

تأثیر تنش کم آبی بر برخی شاخص‌های فیزیولوژی و کارایی مصرف آب در توده‌های خربزه ایرانی

هادی لطفی^۱، طاهر برزگر^{۲*} و فاطمه نکونام^۲

۱ و ۲. دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۱۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۷/۲۶)

چکیده

به منظور ارزیابی تحمل به تنش کم آبی برخی از توده‌های خربزه ایرانی، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۶۶ و ۳۳ درصد نیاز آبی گیاه) و هفت توده خربزه شامل کالی، اورشنگ، موری، موزی، شیرازی، ازمیر و ایوانکی بود. بر پایه نتایج به دست آمده در این پژوهش تنش کم آبی به طور معنی داری میزان پرولین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را افزایش داده و محتوای نسبی آب برگ، عملکرد و میزان ویتامین ث را کاهش داد. بالاترین میزان کارایی مصرف آب در آبیاری ۶۶ درصد مشاهده شد. بین توده‌ها نیز از نظر شاخص‌های فیزیولوژیکی تفاوت معنی داری مشاهده شد. بیشترین میزان پرولین، ویتامین ث و درصد محتوای نسبی آب برگ در توده‌های کالی و موری، بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در توده ازمیر و بیشترین کارایی مصرف آب و عملکرد در توده موزی به دست آمد. با توجه به نتایج این پژوهش، توده ایوانکی با بیشترین کاهش در عملکرد و توده موزی با کمترین کاهش در عملکرد در اثر افزایش تنش کم آبی به ترتیب حساس‌ترین و متحمل‌ترین توده نسبت به تنش کم آبی بودند.

واژه‌های کلیدی: پاداکسند، پرولین، عملکرد، ویتامین ث.

Effect of water deficit stress on some physiological traits and water use efficiency of some Iranian melon landraces

Hadi Lotfi¹, Taher Barzegar^{2*} and Fatemeh Nekoonam²

1, 2. M.Sc. Student and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

(Received: Jun. 7, 2015 - Accepted: Oct. 18, 2015)

ABSTRACT

In order to evaluate some Iranian melon landraces for water stress tolerance, an experiment was set out in a split plot design based on RCBD with three replicates in research field of University of Zanjan. Treatments were consisted of three irrigation levels (100, 66 and 33% of ETC) as main plots and 7 landraces of Iranian melon as subplots ('Kali', 'Orshang', 'Mouri', 'Mozi', 'Shirazi', 'Ezmir' and 'Eyvanekey'). The results indicated that water deficit stress significantly increased proline content, peroxidase and catalase activity and reduced leaf relative water content (RWC), yield and vitamin C content. The highest water use efficiency (WUE) was observed in 66% water stress. The landraces had significant difference for physiological traits. The highest values of RWC, proline and vitamin C content were obtained in landraces of 'Kali' and 'Mouri'. Also the highest POX activity, WUE and yield were obtained in landraces of 'Ezmir' and 'Mozi', respectively. According to the results 'Eyvanekey' and 'Mozi' with highest and lowest yield reduction under water deficit stress was tolerant and sensitive landraces respectively.

Keywords: Antioxidant, proline, vitamin C, yield.

مقدمه

خریزه به‌عنوان یک محصول باغبانی مهم به‌صورت تجاری در مناطق معتدله، نیمه گرمسیری و گرمسیری در سراسر جهان کشت و تولید می‌شود (Lester, 1996). ایران یکی از تولیدکنندگان اصلی خریزه است که قابلیت و ظرفیت زیادی برای تولید و صادرات میوه‌های با کیفیت بالا را دارد. تولید جهانی این محصول ۲۷/۳ میلیون تن است که کشورهای چین، ترکیه، ایران، مصر و ایالات‌متحده، ۶۸ درصد تولید آن را به خود اختصاص داده‌اند (FAO, 2013).

تنش کم‌آبی یکی از گسترده‌ترین تنش‌های محیطی است که اثرگذاری‌های سوء ناشی از آن بر رشد و نمو و عملکرد، بستگی به ژنوتیپ، مرحله‌ی نمو گیاه، هنگام رخداد تنش و شدت آن دارد (Saruhan, 2012). اگرچه هر عامل تنش روی گیاه اثر خاصی می‌گذارد ولی به‌طور کلی هر شرایط تنش‌زا می‌تواند موجب افزایش گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) شود. گونه‌های فعال اکسیژن به‌عنوان عامل زیانبار سامانه‌های زیستی (بیولوژی) شناخته شده‌اند، زیرا باعث اکسایش (اکسیداسیون) لیپیدها، پروتئین‌ها، دئوکسی‌ریبونوکلئیک‌اسیدها و کربوهیدرات‌ها می‌شوند. درنهایت سطوح سمی ROS باعث ایجاد یک واکنش زنجیره‌ای اکسایش یافته شده که در نتیجه آن حالت‌های ناسالم و کشنده به وجود می‌آید. افزون بر تولید تنش اکسایشی (اکسیداتیو)، یکی از پیامدهای گریزناپذیر ROS اختلال در فرآیندهای فیزیولوژی طبیعی مانند گلیکولیز و نورساخت (فتوسنتز) است (Mittler et al., 2004). سامانه‌های پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی) گیاه اعم از آنزیمی و غیر آنزیمی نقش مهمی در تعادل و جلوگیری از آسیب اکسایشی ایفا می‌کنند (Baysal Furtana & Tıprıdamaz, 2010).

