



به‌زراعی کشاورزی

دوره ۲۰ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۷

صفحه‌های ۳۱۹-۳۵۷

بررسی رشد، عملکرد و پاسخ‌های فیزیولوژیکی هندوانه ابوجهل تحت شرایط تنش کم‌آبیاری

جاسم پرخیده^۱، طاهر بزرگر^{۲*}، فاطمه نکونام^۳، جعفر نیکبخت^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
۲. استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
۳. دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم باغبانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۴. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۱۶

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش کم‌آبیاری بر رشد، عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژیکی هندوانه ابوجهل، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۵ انجام شد. سطوح آبیاری شامل ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و دو سطح کم‌آبیاری ۷۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه بود. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبیاری، رشد و عملکرد میوه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. کمترین سطح برگ، طول بوته، تعداد میوه و عملکرد در تیمار کم‌آبیاری ۵۰ درصد حاصل شد. با افزایش تنش کم‌آبیاری، محتوای نسبی آب برگ و محتوای کلروفیل کاهش یافت. درصد نشت‌یونی، فعالیت آنزیم پراکسیداز و تجمع پرولین در پاسخ به افزایش تنش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، ولی بین تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد و ۷۰ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در تیمار کم‌آبیاری ۷۰ درصد، اگرچه عملکرد میوه ۱۵/۵ درصد کاهش یافت، ولی در مصرف آب ۳۰ درصد صرفه‌جویی شد و کارایی مصرف آب ۱۶/۸ درصد افزایش یافت. بنابراین، در شرایط کمبود آب آبیاری، توصیه می‌شود که گیاهان هندوانه ابوجهل با ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه آبیاری شود زیرا علاوه بر تولید عملکرد نسبتاً مشابه آبیاری ۱۰۰ درصد، در مصرف آب صرفه‌جویی زیادی می‌شود.

کلیدواژه‌ها: پرولین، سطح برگ، عملکرد میوه، کارایی مصرف آب، هدایت روزنه‌ای.

۱. مقدمه

هندوانه ابوجهل (*Citrullus colocynthis* L.)، گیاهی علفی و یکساله از تیره کدوئیان بوده که خویشاوندی نزدیکی با هندوانه دارد و در میان گیاهان خانواده کدوئیان، بیشترین تحمل را به تنش کم‌آب‌اری دارد و به‌صورت وحشی رشد می‌کند [۱۶]. بیشتر در مناطق گرمسیری ایران، بخش‌هایی از جنوب‌غربی، جنوب‌شرقی، مرکزی و شرقی ایران یافت می‌شود، با این حال در فصل بهار و تابستان در سراسر کشور رشد می‌کند. همچنین، یک گیاه دارویی شناخته‌شده در طب سنتی ایران بوده و در درمان بیماری‌های قند و دیابت استفاده می‌شود [۳۴].

تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید محصولات زراعی در ایران است [۲۸]. تنش خشکی از طریق ایجاد تغییرات آناتومیک، مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بر جنبه‌های مختلف رشد و نمو گیاه تأثیر می‌گذارد که شدت خسارت خشکی بستگی به طول مدت تنش و مرحله رشد گیاه متفاوت است. این تنش باعث کاهش فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، زیست‌توده، رشد و در نهایت کاهش عملکرد گیاه می‌شود [۶]. گزارش شده است که هندوانه وحشی تحمل به خشکی بسیار بالایی از خود نشان می‌دهد [۲۹]. در طول دوره تنش، سطح کل برگ برای هر گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد و کاهش سطح برگ در اثر تنش کم‌آب‌اری، دلیل اصلی کاهش عملکرد است. کاهش طول ساقه و ارتفاع گیاه نیز در شرایط تنش خشکی مشاهده شده است [۴۰].

در خربزه، تنش کم‌آب‌اری تعداد میوه، وزن متوسط میوه و عملکرد را کاهش داد، ولی باعث افزایش کارایی مصرف آب گردید [۴۱]. تنش کم‌آب‌اری در مرحله گلدهی عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد، درحالی‌که در مرحله تشکیل و رشد میوه عملکرد و کیفیت میوه را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۹]. در هندوانه، کم‌آب‌اری

عملکرد، محتوای آب برگ و تولید زیست‌توده را کاهش داد و باعث بهبود کارایی مصرف آب گردید [۳۷]. اعمال تنش کم‌آب‌اری ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با ۱۰۰ درصد در ارقام خربزه با کاهش نسبی عملکرد موجب ۳۷ تا ۴۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب گردید [۴۱]. تنش اکسیداتیو یکی از عوامل آسیب سلولی طی تنش خشکی است. با این حال، گیاهان با تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز و پراکسیداز، یا تجمع تنظیم‌کننده‌های اسمزی مانند پرولین، بتائین و سیتروپن که نقش مهمی در حفاظت سلول‌های گیاهی در برابر گونه‌های فعال اکسیژن ایفا می‌کنند، تحمل گیاهان را به خشکی افزایش می‌دهند [۲۲].

بین سرعت فتوسنتز خالص و محتوای پرولین رابطه نزدیک وجود دارد و به نقش مهم این اسمولیت در حفاظت از فعالیت فتوسنتزی اشاره شده است [۳۶]. تجمع پرولین در شرایط تنش خشکی در محصولات مختلف دیگر مانند هندوانه وحشی [۴۵] و خربزه [۲۷] گزارش شده است. تنش خشکی باعث بسته شدن روزنه‌ها، کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش تعرق و افزایش دمای سطح برگ گیاه می‌گردد [۳۱]. کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای می‌تواند در سطوح بسیار پایین کمبود رطوبت خاک قبل از کاهش معنی‌دار پتانسیل آب برگ ایجاد گردد [۲۶]. تأثیر تنش خشکی بر سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و غلظت کلروفیل بسیار مورد توجه محققان بوده است. اولین بخش از سلول که در برابر تنش خشکی آسیب می‌بیند، غشا سلول است که از بین رفتن پایداری آن منجر به افزایش نشت یونی می‌شود [۲۵].

