بررسی برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گوجه‌فرنگی رقم ریوگرند (*Lycopersicon esculentum* cv. Rio Grande) به محلول‌پاشی ماده زیست-محرک تحت تنش کم‌آبی

طاهر برزگر*[1]، زهرا اصفهانی[1]، زهرا قهرمانی[1]، جعفر نیکبخت[2]

[1]گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران، [2] گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹٦/۰٤/۲٤، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹٦/۰۸/۱۷)

چکیده

به‌منظور بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گوجه‌فرنگی رقم ریوگرند به کاربرد مگافول تحت تنش کم‌آبی، آزمایشی بصورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۳ سطح آبیاری (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و ٤ سطح مگافول (صفر، ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد) بود. نتایج نشان داد تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل و هدایت روزنه‌ای را کاهش داد و باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، نشت یونی و مقدار پرولین گردید. کاربرد برگی مگافول، محتوای کلروفیل و پرولین برگ، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را تحت شرایط تنش کم‌آبی و آبیاری نرمال افزایش داد و باعث کاهش میزان نشت یونی گردید و بیشترین تأثیر را تیمار ۰/۲ درصد مگافول داشت. حداکثر فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۰۸۷$\mu mol\ H_2O_2\ g^{-1}\ FW\ min^{-1}$) در گیاهان محلول‌پاشی شده با مگافول ۰/۲ درصد تحت شرایط تنش کم‌آبیاری ۵۰ درصد حاصل شد. با توجه به نتایج کاربرد ماده زیست محرک برای گیاه گوجه‌فرنگی تحت شرایط آبیاری نرمال و کم‌آبیاری پیشنهاد می‌گردد.

کلمات کلیدی: پرولین، کم آبیاری، مگافول، هدایت روزنه‌ای.

مقدمه

گیاه گوجه‌فرنگی با نام علمی "*Lycopersicon esculentum* Mill." یکی از سبزی‌های مهم فصل گرم می‌باشد. کشور چین با یک چهارم تولیدات جهانی و به دنبال آن هند، آمریکا، ترکیه، مصر و ایران بزرگ‌ترین تولیدکنندگان گوجه‌فرنگی می‌باشند (FAOSTAT, 2014). میوه گوجه‌فرنگی دارای ترکیبات آنتی‌اکسیدان مانند لیکوپن، ویتامین A (β کاروتن) و اسیدآسکوربیک (ویتامین C) می‌باشد (Stommel, 2001). تنش کم‌آبی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی است که رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار داده و تولید گیاهان را محدود می‌کند (Stikic *et al*., 2003). کنترل دقیق مقدار و زمان آبیاری در برقراری تعادل بین رشد رویشی و زایشی گیاه و در نتیجه میزان باروری و کیفیت محصول گوجه‌فرنگی مؤثر خواهد بود (Wang *et al*., 2011).

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: tbarzegar@znu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.14.6]

تنش کم‌آبی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی است که رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار داده و تولید گیاهان را محدود می‌کند (Stikic *et al*., 2003). کنترل دقیق مقدار و زمان آبیاری در برقراری تعادل بین رشد رویشی و زایشی گیاه و در نتیجه میزان باروری و کیفیت محصول گوجه‌فرنگی مؤثر خواهد بود (Wang *et al*., 2011).

در اثر تنش کم‌آبی، محتویات رنگدانه‌های فتوسنتزی در برگ‌ها کاهش می‌یابد. کاهش میزان محتوای کلروفیل، به دلیل افزایش تخریب و یا کاهش سنتز آن‌ها و همچنین اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول در سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی است (Erdem *et al*., 2006). تنش کم‌آبی باعث شکسته شدن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل در گیاه نعناع شد و تشکیل پلاستیدهای جدید و کلروفیل a و b کاهش‌یافته و نسبت کلروفیل a به b نیز تغییر یافت (Misra and Sricastatva, 2000).

پرولین اسیدآمینه‌ای است که افزایش غلظت آن فراوان‌ترین و عمومی‌ترین پاسخی است که به‌محض ایجاد تنش مشاهده می‌شود (Suriyan and Chalermpol, 2009). با اعمال تنش کم‌آبی در گوجه‌فرنگی، محتوای پرولین در گیاه افزایش یافت (Khan *et al*., 2015). همچنین تنش کم‌آبی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، محتویات پرولین را در گوجه‌فرنگی ۱۰۰ درصد افزایش داد (Nahar and Gretzmacher, 2002).

محتوای نسبی آب برگ شاخصی برای بیان آسیب‌های ناشی از تنش کم‌آبی محسوب می‌شود. محتوای نسبی آب برگ می‌تواند تعادل بین آب تأمین‌شده برای برگ و سرعت تعرق را بهتر از سایر اجزای روابط آبی منعکس کند، لذا آن را شاخص مناسبی برای نشان دادن وضعیت آبی برگ دانسته‌اند (Sanchez-Rodrıguez *et al*., 2010). پایداری غشاء سلولی در شرایط تنش رطوبتی به‌عنوان یک جز اصلی تحمل به کم‌آبی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل گزارش‌شده است. تنش کم‌آبی با صدمه زدن به غشاهای سلولی موجب کاهش پایداری غشا سلولی می‌شود (Ahmadizadeh *et al*., 2011). در گوجه فرنگی تحت شرایط تنش کم‌آبی با افزایش شدت تنش، میزان نشت یونی و میزان پراکسیداسیون چربی افزایش یافت (Shamsul *et al*., 2008). گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجاد شده، دارای سیستم دفاعی با کارایی بالائی هستند که می‌تواند رادیکال‌های آزاد را از بین برده و یا خنثی کنند. سیستم آنزیمی شامل سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پر اکسیداز و گلوتاتیون ردوکتار است و سیستم غیرآنزیمی شامل آسکوربات، توکوفرول، کاروتنوئیدها و ترکیبات متفرقه (ازجمله فلاونوئیدها، مانیتولها و پلی‌فنلها) می‌باشد (Blokhin *et al*., 2003). تحقیقات مختلف نشان داده است که یک ارتباط قوی بین تحمل به تنش‌های اکسیداتیو که به دلیل تنش‌های محیطی ایجاد می‌شود و افزایش در غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان فتوسنتز کننده وجود دارد (Sairam and Srivastava, 2002).