متابولیت‌های پاداکسندگی غیرآنزیمی شامل آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها، کارتنوئیدها، a-توکوفرول و گلوتاتیون (Halliwell, 1987) و پاداکسنده (آنتی‌اکسیدان)‌های آنزیمی شامل سوپراکسید دیسموتازها، آسکوربات پراکسیدازها، کاتالازها، پراکسیدازها و گلوتاتیون ردوکتازها هستند (Bowler

1992). افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز در شرایط تنش خشکی در گیاه نخود گزارش شده است (Mafakheri et al., 2011). افزون بر سامانه آنزیمی مهارکننده رادیکال‌های آزاد، تجمع پرولین یکی از سازوکارهای مهم سازگاری گیاهان است که برای رویارویی با تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش کم‌آبی در گیاه ساخت (سنتز) می‌شود. پرولین ارتباط نزدیکی با تنش‌های خشکی گیاه دارد که به‌عنوان پرولین آزاد می‌تواند به‌طور شایان‌توجهی در محصولات کشاورزی و دیگر گیاهان تجمع یابد (Lee et al., 2009). پرولین به‌عنوان محافظ اسمزی در گیاهان تحت تنش، در غلظت‌های بالا در یاخته‌های گیاه بدون ایجاد اختلال در ساختار یاخته‌ای یا سوخت‌وساز (متابولیسم)، تجمع می‌یابد. بنابراین تجمع پرولین نقش مهمی در تنظیم اسمزی، سم‌زدایی ROS و یکپارچگی غشای گیاهان تحت شرایط تنش ایفا می‌کند (Demiralay et al., 2013). در گیاهان خریزه تحت تنش کم‌آبی آنزیم ساخت پرولین به‌سرعت افزایش می‌یابد و تجمع پرولین در برگ‌ها، تعادل آبی گیاه را با تعدیل پتانسیل اسمزی حفظ می‌کند (Foyer et al., 1998). یاخته‌های گوجه‌فرنگی در شرایط تنش، سیصد بار بیشتر از یاخته‌های برگ گیاهان عادی، پرولین ذخیره کردند (Sharkey & Seemann, 2005). یکی از مهم‌ترین تغییرپذیری‌های ناشی از تنش خشکی، کاهش محتوای نسبی آب برگ است که محتوای نسبی آب برگ بالا توانمندی گیاه در رویارویی با تنش خشکی را نشان می‌دهد و تحت تأثیر تنظیم اسمزی، جذب آب و میزان تعرق قرار داشته و وراثت‌پذیری بالایی را در شرایط تنش خشکی نشان داده است (Hakimi et al., 1998). (Munne & Algre, 1999) با بررسی تأثیر تنش خشکی بر گیاه بادرنجبویه نتیجه گرفتند که تنش خشکی موجب کاهش ۳۴ درصدی محتوای نسبی آب برگ شد. کاهش حجم آبیاری همچنین منجر به کاهش عملکرد در خریزه شد (Fabeiro et al., 2002).

ویتامین ث فراوان‌ترین و قوی‌ترین پاداکسنده محلول در آب است که عمل جلوگیری یا به‌کمینه رساندن آن، آسیب ناشی از ROS را در گیاهان انجام

کرت‌های اصلی و تیمارهای مربوط به توده در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. پس از آماده شدن زمین در تاریخ ۱۵ خرداد، بذره‌های هفت توده خربزه ایرانی (کالی، اورشنگ، موری، موزی، شیرازی، شیردار، از میر و ایوانکی) کشت شد (جدول ۲ و شکل ۱). پس از سبز شدن بذرها، عمل تنک کردن بوته‌ها و خاک‌دهی پای بوته‌ها انجام شد. در ادامه رشد، ساقه اصلی بوته پس از ظهور دو ساقه فرعی قطع شد (هرس) پس از استقرار اولیه گیاهان (۴۵ روز پس از کاشت)، تیمارهای آبیاری در سه سطح (۱۰۰، ۶۶ و ۳۳ درصد نیاز آبی گیاه) اعمال شد. نیاز آبی گیاه برای تیمار شاهد با استفاده از میانگین بلندمدت داده‌های روزانه فراسنجه‌های هواشناسی ثبت شده در ایستگاه هواشناسی زنجان و رابطه استاندارد فائو-پنمن-مانتیث محاسبه شد (Vaziri et al., 2008). برای محاسبه نیاز آبی به ازای هر بوته، مجموع آب داده شده در طول دوره رشد به هر بوته محاسبه شد که در این صورت میزان نیاز آبی هر بوته برای تیمار شاهد (۲۵۰/۷ لیتر) برآورد شد. نیاز آبی دیگر تیمارها بر پایه درصد معین شده نسبت به تیمار شاهد به میزان ۶۶ و ۳۳ درصد محاسبه شد.

فعالیت آنزیم‌ها به روش طیف‌سنج نوری (اسپکتروفتومتر JENWAY مدل UV-6505) در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجه سلسیوس) اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم‌های کاتالاز به روش Cakmak & Horst (1991) بر پایه میزان تجزیه شدن H_2O_2 در طول موج ۲۴۰ نانومتر برحسب $(\mu mol H_2O_2.g^{-1} FW.min^{-1})$ تعیین شد و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز به روش Chance & Maehly (1955) بر پایه میزان اکسید شدن گایاکول در طول موج ۴۷۰ نانومتر برحسب $(FW.min^{-1} units.g^{-1})$ تعیین شد. برای اندازه‌گیری پرولین برگ، ۰/۵ گرم از نمونه‌های برگ تر در ۱۰ میلی‌متر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد با هاون، همگن (هموژن) شده و عصاره به دست آمده صاف شد. ۲ میلی‌لیتر اسید استیک و ۲ میلی‌لیتر ناین‌هیدرین به ۲ میلی‌متر از این عصاره صاف شده، اضافه شد. محلول به دست آمده به مدت یک ساعت در حمام آب و در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده

می‌دهد و در همه بافت‌های گیاهی وجود دارد ولی میزان آن به‌طور معمول در ژاتاک (مریستم)‌ها و یاخته‌های نورساختی بالا است (Gill & Tuteja, 2010). بالاترین غلظت آن در برگ‌های بالغ با کلروپلاست تکامل‌یافته و سبزینه (کلروفیل) بالاتر گزارش شده است. تنش اکسایشی محتوای اسیدآسکوربیک را در گیاهان تحت تأثیر قرار می‌دهد (Alscher & Cumming, 1990). به دلیل کمبود منابع آب در کشور، توجه به بالا بردن تولید به ازای مصرف هر واحد آب آبیاری (کارایی مصرف آب) از جمله هدف‌های مهم در کشاورزی است. کارایی مصرف آب به عامل‌های چندی از جمله گونه و رقم، ویژگی‌های گیاه، مدیریت آبیاری و حاصلخیزی خاک بستگی دارد (Abkhezr & Ghahreman, 2003). Badii & Kashi (2012) در بررسی تأثیر دوره‌های متفاوت آبیاری (۶، ۹ و ۱۲ روزه) روی خربزه گزارش کردند که با افزایش دور آبیاری کارایی مصرف آب نیز افزایش یافت.

