روابط خاک و گیاه / سال دوازدهم / شماره سوم / پاییز ۱۴۰۰ / صفحات ۱۲-۱
مقاله پژوهشی

بررسی اثر مدیریت آبیاری بر صفات فیزیولوژیک گیاه کینوا (رقم Giza-1) در شرایط گلخانه‌ای

صابر جمالی[۱] و حسین انصاری*

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۱۴)

چکیده

در سال‌های اخیر سطح زیرکشت و مصرف دانه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) در کشور، به‌دلیل خواص تغذیه‌ای و توانایی رشد در شرایط نامساعد، افزایش یافته است. بر اساس وضعیت‌های تغییر اقلیمی دوره‌های طولانی خشکسالی در پیش بوده و این امر بر کاشت و توسعه گیاهان جدید و سازگار با این شرایط، تأکید دارد. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر مدیریت آبیاری بر خواص فیزیولوژیک گیاه کینوا در شرایط گلخانه‌ای در دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شده است. پژوهش حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و به‌صورت کشت گلدانی بر روی گیاه کینوا رقم Giza-1 اجرا شده است. تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش شامل ۴ مدیریت آبیاری (آبیاری کامل یا FI، آبیاری بخشی ریشه متناوب یا APRD، آبیاری بخشی ریشه ثابت یا FPRD و کم‌آبیاری به‌میزان ۵۰ درصد آبیاری کامل یا DI) بود. نتایج نشان داد که استفاده از تیمارهای APRD، FPRD و DI منجر به کاهش شاخص سبزینگی (۱۵/۳، ۲۶/۳ و ۲۸/۳ درصد) و محتوای نسبی آب (RWC) (۱۲/۸، ۲۱/۱ و ۲۰/۴ درصد)، و افزایش پرولین (۱۷/۹، ۳۰/۵ و ۲۴/۲ درصد) در مقایسه با تیمار FI شد. به‌طور کلی، روش APRD در شرایط گلخانه‌ای برای آبیاری این رقم منجر به تولید مناسب بوده و پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بخشی ریشه، پرولین، محتوای کلروفیل، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

کمبود منابع آب با کیفیت مشکلات بزرگی مانند کاهش تولید محصولات غذایی، شوری خاک و فقر غذایی را به‌دنبال دارد و در مناطق خشک و نیمه‌خشک برای تولید محصولات کشاورزی محدودیت ایجاد می‌کند (۱۷). امروزه با به‌کارگیری روش‌های بهبود کارایی مصرف آب در بخش کشاورزی مانند کشت‌های حفاظتی، کشت گیاهان سازگار با تنش آبی و استفاده از روش‌هایی برای مدیریت آب در مزرعه علاوه بر بهبود در در کارایی مصرف آب، منجر به بهبود در عملکرد محصولات کشاورزی از نظر کمی و کیفی نیز می‌شود که خود امنیت غذایی و امنیت آبی در کشور را در پی دارد (۱۵). امروزه استفاده از روش‌های مختلف کم‌آبیاری مطرح است که منجر به بیشینه تولید و سود می‌شود. کم‌آبیاری راهکاری برای مصرف بهینه آب است که در طی آن گیاه در طول دوره رشد خود با تنش آبی مواجه می‌شود.

در پژوهش‌هایی که بر روی ارقام و لاین‌های مختلف گیاه

۱- گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Ansary@um.ac.ir

کینوا نظیر KVL52، Rainbow، Illpa، Sajama، Titicaca، Q5 و NSL106399 در کشورهای مختلف مانند ایران، مراکش، چین، عربستان و پاکستان به‌منظور بررسی آثار تنش آبی، مدیریت‌های مختلف آبیاری (آبیاری بخشی و کم‌آبیاری تنظیم شده) و دورهای مختلف آبیاری بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه انجام شد، نتایج نشان داد که کم‌آبیاری سبب کاهش در هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب (RWC)، محتوای کلروفیل برگ (شاخص SPAD)، پرولین، مقدار کلروفیل a، b، a/b و a+b در طول فصل رشد گیاه شد (۲، ۴، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۸، ۲۱، ۲۴ و ۲۷). در پژوهشی که بر روی گیاه کینوا اجرا شد، نتایج نشان داد که در طول فصل رشد هدایت روزنه‌ای گیاه در رژیم‌های آبیاری ۵۰ و ۳۳ درصد نیاز آبی نسبت به تیمار آبیاری کامل کاهش یافته است (۱۱).

در پژوهشی بر روی درخت گلابی انجام شد، نتایج از عدم معنی‌داری در پتانسیل آب خاک و برگ در دو تیمار آبیاری بخشی ریشه و کم‌آبیاری تنظیم شده حکایت دارد. همچنین نتایج نشان داد که اعمال تیمارهای مدیریتی کم‌آبیاری اثری بر هدایت روزنه‌ای و تبادلات گازی برگ گیاه ندارد و آبیاری بخشی ریشه در اقلیم خشک نسبت به کم‌آبیاری تنظیم شده برتری ندارد (۲۶). پژوهش دیگری بر روی چغندرقند در استان همدان انجام شد و نتایج نشان داد که اعمال تیمارهای آبیاری بخشی ریشه نسبت به کم‌آبیاری تنظیم شده نتایج بهتری در حجم یکسان آبیاری در عملکرد، کارایی مصرف آب و عملکرد قند دارد (۲۸). در پژوهشی که بر روی گیاه تنباکو به‌منظور بررسی اثر آبیاری بخشی ریشه بر شاخص‌های رشدی و بیوشیمیایی این گیاه انجام شد، نتایج نشان داد که اعمال این تیمارها منجر به کاهش هدایت روزنه‌ای در این گیاه می‌شود (۱۸). در پژوهشی که به‌منظور بررسی آثار آبیاری بخشی ریشه بر روی درخت زیتون انجام شد، نتایج نشان داد که اعمال این تیمار نسبت به آبیاری کامل منجر به کاهش هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز گیاه شده است (۱).

