تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3743.1905

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر مدیریت آبیاری بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)

فرزانه فاضلی[۱]، غلامعلی اکبری[۲*]، غلامعباس اکبری[۲]، علی نادری عارفی[۳]، فاطمه بناکاشانی[۴]

۱. دانشجوی دکتری زراعت - اکولوژی - دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان
۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان
۳. استادیار بخش تحقیقات پنبه و گیاهان لیفی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران
۴. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
تنش آبی
عملکرد دانه
کینوا
کم‌آبیاری

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۷/۰۹

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۰۸/۲۶

تاریخ انتشار:
تابستان ۱۴۰۱

۱۵(۲): ۳۲۷-۳۳۴

چکیده

با توجه به تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آبی و شور شدن خاک‌ها و نیاز به معرفی گیاهان سازگار با شرایط محیطی نامساعد، پژوهشی به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در اسفندماه ۱۳۹۸ در ایستگاه تحقیقات و آموزش کشاورزی گرمسار انجام شد. در این آزمایش فاکتور اول دور آبیاری در سه سطح (۸ روز، ۱۲ روز و ۱۶ روز) و فاکتور دوم ژنوتیپ (Titicaca، Q26 و Q29) بود. نتایج نشان داد اثر اصلی هر دو فاکتور بر تمامی صفات موردمطالعه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. مقایسه میانگین اثرات متقابل دو فاکتور تنها برای صفات طول خوشه اصلی، وزن خوشه و عملکرد دانه در هکتار معنی‌دار شد. بیشترین میزان عملکرد در هکتار مربوط به تیمار Titicaca با دور آبیاری ۸ روز (۲۲۴۷,۷ کیلوگرم در هکتار) و پس‌ازآن به ترتیب تیمارهای Titicaca با دور آبیاری ۱۲ روز و Q26 با دور آبیاری ۸ روز بودند. به ترتیب عملکرد ژنوتیپ Titicaca، Q26 و Q29 در دور آبیاری ۱۶ روز نسبت به دور آبیاری ۸ روز حدود ۳۵,۷٪، ۳۵,۲٪ و ۴۱٪ کاهش داشته است. نتایج حاکی از آن است که تا معرفی ارقام برتر، ژنوتیپ Titicaca دارای پتانسیل عملکرد مناسب جهت کشت در این شهرستان و مناطق مشابه است.

مقدمه

در آینده‌ای نزدیک، تولید محصولات کشاورزی برای تغذیه جمعیت رو به رشد جهان با داشتن مقدار کمتری آب شیرین در دسترس، نیاز به افزایش دارد. تنش‌های غیرزنده مانند خشکی و شوری از عوامل مشترک محیطی هستند که در رشد گیاهان مؤثرند و از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده توزیع جغرافیایی پوشش گیاهی و محدودکننده عملکرد محصولات کشاورزی به شمار می‌روند (Schulze et al., 2005; Gregory, 2006; Lin et al., 2006). روش‌های افزایش بهره‌وری آب در شرایط کاهش بارندگی می‌تواند نقش مهمی در تولید محصولات کشاورزی در مناطق مستعد خشک‌سالی، نیمه‌خشک و خشک داشته باشد. بااین‌وجود، باید به پایداری این روش‌ها توجه کرد (Smith, 2000; Howell, 2001). ضروری است برای به حداقل رساندن تأثیر تنش شوری و خشکی بر رشد گیاه و عملکرد محصول استراتژی‌های متعددی به کار گرفته شود. یک رویکرد احتمالی، معرفی گونه‌هایی است که قادر به تحمل خشکی و شوری زیاد خاک

* نگارنده پاسخگو: غلامعلی اکبری. پست الکترونیک: gakbari@ut.ac.ir

و تضمین بازده قابل‌قبول هستند. رویکرد دیگر استفاده از منابع آب غیرمتعارف برای کاهش بخشی از کمبود آب در مناطقی است که منابع آب تجدیدپذیر بسیارکمی دارند. استراتژی‌های مناسب برای مدیریت خاک، آب و محصولات کشاورزی نیز ممکن است در زمان استفاده از این منابع برای آبیاری موردنیاز باشد (Ragab, 2010).