بررسی پاسخ‌های بیوشیمیایی به تنش، در مورد خربزه‌های ایران محدود است و سازوکارهای دفاع پاداکسندگی تحت تنش خشکی کمتر بررسی شده است. با توجه به اینکه توده‌های زیادی از خربزه در ایران وجود دارد و اطلاعاتی در مورد پاسخ‌های فیزیولوژی این توده‌ها در رویارویی با تنش کم‌آبی وجود ندارد. این پژوهش باهدف تعیین تأثیر تنش کم-آبی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی مانند تجمع پرولین و فعالیت آنزیم‌های پاداکسندگی در خربزه انجام شده است که ارزیابی این پاسخ‌ها به شناسایی سازوکارهای تحمل به خشکی و بررسی بیشتر در سازوکارهای مولکولی تحمل به خشکی ناشی از تنش اکسایشی کمک خواهد کرد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۳ انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار (شش بوته در هر واحد آزمایشی)، اجرا شد. ویژگی‌های خاک محل آزمایش در جدول (۱) آمده است. تیمارهای آبیاری در

معرف و ۲۰ سی سی آب مقطر اضافه شد. آنگاه حجم مصرفی محلول رنگی ید، یادداشت شده و در رابطه (۲) قرار گرفت و به صورت میلی گرم ویتامین ث در ۱۰۰ سی سی نمونه بیان شد (Mostufi, 2005). به منظور ارزیابی عملکرد، همه میوه‌ها پس از برداشت با ترازوی دیجیتال وزن شده و عملکرد محاسبه شد. کارایی مصرف آب، با تقسیم کردن عملکرد به آب مصرفی در دوره فصل رشد به دست آمد.

(۱) = محتوای نسبی آب برگ RWC

$$100 \times \frac{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}}{\text{وزن خشک} - \text{وزن تورژسانس}}$$

(۲) = میلی گرم ویتامین ث در ۱۰۰ سی سی نمونه

$$100 \times \text{حجم نمونه} \times 0.88 \times \text{حجم مصرفی محلول رنگی ید} - \text{یدور پتاسیم}$$

(۳) = میلی گرم پرولین بر گرم وزن تر

$$\frac{\text{میلی لیتر تولون} \times \text{میلی گرم پرولین بر میلی لیتر نمونه}}{5} = \text{میلی گرم بر میلی مول } 115/13$$

شد. پس از آن برای پایان یافتن واکنش، لوله‌های آزمایش درون یک بستر یخی قرار گرفته و ۴ میلی لیتر تولون به هر لوله اضافه شد. غلظت پرولین نمونه‌ها در تولون با استفاده از طیف‌سنج نوری در طول موج ۵۲۰ نانومتر و در نهایت با توجه به منحنی استاندارد به دست آمده از غلظت‌های مختلف (۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میکرومولار) پرولین، بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (Bates et al., 1973). برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، در آغاز وزن تر برگ‌ها اندازه‌گیری و آنگاه به منظور تعیین وزن در حالت اشباع، به مدت بیست ساعت در شدت نور کم و در دمای اتاق درون آب مقطر قرار داده شدند. در پایان به منظور تعیین وزن خشک، برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. محتوای نسبی آب برگ‌ها با استفاده از رابطه زیر به دست آمد (رابطه ۱). میزان ویتامین ث به روش عیارسنجی (تیتراسیون) با محلول رنگی ید ۰/۰۱ نرمال تا تغییر رنگ محلول نمونه به رنگ آبی کدر تعیین شد. برای تهیه محلول نمونه در آغاز به ۱۰ سی سی آب میوه، ۲ سی سی نشاسته ۱ درصد به عنوان

جدول ۱. ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک ایستگاه تحقیقاتی محل اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of the soil used in the experiment

Organic matter (%)	Soil texture	Calcium carbonate (%)	EC (ds/m)	pH	Bulk density (g/cm ³)	Gravel (%)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)
1.11	Sandy clay loam	14.09	3.13	7.45	1.45	17.85	17	27	56

جدول ۲. نام توده‌های خربزه و محل گردآوری آن‌ها

Table 2. Melon landraces names and their collecting locations

Flesh color	Collecting location in Iran	Local Name of landrace	Flesh color	Collecting location in Iran	Local Name of landrace
Cream	Zanjan	Shirazi-E	Yellow	Torbat-e Jam	Kali-A
Greenish Cream	Shabestar	Ezmir-F	Yellow	Torbat-e Jam	Orshang-B
Orange	Garmsar	Eyvanaki-G	Orangish Yellow	Torbat-e Jam	Mouri-C
			Yellowish Cream	Shabestar	Mozi-D