کمبود منابع آب شیرین و افزایش روزافزون جمعیت، افزایش تقاضای آب و مواد غذایی را به همراه دارد و همچنین در سال‌های اخیر خشکسالی‌ها نیز مزید بر علت شده تا یافتن راهکاری برای بهبود کارایی مصرف آب در کشاورزی بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد. از این‌رو در این پژوهش از گیاه کینوا به‌عنوان گیاه سازگار با کم‌آبیاری و تنش خشکی و روش مدیریتی آبیاری بخشی ریشه و کم‌آبیاری برای بهبود در بهره‌وری مصرف آب استفاده شده است؛ بنابراین این پژوهش با هدف بررسی اثر مدیریت آبیاری بر خواص فیزیولوژیک گیاه کینوا رقم Giza-1 انجام شده است.

مواد و روش‌ها

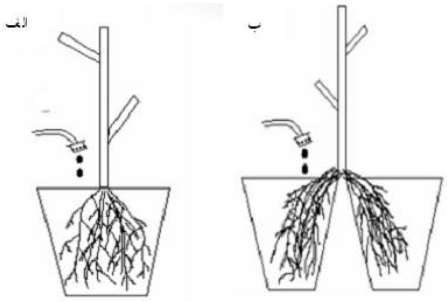
به‌منظور بررسی اثر روش‌های مختلف کم‌آبیاری بر خواص رشدی و فیزیولوژیک گیاه کینوا رقم Giza-1 پژوهشی در سال ۹۸-۱۳۹۷ بر پایه کشت گلدانی و با سه تکرار در گلدان‌هایی با ابعاد ۲۰ سانتی‌متر (قطر) و ۳۰ سانتی‌متر (ارتفاع) در گلخانه پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد با موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی، ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۹۵۸ متر ارتفاع از سطح دریا و در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش شامل ۴ مدیریت آبیاری (آبیاری کامل یا FI[1]، کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد آبیاری کامل یا DI[2]، آبیاری بخشی ریشه ثابت یا FPRD[3] و آبیاری بخشی ریشه متناوب یا APRD[4]) بود. میانگین دما و رطوبت نسبی مکان مورد بررسی در جدول (۱) ارائه شده است. در ابتدا تیغه‌های پلی‌کربناتی با توجه به ابعاد صفحه تقارن گلدان بریده شده (از این صفحات برای جدا کردن محدوده توسعه ریشه‌ها استفاده شد) و با چسب آکواریوم در مکان خود نصب و آب‌بندی شد؛ لازم به ذکر است که قسمت بالای آن به‌صورت مثلثی برش داده شد تا ریشه‌ها بتوانند، در دو سمت تیغه رشد داشته باشند (شکل ۱). پس از نصب

1. Full irrigation
2. Deficit irrigation
3. Fixed partial root-zone drying
4. Alternate partial root-zone drying

جدول ۱. میانگین دما و رطوبت نسبی در گلخانه.

Table 1. Mean temperature and relative humidity in the greenhouse.

ماه Month	میانگین دما Mean temperature		میانگین رطوبت نسبی داخل گلخانه Mean relative humidity in the greenhouse
	داخل in	بیرون out	
اسفند March	24.0	7.2	75.0
فروردین April	23.2	14.5	79.0
اردیبهشت May	23.0	21.7	78.0
خرداد June	24.1	30.1	76.0



شکل ۱. الف) آبیاری کامل و ب) خشکی بخشی ریشه.

Fig. 1. a) Full irrigation and b) Partial root-zone drying.

تیغه‌ها در انتهای گلدان‌ها به‌منظور بهبود در زهکشی به‌صورت یکسان از سنگریزه استفاده شده و در ادامه گلدان‌ها با خاک مرکب (۴۰، ۳۰، ۲۰ و ۱۰ درصد خاک، ماسه، کود دامی و پرلیت) با بافت لومی پر شدند (جدول ۲). میزان آب آبیاری بر اساس روش وزنی محاسبه شد؛ برای این منظور در ابتدا گلدان‌ها به‌طور یکسان از خاک پر شده (وزن هر گلدان ۸/۵ کیلوگرم بود) و وزن شدند و پس از آن گلدان‌ها را اشباع کرده و به‌مدت ۴۸ ساعت روی سطح مشبک قرار داده شد تا هر گلدان پس از زهکشی آب اضافی به گنجایش گلدانی برسد. در این مرحله گلدان‌ها به‌سرعت وزن شدند (وزن گلدان‌ها ۱۰/۰ کیلوگرم بود). در ادامه پس از مشخص شدن درصد وزنی رطوبت خاک در حد گنجایش مزرعه (FC)، میزان رطوبت موجود در خاک برای اعمال تیمارهای رطوبتی مختلف مشخص شد. دور آبیاری بر اساس تعیین رطوبت موجود در خاک با استفاده از دستگاه TDR مدل PMS-714 اعمال شد (۱۵)، به‌گونه‌ای که با قرائت روزانه دستگاه TDR (با توجه به مقاوم بودن این گیاه به تنش خشکی و با فرض MAD برابر با ۰/۵ یا به عبارت دیگر رسیدن قرائت رطوبت با TDR به ۱۸/۷ درصد رطوبت حجمی) زمان آبیاری تعیین شد. در تیمار آبیاری کامل، به میزان کمبود آب هر گلدان از FC بدان آب داده شد. تا مرحله استقرار گیاه، آبیاری تمام تیمارها با استفاده از آب شهری و به میزان FC انجام شد و سپس اعمال تیمارها صورت پذیرفت. در تاریخ ۲۰ اسفند ۱۳۹۷، بذر کینوا رقم Giza-1 در وسط صفحه و قسمت مثلثی کشت شد. در ابتدا برای اینکه بذرها از جای خود که در قسمت مثلثی کشت شده جابه‌جا نشود، روزانه ۱۰۰ سی‌سی آب به هر گلدان با استفاده از پیست در مدت زمان جوانه‌زنی افزوده شد. پس از رسیدن گیاهان به مرحله ۴ برگچه‌ای، تراکم بوته‌ها در گلدان به ۳ بوته تقلیل یافت.

به‌منظور اعمال آبیاری بخشی ریشه، پس از طی یک دور آبیاری، در روش آبیاری بخشی ریشه متناوب نیمی از حجم خاک گلدان، مقدار آبی، برابر با نصف نیاز آبی تیمار آبیاری کامل داده شد، به عبارت دیگر ۵۰ درصد آبیاری کامل، به

جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده.

Table 2. Some physical and chemical properties of the studied soil.