امروزه با توجه به اهمیت جایگزینی فرآورده‌های زیستی به جای مواد شیمیایی، لازم است زمینه مصرف بهینه فرآورده‌های آلی و بیولوژیکی فراهم شود. ایجاد تحمل به تنش‌های غیرزنده توسط روش‌های زیستی، علاوه بر ایجاد تحمل به تنش‌ها، می‌تواند باعث بهبود کیفیت محصول شود. محرک‌های زیستی فرآورده‌های بیولوژیک هستند که علاوه بر داشتن مواد غذایی مورد نیاز برای رشد گیاه دارای مقادیری از اسیدآمینه‌های آزاد نیز می‌باشند (Raheb *et al*., 2011).

طبق گزارش‌های فائو (۲۰۰۶)، مقدار قابل توجهی از جلبک‌های دریایی به‌عنوان مکمل غذایی و محرک‌زیستی در کشاورزی مورد استفاده هستند. کاربرد ترکیبات زیست محرک، فعالیت‌های فتوسنتزی، رشد گیاه و عملکرد و بهره‌وری را در برخی محصولات افزایش داد و تحمل به کم‌آبی و شوری، مقاومت به بیماری‌های قارچی، باکتریایی و ویروسی را بهبود بخشیدند (Sharma *et al*., 2014). این محرک‌های زیستی می‌توانند، ترکیبات ریشه را تغییر داده و توسعه ریشه را افزایش دهند (Petrozza *et al*., 2013). القاء رشد گیاهان توسط محرک‌های زیستی در ارتباط با افزایش اسیدهای آمینه و سنتز پروتئین‌ها می‌باشد. یکی از این مواد زیست محرک، مگافول (Megafol) است که دارای بتائین بوده و نقش آن در کاهش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.14.6]

آسیب سلولی ناشی از تنش کم‌آبی در گیاهان به‌خوبی اثبات شده است (Chen and Murata, 2008). مگافول، یک ترکیب زیست-محرک متشکل از جلبک دریایی و اسیدآمینه‌های پرولین و تریپتوفان، قندها (گلیکوزید، پلی‌ساکاریدها)، ویتامین‌ها و بتائین است(Kissoudis *et al*., 2014). کاربرد مگافول در گل کلم، کاهو و گوجه‌فرنگی در شرایط تنش کم‌آبی باعث کاهش خسارت ناشی از تنش کم‌آبی گردید (Peteroza *et al*., 2013a,b).

کاربرد ترکیبات محرک زیستی مگافول، رادیفارم (Radifarm)، ویوا (Viva) و بنفیت (Benefit) در گیاه فلفل کشت شده در شرایط هیدروپونیک، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد گردید و کیفیت میوه را در طول تابستان بهبود بخشید (Paradikovic *et al*., 2011).

با توجه به اینکه مطالعات کمی در مورد ترکیبات زیست محرک در ایران انجام شده و اطلاعاتی در مورد ماده مگافول یافت نشد، در این پژوهش در نظر است که اثرات محلول‌پاشی برگی مگافول بر پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط تنش کم‌آبی بررسی شود و با شناسایی مناسب‌ترین غلظت مگافول همگام با افزایش کیفیت گوجه‌فرنگی تحت شرایط تنش کم‌آبی، نتایج حاصل از این مطالعه در اختیار کشاورزان قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری در سه سطح (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و ماده زیست محرک مگافول در چهار سطح (صفر،۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد) به ترتیب به کرت‌های اصلی و فرعی اختصاص داده شدند.

بذور گوجه‌فرنگی رقم "ریوگرند" در ۲۵ اسفند سال ۱۳۹۳ داخل سینی‌های مخصوص کاشت بذر در بستر حاوی خاک برگ، شن و خاک لوم (به نسبت ۱:۱:۲) در گلخانه (دمای۳±۲۵ روز و ۳±۱۸ شب با رطوبت نسبی ۶۰-۷۰ درصد) کشت و بعد از ۴۵ روز (مرحله ۵-۴ برگی) نشاها به مزرعه انتقال داده شدند. فاصله‌ی ردیف‌ها ۹۰ سانتی‌متر و فاصله‌ی بوته‌ها ۳۰ سانتی‌متر، در نظر گرفته شد. جدول ۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش را نشان می‌دهد.

دو هفته پس از استقرار کامل بوته‌ها در خاک، اولین محلول‌پاشی برگی با ترکیب زیست-محرک مگافول (کود مکمل تولیدی شرکت Valagro ایتالیا) در مرحله ۶-۵ برگی شروع شد و محلول‌پاشی برگ‌ها جمعاً هفت بار و به فاصله هر ۱۰ روز یک‌بار انجام گرفت. اعمال تنش کم‌آبی، یک هفته پس از محلول‌پاشی مگافول آغاز گردید. نیاز آبی گیاهان شاهد به صورت روزانه و با استفاده از میانگین بلند مدت پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک زنجان و به کمک روابط ۱ و ۲ محاسبه شد. پس از محاسبه حجم آب آبیاری تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه)، نیاز آبی تیمارهای کم‌آبیاری بر اساس درصدهای کم‌آبیاری از روی آن محاسبه شد.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T+273)} u_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (۱)$$

