۵۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک تحت تنش خشکی پنج روزه مشاهده گردید. بنابراین، با استفاده از غلظت‌های زیاد اسید هیومیک و اعمال تنش خشکی تا ۱۵ روز، میزان کلروفیل a، کلروفیل کل و کارتنوئید در این آزمایش نسبت به شاهد حفظ گردید (شکل‌های ۴، ۵ و ۶). همچنین، غلظت زیاد اسید هیومیک توانست مقدار کلروفیل b را افزایش دهد. بررسی‌های گوناگونی نشانگر افزایش میزان کلروفیل و کارتنوئیدها با کاربرد اسید هیومیک به‌صورت محلول‌پاشی در گیاهان مختلف از جمله مارچوبه (۴۶)، داوودی (۲۰)، چمن لولیوم (۴۰) و گندم (۶) هستند که با نتایج پژوهش حاضر



شکل ۷. تأثیر دوره‌های مختلف آبیاری و اسید هیومیک بر میزان پرولین گل جعفری گونه آفریقایی

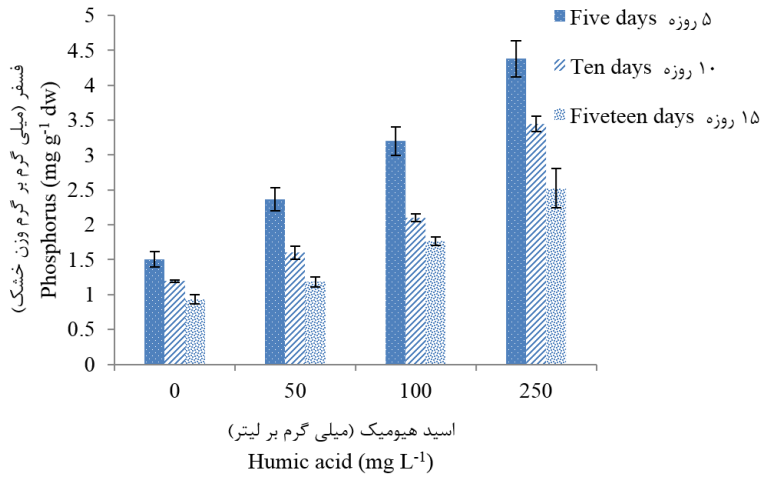
همخوانی دارد. افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌تواند منجر به افزایش کلروفیل شود. در بین عناصر غذایی، نیتروژن سهم مهمی در افزایش سبزینه گیاه دارد (۲۸). بنابراین، در غلظت‌های زیاد اسید هیومیک، میزان جذب عناصر مغذی، به‌خصوص نیتروژن، را افزایش می‌دهد و به‌دنبال آن میزان کلروفیل و فتوسنتز گیاه روبه به افزایش می‌گذارد.

پرولین

براساس نتایج مقایسه میانگین، با افزایش تنش خشکی، میزان پرولین افزایش یافت. اما با افزایش غلظت اسید هیومیک، میزان آن کاهش یافت (جدول ۲). بیشترین میزان پرولین (۴۶/۲۱ میکرومول بر گرم وزن تر) در تیمار تنش خشکی ۱۵ روز و بدون استفاده از اسید هیومیک و کمترین مقدار (۱۷/۵ میکرومول بر گرم وزن تر) در تیمار با تنش خشکی ۵ روز و کاربرد ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد. هرچه میزان تنش خشکی بیشتر گردید، میزان تولید پرولین هم برای مقاومت به تنش خشکی افزایش یافت. به همین ترتیب، میزان پرولین با افزایش غلظت اسید هیومیک در طول کل دوره‌های خشکی کاهش محسوسی از خود نشان داد (شکل ۷). گزیک (۲۳) اظهار داشت که تجمع پرولین آزاد یک پاسخ متداول به تنش کم‌آبی و شوری به‌منظور تنظیم فشار اسمزی در گیاهان عالی است. در این آزمایش، غلظت زیاد اسید هیومیک باعث کاهش تولید پرولین شد. از آنجایی که فرارا و همکاران (۲۱) اظهار داشتند که اسید هیومیک مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی (مانند تنش خشکی) را بهبود می‌بخشد، به نظر می‌رسد که همین دلیلی برای کاهش تولید پرولین بر اثر استفاده از اسید هیومیک باشد. همچنین، لطفی و همکاران (۳۰) اعلام کردند که استفاده از ترکیب‌های ارگانیک مانند اسید هیومیک یکی از روش‌هایی است که ممکن است از طریق آن بتوان دوره‌های آبیاری را کاهش داد و باعث بهبود بهره‌وری مصرف آب و کاهش اثر تنش خشکی در گیاهان شد. در بررسی ایشان، کاربرد اسید هیومیک سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها، بهبود فعالیت فتوسیستم II و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی در کلزا شد.