بافت خاک Soil texture	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	گنجایش مزرعه FC	پژمردگی دائم PWP	چگالی ظاهری Bulk density	رسانایی الکتریکی Electrical conductivity	pH	نیتروژن	کربن آلی	فسفر	پتاسیم
	درصد وزنی					$g\ cm^{-3}$	$dS\ m^{-1}$	درصد			$mg\ kg^{-1}$	
لوم	43	40	17	25.4	12.1	1.3	1.0	7.78	0.06	0.72	10.8	102.9

نصف گلدان تیمار آبیاری بخشی افزوده شده و نیمه دیگر خشک نگه داشته شد. در دور بعدی آبیاری، قسمتی از خاک که خشک بوده آبیاری شد ولی در آبیاری بخشی ریشه ثابت تا انتهای دوره رشد یک سمت از گلدان همواره خشک بود. وجین علف‌های هرز با دست و در طی ۴ مرحله انجام شد. صفات فیزیولوژیک گیاه شامل هدایت روزنه‌ای (با استفاده از دستگاه Leaf Porometer)، شاخص سبزینگی (با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر SPAD 502) و دمای سطح برگ (با استفاده از دستگاه دماسنج مادون قرمز مدل Testo 830-T1) طی چند مرحله مورد پایش قرار گرفت و صفات کلروفیل a و b (با استفاده از روش آرنون (۷))، پرولین (با استفاده از روش باتس و همکاران (۸)) و محتوای نسبی آب برگ (با استفاده از روش ناز و همکاران (۱۸)) یک مرحله برداشت شد (لازم به ذکر است که برای این صفات از چند برگ بالغ استفاده شد). نمونه‌های تازه به آزمایشگاه منتقل شده و با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شده و برای اندازه‌گیری وزن خشک برگ، نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شدند و سپس وزن آن‌ها تعیین شد.

برای محاسبه میزان نسبی آب برگ (RWC[1]) از رابطه (۱) استفاده شد؛ لازم به ذکر است که در این رابطه W_f (جرم تازه)، W_t (جرم آماس کامل) و W_d (جرم خشک) است:

$$RWC = \frac{W_f - W_d}{W_t - W_d} \times 100 \qquad (۱)$$

برای محاسبه شاخص شادابی[2] (SucI) از رابطه (۲) استفاده شد:

$$SucI = \frac{W_f - W_d}{0.785} \qquad (۲)$$

برای تعیین محتوای کلروفیل از روابط (۳) و (۴) مقادیر کلروفیل a (Chl a) و کلروفیل b (Chl b) استفاده شد؛ در این روابط A645، A663، W و V به‌ترتیب جذب نور در طول‌موج ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر، وزن تازه نمونه (گرم) و حجم محلول صاف‌شده (میلی‌لیتر) است:

$$Chl\ a = \frac{(12.7 \times A663 - 2.69 \times A645)V}{1000W} \qquad (۳)$$

$$Chl\ b = \frac{(22.9 \times A645 - 4.68 \times A663)V}{1000W} \qquad (۴)$$

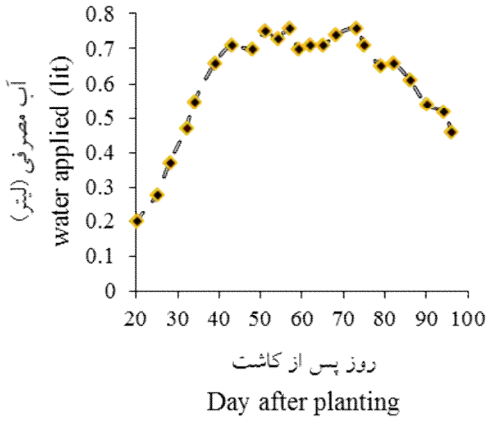
در پایان پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4، مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

در شکل (۲) میزان آب آبیاری در طول دوره رشدی گیاه در آبیاری کامل ارائه شده است. بر اساس نتایج این شکل، حجم آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل برابر ۱۵/۶ لیتر و در تیمارهای دیگر برابر ۸/۳ لیتر بود.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری بر خواص فیزیولوژیک گیاه کینوا شامل هدایت روزنه‌ای، شاخص سبزینگی و کلروفیل a/b در سطح احتمال یک درصد و بر کلروفیل a، b و a+b؛ RWC و پرولین در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. بر اساس جدول (۴) بیش‌ترین و کم‌ترین میزان دمای سطح برگ با ۲۴/۶ و ۲۳/۸ درجه

1. Relative water content
2. Succulence index



شکل ۲. حجم آب آبیاری مصرفی در طول دوره رشد.

Fig. 2. Volume of irrigation water applied during growth tages.

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر تیمارهای مدیریت آبیاری بر صفات فیزیولوژیک گیاه کینوا.

Table 3. Analysis of variance of physiological properties of Quinoa as affected by irrigation management treatments.

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares								
		دمای سطح برگ Leaf temperature	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	شاخص سبزینگی SPAD index	کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	کلروفیل a+b Chl a+b	کلروفیل a/b Chl a/b	محتوای نسبی آب برگ Relative water content	پرولین Proline
مدیریت آبیاری Irrigation management	3	0.48 ns	331.3 **	124.8 **	0.005 *	0.02 *	0.038 **	0.007 *	92.9 *	0.05 *
خطا Error	8	0.12	1.5	1.9	0.0003	0.001	0.002	0.002	8.4	0.007
ضریب تغییرات Coefficient of variation (٪)		1.5	2.7	3.4	9.2	9.9	9.5	8.3	5.9	7.6

** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد (significant at 1% levels)، * معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد (significant at 5% levels) و ns عدم معنی‌داری (non-significant)

سلسیوس به‌ترتیب در تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری مشاهده شد.