$$ET_c = K_c . ET_0 \quad (۲)$$

در این روابط ET_0: تبخیر-تعرق گیاه مرجع (چمن) (mm/day)؛ R_n: تشعشع خالص در سطح گیاه ($MJ/m^2/d$)؛ G: جریان گرمایی خاک ($MJ/m^2/d$)؛ T: متوسط درجه حرارت هوا در ارتفاع ۲ متری (°C)؛ u_2: سرعت باد اندازه‌گیری شده در ارتفاع ۲ متری (m/sec)؛ $e_a - e_d$: کمبود فشار بخار اندازه‌گیری شده در ارتفاع ۲ متری (kpa)؛ Δ: شیب منحنی فشار بخار (kpa/°C)؛ γ: ثابت سایکرومتری (kpa/°C)؛ 900: ضریبی برای گیاه مرجع ($kJ^{-1}kg°Kd^{-1}$)؛ 0.34: ضریب باد برای گیاه مرجع (sec/m)؛ ET_c: تبخیر-تعرق گیاه (mm/day)؛ ET_0: K_c: ضریب گیاهی (بدون واحد) می‌باشند (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷). مقادیر ضرایب گوجه‌فرنگی در مرحله اولیه رشد ۰/۶، مرحله توسعه ۱/۱۵ و در نقطه نهایی رشد ۰/۷ در نظر گرفته شد (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷). میزان حجم آب آبیاری مورد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.14.6]

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

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

نیاز، بر اساس دوره رشد گیاه و سطح سایه‌انداز که در مزرعه اندازه‌گیری می‌شد و مساحت اختصاصی گیاه محاسبه می‌شد. برای محاسبه نیاز آبی به ازای هر بوته، مجموع آب داده شده در طول دوره رشد به هر بوته محاسبه گردید که در این صورت مقدار نیاز آبی هر بوته برای تیمار شاهد (۱۰۷/۹٤ لیتر) برآورد شد. نیاز آبی سایر تیمارها (تیمارهای تنش آبی) بر اساس نیاز آبی تیمار شاهد و درصد تنش آبی (۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه)، برآورد و توزیع گردید. در نهایت به منظور توزیع مقدار آب محاسبه شده به گیاه، در مزرعه با اندازه‌گیری حجم آب آبیاری خروجی از روزنه‌های قطره‌چکان‌ها، حجم آب خروجی اندازه‌گیری و کنترل می‌شد. دبی قطره‌چکان‌ها ۲ لیتر در ساعت بود، در این آزمایش از نوار آبیاری قطره‌ای استفاده شد که قطره‌چکان به صورت روزنه بر روی نوار ایجاد شده بود.

صفات مورد ارزیابی: برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل a، b و کل برحسب میلی گرم برگرم بافت برگ از روش آرنون و روابط ۲، ۳ و ٤ استفاده شد (Arnon, 1967).

رابطه (۳)

کلروفیل A = [۱۹/۳ ×(A_{663}) – ۰/۸٦ (A_{645})] V/W ×۱۰۰۰

رابطه (٤)

کلروفیل B = [۱۹/۳ ×(A_{645}) – ۳/٦ (A_{663})] V/W ×۱۰۰۰

رابطه (۵)

کلروفیل کل = [۲۰/۲× (A_{645}) –۸/۰۲× (A_{663})] × V/W×۱۰۰۰

در این روابط V: حجم عصاره صاف شده، W: وزن‌تر نمونه برحسب گرم و A: جذب نور در طول‌موج‌های ٦٦۳، ٦٤۵ می‌باشند.

هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پورومتر AP4 (مدل MK, Delta, UK) بر حسب میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه بین ساعات ۱۱ تا ۱٤ اندازه‌گیری شد.

محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد.

رابطه (۵) $RWC= (FW-DW)/(TW-DW) \times 100$

در این معادله FW وزن‌تر، DW وزن خشک وTW وزن اشباع می‌باشد. وزن اشباع با قرار گرفتن نمونه‌ها در آب به مدت ۲٤ ساعت در شرایط تاریکی به‌دست آمد، سپس این نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤۸ ساعت قرار گرفت و وزن خشک اندازه‌گیری شد (Hanson and Hitz, 1982).

فعالیت آنزیم‌ها به روش اسپکتروفتومتری (اسپکتروفتومتر JENWAY مدل UV-6505) در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجه سانتی‌گراد) اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم کاتالاز به روش Cakmak و Horst (1991) بر اساس میزان تجزیه شدن H_2O_2 در طول موج ۲٤۰ نانومتر و فعالیت آنزیم پراکسیداز براساس میزان اکسید شدن گایاکول در طول موج ٤۷۰ نانومتر تعیین شد (Ghanati *et al*., 2002).

به‌منظور محاسبه نشت یونی از روش Ben Hamed و همکاران (۲۰۰۷) استفاده شد. درصد نشت یونی از طریق رابطه ٦ با تقسیم هدایت الکتریکی اولیه (EC_1) بر هدایت الکتریکی سلول‌های مرده (EC_2) محاسبه گردید.

رابطه (٦) $EL= (EC_1/EC_2) \times 100$

برای اندازه‌گیری محتوای پرولین، ۵۰۰ میلی‌گرم نمونه برگ تازه در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک هموژنیزه شد و محتوای پرولین با استفاده از معرف نین هیدرین اسید، به روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه (۳) برآورد شد.