شکل ۱. میوه توده‌های خربزه مورد استفاده در آزمایش

Figure 1. Fruit of melon landraces used in the experiment

نتایج و بحث

آنزیم کاتالاز و پراکسیداز

نتایج نشان داد، توده‌ها از لحاظ فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز با همدیگر تفاوت معنی‌داری داشته ولی در فعالیت آنزیم‌های کاتالاز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به‌طوری‌که تودهٔ زمیر با $(0.84 \text{ units.g}^{-1} \text{ FW.min}^{-1})$ بیشترین و توده‌های اورشنگ و شیرازی به ترتیب با $(0.41 \text{ units.g}^{-1} \text{ FW.min}^{-1})$ و (0.44) کمترین میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز را داشتند (جدول ۴). کاهش میزان آب آبیاری بر میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز اثر معنی‌دار داشت به‌گونه‌ای که کاهش آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۳۳ درصد نیاز آبی گیاه باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز از $(5.33 \mu\text{mol H}_2\text{O}_2.\text{g}^{-1} \text{ FW.min}^{-1})$ به (6.85) و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز از $(0.42 \text{ units.g}^{-1} \text{ FW.min}^{-1})$ به (0.71) شد (جدول ۳). تولید گونه‌های فعال اکسیژن یکی از مهم‌ترین عامل‌های آسیب‌رسان به نورساختی در شرایط تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی است (Kim & Lee, 2005). گیاهان برای کاهش دادن تأثیر زیانبار گونه‌های فعال اکسیژن، سازوکارهای متفاوتی دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به سامانهٔ دفاع آنزیم‌های پاداکسندگی اشاره کرد. کاتالازها و پراکسیدازها از مهم‌ترین آنزیم‌های از بین برندهٔ پراکسید هیدروژن به شمار می‌آیند (Shen *et al.*, 2010). در شرایط تنش کم‌آبی با بسته شدن روزنه‌ها ظرفیت انتقال الکترون نورساختی کاهش می‌یابد، که این عامل موجب تجمع الکترون‌ها و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. تولید گونه‌های فعال اکسیژن در یاخته‌های گیاهی در فرآیند تنش باعث پراکسایش لیپیدها، غیرطبیعی شدن پروتئین‌ها و اکسایش DNA می‌شوند و گیاه برای رویارویی با این تغییرها، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را برای خنثی‌سازی فعالیت این رادیکال‌های آزاد افزایش می‌دهد (Dat *et al.*, 2000). نتایج این پژوهش با یافته‌های Naeimi *et al.* (2012) همخوانی دارد، آنان نیز با بررسی تنش کم‌آبی بر کدوی پوست‌کاغذی شامل (شاهد، قطع آبیاری در مرحلهٔ گلدهی و قطع آبیاری در مرحلهٔ میوه‌دهی)

شاهد افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز شدند.

محتوای نسبی آب برگ

تنش کم‌آبی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ شد. به‌طوری‌که با کاهش آبیاری از ۱۰۰ به ۳۳ درصد محتوای نسبی آب برگ از 76.98 به 72.49 درصد کاهش یافت (جدول ۳). نتایج نشان داد که محتوای نسبی آب برگ در بین توده‌ها نیز تفاوت معنی‌داری داشت. توده‌های کالی و موری به ترتیب با 79.45 و 79.26 درصد بیشترین و تودهٔ شیرازی با 65.81 درصد کمترین میزان محتوای نسبی آب برگ را داشتند (جدول ۴). اثر متقابل آبیاری در توده نیز بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار بود و توده‌های کالی و موری به ترتیب با 81.25 و 81.1 درصد در آبیاری ۱۰۰ درصد بیشترین و تودهٔ شیرازی با 56.83 درصد در آبیاری ۳۳ درصد کمترین میزان محتوای نسبی آب برگ را داشتند (شکل ۲). به نظر می‌رسد گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند، فضای بین یاخته‌ای و میزان آب در پیکرهٔ خود را از راه افزایش مواد اسمزی درون بافت‌ها به کمترین می‌رسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد آن‌ها شود که این موضوع موجب کاهش میزان آب نسبی در شرایط تنش خشکی می‌شود (Nayyar & Gupta, 2006). کاهش رشد و فعالیت ریشه و افزایش میزان تبخیر و تعرق از جامعهٔ گیاهی از عامل‌های مؤثر در کاهش محتوای نسبی آب شناخته شده‌اند (Nautiyal *et al.*, 2002). یک کاهش در محتوای نسبی آب برگ در پاسخ به تنش خشکی در طیف گسترده‌ای از گیاهان مشاهده شده است (Nayyar & Eupta, 2006). محتوای نسبی آب برگ توسط شدت تنش، مدت‌زمان رخداد خشکی و گونه‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Yang & Miao, 2010). Khodadadi (2013) با بررسی تأثیر خشکی در نخود دریافت که با اعمال تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت.

میزان ویتامین ث

تودهٔ شیرازی با $1/13$ میلی‌گرم در 100 میلی‌لیتر

درصد به ترتیب با ۰/۶۱ و ۰/۶۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر کمترین میزان آن را داشتند (شکل ۳). ترکیب‌های محافظ اسمزی با تنظیم اسمزی و قابلیت حلالیت بالا در آب، گیاهان را در مقابل تنش کم‌آبی متحمل می‌کنند. افزایش پرولین در برگ گیاهان در شرایط تنش نشان می‌دهد که پرولین به‌عنوان محافظ اسمزی در طول دوره تنش عمل می‌کند و تجمع پرولین بخشی از پاسخ‌های فیزیولوژیکی به تنش‌های اعمال شده، است. پرولین تحت تأثیر آنزیم ۱- پرولین - ۵ - کربوکسیلات سینتتاز به‌دست‌آمده می‌شود و بیان ژن‌های کنترل‌کننده تولید پرولین به‌شدت متأثر از تنش خشکی است (Madhava et al., 2006). مولکول‌های پرولین شامل قسمت‌های آب‌دوست و آب‌گریز است. پرولین محلول می‌تواند حلالیت پروتئین‌های مختلف را تحت تأثیر قرار داده و جلوی غیرطبیعی شدن آلومین را بگیرد. این ویژگی پرولین بدان جهت است که رابطه متقابل بین پرولین و سطح پروتئین‌های آب‌گریز برقرار شده و به علت افزایش سطح کل مولکول‌های پروتئین‌های آب‌دوست، پایداری آن‌ها افزایش یافته و از تغییر ماهیت آن‌ها جلوگیری می‌کند. آنزیم‌ها نیز به دلیل ساختمان پروتئینی خود تحت تأثیر این سازوکار پرولین قرار گرفته و محافظت می‌شوند که به‌احتمال گیاهان به دلایل بالا پرولین خود را افزایش می‌دهند (Kuzenetsov & Shevykova, 1999). در گوجه‌فرنگی و بادنجان در شرایط تنش خشکی پرولین افزایش نشان می‌دهد (Reddy et al., 2006). نتایج این پژوهش با یافته‌های Barzegar et al. (2011) همخوانی دارد آنان نیز با بررسی سه سطح آبیاری (۵۰، ۶۵ و ۷۵ سانتی‌بار) روی خربزه شاهد افزایش میزان پرولین با افزایش تنش کم‌آبی شدند.

