نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵، ص. ۱۰۶-۹۵

Journal of Agroecology
Vol. 8, No. 1, Spring 2016, p. 95-106

اثر تنش خشکی بر عملکرد، اجزای عملکرد و آنتی‌اکسیدان در دو اکوتیپ سیر (*Allium sativum* L.) با تراکم‌های کاشت مختلف

شیوا اکبری[1*]، محمد کافی[2] و شهرام رضوان‌بیدختی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۶

اکبری، ش.، کافی، م.، و رضوان‌بیدختی، ش. ۱۳۹۵. اثر تنش خشکی بر عملکرد، اجزای عملکرد و آنتی‌اکسیدان در دو اکوتیپ سیر (*Allium sativum* L.) با تراکم‌های کاشت مختلف. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، ۸(۱): ۱۰۶-۹۵.

چکیده

تنش خشکی یکی از معمول‌ترین و مضرترین تنش‌های غیر زیستی است که می‌تواند به صورت جدی موجب کاهش تولید محصول گردد. به منظور بررسی اثر تنش خشکی و تراکم کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد و محتوی آنتی‌اکسیدان دو اکوتیپ سیر (*Allium sativum* L.)، آزمایشی به صورت اسپلیت- فاکتوریل در قالب طرح آزمایشی بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی سمنان در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ انجام شد. اثر سه سطح تنش خشکی (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی)، به عنوان فاکتور اصلی و ترکیب سطوح فاکتوریل شامل سه تراکم کاشت (۳۰، ۴۰ و ۵۰ بوته در مترمربع) و دو اکوتیپ سیر (طبس و طرود)، به عنوان فاکتور فرعی، بر محتوای آنتی‌اکسیدان، عملکرد سوخ، درصد ماده خشک و اجزای عملکرد اعم از وزن تر و وزن خشک سوخ، قطر سوخ، طول سوخ، وزن تر و وزن خشک سیرچه، قطر سیرچه، طول سیرچه و تعداد سیرچه در سوخ مطالعه گردید. نتایج نشان داد که اعمال تنش خشکی موجب کاهش معنی‌داری بر عملکرد سوخ، درصد ماده خشک و اجزای عملکرد شد. همچنین با افزایش تنش خشکی آنتی‌اکسیدان افزایش یافت. وزن تر (۱/۸۵۵ گرم) و خشک (۰/۶۳۵ گرم) و طول (۲/۱۱۸ سانتی‌متر) سیرچه در اکوتیپ طرود نسبت به وزن تر (۱/۵۱۲ گرم) و خشک (۰/۵۵۷ گرم) و طول (۱/۸۶۲ سانتی‌متر) سیرچه در اکوتیپ طبس بیشتر بود، اما تعداد سیرچه‌ها در سوخ در اکوتیپ طبس (۹/۹۹۳ عدد) بیشتر از این تعداد در اکوتیپ طرود (۹/۱۰۴ عدد) بود. عملکرد سوخ در تراکم کاشت ۵۰ بوته در مترمربع (۹۶۶۰/۴۴ کیلوگرم در هکتار) به طور معنی‌داری بیشتر از دو تراکم کاشت دیگر بود. عملکرد سوخ به طور معنی‌داری دارای همبستگی مثبتی با تمام اجزای عملکرد بود. از نتایج چنین بر می‌آید که اعمال تنش خشکی باعث کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سیر نسبت به شاهد گردید که این کاهش با تشدید سطح تنش افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی، سوخ، سیرچه، وزن خشک

مقدمه

گیاهان تحت شرایط طبیعی و زراعی به طور پیوسته در معرض تنش‌های گوناگون قرار دارند و در این میان کمبود آب مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد محصولات زراعی در اکثر نقاط جهان و ایران می‌باشد (Koocheki et al., 2009). تلفات محصول ناشی از تنش‌های غیر زنده مانند خشکی و شوری می‌تواند باعث کاهش عملکرد محصول تا ۵۰ درصد گردد (Sapeta et al., 2012). تنش آبی، با اثرگذاری بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلف مانند فتوسنتز، انتقال، جذب یون، کربوهیدرات، سوخت و ساز مواد مغذی و محرک‌های رشد، موجب کاهش رشد گیاه می‌گردد (Jaleel et al., 2008). بیشترین عملکرد قابل برداشت گیاه، نتیجه رشد نهایی محصول می‌باشد. گیاهان، تحت تنش خشکی در مقایسه با شرایط بدون تنش، از لحاظ عملکرد نهایی قابل برداشت دارای تفاوت زیادی با یکدیگر هستند (Bideshki & Arvin, 2010).

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد و استادیار گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان
(*- نویسنده مسئول: Email: shivaa.akbari@yahoo.com)

تولید گونه‌های فعال اکسیژن[1] در گیاهان در هر دو تنش زنده و غیر زنده تا حد زیادی در سخت‌سازی غشاء، از بین بردن لیپیدهای غشائی، دناتوره شدن پروتئین‌ها و جهش DNA دخیل دانسته شده است. به منظور جلوگیری از اکسیداسیون به دلیل تولید گونه‌های فعال اکسیژن، گیاهان مکانیسم‌های پیچیده‌ای برای مهار آن‌ها به وجود آورده‌اند (Ali et al., 2005). آنتی‌اکسیدان‌ها نقش مهمی در مهار گونه‌های فعال اکسیژن ایفاء می‌کنند (Liu et al., 2013). بافت‌های گیاهی دارای آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی می‌باشند. آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی شبکه‌ای از آنتی‌اکسیدان‌ها با وزن مولکولی کم (آسکوربات، گلوتاتیون، ترکیبات فنولی، توکوفرول‌ها، کاروتنوئیدها و غیره) هستند که سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی گیاه را تشکیل می‌دهند (Kuk et al., 2003).

تراکم بوته یکی از عواملی است که تأثیر به سزایی بر رشد گیاه دارد، به طوری‌که در تراکم مطلوب، عوامل محیطی مانند آب، هوا، نور و خاک به نحو مناسب‌تری در اختیار گیاه قرار می‌گیرند و در عین حال رقابت‌های بین بوته‌ای به کمترین میزان می‌رسد (Khajehpour, 2009).

سیر (*Allium sativum* L.) از زمان‌های بسیار قدیم مورد کشت و زراعت قرار می‌گرفته و به عنوان چاشنی و طعم‌دهنده مورد استفاده بوده است (Pedraza-Chaverri et al., 2006). سیر به صورت محصول یک‌ساله سوخ‌دار است و از نظر اهمیت در کشت پس از پیاز در مقام دوم قرار دارد (Adekpe et al., 2007). سیر باعث کاهش کلی کلسترول پلاسما شده، فشار خون را کاهش می‌دهد و از میزان تجمع پلاکت‌ها می‌کاهد همچنین از آن به عنوان داروی ضدمیکروبی و عامل چربی سوز و اخیراً به عنوان یک عامل سم‌زدا و آنتی‌اکسیدان و عامل تعدیل‌کننده سیستم ایمنی استفاده می‌شود (Rees et al., 1993; Sterling & Eagling, 2001). این احتمال وجود دارد که سیر در طول دوره رشد، با تنش‌های محیطی متفاوتی مواجه گردد که این امر می‌تواند شدیداً بر رشد و عملکرد گیاه اثر گذارد. گزارش شده است که سیر نسبت به شرایط کمبود آب حساس می‌باشد (Hanson et al., 2003). حصول عملکرد مطلوب سیر به مدیریت آبیاری و شرایط کاشت مناسب گیاه بستگی دارد. در مراحل نهایی و میانی رشد، سیر به تنش‌های آبی حساس بوده و کاهش آبیاری در این دوره‌ها نامناسب می‌باشد (Fabeiro Cortes et al., 2003).