رابطه (۳) $Proline\ (mg.gFW^{-1}) = [prolin\ (mg.ml^{-} \times toluene\ (ml)/115.13]/\ [sampale\ (g)/5]$

داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ آنالیز و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.14.6]

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات هریک از سطوح مختلف آبیاری و مگافول به‌تنهایی بر برخی صفات فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی رقم ریوگرند

تیمارها	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	محتوای نسبی آب	نشت یونی
	(mg. g FW^{-1})			(٪)	
سطوح آبیاری (درصد نیاز آبی گیاه)					
٪۱۰۰	۱/۳٦ a	۰/٦٦ a	۲/۰۳ a	۸۰/۱۷ a	۲٦/۰٦ c
٪۷۵	۱/۱۳ b	۰/٤٦ b	۱/۵۹ b	۷۱/۹۰ b	۳۷/۳۲ b
٪۵۰	۰/۸۲ c	۰/۳۲ c	۱/۱٤ c	٦۱/۹۱ c	٤۹/۰۸ a
سطوح مگافول (٪)					
۰ (شاهد)	۱/۰۲ c	۰/٤۰ d	۱/٤۲ d	٦۷/۱۸ d	٤۱/۵٦ a
۰/۱	۱/۰۸ b	۰/٤۳ c	۱/۵۲ c	۷۰/۰۳ c	۳۸/٦۸ b
۰/۲	۱/۱۷ a	۰/۵۷ a	۱/۷٤ a	۷۵/۵۱ a	۳۳/۱٦ d
۰/۳	۱/۱۵ a	۰/۵۲ b	۱/٦۷ b	۷۲/۵۷ b	۳٦/۵۵ c
معنی‌داری					
آبیاری	**	**	**	**	**
مگافول	**	**	**	**	**
آبیاری×مگافول	ns	**	**	ns	ns

****، * و ns: به ترتیب معناداری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معناداری. میانگین‌های صفاتی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد هستند.**

ادامه جدول ۲-

تیمارها	فعالیت آنزیم کاتالاز ($\mu mol\ H_2O_2.\ g\ FW^{-1}\ min^{-1}$)	فعالیت آنزیم پراکسیداز ($units\ g^{-1}\ FW\ min^{-1}$)	پرولین ($mg.gFW^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای ($mmol.m^{-2}\ s^{-1}$)
سطوح آبیاری (درصد نیاز آبی گیاه)				
٪۱۰۰	۰/۰۱ c	۰/۳۵ c	۹/۱۱ c	۱۲٦/٤۱ a
٪۷۵	۰/۰٤ b	۰/٦۲ b	۱۳/۳۰ b	۹۹ b
٪۵۰	۰/۰۷ a	۰/۸۹ a	۱۷/۳٦ a	۵۸/۹۱ c
سطوح مگافول (٪)				
۰ (شاهد)	۰/۰۳ d	۰/۰۳ d	۰/۵۳ d	۱۳/۲۵ b
۰/۱	۰/۰٤ c	۰/۵۹ c	۱۲/۸٤ b	۹۱/۳۳ c
۰/۲	۰/۰۵ a	۰/۷۲ a	۱٤/۵۰ a	۱۰٦/۵۵ a
۰/۳	۰/۰٤ b	۰/٦٤ b	۱۳/٤٤ ab	۹۸/٦٦ b
معنی‌داری				
آبیاری	**	**	**	**
مگافول	**	**	**	**
آبیاری×مگافول	**	ns	ns	ns

****، * و ns**: به ترتیب معنی‌اداری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری. میانگین‌های صفاتی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد هستند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.14.6]

مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج و بحث

محتوای کلروفیل: تنش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری محتوای کلروفیل برگ را کاهش داد، به‌طوریکه کمترین میزان کلروفیل a، b و کل به ترتیب (۰/۸۲ mg g^{-1} FW، ۰/۳۲ و ۱/۱٤) در تنش کم‌آبی ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد (جدول ۲). نتایج حاصل با نتایج Misr و Sriccastatva (۲۰۰۰) در گیاه نعناع مطابقت دارد که گزارش نمودند اثر تنش کم‌آبی تشکیل پلاستیدهای جدید و محتوای کلروفیل a و b کاهش و نسبت کلروفیل a به b نیز تغییر یافت. کمبود آب سبب پیری زودرس گیاهان، شکسته شدن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل می‌گردد. کاهش میزان کلروفیل a در اثر تنش کم‌آبی مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول می‌باشد. رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون و درنتیجه تجزیه این رنگیزه می‌گردند (Schutz and Fangmeir, 2001).

گلوتامات که پیش ماده ساخت کلروفیل و پرولین است در اثر تنش کم‌آبی به پرولین تبدیل شده و در نتیجه از سنتز کلروفیل کاسته می‌شود (Lawloric and Cornic, 2002). با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، محلول‌پاشی برگی مگافول موجب افزایش میزان کلروفیل برگ گردید و بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل به ترتیب (۱/۱۷ mg. g FW^{-1}، ۰/۵۷ و ۱/۷٤) در تیمار ۰/۲ درصد حاصل گردید. اثرات متقابل تنش کم‌آبیاری و مگافول بر محتوای کلروفیل b و کل در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری داشت و بر مقدار کلروفیل a معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج اثرات متقابل نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل b و کل با کاربرد مگافول ۰/۲ درصد در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد (شکل ۱ و ۲).

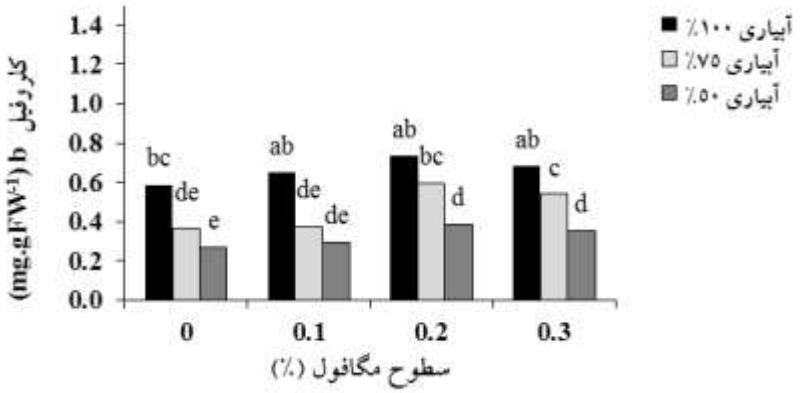
با توجه به نتایج، گیاهان تحت تیمار مگافول در شرایط تنش کم‌آبی محتوای کلروفیل بیشتری در مقایسه با تیمار شاهد داشتند، احتمالاً دلیل آن محتوای نسبی آب برگ بیشتر گیاهان تحت تیمارهای مگافول در وضعیت تنش کم‌آبی است که موجب اجتناب گوجه‌فرنگی از تنش کم‌آبی می‌شود، که مطالعات پیشین نشان داد گیاهان گوجه‌فرنگی تیمار شده با مگافول دارای محتوای آب برگ بیشتری بودند (Petrozzaa *et al*., 2014).