کارایی مصرف آب

تأثیر تنش کم‌آبی بر کارایی مصرف آب معنی‌دار بود طوری که با کاهش آبیاری از ۱۰۰ به ۳۳ درصد نیاز آبی گیاه، کارایی مصرف آب از ۱۱/۱۵ به ۱۴/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش یافت (جدول ۳). تفاوت کارایی مصرف آب در بین توده‌ها نیز معنی‌دار بود

آب‌میه در مقایسه با دیگر توده‌ها بیشترین و توده ازمیر با ۰/۷۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌میه کمترین میزان ویتامین ث را داشت (جدول ۴). کاهش آبیاری بر ویتامین ث اثر معنی‌دار داشت به‌گونه‌ای که کاهش آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۳۳ درصد نیاز آبی گیاه باعث کاهش میزان ویتامین ث از ۰/۹۶ به ۰/۸۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌میه شد (جدول ۳). تحقیقات نشان داده‌اند که ویتامین ث نقش کلیدی در چندین فرآیند فیزیولوژی گیاه از جمله رشد و نمو و همچنین سوخت‌وساز دارد. چون ویتامین ث از اسیدهای آلی است به دلیل افزایش دما در نتیجه کم‌آبی تنفس افزایش یافته بنابراین اسیدها به‌عنوان بسترهای (سوبسترا) در پدیده تنفسی شرکت می‌کنند این موضوع باعث کاهش اسیدیته و در نتیجه باعث کاهش ویتامین ث در اثر تنش کم‌آبی می‌شود (Munger & Robinson, 1991). تنش کم‌آبی (۷۵ درصد نیاز آبی گیاه) بدون تأثیر بر میزان ویتامین ث، موجب افزایش ۷ درصدی میزان لیکوپن در هندوانه شد (Leskovar, 2004). محققان با بررسی دو سطح آبیاری (۱۰۰ و ۵۰ نیاز آبی گیاه) در دو سال در گیاه خربزه دریافتند که با اعمال تنش میزان ویتامین ث کاهش یافت (Sat Pal Sharma et al., 2014).

میزان پرولین

پرولین در اثر تنش کم‌آبی افزایش یافت. کمترین میزان پرولین (۱/۲۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در آبیاری (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و بیشترین میزان (۲/۹۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در آبیاری سوم (۳۳٪) مشاهده شد (جدول ۳). تفاوت معنی‌داری در بین توده‌ها از لحاظ پرولین وجود داشت، به‌طوری‌که بیشترین میزان پرولین در توده‌های کالی و موری به ترتیب (۲/۷ و ۲/۶۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کمترین آن در توده‌های موزی و ازمیر به ترتیب (۱/۰۹ و ۱/۲۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) مشاهده شد (جدول ۴). اثر متقابل بین توده و آبیاری بر پرولین نشان داد که توده‌های موری و اورشنگ در آبیاری ۳۳ درصد به ترتیب با ۴/۳۲ و ۴/۱۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر بیشترین و توده‌های ازمیر و موزی در آبیاری ۱۰۰

موزی با ۳۰۸۸۸ کیلوگرم در هکتار بیشترین و توده‌های موری و کالی به ترتیب با ۱۳۳۱۷ و ۱۵۱۳۶ کیلوگرم در هکتار کمترین میزان عملکرد را داشتند (جدول ۴). اثر متقابل توده در آبیاری نشان داد که توده ایوانکی با (۴۹۶۹۸ کیلوگرم در هکتار) در آبیاری ۱۰۰ درصد و توده موری با (۷۷۷۲ کیلوگرم در هکتار) در آبیاری ۳۳ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین میزان عملکرد را داشتند (شکل ۴). تنش خشکی با کاهش محتوای آب برگ‌ها در فرآیندهای فیزیولوژیکی چندی تأثیر می‌گذارد. کاهش در میزان نورساخت با کاهش سطح برگ و فعالیت آنزیم ریبولوز ۱ و ۵- بیس فسفات به علت کاهش تبادل CO₂ در اثر بسته شدن روزنه‌ها تفسیر می‌شود (Sarker *et al.*, 2004). تنش کم‌آبی باعث تشکیل میوه‌های کوچک‌تر و کاهش وزن میوه شده و در نتیجه عملکرد پایین را در خربزه موجب می‌شود (Sensoy *et al.*, 2007). در آزمایشی اعمال تنش آبی بر خربزه نشان داد که کاهش یا افزایش آبیاری به میزان ۲۵ درصد از تبخیر و تعرق گیاه، اثر معنی‌داری بر عملکرد خربزه نداشت ولی کاهش آبیاری به میزان ۴۰ درصد از تبخیر و تعرق گیاه، عملکرد را تا ۲۲ درصد کاهش داد (Cabello *et al.*, 2009).