فسفر

اثر اسید هیومیک و تنش خشکی و اثر متقابل آنها روی میزان فسفر، تفاوت معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۱) نشان داد (جدول ۲). براساس مقایسه میانگین‌ها، با افزایش دور آبیاری و تنش خشکی، میزان فسفر کاهش یافت و کمترین مقدار آن (۰/۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در تیمار با دور آبیاری ۱۵ روز و بدون استفاده از اسید هیومیک به‌دست آمد. این کاهش ممکن است به علت کاهش سرعت انتشار فسفر از خاک به سطح ریشه‌ها باشد. زیرا

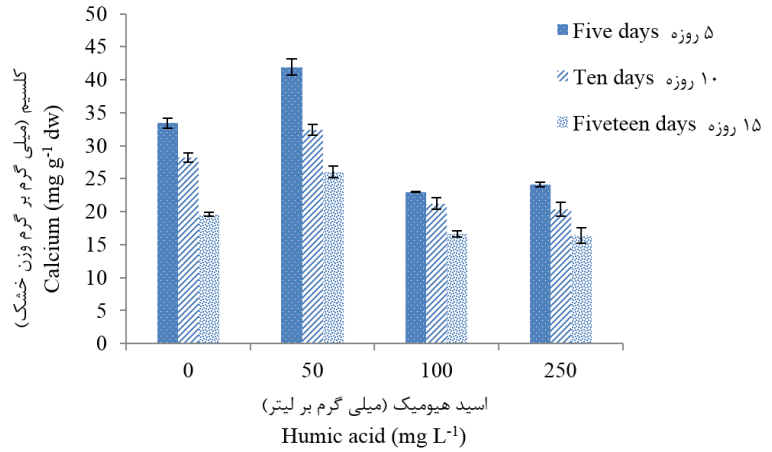


شکل ۸. تأثیر دوره‌های مختلف آبیاری و اسید هیومیک بر میزان فسفر گل جعفری گونه آفریقایی

یون فسفات به ذرات رس می‌چسبد و کمتر در دسترس ریشه های گیاه قرار می‌گیرد (۳۲). در این آزمایش، در شرایط عدم به کار بردن اسید هیومیک، مقدار فسفر از ۱/۵۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک در تنش خشکی پنج روزه به ۰/۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک در تنش خشکی ۱۵ روز کاهش یافت و به کار بردن ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک در همین سطح از تنش خشکی (دور آبیاری ۱۵ روزه) مقدار فسفر را به ۲/۵۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک افزایش داد (شکل ۸). چندین گزارش در مورد توانایی اسید هیومیک روی افزایش میزان فسفر در ارقام مختلف گونه‌های گیاهی ارائه شده است که با یافته‌های این تحقیق همخوانی دارد. ممکن است که اثر مثبت اسید هیومیک در جذب مواد مغذی به علت تأثیرش بر زیست‌توده خشک در گیاه باشد (۲۶). ساکی‌نژاد و همکاران (۴۱) افزایش جذب عناصر پرمصرف فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم را در لوبیا به حضور اسید هیومیک نسبت دادند. جونز و همکاران (۲۵) در آزمایشی، با بررسی اثر اسید هیومیک بر عملکرد گندم بهاره، دریافتند که اسید هیومیک دسترسی به فسفر و سایر عناصر غذایی را افزایش می‌دهد و همچنین سبب افزایش عملکرد می‌شود.

