Archive of SID

به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۱ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۸
صفحه‌های ۲۳۲-۲۲۱

اثر اسید هیومیک بر شاخص‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد گوجه‌فرنگی تحت شرایط کم آبیاری

شیلان اصلانی[۱]، طاهر برزگر[۲*]، جعفر نیکبخت[۳]
۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
۲. دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
۳. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۰۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۱۹

چکیده
به‌منظور بررسی تأثیر تنش کم‌آبی و سطوح مختلف اسید هیومیک بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکرد گوجه‌فرنگی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه پژوهشی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۵ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری در سه سطح (۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و محلول‌پاشی اسید هیومیک در چهار سطح (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بودند. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری هدایت روزنه‌ای، شاخص پایداری غشا، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل و عملکرد بوته را کاهش داد و باعث افزایش مقدار پرولین و فعالیت آنزیم پراکسیداز شد. کاربرد اسید هیومیک فعالیت آنزیم پراکسیداز، محتوای نسبی آب برگ، مقدار پرولین، کلروفیل و شاخص پایداری غشا را تحت آبیاری نرمال و کم‌آبیاری افزایش داد و باعث کاهش هدایت روزنه‌ای گردید. بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۱/۲۰۷ واحد بر گرم وزن برگ تازه در دقیقه) و پرولین (۱۱/۵ میلی‌گرم در گرم بافت تازه) با کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک در تیمار کم‌آبیاری با ۶۰ درصد نیاز آبی حاصل شد. بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ (۷۸/۶ درصد) و شاخص پایداری غشا (۷۰/۰۱ درصد) به‌ترتیب با کاربرد ۳۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد. حداکثر عملکرد بوته تحت آبیاری ۱۰۰ درصد با کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد. با توجه به نتایج، کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک جهت بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکرد میوه گوجه‌فرنگی پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: پراکسیداز، پرولین، شاخص پایداری غشا، محلول‌پاشی برگی، هدایت روزنه‌ای.

Effect of Humic Acid on Physiological and Biochemical Indices and Yield of Tomato under Deficit Irrigation

Shilan Aslani[1], Taher Barzegar[2*], Jaefar Nikbakht[3]
1. Former M.Sc. Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2. Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
3. Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
Received: December 25, 2018 Accepted: May 9, 2019

Abstract
In order to study the effect of water deficit stress and foliar spray of humic acid (HA) on physiological and yield traits of tomato, the current paper conducts an experiment in a split plot based on randomized complete block design with three replications at the research filed of University of Zanjan, during 2016. The treatments in this experiment include arrangement of three irrigation levels (at 100%, 80%, and 60% ETc) and 4 levels of HA (0, 100, 200, and 300 mg.l^{-1}). Results show that deficit irrigation has significantly decreased stomatal conductance, membrane stability index, leaf relative water and chlorophyll a and b content, and plant yield, increasing the proline content and proxidase activity. HA treatment enhances proxidase activity, leaf relative water content, proline, chlorophyll, membrane stability index, and plant yield under normal and deficit irrigation, decreasing stomatal conductance. The maximum peroxidase activity (1.207 uints.g^{-1}FW.Min^{-1}) and proline content (11.5 mg.gFW^{-1}) belongs to the treatment with 200 mg L^{-1} HA and 60% of ETc irrigation. Also, the maximum leaf relative water content (78.6%) and membrane stability index (70.01%) has been observed in HA 300 and 200 mg L^{-1}, respectively under 100% ETc irrigation. The maximum plant yield has been obtained with application of HA 200 mg L-^{1} under 100% ETc irrigation. According to the results, application of HA 200 mg L-^{1} could help improving the plant's physiological traits, simultaneously increasing its fruit yield.

Keywords: Foliar spray, membrane stability index, proline, proxidase, stomatal conductance.

* نویسنده مسئول
Email: tbarzegar@znu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) گیاهی چندساله، متعلق به تیره بادمجان می‌باشد که سرشار از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، لیکوپن، پلی‌فنول‌ها و ویتامین ث است (Afroz *et al.*, 2010). کشور ایران با تولید ٦/١٧ میلیون تن رتبه ششم جهانی تولید گوجه‌فرنگی را به خود اختصاص داده است. بنابر آخرین گزارش به‌دست‌آمده در سال ۲۰۱۷ میزان کل سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی در ایران ۱۵۳۷۳۵ هکتار بود که با عملکرد متوسط ٤٠/١٨ تن در هکتار، دارای تولید سالانه ٦١٧٧٢٩٠ تن می‌باشد (FAO, 2017).

آبیاری و تغذیه مناسب از جمله عوامل محیطی هستند که تولید و عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند (Wang *et al.*, 2011). کمبود آب، تنش محیطی مهمی است که خسارت‌های سنگینی در بسیاری از بخش‌های جهان به محصولات کشاورزی وارد می‌کند (Ahmadizadeh, 2013). تنش کم‌آبی اثرات مضری بر یکپارچگی غشا و مقدار و کیفیت پروتئین‌ها گذاشته و از لحاظ مولکولی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تغییرات وسیعی را در گیاهان ایجاد نموده و نمو و تولید محصولات را به‌طور منفی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Harb *et al.*, 2010). یکی از تغییرات بیوشیمیایی در گیاهان که تحت تنش‌های مختلف ایجاد می‌شود، تولید گونه‌های اکسیژن فعال است که یکی از اولین پاسخ‌های سلولی گیاه به تنش‌های محیطی است که می‌توانند موجب آسیب به انواع فرآیندهای بیولوژیکی در سلول شوند (Gill & Tuteja, 2010). تجمع بیش از حد گونه‌های اکسیژن فعال می‌تواند سبب بروز صدماتی همچون پراکسیداسیون لیپیدی (نتیجه آن تغییر در ساختار و از هم‌پاشیدگی یکپارچگی غشای سلولی)، بی‌رنگ شدن و یا از بین رفتن رنگدانه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل، اکسیداسیون پروتئین‌ها و هم‌چنین آسیب به اسیدهای نوکلئیک شود (Ahmadizadeh, 2013). گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجادشده، دارای سیستم‌های دفاعی با کارایی بالایی هستند که می‌تواند رادیکال‌های آزاد را از بین برده و یا خنثی کنند، از جمله این سیستم‌های دفاعی سیستم آنزیمی شامل سوپر اکسید دسموتاز (SOD)، آسکوربات پراکسیداز (APX)، کاتالاز (CAT) و گلوتاتیون ردوکتاز (GR) است (Ozkur *et al.*, 2009). افزایش میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در شرایط تنش کم‌آبی در گیاه خیار (Fan *et al.*, 2014) و بامیه (Barzegar *et al.*, 2016) گزارش شده است. هم‌چنین مطالعه اثر تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه گوجه‌فرنگی نشان داد که با افزایش سطح تنش، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل کل، فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای کاهش یافت درحالی‌که میزان پرولین افزایش نشان داد (Noorani Azad *et al.*, 2016).

