

بررسی اثر کود آزومایت بر رشد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی دو رقم گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* M.) تحت تنش خشکی

حمید نورانی آزاد^{۱*}، ابوالقاسم حسن‌پور^۲، غلامرضا بخشی‌خانیکی^۱ و محمدعلی ابراهیمی^۳

^۱ تهران، دانشگاه پیام‌نور، گروه زیست‌شناسی

^۲ تهران، مرکز تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور

^۳ تهران، دانشگاه پیام‌نور، گروه بیوتکنولوژی کشاورزی

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۲۱

چکیده

به منظور بررسی اثر کود آزومایت بر رشد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی دو رقم گوجه‌فرنگی (ازمیر و ایزوبلا) تحت تنش خشکی، آزمایشی گلدانی انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی در سه سطح (آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه به عنوان شاهد، $\frac{1}{3}$ و $\frac{2}{3}$ ظرفیت مزرعه) و چهار سطح آزومایت (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ گرم در هر گلدان) با چهار تکرار به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی بررسی شد. نتایج نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش طول ساقه، سطح برگ، وزن تر و خشک گیاه، محتوای نسبی آب، کلروفیل کل، فتوستتوز و هدایت روزنه‌ای برگ، افزایش طول ریشه، نشت یونی و پرولین برگ شد. استفاده از آزومایت باعث افزایش طول ساقه و ریشه، سطح برگ، وزن خشک و تر گیاه، محتوای نسبی آب، پرولین، کلروفیل کل، فتوستتوز و هدایت روزنه‌ای و کاهش نشت یونی برگ در مقایسه با گیاهان شاهد در هر دو رقم شد. آنالیز واریانس اثر تنش خشکی و آزومایت را بر وزن تر گیاه، محتوای نسبی آب، پرولین، کلروفیل کل و فتوستتوز برگ معنی‌دار نشان داد. همچنین اثر تنش خشکی و رقم تأثیر معنی‌داری بر وزن تر گیاه، محتوای نسبی آب، پرولین، کلروفیل کل، فتوستتوز و هدایت روزنه‌ای داشت. علاوه بر این، اثر متقابل آزومایت و رقم تأثیر معنی‌داری بر وزن تر گیاه، محتوای نسبی آب، پرولین، کلروفیل کل و فتوستتوز برگ نشان داد. به طور کلی آزومایت در مقاومت به تنش خشکی گیاه گوجه‌فرنگی مؤثر بود.

واژه‌های کلیدی: آزومایت، تنش خشکی، محتوای نسبی آب، فتوستتوز، پرولین، گوجه‌فرنگی.

* نویسنده مسئول، تلفن تماس: ۰۹۱۷۷۳۲۱۱۷۰ پست الکترونیکی: Noorani320@gmail.com

مقدمه

برگ کاهش یافته و تغییرات آناتومیکی در اثر تغییر اندازه سلول‌ها، پیری و در نهایت مرگ در گونه‌های زیادی از گیاهان مشاهده شده است (۲۳). از جمله عوامل فیزیولوژیکی که تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد، بازدارندگی فتوستتوزی و در نهایت کاهش رشد و تولید است (۷). هدایت روزنه‌ای یکی از عوامل فیزیولوژیکی است که کاهش فتوستتوز را تحت تأثیر قرار می‌دهد و

تنش خشکی در بیشتر مناطق دنیا از مهمترین عوامل محدودکننده گسترش، زادآوری و تولیدات گیاهی در سیستم‌های طبیعی و کشاورزی به شمار می‌آید، به طوری که مطالعات نشان می‌دهد از بین عوامل مختلف ایجادکننده تنش‌های محیطی، تنش خشکی منجر به کاهش ۴۵ درصدی عملکرد تولیدات گیاهی شده است (۱۱). در طول کمبود آب رشد و نمو گیاه به تأخیر افتاده، اندازه

آنها به آهستگی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، آلودگی کمتری را در محیط زیست ایجاد می‌کند (۳۴). یکی از ارکان اصلی در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی و نهاده‌های طبیعی در اکوسیستم‌های زراعی با هدف حذف یا کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی است (۳۸). آزمونیت یک ماده معدنی و نهاده صددردصد طبیعی است. این ماده برای بهبود ساختمان و ظرفیت نگهداری آب خاک استفاده می‌شود و کاهش دهنده اثرات تنش خشکی است (۶۱). گوجه‌فرنگی *Lycopersicon esculentum M.* متعلق به خانواده سولاناسه است. آبیاری و تغذیه مناسب از جمله عوامل محیطی هستند که تولید و عملکرد این گیاه را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند (۵۹). بررسی شناخت اثرات تنش خشکی و ماده آزمونیت بر روی فیزیولوژی ارقام این گیاه (به‌عنوان یک گیاه مدل مطلوب) برای آگاهی از سازوکارهای مقاومت و بقای آن به منظور افزایش تحمل در برابر تنش ضرورت دارد. از این رو در این مطالعه، رشد، فتوسنتز، میزان کلروفیل کل، محتوای نسبی آب، نشت یونی، پرولین و هدایت روزنه‌ای برگ تحت تنش خشکی بررسی شد و اثرات کاربرد آزمونیت به تنهایی و همزمان با تنش خشکی در سازگاری به تنش درد و رقم گوجه‌فرنگی و مقایسه تحمل آنها در شرایط گلخانه انجام شد.

مواد و روشها

این پژوهش در دو بخش گلخانه‌ای و آزمایشگاهی با گیاه گوجه‌فرنگی *Lycopersicon esculentum M.* به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتورها شامل تنش خشکی در سه سطح شاهد (آبیاری در سطح ظرفیت مزرعه)، تنش ملایم (آبیاری در سطح دوسوم ظرفیت مزرعه) و تنش شدید (آبیاری در سطح یک‌سوم ظرفیت مزرعه)، کود آزمونیت در چهار سطح صفر (شاهد)، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ گرم در هر گلدان (۳۷) و رقم در دو سطح از میر و ایزوبلا بود. بذرهای

شاخص مناسبی برای ارزیابی کاهش فتوسنتز در شرایط کم آبی است (۱۴). نشان داده شده‌است که با کاهش محتوای نسبی آب برگ در تنش خشکی، میزان هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز، فراوری دی‌اکسید کربن، رشد و تولید کاهش می‌یابد (۸). افزایش نشت یونی در تنش کم آبی نشان‌دهنده بروز آسیب غشایی است. میزان هدایت الکتریکی در محیط کم آبی خسارت تنش خشکی را به غشای سلولی نشان می‌دهد و میزان ثبات غشای سلولی بخوبی با تحمل سایر فرایندهای فیزیولوژیکی در گیاه از جمله فتوسنتز و رشد ارتباط دارد و می‌تواند به عنوان شاخصی برای تحمل به خشکی بیان شود (۵۱). گزارش شده‌است که تنش خشکی، به طور معنی‌دار سبب کاهش بیوماس اندام‌های هوایی در گندم (۴۷)، کاهش شدید وزن خشک و طول ساقه در سبب‌زمینی (۱۹) و کاهش سطح برگ و بیوماس اندام‌های هوایی در گوجه‌فرنگی (۵۵) در مقایسه با گیاهان شاهد شده‌است. گیاهان با تغییر در متابولیسم سلولی و القا سازوکارهای دفاعی به تنش آبی پاسخ داده یا با آن سازگار می‌شوند (۲۱). تنظیم اسمزی یک نوع سازگاری به تنش خشکی است که با تجمع مواد محلول درون سلول‌ها، باعث حفظ فشار آماس سلول‌ها و فرایندهای وابسته به آن در پتانسیل‌های آبی پایین می‌شود (۴۸). پرولین از تنظیم‌کننده‌های اسمزی است که در پاسخ به تنش‌هایی مانند خشکی، شوری و دماهای بالا تجمع می‌یابد (۱۲). سانچز و همکاران (۴۸)، تجمع پرولین در گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی را مشخصه‌ای از سازگاری به تنش نمی‌دانند و تنها نشانه‌ای از تنش بیان می‌کنند.

امروزه بدلیل استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی، مواد آلی زمین‌های کشاورزی در کشورمان کاهش یافته و ترکیب خاک به بافت سخت و نامطلوبی تبدیل شده‌است. درحالی‌که جایگزینی آنها با کودهای آلی و زیستی و مواد معدنی طبیعی موجب اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شده و به علت اینکه مواد غذایی موجود در

به کمک خط‌کش میلی‌متری، سطح برگ‌ها به کمک دستگاه سنجش سطح برگ Leaf Area Meter مدل Tdevice و وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفته و بعد به کمک ترازوی دیجیتال Sartorius مدل BP315 وزن شدند. مقدار پرولین برگ به کمک روش بیتز و همکاران (۶) اندازه‌گیری شد. ابتدا ۰/۵ گرم از ماده تر اندام با ۱۰ میلی لیتر محلول ۳ درصد اسیدسولفوسالپسیلیک ساییده گردید. آنگاه از مخلوط همگن حاصل پس از صاف کردن ۲ میلی لیتر برداشته شد و پس از افزودن ۲ میلی لیتر معرف اسیدنین‌هیدرین و ۲ میلی لیتر اسیداستیک خالص در بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت قرار داده شد. سپس آنها را در حمام آب یخ گذاشته و پس از افزودن ۴ میلی‌لیتر تولوئن مقدار جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد آن به دست آمد.