بیش‌ترین مقادیر صفات کلروفیل a، b، a+b و a/b در تیمار آبیاری کامل و با ۰/۲۳، ۰/۳۸، ۰/۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ و ۰/۶۱ مشاهده شد؛ از طرفی کم‌ترین مقدار این صفات نیز ۰/۱۳، ۰/۳۱، ۰/۴۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ (کم‌آبیاری) و ۰/۳۷ (آبیاری بخشی ریشه ثابت) اندازه‌گیری شد (جدول ۴). اعمال مدیریت‌های آبیاری بخشی ریشه متناوب و ثابت منجر به تغییرات در صفات کلروفیل a (به‌ترتیب ۲۱/۷- و ۳۹/۱- درصد)، کلروفیل b (به‌ترتیب ۱۳/۲+ و ۷/۹+ درصد)، کلروفیل a/b (به‌ترتیب ۳۱/۱- و ۳۹/۳- درصد) و کلروفیل a+b (به‌ترتیب ۰/۰ و ۹/۸- درصد) نسبت به تیمار آبیاری کامل شد. لازم به ذکر است که علائم مثبت، منفی و صفر به‌ترتیب بیانگر افزایش، کاهش و بدون تغییر در صفات مذکور نسبت به آبیاری کامل است (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نتایج نشان داد که اعمال مدیریت کم‌آبیاری سبب کاهش در صفات

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مدیریت آبیاری بر صفات فیزیولوژیک کینوا.

Table 4. Mean comparisons of Quinoa physiological properties as affected by irrigation management treatments.

LSD (0.05)	کم‌آبیاری DI	آبیاری بخشی ریشه ثابت FPDR	آبیاری بخشی ریشه متناوب APRD	آبیاری کامل FI		تیمارها Treatments
0.7	23.8 a (-3.3)	24.2 a (-1.6)	24.5 a (-0.4)	24.6 a	ºC	دمای سطح برگ Leaf temperature
2.3	34.8 d (-40.9)	39.3 c (-33.3)	46.7 b (-20.7)	58.9 a	mmol m^{-2} s^{-1}	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance
2.6	35.7 c (-28.3)	36.7 c (-26.3)	42.2 b (-15.3)	49.8 a	-	شاخص سبزینگی SPAD index
0.03	0.13 c (-43.5)	0.14 c (-39.1)	0.18 b (-21.7)	0.23 a	mg g^{-1} leaf FW	کلروفیل a Chl a
0.06	0.31 b (-18.4)	0.41 a (+7.9)	0.43 a (+13.2)	0.38 a		کلروفیل b Chl b
0.09	0.44 b (-27.9)	0.55 a (-9.8)	0.61 a (0.0)	0.61 a		کلروفیل a+b Chl a+b
0.08	0.38 b (-37.7)	0.37 b (-39.3)	0.42 b (-31.1)	0.61 a	-	کلروفیل a/b Chl a/b
5.5	45.4 b (-20.4)	45 b (-21.1)	49.7 b (-12.8)	57.0 a	%	محتوای نسبی آب برگ Relative water content
0.16	1.18 a (+24.2)	1.24 a (+30.5)	1.12 a (+17.9)	0.95 b	µmol g^{-1} leaf FW	پرولین Proline

حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم معنی‌داری مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد است؛ FI: آبیاری کامل، APRD: آبیاری بخشی ریشه متناوب، FPRD: آبیاری بخشی ریشه ثابت، DI: کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد آبیاری کامل.

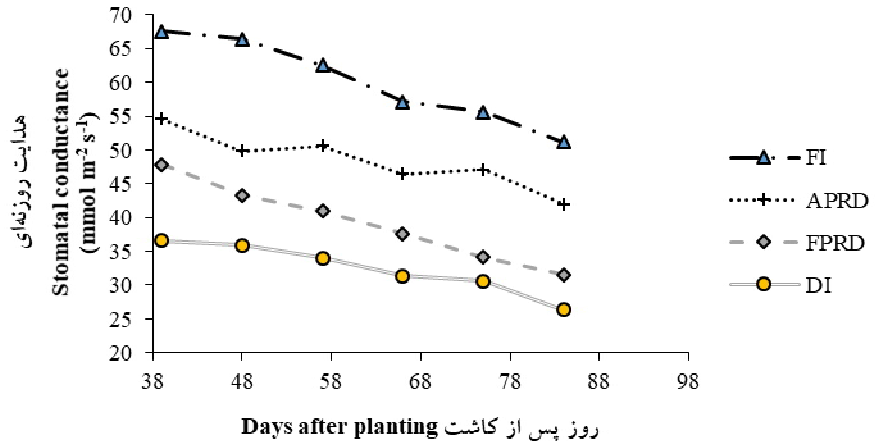
Numbers followed by the same letter are not significantly different ($P < 0.05$); FI: Full irrigation, APRD: Alternate partial root-zone drying, FPRD: Fixed partial root-zone drying, DI: Deficit irrigation

کلروفیل a (۴۳/۵ درصد)، کلروفیل b (به‌ترتیب ۱۸/۴ درصد)، کلروفیل a/b (به‌ترتیب ۳۷/۷ درصد) و کلروفیل a+b (۲۷/۹ درصد) شد. نتایج این پژوهش با نتایج یانگ و همکاران (۲۷) و داشاب و امیدی (۹) بر روی کینوا و صالحی و همکاران (۲۲) بر روی گوجه‌فرنگی همسو بود. از جمله دلایل کاهش کلروفیل در شرایط تنش آبی و شرایط اعمال تیمارهای کم‌آبیاری می‌توان به تخریب کلروفیل در این شرایط توسط رادیکال‌های آزاد اشاره کرد (۲۰). بر اساس پژوهش برخی پژوهشگران به‌دلیل اینکه پرولین و کلروفیل هر دو از گلوتومات سنتز می‌شوند، به نظر می‌رسد افزایش میزان پرولین منجر به کاهش کلروفیل برگ می‌شود (۳ و ۶). همچنین تحت شرایط کم‌آبی، بازیابی مواد غذایی به‌ویژه نیتروژن از کلروپلاست‌ها که برای ساختن کلروفیل موردنیاز هستند، کاهش می‌یابد و سرعت تولید کلروفیل کند و کندتر می‌شود. در پژوهش حاضر، سرعت پیری برگ به‌دلیل کاهش محتوای آب گیاه در تیمارهای تنشی منجر به کاهش میزان کلروفیل نسبت به آبیاری کامل شده است، از طرفی بر اساس نظر برخی پژوهشگران، رنگدانه‌های گیاهی به تنش آبی حساس بوده و خود عاملی بر کاهش این صفت در شرایط تنشی است (۱۴ و ۲۷).