با توجه به اهمیت دارویی هندوانه ابوجهل و تحمل به کم‌آبی، این گیاه می‌تواند به‌عنوان یک گیاه دارویی و پایه در پیوند کدوئیان جهت بهبود تحمل به کم‌آبی مورد توجه قرار گیرد. اگرچه اثر تنش کم‌آب‌اری بر رشد، عملکرد و فعالیت-

استقرار گیاهان، تیمارهای کم‌آبیاری در مرحله شش-هفت برگگی اعمال شد. نیاز آبی گیاه برای تیمار شاهد با استفاده از میانگین بلندمدت داده‌های روزانه پارامترهای هواشناسی ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی زنجان و رابطه (۱) برآورد گردید.

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (1)$$

در این رابطه ET_c ، نیاز آبی هندوانه ابوجهل (میلی‌متر در روز)، ET_0 ، تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن (میلی‌متر در روز) و K_c ، ضریب گیاهی هندوانه ابوجهل هستند. لازم به توضیح است مقادیر ET_0 بر اساس روش استاندارد فائو-پنمن-مانتیث برآورد شد. جدول ۳ میانگین بلندمدت پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک زنجان در دوره رشد گیاه را که برای محاسبه مقادیر ET_0 و ET_c مورد استفاده قرار گرفت نشان می‌دهد. پس از محاسبه مقادیر ET_c ، مقادیر نیاز خالص و نیاز ناخالص آب آبیاری گیاه هندوانه ابوجهل بر اساس فواصل کشت، نوع سیستم آبیاری (قطره‌ای-نواری) و دور آبیاری (دو روز) برآورد شده و سپس در هر نوبت آبیاری به گیاه داده می‌شد. نیاز آبی سایر تیمارها (تیمارهای تنش آبی) بر اساس نیاز آبی تیمار شاهد (۲۲۰۳ مترمکعب در هکتار) و درصد تنش آبی، برآورد و توزیع شد [۴]. جدول (۴) مقادیر آب آبیاری تحویل داده‌شده به تیمار شاهد در نوبت‌های مختلف آبیاری را نشان می‌دهد.

های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بسیاری از گیاهان مطالعه شده است، ولی اطلاعات کمی در مورد پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیکی هندوانه ابوجهل به تنش کم‌آبیاری وجود دارد. بنابراین، هدف از انجام این تحقیق، مطالعه پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیکی هندوانه ابوجهل به تنش کم‌آبیاری می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی علوم باغبانی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۵ انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) بود. هر واحد آزمایشی شامل پنج بوته بود. جدول‌های ۱ و ۲ به ترتیب ویژگی‌های خاک محل آزمایش و ویژگی‌های آب مورد استفاده را نشان می‌دهند. بذرها در ۲۰ اردیبهشت سال ۱۳۹۵ اهواز جمع‌آوری گردید. بذرها در ۲۰ اردیبهشت سال ۱۳۹۵ داخل سینی‌های مخصوص کاشت بذر در بستر حاوی پیت ماس در گلخانه (دمای 27 ± 3 روز و 20 ± 3 شب با رطوبت نسبی ۶۰-۷۰ درصد) کشت و نشاها در ۱۵ خرداد (مرحله چهار-پنج برگگی) به مزرعه انتقال داده شدند. فاصله ردیف‌ها ۲۰۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها ۷۰ سانتی‌متر، در نظر گرفته شد.

تا زمان استقرار (مرحله شش‌برگی) گیاهان در خاک، آبیاری کامل منظم برای تمام گیاهان انجام گرفت. پس از

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

رس	سیلت	شن	بافت خاک	ماده آلی	پتاسیم	سدیم	کلسیم	نیتروژن	EC	pH
(%)	(%)	(%)		(%)	(g.kg ⁻¹)	(g.kg ⁻¹)	(g.kg ⁻¹)	(%)	(dS.m ⁻¹)	
۳۷	۳۸	۲۵	لوم رسی	۰/۹۴	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۰۷	۱/۴۹	۷/۴

جدول ۲. نتایج تجزیه شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده

pH	EC	سدیم	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	کلر	کربنات	بی‌کربنات	سولفات
	(dS.m ⁻¹)	(mg.L ⁻¹)	(mg.L ⁻¹)	(mg.L ⁻¹)	(mg.L ⁻¹)	(mg.L ⁻¹)	(mg.L ⁻¹)	(mg.L ⁻¹)	(mg.L ⁻¹)
۷/۲۸	۲/۷۱	۱۵۲	۲/۷۴	۴۰۰	۲۴۱/۶	۴۳۵/۳	۰/۰	۱۵۹	۵۵۰/۵

جدول ۳. میانگین بلندمدت پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک زنجان در دوره رشد گیاه هندوانه ابوجهل

مجموع بارندگی (میلی متر)	رطوبت نسبی (%)			ساعات آفتابی	نقطه شبنم	سرعت باد (m.sec ⁻¹)	دمای هوا (°C)		
	متوسط	حداکثر	حداقل				میانگین	حداکثر	حداقل
۴/۴	۳۹/۵	۵۸	۲۱	۱۰/۹	۶/۷	۱/۶	۲۲/۵	۳۱/۲	۱۳/۷

جدول ۴. مقدار آب آبیاری داده شده به تیمار شاهد در دوره رشد گیاه

مقدار آب (مترمکعب در هکتار)	نوبت آبیاری	مقدار آب (مترمکعب در هکتار)	نوبت آبیاری	مقدار آب (مترمکعب در هکتار)	نوبت آبیاری
۱۲۷/۵	۱۹	۳۰/۰	۱۰	۶۴/۰	۱
۱۲۲/۵	۲۰	۳۷/۵	۱۱	۲۸/۸	۲
۱۱۹/۳	۲۱	۴۵/۰	۱۲	۳۶/۳	۳
۱۲۰/۸	۲۲	۸۲/۵	۱۳	۵۴/۰	۴
۱۷۷/۰	۲۳	۷۰/۰	۱۴	۵۱/۳	۵
۱۲۰/۰	۲۴	۷۳/۸	۱۵	۳۵/۰	۶
۱۵۰/۰	۲۵	۶۲/۵	۱۶	۳۶/۳	۷
۱۶۵/۰	۲۶	۶۰/۰	۱۷	۲۸/۰	۸
۱۵۲/۵	۲۷	۱۱۶/۳	۱۸	۳۷/۵	۹