یکی از گزینه‌های مدیریتی برای به حداقل رساندن تأثیر تنش شوری و خشکی، معرفی گونه‌هایی است که این شرایط را با سازگاری مناسب ازنظر عملکرد کمی و کیفی تحمل می‌کنند. کینوا (*Chenopodium quinoa*)، یک محصول زراعی است که ترکیبی از عوامل ناسازگار را تحمل می‌کند (Jacobsen et al., 2003). کینوا، گیاهی است یک‌ساله که معمولاً به‌منظور محصول دانه کشت می‌شود. این گیاه بومی کوه‌های آند در بولیوی، شیلی و پرو است که طی ۵۰۰۰ سال به‌طور مداوم مورد تغذیه مردم این مناطق بوده است، به‌طوری‌که در سال ۲۰۰۳، بولیوی و پرو با ۸۸٪ تولید جهانی بزرگ‌ترین صادرکنندگان کینوا بودند. سازمان خواروبار کشاورزی ملل متحد (FAO)، ارزش غذایی بالای آن را با شیر خشک مقایسه کرد و به پیشنهاد چند کشور ازجمله بولیوی، پرو و جمهوری آذربایجان و با تصویب مجمع عمومی سازمان ملل متحد سال ۲۰۱۳ را به نام کینوا نام‌گذاری کرد.

کشور ایران جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان بوده و حداقل ۷۰ درصد آن شامل فلات مرکزی در شرایط خشک و نیمه‌خشک است. از طرفی تغییر آب‌وهوای ایران به سمت گرم، خشک و شور شدن تدریجی خاک‌های زراعی کشور از یک‌سو و تحمل بالای گیاه کینوا در مقابل خشکی و شوری از سوی دیگر، بیانگر منطقی برای استفاده از کینوا به‌عنوان یک گیاه مناسب برای رسیدن به کشاورزی پایدار، تغذیه مناسب و تولید صنعتی است. توسعه و ترویج کشت و تغذیه کینوا باعث تنوع‌بخشی به محصولات غذایی در کشور، تولید پایدار، افزایش درآمد کشاورزان و تأمین بخشی از نیاز غذایی جامعه خواهد شد. کینوا به‌عنوان غذایی بدون گلوتن، یک گیاه دارویی هم محسوب می‌گردد. تحقیقات در زمینه این گیاه نشان داد کینوا در ایران قابل‌تولید و در آینده جایگاه مناسبی در زراعت خواهد داشت (Baqeri, 2017).

در سیستم‌های کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک، خشکی و شوری جزء تنش‌های اصلی غیرزنده تأثیرگذار بر عملکرد است که موجب بی‌ثباتی عملکرد در کینوا می‌شود. سانچز و همکاران (Sanchez et al., 2003) در مطالعه خود بر روی اثر خشکی و شوری بر روی گیاه کینوا رقم Real به این نتیجه رسیدند که شوری و خشکی باعث کاهش بیومس کل گردید. شریفان و همکاران (Sharifan et al., 2018) اظهار داشتند که افزایش شوری منجر به کاهش کلروفیل و سطح برگ کینوا می‌گردد، اما شاخص محتوای نسبی آب برگ در سطوح شوری موردبررسی افزایش معنی‌دار داشت. افزایش میزان آب آبیاری نیز منجر به افزایش سطح برگ، کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ (RWC) گردید.