با توجه به با جدول (۴)، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار RWC با ۵۷/۰ و ۴۵/۰ درصد در تیمارهای آبیاری کامل و آبیاری بخشی ریشه ثابت مشاهده شد. از طرفی نتایج گویای عدم معنی‌داری در مقایسه میانگین‌های این صفت در تیمارهای آبیاری بخشی ریشه متناوب و ثابت و کم‌آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد بود. اعمال مدیریت‌های آبیاری بخشی ریشه متناوب و ثابت و کم‌آبیاری به‌ترتیب سبب کاهش ۱۲/۸، ۲۱/۱ و ۲۰/۴ درصدی در صفت RWC شد (جدول ۴). اعمال تیمارهای مختلف آبیاری سبب افزایش در صفت پرولین به

میزان ۱۷/۹ درصد (آبیاری بخشی ریشه متناوب)، ۳۰/۵ درصد (آبیاری بخشی ریشه ثابت) و ۲۴/۲ درصد (کم‌آبیاری) شد (جدول ۴).

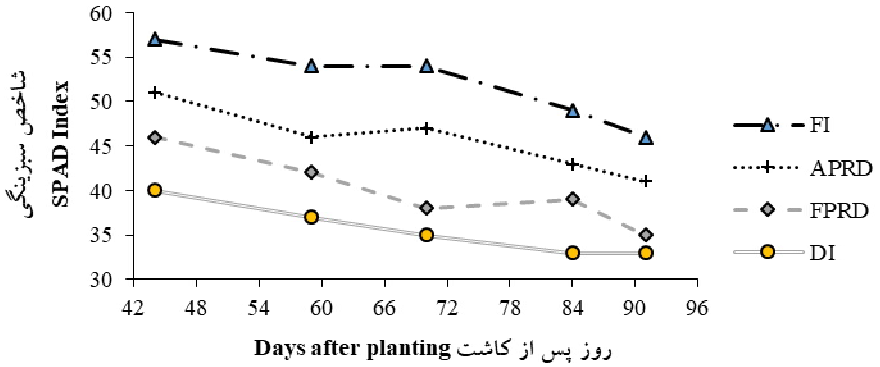
با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴)، بیش‌ترین (۱/۲۴ میکرومول بر گرم وزن تازه برگ) و کم‌ترین (۰/۹۵ میکرومول بر گرم وزن تازه برگ) میزان پرولین برگ در تیمارهای آبیاری بخشی ریشه ثابت و آبیاری کامل مشاهده شد. از طرفی بین تیمارهای آبیاری بخشی ریشه متناوب و ثابت و کم‌آبیاری اختلاف معنی‌داری از نظر مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD مشاهده نشد. نتایج این پژوهش با نتایج فقیر و همکاران (۱۱) و داشاب و امیدی (۹) بر روی کینوا هم‌خوانی داشت. نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش عبود و همکاران (۱) بر روی زیتون هم‌خوانی داشت. بر اساس پژوهش ناز و همکاران که بر روی کینوا انجام شده است، گیاه برای مقاومت در برابر تنش خشکی، با افزایش سنتز و ذخیره‌سازی پرولین، محتوای پرولین را افزایش داده و پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد. گیاه اسیدهای آمینه مانند پرولین را در شرایط تنشی در سلول خود جذب و ذخیره می‌کند و باعث تنظیم فشار اسمزی می‌شود که در نهایت به توسعه و رشد سلول منتج می‌شود. افزایش پرولین در حفاظت گیاه در برابر اکسیژن فعال و تنش اکسیداتیو نقش به‌سزایی را ایفا می‌کند (۱۹). در شرایط تنشی گیاه برای زنده ماندن آب خروجی را با استفاده از سازوکارهایی نظیر کوچک کردن برگ‌ها محدود کرده و برای نگهداشت آب روزنه‌های خود را بسته نگه می‌دارد. در طول تنش خشکی، تعادل آب گیاه مختل شده و در نتیجه، RWC و پتانسیل آب برگ‌ها کاهش می‌یابد؛ به عبارت دیگر در گیاهان تحت تنش خشکی، توسعه رشدی سلول‌ها کم‌تر بوده و به تبع آن برگ‌ها کوچک‌تر شده و سرعت فتوسنتز برگ‌ها یافته که با کاهش محتوی نسبی آب و پتانسیل آب برگ همراه است (۱۴ و ۲۶). هدایت روزنه‌ای در تیمار آبیاری کامل با ۵۸/۹ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه دارای بیش‌ترین میزان و در تیمار کم‌آبیاری با ۳۴/۸ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه دارای کم‌ترین میزان بود (جدول ۴). اعمال مدیریت‌های مختلف بر روی گیاهان منجر به کاهش ۲۰/۷ (آبیاری بخشی ریشه متناوب)، ۳۳/۳ (آبیاری بخشی ریشه ثابت) و ۴۰/۹ درصدی (کم‌آبیاری) در این صفت شد (جدول ۴). برای صفت شاخص سبزینگی، در بین تیمارهای آبیاری بخشی ریشه ثابت و کم‌آبیاری در مقایسه میانگین‌ها، اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده نشد (جدول ۴)؛ ولی بیش‌ترین (۴۹/۸) و کم‌ترین (۳۵/۷) میزان این صفت در تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری مشاهده شد. اعمال تیمارهای آبیاری بخشی ریشه متناوب، ثابت و کم‌آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار ۱۵/۳، ۲۶/۳ و ۲۸/۳ درصدی صفت شاخص سبزینگی شد (جدول ۴). بر اساس نتایج شکل‌های (۳) و (۴)، در طول فصل رشد مقادیر هدایت روزنه‌ای و شاخص سبزینگی در تمامی تیمارها کاهش یافت به طوری که بیش‌ترین مقدار این صفات در ابتدای داده‌برداری مشاهده شد. با توجه به شکل‌های (۳) و (۴)، دو صفت هدایت روزنه‌ای و شاخص سبزینگی دارای روند کاهشی تا انتهای فصل رشد بوده است که دلیل آن می‌تواند پیر شدن برگ‌ها، زرد شدن آن و یا رسیدن به انتهای فصل فیزیولوژیک گیاه باشد. روند تغییرات هدایت روزنه‌ای و شاخص سبزینگی در تیمارهای مختلف نشان‌دهنده این است که مقادیر این دو صفت از روند آبیاری کامل > آبیاری بخشی ریشه متناوب > آبیاری بخشی ریشه ثابت > کم‌آبیاری تبعیت می‌کند. تجمع اسید آبسزیک در سلول‌های محافظ روزنه در اثر انتقال پیام از ریشه به برگ و کاهش محتوای نسبی برگ از مهم‌ترین دلایل بسته‌شدن روزنه‌ها در اثر تنش خشکی است (۲۳). بسته‌شدن روزنه‌ها از اولین پاسخ‌های گیاه به تنش خشکی است و به‌نظر می‌رسد که علت اصلی اختلال فتوسنتز ناشی از خشکی نیز همین مهم باشد (۲۵). نتایج این پژوهش با علی و همکاران (۴) و آلوارو بلترن و همکاران (۵) بر روی کینوا همخوانی داشت. بر اساس نتایج شکل (۵)، با گذر زمان از ابتدای کشت گیاهان، از میزان شادابی برگ کاسته شده است. در تیمارهای مختلف آبیاری نیز کاهش شادابی برگ قابل