محتوای نسبی آب برگ: تنش کم‌آبیاری، محتوای نسبی آب برگ را کاهش داد. با افزایش شدت تنش کم‌آبی در ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، کمترین محتوای نسبی آب برگ (٦۱/۹ درصد) حاصل شد (جدول ۲). نتایج این مطالعه با نتایج حقیقی و مظفریان (۱۳۹۳) در گوجه‌فرنگی تطابق دارد که گزارش نمودند با کاهش میزان آبیاری، محتوای نسبی آب برگ بافت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بسیاری از محققان معتقدند که کاهش میزان محتوای نسبی آب برگ در اثر تنش کم‌آبی در ارتباط با کاهش میزان رطوبت خاک می‌باشد که این شرایط سبب بسته شدن روزنه‌ها شده تا از اتلاف بیشتر آب جلوگیری شود. همه سطوح مگافول در مقایسه با تیمار شاهد محتوای نسبی آب برگ را افزایش دادند به‌طوریکه بیشترین میزان آن (۷۵/۵۱ درصد) در سطح ۰/۲ درصد مگافول حاصل شد (جدول ۲). اثرات متقابل این دو تیمار بر میزان محتوای نسبی آب برگ اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲). Petrozzaa و همکاران (۲۰۱٤) گزارش کردند که گیاهان گوجه‌فرنگی تیمار شده با مگافول در شرایط تنش خشکی دارای محتوای آب برگ بیشتری بودند که این ممکن است به دلیل نقش مگافول در افزایش فعالیت متابولیکی گیاه باشد. کاربرد محرک‌های زیستی بر پایه اسیدآمینه (ازجمله گلایسین بتائین) باعث منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی سلول شده و از این طریق باعث افزایش جریان آب درون سلول می‌شوند و در نتیجه محتوای نسبی آب برگ افزایش می‌یابد (Abbaszadeh *et al*., 2008).

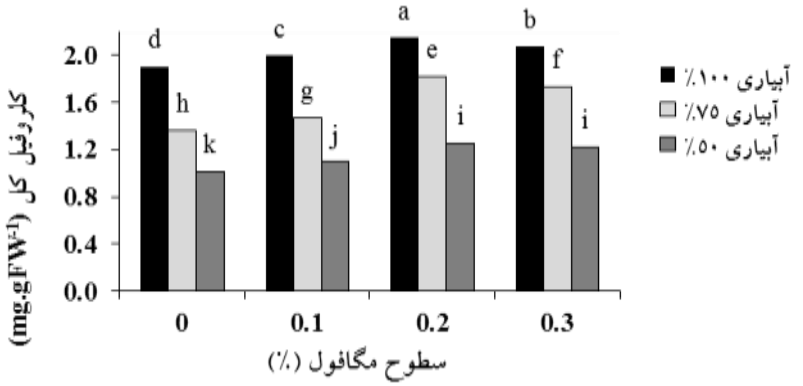
نشت یونی: بر اساس نتایج، تنش کم‌آبیاری منجر به افزایش نشت یونی گردید، به‌طوریکه با افزایش شدت تنش تا۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، میزان نشت یونی به ٤۹/۰۸ درصد رسید. نتایج حاصل با نتایج Shamsul و همکاران (۲۰۰۸) که گزارش نمودند میزان نشت یونی در گوجه‌فرنگی تحت شرایط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.14.6]



شکل ۱- اثر محلول‌پاشی مگافول بر محتوای کلروفیل b برگ گوجه‌فرنگی تحت سطوح مختلف آبیاری. میانگین‌های هر ستون که دارای حروف مشابه هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد هستند.

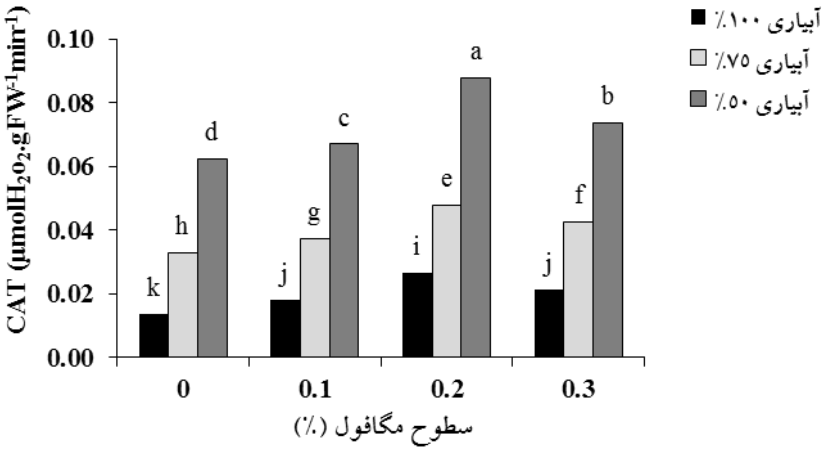


شکل ۲- اثر محلول‌پاشی مگافول بر محتوای کلروفیل کل برگ گوجه‌فرنگی تحت سطوح مختلف آبیاری. میانگین‌های هر ستون که دارای حروف مشابه هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد هستند.