به‌گونه‌ای که توده موزی با (۱۹/۹۵ کیلوگرم بر مترمکعب) بیشترین و توده‌های موری و کالی به ترتیب با (۷/۸ و ۸/۶۱ کیلوگرم بر مترمکعب) کمترین میزان را داشتند (جدول ۴). کارایی مصرف آب تحت تأثیر عملکرد میوه و میزان آب مصرفی است. در تنش ملایم (۶۶ درصد) چون با کاهش میزان آب مصرفی عملکرد با نسبت کمتری کاهش یافته است بنابراین کارایی مصرف آب آبیاری افزایش یافته است و این نشان می‌دهد که خربزه به نسبت به کم‌آبی متحمل است. محققان با بررسی تأثیر تنش کم‌آبی بر کارایی مصرف آب در خربزه در دو سال (۲۰۰۵ و ۲۰۰۶) دریافتند که با افزایش شدت تنش کارایی مصرف آب افزایش یافت (Cabello *et al.*, 2009).

عملکرد

در اثر تنش کم‌آبی، عملکرد کاهش معنی‌داری نشان داد به‌گونه‌ای که باعث کاهش آن از ۳۳۱۰۲ کیلوگرم در هکتار در آبیاری ۱۰۰ درصد به ۱۲۸۰۴ کیلوگرم در هکتار در آبیاری ۳۳ درصد شد (جدول ۳). تنش کم‌آبی باعث کاهش ۶۲/۳۲ درصد عملکرد در آبیاری ۳۳ درصد نسبت به آبیاری معمولی شد. توده‌ها نیز از لحاظ عملکرد با همدیگر تفاوت معنی‌دار داشتند. توده

جدول ۳. مقایسه میانگین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف آبیاری

Table 3. Mean comparison of the traits measured in the different irrigation levels

Irrigation (ETC%)	Proline (mg/g FW)	Relative water content (%)	Vitamin C (mg/100 ml)	Catalase ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}\cdot\text{min}^{-1}$)	Peroxidase (units.g ⁻¹ FW.min ⁻¹)	Water use efficiency (kg/m ³)	Yield (kg/ha)
100%	1.21 c	76.98 a	0.96 a	5.33 c	0.42 c	11.15 b	33102 a
66%	1.75 b	75.27 b	0.91 ab	5.93 b	0.55 b	12.39 ab	19074 b
33%	2.99 a	72.49 c	0.87 c	6.85 a	0.71 a	14.25 a	12804 c

در هر ستون میانگین‌های با دست‌کم یک حرف مشترک بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن هستند.

In each column means with at least one common letter are lacked significant difference at 5% probability level based on Duncan multiple range test.

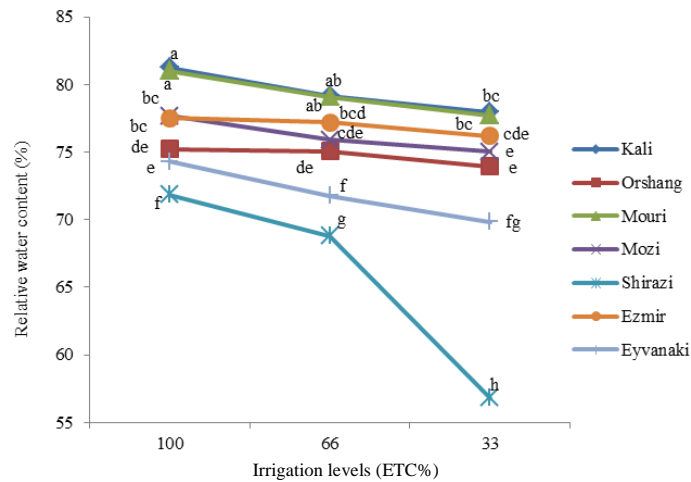
جدول ۴. مقایسه میانگین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در برخی توده‌های خربزه ایرانی

Table 4. Mean comparison of the traits measured of some Iranian melon landraces

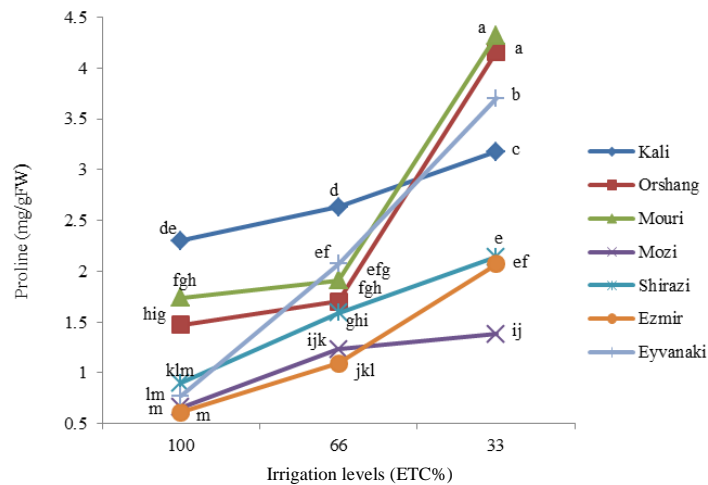
Yield (kg/ha)	Water use efficiency (kg/m ³)	Peroxidase (units.g ⁻¹ FW.min ⁻¹)	Catalase ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}\cdot\text{min}^{-1}$)	Vitamin C (mg/100ml)	Relative water content (%)	Proline (mg/g FW)	Landrace
15136 c	8.61 d	0.49 cd	5.65 a	1.09 a	79.45 a	2.70 a	Kali
25516 abc	14.10 bc	0.41 d	6.08 a	0.76 b	74.74 c	2.44 b	Orshang
13317 c	7.80 d	0.70 b	6.50 a	1.07 a	79.26 a	2.66 a	Mouri
30888 a	19.95 a	0.50 cd	5.72 a	0.79 b	76.19 b	1.09 e	Mozi
16756 bc	10.04 cd	0.44 d	6.14 a	1.13 a	65.81 e	1.54 d	Shirazi
21587 abc	12.78 bcd	0.84 a	5.74 a	0.75 b	76.97 b	1.26 e	Ezmir
28418 ab	15.53 ab	0.55 c	6.42 a	0.79 b	71.97 d	2.18 c	Eyvanaki

در هر ستون میانگین‌های با دست‌کم یک حرف مشترک بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن هستند.