شکل ۳. روند زمانی تغییرات هدایت روزنه‌ای گیاه کینوا در مدیریت‌های مختلف آبیاری؛

FI: آبیاری کامل، APRD: آبیاری بخشی ریشه متناوب، FPRD: آبیاری بخشی ریشه ثابت، DI: کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد آبیاری کامل.

Fig. 3. Variation trend of stomatal conductance of Quinoa with time in different irrigation managements;
FI: Full irrigation, APRD: Alternate partial root-zone drying, FPRD: Fixed partial root-zone drying, DI: Deficit irrigation.



شکل ۴. روند زمانی تغییرات شاخص سبزینگی گیاه کینوا در مدیریت‌های مختلف آبیاری؛

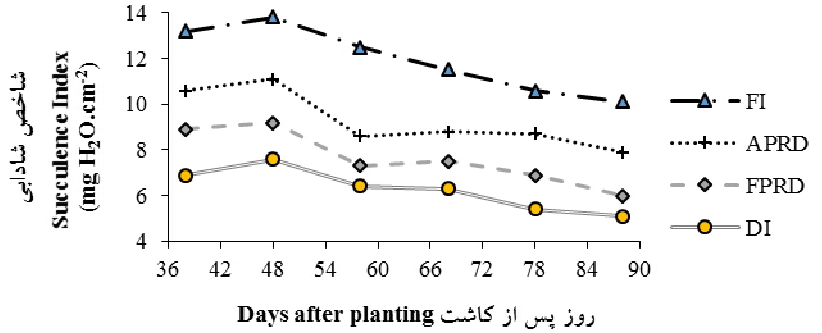
FI: آبیاری کامل، APRD: آبیاری بخشی ریشه متناوب، FPRD: آبیاری بخشی ریشه ثابت، DI: کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد آبیاری کامل.

Fig. 4. Variation trend of SPAD index of Quinoa under irrigation moderations;
FI: Full irrigation, APRD: Alternate partial root-zone drying, FPRD: Fixed partial root-zone drying, DI: Deficit irrigation.

مشاهده است که دلیل آن می‌تواند اثر شدیدتر کاهش مصرف آب آبیاری بر محتوای آب برگ نسبت به گسترش سطح برگ باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان از کاهش بسیاری از صفات فیزیولوژیک گیاه کینوا رقم Giza-1 در شرایط اعمال تیمارهای مورد بررسی بود. به‌طور مثال استفاده از تیمارهای آبیاری بخشی ریشه متغیر (APRD)، آبیاری بخشی ریشه ثابت (FPRD) و کم‌آبیاری (DI) منجر به کاهش شاخص سبزینگی (۱۵/۳، ۲۶/۳ و ۲۸/۳ درصد)، RWC (۱۲/۸، ۲۱/۱ و ۲۰/۴ درصد) و افزایش پرولین (۱۷/۹، ۳۰/۵ و ۲۴/۲ درصد) در مقایسه با تیمار آبیاری کامل (FI) شد. مطابق نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق گیاه کینوا ازجمله گیاهان متحمل به تنش آبی بوده و همچنین با عنایت به موضوع کمبود منابع آب شیرین در ایران می‌توان از تیمار آبیاری بخشی با در نظر گرفتن کاهش عملکرد در این گیاه استفاده کرد، بنابراین از روش آبیاری بخشی ریشه متغیر (APRD) با توجه به اثرات منفی کم‌تر بر روی خواص



شکل ۵. روند زمانی تغییرات شاخص شادابی گیاه کینوا در مدیریت‌های مختلف آبیاری؛

FI: آبیاری کامل، APRD: آبیاری بخشی ریشه متناوب، FPRD: آبیاری بخشی ریشه ثابت، DI: کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد آبیاری کامل.

Fig. 6. Variation trend of succulence index of Quinoa with time in different irrigation managements;
FI: Full irrigation, APRD: Alternate partial root-zone drying, FPRD: Fixed partial root-zone drying, DI: Deficit irrigation.

فیزیولوژیکی گیاه در شرایط گلخانه‌ای برای آبیاری این رقم پیشنهاد می‌شود. به‌طور کلی، آبیاری بخشی ریشه برای آبیاری محصولات کشاورزی نظیر گیاه کینوا در کشور با مدیریت مناسب و مطلوب، می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مناسب برای استفاده بهینه از آب در آبیاری در شرایط بحران آب مورد استفاده قرار گیرد، هرچند که لازم است آزمایش‌های بیشتری (به‌ویژه در شرایط مزرعه‌ای) برای تأیید نتایج پژوهش حاضر انجام شود.