مقدار نسبی آب برگ: مقدار نسبی آب برگ به روش بارز و ودرلی (۵) و با استفاده از رابطه زیر تعیین شد:

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100$$

که FW وزن برگ تازه، TW وزن برگ پس از ۴ ساعت قرارگرفتن در آب مقطر در دمای آزمایشگاه و شدت نور کم، DW وزن برگ خشک به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد است.

نشت الکترولیت (یونی) برگ: درصد نشت الکترولیت برگ‌ها بر اساس روش سالیوان و رس (۵۴) اندازه‌گیری شد. برگ‌های تازه از هر تیمار با آب مقطر شسته شده و پس از قرارگرفتن در لوله‌های درب دار، ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آنها اضافه و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بر روی شیکر دورانی قرارگرفتند. و پس از ۲۴ ساعت هدایت الکتریکی محلول (C₁) اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو و در دمای ۱۲۰ درجه

گوجه‌فرنگی توسط اتانول ۹۰ درصد به مدت یک دقیقه ضدعفونی و به کمک آب مقطر آبکشی و آماده کشت در گلدان‌ها شدند.

کشت گلخانه‌ای: دانه‌های هر دو رقم به‌طور جداگانه درون گلدان‌های پلاستیکی با ارتفاع ۲۵ و قطر ۱۸ سانتی‌متر دارای مخلوطی از ماسه، رس و سیلت با نسبت ۱:۱:۲، pH حدود ۷/۲ با هدایت الکتریکی ۱/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر کشت شدند. در هر گلدان دو دانه از هر رقم به‌طور جداگانه در عمق ۱ تا ۲ سانتی‌متری خاک کشت شده و نگهداری آنها در گلخانه با دمای ۱۸±۲ در طول تاریکی و ۲۴±۲ درجه سانتی‌گراد در طول روشنایی، رطوبت نسبی حدود ۶۵ درصد و نور معمولی انجام شد. آبیاری گلدان‌ها هفته‌ای سه بار براساس ظرفیت مزرعه ای خاک انجام گردید. تعیین مقدار آب مورد نیاز براساس ظرفیت مزرعه‌ای از طریق وزن کردن گلدان‌ها انجام شد (۲۲). حدود یک ماه پس از کشت دانه‌ها (گیاهک‌های ۴ برگی)، گیاهک‌های یکسان از هر رقم در گلدان‌ها نگه داشته شد و برای اعمال تیمارهای خشکی و کود آزومایت استفاده گردید.

تیمارهای خشکی و کود آزومایت: از گیاهک‌های باقی‌مانده در هر گلدان برای اعمال تنش خشکی و آزومایت استفاده شد. برای اعمال تنش خشکی، گلدان‌ها در سه گروه شاهد، تنش متوسط و تنش شدید قرار گرفتند. آبیاری گلدان‌ها براساس ظرفیت مزرعه‌ای به‌طور منظم هفته‌ای سه بار انجام شد. تیمارهای آزومایت همزمان با تنش خشکی شامل شاهد (صفر)، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ گرم آزومایت در هر گلدان در ارقام جداگانه و هریک با ۴ تکرار به مدت ۴ هفته اعمال شد.

مطالعات آزمایشگاهی: پس از پایان دوره تنش و کوددهی، گیاهان باقی‌مانده مشابه هر دو رقم به‌طور جداگانه از گلدان‌ها خارج و ریشه و اندام‌های هوایی از یکدیگر جدا و پس از شستشو با آب مقطر، طول ریشه و ساقه نمونه‌ها

برگ توسعه یافته گیاه انجام شد. به این صورت که با قرار دادن برگ در درون محفظه مخصوص تبادل گازی و حفظ موقعیت آن عمود بر خورشید به مدت یک دقیقه اقدام به ثبت این فاکتورها گردید (۱۳).

آزمایش به صورت فاکتوریل طراحی و انجام شد. داده‌ها توسط برنامه آماری SAS تجزیه و تحلیل و مقایسه بین تیمارهای مختلف، به کمک آزمون دانکن در سطح آماری ۵ درصد انجام گردید. نمودارها در محیط نرم افزاری Excel رسم شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) صفات اندازه‌گیری شده نشان داد که تیمارهای مختلف تنش خشکی و نیز مقادیر مختلف آزمون اثر معنی‌داری بر کلیه صفات مورفولوژی و فیزیولوژی مورد بررسی به جز طول ریشه داشته‌است.

سانتی‌گراد قرار داده‌شدند و مجدداً هدایت الکتریکی آنها (C₂) اندازه گرفته‌شد و درصد نشت الکتروولت براساس رابطه زیر محاسبه گردید:

$$EL=(C1/C2)\times 100$$

اندازه‌گیری کلروفیل کل برگ‌ها: پس از واکنش بافت تازه برگ با استون ۸۰ درصد، به وسیله اسپکتروفتومتر شیمادزو Uv-mini-1240 در طول موج ۶۳۳ و ۶۴۵ نانومتر انجام شد (۵۳).

اندازه‌گیری فتوستتوز و هدایت روزنه‌ای برگ: به منظور اندازه‌گیری میزان فتوستتوز در واحد سطح برگ (میکرومول CO₂ در مترمربع در ثانیه) و هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول در مترمربع در ثانیه) از دستگاه IRGA(LCA4,ADC Bioscientific LTD Hoddoson UK) استفاده شد. تمام اندازه‌گیری‌ها در روزهای پنجم، پانزدهم و بیست‌وپنجم از دوره تیمارها، در ساعت ۹-۱۱ صبح در شدت نور برابر ۱۴۰۰-۱۲۰۰ میکرومول فوتون بر متر مربع از سومین

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش خشکی، آزمون اثر، رقم و اثر متقابل آنها بر صفات اندازه‌گیری شده

| منابع تغییر | درجه آزادی | طول ساقه | طول ریشه | سطح برگ | وزن خشک گیاه | وزن تر گیاه | محتوای آب برگ | نشت یونی | پرولین برگ | کلروفیل | فتوستتوز | هدایت روزنه‌ای |
|------------------|------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------|------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| خشکی (A) | ۲ | ۲۱۳/۲** | ۲/۶۶ ^{ns} | ۳۴/۱** | ۳۸/۱** | ۶۳۲/۱** | ۵۷۷۳/۲** | ۲۸۳۱۵/۹** | ۲۴۲۲/۳** | ۲۴/۱** | ۱۴۴/۰** | ۱۶/۶** |
| آزمون اثر (B) | ۳ | ۱۰۹/۰۲** | ۲۴/۷۶** | ۱۰/۰۱** | ۱۲/۰** | ۱۳۷/۹** | ۱۲۵۶/۲** | ۶۰۵/۱** | ۵۰۱۰/۶** | ۲۹/۵** | ۷۰/۸** | ۲۷/۵** |
| رقم (C) | ۱ | ۶۶/۸** | ۱۱/۵۳* | ۲/۸۸** | ۰/۰۲ ^{ns} | ۱۴۹/۱* | ۱۰۶۳/۱** | ۲۰۵/۸** | ۴۰۳/۴** | ۱/۹۸** | ۵۰/۰۳* | ۰/۰۰۸ ^{ns} |
| A×B | ۶ | ۲/۴۲ ^{ns} | ۴/۴۱ ^{ns} | ۰/۴۴ ^{ns} | ۰/۵۸ ^{ns} | ۲/۶** | ۳۳۰/۴** | ۲۷/۱ ^{ns} | ۲۰۳۳/۱** | ۳/۴** | ۱۱/۲** | ۲/۹ ^{ns} |
| A×C | ۲ | ۲/۰۳ ^{ns} | ۱/۴۲ ^{ns} | ۰/۱۶ ^{ns} | ۰/۵۱ ^{ns} | ۲/۰۴* | ۳۱۰/۳** | ۱۴/۱۳ ^{ns} | ۲۸۴۶/۰** | ۱/۵۹** | ۵/۹۸* | ۱۰/۵* |
| B×C | ۳ | ۷/۴۸ ^{ns} | ۱/۶۲ ^{ns} | ۰/۰۵ ^{ns} | ۰/۱۵ ^{ns} | ۱۹/۵** | ۱۱۹/۵* | ۶/۳ ^{ns} | ۷۹۳/۷** | ۰/۵۵* | ۱/۴۱** | ۱/۵ ^{ns} |
| A×B×C | ۶ | ۱/۳۸ ^{ns} | ۰/۶۲ ^{ns} | ۰/۲۹ ^{ns} | ۰/۲۴ ^{ns} | ۴/۳ ^{ns} | ۴۶/۵ ^{ns} | ۱۷/۵ ^{ns} | ۱۷۷/۸** | ۰/۳۹ ^{ns} | ۳/۵ ^{ns} | ۵/۰۴ ^{ns} |
| خطای آزمایش | ۷۲ | ۱/۱۵ | ۱/۹۹ | ۰/۲۵ | ۰/۳۵ | ۱/۵۶ | ۴۰/۴ | ۱۵/۷ | ۱۹/۳ | ۰/۳۰ | ۰/۸۹ | ۲/۹۹ |
| ضریب تغییرات (%) | | ۷/۵۱ | ۱۱/۷ | ۸/۸ | ۲۲/۶ | ۱۳/۷ | ۸/۸ | ۶/۶ | ۱۲/۲ | ۱۵/۲ | ۱۶/۵ | ۱۲/۱ |

ns, *, **: به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار بودن و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد است.