تنش کم‌آبی افزایش یافت همخوانی دارد. میزان صدمه به غشاهای سلولی بر اثر تنش کم‌آبی ممکن است از طریق اندازه‌گیری نشت یونی از سلول سنجیده شود. تنش کم‌آبی با شروع یک تنش اکسیداتیو همراه می‌باشد، بنابراین در طی آن تولید و ذخیره گروه‌های سمی و مخرب اکسیژن آزاد افزایش می‌یابد. در نتیجه تحت شرایط تنش به سرعت چربی‌های غشاء پراکسیده گردیده و پایداری غشا سلول از بین می‌رود (Ahmadizadeh *et al.*, 2011). میزان نشت یونی در همه گیاهان تیمار شده با سطوح مختلف مگافول کاهش یافت. کمترین میزان نشت یونی با کاربرد مگافول ۰/۲ درصد حاصل شد (جدول ۲).

نتایج تحقیقات نشان داد که در گیاهان گوجه‌فرنگی پیش تیمار شده با مگافول تحت تنش خشکی، بیان ژن‌های مرتبط با تنش خشکی پایین بود، بیان سطوح پایین‌تر این ژن‌ها نشان می‌دهد که گیاهان سطوح پایین‌تری از تنش خشکی را تجربه نمودند. از طرفی مگافول دارای بتائین و پرولین است که این مولکول‌ها آسیب سلولی ناشی از تنش خشکی را در گیاهان کاهش می‌دهند (Petrozzaa *et al.*, 2014). کاربرد کودهای اسیدآمینه‌ای حاوی پرولین باعث محافظت غشای سلولی، پروتئین‌ها، آنزیم‌های سیتوپلاسمی و مهار گونه‌های فعال اکسیژن و حذف رادیکال‌های آزاد می‌گردد (Liang *et al.*, 2013). کاربرد اسمولیت‌های سازگار کننده مانند پرولین در گیاه و افزایش آن موجب تنظیم اسمزی درون سلول و حفظ تورژسانس سلولی و از این طریق باعث کاهش خسارت به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.14.6]



شکل ۳- اثر محلول‌پاشی مگافول بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز تحت سطوح مختلف آبیاری. میانگین‌های هر ستون که دارای حروف مشابه هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد هستند.

غشای سلولی و کاهش نشت یونی می‌گردد (Mohsenzadeh *et al*., 2006).با توجه به نتایج (جدول ۲)، اثرات متقابل تیمارهای مگافول و آبیاری بر میزان نشت یونی معنی‌دار نبود.

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز: بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۲)، با افزایش شدت تنش کم‌آبیاری بر میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز افزوده شد، به‌طوریکه بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۰۷۲ $\mu molH_2O_2\ g^{-1}\ FW\ min^{-1}$) و پراکسیداز (۰/۸۹ $units\ g^{-1}\ FWmin^{-1}$) در تنش کم‌آبیاری ۵۰ درصد به‌دست آمد. کاربرد مگافول به‌طور معنی‌داری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را افزایش داد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۰۵٤ $\mu mol\ H_2O_2\ g^{-1}\ FW\ min^{-1}$) و پراکسیداز (۰/۷۲ $units\ g^{-1}\ FWmin^{-1}$) در تیمار ۰/۲ درصد مگافول حاصل شد. اثرات متقابل تیمارهای آبیاری و مگافول بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۰۸۷±۰/۰۰۸۸ $\mu mol\ H_2O_2\ g^{-1}\ FW\ min^{-1}$) در گیاهان محلول‌پاشی شده با مگافول ۰/۲ درصد تحت شرایط تنش کم‌آبیاری ۵۰ درصد به‌دست آمد (شکل ۳). گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجاد شده، دارای سیستم دفاعی با کارایی بالائی هستند که می‌تواند رادیکال‌های آزاد را از بین برده و یا خنثی کنند (Blokhina *et al*., 2003). یک ارتباط قوی بین تحمل به تنش‌های اکسیداتیو که به دلیل تنش‌های محیطی ایجاد می‌شود و افزایش در غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان فتوسنتز کننده وجود دارد (Sairam and Srivastava, 2002). محققین نشان داده‌اند که غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش دو برابر شده و لذا باعث افزایش مقاومت به تنش‌های اکسیداتیو می‌شوند و از طرفی تنش کم‌آبی میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز را افزایش می‌دهد (Lascano *et al*., 2005).

کودهای حاوی اسیدآمینه پرولین در ساختار پروتئین و آنزیم شرکت دارند. پرولین موجود به‌عنوان یک ترکیب تنظیم‌کننده اسمزی و جاروب کننده رادیکال اکسیژن نیز عمل می‌کند به همین دلیل مقدار آن در تنش کم‌آبی افزایش می‌یابد. همچنین پرولین موجود در این کودها پتانسیل یونیزاسیون پایینی دارد و بدین گونه قادر هست به آسانی یک کمپلکس انتقال‌دهنده بار الکتریکی برگشت‌پذیر با رادیکال‌های آزاد اکسیژن تشکیل دهد و روی خاموش کردن یا دفع کردن گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن مؤثر است (Alia *et al*., 2001). با توجه به نتایج (جدول ۲)، اثرات متقابل تیمارهای آبیاری و مگافول بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز معنی‌دار نبود.