منابع مورد استفاده

1. Abboud, S., Vives-Peris, V., Dbara, S., Gómez-Cadenas, A., Pérez-Clemente, R. M., Abidi, W., Braham, M., 2021. Water status, biochemical and hormonal changes involved in the response of *Olea europaea* L. to water deficit induced by partial root-zone drying irrigation (PRD). *Scientia Horticulturae* 276: 109737.
2. Abdelaziz, H., Redouane, C.A., 2020. Phenotyping the combined effect of heat and water stress on quinoa. In: Abdelaziz, H., Redouane, C.A., Ragab, R. (Eds.), Emerging Research in Alternative Crops. Springer, Cham, pp. 163–183.
3. Aghcheli, S., Rahemi Karizaki, A., Gholamalipour Alamdari, E., Gholizadeh, A., Davoodi, S.H., 2019. Evaluation of some physiological traits of winter cereals under low irrigation. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 12(3): 673–683. (in Persian with English abstract)
4. Ali, O.I., Fghire, R., Anaya, F., Benlhabib, O., Wahbi, S., 2019. Physiological and morphological responses of two quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought stress. *Gesunde Pflanzen* 71(2): 123–133.
5. Alvar-Beltrán, J., Saturnin, C., Dao, A., Dalla Marta, A., Sanou, J., Orlandini, S., 2019. Effect of drought and nitrogen fertilisation on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under field conditions in Burkina Faso. *Italian Journal of Agrometeorology* 1: 33–43.
6. Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C., Lei, W., 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research* 6(9): 2026–2032.
7. Arnon, D.I., 1949. Copper enzyme in isolated chloroplasts polyphenol oxidase in Beta vulgaris. *Plant Physiology* 24: 1–15.
8. Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39(1): 205–207.
9. Dashab, S., Omidi, H., 2020. The effect of deficit irrigation on physiological characteristics of native seedlings of quinoa. The 7th National Congress on Biology and Natural Sciences of Iran. Tehran. 1–5. (in Persian)
10. Fghire, R., Anaya, F., Ali, O.I., Benlhabib, O., Ragab, R., Wahbi, S., 2015. Physiological and photosynthetic response of quinoa to drought stress. *Chilean Journal of Agricultural Research* 75(2): 174–183.
11. Fghire, R., Anaya, F., Issa, O.A., Wahbi, S., 2017. Physiological and growth response traits to water deficit as indicators of tolerance criteria between quinoa genotypes. *Journal of Materials and Environmental Sciences* 8(6): 2084–2093.
12. Gámez, A. L., Soba, D., Zamarreño, Á. M., García-Mina, J. M., Aranjuelo, I., Morales, F., 2019. Effect of water

stress during grain filling on yield, quality and physiological traits of Illpa and Rainbow quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *Plants* 8(6): 173.
13. González, J.A., Gallardo, M., Hilal, M., Rosa, M., Prado, F.E. 2009. Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought and waterlogging stresses: dry matter partitioning. *Botanical Studies* 50(1): 35–42.
14. Goto, K., Yabuta, S., Ssenyonga, P., Tamaru, S., Sakagami, J. I. 2021. Response of leaf water potential, stomatal conductance and chlorophyll content under different levels of soil water, air vapor pressure deficit and solar radiation in chili pepper (*Capsicum chinense*). *Scientia Horticulturae* 281: 1–11.
15. Haghighati, B., Boroumandnasab, S., Nasseri, A., 2015. Effect of different deficit irrigation managements in furrow and tape drip methods on potato yield and water productivity. *Journal of Water Research in Agriculture* 29(2): 181–193. (in Persian with English abstract)
16. Jamali, S., Ansari, H., Zeynodin, S.M., 2020. The effects of partial root zone drying and growing bed on yield and its components of quinoa (cv. Titicaca). *Journal of Water and Soil* 34(1): 1–10. (in Persian with English abstract)
17. Khashaei, F., Behmanesh, J., Rezaverdinejad, V., Azad, N., 2020. Effect of the amount of irrigation and nitrogen fertilizer splitting on grain yield, yield components and water productivity of corn under subsurface drip irrigation. *Journal of Water Research in Agriculture* 33(4): 601–612. (in Persian with English abstract)
18. Liu, X., Wei, Z., Manevski, K., Liu, J., Ma, Y., Andersen, M. N., Liu, F., 2021. Partial root-zone drying irrigation increases water-use efficiency of tobacco plants amended with biochar. *Industrial Crops and Products* 166: 113487.
19. Naz, H., Akram, N.A., Kong, H., 2020. Assessment of secondary metabolism involvement in water stress tolerance of quinoa subjected to water regimes. *Pakistan Journal of Botany* 52(5): 1553–1559.
20. Ranjbar Fordoei, A., Dehghani Bidgholi, R., 2016. Impact of salinity stress on photochemical efficiency of photosystem II, chlorophyll content and nutrient elements of Nitere Bush (*Nitraria schoberi* L.) plants. *Journal Range Science* 6(1): 3–9.
21. Razzaghi, F., Bahadori-Ghasroldashti, M.R., Henriksen, S., Sepaskhah, A.R., Jacobsen, S.E., 2020. Physiological characteristics and irrigation water productivity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to deficit irrigation imposed at different growing stages-A field study from Southern Iran. *Journal of Agronomy and Crop Science* 206(3): 390–404.
22. Salehi Tizabi, S., Goldani, M., Nabati, J., 2020. Effect of partial root-zone drying and deficit irrigation on growth characteristics of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 14(1): 1–13. (in Persian with English abstract)
23. Steiner, M., Toth, E.G., Juhasz, A., Dioszegi, M.S., Hrotko, K., 2014. Stomatal responses of drought and heat stressed linden (Tilia sp.) leaves. *Horticulture and Landscape Engineering* 6: 7–10.
24. Stikić, R., Jovanović, Z., Marjanović, M., Đorđević, S., 2015. The effect of drought on water regime and growth of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Ratarstvo i povrtarstvo* 52(2): 80–84.
25. Tosens, T., Niinemets, U., Vislap, V., Eichelmann, H., Castro, D.P., 2012. Developmental changes in mesophyll diffusion conductance and photosynthetic capacity under different light and water availabilities in *Populus tremula*: how structure constrains function. *Journal of Plant, Cell and Environment* 35: 839–856.
26. Wu, Y., Zhao, Z., Liu, S., Huang, X., Wang, W., 2020. Does partial root-zone drying have advantages over regulated deficit irrigation in pear orchard under desert climates? *Scientia Horticulturae* 262: 1–8.
27. Yang, A., Akhtar, S.S., Li, L., Fu, Q., Li, Q., Naeem, M.A., He, X., Zhang, Z., Jacobsen, S.E., 2020. Biochar mitigates combined effects of drought and salinity stress in quinoa. *Agronomy* 10(6): 1–14.
28. Zare-Abyaneh, H., Jovzi, M., Pak, N. A. E., Albaji, M., 2020. Crop yield response to partial root drying compared with regulated deficit irrigation. In: Albaji, M., Eslamian, S., Naseri, A.A., Eslamian, F. (Eds.), Handbook of Irrigation System Selection for Semi-Arid Regions. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 29–54.