بر دیگر صفات اندازه‌گیری شده اثر معنی‌دار داشته‌است. اثر متقابل تنش خشکی و آزمون اثر، و همچنین آزمون اثر

اثر رقم نیز به جز در مورد صفات وزن خشک گیاه و هدایت روزنه‌ای برگ که اثر غیر معنی‌داری نشان داده‌است،

اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی، آزمونیت و رقم به‌جز در مورد پرولین برگ که معنی‌دار است بر دیگر صفات اندازه‌گیری شده غیرمعنی‌دار است.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر ساده صفات (جدول ۲)، کلیه صفات اندازه‌گیری شده تحت تأثیر تیمارهای مختلف تنش خشکی اختلاف معنی‌دار داشتند، به‌جز طول ریشه که اختلاف بین آنها در تیمارهای تنش خشکی غیرمعنی‌دار شد.

رقم بر صفات طول ساقه، طول ریشه، سطح برگ، وزن خشک گیاه، نشت یونی و هدایت روزنه‌ای برگ اثر غیرمعنی‌دار و بر صفات وزن تر گیاه، محتوای آب برگ، پرولین، کلروفیل کل و فتوستتزر برگ اثر معنی‌دار نشان داد. اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر صفات طول ساقه، طول ریشه، سطح برگ، وزن خشک گیاه و نشت یونی برگ اثر غیرمعنی‌دار و بر صفات وزن تر گیاه، محتوای نسبی آب، پرولین، کلروفیل، فتوستتزر و هدایت روزنه‌ای برگ اثر معنی‌دار نشان داد.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر ساده صفات دو رقم گوجه‌فرنگی تیمار شده با آزمونیت تحت تنش خشکی

| تیمار | طول ساقه | طول ریشه | سطح برگ | وزن خشک گیاه | وزن تر گیاه | محتوای آب | نشت یونی | پرولین برگ | کلروفیل | فتوستتزر | هدایت روزنه‌ای |
|----------------------------------|----------|----------|---------|--------------|-------------|-----------|----------|------------|---------|----------|----------------|
| FC (شاهد) | ۱۶/۲۴ a | ۱۲/۱۰ a | ۶/۵۸ a | ۳/۵۸ a | ۱۲/۵۷ a | ۸۳/۲۴ a | ۲۶/۱۳ c | ۲۶/۵۵ c | ۲/۹۵ a | ۷/۹۶ a | ۲/۰۶ a |
| تنش $\frac{2}{3}$ FC (تنش ملایم) | ۱۵/۳۴ b | ۱۲/۲۶ a | ۵/۸۹ b | ۲/۲۴ b | ۱۰/۵۸ b | ۷۴/۹۲ b | ۶۸/۱۸ b | ۳۷/۱۳ b | ۲/۸۳ b | ۵/۴۲ b | ۱/۵۴ b |
| تنش $\frac{1}{3}$ FC (تنش شدید) | ۱۱/۳۹ c | ۱۲/۷۰ a | ۴/۵۵ c | ۱/۴۱ c | ۴/۰۸ c | ۵۶/۹۹ c | ۸۳/۶۱ a | ۴۳/۸۰ a | ۱/۲۴ c | ۳/۸۵ c | ۰/۷۱ c |
| صفر (شاهد) | ۱۲/۱۸ c | ۱۱/۵۱ bc | ۵/۰۹ c | ۱/۷۰ d | ۶/۱۸ d | ۶۲/۸۰ c | ۶۴/۰۸ a | ۲۵/۵۵ c | ۱/۰۶ d | ۳/۷۲ d | ۰/۵۷۷ b |
| آزمونیت ۲۵ گرم | ۱۳/۳۶ c | ۱۱/۱۹ c | ۵/۳۲ c | ۲/۱۱ c | ۸/۳۸ c | ۷۰/۲۵ b | ۶۲/۲۷ a | ۲۳/۳۵ c | ۱/۶۴ c | ۵/۱۶ c | ۰/۹۶۱ b |
| ۵۰ گرم | ۱۴/۷۹ b | ۱۲/۱۵ b | ۵/۷۳ b | ۲/۴۶ b | ۹/۹۱ b | ۷۳/۶۹ b | ۵۸/۱۰ b | ۳۹/۹۰ b | ۲/۳۸ b | ۶/۱۴ b | ۱/۶۱ b |
| ۱۰۰ گرم | ۱۷/۰۶ a | ۱۳/۴۲ a | ۶/۵۶ a | ۳/۳۶ a | ۱۱/۸۵ a | ۸۰/۱۷ a | ۵۲/۷۸ c | ۵۴/۵۰ a | ۳/۶۳ a | ۷/۸۱ a | ۳/۰۱ a |
| ازمیر | ۱۵/۱۶ a | ۱۲/۶۷ a | ۵/۸۵ a | ۳/۱۵ a | ۱۰/۳۷ a | ۷۵/۰۶ a | ۵۷/۸۴ b | ۳۳/۷۸ b | ۲/۳۲ a | ۶/۴۳ a | ۱/۵۴ a |
| ایزیولا | ۱۳/۴۹ b | ۱۲/۳۷ a | ۵/۵۰ b | ۲/۲۸ a | ۷/۸۳ b | ۶۸/۴۰ b | ۶۰/۷۷ a | ۳۷/۸۸ a | ۲/۰۳ b | ۴/۹۹ b | ۱/۵۳ a |

حروف مشابه در هر ستون و برای هر جزء نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

مقایسه میانگین اثر ساده صفات اندازه‌گیری شده (جدول ۲) تحت تأثیر مقادیر مختلف آزمونیت نشان داد که با افزایش مقادیر آزمونیت طول ساقه و ریشه، سطح برگ، وزن خشک و تر گیاه، محتوای نسبی آب، پرولین، کلروفیل و فتوستتزر و هدایت روزنه‌ای برگ افزایش تدریجی یافت که این افزایش در مورد صفات طول ساقه، طول ریشه، سطح برگ، پرولین و هدایت روزنه‌ای برگ به‌جز در تیمار ۲۵ گرم آزمونیت بین شاهد (صفرگرم) و تیمارهای دیگر معنی‌دار شد. نشت یونی برگ با افزایش مقادیر آزمونیت

به‌طوریکه بیشترین میزان طول ساقه، سطح برگ، وزن خشک و تر گیاه، محتوای نسبی آب، کلروفیل، فتوستتزر و هدایت روزنه‌ای برگ در تیمار بدون تنش خشکی (شاهد)، و کمترین مقدار آنها در تیمار تنش شدید خشکی دیده شد. طول ریشه، نشت یونی و پرولین برگ در تنش شدید خشکی بیشترین مقدار را داشت. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش شدت تنش خشکی، میزان کلیه صفات مورفولوژی به‌جز طول ریشه و صفات فیزیولوژی به‌جز نشت یونی و پرولین برگ کاهش یافت.

صفات اندازه‌گیری شده به‌جز نشت یونی و پرولین برگ در رقم از میر بیشتر از ایزوبلا است.

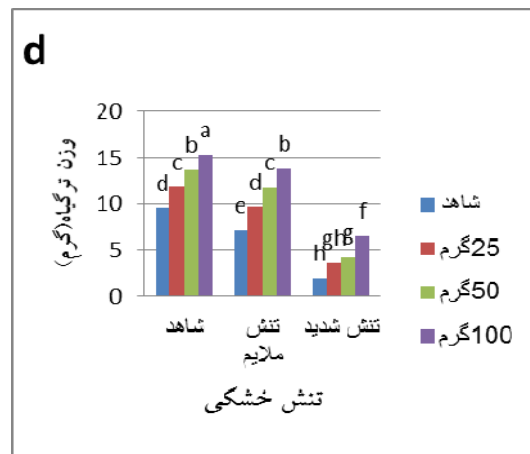
مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و آزمونیت بر میانگین طول ساقه، سطح برگ، وزن خشک و تر گیاه، محتوای نسبی آب، کلروفیل، فتوستتوز و هدایت روزنه‌ای برگ نشان‌داد که بیشترین مقادیر این صفات در تیمار بدون تنش خشکی (شاهد) همراه با ۱۰۰ گرم آزمونیت، و کمترین آن در تیمار تنش شدید خشکی و بدون آزمونیت (شاهد) است که بر اساس آزمون دانکن این تغییرات در مورد هر یک از صفات معنی‌دار است (شکل‌های a,c,d,e,f,h,j,k).

کاهش یافت، به‌طوری‌که به‌جز در تیمار ۲۵ گرم آزمونیت، بین شاهد و تیمارهای دیگر این کاهش معنی‌دار بود.