شریف روحانی و همکاران (Sharif Rohani et al., 2014) با بررسی تأثیر رژیم آبیاری و عمق کاشت بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه دارویی و صنعتی موسیر (*Allium altissimum* Regel.) در شرایط آب و هوایی مشهد بیان داشتند که افزایش فواصل آبیاری باعث کاهش وزن خشک پیاز، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و ارتفاع ساقه گل‌دهنده شد.

هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد و مقدار آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی دو اکوتیپ سیر و همچنین مطالعه اثر تراکم بر صفات مذکور و تعیین تراکم کاشت مطلوب بوده است. همچنین با بررسی مقدار آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی اکوتیپ‌های سیر تحت تنش خشکی، می‌توان مقاومت اکوتیپ‌ها را در برابر شرایط تنش مقایسه نمود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان سمنان، با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۳ دقیقه و ارتفاع ۱۱۲۷ متری از سطح دریا اجرا شد. جهت آماده‌سازی زمین، ابتدا زمین را شخم زده و برای خرد کردن کلوخ‌ها و تسطیح از دیسک استفاده شد و سپس توسط شیارساز پشته‌هایی با فواصل ۳۵ سانتی‌متر ایجاد شد. کشت در ۲۸ آبان ماه ۱۳۹۰ به صورت دستی و بر اساس تراکم‌های مورد نظر انجام گردید. هر کرت فرعی دارای مساحتی برابر با نه (۳×۳) مترمربع و هشت ردیف کاشت با فواصل بین ردیف ۳۵ سانتی‌متر و هر تکرار شامل سه کرت اصلی و هر کرت اصلی در بر گیرنده شش کرت فرعی بود. آزمایش به صورت اسپلیت- فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این آزمایش سه سطح تنش خشکی بر اساس ۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی (ETc) سیر در شرایط اقلیمی سمنان و به همراه شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی)، به عنوان عامل اصلی و ترکیب فاکتوریل از تراکم در سه سطح (۴۰-۳۰ و ۵۰ بوته در مترمربع) و رقم در دو سطح طرود و طبس به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. برای محاسبه نیاز آبی سیر، از پارامترهای هواشناسی روزانه ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک سمنان استفاده و نیاز آبی بر پایه دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان فائو- ۵۶ تعیین شد. نیاز آبی گیاه از طریق محاسبه تبخیر و تعرق گیاه تحت شرایط استاندارد (ET_C) مطابق با فرمول ذیل محاسبه شد که در آن، K_C

1- Reactive oxygen species (ROS)

ضریب گیاهی تجربی و ET_0 تبخیر و تعرق مرجع می‌باشد (Allen et al., 1998).

$$ET_c = K_c * ET_0 \quad (۱)$$

حجم‌های آبیاری لازم برای سطوح مختلف تأمین نیاز آبی توسط اندازه‌گیری دقیق به وسیله کنتور حجمی با دقت ۰/۰۰۰۱ مترمکعب اعمال شد. علائم رسیدگی سیر، تغییر رنگ خارجی‌ترین (پایین‌ترین) برگ‌های سیر به قهوه‌ای است (Al-Zahim et al., 1999). در استاندارد بین‌المللی (ISO)[1] شماره ۶۶۶۳، زمانی که نوک برگ‌ها شروع به زرد شدن کند زمان مناسب برداشت سیر تعیین شده است (Anon, 1983). بدین جهت سه هفته پس از آخرین مرتبه آبیاری، در ۲۹ خرداد، برداشت سوخ‌ها به صورت یک مترمربع در هر کرت به طور مجزا انجام گرفت و عملکرد و درصد ماده خشک سیر در واحد سطح مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. جهت انتخاب نمونه برای اندازه‌گیری عملکرد و درصد ماده خشک، نیم متر از ابتدا و انتها و دو ردیف کناری کرت به عنوان اثر حاشیه‌ای حذف شد و سپس یک مترمربع دست نخورده در کرت که برای اولین بار مورد نمونه‌گیری قرار می‌گرفت، انتخاب و مشخص شده و کلیه سوخ‌های موجود در آن واحد سطح برداشت شد. همچنین در این تاریخ نمونه‌برداری لازم جهت اندازه‌گیری اجزای عملکرد اعم از قطر سیرچه، قطر سوخ، طول سیرچه، طول سوخ، وزن تر سیرچه، وزن تر سوخ، وزن خشک سیرچه، وزن خشک سوخ، تعداد سیرچه در سوخ انجام شد. درصد ماده خشک نیز با استفاده از وزن تازه و خشک سوخ‌ها در انتهای فصل رشد، در تاریخ مذکور تعیین شد.

جهت انتخاب نمونه برای اندازه‌گیری اجزای عملکرد، به مقدار نیم متر از ابتدا و انتها و دو ردیف کناری کرت به عنوان اثر حاشیه‌ای حذف شد و سپس از هر کرت به طور تصادفی ۱۰ بوته انتخاب و مقادیر مربوطه اندازه‌گیری شد. برای محاسبه و اندازه‌گیری درصد ماده خشک در واحد سطح و وزن خشک سوخ و وزن خشک سیرچه، نمونه‌های هر تیمار به تفکیک در داخل آون با درجه حرارت ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک و وزن شدند.

همزمان با به حداکثر رسیدن سطح برگ در اواخر اردیبهشت ماه، نمونه‌برداری جهت اندازه‌گیری آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی انجام شد. برای اندازه‌گیری آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی از روش DPPH[2] استفاده شد و در آن از ۲ و ۲- دی فنیل- ۱- پیکریل هیدرازیل (DPPH) استفاده گردید و جذب محلول‌های حاصله و شاهد، در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین گردید (Zhu et al., 2002; Molyneux, 2004).

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS Ver. 9.1 و Mstat-C آنالیز شدند. برای مقایسات میانگین از روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)[3] در سطح پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد و درصد ماده خشک

نتایج نشان داد که تنش خشکی ($p\leq۰/۰۱$) بر عملکرد سوخ و درصد ماده خشک اثرگذار بود (جدول ۱) و با اعمال و تشدید تنش خشکی، عملکرد سوخ‌ها و درصد ماده خشک به طور معنی‌داری کاهش یافتند. تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با ۹۶۰۸/۱ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین میزان عملکرد سیر در واحد سطح بود و پس از آن تیمار ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی به ترتیب با ۷۸۱۷/۳ و ۵۹۵۷/۶ کیلوگرم در هکتار روندی نزولی در عملکرد را با افزایش خشکی نشان دادند (جدول ۲).