کلسیم

اثر اسید هیومیک و تنش خشکی و اثر متقابل آنها روی میزان کلسیم، تفاوت معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۱) نشان داد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها در این آزمایش نشان داد که با افزایش دور آبیاری، میزان کلسیم کاهش پیدا کرد (شکل ۹). یافته‌های ستایش مهر و گنجعلی (۴۴) نشانگر این است که با کاهش رطوبت خاک، حرکت کلسیم از خاک به سطح ریشه کاهش می‌یابد و جذب کلسیم توسط گیاه به مقدار زیادی به سرعت تعرق بستگی دارد. به همین دلیل، در شرایط تنش خشکی، به علت محدود شدن سرعت تعرق، جذب کلسیم کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، با افزایش غلظت اسید هیومیک تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، میزان کلسیم افزایش یافت؛ ولی غلظت‌های بیشتر از آن رو به کاهش گذاشت. به این صورت که بیشترین میزان کلسیم (۴۱/۹۴ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در تیمار با دوره آبیاری ۵ روز و کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک و کمترین مقدار کلسیم (۱۶/۳۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) هم طی دوره مربوط به سطح تنش شدید خشکی و غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک حاصل شد (شکل ۹). در این آزمایش، علت افزایش میزان کلسیم در حضور اسید هیومیک ممکن است با نظر دل‌آگنولا و همکاران (۱۵) که نشان دادند استفاده از مواد هیومیک منجر به سنتز حامل‌های پروتئینی یونی و در نتیجه افزایش جذب یون‌ها می‌شود، در ارتباط باشد. همچنین ترکمن و همکاران (۴۷) در پژوهش‌های خود در مورد



شکل ۹. تأثیر دوره‌های مختلف آبیاری و اسید هیومیک بر کلسیم گل جعفری گونه آفریقایی

اثر اسید هیومیک بر جذب کلسیم در تولید گوجه‌فرنگی به روش هیدروپونیک گزارش کردند که اسید هیومیک باعث افزایش جذب کلسیم گردید. با این حال، غلظت‌های زیاد اسید هیومیک، جذب کلسیم را کاهش داده است که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد اسید هیومیک موجب بهبود خصوصیات رشدی و فیزیولوژیک گل جعفری تحت تنش خشکی می‌شود. کاربرد غلظت‌های زیادتر اسید هیومیک تحت تنش خشکی، میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید و فسفر را افزایش داد؛ اما میزان پرولین را کاهش داد. بنابراین، کاربرد اسید هیومیک اثرهای منفی تنش خشکی را تعدیل بخشید و استفاده از آن برای افزایش دور آبیاری این گل پیشنهاد می‌شود. به‌طور کلی، اسید هیومیک باعث کاهش عوارض جانبی کودهای شیمیایی بر محیط‌زیست و صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود.

سپاسگزاری

این تحقیق به‌عنوان بخشی از طرح پژوهشی به شماره ۹۴/۹۹۷۴ مورخ ۱۳۹۴/۹/۷ معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه اراک است که بدین‌وسیله از همکاری ایشان تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. چمنی، ا.، ب. اسماعیل‌پور، ی. پور بیرامی هیر، ح. ملکی لجایر و ا. سعادتی. ۱۳۹۱. بررسی اثر تیدیازوران و اسید هیومیک روی عمر پس از برداشت گل آلسترومریا رقم کنیامبه. علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۶(۲): ۱۴۷-۱۵۲.

۲. حکمتی، ج. ۱۳۸۲. گل‌های فصلی (گل‌های فضای آزاد). انتشارات نشر علوم کشاورزی، ۲۸۵ صفحه.

۳. قربانی، ط.، س.گالشی، ا. سلطانی و ا. زینلی. ۱۳۹۰. تأثیر تنش خشکی بر پارامترهای رشد، محتوای کلروفیل و کارتنوئید در مرحله رویشی گیاه نخود. اولین همایش ملی و راهبردهای دستیابی به کشاورزی پایدار، صفحات ۱۳۸-۱۴۳.

۴. نظری دلجو، م. و ن. ویردی زاده. ۱۳۹۳. بهبود خصوصیات رشد و نموی، عملکرد و کیفیت پس از برداشت گل همیشه بهار (*Calendula officinalis* cv. Ctysantha) تحت تأثیر محلول‌پاشی اسید هیومیک. علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۸(۲): ۲۶۰-۲۶۸.