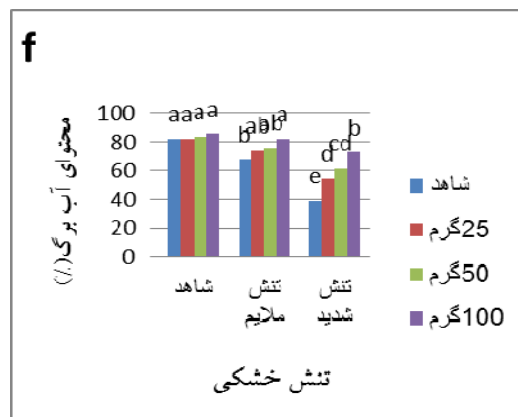
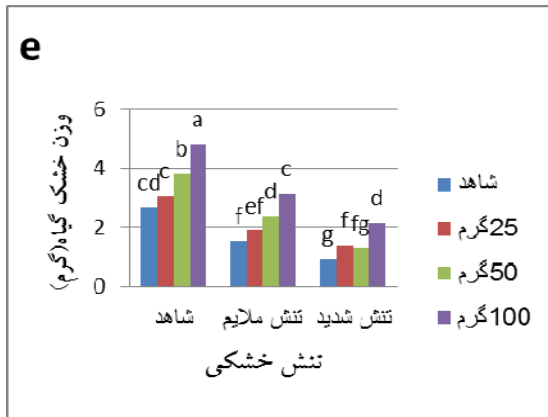
مقایسه میانگین اثر ساده صفات اندازه‌گیری شده (جدول ۲) بین دو رقم نشان داد که در رقم از میر در مقایسه با رقم ایزوبلا، مقادیر طول ساقه و ریشه، سطح برگ، وزن خشک و تر گیاه، محتوای نسبی آب، کلروفیل، فتوستتوز و هدایت روزنه‌ای برگ بیشتر است؛ که این افزایش در رقم از میر به‌جز در مورد صفات طول ریشه، وزن خشک گیاه و هدایت روزنه‌ای برگ معنی‌دار است. مقادیر نشت یونی و پرولین برگ در رقم ایزوبلا در مقایسه با از میر بیشتر معنی‌دار است. بنابراین می‌توان نتیجه‌گرفت که مقادیر کلیه



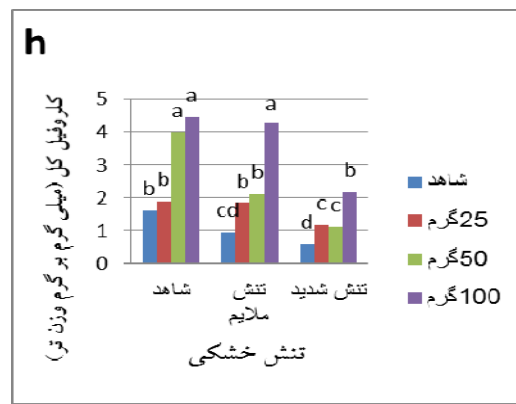
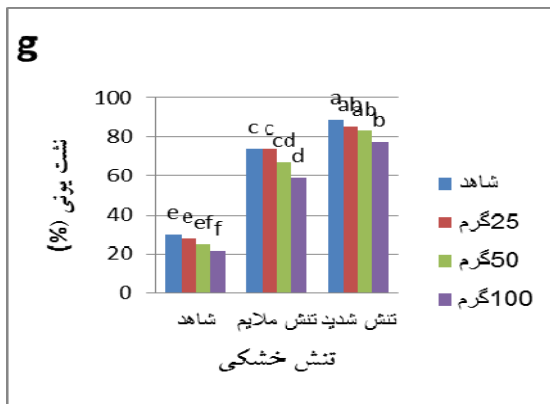
اثر متقابل تنش خشکی و آزمونیت بر طول ساقه (a) و طول ریشه (b). حروف مشابه و متفاوت به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار بودن داده‌ها در مقایسه با یکدیگر است.



اثر متقابل تنش خشکی و آزمونیت بر سطح برگ (c) و وزن تر گیاه (d). حروف مشابه و متفاوت به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار بودن داده‌ها در مقایسه با یکدیگر است.



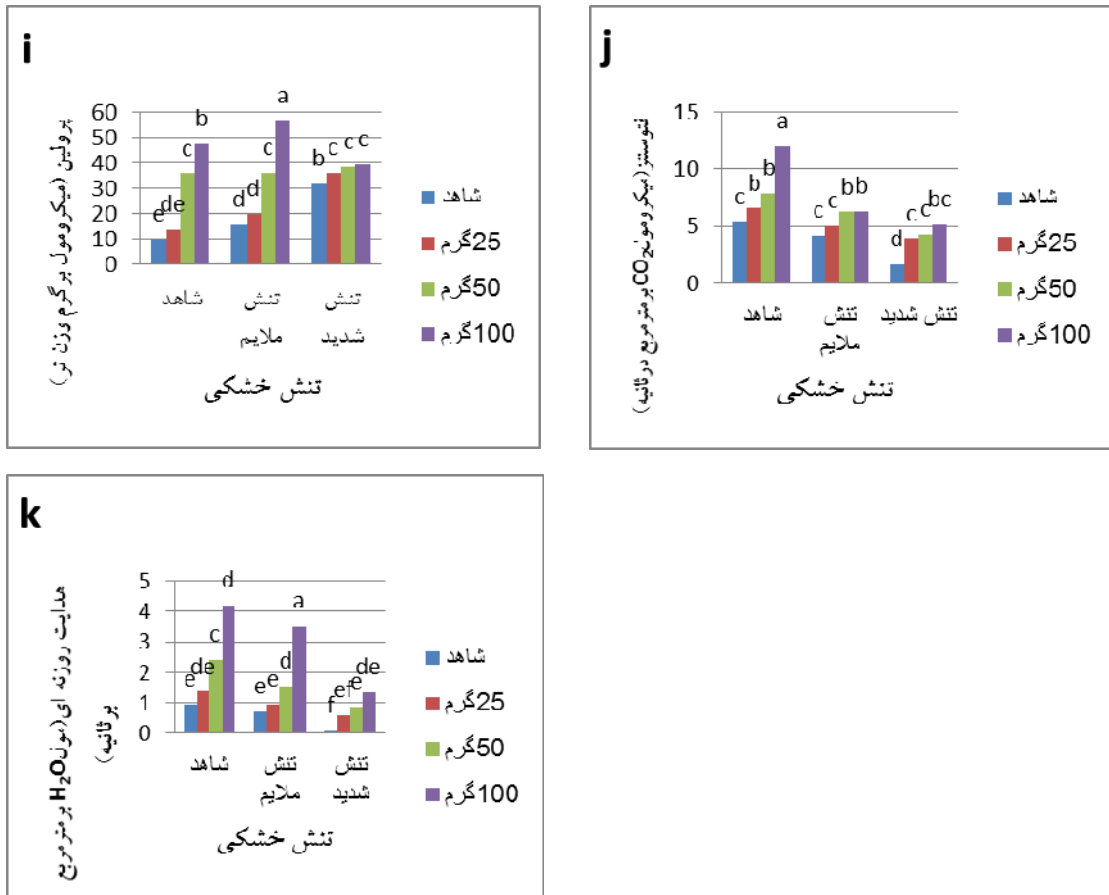
اثر متقابل تنش خشکی و آزمونیت بر وزن خشک گیاه (e) و محتوای آب برگ (f) حروف مشابه و متفاوت به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار بودن داده‌ها در مقایسه با یکدیگر است.



اثر متقابل تنش خشکی و آزمونیت بر نشت یونی (g) و کلروفیل کل (h) حروف مشابه و متفاوت به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار بودن داده‌ها در مقایسه با یکدیگر است.

تغییرات هر یک از صفات نامبرده معنی‌دار است. علاوه بر این در تنش ملایم و نیز شدید خشکی، همراه با افزایش آزمونیت طول ساقه، سطح برگ، وزن خشک و تر گیاه، محتوای نسبی آب، کلروفیل، فتوستتوز و هدایت روزنه‌ای و پرویلین برگ (به جز تنش شدید خشکی + ۱۰۰ گرم آزمونیت) افزایش یافت. نشت یونی، در تنش ملایم و شدید خشکی با افزایش آزمونیت (به جز تنش ملایم خشکی + ۲۵ گرم آزمونیت) کاهش یافت. بنابراین اثرات زیان‌آور تنش خشکی با افزایش آزمونیت کاهش می‌یابد.

همچنین بیشترین مقدار طول ریشه (شکل b) در تیمار بدون تنش خشکی همراه با ۱۰۰ گرم آزمونیت و کمترین مقدار آن در تیمار تنش شدید خشکی همراه با ۲۵ گرم آزمونیت است. بیشترین و کمترین مقدار نشت یونی برگ (شکل g) به ترتیب در تیمارهای تنش شدید خشکی بدون آزمونیت و بدون تنش خشکی همراه با ۱۰۰ گرم آزمونیت دیده شد. پرویلین برگ (شکل d) در تیمار تنش ملایم خشکی همراه با ۱۰۰ گرم آزمونیت بیشترین و در تیمار بدون تنش خشکی و بدون آزمونیت کمترین مقدار بود. براساس آزمون دانکن



اثر متقابل تنش خشکی و آزومایت بر پرولین گیاه (i)، فتوستت (j) و هدایت روزنه‌ای برگ (k)

حروف مشابه و متفاوت به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار بودن داده‌ها در مقایسه با یکدیگر است.

اثر متقابل تنش خشکی و رقم (جدول ۳) نشان داد که همراه با افزایش تنش خشکی، در رقم ازمیر بیشتر از کاهش طول ساقه و ریشه در مقایسه با شاهد هر رقم، ایزوبلا است.