بهبود عملکرد در نواحی خشک و نیمه‌خشک یکی از اهداف مهم در کشاورزی است. یکی از راهکارهای تحمل به تنش استفاده از کودهای آلی است که تحمل گیاهان را به تنش‌های محیطی افزایش داده و موجب بهبود فعالیت‌های متابولیکی گیاه می‌شود. در بین کودهای سازگار با طبیعت، مصرف انواع کودهای آلی مانند اسید هیومیک رو به افزایش است. کاربرد اسید هیومیک در گیاه به‌صورت محلول‌پاشی و خاکی موجب افزایش هورمون‌های اکسین، سیتوکینین و جیبرلین در گیاه می‌شود (Abdel-Mawgoud *et al.*, 2007). مولکول‌های اسید هیومیک با پیوند به مولکول‌های آب، تا حدودی مانع از تبخیر آب می‌گردند. هم‌چنین مولکول‌های اسید فولیک به درون بافت‌های گیاهی نفوذ می‌کنند و با پیوند یافتن به مولکول‌های آب تعریق و تعرق گیاه را کاهش داده و به حفظ آب درون گیاه کمک می‌کنند (Bronick & Lai, 2005). تجمع اسمولیت‌ها مانند پرولین یک مکانیسم سازگار شناخته‌شده در گیاهان در شرایط تنش است. اسید هیومیک به‌طور معنی‌داری میزان پرولین را در گیاه گلرنگ تحت شرایط مختلف آبیاری افزایش داد (Karimi *et al.*,

www.SID.ir

Archive of SID

2016). هم‌چنین بررسی مطالعه اثر اسید هیومیک و آبیاری بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه نخود سبز نشان داد که استفاده از اسید هیومیک اثر معنی‌داری بر میزان کلروفیل a و b و محتوای نسبی آب برگ دارد (Rasaei *et al.*, 2012). کاربرد برگی اسید هیومیک باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ، محتوای پرولین و فعالیت‌های پراکسیداز در گیاه بامیه شد (Barzegar *et al.*, 2016).

با توجه به اهمیت گوجه‌فرنگی به‌عنوان یک سبزی مهم در سبد غذایی خانوار، به‌ویژه به روش ارگانیک و کم‌شدن منابع آبی، هدف از انجام این پژوهش مطالعه اثرات محلول‌پاشی برگی اسید هیومیک بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی در شرایط تنش کم‌آبی بود.

۲. مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی اثر اسید هیومیک بر شاخص‌های فیزیولوژیکی میوه گوجه‌فرنگی رقم PO 356 F1 تحت تنش کم‌آبیاری، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه زنجان اجرا شد. آبیاری در سه سطح (۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) به‌عنوان کرت اصلی و اسید هیومیک در چهار سطح (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند. بذر گوجه‌فرنگی از شرکت POP Vriend Vegetable Seeds، هلند تهیه گردید. این رقم میان‌رس با رشد رویشی محدود و بوته‌های قوی، میوه گرد با وزن متوسط ۱۹۰ تا ۲۰۰ گرم و مناسب کشت در مزرعه و تونل‌های پلاستیکی می‌باشد. اسید هیومیک مورد استفاده با نام تجاری هیومکس از شرکت Biotek Gh آمریکا محتوی ۷۹ درصد اسید هیومیک، ۱۲ درصد اکسید پتاسیم و ۱۲ درصد اسید فولویک بود. جدول ۱ ویژگی‌های خاک محل آزمایش را نشان می‌دهد.

بذرها در ۲۰ اسفند سال ۱۳۹۵ داخل سینی‌های مخصوص کاشت بذر در بستر حاوی پیت ماس در گلخانه (دمای ۳±۲۷ روز و ۳±۲۰ شب با رطوبت نسبی ۶۰-۷۰ درصد) کشت شدند. پس از ۵۵ روز نشاها در مرحله چهار- پنج برگی به مزرعه انتقال داده شدند. فاصله ردیف‌ها ۹۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هر واحد آزمایشی شامل پنج بوته بود. پس از استقرار اولیه گیاهان در مرحله شش- هفت برگی اولین مرحله محلول‌پاشی اسید هیومیک صورت گرفت. محلول‌پاشی‌های بعدی هر ۱۰ روز یک بار به تعداد ۹ بار در طول دوره رشد گیاه انجام گرفت. اعمال تیمارهای تنش آبیاری ۲۰ روز بعد از انتقال نشاها پس از اولین محلول‌پاشی صورت گرفت. مقدار آب آبیاری تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) با استفاده از میانگین بلندمدت داده‌های روزانه پارامترهای هواشناسی ثبت‌شده در ایستگاه سینوپتیک هواشناسی زنجان و رابطه (۱) برآورد شد.

$$ET_C = ET_0 \times K_C \quad \text{رابطه ۱)}$$

ETc: نیاز آبی گیاه گوجه‌فرنگی (میلی‌متر در روز)، ET_0: تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن (میلی‌متر در روز) و Kc: ضریب گیاهی گوجه‌فرنگی (۰/۸۵) نیاز آبی تیمارهای تنش کم‌آبی بر اساس نیاز آبی تیمار شاهد و درصد تنش آبی (۶۰ و ۸۰ درصد)، برآورد و توزیع شد (Vaziri *et al.*, 2008). در طول فصل رشد وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	بافت خاک	ماده آلی (٪)	پتاسیم ($g.kg^{-1}$)	سدیم ($g.kg^{-1}$)	کلسیم ($g.kg^{-1}$)	نیتروژن (٪)	EC ($ds.m^{-1}$)	pH
۳۷	۳۸	۲۵	لوم رسی	۰/۹٤	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۰۷	۱/٤۹	۷/٤

www.SID.ir

Archive of SID

صفات مورد ارزیابی

در زمان برداشت میوه، تمام میوه‌های هر بوته با ترازوی دیجیتال وزن شده و عملکرد برحسب کیلوگرم در بوته محاسبه شد. در اواخر فصل رشد طول بوته برحسب سانتی‌متر ثبت شد. هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر (مدل MK, Delta, UK)بین ساعات ۱۲ تا ۱٤ اندازه‌گیری شد (Mujdeci *et al.*, 2011). به این منظور از هر واحد آزمایشی سه بوته و از هر بوته پنج برگ انتخاب و میانگین آن‌ها به‌عنوان هدایت روزنه‌ای برگ بر حسب میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه ثبت شد.

برای اندازه‌گیری محتوای پرولین ۰/۵ گرم برگ تازه بر اساس روش بیتس در اسید سولفوسالیسیلیک استخراج شد و غلظت پرولین نمونه‌ها به کمک اسید نین هیدرین در تولوئن با استفاده از اسپکتروفتومتر (JENWAY مدل UV-6505) به کمک غلظت‌های مشخص پرولین خالص به‌عنوان استاندارد در طول موج ۵۲۰ نانومتر تعیین شد (Bates *et al.*, 1973).