برگ، ابتدا وزن تر (FW) برگ‌ها اندازه‌گیری و سپس به‌منظور تعیین وزن در حالت اشباع (TW)، به مدت ۲۰ ساعت در شدت نور کم و در دمای اتاق در داخل آب مقطر قرار داده شدند. در پایان به‌منظور تعیین وزن خشک (DW)، برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آن و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. محتوای نسبی آب برگ‌ها با استفاده از رابطه (۳) به دست آمد [۲۴].

$$RWC = \frac{(FW - DW)}{(TW - DW)} \times 100 \quad (3)$$

به منظور محاسبه نشت یونی از روش بن‌حامد و همکاران [۱۲] استفاده شد. درصد نشت یونی از طریق رابطه چهار با تقسیم هدایت الکتریکی اولیه (EC₁) بر هدایت الکتریکی سلول‌های مرده (EC₂) محاسبه شد.

$$EL = \frac{(EC_1 / EC_2)}{100} \quad (4)$$

محتوای کلروفیل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر SAFAS MONACO (RS 232) میزان جذب آن در طول

اندازه‌گیری طول بوته در پایان فصل رشد بر حسب سانتی‌متر ثبت شد. در زمان برداشت (تغییر رنگ میوه‌ها از سبز به زرد) تعداد میوه‌های هر بوته شمارش و وزن متوسط میوه و عملکرد آنها محاسبه گردید. میانگین سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (DELTA-T DEVICE LTD, ENGLAND) برحسب میلی‌متر مربع انجام گرفت.

کارایی مصرف آب (WUE)، با تقسیم نمودن عملکرد (Y) بر حسب کیلوگرم در هکتار به آب مصرفی (W) بر حسب متر مکعب در طی فصل رشد برحسب کیلوگرم در مترمکعب برآورد گردید (رابطه ۲).

$$WUE = Y/W \quad (2)$$

هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر AP4 (مدل MK, Delta, UK) بین ساعت‌های ۱۰ تا ۱۴ اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب

[۱۰] با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید و در نهایت با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف پرولین خالص که به صورت یک معادله رگرسیونی می‌باشد، برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ آنالیز و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

۳. نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول‌های ۵ و ۶) نشان داد که در صفات تعداد میوه در بوته، سطح برگ، طول بوته، محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، آنزیم پراکسیداز، عملکرد کل و کارایی مصرف آب اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آبیاری مشاهده شد، درحالی‌که از نظر هدایت روزنه‌ای و وزن متوسط میوه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر (عصاره استونی) قرائت شد و در نهایت با استفاده از رابطه‌های پنج، شش و هفت میزان کلروفیل a، b و کل برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به دست آمد [۸].

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A663 - 0.86 \times A645) V/100W \quad (5)$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A645 - 3.6 \times A663) V/100W \quad (6)$$

$$\text{Total chlorophyll} = [20.2(A645) + 8.02(A663)] \times V/(W \times 1000) \quad (7)$$

فعالیت آنزیم پراکسیداز (POX) براساس میزان اکسیدشدن گایاکول در طول موج ۴۷۰ نانومتر بر حسب (واحد بر گرم وزن تر در دقیقه) به روش اسپکتروفتومتری (اسپکتروفتومتر JENWAY مدل UV-6505) در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجه سانتی‌گراد) اندازه‌گیری شد [۱۵]. برای اندازه‌گیری پرولین برگ از روش بیتس و همکاران

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر صفات رشدی و عملکرد هندوانه ابوجهل

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		سطح برگ	طول بوته	تعداد میوه در بوته	وزن متوسط میوه
بلوک	۲	۴۳۹۶۸/۵ ^{ns}	۲۶۹/۰۶ ^{ns}	۵/۲۵ ^{ns}	۱۲۲۲/۹۱ ^{ns}
آبیاری	۲	۱۰۵۲۳۵۴/۰۴ ^{**}	۵۱۰۸/۳ ^{**}	۲۰۸/۶۶ ^{**}	۶۰/۸۳ ^{ns}
خطا	۴	۷۰۵۴/۵	۲۰۳/۱۹	۹/۷۹	۴۲۵/۷۵
ضریب تغییرات (درصد)		۳/۳	۱۰/۰۵	۱۵/۱	۱۷/۸

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر صفات فیزیولوژیکی هندوانه ابوجهل

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		هدایت روزنه‌ای	محتوی نسبی آب برگ	نشت یونی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
بلوک	۲	۰/۰۰۵ ^{ns}	۴/۹۲ ^{ns}	۱/۵ ^{ns}	۰/۱۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۵ ^{ns}	۰/۱۵ ^{ns}
آبیاری	۲	۰/۳۹ ^{ns}	۳۳/۸۵ [*]	۲۵۴/۷۸ [*]	۰/۴۳ ^{**}	۰/۰۱۹ ^{ns}	۰/۶۶ ^{**}
خطا	۴	۰/۱۱	۴/۳۸	۱۶/۵۹	۰/۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۲۶
ضریب تغییرات (درصد)		۲۵/۲۱	۲/۵۸	۵/۵۱	۸/۴۱	۸/۱۲	۶/۵۵