جدول ۳- اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر صفات اندازه‌گیری شده

| رقم | هدایت روزنه‌ای | فتوستت | کلروفیل | پرولین برگ | نشت یونی | محتوای آب برگ | وزن تر گیاه | وزن خشک گیاه | سطح برگی | طول ریشه | طول ساقه |
|----------|----------------|----------|---------|------------|-----------|---------------|-------------|--------------|----------|----------|----------|
| شاهد | ۱۷/۳ a | ۸/۰۱۲ a | ۳/۰۶۶ a | ۳۰/۰۴۵ c | ۲۴/۵۴ c | ۸۳/۲۵ a | ۱۳/۵۳۵ a | ۳/۴۵۷ a | ۶/۶۸ a | ۱۲/۶۵ a | ۱۷/۳ a |
| ازمیر | تنش ملایم | ۱۱/۰۴ bc | ۵/۶۵۶ c | ۲/۷۲۵ a | ۴۰/۴۳۱ b | ۶۶/۱۳ b | ۷۸/۸۱ ab | ۲/۳۶۹ b | ۶/۱۳ ab | ۱۲/۱ b | ۱۵/۸ ab |
| تنش شدید | ۱۲/۲ c | ۴/۶۴۵ cd | ۱/۱۸۱ c | ۴۱/۸۶۳ b | ۸۲/۸۶ a | ۶۳/۱۱ c | ۵/۴۵۲ d | ۱/۳۶۸ c | ۴/۷۴ c | ۱۱/۲ b | ۱۲/۲ c |
| شاهد | ۱۵/۱ b | ۶/۹۱۸ b | ۳/۸۳۳ a | ۲۳/۰۵۴ d | ۲۷/۷۳ c | ۸۳/۳۱ a | ۱۱/۶۲۳ b | ۳/۷۰۲ a | ۶/۴۲ a | ۱۲/۵ a | ۱۵/۱ b |
| ایزوبلا | تنش ملایم | ۱/۲۸۲ c | ۵/۱۹۰ c | ۱/۹۶۲ b | ۳۳/۸۴۴ bc | ۷۰/۲۴ b | ۷۱/۰۳ b | ۲/۱۲۰ b | ۵/۶۱ b | ۱۲/۳ ab | ۱۴/۷ b |
| تنش شدید | ۱۰/۵ c | ۲/۸۶۰ d | ۱/۳۰۳ c | ۵۶/۷۴۱ a | ۸۴/۲۵ a | ۵۰/۸۷ d | ۲/۷۱۱ e | ۱/۴۶۵ c | ۴/۳۳ c | ۱۲/۱ b | ۱۰/۵ c |

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. شاهد، تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب مساوی با ظرفیت مزرعه^۱، $\frac{2}{3}$ و $\frac{1}{3}$ ظرفیت مزرعه است.

هر رقم، همراه با افزایش آزمونیت در رقم ایزوبلا بیشتر از از میر و افزایش وزن خشک و تر گیاه، همچنین محتوای نسبی آب، کلروفیل، فتوستت و هدایت روزنه‌ای برگ در مقایسه با شاهد هر رقم، در رقم از میر بیشتر از ایزوبلا است. افزایش پرولین برگ در رقم ایزوبلا بیشتر از از میر و کاهش نشست یونی در رقم ایزوبلا بیشتر از از میر است.

کاهش سطح برگ، وزن خشک و تر گیاه، محتوای نسبی آب، کلروفیل کل، فتوستت و هدایت روزنه‌ای برگ در مقایسه با شاهد هر رقم، در رقم ایزوبلا بیشتر از از میر و میزان افزایش پرولین و نشست یونی برگ همراه با افزایش تنش خشکی، به ترتیب در رقم ایزوبلا و از میر بیشتر است. اثر متقابل آزمونیت و رقم (جدول ۴) نشان داد که افزایش میزان طول ساقه، ریشه و سطح برگ در مقایسه با شاهد

جدول ۴- اثر متقابل آزمونیت و رقم بر صفات اندازه‌گیری شده

| هدایت روزنه‌ای | فتوستت | کلروفیل | پرولین برگ | نشست یونی | محتوای آب برگ | وزن تر گیاه | وزن خشک گیاه | سطح برگ | طول ریشه | طول ساقه | شاهد |
|----------------|----------|---------|------------|-----------|---------------|-------------|--------------|---------|----------|----------|---------|
| ۰/۵۵۱ c | ۴/۲۰۸ d | ۱/۰۰۲ d | ۲۱/۴۶۷ d | ۶۲/۸۳ ab | ۶۴/۵۱ b | ۶/۲۱۳ d | ۱/۵۸۸ c | ۵/۲۴ c | ۱۱/۴ b | ۱۲/۷ cd | شاهد |
| ۰/۹۶۸ c | ۶/۲۲۶ bc | ۱/۹۵۳ d | ۲۰/۰۰۱ d | ۶۰/۱۱ ab | ۷۶/۸۷ a | ۹/۷۱۰ c | ۲/۱۲۵ bc | ۵/۵۵ bc | ۱۰/۹ c | ۱۴/۷ b | ۲۵ گرم |
| ۱/۳۲۸ bc | ۶/۸۴۷ b | ۲/۵۲۱ b | ۴۶/۱۵۵ b | ۵۶/۶۱ b | ۷۶/۳۱ a | ۱۱/۳۳۵ d | ۲/۴۴۱ b | ۵/۸۶ b | ۱۱/۷ a | ۱۵/۸ ab | ۵۰ گرم |
| ۳/۸۳۴ a | ۸/۴۶۹ a | ۳/۸۱۹ a | ۴۷/۴۹۶ b | ۵۱/۸۳ c | ۸۲/۵۳ a | ۱۴/۰۵۹ a | ۳/۴۳۹ a | ۶/۷۱ a | ۱۲/۷ ab | ۱۷/۱ a | ۱۰۰ گرم |
| ۰/۶۰۲ c | ۳/۲۴۶ d | ۱/۱۱۹ d | ۲۹/۶۴۵ c | ۶۵/۳۴ a | ۶۱/۱۰۱ b | ۶/۱۵۹ d | ۱/۸۲۵ c | ۴/۹۱ c | ۱۱/۵ bc | ۱۱/۴ d | شاهد |
| ۰/۹۵۲ c | ۴/۱۱۱ d | ۱/۳۳۶ d | ۲۶/۷۱ cd | ۶۴/۴۳ a | ۶۳/۶۲ b | ۷/۰۵۳ d | ۲/۱۰۳ bc | ۵/۰۸ c | ۱۱/۵ bc | ۱۱/۸ b | ۲۵ گرم |
| ۱/۹۰۸ b | ۵/۳۳۵ c | ۲/۲۳۸ b | ۳۶/۶۶۲ c | ۵۹/۶۰ b | ۷۱/۰۸ ab | ۸/۴۸۵ c | ۲/۴۹۳ b | ۵/۶۰ bc | ۱۲/۳ b | ۱۳/۶ b | ۵۰ گرم |
| ۲/۶۹۳ ab | ۷/۱۶۸ b | ۳/۴۵۲ a | ۶۱/۵۰۲ a | ۵۳/۷۳ c | ۷۷/۸۱ a | ۹/۶۴۸ bc | ۳/۲۹۴ a | ۶/۴۱ a | ۱۴/۰۸ a | ۱۶/۹ a | ۱۰۰ گرم |

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

بحث

جذب، انتقال و مصرف عناصر غذایی را کاهش می‌دهد، که بدنبال آن ذخیره کربن و ماده خشک گیاه کاهش می‌یابد (۱۸). در این مطالعه کاهش بیشتر وزن خشک رقم ایزوبلا با افزایش تنش خشکی در مقایسه با رقم از میر، می‌تواند نشان‌دهنده حساس بودن رقم ایزوبلا در برابر تنش خشکی باشد.

در اثر افزایش تنش خشکی، میزان سطح برگ در هر دو رقم کاهش یافت. گزارش شده‌است که تنظیم سطح برگ در عکس‌العمل به تنش آبی یک عامل مهم، در از دست رفتن آب گیاه است. تنظیم مؤثر سطح برگ به‌طور طبیعی تأثیر زیادی بر میزان تنش درونی و واکنش به تنش دارد. توانایی کنترل سطح برگ، سازوکار مهمی است که یک گیاه در اثر تنش خشکی به وسیله آن بر مصرف آب اعمال کنترل می‌کند (۲۶). کاهش سطح برگ گیاه تحت تنش

ارزیابی صفات مورفولوژیکی: نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که همراه با افزایش تنش خشکی، ویژگی‌های رشد از جمله طول ساقه، سطح برگ، وزن خشک و تر گیاه در هر دو رقم کاهش یافت. تنش خشکی، طولی شدن میان‌گره ساقه و توسعه برگ را از طریق مهار کردن توسعه سلولی محدود می‌کند (۳۵). علاوه بر این خشکی باعث از دست رفتن محتوای آب بافت‌ها و کاهش فشار آماس سلولی شده که بدنبال آن توسعه و تقسیم سلولی را مهار کرده و رشد و ذخیره ماده خشک گیاه را کاهش می‌دهد (۱۰). گارسپا و همکاران (۱۶) و محمد و همکاران (۲۸) کاهش وزن خشک اندام‌ها و ارتفاع بوته گیاهان گوجه‌فرنگی و گندم را در شرایط تنش خشکی گزارش کردند. به‌طور کلی تنش آبی در هر مرحله از رشد گیاه،

خشکی در مورد گندم (۴۷) گزارش شده که با نتایج بدست آمده در این مطالعه هماهنگی دارد.

کاهش وزن تر گیاه در اثر تنش خشکی می‌تواند دلیلی بر توقف توسعه و رشد سلولی در اثر کاهش فشار آماس باشد (۵۰). کاهش وزن تر اندام‌های گندم (۴۲) در تنش خشکی گزارش شده‌است که نتایج این پژوهش را تأیید می‌کند. در این مطالعه کاهش بیشتر وزن تر رقم ایزوبلا با افزایش تنش خشکی در مقایسه با رقم ازمیر، می‌تواند نشان‌دهنده حساس بودن رقم ایزوبلا در برابر اثرات مخرب تنش خشکی باشد.