خشکی و شوری سبب کاهش محصول در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود، به همین دلیل بایستی به دنبال گیاهانی بود که تحت این شرایط نیز محصول مناسبی بدهند. این محصولات علاوه بر مقاومت به شوری، لازم است از بازده مصرف آب مناسبی نیز برخوردار باشند. در یک مطالعه لایسیمتری که برای بررسی اثر شوری و خشکی سطح خاک بر عملکرد و میزان محصول به ازای آب مصرفی، روی کینوا رقم Titicaca انجام شد، کینوا تا مرحله گل‌دهی تحت ۵ سطح شوری (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ دسی زیمنس بر متر آب آبیاری) قرار گرفت. در طول دوره پر شدن دانه‌ها، سطوح شوری آب تا نصف کاهش داده شد، آبیاری به دو روش آبیاری کامل و کم‌آبیاری انجام شد. نتایج نشان داد که افزایش شوری و کم‌آبیاری باعث کاهش عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، شاخص برداشت، تعداد دانه و وزن دانه گردید. از طرفی افزایش شوری و کم‌آبیاری باعث افزایش عملکرد کاه گردید. اثر متقابل این دو عامل معنی‌دار نشد (Razzaghi et al., 2012). گیرتز و همکاران (Geerts et al., 2007) دریافتند که تنش خشکی در مرحله قبل از گل‌دهی، گل‌دهی و پر شدن دانه تأثیر منفی بالایی بر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب نسبت به تنش خشکی در مرحله رویشی یا آبیاری کامل دارد. آن‌ها همچنین به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی باید در مرحله استقرار گیاه و مراحل تولیدمثل با استفاده از کم‌آبیاری کاهش یابد. تنش خشکی وقتی در مرحله پر شدن دانه رخ دهد می‌تواند عملکرد گیاه را به‌صورت قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. در مطالعه‌ای کاهش عملکرد نزدیک به ۸۱-۷۹٪ در ذرت و ۴۰٪ در گندم دوروم گزارش شده است (Daryanto et al., 2017). مطالعات متعددی از افزایش یون‌های سدیم و پتاسیم در گیاه کینوا تحت تنش آبی گزارش شده است (Sun et al., 2014) که برخی دیگر از نویسندگان به اهمیت یون‌های سدیم و تحمل قابل‌توجه

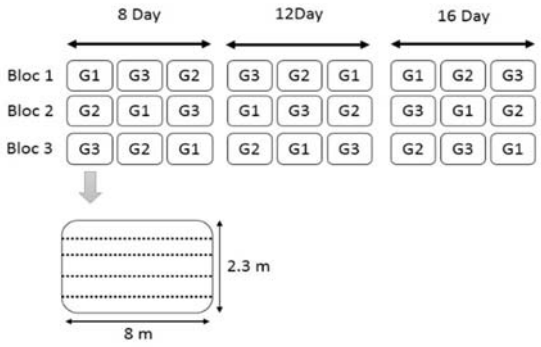
گیاه کینوا تحت تنش خشکی و شوری اشاره‌کرده‌اند (Razzaghi et al., 2015).

طبق بررسی توکلی و همکاران (Tavakoli et al., 2016) شاخص‌های مختلف اقلیمی شهرستان گرمسار حاکی از گرم و خشک‌تر شدن این منطقه طی ۵۰ سال گذشته است، بر این اساس احتمال شور شدن بیش‌ازپیش خاک زراعی نیز وجود دارد. با توجه به سطوح فعلی شوری و خشکی منطقه، معرفی گیاهان مقاوم به این عوامل تنش‌زا به‌ویژه با هدف ادامه تولید در زمین‌های حاشیه کویر، ضرورت دارد. در این راستا، در این پژوهش تأثیر دور آبیاری بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ارقام مختلف کینوا در شهرستان گرمسار موردبررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی شامل بذور ۳ ژنوتیپ گیاه جدید کینوا (جدول ۱) دارای تنوع رسیدگی و عملکرد از موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال کرج تهیه گردید. این آزمایش در سال ۱۳۹۷، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرمسار به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد (شکل ۱). شهرستان گرمسار با میانگین بارندگی سالانه ۱۲۵ میلی‌متر و ارتفاع ۸۵۰ متر از سطح دریا دارای اقلیم گرم و خشک است.

فاکتور اول دور آبیاری که در سه سطح (۸ روز، ۱۲ روز و ۱۶ روز) و فاکتور دوم ژنوتیپ (Titicaca، Q26 و Q29) بود. با توجه به حساس بودن گیاه در زمان جوانه‌زنی و به‌منظور استقرار کامل، دو آبیاری اول برای تمامی تیمارها تا به‌صورت یکسان و به فاصله ۵ روز انجام شد. قبل از انجام آزمایش، از اعماق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در آزمایشگاه تعیین گردید (جدول ۲).