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

۱.۳. سطح برگ و طول بوته

تنش کم آبیاری سطح برگ و طول بوته را به طور معنی داری کاهش داد (جدول ۵). بیشترین میانگین سطح برگ (۳۰۸۲/۶ میلی مترمربع) در تیمار آبیاری شاهد (۱۰۰٪) و کمترین آن (۱۸۹۸/۶ میلی مترمربع) در تنش ۵۰ درصد مشاهده شد (جدول ۷). بین سطوح آبیاری از نظر طول ساقه اختلاف معنی داری مشاهده گردید (جدول ۳). بیشترین طول بوته (۱۷۷/۹ سانتی متر) در آبیاری شاهد (۱۰۰٪) و کمترین آن (۹۶/۸ سانتی متر) در تنش حداقل (۵۰٪) مشاهده شد. نتایج مشابه در گیاه خربزه [۴۱] و طالبی [۱۳] گزارش شده است. به طور کلی، با حضور تنش کم آبیاری، کاهش رشد در تمام ابعاد گیاه مشاهده می شود. کاهش رشد در مراحل اولیه تنش می تواند به علت کاهش توسعه سلول ناشی از کاهش فشار تورژانس و تقسیم سلولی، کاهش فتوسنتز ناشی از بسته شدن روزنه ها و تخصیص بیشتر مواد به بخش زیر زمینی باشد [۲۰]. افزایش سطح برگ به تورژانس برگ، دما و عوامل رشد بستگی دارد که همه آنها به وسیله خشکی تحت تأثیر قرار می گیرند [۳۳].

۲.۳. عملکرد و اجزای عملکرد

عملکرد میوه به طور معنی داری تحت تأثیر تنش کم آبیاری قرار گرفت. بین سطوح آبیاری از نظر تعداد میوه در بوته و عملکرد اختلاف معنی داری مشاهده گردید در حالی که

از نظر وزن متوسط میوه اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۵). بیشترین تعداد میوه (۲۸) و عملکرد (۲۱/۸۵ تن در هکتار) در تیمار آبیاری شاهد (۱۰۰٪) و کمترین تعداد میوه (۱۰/۶) و عملکرد (۹/۶۸ تن در هکتار) در تنش حداقل (۵۰٪) مشاهده شد (جدول ۷). همچنین از نظر عملکرد بین تنش متوسط و شاهد اختلاف معنی داری مشاهده نگردید. در پژوهشی بر روی خربزه مشاهده شد که در شرایط کمبود آب میوه های کوچک تر تولید شده و عملکرد کاهش یافت [۳۹]. تنش کم آبیاری در مرحله گلدهی اساساً بر عملکرد طالبی مؤثر بوده و کمترین عملکرد را باعث می شود [۱۹].

طبق نتایج، کاهش تعداد میوه در اثر تنش کم آبیاری منجر به کاهش عملکرد گردید. در گیاهان خربزه و طالبی، کاهش تعداد میوه و وزن متوسط میوه در اثر تنش کم آبی گزارش شده است [۱۳ و ۴۱]. با توجه به شروع اعمال تنش کم آبیاری در مرحله رویشی، گلدهی و تشکیل میوه تحت تأثیر تنش کم آبیاری قرار گرفته، در نتیجه تعداد میوه به طور معنی داری کاهش یافت. کمبود بیش از حد آب می تواند تعداد میوه در بوته را به دلیل افزایش سقط گل کاهش دهد [۴۲]. کاهش زیاد تعداد میوه در بوته تحت کمبود آب باعث گردید متوسط وزن میوه در شرایط تنش کاهش چندانی نشان ندهد. همچنین کاهش عملکرد در شرایط تنش را می توان به کاهش معنی دار سطح برگ نسبت داد.

جدول ۷. مقایسه میانگین صفات رشدی و عملکرد اندازه گیری شده در سطوح مختلف آبیاری

تیمار آبیاری (ETc%)	سطح تک برگ (mm ²)	طول بوته (cm)	تعداد میوه در بوته	وزن متوسط میوه (g)	عملکرد کل (t.ha ⁻¹)	کارایی مصرف آب (kg.m ⁻³)
۱۰۰	۳۰۸۲/۶a	۱۷۷/۹a	۲۸a	۱۲۰a	۲۱/۸۵a	۹/۹b
۷۰	۲۴۶۷/۳b	۱۵۰/۴ab	۲۲/۲ab	۱۱۶a	۱۸/۴۵a	۱۱/۹a
۵۰	۱۸۹۸/۶c	۹۶/۸b	۱۱/۶ b	۱۱۱a	۹/۶۸b	۸/۷b

در هر ستون میانگین های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می باشند.

۳.۳. کارآیی مصرف آب

تنش کم‌آبیاری باعث بهبود کارآیی مصرف آب گردید. از نظر کارآیی مصرف آب اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده شد (جدول ۵). تیمار کم‌آبیاری ۷۰ درصد باعث افزایش ۱۶/۸ درصدی کارآیی مصرف آب گردید (جدول ۷). افزایش کارآیی مصرف آب در گیاهان هندوانه [۳۰] و خربزه [۴۱] تحت تنش کم‌آبیاری گزارش شده است. در مطالعه‌ای با بررسی اثر سطوح آبیاری (۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه) بر کارآیی مصرف آب در خربزه طی دو سال (۲۰۰۵ و ۲۰۰۶) به این نتیجه رسیدند که با افزایش شدت تنش، کارآیی مصرف آب افزایش یافت [۱۳]. افزایش کارآیی مصرف آب در تیمار کم‌آبیاری ۷۰ درصد در مقایسه با آبیاری ۱۰۰ درصد را می‌توان چنین بیان کرد که با کاهش ۳۰ درصدی مصرف آب در تیمار کم‌آبیاری ۷۰ درصد، عملکرد محصول فقط ۱۵/۵ درصد کاهش داشت. در نتیجه تولید محصول بیشتر در شرایط نزدیک به تنش کمبود آب در مقایسه با شرایط نرمال آبیاری نسبت به میزان آب مصرف‌شده دلیل افزایش کارآیی مصرف آب می‌باشد.