فعالیت آنزیم پراکسیداز به روش اسپکتروفتومتری (اسپکتروفتومتر JENWAY مدل UV-6505) در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجه سانتی‌گراد) بر اساس میزان تجزیه‌شدن H_2O_2 در طول موج ٤۷۰ نانومتر تعیین شد (Chance & Maehly, 1955).

به‌منظور اندازه‌گیری شاخص پایداری غشای سلول، ۰/۱ گرم برگ با آب مقطر شسته‌شده و در لوله‌های حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شدند. لوله‌ها به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم ٤۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داده شدند و هدایت الکتریکی آن‌ها پس از سرد شدن با دستگاه هدایت‌سنج قرائت شد (EC_1). سپس لوله‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و هدایت الکتریکی آن‌ها پس از سرد شدن قرائت شد (EC_2) و شاخص پایداری غشای سلولی (MSI) با استفاده از رابطه زیر به‌صورت درصد محاسبه شد (Sairam *et al.*, 2002).

رابطه ۲) $MSI = (1- EC_1 / EC2) \times 100$

جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC)، ابتدا وزن تر دیسک‌های برگی (FW) اندازه‌گیری و سپس به‌منظور تعیین وزن اشباع (TW)، به‌مدت چهار ساعت در شدت نور کم و در دمای اتاق در داخل آب مقطر قرار داده شدند. در پایان به‌منظور تعیین وزن خشک دیسک-های برگی (DW)، نمونه‌ها به‌مدت ٤۸ ساعت در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. محتوای نسبی آب برگ‌ها با استفاده از رابطه ۳ به‌دست آمد (Ritchie *et al.*, 1990).

رابطه ۳) $(FW-DW)/(TW-DW) \times 100$

مقادیر کلروفیل a و b با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (JENWAY مدل UV-6505) و روش آرنون (Arnon, 1967) تعیین شدند. در این روابط ٤ و ۵، V حجم محلول سانتریفوژ شده، A جذب نور در طول موج‌های ٦٦۳ و ٦٤۵ نانومتر و W وزن تر نمونه برحسب گرم است. در نهایت با استفاده از معادله‌های زیر میزان کلروفیل a و b برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه محاسبه شد.

رابطه ٤) $\text{Chlorophyll a} = (12.7\times A663 - 2.69\times A645)\ V/1000W$

رابطه ۵) $\text{Chlorophyll b} = (22.9\times A645 - 4.68\times A663)\ V/1000W$

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) تجزیه و مقایسه میانگین داده‌ها از طریق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. هدایت روزنه‌ای

اعمال تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری هدایت روزنه‌ای را

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش داد، هم‌چنین کاربرد اسید هیومیک در شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی هدایت روزنه‌ای را کاهش داد (جدول‌های ۲ و ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین در بررسی اثرات متقابل آبیاری و اسید هیومیک، بالاترین میزان هدایت روزنه‌ای (۰/۵۸ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) در گیاهان شاهد تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کم‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای (۰/۳۱ برحسب میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) با محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر تحت شرایط آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی حاصل شد (جدول ٤).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار اسید هیومیک بر صفات فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی تحت سطوح مختلف آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		هدایت روزنه‌ای	آنزیم پراکسیداز	شاخص پایداری غشا	پرولین	محتوای نسبی آب برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	ارتفاع بوته	عملکرد
بلوک	۲	۰/۰۰۰۳ns	۰/۰۰۰۰۸ns	۰/٤۸۱ns	۰/۰٤٤ns	۰/۲۰۱ns	۰/۰۰۲ns	۰/۰۰٤۳ns	۱۳۷٦۳/۹۱ns	۰/۰٤۷ns
آبیاری	۲	۰/۰۸۹**	۰/۳۳۹**	٥۲٦/۸۱**	۲٤۲/۳٥۷**	۹٥۷/۳٦٥**	۰/۹٥۷**	۰/۰۱٦ns	۲۲٥۷٦/۰۷ns	۳٦/۸۸**
خطای کرت اصلی	٤	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۸	۰/۲۹٦	۰/۰۲۷	۰/۲۲۲	۰/۰۰۳	۰/۰۱	۱۳۹۸۰/۹۱	۰/۰۰۷
اسید هیومیک	۳	۰/۱۱۱**	۰/۲۲٤**	٤٥٦/٥٦٤**	۱۲۲/٥**	٤۹٦/۱**	۰/٥۱۲**	۰/۰٥٦**	۲۹٥۸٦/٤۳ns	۲/۳۸**
اسید هیومیک× آبیاری	٦	۰/۰۱۲**	۰/۰۳۲**	۱۳/۱٥۱**	۱۰/۳٦۸**	۲۷/۱۲۹**	۰/۰۲**	۰/۰۱۸*	۱۷۲۲۲/۸۳ns	۰/۱۲**
خطای کرت فرعی	۱۸	۰/۰۰۰٤	۰/۰۰۰۱	۰/۷٤۹	۰/۰٦۰	۰/۱٦۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰٥	۱۳۸٥۳/۳٤	۰/۰۰٦
ضریب تغییرات		۳/۲۲	۱/۹۲	۰/۸۱	۲/٤٤	۰/٦۸	٤/۹٦	٤/۹	۲۸/۷	۲/۳٥

** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح پنج درصد، ns معنی‌دار نیست.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات محلول‌پاشی اسید هیومیک بر صفات فیزیولوژیک گیاه گوجه‌فرنگی تحت سطوح مختلف آبیاری