Evaluation of Irrigation Management Effect on Physiological Properties of Quinoa (C.V. Giza-1)

S. Jamali [1] and H. Ansari*

(Received: 22 May 2021; Accepted: 5 September 2021)

Abstract

In Iran, the consumption grain of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) due to its nutritional properties has increased. Due to the Quinoa's ability to grow under adverse conditions (such as drought), the total cultivation areas for this plant have increased. Climate change scenarios predict extended periods of drought and this has emphasized the need for new crops that are tolerant to these conditions. The aim of this study was to investigate the effects of irrigation management on physiological properties of quinoa Gize-1 cultivar under greenhouse condition. The experiment was done using pot planting based on a completely randomized design including 3 replications at Ferdowsi University of Mashhad (FUM) during 2018-2019. Treatments included four irrigation managements, i.e., full irrigation (FI), alternate partial root-zone drying (APRD), fixed partial root-zone drying (FPRD), and deficit irrigation (DI). Results showed that DI, FPRD, and APRD significantly decreased stomatal conductance (40.9, 33.3, and 20.7%, respectively) when compared to FI treatment. Similarly, the greenness index (28.3, 26.3, and 15.3%, respectively) and relative water content (RWC) (20.4, 21.1, and 12.8%, respectively) were reduced under DI, FPRD, and APRD irrigations management compared to FI. Conversely, proline content was increased under DI, FPRD, and APRD treatments (24.2, 30.5, and 17.9%, respectively) when compared to FI. Generally, APRD treatment recommended for the quinoa Giza-1 cultivar to produce an acceptable yield under greenhouse conditions.

Keywords: Chlorophyll content, Partial root-zone drying irrigation, Proline, Stomatal conductance.

Background and Objective: It is estimated that 30% of the global land surface will experience extreme drought by the 2090s (1). Drought is the most serious abiotic stress that has a direct impact on crop performance (2). Also poor irrigation management in the farms will have a significant impact on the decreasing of water use efficiency of the plant. Introducing new crops that are adapted to environmental stresses is one of the most effective methods for sustainable crop production and food security in arid regions (3). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) or mother of grain is a plant that has drought tolerance and can be grown in these conditions. Drought stress is one of the important key abiotic factors affecting plant growth and development (such as the quinoa plant). However, to the best of our knowledge, no information is available about the effect of irrigation with partial root-zone drying management on quinoa. The present study was conducted to study the effect of irrigation management on the physiological and grain yield of quinoa in greenhouses conditions. The findings could be useful to enhance food security in the context of global climate change.

1- Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
* Corresponding Author, Email: Ansary@um.ac.ir

Methods: This research aimed to examine the effect of deficit irrigation and partial root-zone drying on physiological properties of quinoa (C.V. Giza-1) at Ferdowsi university of Mashhad during 2019 (winter-summer). Research Station is located in north-east Iran at 36° 16' N latitude and 59° 36' E longitude. The seeds of quinoa were planted at a depth of 1.5 centimeters in pots containing a loam soil and were irrigated with tap water. The experiment was conducted according to a completely randomized design (CRD) with three replications. Four irrigation regimes including full irrigation (FI), deficit irrigation (DI), alternate partial root-zone drying (APRD), and fixed partial root-zone drying (FPRD) were applied. For the APRD and FPRD treatments, each pot was divided vertically into two halves and irrigated. in the APRD treatment halves of the pot were irrigated alternatively, while in the FPRD treatment method was irrigated only one fixed half of the pots. In the limited irrigation treatments, 50% water of FI was applied in alternate partial root-zone drying (APRD), fixed partial root-zone drying (FPRD), deficit irrigation (DI). Stomatal conductance was measured on the upper fully mature leaves using a portable leaf porometer for two leaves per plant and three plants per treatment. Leaf greenness (SPAD) index and leaf temperature were determined using portable leaf chlorophyll meter (SPAD-502) and infrared thermometer (Testo 830-T1) for six leaves per plant. Chlorophyll a and b were measured by Arnon method in fresh leaves. Relative water content (RWC) was measured by Naz et al. (4) method. Proline was measured by Bates et al. (1) method. The obtained data were analyzed using statistical software of SAS (Ver. 9.4) and the means were compared using LSD test at 5% percent level of significance.

Results: Stomatal conductance, leaf SPAD index, and chlorophyll a/b of quinoa were significantly affected by the irrigation regimes at 1% level, while Chl a, Chl b, Chl a+b, RWC and proline were affected at 5% levels. In the current experiment, DI, FPRD, and APRD significantly decreased stomatal conductance (40.9, 33.3, and 20.7%, respectively) compared to FI. Similar to this, the SPAD index (28.3, 26.3, and 15.3%) and RWC (20.4, 21.1, and 12.8%) were reduced under deficit irrigations (DI, FPRD, and APRD) compared to FI. In contrast, proline content was increased (24.2, 30.5, and 17.9%, respectively) under irrigation treatments of DI, FPRD, and APRD when compared to FI.

Conclusion: Based on the results, it can be concluded that quinoa plant growth is favored by APRD and this treatment is an effective irrigation strategy to increase yield in the drought-prone areas. Overall, APRD might be a proper approach for sustaining crop productivity in the drought-stressed areas of the world to ensure food security.

References:

1. Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and soil 39(1): 205–207.
2. Burke, E.J., Brown, S.J., Christidis, N., 2006. Modeling the recent evolution of global drought and projections for the twenty-first century with the hadley centre climate model. *Hydrometeorology* 7:1113–1125.
3. Cruz de Carvalho, M.H., 2008. Drought stress and reactive oxygen species: Production, scavenging and signaling. *Plant Signaling and Behavior* 3:156–165.
4. Naz H., Akram N.A., and Kong H. 2020. Assessment of secondary metabolism involvement in water stress tolerance of Quinoa subjected to water regimes. Pakistan Journal of Botany, 52(5):1553–1559.
5. Samadzadeh, A., Zamani, G., Fallahi, H., 2020. Possibility of quinoa production under South-Khorasan climatic condition as affected by planting densities and sowing dates. *Applied Field Crops Research* 33(1): 82–104. (in Persian with English abstract).