هدایت روزنه‌ای: تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری هدایت روزنه‌ای را کاهش داد و با افزایش شدت تنش (۵۰ درصد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.14.6]

نیاز آبی گیاه)، کمترین میزان هدایت روزنه‌ای (۵۸/۹۱mmolm^{-2} s^{-1}) حاصل شد. کاربرد مگافول باعث افزایش هدایت روزنه‌ای گردید و تیمار ۰/۲ درصد بیشترین (۱۰۶/ ۵۵ mmolm^{-2}s^{-1}) افزایش را نشان داد. میزان هدایت روزنه‌ای با افزایش شدت تنش کم‌آبی، کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج، تنش کم‌آبی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ شد که منجر به از دست رفتن تورژسانس می‌شود، که در نتیجه منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای می‌گردد. در واقع کاهش هدایت روزنه‌ای به دلیل بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش کم‌آبی می‌باشد تا از این طریق اتلاف آب به حداقل برسد (Magloier, 2005). علت انسداد روزنه‌ها تجمع هورمون آبسیزیک اسید می‌باشد که در شرایط تنش کم‌آبی در ریشه ساخته شده و در سلول‌های روزنه‌ای تجمع می‌یابد (Chaves *et al.*, 2002). پیش تیمار مگافول در گیاهان گوجه‌فرنگی، با افزایش سنتز و تجمع بتائین در برگ‌ها و کاهش حساسیت گیاه به تنش خشکی، محتوای آب برگ‌ها را بهبود بخشید و از این طریق از کاهش هدایت روزنه‌ای ممانعت کرد (Petrozzaa *et al.*, 2014).

اثرات متقابل این دو تیمار تنش کم‌آبی و مگافول بر روی میزان هدایت روزنه‌ای معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج این مطالعه با نتایج حاصل از مطالعه بر روی انار رقم نادری که نشان داد اثرات متقابل تیمار کودی آمینوفورته به همراه تنش کم‌آبی بر روی میزان هدایت روزنه‌ای معنی‌دار نبود، تطابق دارد (حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۹٤).

محتوای پرولین: بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲)، با افزایش سطح تنش کم‌آبی میزان پرولین افزایش یافت و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، بیشترین میزان پرولین (۱۷/۳٦ mg.gFW^{-1}) به‌دست آمد. گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی از قبیل تنش کم‌آبی با تجمع ترکیبات اسمزی مانند پرولین و تغییرات در هورمون‌های گیاهی با این تنش‌ها مقابله می‌کنند. پرولین اسیدآمینه‌ای است که افزایش غلظت آن فراوان‌ترین و عمومی‌ترین پاسخی است که به محض ایجاد تنش مشاهده می‌شود (Suriyan and Chalermpol, 2009). افزایش میزان پرولین در پاسخ به کاهش آب قابل دسترس است، با توجه به مقدار آب قابل دسترس، محتوای پرولین در شیره سلولی به دنبال غلظت بالای آن در محلول سلول افزایش می‌یابد (Khan *et al.*, 2015).

کاربرد برگی مگافول محتوای پرولین برگ را افزایش داد (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین میزان پرولین (۱٤/۵۰ mg.gFW^{-1}) با کاربرد ۰/۲ درصد مگافول حاصل شد که با سطح ۰/۳ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت. مگافول ترکیبی از اسیدهای آمینه (پرولین و تریپتوفان)، بتائین، ویتامین‌ها، پلی‌ساکاریدها، نیتروژن و کربن آلی است که پیش تیمار آن باعث افزایش تجمع پرولین در برگ‌ها گردید، که گزارش شده است کاربرد خارجی پرولین و بتائین موجب افزایش تجمع پرولین در برگ‌ها و ریشه‌های گوجه‌فرنگی گردید (kissoudis *et al.*, 2014)، همچنین شواهد اخیر نشان می‌دهد که مگافول تعدادی از مسیرهای پاسخ تنش را در گوجه‌فرنگی تنظیم می‌کند (Petrozzaa *et al.*, 2014). در این مطالعه، اثرات متقابل دو تیمار آبیاری و مگافول بر محتوای پرولین معنی‌دار نبود (جدول ۲).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی می‌توان گفت که با افزایش تنش کم‌آبی، محتوای نسبی آب برگ، مقدار کلروفیل برگ و هدایت روزنه‌ای به شدت کاهش یافت و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، تجمع پرولین و نشت یونی افزایش یافت. کاربرد ماده زیست محرک مگافول اثرات تنش کم‌آبی را تعدیل بخشید و با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تجمع پرولین موجب کاهش نشت یونی گردید و هدایت روزنه‌ای، مقدار کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ را افزایش داد و بیشترین تأثیر را غلظت ۰/۲ درصد مگافول داشت.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.14.6]

منابع

حسن‌زاده، س.، حبیبی، ف. و امیری، ا .م. (۱۳۹٤) اثر محلول‌پاشی کود آمینوفورته بر واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی انار رقم نادری در شرایط تنش خشکی. نشریه علوم باغبانی ۲۹: ٤٦٥-٤٥٩.

حقیقی، م. و مظفریان، م. (۱۳۹۳) اثر آبیاری یک‌طرفه بر تغییر شاخص‌های تنش خشکی، تغذیه، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فتوسنتزی گوجه‌فرنگی رقم " فالکاتو". نشریه علوم باغبانی ۲۸ (٤): ٥٧٥-٥٦٦.

وزیری، ژ.، سلامت، ع.، انتصاری، م.، مسچی، م.، حیدری، ن. و دهقانی، ح. (۱۳۸۷) تبخیر تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب موردنیاز گیاهان). انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

Abbaszadeh, B., Sharifi Ashoorabadi, E., Ardakani, M. R. and Aliabadi, F. H. (2008) Effect of drought stress on quantitative and qualitative of mint. In: Proceeding of 5th International Crops Science Congress and Exhibition, Korea.

Ahmadizadeh, M., Shahbazi, H., Valizadeh, M. and Zaefizadeh, M. (2011) Genetic diversity of durum wheat landraces using multivariate analysis under normal irrigation and drought stress conditions. Africa Journal Agricultural Reserch 6: 2294-2302.

Alia, Mohanty, P. and Matysik, J. (2001) Effect of proline on the production of singlet oxygen. Amino Acids 21**:** 195-200.

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

Bates, L. S. and Waklren, R. P. (1973) Rapid determination of free proline water stress studies. Plant Soil 39: 205-207.

Ben Hamed, K., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A. and Abdelly, C. (2007) Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. Plants Growth Regulation 53: 185-194.