کارایه و یاکوبو (Karaye & Yakubu, 2007)، گزارش کردند که سیر برای استقرار خوب، رشد، توسعه و عملکرد نهایی و کیفیت بالای سوخ نیاز به رطوبت کافی دارد و میزان عملکرد نهایی سوخ نشان داد که تحت تأثیر میزان آبیاری می‌باشد و تیمار بدون کمبود آبیاری دارای بالاترین محصول در طول مرحله رسیدگی بوده است.

مطابق با یافته‌های این تحقیق، که با اعمال و تشدید تنش خشکی، عملکرد محصول کاهش یافت، گزارشات و تحقیقات دیگری نیز مؤید این نتایج می‌باشند و همان‌طور که گزارش شده است، تنش خشکی میزان عملکرد سوخ را ۲۸ درصد کاهش داد (Bideshki & Arvin, 2010). احمد (Ahmed, 2006) نیز گزارش کرد که سیر توانایی تحمل تنش‌های کم‌آبی یا خشکی را نداشته و این تنش‌ها می‌توانند عملکرد سوخ را تا ۶۰ درصد کاهش دهند. همان‌طور که پلتر و همکاران (Pelter et al., 2004) نیز گزارش کرده‌اند، تنش آبی خاک در هر کدام از مراحل رشد موجب کاهش عملکرد پیاز (*Allium cepa* L.) زرد شد. دورانتی و باربیری (Duranti & Barbieri,

1- Least significant difference
2- dipheny-l- picrylhydrazyl
3- International Organization for Standardization

1986) گزارش کردند که عملکرد سوخ و ماندگاری آن‌ها با افزایش حجم آبیاری، افزایش می‌یابد. کاهش درصد ماده خشک در اثر تنش خشکی توسط فروزنده و همکاران (Forouzandeh et al., 2011) نیز گزارش شده است.

اثر تراکم کاشت نیز به طور معنی‌داری ($p\leq۰/۰۰۱$) بر عملکرد سیر اثرگذار بود (جدول ۱). بدین صورت که عملکرد سوخ در واحد سطح در تراکم کاشت ۵۰ بوته در مترمربع (بالاترین تراکم کاشت) به طور معنی‌داری بیشتر از دو تراکم کاشت دیگر بود (جدول ۴). تراکم کاشت اثر معنی‌داری بر درصد ماده خشک نداشت (جدول ۱). افزایش عملکرد سیر همراه با افزایش تراکم کاشت توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Sabbaghzadeh & Kashi, 2005). نتایج مشابهی نیز توسط قدیمی فیروزآبادی و همکاران (Ghadamifiruz Abadi et al., 2010) گزارش شده است که افزایش تراکم کاشت باعث افزایش عملکرد سیر تا ۲۳ درصد گردید. همچنین گزارش شده است که هر افزایشی در فواصل بین ردیفی به طور معنی‌داری عملکرد سوخ را کاهش داد (Adekpe et al., 2007). چندین محقق گزارش کردند که عملکرد بیشتری از گیاهان سیر کاشته شده با فواصل کمتر (تراکم بیشتر کاشت) به دست آمده است (Maksoud et al., 1983; Rahman & Talukdar, 1987; Babaji, 1996). همچنین گزارش شده است که با افزایش فاصله بین ردیف و بین بوته (کاهش تراکم کاشت)، عملکرد به طور معنی‌داری کاهش یافت (Darabi & Dehghani, 2010).

بین دو اکوتیپ نیز از لحاظ میزان عملکرد سوخ و درصد ماده خشک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱). کلیه اثرات متقابل فاکتورها بر عملکرد سوخ، معنی‌دار نشد. اثر متقابل تنش خشکی و اکوتیپ ($p\leq۰/۰۵$) بر درصد ماده خشک اثرگذار بود (جدول ۱). بیشترین و کمترین آن به ترتیب متعلق به اکوتیپ طبس با سطح آبیاری ۱۰۰٪ نیاز آبی و اکوتیپ طبس در تنش ۶۰٪ نیاز آبی بود (جدول ۶).

اجزای عملکرد

درک بهتر از تغییر عملکرد و عکس‌العمل آن نسبت به تغییرات عوامل زراعی مستلزم شناخت اجزای عملکرد، میزان تأثیرپذیری هر یک از آن‌ها از عوامل محیطی و زراعی و روابط بین اجزای عملکرد می‌باشد.

جدول۱- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش خشکی بر دو اکوتیپ سیر در سه تراکم کاشت

Table 1- Combined analysis of variance (mean of squares) of the effects of drought stress on two garlic ecotypes with three plant densities

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد سوخ Bulb yield	درصد ماده خشک Dry matter percentage	وزن تر سوخ Bulb fresh weight	وزن خشک سوخ Bulb dry weight	قطر سوخ Bulb diameter	طول سوخ Bulb length	وزن تر سیرچه Clove fresh weight	وزن خشک سیرچه Clove dry weight	قطر سیرچه Clove diameter	طول سیرچه Clove length	تعداد سیرچه‌ها در سوخ Number of cloves in bulb	آنتی اکسیدان غیر آنزیمی Non-enzymatic antioxidant
تکرار Replication	2	16983179.3^{ns}	1.525^{ns}	43.283^{ns}	9.376^{ns}	0.365*	0.018^{ns}	0.567^{ns}	0.10545^{ns}	0.0657^{ns}	0.0344^{ns}	1.281^{ns}	0.0125**
تنش خشکی Drought stress	2	59975155.1**	57.478**	460.608**	64.542**	3.592***	2.876**	6.128**	0.79303**	0.4845**	1.0907***	12.910*	0.0038**
خطای اصلی Error a	4	3318865.1	1.023	10.336	2.723	0.047	0.143	0.117	0.02372	0.0140	0.0121	0.879	0.00008
اکوتیپ Ecotype	1	227760.2^{ns}	5.149^{ns}	7.716^{ns}	0.089^{ns}	0.067^{ns}	1.006^{ns}	1.591***	0.08402**	0.0011^{ns}	0.8847***	10.667***	0.0199*
تراکم Density	2	47463762.3***	1.018^{ns}	5.435^{ns}	0.350^{ns}	0.048^{ns}	0.038^{ns}	0.090^{ns}	0.00026^{ns}	0.0127^{ns}	0.0222^{ns}	0.992^{ns}	0.005^{ns}
اکوتیپ×تراکم کاشت Ecotype×density	2	2078316.3^{ns}	1.341^{ns}	3.643^{ns}	0.323^{ns}	0.036^{ns}	0.001^{ns}	0.122^{ns}	0.01257^{ns}	0.0143^{ns}	0.0098^{ns}	1.309^{ns}	0.00067^{ns}
تنش خشکی × تراکم کاشت Drought stress×density	4	5367977.3^{ns}	2.683^{ns}	2.931^{ns}	0.362^{ns}	0.019^{ns}	0.030^{ns}	0.011^{ns}	0.00583^{ns}	0.0011^{ns}	0.0027^{ns}	1.203^{ns}	0.0142*
تنش خشکی×اکوتیپ Drought stress×Ecotype	2	964745.6^{ns}	9.297*	1.591^{ns}	0.093^{ns}	0.006^{ns}	0.031^{ns}	0.186^{ns}	0.01807^{ns}	0.0078^{ns}	0.0199^{ns}	0.607^{ns}	0.0162*
تنش خشکی×اکوتیپ × تراکم کاشت Drought ×ecotype×density	4	224711.9^{ns}	3.737^{ns}	6.799^{ns}	0.287^{ns}	0.032^{ns}	0.039^{ns}	0.019^{ns}	0.00473^{ns}	0.0008^{ns}	0.0046^{ns}	0.681^{ns}	0.0156*
خطای فرعی Error bc	30	3867917.9	1.731	5.272	0.869	0.038	0.040	0.061	0.00833	0.0057	0.0127	0.462	0.004