افزایش غیرمعنی‌دار طول ریشه، همراه با افزایش تنش خشکی در هر دو رقم مشاهده شد (جدول ۲). از نظر میچل و همکاران (۳۰)، بسیاری از گونه‌های گیاهی در شرایط تنش آبی فرآورده‌های فتوسنتزی بیشتری را به ریشه‌ها اختصاص می‌دهند و با افزایش نسبت ریشه به اندام‌های هوایی و استفاده بیشتر از آب قابل دسترس، به کمبود رطوبت پاسخ می‌دهند. بیان شده‌است که گیاهان دارای طول ریشه بیشتر در مقابل تنش خشکی تحمل بالاتری نیز از خود نشان می‌دهند (۵۲). نتایج ما در مورد ریشه با نتایج تایلر و همکاران (۵۷) بر روی گوجه‌فرنگی هم‌خوانی دارد. در این مطالعه با توجه به اینکه این آزمایش در گلدان انجام شد و شرایط آبی تقریباً یکسان در خاک گلدان وجود داشت، دلیلی برای افزایش معنی‌دار رشد ریشه برای دسترسی به آب بیشتر وجود نداشت.

نتایج نشان داد که مصرف آزمونیت به صورت کود، سبب افزایش طول ساقه و ریشه، سطح برگ‌گی و وزن خشک و تر هر دو رقم در مقایسه با شاهد شد. آزمونیت یک کود غنی از عناصر غذایی قابل حل در آب است و افزایش‌دهنده میزان اکسین در گیاه بوده و توسعه‌دهنده ریشه‌های گیاه و رسیدن به عناصر معدنی و آب می‌شود (۳۷). مطالعات کفاش و حسن‌پور (۲) بر روی توت‌فرنگی نشان داد که کاربرد آزمونیت و سیلیکون باعث افزایش حجم میوه و

وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه و نیز افزایش دوره ماندگاری میوه می‌شود. به نظر می‌رسد در این مطالعه، آزمونیت می‌تواند با تأثیر در افزایش عناصر غذایی خاک و فراهم آوردن قابلیت جذب آنها در گیاه عمل کرده و باعث افزایش رشد هر دو رقم گردد. اثر متقابل تنش خشکی و آزمونیت بیشترین میزان طول ساقه و ریشه، سطح برگ‌گی، وزن خشک و تر گیاه در هر دو رقم را در تیمار بدون تنش خشکی همراه با ۱۰۰ گرم آزمونیت نشان داد. همچنین در تنش خشکی همراه با افزایش آزمونیت، طول ساقه و ریشه، سطح برگ‌گی، وزن خشک و تر گیاه افزایش یافت. از نظر لال و همکاران (۲۷) گیاهی که خوب تغذیه شده و به مقدار کافی عناصر غذایی دریافت کرده‌باشد مقاومت بهتری به خشکی خواهد داشت. گزارش شده‌است که آزمونیت برای اصلاح ساختمان و ظرفیت نگهداری آب خاک استفاده می‌شود و کاهش‌دهنده اثرات تنش خشکی بوده و دارای ریزمغذی‌های لازم برای رشد گیاه و ساختار سلولی است (۴۵). بنابراین می‌توان گفت کود آزمونیت با فراهم کردن عناصر غذایی لازم برای گیاه از اثرات مخرب ناشی از تنش خشکی می‌کاهد و باعث افزایش مقاومت در شرایط تنش می‌شود.

ارزیابی صفات فیزیولوژیکی: نتایج نشان داد که همراه با افزایش تنش خشکی محتوای نسبی آب، کلروفیل کل، فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای برگ در هر دو رقم کاهش و پرولین برگ افزایش یافت. رامپینو و همکاران (۴۱) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی، توانایی گیاه در حفظ آب سلولی یکی از مهمترین عوامل حفظ بقا در این شرایط است و بر اساس محتوای آب برگ می‌توان ارقام حساس و مقاوم را در گندم از یکدیگر تشخیص داد. نشان‌دهنده شده‌است که کاهش در محتوای آب برگ، نشان‌دهنده کاهش آماس برگ‌ها است که در اثر محدود شدن آب مورد نیاز برای فرایندهای آماس سلولی می‌باشد (۲۵). حماد (۱۷) اظهار داشت که وقتی در اثر افزایش تعرق جذب آب بالا می‌رود، آماس سلولی، محتوای آب

با از میر در تنش خشکی است. از علل دیگر تجمع پرولین، حفاظت از غشاها هنگام کاهش محتوای آب برگ است (۴۳). در این مطالعه نیز همراه با کاهش محتوای آب برگ پرولین افزایش یافته‌است.

میزان کلروفیل کل برگ، با افزایش تنش خشکی در هر دو رقم کاهش یافت. ربیعی (۴۰) با مطالعه بر روی رقم‌هایی از انگور گزارش کرد که در شرایط کم‌آبی، با افزایش میزان پرولین از میزان کلروفیل کاسته می‌شود. چون گلوتامات ماده اولیه سنتز کلروفیل و پرولین است و گلوتامات، بیشتر در مسیر تولید پرولین استفاده می‌گردد. در این شرایط در اثر افزایش فعالیت کلروفیل‌از و پراکسیداز میزان کلروفیل کاهش می‌یابد. کاهش کلروفیل برگ تحت تنش خشکی در گندم (۴۷) و ذرت (۶۲) گزارش شده‌است. از طرف دیگر نشان داده شده است که تنش کم آبی در گوجه فرنگی تأثیر معنی داری بر میزان کلروفیل و دیگر رنگیزه‌های فتوسنتزی نداشته است (۴). بنابراین به نظر می‌رسد در این مطالعه، کاهش کلروفیل باعث کاهش فتوسنتز و فرآورده‌های فتوسنتزی می‌شود و کاهش فرآورده‌های فتوسنتزی نیز کاهش رشد را بدنبال دارد.

البته کاهش فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای همراه با افزایش تنش خشکی در هر دو رقم مشاهده شد. کاهش هدایت روزنه‌ای در تنش خشکی کلزا نیز گزارش شده است (۱). تنش خشکی اساساً از طریق بستن روزنه‌ها و یا با مهارکردن فعالیت روبیسکو و دیگر آنزیم‌های فتوسنتزی، فتوسنتز را محدود می‌کند (۴۴). نتایج ما با سایر گزارش‌های کاهش فتوسنتز در اثر تنش خشکی هم‌خوانی دارد (۳۲ و ۱۴). گزارش شده‌است که کاهش فتوسنتز را می‌توان به کاهش هدایت روزنه‌ای نسبت داد. بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش آبی، گرچه به منظور جلوگیری از هدررفت آب انجام می‌شود، اما به علت ممانعت از ورود دی‌اکسیدکربن می‌تواند فتوسنتز را کاهش دهد (۱۵). در این مطالعه، این کاهش را می‌توان به نقصان هدایت

برگ و حجم سلول کاهش می‌یابد و کاهش یافتن فشار آماس و محتوای آب برگ، رشد گیاه و هدایت روزنه‌ای را کاهش می‌دهد. در این مطالعه، محتوای آب برگ رقم از میر در مقایسه با ایزوبلا در اثر تنش خشکی بالاتر بود، بنابراین از میر در مقایسه با ایزوبلا می‌تواند رقمی مقاوم‌تر در برابر خشکی باشد.

درصد نشت یونی برگ، با افزایش تنش خشکی در هر دو رقم افزایش یافت. نشت یونی شاخصی برای استحکام غشاها می‌باشد. حفظ پایداری غشاها در شرایط تنش، نشان‌دهنده سازوکارهای کنترلی در تحمل به تنش خشکی است (۴). جوان و همکاران (۲۴) با بررسی رقم‌هایی از گوجه‌فرنگی نشان دادند که در رقم‌های حساس، بیشترین پراکسیداسیون لیپیدی غشا وجود دارد. نتایج ما با یافته‌های پری ماچاندرا و همکاران (۳۹) بر روی سورگوم هم‌خوانی دارد. میزان نشت یونی رقم ایزوبلا در مقایسه با از میر در تنش خشکی بیشتر بود (جدول ۲)، که نشان‌دهنده حساس بودن این رقم در مقایسه با از میر است.

پرولین برگ همراه با افزایش تنش خشکی در هر دو رقم افزایش یافت. میزان افزایش آن در رقم ایزوبلا بیشتر از از میر بود. مانیوانا و همکاران (۲۹) پیشنهاد کردند که افزایش پرولین در گیاهان تحت تنش، نوعی سازگاری برای غلبه بر این شرایط است. پرولین علاوه بر ایجاد تعادل اسمزی، حفاظت‌کننده غشاها، پروتئین‌ها و ساختارهای درون‌سلولی و حذف‌کننده رادیکال‌های آزاد است (۲۰). افزایش پرولین در گوجه‌فرنگی (۴۸) و گندم (۴۷) تحت تنش خشکی نیز گزارش شده‌است. نشان داده شده‌است که همواره در گیاهان مقاوم پرولین بالاتر بوده‌است، اما در گوجه‌فرنگی، میزان پرولین در رقم مقاوم کاهش یافته و این تأییدکننده این فرضیه است که پرولین یک شاخص سازگاری برای تنش نبوده و تنها نشانه‌ای برای تنش است (۴۸). در این پژوهش میزان پرولین در برگ‌های ایزوبلا بالاتر بود که نشان‌دهنده حساس بودن این رقم در مقایسه

پروتئین و بهبودبخشیدن به وضعیت ساختمانی غشاهای سلولی باشد (۲۹). علاوه بر این در آزمونیت عنصر کلسیم به صورت کلسیم اکساید وجود دارد (۳۷). این عنصر با افزایش دادن غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، سمیت گونه‌های اکسیژن فعال را کاهش داده و با کاهش واکنش‌های اکسیداسیون نوری موجب حفظ غشاها می‌شود (۶۰).