Blokhina, O., Virolainen, E. and Fagerstedt, K. V. (2003) Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. Annals of Botany 91: 179-194.

Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P. and Osorio, M. L. (2002) How plants cope with water stress in the field: photosynthesis and growth. Annals of Botany 89: 907-916.

Chen, T. H. H. and Murata, N. (2008) Glycinebetaine: an effective protectant against abiotic stress in plants. Trends Plant Sciences 13: 499-505.

Erdem, T., Swait, J. and Valenzuela, A. (2006) Brands as signals: A cross-country validation study. Journal of Marketing 70: 34-49.

FAO STAT. (2006) World base reference for soil resources. Report on World Soil Resources.

FAO STAT. (2014) Statistical Database. Retrieved from http://www.faostat.fao.org.

Ghanati, F., Morita, A. and Yokota, H. (2002) Induction of suberin and increase of lignin content by excess boron in tobacco cells. Soild Sciences Plant Nutrition 48: 357-364.

Harinasut, P., Tsutsui, K., Takabe, T., Nomura, M., Takabe T. and Kishitani, S. (1996) Exogenous glycine betaine accumulation and increased salt-tolerance in rice seedlings. Bioscience Biotechnology Biochemical 60: 366-368.

Khan, M. I. R., Nazir, F., Asgher, M., Per, T. S. and Khan, N. A. (2015) Selenium and sulfur influence ethylene formation and alleviate cadmium-induced oxidative stress by improving prolineand glutathione production in wheat. Journal Plant Physiological 173: 9-18.

Kissoudis, C., Van de Wiel, C., Visser, R. G. F. and Van der Linden, G. (2014) Enhancing crop resilience to combined abiotic and biotic stress through the dissection of physiological and molecular cross talk. Front. Plant Sciences 5: 1-20.

Lascano, H. R., Antonicelli, G. E., Luna, C. M., Melchiorre, M. N., Gomez, L. D., Racca, R. W., Trippi, V. S. and Casano, L. M. (2005) Antioxidant system response of different wheat cultivars under drought: filed and in vitro studies. Functional Plant Biology 28: 1095-1102.

Lawlor, D. W. and Cornic, G. (2002) Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plant. Cell and Environment 25: 249-275.

Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S. K. and Becker, D. F. (2013) Proline mechanisms of stress survival. Antioxidants and Redox Signaling 19: 998-1011.

Magloier, N. (2005) The genetic, morphological and physiological evaluation of African cowpea. Thesis presented in accordance with the requirements for the degree magister scientiae Agriculture in the Faculty of Natural and Agricultural Sciences, Department of Plant Sciences (Plant Breeding) the University of the Free State.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.14.6]

Misra, A. and Srivastava, N. K. (2000) Influence of water stress on Japanes mint. Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants 7: 51-58.

Mohsenzadeh, S., Malboobi, M. A., Razavi, K. and Farrahi-Aschtiani, S. (2006) Physiological and molecular responses of *Aeluropus lagopoides* (Poaceae) to water deficit. Environment Experimental Botany 56: 314-322.

Nahar, K. and Gretzmacher, R. (2002) Effect of water stress on nutrient uptake, yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under subtropical conditions. Die Bodenkultur 53: 45-51.

Paradikovic, N., Vinkovic, T., Vrcek, I. V., Zuntar, I., Bojic, M. and Medic-Saric, M. (2011) Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: an example of sweet yellow pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. Journal of the Sciences of Food and Agriculture 2146–2152.

Petrozza, A., Summerer, S., Di Tommaso, G., Di Tommaso, D. and Piaggesi, A. (2013a) Evaluation of the effect of Radifarm treatment on the morpho-physiological characteristics of root systems via image analysis. Acta Horticulturae 1009: 149-153.

Petrozza, A., Summerer, S., Di Tommaso, G., Di Tommaso, D. and Piaggesi, A. (2013b) An evaluation of tomato plant root development and morpho-physiological response treated with Viva by image analysis. Acta Horticultural 1009: 155-159.

Petrozzaa, A., Santaniellob, A., Summerera, S., Di Tommasoc, G., Di Tommasoc, D., Paparellib, E., Piaggesic, A., Peratab, P. and Cellini, F. (2014) Physiological responses to Megafol treatments in tomato plants under drought stress: A phenomic and molecular approach. Scientia Horticulturae 174: 185–192.

Raheb, R., Golein, B. and Babakhani, B. (2011) Effect of Aminol Forte biostimulant on some biochemical compounds on orange under drought stress. In: Proceeding the 2nd National Biology Congress of Reserchers. Tehran, Iran.

Sairam, R. K. and Srivastava, G. C. (2002) Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. Plant Sciences 162: 897-904.

Sanchez-Rodriguez, E. M., Rubio-Wilhelmi, L. M., Cervilla, B., Blasco, J. J., Rios, M. A., Rosales, L. and Ruiz, J. M. (2010) Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. Plant Sciences 178: 30-40.

Schutz, M. and Fangmeir, E. (2001) Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L.cv.Minaret) to elevated CO_2 and water limitation. Environmental Pollution 114: 187-194.

Shamsul, H., Syed, A. H., Qazi, F. and Agil, A. (2008) Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicyclic acid under water stress. Journal of plant Interactions 3: 297-304.

Sharma, H. S., Fleming, C., Selby, C., Rao, J. R. and Martin, T. (2014) Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses.Journal Applied Phycology 26: 465-490.

Stikic, R., Popovic, S., Srdic, M., Savic, D., Jovanovic, Z., Prokic, L. and Zdravkovic, J. (2003) Partial root drying (PRD): a new technique for growing plants that saves water and improves the quality of fruit. Bulgarian Journal of Plant Physiology 29: 164-171.

Stommel, J. R. (2001) Tomato breeding lines with high fruit beta-carotene content. Horticultural Science 36: 387-388.

Suriyan, C. h. and Chalermpol, K. (2009) Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. Agricultural Sciences in China 8: 51-58.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.14.6]