*، ** و ***: به ترتیب معنی‌دار در سطوح پنج درصد، یک درصد و یک دهم درصد و ns = غیر معنی‌دار

*, ** and ***: Are significant at 5, 1 and 0.1 % probability, respectively. and ns = non-significant

اجزای عملکرد تحت تأثیر ژنوتیپ و محیط کشت قرار می‌گیرند و به عنوان توجیهی برای افزایش یا کاهش عملکرد به کار می‌روند. در یک گیاه پیازی مانند سیر، که هر کدام از پیازهای اصلی از چند سیرچه تشکیل شده است، ابتدا باید عوامل مؤثر بر عملکرد را شناسایی نمود و سپس نحوه تأثیر هر یک از این عوامل را اندازه‌گیری کرد (Noorbakhshian et al., 2008).

وزن تر و وزن خشک سوخ، قطر سوخ و طول سوخ

تنش خشکی به طور معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) بر وزن تر و وزن خشک سوخ و طول سوخ ($p\leq$۰/۰۰۱) بر قطر سوخ اثرگذار بود (جدول ۱) و با اعمال تنش خشکی این خصوصیات به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۲). بیشترین وزن تر سوخ (۲۰/۴۲ گرم)، وزن خشک سوخ (۷/۵۱ گرم)، قطر سوخ (۳/۸۷ سانتی‌متر) و طول سوخ (۳/۱۱ سانتی‌متر) متعلق به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کم‌ترین وزن تر سوخ (۱۰/۴۸ گرم)، وزن خشک سوخ (۳/۸۰ گرم)، قطر سوخ (۲/۹۸ سانتی‌متر) و طول سوخ (۲/۳۲ سانتی‌متر) متعلق به تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی، بود (جدول ۲). اثر اکوتیپ و تراکم کاشت و کلیه اثرات متقابل فاکتورها بر این صفات غیر معنی‌دار بود (جدول ۱).

وزن تر و وزن خشک سیرچه، قطر سیرچه، طول سیرچه و تعداد سیرچه در سوخ

تنش خشکی به طور معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) بر وزن تر و وزن خشک سیرچه و قطر سیرچه ($p\leq$۰/۰۰۱) بر طول سیرچه و تعداد سیرچه در سوخ ($p\leq$۰/۰۵) اثرگذار بود (جدول ۱). اعمال تنش خشکی در سطح ۸۰ درصد نیاز آبی به طور معنی‌داری باعث کاهش وزن تر و وزن خشک سیرچه، قطر و طول سیرچه نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گردید که با تشدید تنش در سطح ۶۰ درصد نیاز آبی کاهش بیشتری نیز مشاهده شد. تعداد سیرچه در سوخ نیز در تنش خشکی ۶۰ درصد نیاز آبی به طور معنی‌داری نسبت به ۱۰۰ درصد نیاز آبی کاهش یافت (جدول ۲).

اکوتیپ نیز به طور معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۰۱)، بر وزن تر سیرچه، طول سیرچه و تعداد سیرچه در سوخ ($p\leq$۰/۰۱) بر وزن خشک سیرچه اثرگذار بود (جدول ۱). وزن تر و وزن خشک سیرچه و طول سیرچه، در اکوتیپ طرود به طور معنی‌داری نسبت به اکوتیپ طبس بالاتر بود.

جدول ۲- مقایسات میانگین اثر سه سطح تنش خشکی (با احتساب خطای استاندارد) بر عملکرد و درصد ماده خشک، اجزای عملکرد و آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی برگ

Table 2- Mean comparison of main effects for three drought stress levels (± standard error) on yield, dry matter percentage, yield components and non-enzymatic anti-oxidant

تنش خشکی (درصد نیاز آبی) Drought stress (ET꜀%)	عملکرد سوخ (کیلوگرم در هکتار) Bulb yield (kg.ha^{-1})	درصد ماده خشک Dry matter percentage (%)	وزن تر سوخ (گرم) Bulb fresh weight (g)	وزن خشک سوخ (گرم) Bulb dry weight (g)	قطر سوخ (سانتی‌متر) Bulb diameter (cm)	طول سوخ (سانتی‌متر) Bulb length (cm)	وزن تر سیرچه (گرم) Clove fresh weight (g)	وزن خشک سیرچه (گرم) Clove dry weight (g)	قطر سیرچه (سانتی‌متر) Clove diameter (cm)	طول سیرچه (سانتی‌متر) Clove length (cm)	تعداد سیرچه در سوخ Number of cloves in bulb	آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی (میلی گرم در گرم وزن تازه برگ) Non-enzymatic antioxidant (mg.g^{-1} Fw)
100	9608.14±674.3777^{a}	39.15±0.3117^{a}	20.419±0.7275^{a}	7.509±0.334^{a}	3.867±0.0573^{a}	3.106±0.0716^{a}	2.332±0.1040^{a}	0.831±0.0378^{a}	1.449±0.0194^{a}	2.262±0.0474^{a}	10.356±0.2257^{a}	0.644±0.0175^{a}
80	7817.32±597.2428^{b}	37.14±0.3644^{b}	13.808±0.6900^{b}	4.998±0.2438^{b}	3.366±0.0591^{b}	2.572±0.0445^{b}	1.518±0.0834^{b}	0.534±0.0287^{b}	1.237±0.0254^{b}	1.928±0.0423^{b}	9.622±0.2244^{a}	0.654±0.0199^{b}
60	5957.63±355.0631^{c}	35.58±0.3743^{c}	10.481±0.3895^{c}	3.799±0.1586^{b}	2.976±0.0380^{c}	2.323±0.0354^{b}	1.201±0.0412^{c}	0.425±0.0133^{b}	1.126±0.0201^{c}	1.781±0.0304^{c}	8.667±0.2058^{b}	0.673±0.0194^{a}

* میانگین‌های دارای حرف مشابه در هر ستون، طبق آزمون LSD در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level of probability based on LSD test.

مقادیر خطای استاندارد به صورت بازه‌ای برای میانگین‌ها محاسبه شده است.

Standard errors were estimated for mean values intervals.