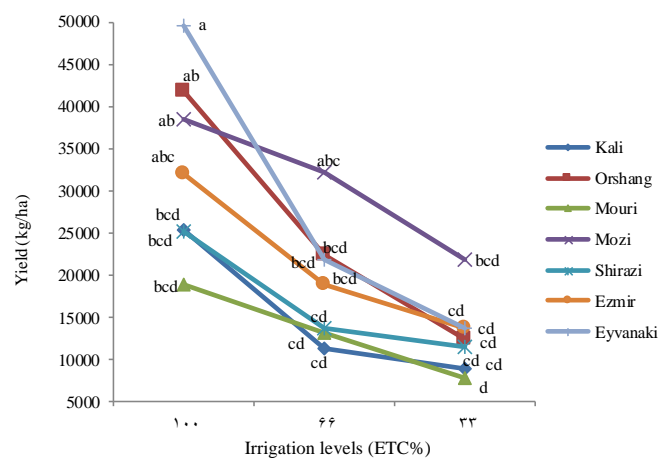
In each column means with at least one common letter are lacked significant difference at 5% probability level based on Duncan multiple range test.



شکل ۲. تأثیر تیمارهای آبیاری (۱۰۰، ۶۶ و ۳۳ درصد نیاز آبی گیاه) بر محتوای نسبی آب برگ توده‌های خربزه ایرانی
 Figure 2. Effect of Irrigation levels (100, 66 and 33 ETC%) on relative water content of Iranian melon landraces



شکل ۳. تأثیر تیمارهای آبیاری (۱۰۰، ۶۶ و ۳۳ درصد نیاز آبی گیاه) بر محتوای پرولین (mg/gFW) توده‌های خربزه ایرانی
 Figure 3. Effect of Irrigation levels (100, 66 and 33 of ETC%) on proline content (mg/gFW) of Iranian melon landraces



شکل ۴. تأثیر تیمارهای آبیاری (۱۰۰، ۶۶ و ۳۳ درصد نیاز آبی گیاه) بر عملکرد میوه (kg/ha) توده‌های خربزه ایرانی
 Figure 4. Effect of Irrigation levels (100, 66 and 33 of ETC%) on fruit yield (kg/ha) of Iranian melon landraces

نتیجه‌گیری

کاهش در عملکرد و توده موزی کمترین کاهش در عملکرد در آبیاری ۳۳ درصد نسبت به آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه نشان داد. بنابراین نتایج به نظر می‌رسد که توده موزی به تنش کم‌آبی متحمل بوده و بالاترین کارایی مصرف آب را داشته است که برای کشت در شرایط کم‌آب مناسب‌تر از دیگر توده‌ها باشد. با پژوهش‌های بیشتر روی این توده می‌توان از آن به منزله جمعیت پایه بومی متحمل به کم‌آبی استفاده کرد.

نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نشان داد که اثر تنش کم‌آبی بر صفات مورد بررسی معنی‌دار بوده و در بین توده‌ها نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. تنش خشکی باعث کاهش رشد و عملکرد میوه شد ولی تجمع پرولین و فعالیت آنزیم‌های پاداکسندگی افزایش یافت. با توجه به نتایج، توده ایوانکی در شرایط آبیاری معمولی بیشترین عملکرد را داشته، ولی در شرایط تنش کم‌آبی بیشترین

REFERENCES

1. Abkhezr, H. R. & Ghahreman, B. (2003). The analysis Correlations of winter wheat to water stress in different growth stages. *Journal of Agricultural researches*, 1, 3-12.
2. Al-hakimi, A., Monneveux, P. & Nachit, M. M. (1998). Direct and indirect selection for drought tolerance in alien tetraploid wheat × durum wheat crosses. *Euphytica*, 100, 287-294.
3. Alscher R. G. & Cumming J. R. (1990). *Stress responses in plants: Adaptation and acclimation mechanisms*, 407 pp. - Wiley-Liss, Plant Biology, 12.
4. Badii, A. & Kashi, A. K. (2012). Effects of black and transparent polyethylene mulches and irrigation interval on growth and yield of melon. *Journal of Horticultural Science and Technology*, 13(3), 339-348. (in Farsi)
5. Barzegar, T., Delshad, M., Majdabadi, A. & Ghashgae, Z. H. (1390). Effects of water stress on growth, yield and some physiological indicators of Iranian melon. *Journal of Horticultural Science*, 42 (4), 357-363. (in Farsi)
6. Bates, L., Waldren, R. P. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
7. Baysal Furtana, G. & Tıpırdamaz, R. (2010). Physiological and antioxidant response of three cultivars of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to salinity. *Turkish Journal of Biology*, 34, 287-296.
8. Bowler, C., Van Motago, M. & Inze, D. (1992). Superoxide dismutase and stress tolerance, *Ann. Rev. Plant Physiology*, 43, 83-116.
9. Cabello, M. J., Castellanos, M. T., Romojaro, F., Martinez-Madrid, C. & Ribas, F. (2009). Yield and quality of melon grown under different irrigation and nitrogen rates. *Agricultural Water Management*, 96, 866-874.
10. Cakmak, I. & Horst, W. (1991). Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tip of soybean (*Glycine max* L.). *Plant Physiology*, 83, 463-468.
11. Chance, B. & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidases. *Methods in Enzymology*, 2, 764-775.
12. Dat, J., Vandenebeele, S., Vranova, E., Van Montagu, M., Inze, D. & Van Breusegem, F. (2000). Dual action of active oxygen species during plant stress responses. *Cellular Molecul Life Science*, 57, 779-795.
13. Demiralay, M., Sağlam, A. & Kadioğlu, A. (2013). Salicylic acid delays leaf rolling by inducing antioxidant enzymes and modulating osmoprotectant content in *Ctenanthe setosa* under osmotic stress. *Turkish Journal of Biology*, 37, 49-59.
14. Fabeiro, C., Martín, F. & Juan, J. A. (2002). Production of muskmelon (*Cucumis melo* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. *Agricultural Water Management*, 54, 93-105.
15. FAO. (2013). FAOSTAT. Retrieved in: <http://faostat3.fao.org/home/index.html>, Aug.14, 2013.
16. Foyer, C. H., Valadier, M., Migge, A. & Becker, T. (1998). Drought-induced effects on nitrate reductase activity and mRNA on the coordination of nitrogen and carbon metabolism in maize leaves. *Plant Physiology*, 177, 283-292
17. Gill, S. S. & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology. Biochemistry*, 48, 909-930.
18. Halliwell, B. (1987). Oxidative damage, lipid peroxidation and antioxidant protection in chloroplasts. *Chemistry Physics Lipids*, 44, 327-340.
19. Khodadadi, M. (2013). Effect of drought stress on yield and water relative content in *Chickpea*. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(6), 1168-1172,
20. Kim, J. H. & Lee, C. H. (2005). In vivo deleterious effects specific to reactive oxygen species on photosystem I and II after photo-oxidative treatments of rice (*Oryza sativa* L.) leaves. *Plant Science*, 168, 1115-1125.