شکل ۱. نقشه طرح **Fig 1. Plan map**

جدول ۱. اطلاعات ژنوتیپ‌های موردمطالعه **Table1. Information Of The Studied Genotypes**

نام ژنوتیپ Genotype name	سال ورود/ تولید Year of entry / production	منشأ Origin	منبع Source
TITICACA	2016	Denmark	Final Report Quinoa TCP
CHILE 2011-FAO (Q26)	2013	FAO	Final Report Quinoa TCP
CHILE 2011-FAO (Q29)	2013	FAO	Final Report Quinoa TCP

جدول ۲. نتایج آزمون خاک **Table 2. Soil test results**

عمق نمونه‌برداری Depth of sampling	نیتروژن قابل‌جذب Nitrogen absorbable	فسفر قابل‌جذب Absorbable phosphorus	پتاسیم قابل‌جذب Absorbable potassium	اسیدیته PH	شوری خاک Soil Salinity	ماده آلی Organic matter	بافت خاک soil pattern
cm	ppm	$mg.kg^{-1}$			$dS.m^{-1}$	%	
0-30	6.4	6.8	420	7.4	5.8	0.76	Silty loam

زمین مورداستفاده پس از عملیات معمول برای آماده‌سازی کشت از قبیل شخم، دیسک و فاروئر، بر اساس نتیجه آزمایش خاک، در دو مرحله (شاخه دهی و شروع گلدهی) از کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ به‌صورت کودآبیاری استفاده شد تا با توجه به دوره رویشی کوتاه کینوا و مشکلات خاک، جذب عناصر غذایی بهتر انجام شود.

پس از رشد کامل گیاهان و رسیدگی فیزیولوژیک و پس از حذف اثر حاشیه، یک مترمربع از هر کرت انتخاب و صفات موردنظر شامل ارتفاع بوته، طول خوشه اصلی، وزن خوشه

اصلی، تعداد شاخه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد در هکتار و شاخص برداشت اندازه‌گیری شد. پس از بوجاری، دانه تمیز شده وزن شد و با تعمیم آن به هکتار، عملکرد دانه محاسبه شد. وزن هزار دانه با استفاده از دستگاه بذرشمار دیجیتال مدل شوپن تعیین شد. برای تعیین عملکرد بیولوژیک، وزن خشک کل بوته‌های برداشت‌شده تعیین و عملکرد بیولوژیک مشخص شد. شاخص برداشت با تقسیم عملکرد اقتصادی به عملکرد بیولوژیک ضربدر ۱۰۰ محاسبه شد.

پس از یادداشت‌برداری و جمع‌آوری داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار MINITAB ابتدا نرمال بودن داده‌ها بررسی شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS (version 20) همبستگی ساده بر اساس ضرایب پیرسون و اسپیرمن تعیین شد. تجزیه واریانس داده‌های نرمال شده و مقایسه میانگین داده‌های اصلی با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر دور آبیاری و ژنوتیپ بر تمامی صفات موردمطالعه (ارتفاع بوته، طول خوشه اصلی، وزن خوشه اصلی، تعداد شاخه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد در هکتار و شاخص برداشت) در سطح احتمال ۱٪ معنی¬دار بود (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر آبیاری و ژنوتیپ بر صفات اندازه‌گیری شده در گیاه کینوا

Table 3. Variance analysis of the effect of irrigation and genotype on the measured traits of quinoa

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع Height	طول خوشه Panicle length	وزن خوشه Panicle weight	تعداد شاخه در بوته Branch per plant	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد در هکتار Yield per hectare	شاخص برداشت HI
بلوک Block	2	31.81^{ns}	0.704ns	2.77^{ns}	0.259^{ns}	0.005^{ns}	133.77^{ns}	2.28^{ns}
آبیاری Irrigation (I)	2	1482.7**	117.81**	1827**	61.59**	2.37**	1153352.8**	33.64**
ژنوتیپ Genotype (G)	2	1078.48**	14.03**	573.8**	3.704**	0.043**	62293.77**	361.68**
آبیاری×ژنوتیپ I × G	4	41.81^{ns}	5.20**	106.5**	0.09^{ns}	0.002^{ns}	1350.72**	7.34^{ns}
خطا Error	16	17.73	0.704	1.31	0.426	0.003	224.82	3.822
ضریب تغییرات CV %		*3.82*	*3.76*	*0.902*	*4.88*	*2.4*	*0.78*	*4.46*