جدول ۳- مقایسات میانگین اثر دو اکوتیپ (با احتساب خطای استاندارد) بر برخی از اجزای عملکرد و آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی

Table 3- Mean comparison of main effects for two ecotypes (± standard error) on some of yield components and Non-enzymatic anti-oxidant

اکوتیپ Ecotype	وزن تر سیرچه (گرم) Clove fresh weight (g)	وزن خشک سیرچه (گرم) Clove dry weight (g)	طول سیرچه (سانتی‌متر) Clove length (cm)	تعداد سیرچه در سوخ Number of cloves in bulb	آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی (میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ) Non-enzymatic antioxidant ($mg.g^{-1}$ Fw)
طبس Tabas	1.512±0.0870[b*]	0.557±0.0342[b]	1.862±0.0386[b]	9.993±0.2341[a]	0.638±0.0146[b]
طرود Toroud	1.855±0.1269[a]	0.6359±0.0450[a]	2.118±0.0502[a]	9.104±0.1715[b]	0.676±0.0154[a]

* میانگین‌های دارای حرف مشابه در هر ستون، طبق آزمون LSD در سطح پنج درصد، دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level of probability based on LSD test.

مقادیر خطای استاندارد به صورت بازه‌ای برای میانگین‌ها محاسبه شده است.

Standard errors were estimated for mean values intervals.

جدول ٤- مقایسات میانگین اثر سه تراکم کاشت (با احتساب خطای استاندارد) بر عملکرد سوخ

Table 4- Mean comparison (with standard error) of main effects for three plant densities (± standard error) on bulb yield

تراکم (بوته در متر مربع) Density (Plant. m^{-2})	عملکرد سوخ (کیلوگرم در هکتار) Bulb yield ($kg.ha^{-1}$)
30	7020.04±510.2201[b*]
40	6702.61±482.6657[b]
50	9660.44±725.2841[a]

* میانگین‌های دارای حرف مشابه در ستون، طبق آزمون LSD در سطح پنج درصد، دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level of probability based on LSD test.

مقادیر خطای استاندارد به صورت بازه‌ای برای میانگین‌ها محاسبه شده است.

Standard errors were estimated for mean values intervals.

اما در مقابل، تعداد سیرچه در سوخ در اکوتیپ طبس به طور معنی‌داری بیشتر از اکوتیپ طرود بود (جدول ۳). اثر تراکم کاشت و کلیه اثرات متقابل فاکتورها بر این صفات غیر معنی‌دار بود.

بیدشکی و آروین (Bideshki & Arvin, 2010)، نیز گزارش کرده‌اند که تنش خشکی قطر سوخ را ۲۵ درصد، طول سوخ را ۲۱ درصد، تعداد سیرچه‌ها در سوخ را شش درصد، طول سیرچه‌ها را ۱۰ درصد، قطر سیرچه‌ها را ۲۰ درصد و وزن سیرچه‌ها را ۲۴ درصد کاهش داد. ثابت شده که تنش خشکی یک عامل محدود کننده بسیار مهم در فازهای اولیه رشد و استقرار گیاه است که بر رشد طولی و توسعی تأثیر می‌گذارد (Shao et al., 2008; Bideshki & Arvin, 2010). یک عارضه جانبی شایع تنش آبی بر محصولات گیاهان، کاهش محصول زیست‌توده تازه و خشک است (Farooq et al., 2009).

همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد

بررسی ضرائب همبستگی ساده نشان داد که عملکرد سوخ در واحد سطح با قطر سیرچه، طول سیرچه، وزن سیرچه، قطر سوخ، طول سوخ، وزن سوخ، تعداد سیرچه در سوخ و درصد ماده خشک در واحد سطح همبستگی مثبت و معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۰۱) داشت (جدول ۷). بیشترین همبستگی به عملکرد سوخ در واحد سطح و وزن سوخ تعلق داشت (r=۰/۷۲)؛ به عبارت دیگر روند تغییرات وزن سوخ و عملکرد سوخ در واحد سطح بسیار با یکدیگر تشابه داشته و هر عاملی که باعث افزایش وزن سوخ شده است در افزایش عملکرد سوخ در واحد سطح نیز بیشترین تأثیر را داشته است. پس از آن نیز اثر قطر سوخ بر عملکرد سوخ در واحد سطح مشهود بوده است (r=۰/۷۱). در نتیجه می‌توان دریافت که صفاتی که با وزن سوخ و قطر سوخ همبستگی مثبت دارند نیز می‌توانند بر روند افزایش عملکرد سوخ در واحد سطح نیز اثر مثبت داشته باشند و هر عاملی که باعث کاهش وزن سوخ و یا قطر سوخ شود، می‌توانند مستقیماً باعث کاهش عملکرد سوخ در

واحد سطح گردند.

آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی برگ

تنش خشکی اثر معنی‌داری (p≤۰/۰۱) بـر مقـدار آنتـی‌اکسـیدان غیرآنزیمی برگ داشت (جدول ۱) و با اعمال و تشدید تنش خشـکی، مقدار آنتـی‌اکسـیدان غیـرآنزیمـی بـرگ افـزایش یافـت (جـدول ۲). آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی عمدتاً آسـکوربات، گلوتـاتیون، ترکیبـات فنولی، توکوفرول‌ها، کاروتنوئیدها و غیره هستند که قسمتی از سیستم دفاعی گیاه را تشکیل می‌دهند. آنتی‌اکسیدان‌ها نقش قابل تـوجهی را در مهار گونه‌های فعال اکسیژن ایفاء مـی‌کننـد (Liu et al., 2013). گیاهان در برابر تنش القا شده بر اثر تولید گونه‌های فعال اکسـیژن، از طریق آنتی‌اکسیدان‌ها، مقاومت نشان می‌دهند؛ کـه از غشـاء و دیگـر قسمت‌های حیاتی گیاه محافظت می‌نماید (Ali et al., 2008). فعال شدن سیستم آنتی‌اکسیدانی به گیاه جهت مقاومت در برابر آسیب‌های القا شده کمک می‌کند (Noctor et al., 2000). اثر اکوتیـپ نیـز بـر مقدار آنتی‌اکسیدان (p≤۰/۰۵) معنی‌دار بود (جدول ۱) و این مقـدار در اکوتیپ طرود به طور معنی‌داری از اکوتیپ طبس بیشتر بـود (جـدول ۳). اثر تراکم کاشت بر این مقدار تأثیر معنی‌داری نداشت (جـدول ۱). اثر متقابل تنش خشکی و اکوتیپ بر این ویژگـی (p≤۰/۰۵) معنـی‌دار بود (جدول ۱).