البته افزایش فتوسنتز همراه با افزایش آزمونیت مشاهده شد. عنصر دیگری که در آزمونیت وجود دارد، روی است (۴۵). گزارش شده است که با افزایش میزان این عنصر در محیط رشد، هدایت روزنه‌ای و غلظت CO_2 بین سلولی افزایش می‌یابد، از طرفی وجود این عنصر در سلول‌ها و بافت‌ها باعث فعالیت بیشتر آنزیم کربونیک‌انهدراز شده و بدنبال آن انتقال CO_2 و پروتون‌ها در فضاهای درون‌سلولی و برون‌سلولی و نیز غشاهای زیستی تسهیل می‌شود (۵۶). احتمال دارد آزمونیت با داشتن این عنصر افزایش هدایت روزنه‌ای و ورود دی‌اکسیدکربن را به درون روزنه‌ها آسان کرده و باعث افزایش سرعت فتوسنتز و رشد شود.

پرویلین برگ در هر دو رقم همراه با افزایش آزمونیت افزایش نشان داد که این افزایش در ایزوبلا بیشتر بود. این مطالعه، سیلیکون موجود در آزمونیت می‌تواند باعث افزایش پرویلین شده باشد. گزارش شده است سیلیکون با افزایش محتوای پرویلین به عنوان تنظیم‌کننده اسمزی، با حفظ تعادل آبی سلول از کاهش شدید محتوای آب برگ جلوگیری کرده و سبب پایداری ساختار سلول در برابر تنش کم‌آبی می‌شود (۳۳). بنابراین به نظر می‌رسد که بالاتر بودن میزان پرویلین در رقم ایزوبلا در اثر آزمونیت، نشان‌دهنده تعدیل کردن اثرات مخرب تنش خشکی بوسیله این نهاد نوین باشد.

روزنه‌ای نسبت داد، که در رقم ایزوبلا بیشتر از از میر در مقایسه با شاهد آنها تحت تنش خشکی است.

نتایج نشان داد که کاربرد آزمونیت می‌تواند اثرات زیان‌آور تنش خشکی را کاهش دهد. در هر یک از تیمارهای تنش خشکی، با افزایش میزان آزمونیت، محتوای نسبی آب، کلروفیل کل، فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و پرویلین برگ افزایش یافت. آزمونیت با داشتن بیش از ۵٪ پتاسیم، تقریباً ۳٪ کلسیم و ۱٪ منیزیم، به عنوان یک ماده طبیعی و بزرگترین منبع دارای عناصر نادر مطرح است (۳۷). گزارش شده است که تغذیه متناسب گیاهان در کاهش اثرات تنش‌ها، از جمله تنش خشکی مفید است (۶۰). افزایش محتوای آب برگ، در اثر کاربرد آزمونیت را می‌توان به پتاسیم موجود در آن ارتباط داد. پتاسیم یک ماده اسمزی است که در نگه‌داشتن فشار آماس و در نتیجه در جذب آب نقش دارد (۴۶). علاوه بر این آزمونیت دارای مقادیر زیادی سیلیکون بصورت سیلیکون‌دی‌اکسید است (۳۷). سنگ و همکاران (۴۹) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی سیلیکون باعث استحکام بافت برگ شده و بدنبال آن محتوای آب برگی افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد سیلیکون موجود در آزمونیت با کاهش هدررفت آب و افزایش بازدهی فتوسنتزی باعث افزایش رشد می‌شود. کاربرد سیلیکون در محیط کشت ذرت تحت تنش شوری محتوای کلروفیل a و b را افزایش داده و باعث افزایش نفوذ پذیری غشا و میزان فتوسنتز شد (۳۶). بنابراین به نظر می‌رسد آزمونیت با داشتن عنصر منیزیم نیز می‌تواند در تنش خشکی، کمبود منیزیم را جبران کرده و موجب سنتز کلروفیل شود.

کاهش نشت یونی همراه با افزایش آزمونیت می‌تواند مربوط به نقش پتاسیم در فعال‌سازی آنزیم‌ها و سنتز

منابع

کلزا. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، ۲۷: ۵۵۷-۵۶۸.

۱- حاجی بلند، ر.، کیوان فر، ن.، جودمند، ا.، رضایی، ح. و یوسف نژاد، م. ۱۳۹۳. تاثیر تیمار سلنیم روی تحمل خشکی در گیاه

- ۴- نصیبی، ف.، منوچهری کلانتری، خ. و یعقوبی، م. م. ۱۳۹۰. مقایسه اثر پیش تیمار سدیم نیتروپروسیاید و آرژینین بر برخی پاسخهای فیزیولوژیکی گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum*) تحت تنش کم آبی. مجله زیست شناسی ایران، ۲۴: ۸۳۳-۸۴۷.
- ۵- Barrs, H.D., Weatherley, P.E. (1962) A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Aust. J. Biol. Sci.* 15: 413-428.
- ۶- Bates, L.S., Waldren, S.P., Teare, I.D. (1973) Rapid determination of free proline for water – stress studies. *Plant soil* 39:205-207.
- ۷- Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J. P., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osorio, M. L., Carvalho, I., Faria, T., pinheiro, C. (2002) How plants cope with water stress in the field. *Photosynthesis and growth. Annals of Botany* 89: 907-916.
- ۸- Cornic, G., Fresneau, C. (2002) Photosynthetic carbon reduction and carbon oxidation cycles are the main electron sinks for Photosystem II activity during a mild drought. *Annals of Botany* 89, 887-894.
- ۹- Cvikrová, M., Gemperlov, L., Martincová, O., Vanková, R. (2013) Effect of drought and combined drought and heat stress on polyamine metabolism in proline-over-producing tobacco plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 73: 7-15.
- ۱۰- Delfine, S., Tognettir, R., Loreto, F., Alvino, A. (2002) Physiological and growth responses to water stress in field grown bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 77 (6), 697-704.
- ۱۱- Emam, Y., Zavarehi, M. (2005) Drought tolerance in higher (Genetically, Physiological and Molecular Biological Analysis). Academic Publishing Center of Tehran. (In Farsi).
- ۱۲- Fazeli, F., Ghorbanli, M., Niknam, V. (2007) Effect of drought on biomass, protein content, lipid peroxidation and antioxidant enzymes in two sesame cultivars. *Biol. Plant.* 51: 98-103.
- ۱۳- Fischer, R. A., Rees, D., Sayre, K. D., Lu, Z. M., Candon, A. G., Saavedra, A. L. (1998) Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *CropSci.* 38: 1467-1475.
- ۱۴- Flexas, J., Medrano, H. (2002) Drought-inhibition of photosynthesis in C₃- plants: Stomatal and nonstomatal limitation revisited. *Annals of Botany* 183: 183-189.
- ۱۵- Francisco, I. P., Endolz, L. S., Pardos, J. (1995) Constraints by water stress on plant growth. In: M. Pessarkli (ed.). *Plant and crop stress.* 247-260.
- ۱۶- Garcia, A.L., Marcelis, L., Garcia-Sanchez, L. (2007) Moderate water stress affects tomato leaf water relations independence on the nitrogen supply. *Biol. Plant.* 51: 707-712.
- ۱۷- Hammad, S.A.R. (2008) Physiological and anatomical studies on drought tolerance of pea plants by application of some natural extracts. *Ann. Agric. Sci., Ain Shams Univ., Cairo* 53 (2), 285-305.
- ۱۸- Hu, Y., Schmidhalter, U. (2005) Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Plant Nutrition* 168: 541-549.
- ۱۹- Ierna, A., Mauromicale, G. (2006) Physiological and growth response to moderate water deficit of off-season potatoes in a Mediterranean environment, *Agric. Water Manage.* 82: 193-209.
- ۲۰- Iqbal, S. (2009) Physiology of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Accessions and the Role of phytohormones Under Water Stress. Ph.D. Thesis, Fac. of Biological Sci., Quaid-i-azam Univ., Islamabad, pp. 83-154.
- ۲۱- Iturbe-ormatxe, I., Escuredo, P.R., Arrese-Igor, C., Becana, M. (1998) Oxidative damage in pea plant exposed to water deficit or paraquat. *Plant. Physiol.* 116: 173-181.
- ۲۲- Jacob, H., Clark, G. (2002). *Methods of Soil Analysis. Part IV Physical Method.* Soil Science Inc. Madison, Wisconsin, USA 1692 pp.
- ۲۳- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Lakshmanan, G., Gomathinayagam, M., Panneerselvam, R. (2008) Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. *Colloids and Surfaces. Biointerfaces* 61, 298-303.
- ۲۴- Juan, M., Rivero, R M., Romero, L., Ruiz, J. M. (2005) Evaluation of some nutritional and