سطوح آبیاری (ETc%)	اسید هیومیک (mg.L^{-1})	هدایت روزنه‌ای (mmol/m^{-2}.S^{-1})	آنزیم پراکسیداز (uints.g^{-1}FW.Min^{-1})	شاخص پایداری غشا (٪)	پرولین (mg.g^{-1}FW)	محتوای نسبی آب برگ (٪)	کلروفیل b (mg.g^{-1}FW)	کلروفیل a (mg.gFW^{-1})	عملکرد بوته (Kg)
۱۰۰	۰(شاهد)	۰/٥۸±۰/۰۰٥ a	۰/٤۱±۰/۰۰۲ g	٦۰/۹٦±۰/٥۳ e	۳/٦٦±۰/۰۱ i	٦۷/۷٤±۰/۱۳ e	۰/۲۹±۰/۰۰٦ bcd	۰/۸۷±۰/۰۲۲ e	۳/٦۹±۰/۰٥ cd
	۱۰۰	۰/٥۲±۰/۰۰۸ b	۰/٤۸±۰/۰۱ e	٦٥/٦٥±۰/۲٦ c	٤/۳۸±۰/۱ j	۷۲/۷٦±۰/۰٤ c	۰/۲۹±۰/۰۰٥ bcd	۱/۰۳±۰/۰۳۹ dc	۳/۸±۰/۰٤ c
	۲۰۰	۰/٥۱±۰/۰۰٥ b	۰/٦۳±۰/۰۰۸ d	۷۰/۰۱±۰/۰۸ a	۷/۳۲±۰/۱ f	۷٤/٥٥±۰/۱۱ b	۰/٤٦±۰/۰۱ a	۱/٤±۰/۰٤٦ a	٤/۱±۰/۰۱ a
	۳۰۰	۰/٤٤±۰/۰۰۸ c	۰/٥۸±۰/۰۰٥ de	٦۰/۹±۰/۳٤ e	٦/٤٥±۰/۰٦ g	۷۸/٦۱±۰/٦۳ a	۰/۲۸±۰/۰٤ cd	۱/۰۰۷±۰/۰۱٤ c	٤/۰۰۹±۰/۰۲ b
۸۰	۰(شاهد)	۰/٥±۰/۰۰۳ b	۰/٤۸±۰/۰۰۳ h	٥٤/٦۲±۰/۰۸ h	٥/٥۱±۰/۳۲ g	٥۸/۹۷±۰/۲۹ h	۰/۱۸±۰/۰۰۸ e	۰/۷٤±۰/۰۰٦ f	۳/۰۹±۰/۰٦ f
	۱۰۰	۰/٤٤±۰/۰۰۳ c	۰/٦۳±۰/۰۰۲ g	٥۸/۲۷±۰/۱۸ f	٦/٥۳±۰/۰٦ h	٦۷/۸۳±۰/۱٦ e	۰/۲۳±۰/۰۱ de	۰/۸٦±۰/۰۲۲ e	۳/٤٦±۰/۰۲ e
	۲۰۰	۰/٤۲±۰/۰۰٥ d	۰/٦٦±۰/۰۰٤ e	٦۸/۸۱±۰/۱۷ b	۸/٤۷±۰/۲۲ d	٦۹/۷٥±۰/۱۲ d	۰/۳٥±۰/۰۲ b	۱/۰٦±۰/۰۲۱ b	۳/۹۳±۰/۰٤ b
	۳۰۰	۰/٤۲±۰/۰۰۳ d	۰/٦٥±۰/۰۱ f	٥۷/۲۹±۰/۱۱ g	۹/۷±۰/۱۸ c	۷۲/۳٦±۰/۲٥ c	۰/۲٦±۰/۰۰۲ d	۰/۹±۰/۰۰٥ d	۳/٦±۰/۰٦ d
٦۰	۰(شاهد)	۰/٤۲±۰/۰۰۳ d	۰/۷۱±۰/۰۰٤ c	٤٥/٥۹±۰/۱٤ j	٦/۳۲±۰/۰۹ e	٤۳/٦±۰/۱۲ j	۰/۱۷±۰/۰۰٥ e	۰/۳±۰/۰۲۳ h	۱/۱۳٦±۰/۰۸۹ j
	۱۰۰	۰/۳۷±۰/۰۰۳ e	۰/۹۳±۰/۰۰۳ b	٥۳/۲٦±۰/۲۱ i	۷/۷۹±۰/۰۳ g	٥۹/۹٥±۰/۲۳ g	۰/۲۸±۰/۰٤ bcd	۰/٦۹±۰/۰۲٥ g	۱/٤٦٦±۰/۰٥۷ i
	۲۰۰	۰/۳۱±۰/۰۰۳ f	۱/۲±۰/۰۱ a	٦۲/٦۸±۰/۱۹ d	۱۱/٥±۰/۰۹ a	٦٦/٦٥±۰/٥۷ f	۰/۳٤±۰/۰۰٥ bc	۰/۸٦±۰/۰۱۹ d	۱/۹۳٦±۰/۰۳ g
	۳۰۰	۰/۳۸±۰/۰۰۳ e	۰/۷۲±۰/۰۰٥ c	٥۳/۰٥±۰/۱ i	۱۰/۹±۰/۱٦ b	٥۷/۷٦±۰/۱٤ i	۰/۱۸±۰/۰۰۷ e	۰/٦۷±۰/۰۰٦ g	۱/۷٥±۰/۰٥ h

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشند. مقادیر مثبت و منفی نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

تنش خشکی اساساً از طریق بستن روزنه‌ها و یا با مهارکردن فعالیت آنزیم روبیسکو و دیگر آنزیم‌های فتوسنتزی، فتوسنتز را محدود می‌کند. کاهش شدید هدایت روزنه‌ای با تغییر جزئی محتوای آب نسبی بیانگر آن است که احتمالاً سیگنال‌های ارسالی از ریشه در شرایط تنش خشکی، عامل بسته‌شدن روزنه و کاهش فتوسنتز است. این سیگنال شیمیایی همان اسید آبسیسیک است (Signarbieux & Feller, 2011). طبق تحقیقی که در این ارتباط انجام شد مشخص شد که با افزایش تنش کم‌آبی هدایت روزنه‌ای گیاه گوجه‌فرنگی کاهش یافت (Sibomana *et al.*, 2013). همان‌طورکه نتایج آزمایش نشان داده است تیمار با اسید هیومیک، هدایت روزنه‌ای را به حداقل رسانده و از آن طریق هدررفت آب بر اثر تعرق را کنترل نموده است، در واقع می‌توان گفت که ترکیبات هیومیکی تولید اسید آبسایزیک (ABA) گیاه را افزایش می‌دهند و به این ترتیب منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شوند.

۳. ۲. فعالیت آنزیم پراکسیداز

فعالیت آنزیم پراکسیداز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار گرفت و با افزایش سطح تنش کم‌آبی فعالیت آن افزایش یافت (جدول‌های ۲ و ۳). محلول‌پاشی برگی اسید هیومیک فعالیت آنزیم را افزایش داد ولی در غلظت‌های بالاتر (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) کاهش نسبی نشان داد، به‌خصوص در تیمار آبیاری ۶۰ درصد این کاهش در مقایسه با سطوح پایین‌تر اسید هیومیک شدیدتر بود و میزان فعالیت آنزیم مشابه سطح صفر اسید هیومیک بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین حداکثر فعالیت آنزیم پراکسیداز (۱/۲۰۷ واحد بر گرم وزن برگ تازه در دقیقه) با محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک تحت شرایط آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی و کم‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۴۱ واحد بر گرم وزن برگ تازه در دقیقه) در گیاهان شاهد تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد (جدول ۳).