۴.۳. هدایت روزنه‌ای

هدایت روزنه‌ای در اثر اعمال تنش به تدریج کاهش یافت، ولی تفاوت‌های حاصله به اندازه کافی بزرگ نبود و از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد (جدول‌های ۶ و ۸). کاهش هدایت روزنه‌ای ناشی از تنش

به دلیل تغییرات در تبادل گاز به‌طور مستقیم بر سرعت فتوسنتز و فرآیندهای بیوشیمیایی تأثیر می‌گذارد [۳۲]. نتایج حاصل با نتایج اثر تنش کم‌آبیاری در گیاه خربزه مطابقت دارد که گزارش شد هدایت روزنه‌ای تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری قرار نگرفت [۱].

۵.۳. محتوای نسبی آب برگ

تیمار آبیاری بر محتوای نسبی آب برگ تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۶). حداقل محتوای نسبی آب برگ در تنش کم‌آبیاری ۵۰ درصد حاصل شد و بین دو تیمار آبیاری ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۸). در بررسی‌های انجام‌شده تنش کم‌آبیاری باعث کاهش ۲۰ تا ۲۵ درصدی محتوای نسبی آب برگ گیاه هندوانه گردید [۲۱]. مطالعه اثر تنش خشکی در چهار رقم گوجه‌فرنگی بیانگر کاهش محتوای نسبی آب برگ تحت شرایط تنش خشکی است [۳]. محتوای نسبی آب برگ یک اندازه‌گیری از وضعیت آب گیاه در نظر گرفته می‌شود و منعکس‌کننده فعالیت متابولیک در بافت‌ها و به‌عنوان شاخصی برای تعیین تحمل کم‌آبیاری در گیاه است [۴۳]. گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند، فضای بین سلولی و میزان آب در پیکره خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد آن‌ها شود که این موضوع موجب کاهش میزان آب نسبی در شرایط تنش خشکی می‌گردد [۳۵].

جدول ۸. مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده در سطوح مختلف آبیاری

پرویلین (mg.gFW ⁻¹)	آنزیم پراکسیداز *(Units.g ⁻¹ FW.min ⁻¹)	کلروفیل کل (mg.gFW ⁻¹)	کلروفیل b (mg.gFW ⁻¹)	کلروفیل a (mg.gFW ⁻¹)	نشست‌یونی (%)	محتوای نسبی آب برگ (%)	هدایت روزنه‌ای (cm.s ⁻¹)	تیمار آبیاری (ETc%)
۳/۵۷b	۰/۱۷b	۲/۹۱a	۰/۷۴a	۲/۱۴a	۶۴/۲b	۸۳/۴a	۱/۷۴a	۱۰۰
۵/۴۲b	۰/۲۲b	۲/۶۳a	۰/۷۲a	۱/۸۴a	۷۴/۶a	۸۲/۵a	۱/۲۸a	۷۰
۹/۲۶a	۰/۵۳a	۱/۹۸b	۰/۵۹b	۱/۳۸b	۸۲/۶a	۷۷/۲b	۱/۰۲a	۵۰

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد از آزمون دانکن می‌باشند.
* هر واحد از فعالیت آنزیم بصورت تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر گرم وزن تر در دقیقه می‌باشد.

۶.۳. نشت یونی

بین سطوح آبیاری از نظر نشت یونی اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۶). به طوری که بیشترین میزان نشت یونی در تیمار کم‌آبیاری ۵۰ درصد و کمترین آن در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد مشاهده گردید (جدول ۸). بین دو تیمار آبیاری ۱۰۰ و ۷۰ درصد از نظر نشت یونی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با اعمال تنش خشکی در دو توده هندوانه ابوجهل، نشت یونی افزایش یافت [۳۴]. مطالعه اثر تنش خشکی (ظرفیت زراعی و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) در چهار دوره زمانی (قبل از تنش، ۱۰ روز بعد از تنش، ۲۰ روز بعد از تنش و بازبایی) در گوجه‌فرنگی نشان داد که میزان نشت یونی در شرایط تنش، نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت [۳]. زمانی که محتوای آب در اندام‌های گیاه تحت تنش خشکی کاهش می‌یابد مقدار آسیب وارده به غشا هم افزایش می‌یابد که موجب افزایش تراوایی و نشت یونی از سلول و مرگ آن می‌شود [۷]. تنش کم‌آبیاری با القای تنش اکسیداتیو و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن، سبب پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشاهای سلولی شده و نفوذپذیری غشا و نشت یونی را افزایش می‌دهد [۲۳].

۷.۳. کلروفیل

بین سطوح آبیاری از نظر محتوای کلروفیل a و b و کل اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۶). با کاهش آبیاری از ۱۰۰ به ۵۰ درصد، محتوای کلروفیل a، b و کل به ترتیب از ۲/۱۴، ۰/۷۴ و ۲/۹۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به ۱/۳۸، ۰/۵۹ و ۱/۹۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر کاهش یافت (جدول ۸). در گیاه بامیه تحت تنش کم‌آبیاری، محتوای کلروفیل b به طور معنی‌داری کاهش یافت در حالی که کلروفیل a تحت تأثیر تنش آبی قرار نگرفت و نسبت کلروفیل a/b تحت رژیم‌های محدودیت آب بدون

تغییر باقی ماند [۱۰]. محتوای کلروفیل کل تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری در دو توده طالبی بومی ایران، کاهش یافت [۵]. یکی دیگر از دلایل کاهش غلظت کلروفیل در شرایط تنش می‌تواند افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل از جمله کلروفیلاز باشد که تحت شرایط تنش بیان ژن‌های این آنزیم القا می‌شوند [۱۸]. علاوه بر این، آنزیم لیگاز گلوتامات برای تبدیل گلوتامات به پرولین در شرایط تنش القا می‌شود، گلوتامات پیش‌ساز مشترک کلروفیل و پرولین می‌باشد که در شرایط تنش بیش‌تر برای تولید پرولین مصرف می‌شود که می‌تواند یکی دیگر از دلایل کاهش کلروفیل در شرایط تنش باشد [۱۲].