21. Kuznetsoy, V. I. & Shevykova, N. I. (1999). Proline under stress: Biological role, metabolism, and regulation. *Russian Journal of Plant Physiology*, 46, 274-287.
22. Lee, B. R., Jin, Y. L., Avice, J. C., Cliquet, J. B., Qurry, A. & Kim, T. H. (2009). Increased proline loading to phloem and its effects on nitrogen uptake and assimilation in water-stressed white clover (*Trifolium repens*). *New Phytologist*, 182, 654-663.
23. Leskovar, D. I. & Piccinni, G. (2005). Yield and leaf quality of processing spinach under deficit Irrigation. *HortScience*, 40, 1868-1870.
24. Lester, G. E. (1996). Melon (*Cucumis melo* L.) fruit nutritional quality and health functionality. *Hortscience*, 31, 693.
25. Madhava Roa, K. V., Raghavendra, A. S. & Janardhan Reddy, K. (2006). *Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants*. 15-39. Springer, printed in Netherland.
26. Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M. & Van Breusegem, F. (2004). Reactive oxygen gene network of plants. *Trends Plant Science*, 9, 490-498.
27. Mostufi, I. & Najafi, F. (2005). *Laboratory analytical methods in horticulture*. Publication of Tehran University. (in Farsi)
28. Munger, H. M. & Robinson, R. W. (1991). *Nomenclature of Cucumis melo* L. *Cucurbit Genet. Cooperative Reputation*. 14, 53.
29. Munne, S. & Alegre, L. (1999). Role of dew on the recovery of water stressed *Melissa officinallis* L.. *Journal of Plant Physiology*, 154(5-6), 759-766.
30. Naimi, M., Aliakbari, G. H., Shiranirad, A. M., Hasanloo, T. & Akbari, G. H. A. (2012). Effect of zeolite application and selenium spraying on water relations traits and antioxidant enzymes in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) under water deficit stress conditions. *Journal of Crops Improvement*, 14(1), 67-81. (in Farsi)
31. Nautiyal, P. C., Rachaputi, N. R. & Joshi, Y. C. (2002). Moisture-deficit-induced changes in leaf-water content, leaf carbon exchange rate and biomass production in groundnut cultivars differing in specific leaf area. *Field Crops Research*, 74, 67-79.
32. Nayyar, H. & Gupta, D. (2006). Differential sensitivity of C₃ and C₄ plants to water deficit stress: association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany*, 58, 106-113.
33. Reddy, A. R., Chiatanya, K. V. & Vivekanandan, M. (2006). Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161, 1189-1202.
34. Sarker, B. C., Hara, M. & Uemura, M. (2004). Proline synthesis, physiological responses and biomass yield of eggplants during and after repetitive soil moisture stress. *Scientia Horticulturae*, 103, 387-402.
35. Saruhan Guler, N., Sağlam, A., Demiralay, M. & Kadioğlu, A. (2012). Apoplastic and symplastic solute concentrations contribute to osmotic adjustment in bean genotypes during drought stress. *Turkish Journal of Biology*, 36, 151-160.
36. Sat Pal Sharma, I., Daniel, D., Leskovara Kevin, A. M., Crosby, A. M. H. & Astrid Volderb, I. (2014). Root growth, yield, and fruit quality responses of reticulatus and inodorus melons (*Cucumis melo* L.) to deficit subsurface drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 136, 75-85.
37. Sensoy, S., Ertek, A., Gedik, I. & Kucukyumuk, C. (2007). Irrigation frequency and amount affect yield and quality of field grown melon (*Cucumis melo* L.). *Agricultural Water Management*, 88, 269-274.
38. Sharkey, T. D. & Seemann, J. R. (2005). Mild water stress effects on carbon-reduction-cycle intermediates, Ribulose Bisphosphate Carboxylase activity, and spatial homogeneity of photosynthesis in intact leaves. *Plant Physiology*, 89, 1060-1065.
39. Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Enej, A. E. & Li, J. (2010). Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *Plant Physiology*, 167, 1248-1252.
40. Vaziri, Z. H., Salamat, A., Ansari, M., Masihi, M., Heydari, N. & Dehghani sanich, H. (2008). *Evapotranspiration plant (water consumption guidelines for plants) (Translation)*. Publications of the National Committee of Irrigation and Drainage, printing, Tehran. (in Farsi)
41. Yang, F. & Miao, L. F. (2010). Adaptive responses to progressive drought stress in two poplar species originating from different altitudes. *Silva Fennica*, 44(1), 23-37.