تنش‌های غیرزنده نظیر شوری و خشکی، تولید و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن را القا می‌کنند که در غلظت‌های بالا برای سلول زیان‌آور هستند. در طی بروز تنش کم‌آبی به سبب بسته‌شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش میزان هدایت روزنه‌ای تغییراتی در چرخه انتقال الکترون در فتوسیستم‌های I و II به‌وجود می‌آید. در این بین به سبب کاهش میزان تولید قند، انرژی حاصل از فوتون‌های جذب‌شده در کلروپلاست صرف تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌گردد. گونه‌های مختلف رادیکال اکسیژن همانند O_2، H_2O_2 و رادیکال هیدروکسیل (OH^-) می‌توانند به‌طور مستقیم سبب آسیب به اسیدهای چرب موجود در غشای سلول، اسیدهای نوکلئیک و غیرفعال کردن آنزیم‌ها شوند (Márquez-García *et al.*, 2011).

افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان یکی از مکانیسم‌های مقاومت گیاهان در برابر تنش‌ها می‌باشد که در این آزمایش افزایش فعالیت پراکسیداز در شرایط تنش مشاهده شد. کاربرد عناصر پرمصرف مانند نیتروژن، پتاسیم و کلسیم، سمیت گونه‌های فعال اکسیژن از راه افزایش غلظت آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند پراکسیداز کاهش می‌دهند. این آنتی‌اکسیدان‌ها گونه‌های فعال اکسیژن را بازیابی می‌کنند و واکنش‌های اکسیداسیون نوری را کاهش می‌دهند و در نتیجه موجب حفظ تکامل غشای کلروپلاست می‌شوند (Waraich *et al.*, 2011). در تحقیقی با مطالعه اثر تنش خشکی بر گیاه برنج تحت تیمار اسید هیومیک گزارش نمودند که اسیدهای هیومیک در برگ و ریشه القاشده منجر به کاهش محتوای پراکسیداسیون هیدروژن، حفظ نفوذپذیری غشا و افزایش میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز شده است (García *et al.*,

www.SID.ir

Archive of SID

2012). هم‌چنین، اسید هیومیک می‌تواند فعالیت پراکسیداز را با به تأخیر انداختن تجمع O_2، H_2O_2 بهبود بخشد (Fan *et al.*, 2014).

۳. ۳. شاخص پایداری غشا

شاخص پایداری غشا تحت تأثیر تیمارهای اسید هیومیک در سطوح مختلف آبیاری افزایش معنی‌داری یافت، ولی در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش نشان داد (جدول‌های ۲ و ۳). با توجه به جدول مقایسه میانگین، بیشترین شاخص پایداری غشا (۷۰/۰۱۳ درصد) با محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کم‌ترین مقدار شاخص پایداری غشا (٤٥/٥٩ درصد) بدون محلول‌پاشی اسید هیومیک (شاهد) تحت شرایط آبیاری ٦٠ درصد نیاز آبی مشاهده شد (جدول ۳).

تنش کم‌آبی اثرات مضری بر یکپارچگی غشا، مقدار و کیفیت پروتئین‌ها گذاشته و از لحاظ مولکولی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تغییرات وسیعی را در گیاهان ایجاد نموده و نمو و تولید محصولات را به‌طور منفی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Harb *et al.*, 2010). نشت یونی شاخصی برای استحکام غشاها می‌باشد. حفظ پایداری غشاها در شرایط تنش، نشان‌دهنده سازوکارهای کنترلی در تحمل به تنش خشکی است. افزایش O^{2-} در اثر تنش خشکی از عوامل مهم در پراکسیداسیون لیپیدی و در نتیجه افزایش نفوذپذیری غشای سلول‌های ریشه است (Nasibi *et al.*, 2012). علاوه بر این، از دست دادن آب گیاه از راه تعرق و ریشه در شرایط خشکی، باعث چروکیده شدن غشای سلول و تخریب آن می‌شود (Waraich *et al.*, 2011). در گیاهان متحمل به خشکی با کاهش محتوای نسبی آب برگ، مقدار پرولین در سلول‌های گیاهی افزایش می‌یابد که این امر منجر به ایجاد تعادل اسمزی و در نتیجه حفظ پایداری غشا سلولی می‌گردد (Kavas *et al.*, 2013). در بررسی پاسخ چهار رقم گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی مشخص شد که در زمان بروز تنش میزان نشت یونی از غشای سلول افزایش یافت (Mahmoudnia *et al.*, 2013). افزایش پایداری غشای سلولی و کاهش نشت یونی در اثر کاربرد هیومیک اسید می‌تواند به‌دلیل اثر مستقیم هورمونی آن و یا اثر غیرمستقیم آن در افزایش جذب کلسیم باشد که به مقاومت مکانیکی دیواره سلولی و ثبات بیشتر غشای سلولی منجر شده است (Nikbakht *et al.*, 2008). هم‌چنین کاربرد اسید هیومیک با افزایش جذب مواد مغذی و افزایش نفوذپذیری سلول‌های ریشه، وضعیت آب گیاه را در گیاهان لوبیا بهبود بخشید و باعث افزایش پایداری غشای سلولی تحت شرایط تنش شوری شد (Semida *et al.*, 2014).

۳. ٤. محتوای پرولین

میزان پرولین برگ تحت تأثیر تنش کم‌آبی و کاربرد اسید هیومیک افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول‌های ۲ و ۳). با توجه به جدول مقایسه میانگین، بالاترین مقدار پرولین (۱۱/۵ میلی‌گرم در گرم بافت تازه) با محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک تحت شرایط آبیاری ٦٠ درصد نیاز آبی و کم‌ترین مقدار (۳/٦٦ میلی‌گرم در گرم بافت تازه) در گیاهان شاهد اسید هیومیک تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد (جدول ۳).

پرولین اسیدآمینه آنتی‌اکسیدانی است که در پاسخ به تنش، به‌عنوان یک اسمولیت در نفوذپذیری غشای ریشه، تثبیت پروتئین و مهار پراکسیداسیون چربی عمل می‌کند (Berbara & García, 2014) و می‌تواند بدون آسیب به ساختار یا اختلال در متابولیسم سلولی، در مقادیر بالایی در سلول‌های گیاهی تجمع یابد و به ایجاد تعادل اسمزی،

www.SID.ir

Archive of SID

پایداری غشا و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد کمک کند (Demiralay *et al.*, 2013). تنظیم اسمزی یک نوع سازگاری به تنش خشکی است که با تجمع مواد محلول درون سلول‌ها، باعث حفظ فشار آماس سلول‌ها و فرآیندهای وابسته به آن در پتانسیل‌های آبی پایین می‌شود (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2010). پرولین از تنظیم‌کننده‌های اسمزی است که در پاسخ به تنش‌هایی مانند خشکی، شوری و دماهای بالا تجمع می‌یابد. افزایش پرولین در گندم تحت تنش خشکی نشان داده شده است که همواره در گیاهان مقاوم پرولین بالاتر بود (Hammad & Ali, 2014) درحالی‌که تجمع پرولین در رقم مقاوم گوجه‌فرنگی کاهش یافته و این تأییدکننده این فرضیه است که پرولین یک شاخص سازگاری برای تنش نبوده و تنها نشانه‌ای برای تنش است (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2010).