5. Abdalla, M.M. and N.H. El- Khoshiban. 2007. The influence of water stress on growth, relative water content,

photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. J. Appl. Sci. Res. 3(12): 2062-2074.
6. Abou-Aly, H.E. and M.A. Mady. 2009. Complemented effect of humic acid and biofertilizers on wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity. Ann. Agric. Sci. 47(1): 1-12.
7. Ahmad, I., R.U. Saquib, M. Qasim, M. Saleem, A. Khan and M. Yaseen. 2013. Humic acid and cultivar effects on growth, yield, vase life, and corm characteristics of gladiolus. Chılean J. Agrıc. Res. 73(4): 339-344.
8. Ambreen, S.M., H.B. Muhammad and R.B. Ahmed. 2014. Influence of humic acid and macronutrients ($MgSO_4$ + S) application on growth and yield of petunia (*Petunia milliflora*). Int. J. Agric. Technol. 10(6): 1493-1508.
9. Arnon, D.L. 1949. Copper enzymes in isolated choloroplast. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1-15.
10. Bao, S.D. 1981. Determination of cation. PP. 150-160. *In:* Bao, S.D. (Ed.), Analytic Methods for Soil and Agriculture Chemistry, China Agriculture Press, Beijing.
11. Bates, L.S., R.P. Waldren and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studied. Plant Soil 39: 205-207.
12. Bayat, M., G. Rostami and M. Haddadian. 2009. Large amount of water resources and water supply projects in the state. Acad. J. Civ. Eng. 39: 26-37.
13. Chen, Y. and T. Aviad. 1990. Effects of humic substances on plant growth. PP. 161-186. *In:* MacCarthy, P., C.E. Clapp, R.L. Malcolm and P.R. Bloom (Eds.), Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings, Soil Science Society of America Inc., Madison, Wisconsin, USA.
14. Creus, C.M., R.G. Sueldo and C.A. Barrasi. 2004. Water relation in *Azospirillum* inoculated wheat seedling under osmotic stress. Can. J. Bot. 76: 238-244.
15. Dell'Agnola, G., G. Ferrari and S. Nardi. 1981. Antidote action of humic substances on atrazine inhibition of sulphate uptake in barley roots. Pestic. Biochem. Physiol. 15: 101-104.
16. Dole, J.M. and H.F. Wilkins. 2005. Floriculture: Principles and Species. Prentice Hall, USA, pp. 533-536.
17. Dordas, C. and S. Sioulas. 2008. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis and water efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. Crop Prod. 27: 78-85.
18. Ervin, E.H., X. Zhang and J.C. Roberts. 2008. Improving root development with foliar humic acid applications during Kentucky bluegrass sod establishment on sand. Acta Hort. 783: 600.
19. Fahramand, M., H. Moradi, M. Noori, A. Sobhkhizi, M. Adibian, S. Abdollahi and K. Rigi. 2014. Influence of humic acid on increase yield of plants and soil properties. Int. J. Farm. All. Sci. 3(3): 339-341.
20. Fan, H., X.W. Wang, X. Sun, Y. Li, X. Sun and C. Zheng. 2014. Effects of humic acid derived from sediments on growth, photosynthesis and chloroplast ultrastructure in chrysanthemum. Sci. Hort. 177: 118-123.
21. Ferrara, G., A. Pacifico, P. Simeone and E. Ferrara. 2006. Preliminary study on the effects of foliar applications of humic acids on 'Italia' table grape. Proceedings of the XXXth OIV World Congress, Budapest, Hungary.
22. Gad El-Hak, S.H., A.M. Ahmed and Y.M.M. Moustafa. 2012. Effect of foliar application with two antioxidants and humic acid on growth, yield and yield components of peas (*Pisum sativum* L.). J. Hort. Sci. Ornam. Plants 4(3): 318-328.
23. Gzik, A. 1996. Accumulation of proline and pattern of α- amino acids in sugar beet plants in response to osmotic, water and salt stress. Environ. Exp. Bot. 36(1): 29-38.
24. Hernandez, O.L., A.C. Garcia, R. Huelva, D. Martínez-Balmori, F. Guridi, N.O. Aguiar, F.L. Olivares and L.P. Canellas. 2015. Humic substances from vermicompost enhance urban lettuce production. Agron. Sustain. Dev., 35: 225-232.
25. Jones, C.A., J.S. Jacobsen and A. Mugaas. 2004. Effect of humic acid on phosphorus availability and spring wheat yield. Fertilizer Facts, No. 32, Montana State University.
26. Kamari Shahmaleki, S., Q. Peyvast and J. Olfati. 2010. Effects of humic acid on growth characteristics and absorption of nutrient elements of lettuce in thin layer of solution. J. Hort. Sci. 24(2): 149-153.
27. Karthikeyan, B., C.A. Jaleel, R. Gopi and M. Deiveekasundaram. 2007. Alteration in seedling vigour and antioxidant enzyme activities in *Catharanthus roseus* under seed priming with native diazotrophs. J. Zhejiang Univ. Sci. B. 8: 453- 457.
28. Kausar, A. and F. Azam. 1985. Effect of humic acid on wheat seeding growth. Environ. Exp. Bot. 25: 245-252.
29. Lichtenthaler, H.K. and A.R. Wellburn. 1983. Determination of total carotenoids and cholorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochem. Soc. Trans. 11: 591-592.
30. Lotfi, R., P. Gharavi Kouchebagh and H. Khoshvaghti. 2015. Biochemical and physiological responses of *Brassica napus* plants to humic acid under water stress. Russ. J. Plant Physiol. 62(4): 480-486.
31. Mahajan, S. and N. Tuteja. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. Arch. Biochem. Biophys. 444: 139-158.
32. Marchner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, 674 p.