۸.۳. آنزیم پراکسیداز

تنش کم‌آبیاری به طور معنی‌داری فعالیت آنزیم پراکسیداز را افزایش داد (جدول ۶). بیشترین فعالیت آنزیم $(FW \cdot min^{-1} \cdot 0/59)$ در سطح آبیاری ۵۰ درصد مشاهده شد (جدول ۸). در شرایط تنش کم‌آبیاری با بسته شدن روزنه‌ها ظرفیت انتقال الکترون فتوسنتزی کاهش، که این عامل موجب تجمع الکترون‌ها و افزایش انواع اکسیژن فعال می‌گردد. تولید انواع اکسیژن فعال در سلول‌های گیاهی طی تنش باعث پراکسیداسیون لیپیدها، دنا توره شدن پروتئین‌ها و اکسیداسیون DNA می‌شود و گیاه برای مقابله با این تغییرات، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را برای خنثی‌سازی فعالیت این رادیکال‌های آزاد افزایش می‌دهد [۱۷]. افزایش فعالیت آنزیم‌های ضد اکسایشی و کاهش میزان انواع اکسیژن فعال در سلول گیاهی موجب حفاظت گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شوند [۱۴].

۹.۳. محتوای پرولین

محتوای پرولین در اثر تنش کم‌آبیاری افزایش یافت.

بررسی رشد، عملکرد و پاسخ‌های فیزیولوژیکی هندوانه ابوجهل تحت شرایط تنش کم‌آبیاری

کمترین مقدار پرولین (۳/۵۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در آبیاری ۱۰۰ درصد و بیشترین مقدار پرولین (۹/۲۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد (جدول ۸). نتایج مشابه در گیاه طالبی [۲] گزارش شده است. یکی از پاسخ‌های مشترک گیاهان به تنش کمبود آب و محیط‌های شور تجمع پرولین است که به عنوان یک محلول سازگار، یک محافظ اسمزی و یک عامل حفاظتی برای آنزیم‌های سیتوپلاسمی و اندامک‌های سلولی عمل می‌کند. علاوه بر این، پرولین به‌عنوان یک منبع نیتروژن در کاهش صدمات و ترمیم رشد در شرایط تنش نقش دارد [۹]. همچنین پرولین به‌عنوان گیرنده رادیکال‌های آزاد جهت جلوگیری از صدمات تنش‌های اکسیداتیو در گیاهان عمل می‌کند [۴۴]. سنتز بیش از حد پرولین در طول دوره خشکی و برگشت آن به سطح نرمال بعد از جبران کمبود آب، توانایی پرولین را در تعدیل اسمزی در شرایط خشکی بیان می‌کند [۳۸].

۱۰.۳. همبستگی صفات با عملکرد میوه

بین عملکرد و تعداد میوه همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۱٪ وجود دارد و همان‌طور که نتایج نشان داد

افزایش تعداد میوه در آبیاری نرمال در مقایسه با شرایط تنش عامل اصلی افزایش عملکرد بود. همبستگی بین عملکرد و تعداد میوه با شاخص‌های رشدی (سطح برگ و طول بوته) مثبت و در سطح ۱٪ معنی‌دار بود و با افزایش سطح برگ و طول بوته، تعداد میوه در بوته و در نتیجه عملکرد میوه افزایش یافت. همبستگی عملکرد میوه با نشت یونی و فعالیت آنزیم پراکسیداز منفی و معنی‌دار بود و بیانگر آن است که با افزایش نشت یونی و فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت تنش کم‌آبیاری، عملکرد کاهش می‌یابد، به‌عبارت دیگر افزایش عملکرد میوه نشان‌دهنده شرایط بدون تنش می‌باشد. همچنین، بین سطح برگ و طول بوته با نشت یونی و فعالیت آنزیم پراکسیداز همبستگی منفی و معنی‌داری مشاهده شد. عملکرد میوه با هدایت روزنه‌ای، کلروفیل برگ و محتوای نسبی آب برگ همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. افزایش هدایت روزنه‌ای و محتوای کلروفیل باعث افزایش فتوسنتز گردیده، در نتیجه عملکرد افزایش یافت (جدول ۹). افزایش عملکرد در واحد حجم آب مصرفی نشانگر افزایش کارایی آب مصرفی است که طبق نتایج بین عملکرد و کارایی مصرف آب همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد.

جدول ۹. ضریب همبستگی صفات مورد مطالعه

WUE	TY	POX	SC	PL	EL	chl b	chl a	RWC	LA	FN	صفات
										۱	تعداد میوه در بوته (FN)
									۱	۰/۹۱۰**	سطح برگ (LA)
								۱	۰/۷۴۴*	۰/۷۶۴**	محتوای نسبی آب (RWC)
							۱	۰/۷۰۸*	۰/۸۹۶**	۰/۷۷۶**	کلروفیل a (Chla)
						۱	۰/۷۰۵*	۰/۸۵۲**	۰/۶۷۱*	۰/۶۲۶*	کلروفیل b (Chlb)
					۱	-۰/۵۴۳	-۰/۷۵۲**	-۰/۷۷۷**	-۰/۸۸۶**	-۰/۹۲۴**	نشت یونی (EL)
				۱	-۰/۹۱۴**	۰/۶۶۶*	۰/۷۷۹**	۰/۷۵۱**	۰/۸۴۷**	۰/۸۸۳**	طول بوته (PL)
			۱	۰/۷۴۳*	-۰/۸۵۹**	۰/۳۴۰	۰/۶۱۰*	۰/۴۸۷	۰/۷۲۴*	۰/۸۴۵**	هدایت روزنه‌ای (SC)
	۱	-۰/۶۷۶*	-۰/۸۸۸**	۰/۸۳۵**	-۰/۷۷۹**	-۰/۸۰۲**	-۰/۷۶۵**	-۰/۸۸۴**	-۰/۸۶۱**	-۰/۸۶۱**	آنزیم پراکسیداز (POX)
		۱	-۰/۹۲۲**	۰/۷۶۹**	۰/۹۲۱**	-۰/۸۳۲**	۰/۷۸۱**	۰/۷۲۴*	۰/۸۶۶**	۰/۸۵۹**	عملکرد کل (TY)
۱	۰/۶۱۲*	-۰/۴۴۴	۰/۲۶۸	۰/۴۳۳	-۰/۱۹۲	۰/۵۵۹	۰/۴۹۴	۰/۳۲۶	۰/۱۹۸	۰/۲۹۳	کارایی مصرف آب (WUE)