گزارش‌های متعدد و متناقضی در مورد کاربرد کودهای آلی و اسید هیومیک بر محتوای پرولین وجود دارد. برخی باعث افزایش محتوای پرولین و برخی دیگر باعث کاهش محتوای پرولین شده است. اسید هیومیک به‌طور معنی‌داری میزان پرولین را در گیاه گلرنگ تحت شرایط مختلف آبیاری افزایش داد (Karimi *et al.*, 2016).

۳. ۵. محتوای نسبی آب برگ

تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری محتوای نسبی آب برگ را کاهش داد. کاربرد برگی اسید هیومیک در شرایط آبیاری نرمال و کم‌آبیاری محتوای نسبی آب را افزایش داد با این وجود در تنش کم‌آبی ۶۰ درصد، تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک منجر به کاهش محتوای نسبی آب برگ گردید. با توجه به نتایج مقایسه میانگین بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۷۸/۶ درصد) با محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کم‌ترین مقدار (۴۳/۶ درصد) در گیاهان شاهد تحت شرایط آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد (جدول‌های ۲ و ۳).

یکی از مناسب‌ترین معیارها برای تشخیص اثر تنش خشکی بر گیاه، محتوای نسبی آب برگ است. محتوای نسبی آب با هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق و فتوسنتز ارتباط داشته و گیاهانی که قادر باشند محتوای نسبی آب خود را نسبت به شرایط تورژسانس کامل در حد مطلوبی حفظ کنند، عملکرد بهتری در شرایط تنش از خود نشان می‌دهند (Abdalla & El-Khoshiban, 2007). گونه‌های متحمل به تنش کم‌آبی محتوای نسبی آب برگ‌های خود را از طریق کاهش هدر رفت آب حفظ می‌کنند. اما زمانی‌که طی اتفاقاتی رشد گیاه به‌شدت کاهش می‌یابد، محتوای نسبی آب برگ نیز به‌صورت معنی‌داری کاهش می‌یابد (Khan *et al.*, 2015). گزارش شده است که مواد هیومیکی با افزایش فعالیت پمپ H^+-ATPase موجب حفظ فشار اسمزی در واکوئل می‌شوند و در نتیجه شرایط افزایش جذب آب در گیاه را فراهم می‌کنند (Zandonadi *et al.*, 2007)، بنابراین ممکن است مواد هیومیکی با افزایش جذب آب در گیاه، محتوای نسبی آب برگ را افزایش داده و در نتیجه با افزایش فشار تورژسانس در گیاه رشد و توسعه سلول‌های برگ را افزایش دهند. گزارش شده است که کاربرد اسید هیومیک به‌طور معنی‌دار سبب افزایش محتوای نسبی آب در گوجه‌فرنگی و بادمجان در مقایسه با گیاهان شاهد شده است که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد (Osman & Rady, 2014).

۳. ۶. محتوای کلروفیل *a* و *b*

تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری کلروفیل a و b را کاهش داد. با توجه به جدول مقایسه میانگین، بیشترین مقدار کلروفیل a (۱/۴ میلی‌گرم برگرم بافت تازه) و کلروفیل b (۰/۴۶ میلی‌گرم برگرم بافت تازه) با محلول‌پاشی ۲۰۰

www.SID.ir

Archive of SID

میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کم‌ترین مقدار (۰/۱۷۳۲ میلی‌گرم برگرم بافت تازه) در گیاهان شاهد تحت شرایط آبیاری ٦۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد (جدول‌های ۲ و ۳).

دوام سطح برگ و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش ازجمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش می‌باشند. در شرایط تنش غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اسید آبسیسیک و اتیلن افزایش می‌یابد که تحریک‌کننده آنزیم کلروفیلاز هستند و به این ترتیب کلروفیل تحت تأثیر این آنزیم تجزیه می‌شود (Orabi *et al.*, 2010). پژوهش‌ها نشان دادند که محتوای کلروفیل با افزایش تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی در گیاه گوجه‌فرنگی به‌علت تخریب آنزیمی کاهش یافت (Florina *et al.*, 2013). هم‌چنین گزارش شده است که در تنش شدید آب در گوجه‌فرنگی، غلظت کلروفیل ۳۲ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش پیدا کرد (Sibomana *et al.*, 2013).

در مطالعات مختلفی افزایش محتوای کلروفیل با کاربرد اسید هیومیک گزارش شده است. اسید هیومیک جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم، آهن و منیزیم را با افزایش نفوذپذیری غشای سلولی و بهبود جذب عناصر غذایی افزایش می‌دهد (Asri *et al.*, 2015)، بنابراین ممکن است که اسید هیومیک با افزایش جذب عناصر دخیل در ساخت کلروفیل، موجب افزایش کلروفیل و در نهایت فتوسنتز شود. گزارش شده است که اسید هیومیک با افزایش محتوای نیتروژن موجب افزایش میزان کلروفیل در خیار شده است (Da-Bing *et al.*, 2012). هم‌چنین، اسیدهیومیک سبب تداوم بافت‌های فتوسنتزکننده می‌شود و عملکرد گیاهان را افزایش می‌دهد و نیز از طریق تأثیرات مثبت فیزیولوژیکی از جمله اثر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و افزایش غلظت کلروفیل برگ، افزایش عملکرد گیاهان را در پی دارد (Nardi *et al.*, 2002). نتایج این تحقیق با نتایج پیشین در گیاه لوبیا که گزارش شده است با استفاده از محلول‌پاشی اسید هیومیک میزان کلروفیل افزایش یافت مطابقت دارد (El-Bassiony *et al.*, 2010).

۳. ۷. ارتفاع بوته و عملکرد

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تنش کم‌آبی و تیمارهای اسید هیومیک تأثیر معنی‌داری بر عملکرد میوه داشت ولی تأثیر آن بر ارتفاع بوته معنی‌دار نبود (جدول‌های ۲ و ۳). با توجه به جدول مقایسه میانگین، بیشترین عملکرد بوته (٤/۱ کیلوگرم) با کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین مقدار عملکرد بوته (۱/۱۳٦کیلوگرم) در گیاهان شاهد تحت شرایط آبیاری ٦۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد.