جدول ۵- مقایسات میانگین اثر متقابل سه سطح تنش خشکی و سه تراکم کاشت (با احتساب خطای استاندارد) بر آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی

Table 5- Mean comparison of interactive effect for three drought stress levels and three plant densities (± standard error) on non-enzymatic anti-oxidant

آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی (میلی گرم در گرم وزن تازه برگ) Non-enzymatic antioxidant ($mg.g^{-1}$ Fw)	تراکم کاشت (بوته در مترمربع) Density ($Plant.m^{-2}$)	تنش خشکی (درصد نیاز آبی) Drought stress (ET_C%)
$0.631 \pm 0.0288^{cd*}$	30	100
0.644 ± 0.0316^{abcd}	40	
0.658 ± 0.0347^{abcd}	50	
0.657 ± 0.0321^{abcd}	30	80
0.718 ± 0.0251^{a}	40	
0.586 ± 0.0242^{d}	50	
0.706 ± 0.0405^{ab}	30	60
0.643 ± 0.0311^{bcd}	40	
0.670 ± 0.0288^{abc}	50	

* میانگین‌های دارای حرف مشابه در هر ستون، طبق آزمون LSD در سطح پنج درصد، دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level of probability based on LSD test.

مقادیر خطای استاندارد به صورت بازه‌ای برای میانگین‌ها محاسبه شده است.

Standard errors were estimated for mean values intervals.

جدول ٦- مقایسات میانگین اثر متقابل سه سطح تنش خشکی و دو اکوتیپ (با احتساب خطای استاندارد) بر درصد ماده خشک و آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی

Table 6- Mean comparison of interactive effect for three drought stress levels and two ecotypes (± standard error) on dry matter percentage and non-enzymatic anti-oxidant

آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی (میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ) Non-enzymatic antioxidant ($mg.g^{-1}$ Fw)	درصد ماده خشک Dry matter percentage (%)	اکوتیپ Ecotype	تنش خشکی (درصد نیاز آبی) Drought stress (ET_C%)
0.647 ± 0.0285^{b}	$39.16 \pm 0.3227^{a*}$	طبس Tabas	100
0.642 ± 0.0220^{b}	39.14 ± 0.5556^{a}	طرود Toroud	
0.648 ± 0.0239^{b}	38.56 ± 0.3067^{a}	طبس Tabas	80
0.660 ± 0.0330^{b}	36.31 ± 0.3899^{b}	طرود Toroud	
0.620 ± 0.0251^{b}	35.36 ± 0.6444^{b}	طبس Tabas	60
0.727 ± 0.0159^{a}	35.79 ± 0.4107^{b}	طرود Toroud	

* میانگین‌های دارای حرف مشابه در هر ستون، طبق آزمون LSD در سطح پنج درصد، دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level of probability based on LSD test.

مقادیر خطای استاندارد به صورت بازه‌ای برای میانگین‌ها محاسبه شده است.

Standard errors were estimated for mean values intervals.

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد سیر

Table 7- Correlation coefficients between yield and yield components of garlic

ردیف No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	قطر سیرچه (سانتی‌متر) Clove diameter (cm)	1								
2	طول سیرچه (سانتی‌متر) Clove length (cm)	0.81***	1							
3	وزن سیرچه (گرم) Clove weight(g)	0.92***	0.95***	1						
4	قطر سوخ (سانتی‌متر) Bulb weight (g)	0.89***	0.76***	0.86***	1					
5	طول سوخ (سانتی‌متر) Bulb length (cm)	0.77***	0.74***	0.81***	0.88***	1				
6	وزن سوخ (گرم) Bulb weight (g)	0.90***	0.86***	0.93***	0.97***	0.89***	1			
7	تعداد سیرچه در سوخ Number of cloves in bulb	0.53***	0.34*	0.46***	0.78***	0.71***	0.68***	1		
8	درصد ماده خشک Dry matter percentage (%)	0.32*	0.06ns	0.18ns	0.42**	0.43**	0.36**	0.51***	1	
9	عملکرد سوخ (کیلوگرم در هکتار) Bulb yield ($kg.ha^{-1}$)	0.70***	0.62***	0.69***	0.71***	0.68***	0.72***	0.51***	0.44***	1

*، ** و ***: به ترتیب معنی‌دار در سطوح پنج درصد، یک درصد و یک دهم درصد و ns = غیر معنی‌دار

*, ** and ***: Are significant at 5, 1 and 0.1 % probability, respectively. and ns= non-significant

با اعمال و تشدید تنش خشکی در اکوتیپ طبس، مقدار آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی برگ، تغییر معنی‌داری نیافت اما در رابطه با اکوتیپ طرود با افزایش تنش در سطح ۶۰ درصد نیاز آبی، افزایش معنی‌داری در رابطه با مقدار آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی برگ مشاهده شد (جدول ۶). در نتیجه می‌توان این چنین گفت که اکوتیپ طرود در برابر سطوح شدیدتر تنش خشکی از طریق افزایش مقادیر آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی، واکنش مقاومتی نشان داده و راهکاری برای تحمل در برابر تنش ایجاد نموده است. اثر متقابل تنش خشکی و تراکم کاشت بر مقدار آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی برگ ($p\leq ۰/۰۵$) معنی‌دار بود (جدول ۱ و جدول ۵). همچنین اثر متقابل تنش خشکی و اکوتیپ و تراکم کاشت بر این مقدار ($p\leq ۰/۰۵$) معنی‌دار گشت (جدول ۱).

نتیجه‌گیری

در کلیه صفات مورد بررسی در اجزای عملکرد افزایش شدت، تنش خشکی باعث کاهش ویژگی‌های مورد بررسی سیر گردید، به همین علت تنش خشکی به طور معنی‌داری بر عملکرد نیز اثرگذار بوده است و باعث کاهش عملکرد گردیده است. فاکتور تراکم کاشت بر هیچکدام از اجزای عملکرد اثر معنی‌داری نداشته است اما عملکرد سوخ در بالاترین تراکم کاشت به علت تعداد بیشتر سیرهای کشت شده در واحد سطح (مترمربع) به طور معنی‌داری بالاتر بوده است. به نظر می‌رسد که افزایش تراکم بوته در رابطه با گیاه سیر، اثر مثبت به سزایی بر عملکرد کل می‌گذارد در صورتی که اثر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد و خصوصیات تک بوته نداشته است. باید به این نکته توجه داشت که اگرچه وزن تر و وزن خشک و طول سیرچه در اکوتیپ

طرود بیشتر از اکوتیپ طبس بوده اما از طرفی تعداد سیرچه در سوخ در اکوتیپ طبس نسبت به اکوتیپ طرود بیشتر بوده است و به همین دلیل در عملکرد کلی این دو اکوتیپ تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردیده است. تنش خشکی باعث افزایش مقدار آنتی اکسیدان غیرآنزیمی برگ‌های سیر گردید و می‌توان چنین احتمال داد که افزایش این مقدار در گیاه باعث ایجاد تحمل بهتر گیاه در مواجه با تنش خشکی شده است و از آسیب‌های بیشتر تنش بر روی گیاه کاسته است. با توجه به افزایش مقدار آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی در اکوتیپ طرود در مواجه با تنش، می‌توان چنین احتمال داد این اکوتیپ در رابطه با ایجاد مکانیسم تحمل در برابر تنش، نسبت به اکوتیپ طبس موفق‌تر بوده است. در نهایت، با توجه به کاهش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد تحت تأثیر تنش خشکی، می‌توان دریافت که برای حصول عملکردی مناسب در رابطه با گیاه سیر، باید از مواجه این گیاه با تنش خشکی اجتناب نمود و تراکم ۵۰ بوته در مترمربع با توجه به پاسخ مناسب سیر و کسب عملکرد بالاتر نسبت به دو تراکم کاشت دیگر، به عنوان تراکم مطلوب شناخته شد.