ns * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

۴. نتیجه گیری کلی

تنش کم آبیاری باعث کاهش رشد و عملکرد میوه گردید. بر اساس نتایج سطح برگ، طول بوته و تعداد میوه به طور معنی داری تحت تنش کاهش یافت ولی وزن میوه حساسیت کمتری به تنش کم آبیاری داشت. فعالیت آنزیم پراکسیداز، نشت یونی و تجمع پرولین تحت تنش کم آبیاری افزایش یافت که همبستگی منفی با عملکرد داشت. همچنین، با افزایش هدایت روزنه ای و محتوای نسبی آب برگ، عملکرد میوه نیز افزایش یافت و بیانگر همبستگی مثبت و معنی دار این صفات با عملکرد می باشد. از نظر محتوای نسبی آب برگ، محتوای پرولین و کلروفیل، درصد نشت یونی و فعالیت آنزیم پراکسیداز بین سطوح آبیاری ۱۰۰ درصد و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه تفاوت معنی داری مشاهده نشد. در تیمار کم آبیاری ۷۰ درصد با کاهش ۳۰ درصدی مصرف آب، عملکرد فقط ۱۵/۵ درصد کاهش یافت. در نتیجه افزایش ۱۶/۸ درصدی کارایی مصرف آب حاصل شد، ولی با افزایش تنش کم آبیاری تا ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، کارایی مصرف آب کاهش یافت.

منابع

۱. برزگر ط، دلشاد م، مجدآبادی ع، کاشی ع و قشقای ز (۱۳۹۰) اثر تنش کم آبی بر رشد، عملکرد و برخی شاخص های فیزیولوژیکی خربزه ایرانی. مجله علوم باغبانی ایران. ۴۲ (۴): ۳۵۷-۳۶۳.
۲. زینلی ن، دلشاد م، کاشی ع و حق بین ک (۱۳۹۱) اثر تنش کم آبی بر عملکرد و برخی خصوصیات کیفی سه ژنوتیپ دستببو و طالبی ایران. مجله علوم باغبانی. ۴۳ (۴): ۴۱۰-۴۰۳.
۳. محمودنیا-میمند م، فارسی م، مرعشی ح و عبادی پ (۱۳۹۱) بررسی پاسخ های فیزیولوژیکی چهار گونه

گوجه فرنگی به تنش خشکی. مجله علوم باغبانی.

۲۶ (۴): ۴۰۹-۴۱۶.

۴. وزیري ژ، سلامت ع، انصاری م، مسچی م، حیدری ن و دهقانی سانیچ ح (۱۳۸۷) تبخیر-تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان) (ترجمه). انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، چاپ اول، تهران.
۵. لطفی ه، برزگر ط و ربیعی و (۱۳۹۵) اثر تنش کم آبی بر عملکرد، شاخص های فیزیولوژی و بیوشیمیایی دو توده طالبی بومی ایران. زیست شناسی گیاهی ایران. ۸ (۲۸): ۱-۱۴.

6. Abdul Jaleel C, Manivannan P, Wahid A, Farooq, Somasundaram R and Panneerselvam (2009) Drought stress in plants. A review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*. 11: 100-105
7. Apel Kand Hirt H (2004) Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Plant Biology*. 55: 373-399.
8. Arnon AN (1967) Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*. 23: 112-121.
9. Aydin A, Kant C and Turan M (2012) Humic acid application alleviate salinity stress of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane leakage. *African Journal of Agricultural Research*. 7(7): 1073-1086.
10. Bates LW, Aldren RP and Teare ID (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*. 39: 205-207.
11. Ben Hamed K, Castagna A, Salem E, Ranieri A, Abdelly C (2007) Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. *Plant Growth Regulators*. 53: 185-194.
12. Bybordi A (2012) Study effect of salinity on some physiologic and morphologic properties of two grape cultivars. *Life Science Journal*. 9(4): 1092-1101.
13. Cabello MJ, Castellanos MT, Romojaro F, Martinez-Madrid Cand Ribas F (2009) Yield and quality of melon grown under different irrigation and nitrogen rates. *Agricultural Water Management*. 96: 866-874.