33. Martinez, J.P., J.F. Ledent, M. Bajji, J.M. Kinet and S. Lutts. 2003. Effect of water stress on growth, Na^+ and K^+ accumulation and water use efficiency in relation to osmotic adjustment in two populations of *Atriplex halimus* L. Plant Growth Regul. 41: 63-73.
34. Memon, S.A., R.A.Baloch and M.H. Baloch. 2014. Influence of humic acid and micronutrients (zinc + manganese) application on growth and yield of phlox (*Phlox paniculata*). Int. J. Agric. Technol. 10(6): 1531-1543.
35. Munne-Bosch, S. and J. Penuelas. 2004. Drought induced oxidative stress in strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) growing in Mediterranean field conditions. Plant Sci. 166: 1105-1110.
36. Muscolo, A., F. Bavolo, F. Gionfriddo and S. Nardi. 1999. Earthworm humic matter produced auxin-like effects on Daucus carota cell growth and nitrate metabolism. Soil Biol. Biochem. 31: 1303-1311.
37. Olivares, F.L., N.O. Aguiar, R.C.C. Rosa and L.P. Canellas. 2015. Substrate biofortification in combination with foliar sprays of plant growth promoting bacteria and humic substances boosts production of organic tomatoes. Sci. Hort. 183: 100-108.
38. Paleg, L.G. and D. Spinall. 1981. The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plant. Academic Press, New York, 240 p.
39. Reddy, A.R., K.V. Chaitanya and M. Vivekanandan. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. J. Plant Physiol. 161: 1189-1202.
40. Russo, R.O. and G.P. Berlyn. 1990. The use of organic bio-stimulants to help low input sustainable agriculture. J. Sustain. Agric. 1: 19-42.
41. Saki Nejad, T., S.M. Hossaini and M. Hyvari. 2011. Calculate changes of bean germination process in the presence of various compounds of biological fertilizer humic acid mixed with micro and macro elements. J. Amer. Sci. 7(6): 10-14.
42. Schut, M. and E. Fangmeir. 2001. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO_2 and water limitation. Environ. Poll. 114: 187-194.
43. Senesi, N., T.M. Miano, M.R. Provenzano and G. Brunetti. 1991. Characterization, differentiation, and classification of humic substances by fluorescence spectroscopy. Soil Sci. 152: 259-271.
44. Setayeshmehr, Z. and A. Ganjali. 2013. Effects of water stress on growth and physiological characteristics of *Anethum graveolens* L. J. Hort. Sci. (*Agric. Sci. Technol*.) 27(1): 27-35.
45. Sheteawi, S.A. and K.M. Tawfik. 2007. Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on mungbean (*Vigna radiate*) growth and yield. J. Appl. Sci. Res. 3(3): 251-262.
46. Tejada, M. and J.L. Gonzalez. 2003. Influence of foliar fertilization with amino acids and humic acids on productivity and quality of asparagus. Biol. Agric. Hort. 21(3): 277-291.
47. Türkmen, Ö., A. Dursun, M. Turan and C. Erdinc. 2004. Calcium and humic acid affectseed germination, growth and nutrient content of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings under saline soil conditions. Acta Agric. Scand. (54): 168-174.