منابع

1- Adekpe, D.I., Shebayan, J.A.Y., Chiezey, U.F., and Miko, S. 2007. Yield responses of garlic (*Allium sativum* L.) to oxadiazon, date of planting and intra-row spacing under irrigation at Kadawa, Nigeria. Crop Protection 26: 1785-1789.

2- Ahmed, H.G. 2006. Effects of irrigation interval, weeding regimes and clove size on the growth and yield of garlic (*Allium sativum* L.) in Sokoto. Nigeria. PhD. Thesis submitted to the Department of Crop Science, Usmanu Danfodiyo University, Sokoto.

3- Al-Zahim, M.A., Ford-Lloyd, B.V., and Newbury, H. 1999. Detection of some clonal variation in Garlic (*Allium sativum* L.) using RAPD and cytological analysis. Plant Cell Reports 18(6): 473-477.

4- Ali, M.B., Yu, K.W., Hahn, E.J., and Paek, K.Y. 2005. Differential responses of anti-oxidants enzymes, lipoxygenase activity, ascorbate content and the production of saponins in tissue cultured root of mountain *Panax ginseng* C.A. Mayer and *Panax quinquefolium* L. in bioreactor subjected to methyl jasmonate stress. Plant Science 169: 83-92.

5- Ali, B., Hasan, S.A., Hayat, S., Hayat, Q., Yadav, S., Fariduddin, Q., and Ahmad, A. 2008. A role for brassinosteroids in the amelioration of aluminium stress through antioxidantsystem in mung bean (*Vignaradiata* L. Wilczek). Environmental and Experimental Botany 62: 153-159.

6- Allen, R.G., Periera, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome.

7- Anon. 1983. Garlic guide to cold storage. International standard. International Organization for Standardization. ISO 6663.

8- Babaji, B.A. 1996. Effect of nitrogen fertilization and intra-row spacing on growth and yield of garlic (*Allium sativum* L). Unpublished MSc Thesis, Postgraduate school, Ahmadu Bello University, Zaria 101 pp.

9- Bideshki, A., and Arvin, M.J. 2010. Effect of salicylic acid (SA) and drought stress on growth, bulb yield and allicin content of garlic (*Allium sativum*) in field. Plant Ecophysiology 2: 73-79. (In Persian)

10- Darabi, A., and Dehghani, A. 2010. Effect of planting date and planting density on yield, yield components and rust disease severity in ramhormoz selected garlic in Behbahan. Seed and Plant Production Journal 26(1): 43-55. (In Persian with English Summary)

11- Duranti, A., and Barbieri, G. 1986. The response of garlic (*Allium sativum* L.) for storage to variations in irrigation regim and in planting density. Rivista Della Ortoflorofrutticoltura Italiana 70(4): 285-298.

12- Fabeiro Cortes, C., Martin de Santa Olalla, and Lopez Urrea, R. 2003. Production of garlic (*Allium sativum* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. Agricultural Water Management 59: 155-167.

13- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development 29: 185-212.

14- Forouzandeh, M., SiroosMehr, A.R., Ghanbari, A., Asgharipour, M.R., and Khamri, A. 2011. The effect of drought stress levels and municipal solid waste compost on the quantitative and qualitative characteristics of medicinal Peppermint (*Mentha piperita* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 9(4): 670-677. (In Persian with English Summary)

15- Ghadami FiruzAbadi, A., Nasseri, A., and Nosrati, A.E. 2010. Water use efficiency and yield of garlic responses to the irrigation system, intra-row spacing and nitrogen fertilization. Journal of Food, Agriculture and Environment 8(2): 344-346.
16- Hanson, B., May, D., Voss, R., Cantwell, M., and Rice, R. 2003. Response of garlic to irrigation water. Agricultural Water Management Journal 58: 29-43.
17- Jaleel, C.A., Gopi, R., Sankar, B., Gomathinayagam, M., and Panneerselvam, R. 2008. Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. Comptes Rendus Biologies 331: 42-47.
18- Karaye, A.K., and Yakubu, A.I. 2007. Checklist of weeds in irrigated garlic (*Allium sativum* L.) and onion (*Allium cepa* L.) in Sokoto river Valley. Journal of Weed Science 20: 53-60.
19- Khajehpour, M.R. 2009. Principles and Fundamentals of Crop Production. Third edition, Jihad-e- Daneshgahi. Press of Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran 631 pp. (In Persian)
20- Koocheki, A., Tabrizi, L., and Nassiri Mahallati, M. 2009. Organic cultivation of *Plantago ovata* and *P. psyllium* in response to water stress. Iranian Journal of Field Crops Research 2(1): 67-79. (In Persian with English Summary)
21- Kuk, Y., Shin, J., Burgo, S., Hwang, R., Jung, O., and Guh, J.O. 2003. Antioxidative enzymes offer protection from chilling damage plants. Crop Science 43: 2109-2117.
22- Liu, J., Xia, Z., Wang, M., Zhang, X., Yang, T., and Wu, J. 2013. Overexpression of a maize E_3 ubiquitin ligase gene enhances drought tolerance through regulating stomatal aperture and antioxidant system in transgenic tobacco. Plant Physiology and Biochemistry 73: 114-120.
23- Maksoud, M.A., Beheidi, M.A., Sherifa, F., Ahmed, E., and El-Sayed, T. 1983. Evaluation of garlic cultivars and date of planting on the performance of two garlic cultivars. Egyptian Journal of Horticulture 10(2): 121-128.
24- Molyneux, P. 2004. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. The Journal of Science and Technology 26(2): 211-219.
25- Noctor, G., Veljovic-Jovanovic, S., and Foyer, C.H. 2000. Peroxide processing in photosynthesis: antioxidant coupling and redox signaling. Philosophical transactions of the royal society of London, Series B, 355: 1465-1475.
26- Noorbakhshian, S.J., Mousavi, S.A., and Bagheri, H.R. 2008. Evaluation of agronomic traits and path coefficient analysis of yield for garlic cultivars. Pajouhesh and Sazandegi (77): 10-18. (In Persian with English Summary)
27- Pedraza-Chaverrı´, J., Medina-Campos, O.N., A´vila-Lombardo, R., Zu´n˜iga-Bustos, A.B., and Orozco-Ibarra, M. 2006. Reactive oxygen species scavenging capacity of different cooked garlic preparations. Life Sciences 78: 761-770.
28- Pelter, G.Q., Mittelstadt, R., Lieb, B.G., and Redulla, C.A. 2004. Effects of water stress at specific growth stages on onion bulb yield and quality. Agricultural Water Management 68: 107-115.
29- Rahman, A.K., and Talukdar, M.R. 1987. Influence of date of planting and plant spacing on the growth and yield of garlic. Horticultural Abstracts 57(10): 810.
30- Rees, L.P., Minney, S.F., Plummer, N.T., Slater, J.H., and Skyrme, D.A. 1993. A quantitative assessment of the antimicrobial activity of garlic (*Allium sativum*). World Journal of Microbiology and Biotechnology 9: 303-307.
31- Sabbaghzadeh, F., and Kashi, A.K. 2005. The comparison of two populations of garlic (*Allium Sativum* L.) with different planting densities. Proceedings of the 4th Iranian Horticultural Sciences Congress. Mashhad, Iran p. 317-318. (In Persian)
32- Sapeta, H., Costa, M., Lourenco, T., Maroco, J., Linde, P., and Margarida Oliveira, M. 2012. Drought stress response in Jatrophacurcas: Growth and physiology. Environmental and Experimental Botany 85: 76-84.
33- Shao, H.B., Chu, L.Y., Shao, M.A., Abdul Jaleel, C., and Hong-Mei, M. 2008. Higher plant antioxidants and redox signalling under environmental stresses. Comptes Rendus Biologies 331: 433-441.
34- Sharif Rohani, M., Kafi; M., and Nezami, A. 2014. The Effect of irrigation regime and sowing depth on yield and yield components of Persian shallot (*Allium altissimum* Regel.) in Mashhad climatic conditions. Journal of Agroecology 6(2): 219-228. (In Persian with English Summary)
35- Sterling, S.J., and Eagling, R.D. 2001. Agronomic and allicin yield of Australian grown garlic. Acta Horticulturae. 555: 63-73.
36- Zhu, Q.Y., Hackman, R.M., Ensunsa, J.L., Holt, R.R., and Keen, C.L. 2002. Antioxidative activities of oolong tea, Journal of Agricultural and Food Chemistry 50: 6929-6934.