14. Castilla Nand Lopez-Galvez J (1994) Vegetable crop responses in improved low-cost plastic greenhouses. *Journal of Horticulture Science*. 69: 915-921.
15. Chance Band Maehly AC (1955) Assay of catalase and peroxidases. *Methods in Enzymology*. 2: 764-775.
16. Dane F, Liu Jand Zhang C (2006) Phylogeography of the bitter apple (*Citrullus colocynthis*). *Genetic Resources and Crop Evolution*. 54: 327-336.
17. Dat J, Vandenabeele S, Vranova' E, Van Montagu M, Inze' Dand Van Breusegem F (2000) Dual action of active oxygen species during plant stress responses. *Cellular and Molecular Life Science*. 57: 779-795.
18. Dodd AN, Salathia N, Hall A, Kévei E, Tóth R, Nagy F, Hibberd JM, Millar AJand Webb AA (2005) Plant circadian clocks increase photosynthesis, growth, survival, and competitive advantage. *Science*. 309(5734): 630-633.
19. Fabeiro C, Martin de Santa Olalla Fand De Juan JA (2002) Production of muskmelon (*Cucumis melo* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. *Agricultural Water Management*. 54:93-105.
20. Farooq M, Somasundaram Rand Panneerselvam R (2012) Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 11: 100-105.
21. Ferus P, Ferus Ova Sand Kona J (2011) Water dynamics and productivity in dehydrated watermelon plants as modified by red polyethylene mulch. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 35: 391-402.
22. Foyer CHand Noctor G (2005). Oxidant and antioxidant signaling in plants: a reevaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. *Plant, Cell and Environment*. 28: 1056-1071.
23. Guo Z, Ou W, Lu Sand Zhong Q (2006) Deferential response of antioxidative system to chilling and drought in four rice cultivars differing in sensitivity. *Plant Physiology and Biochemistry*. 44: 828-836.
24. Hanson ADand Hitz WD (1982) Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Annual Review of Plant Biology*. 33: 163-203.
25. Inze Dand Van Montagu M (1995) Oxidative stress in plants. *Current Opinion in Biotechnology*. 6: 153-158.
26. Jeffries P, Gianinazi S, perotto S, Turnau Kand J M Barea (2003) The contribution of *Arbuscular mycorrhizal* fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology Fertility Soils*. 37: 1-16.
27. Kavas M, Cengiz Mand Akca O (2013) Effect of drought stress on oxidative damage and antioxidant enzyme activity in melon seedlings'. *Turkish Journal of Biology*. 37: 491-498.
28. Keyvan S (2010) The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 8 (3): 1051-1060
29. Kusvuran S, Dasgan HYand Abak K (2011) Responses of different melon genotypes to drought stress. *Journal of Agriculture Science*. 21: 209-219.
30. Leskovar DI, Bang H, Crosby KM, Maness N, Franco JAand P Perkins-Veazie (2004) Lycopene, carbohydrates, ascorbic acid and yield components of diploid and triploid watermelon cultivars are affected by deficit irrigation. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 79: 75-81.
31. Lu C, Zhang J (1999) Effects of water stress on photosystem II photochemistry and its thermos stability in wheat plants. *Journal of Experimental Botany*. 50: 107-153.
32. Madhava Roa KV, Raghavendra ASand Janardhan Reddy K (2006) *Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants*. Springer, printed in Netherland. 15-39.
33. Margarita M, Crosby KMand Eliezer S (2002) Differential gene expression analysis in melon roots under drought stress conditions. *Subtropical Plant Science*. 54: 6-10.
34. Mohammadzade Zand Soltani F (2015) Morphological and physiological response of two accessions of *Citrullus colocynthis* to drought stress induced by polyethylene glycol. *Iranian Journal of Plant Physiology*. 5(3): 1361-1371.
35. Nayyar Hand 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.
36. Petridis A, Therios I, Samouris G, Koundouras Sand Giannakoula A (2012) Effect of water deficit on leaf phenolic composition, gas exchange, oxidative damage and antioxidant activity of four Greek olive (*Olea europaea*

- L.) cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry*. 60: 1-11.
37. Roupael Y, Cardarelli M, Colla Gand Rea E (2008) Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini watermelon plants under deficit irrigation. *Horticultural Science*. 43: 730-736.
38. Sarker BC, Hara Mand Uemura M (2004) Proline synthesis, physiological responses and biomass yield of eggplants during and after repetitive soil moisture stress. *Horticultural Science*. 103: 387-402.
39. Sensory S, Ertek A, Gedik I and Kucukyumuk C (2007) Irrigation frequency and amount affect yield and quality of field grown melon (*Cucumis melo* L.). *Agricultural Water Management*. 88: 269-274.
40. Shao HB, Chu LY, Jaleel CA and Zhao CX (2008) Water-deficit stress induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*. 331: 215-225.
41. Sharma SP, Leskovar DI, Crosby KM, Volder A and Ibrahim AMH (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.
42. Shishido Y, Yahashi T, Seyama N and Imada S (1992) Effects of leaf position and water management on translocation and distribution of ^{14}C assimilates in fruiting muskmelons. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Sciences*. 60: 897-903.
43. Siddique MRB, Hamid A and Islam MS (2000) Drought stress effects on water relations of wheat. *Botanical bulletin of Academia Sinica*. 41: 25-39.
44. Wang H, Siopongco J, Wade LJ, Yamauchi A (2009) Fractal analysis on root systems of rice plants in response to drought stress. *Environmental and Experimental Botany*. 65(2): 338-344.
45. Zulu NS (2009) Wild watermelon (*Citrullus lanatus* L.) landrace production in response to three seedling growth media and field planting dates. M.Sc. thesis. Faculty of Agriculture KwaZulu-Nata University, Pietermaritzburg.



Crops Improvement

(Journal of Agricultural Crops Production)

Vol. 20 ■ No. 2 ■ Summer 2018

Evaluation of growth, yield, and physiological responses of Bitter Apple (*Citrullus colocynthis*) under deficit irrigation stress conditions

Jasem Parkhideh¹, Taher Barzegar^{2*}, Fatemeh Nekonam³, Jaefar Nikbakht⁴

1. M.Sc. Student, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
3. Former Ph. D. Student, Department of Horticultural Science, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
4. Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Received: January 17, 2017

Accepted: April 5, 2017

Abstract

With the aim of evaluating the effect of deficit irrigation stress on the growth, yield and physiological traits of bitter apple (*Citrullus colocynthis*), an experiment has been conducted with three replications at the research field of University of Zanjan in 2016. Irrigation levels have been 100% of ET_c with two deficit irrigations of 70% and 50% of ET_c. Results show that deficit irrigation stress significantly reduce growth and fruit yield. The lowest leaf area, plant length, fruit number per plant, and fruit yield has been obtained in deficit irrigation of 50% of ET_c. Relative water content and chlorophyll content are significantly decreased in response to increased deficit irrigation stress. Increase in deficit irrigation stress results in higher peroxidase activity, electrolyte leakage, and proline accumulation, although there has been no significant difference between irrigation of 100% and 70% of ET_c. Also, it has been observed that deficit irrigation of 70% of ET_c saves 30% of irrigation water. Although it reduces fruit yield by 15.5%, it causes a 16.8% increase in water use efficiency. Therefore, under limited irrigation water, it is recommended to irrigate bitter apple plants at 70% of ET_c irrigation to produce not only the same yields, approximately, but also save more water, as compared with 100% of ET_c treatment.

Keywords: Fruit yield, leaf area, proline, stomata conductance, water use efficiency.