- biochemical indicators in selecting salt-resistant tomato cultivars. *Environ. Exp. Bot.* 54: 193-201.
- 25- Katerji, N., Van Hoorn, J.W., Hamdy, A., Mastroianni, M., Moukarzel, E. (1997) Osmotic adjustment of sugar beets in response to soil salinity and its influence on stomatal conductance growth and yield. *Agric. Water Manage.* 33: 57-69.
- 26- Lakso, A. N. (1985) The effect of water stress on physiological process in fruit crop. *Acta Horticulturae*, 171, 275-290.
- 27- Lal, P., Chhipa, B.R., Kumar, A. (1993) Salt affected soil and crop production: a modern synthesis. *Agro Botanical Publishers, India*, 375 pp.
- 28- Mahamed, M.B., Sarobol, E., Hordofa, T., Kaewrueng, S., Verawudh, J. (2011) Effects of soil moisture depletion at different growth stages on yield and water use efficiency of bread wheat grown in semi arid conditions in Ethiopia. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 45, 201-208.
- 29- Manivannan, P., Abdul Jaleel, C., Somasundaram, R., Panneerselvam, R. (2008) Osmoregulation and antioxidant metabolism in drought-stressed *Helianthus annuus* under triadimefon drenching. *Comptes Rendus Biologies*, 321: 418-425.
- 30- Marschner, H. (1995) Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.
- 31- Michele, A., Douglas, T., Frank, A. (2009) The effects of clipping and soil moisture on leaf and root morphology and root respiration in two temperate and two tropical grasses. *Plant Ecology* 200: 205-215.
- 32- Morales, C.G., Pino, M.T., delPozo, A. (2013) Phenological and physiological responses to drought stress and subsequent rehydration cycles in two raspberry cultivars. *Scientia Horticulturae* 162, 233-241.
- 33- Mussa, H.R. (2006) Influence of oxygenous application of silicon of physiological response of salt-stressed Maize. *Agriculture and biology journal*, 2:293-297.
- 34- Naghavi Maremati, A., Bahmanyar, M.A., Pirdashti, H., Salak Gilani, S. (2007) Effect of different rate and type of organic and chemical fertilizers on yield and yield components of different rice cultivars. 10th Iranian Conference of Soil Science, Tehran, Iran pp. 766-767. (In Persian).
- 35- Namich, A.M. (2007) Response of cotton cultivar Giza 80 to application of glycine betaine under drought conditions. *Minufiya J. Agric. Res.* 31 (6), 1637-1651.
- 36- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., Tran, L.S. (2014) Response of plants to water stress. *Frontiers in plant science*, 5:1-8. , Minireview article.
- 37- Palmer, R. Sharon, D. (2009). "Digging Into Soil Health". Available at web site www.growerssecret.com Today's Dietitian 11 (7): 38. Retrieved 5 October 2012.
- 38- Patel, V.I., Saravaita, S.N., Arvadia, M.K., Chaudhari, J.H., Ahir, M.P., Bhalerao, R.E. (2010) Effects of conjunctive use of bio-organic sand inorganic fertilizers on growth, yield and economics of *Rabi* Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under south Gujarat conditions. *International journal of Agricultural sciences*. Vol. 6 Issue 1: 178-181.
- 39- Premachandra, G.S., Saneoka, H., Fujita, K., Ogata, S. (1992) Seasonal changes in leaf water relations and cell membrane stability in Orchardgrass. *J. Agric. Sci.*, 121: 169-175.
- 40- Rabiee, V. (2003). Study the responses of some grape cultivars to drought stress. Ph. D. Thesis in Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Tehran. pp.125. (In Farsi).
- 41- Rampino, P., Pataleo, S., Gerardi, C., Mita, G., Perrotta, C. (2006) Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes, *Plant Cell Environ.* 29: 2143-2152.
- 42- Rane, J., Maheshvari, M., Nagarajan, S. (2001) Effect of pre-anthesis water stress on growth, photosynthesis and yield of six wheat cultivars differing in drought tolerance. *Indian J. Plant. Physiol.* 6, 53-60.
- 43- Reddy, A.R., Chaitanya K.V. Vivekanandan, M. (2004) Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Rev. Plant Physiol.* 161: 1189-1202.
- 44- Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., Jutur, P.P., Granam, A. (2005) Photosynthesis and oxidative stress responses to water deficit in five different mulberry (*Morus alba* L.) cultivars. *Physiol Mol Biol Plants*. 11:291-298.
- 45- Rich, D. K. (2005) "OAK LORE / Preserving a heritage tree / Scientist takes holistic approach

- to sudden oak death". San Francisco Chronicle. Retrieved 5 October 2012.
- 46- SaeedAkram, M., Ashraf, M., Aisha Akram, N. (2009) Effectiveness of potassium sulfate in mitigating salt induced adverse effects on different physio-biochemical attributes in sunflower (*Helianthus annuus*L.). *Flora* 204: 471-483.
- 47- Salwa, A.R. H., Osama A.M. A. (2014) Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. *Annals of Agricultural Science* ,59(1), 132-145.
- 48- Sanchez-rodriguez, E., Rubio-wilhelmi, M., Cervilla, M., Begon blasco, L. M., Juan, J. Rios- Miguel, A., Rosales, N., Luisomero, J., Ruiz. M. (2010) Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants, *Plant Science*, 178: 30-40.
- 49- Sang, G. K., Kai, W.K., Eun, W.P., Doi, C. (2002) Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: a possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. *Phytopathology*, 92:1095-1103.
- 50- Sankar, B., Jalwwl, C. A., Manivannan, P., Kishorkumar, A., Somasundumar, R., Panneerselvam, R. (2007). Drought-induced biochemical modifications and proline metabolism in *Abelmoschus esculentus*(L.)Moench. *Acta Bot. Croat.* 66 (1), 43-56.
- 51- Shiferaw, B., Baker, D. A. (1996) An evaluation of drought screening techniques for Eragrostistef. *Trop. Sci.*, 36: 74-85.
- 52- Singh, G., Sekhon, H. S., Kolar, J. S. (2005) *Pulses*. Agrotech Publishing Academy. Udaipur, India. 319 pp.
- 53- Strain, H.H., Svec, W.A. (1966) Extraction, Separation, estimation and isolation of chlorophylls. In :L.P.Vernon and G.R.sleey, (eds), *The chlorophylls* Academic press . New york. PP.199-244.
- 54- Sullivan, C.Y., Ross, W.M. (1979) Selecting for drought and heat resistance in grain sorghum. In: *Stress Physiology in Crop Plants* (Eds.), Mussel, H., Staples, R.C., John Wiley and Sons, New York, 263-281.
- 55- Tahi, H. S., Wahbi, C. El., Modafar, A., Aganchich, R., Serraj, A. (2008) Changes in antioxidant activities and phenol content in tomato plants subjected to partial root drying and regulated deficit irrigation, *Plant Biosyst.* 142: 550-562.
- 56- Tavallali, V., Rahemi, M., Maftoun, M., Panahi, B., Karimi, S., Ramezaniyan, A., Vaezpour, M. (2009) Zinc influence and salt stress on photosynthesis, water relations, and carbonic anhydrase activity in pistachio. *Sci. Hort.* 123: 272-279.
- 57- Taylor, A. G., Motes, J. E., Kirkham, M. B. (1982). Osmotic regulation in germinating tomato seedling. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 107, 387-390.
- 58 Tompkins, P., Bird, C. (2002) "Chapter 17, Savory Soil". *Secrets of the Soil* (Third ed.). Earthpulse Press (originally published by Harper & Row). ISBN 1-890693-24-3.
- 59- Wang, F., Kang, SZ., Du, TS., Li, FS., Qiu, R.J. (2011) Determination of comprehensive quality index for tomato and its response to different irrigation treatments. *Agr Water Managed* doi:10.1016/j.agwat.2011.03.004.
- 60- Waraich, E.A., Ahmad, R., Saifullah, M.Y., Ashraf. E. (2011) Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *Aust. J. Crop Sci.* 5(6): 764-777.
- 61- Yarrow, D. (2000). "Mineral Restoration & Utah Rock Dust" (PDF). *ACRES Magazine, A Voice for Eco-Agriculture* 30 (4): 14-17. Retrieved 5 October 2012.
- 62- Yong, Y., Tai, S., Bao, X. (2007) Effects of silicon on photosynthesis and antioxidative enzymes of maize under drought stress. *Plant science*, 18: 531-536.

Evaluation of the effect of Azomite fertilizer on the growth and some physiological traits of two tomato (*Lycopersicon esculentum*) cultivars under drought stress

Noorani Azad H.¹, Hassan Poor A.², Bakhshi Khaniki GH.¹ and Ebrahimi M.A.³

¹ Biology Dept., Payame Noor University, Tehran, I.R. of Iran

² Iranian Research Institute of Plant Protection, Tehran, I.R. of Iran

³ Agriculture Biotechnology Dept., Payame Noor University, Tehran, I.R. of Iran

Abstract

In order to investigate effect of drought stress and Azomite fertilizer on growth and some of the physiological traits of two tomato (*Lycopersicon esculentum* M.) cultivars (Izmir and Izabela), a pot study was conducted. A randomized complete design with factorial arrangement with four replications was used. Treatment consist of three levels of irrigation [FC (control), $\frac{2}{3}$ FC (mild drought stress) and $\frac{1}{3}$ FC (severe drought stress)] and four levels Azomite (0, 25, 50 and 100 gr/pot). During vegetative growth, stem and root length, leaf area, plant dry and fresh weight, relative water content (RWC), electrolyte leakage, proline, total chlorophyll, photosynthesis, and stomatal conductance were measured. Results showed that drought stress reduced stem length, leaf area, plant dry and fresh weight, relative water content, total chlorophyll, photosynthesis and stomatal conductance but increased root length, leaf electrolyte leakage and proline. Azomite fertilizer increased stem and root length, leaf area, plant dry and fresh weight, relative water content, proline, total chlorophyll, photosynthesis, and stomatal conductance but decreased electrolyte leakage in two tomato cultivars. Interaction effect of drought stress and Azomite has a significant effect on plant fresh weight, relative water content, proline, total chlorophyll and photosynthesis. As well as, Interaction effect of drought stress and cultivar showed significant effect on plant fresh weight, relative water content, proline, total chlorophyll, photosynthesis and stomatal conductance. Moreover the results indicated that the interaction effect of Azomite and cultivar had a significant effect on plant fresh weight, relative water content, proline, total chlorophyll and photosynthesis. In general, Azomite was effective on drought stress tolerant in tomato plant.

Key words: Azomite, Drought Stress, RWC, Photosynthesis, Proline, Tomato.