Journal of Agroecology
Vol. 8, No. 1, Spring 2016, p. 95-106

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵، ص. ۱۰۶-۹۵

The Effects of Drought Stress on Yield, Yield Components and Anti-oxidant of Two Garlic (*Allium sativum* L.) Ecotypes with Different Planting Densities

S. Akbari[1*], M. Kafi[2] and S. Rezvan Beidokhti[3]
Submitted: 23-08-2015
Accepted: 06-01-2016

Akbari, S., Kafi, M., and Rezvan Beidokhti, S. 2016. The effect of drought stress on Yield, yield components and anti-oxidant of two garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes with different planting densities, Journal of Agroecology 8(1): 95-106.

Introduction

Drought stress reduces plant growth by affecting various physiological and biochemical processes, such as photosynthesis, respiration, translocation, ion uptake, carbohydrates, nutrient metabolism and growth promoters.

Garlic (*Allium sativum* L.) is an annual bulb crop that has been cultivated since ancient times and was used as a spice and condiment for many centuries. Garlic is an important plant because of its pharmaceutical properties. The optimum yield of this bulb crop depends on well-managed irrigation, fertilization and cultivation practices. In the final and middle stages of growth, garlic is sensitive to water stress and low irrigation is unsuitable in these stages.

This experiment was established to study the influence of drought stress and planting density on yield and its components and the non-enzymatic anti-oxidant content of two different garlic ecotypes.

Materials and methods

This study was conducted in 2011-2012 in a farmland at the south east of Semnan city. The experimental layout was a split-plot factorial with a randomized complete block design with three replications.

The treatments were comprised of three factors: irrigation rates (60%, 80% and 100% of estimated crop evapotranspiration (ET_C)) as the main plot and the factorial combination of three levels of planting density (30, 40 and 50 plants.m^{-2}) and two ecotypes (*Tabas* and *Toroud*) as the sub-plots.

To estimate the crop water requirement, different meteorological parameters were collected from Semnan weather station and were used based on FAO-56 water irrigation calculation instructions.

After harvesting, ten garlic plants were sampled randomly in each plot and bulb yield components were measured. To calculate the leaves anti-oxidant content, DPPH method was used. The statistical significances of mean values were assessed by analysis of variance and LSD tests at $p\leq0.05$. All calculations were performed using SAS and Mstat-C softwares.

Results and discussion

Drought stress decreased bulb yield and dry matter percentage significantly.

Planting density had significant effects on bulb yield and the yield of planting density of 50 plants m^{-2} were significantly higher than two other densities.

The interaction of drought stress and ecotype factors affected the dry matter percentage.

Drought stress decreased fresh and dry weight, length of bulbs and the bulb diameter significantly.

Drought stress decreased fresh and dry weight, diameter, length and number of cloves significantly as well.

Drought stress is an important limiting factor at the initial phase of plant growth and establishment. It affects both elongation and expansion growth (Shao et al., 2008).

Fresh and dry weight and length of cloves were significantly higher in *Toroud* ecotype. In contrast, the number of cloves in the bulb was significantly higher in *Tabas*.

Studying the correlation coefficients showed that the bulb yield per unit area was significantly and positively correlated with diameter, weight and length of cloves and bulbs and also the dry matter percentage at $P\leq0.001$. The maximum correlation belonged to yield at the unit area and weight of the bulb ($r=0.72$). In other words, any

1, 2 and 3- MSc Student in Agronomy, Azad Islamic University, Damghan, Professor, Agronomy Faculty, Ferdowsi University, Mashhad and Assistant Professor Azad Islamic University, Damghan, Iran, respectively.
(*-Corresponging author Email: Shivaa.akbari@yahoo.com)

bulb-weight-increasing factor did have the highest effect on increasing the yield per unit area as well.

Drought stress, increased leaf non-enzymatic anti-oxidant significantly.

Anti-oxidants plays significant roles in ROS scavenging and influences cellular ROS balance. Activation of antioxidant system helps the plants to tolerate stress form induced damage.

The effect of ecotype was significant on anti-oxidant content and the value were significantly higher in *Toroud* ecotype. *Toroud* ecotype showed resisting reactions against higher levels of drought stress by increasing the non-enzymatic anti-oxidant content and created tolerating mechanisms versus stress.

Conclusion

Drought stress reduced yield and yield parameters and increased non-enzymatic anti-oxidant content of garlic. The increment of anti-oxidant content showed the tolerance of garlic to drought stress. The maximum bulb yield was obtained at the highest planting density.

Keywords: Bulb, Clove, Dry weight, Non-enzymatic anti-oxidant.

Reference

Liu, J., Xia, Z., Wang, M., Zhang, X., Yang, T. and Wu, J. 2013. Overexpression of a maize E3 ubiquitin ligase gene enhances drought tolerance through regulating stomatal aperture and antioxidant system in transgenic tobacco. Plant Physiology and Biochemistry 73:114-120.

Noctor, G., Veljovic-Jovanovic, S., Foyer, C.H., 2000. Peroxide processing in photosynthesis: antioxidant coupling and redox signaling. Philosophical transactions of the Royal Society of London, Series B, 355:1465-1475.

Shao, H.B., Chu, L.Y., Shao, M.A., Abdul Jaleel, C. and Hong-Mei, M. 2008. Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses. Comptes Rendus Biologies 331:433-441.