کاهش عملکرد در نتیجه کم‌آبی ممکن است به‌دلیل عدم رطوبت کافی خاک در منطقه ریشه باشد که در نتیجه آن فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف از جمله جذب مواد غذایی، رشد گیاه، فتوسنتز و تجمع ماده خشک گیاهی کاهش می‌یابد و این منعکس‌کننده عملکرد کم‌تر در اثر تنش کم‌آبی است (Simsek & Comlekcioglu, 2011). در مطالعه‌ای تحت تنش کم‌آبی تعداد میوه گوجه‌فرنگی در هر بوته بین ۲۵ تا ۳٤ درصد کاهش یافت که منجر به کاهش عملکرد گردید (Sibomana *et al.*, 2013). هم‌چنین، گزارش شده است که کاهش سطوح اکسین و جیبرلین در اثر تنش کم‌آبی، تقسیم سلولی و طویل‌شدن سلول را متوقف کرده و در نتیجه رشد رویشی مناسب برای عملکرد بالا و کیفیت مناسب میوه کاهش می‌یابد (Simsek & Comlekcioglu, 2011). بهبود رشد و عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی با کاربرد مواد هیومیکی ممکن است به‌دلیل افزایش تراوایی سلول و جذب عناصر غذایی و هم‌چنین فعالیت شبه‌هورمونی مواد هیومیکی مرتبط باشد (Yildirim, 2007). نتایج این پژوهش با نتایج حاصل از مطالعه بر روی

www.SID.ir

Archive of SID

تأثیر اسید هیومیک بر عملکرد در گوجه‌فرنگی مطابقت دارد (Yildirim, 2007; Asri *et al*., 2015).

٤. نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که کاهش آبیاری از ۱۰۰ درصد به ٦۰ درصد نیاز آبی گیاه میزان هدایت روزنه‌ای، شاخص پایداری غشا، محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیلa و b و عملکرد را کاهش داد اما باعث افزایش محتوای پرولین و فعالیت آنزیم پراکسیداز شد. نتایج حاصل از محلول‌پاشی اسید هیومیک نشان داد که بیشترین درصد محتوای نسبی آب برگ در ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک و بیشترین شاخص پایداری غشا و کلروفیل a و b و عملکرد در ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک در شرایط آبیاری معمولی به‌دست آمد. به‌طورکلی نقش حفاظتی و تعدیل‌کنندگی اسید هیومیک بر تنش کم‌آبی ممکن است به تأثیر مثبت آن در بهبود تغذیه گیاهان تحت رژیم آبیاری نسبت داد و هم‌چنین استفاده از اسید هیومیک به‌دلیل اثرات مختلف فیزیولوژیکی می‌تواند در جهت کاهش مصرف کود شیمیایی و کاهش آلودگی محیط زیست نقش مثبتی داشته باشد. با توجه به نتایج کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک جهت بهبود پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و افزایش عملکرد گوجه‌فرنگی در شرایط رژیم‌های مختلف آبیاری پیشنهاد می‌گردد.

۵. منابع

Abdalla, M. M., & El-Khoshiban, N. (2007). The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticium aestivum* cultivars. *Journal of Applied Sciences Research*, *3*(12), 2062-2074.

Abdel-Mawgoud, A. M. R., El-GreadlyHelmy, N. H. M., Helmy, Y. I., & Singer, S. M. (2007). Responses of tomato plants to different rates of humic based fertilizer and NPK fertilization. *Journal of Applied Sciences Research*, *3*(2), 169-174.

Afroz, A., Chaudhry, Z., Rashid, U., Khan, M. R., & Ali, G. M. (2010). Enhanced regeneration in explants of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) with the treatment of coconut water. *African journal Biotechnology*, *9*(24), 3634-3644.

Ahmadizadeh, M. (2013). Physiological and agro-morphological response to drought stress. *Middle-East Journal of Scientific Research*, *13*(8), 998-1009. DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2013.13.8.3531.

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*: 112-121.

Asri, F. O., Demirtas, E. L., & Ari, N. (2015). Changes in fruit yield, quality and nutrient concentrations in response to soil humic acid applications in processing tomato. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *21*(3), 585-591.

Barzegar, T., Moradi, P., Nikbakht, J., & Ghahremani, Z. (2016). Physiological response of okra cv. Kano to foliar application of putrescine and humic acid under water deficit stress. *International Journal of Horticultural Science and Technology*. *3*(2), 187-197. DOI: 10.22059/IJHST.2017.213448.147.

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. *39*(1), 205- 207.

Berbara, R. L., & García, A. C. (2014). Humic substances and plant defense metabolism. In *Physiological mechanisms and adaptation strategies in plants under changing environment* (Vol. 1, pp. 297-319). Springer Science, New York. DOI 10.1007/978-1-4614-8591-9_11.

Bronick, E. J., & Lal, R. (2005). Soil structure and management: A review. *Geoderma 124*(1-2): 3-22. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.03.005.

Chance, B., & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidases. *Methods in Enzymology*, *2*(11), 764-775.

Da-Bing, X., Qiu-Jun, W. A., Yun-Cheng, W. U., Guang-Hui, Y. U., Qi-Rong, S. H., & Huang, Q. W. (2012). Humic-like substances from different compost extracts could significantly promote cucumber growth. *Pedosphere*. *22*(6), 815-824. DOI: 10.1016/S1002-0160(12)60067-8.

Demiralay, M., Saglam, A., & Kadioglu, A. (2013). Salicylic acid delays leaf rolling by inducing antioxdant enzymes and modulating osmoprotectant content in *Ctenanthe setosa* under osmotic stress. *Turkish Journal of Biology*, 37(1), 49-59. DOI: 10.3906/biy-1205-16.

www.SID.ir

Archive of SID

El-Bassiony, A. M., Fawzy, Z. F., Abd El-Baky, M. M. H., & Mahmoud Asmaa, R. (2010). Response of snap bean plants to mineral fertilizers and humic acid application. *Research Journal of Agricultural and Biological Science*, INSInet Publication, *6*(2), 169-175.

Fan, H. F., Ding, L., Du, C. X., & Wu, X. (2014). Effect of short-term water deficit stress on antioxidative systems in cucumber seedling roots. *Botanical studies*, *55*(1), 46. DOI: 10.1186/s40529-014-0046-6

Fan, H. M., Wang, X. W., Sun, X., Li, Y. Y., Sun, X. Z., & Zheng, C. S. (2014). Effects of humic acid derived from sediments on growth, photosynthesis and chloroplast ultrastructure in chrysanthemum. *Scientia Horticulturae*, *177*(2), 118-123. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.05.010.

FAO (2017). FAOSTAT, agricultural database. http:// apps. Fao. Org.

Florina, F., Giancarla, V., Cerasela, P., & Sofia, P. (2013). The effect of salt stress on chlorophyll content in several Romanian tomato varieties. *Journal of Horticulture, forestry and Biotechnology*, *17*(1), 363-367.

García, A. C., Berbara, R. L. L., Farías, L. P., Izquierdo, F. G., Hernández, O. L., Campos, R. H., & Castro, R. N. (2012). Humic acids of vermicompost as an ecological pathway to increase resistance of rice seedlings to water stress. *African Journal of Biotechnology*, *11*(13), 3125-3134. DOI: 10.5897/AJB11.1960.

Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant physiology and biochemistry*, *48*(12), 909-930. DOI: 10.1016/j.plaphy.2010.08.016.

Hammad, S. A., & Ali, O. A. (2014). Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. *Annals of Agricultural Sciences*, *59*(1), 133-145**.** DOI: 10.1016/j.aoas.2014.06.018.

Harb, A., Krishnan, A., Ambavaram, M. M., & Pereira, A. (2010). Molecular and physiological analysis of drought stress in Arabidopsis reveals early responses leading to acclimation in plant growth. *plant physiology*, *154*(3), 1254-1271. DOI: 10.1104/pp.110.161752.

Karimi, E., Tadayyon, A., & Tadayon, M. R. (2016). The effect of humic acid on some yield characteristics and leaf proline content of safflower under different irrigation regimes. *Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture) Production*, *18*(3), 609-623. (In Persian).

Kavas, M., Baloğlu, M. C., Akça, O., Köse, F. S., & Gökçay, D. (2013). Effect of drought stress on oxidative damage and antioxidant enzyme activity in melon seedlings. *Turkish Journal of Biology*, *37*(4), 491-498. DOI:10.3906/biy-1210-55.

Khan, M. I. R., Asgheer, M., Fatma, M., Per, T. S., & Khan, N. A. (2015). Drought stress vis a vis plant functions in the era of climate change. *Climate Change and Environmental Sustainability*, *3*(1), 13-25. DOI:10.5958/2320-642X.2015.00002.2.

Mahmoudnia, M. M., Farsi, M., Marashi, S., & Ebadi, P. (2013). Physiological response to drought stress in four species of tomato. *Journal of Horticultural Science*, *26*(4), 409-404. ((In Persian)

Márquez-García, B., Horemans, N., Cuypers, A., Guisez, Y., & Córdoba, F. (2011). Antioxidants in *Erica andevalensis*: A comparative study between wild plants and cadmium-exposed plants under controlled conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, *49*(1), 110-115. DOI: 10.1016/j.plaphy.2010.10.007.

Mujdeci, M., Senol, H., Cakamakci, T., & Celikok, P. (2011). The effects of different soil water matric suction on stomatal resistance. *Journal of Food Agriculture and Environment*, *99*(3), 1027-1029.

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., & Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, *34*, 1527–1536. DOI: 1016/S0038-0717(02)00174-8.

Nasibi, F., Manouchehri Kalantari, K. h., & Yaghoobi, M. M. (2012). Comparison the effects of sodium nitroprusside and arginine pretreatment on some physiological responses of tomato plant *(Lycopersicun esculentum* L.*)* under water stress. *Iranian Journal of Biology*, *24*(6), 833-847. (In Persian).

Nikbakht, A., Kafi, M., Babalar, M., Yi Ping, X., Luo. A., & Etemadi. N. (2008). Effect of humic acid on plant growth, nutrient uptake and postharvest life of gerbera. *Journal of Plant Nutrition*, *31*(12), 2155-2167. DOI: 10.1080/01904160802462819.

Noorani Azad, H., Hassan Poor, A., Bakhshi Khaniki, G. H., & Ebrahimi, M. A (2016). Evaluation of the effect of Azomite fertilizer on the growth and some physiological traits of two tomato (*Lycopersicun esculentum* L.) cultivars under drought stress. *Iranian Journal of Physiology*, *6*(4), 1835-1842. (In Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

Orabi, S.A., Salman, S. R., & Shalaby, M. A. (2010). Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. *Journal of Agricultural Sciences*, *6*(3), 252-259.

Osman, A. S., & Rady, M. M. (2014). Effect of humic acid as an additive to growing media to enhance the production of eggplant and tomato transplants. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *89*(3), 237-244. DOI: 10.1080/14620316.2014.11513074.

Ozkur, O., Ozdemir, F., Bor, M., & Turkan, I. (2009). Physiochemical and antioxidant responses of the perennial xerophyte *Capparis ovata* Desf. to drought. *Environmental and experimental botany*, *66*(3), 487-492. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2009.04.003.

Rasaei, B., Ebadi, M., Amiri, R., & Resaei, A. (2012). Physiological effects of application of humic acid and complementary irrigation on green peas with chickpea (*Pisium Sativum* L.) cultivar. *12th Iranian Crop Sciences Congress, 4 september, Karaj, Iran*. (In Persian).

Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop science*, 30(1), 105-111.

Sairam, R. K., Rao, K. V., & Srivastava, G. C. (2002). Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, *163*(5), 1037-1046. DOI: 10.1016/S0168-9452(02)00278-9.

Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L. M., Blasco, B., Rios, J. J., Rosales, M. A., & Ruiz, J. M. (2010). Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science*, *178*(1), 30-40. DOI: 10.1016/j.plantsci.2009.10.001.

Semida, W. M., Taha, R. S., Abdelhamid, M. T., & Rady, M. M. (2014). Foliar-applied α-tocopherol enhances salt-tolerance in *Vicia faba* L. plants grown under saline conditions. *South African journal of botany*, *95*, 24-31. DOI: 10.1016/j.sajb.2014.08.005.

Sibomana, I. C., Aguyoh, J. N., & Opiyo, A. M. (2013). Water stress affects growth and yield of container grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) plants. *Global Journal of Bio-science and Biotechnology*, *2*(4), 461-466.

Signarbieux, C., & Feller, U. (2011). Non-stomatal limitations of photosynthesis in grassland species under artificial drought in the field. *Environmental and Experimental Botany*. *71*(2), 192-197. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2010.12.003.

Simsek, M., & Comlekcioglu, N. (2011). Effects of different irrigation regimes and nitrogen levels on yield and quality of melon (*Cucumis melo* L.). *African Journal of Biotechnology*, *10*(49), 10009-10018. DOI: 10.5897/AJB11.1601.

Vaziri, Z. H., Salamat, A., Ansari, M., Masihi, M., Heydari, N., & Dehghani sanich, H. (2008). *Evapotranspiration plant (water consumption guidelines for plants) (Translation*). Publications of the National Committee of Irrigation and Drainage, printing, Tehran. (In Persian).

Wang, F., Kang, S., Du, T., Li, F., & Qiu, R. (2011). Determination of comprehensive quality index for tomato and its response to different irrigation treatments. *Agricultural Water Management*, *98*(8), 1228-1238. DOI: 10.1016/j.agwat.2011.03.004.

Waraich, E. A., Ahmad, R., & Ashraf, M. Y. (2011). Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *Australian Journal of Crop Science*, *5*(6), 764-777.

Yildirim, E. (2007). Foliar and soil fertilization of humic acid affect productivity and quality of tomato. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, *57*(2), 182-186. DOI: 10.1080/09064710600813107.

Zandonadi, D. B., Canellas, L. P., & Façanha, A. R. (2007). Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H+ pumps activation. *Planta*, *225*(6), 1583-1595. DOI: 10.1007/s00425-006-0454-2.

www.SID.ir