*و** معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ و ns غیر معنی‌دار

* and ** significant at the statistical level of 5% and 1%, respectively, ns is not significant

ارتفاع

اثر متقابل دور آبیاری×ژنوتیپ برای ارتفاع بوته معنی‌دار نشد اما اثرات ساده ژنوتیپ و دور آبیاری در سطح احتمال ۱٪ برای این صفت معنی‌دار شد. در بین ژنوتیپ‌های موردمطالعه، بیشترین ارتفاع برای ژنوتیپ Q26 (121.11 سانتیمتر) و کمترین ارتفاع برای ژنوتیپ Titicaca (99.22 سانتیمتر) مشاهده شد. همچنین در بررسی اثر دور آبیاری بر ارتفاع، نتایج نشان داد بیشترین ارتفاع مربوط به دور آبیاری ۸ روز بود که با افزایش دور آبیاری به ۱۲ روز و ۱۶ روز به ترتیب ۶٪ و ۲۰٪ از ارتفاع بوته کاسته شد. با افزایش دور آبیاری میزان تنش واردشده به گیاه افزایش پیدا کرد که به‌صورت کاهش ارتفاع گیاه در دورهای بالای آبیاری بروز پیدا کرد. کاهش ارتفاع گیاه با افزایش دور آبیاری (تنش کم‌آبی) را می‌توان به اختلال در فتوسنتز به‌واسطه کمبود رطوبت خاک و کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای ارسال به بخش‌های در حال رشد گیاه و نهایتاً عدم دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی ازنظر ارتفاع نسبت داد (Souza et al., 2004; Steduto *et al.*, 2000). همچنین یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش آماس و درنتیجه کاهش تقسیم و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها است و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم‌آبی بر روی گیاهان را می‌توان از اندازه کوچک‌تر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد (Salah-verzi et al., 2008).

تعداد شاخه در بوته

اثرات ساده دور آبیاری و ژنوتیپ برای صفت تعداد شاخه در بوته معنی‌دار شد اما اثر متقابل دو فاکتور برای این صفت معنی‌دار نشد. باوجود ارتفاع کمتر ژنوتیپ Titicaca تعداد شاخه در بوته آن بیشتر از دو ژنوتیپ دیگر بود، همچنین بین دو ژنوتیپ Q26 و Q29 در تعداد شاخه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با افزایش دور آبیاری و ایجاد تنش در ژنوتیپ-های موردمطالعه، از تعداد شاخه در بوته‌ها کاسته شد به‌طوری‌که در دور آبیاری ۱۶ روز ۳۳٪ کاهش تعداد شاخه، نسبت به دور آبیاری ۸ روز حاصل شد. در پژوهشی که روی اثر تنش آبی بر برخی صفات کلزای پاییزه انجام شد، به این نتیجه دست یافتند که اعمال تنش کم‌آبی موقت در مرحله رشد رویشی در اوایل بهار، سبب افزایش رشد رویشی بعد از اتمام دوره تنش شده است؛ اما اعمال تنش کم‌آبی به‌صورت پیوسته تأثیر منفی چشمگیری بر رشد رویشی کلزا داشته است. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین تعداد شاخه فرعی در بوته در تیمار دیم با سایر تیمارها وجود داشت (Shabani et al., 2010).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر ساده آبیاری بر صفات موردمطالعه در گیاه کینوا

Table 4. mean comparison of simple effects of irrigation for the studied traits in quinoa

دور آبیاری Irrigation intervals		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه در بوته Number of branches per plant	وزن هزار دانه 1000-grain weight	شاخص برداشت HI
		cm		g	(%)
۸ روز	8 Day	120.66 a	15.88 a	2.63 a	46.00 a
۱۲ روز	12 Day	113.66 b	13.55 b	2.53 b	42.55 b
۱۶ روز	16 Day	95.77 c	10.66 c	1.69 c	36.85 c

درهرستون میانگین‌هایی که دارای حروف غیرمشابه هستند بر مبنای آزمون دانکن در سطح احتمال ۱٪ دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

In each column, means with similar letters have a significant difference based on the Duncan test at p<0.01

وزن هزار دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد، اثر دور آبیاری و ژنوتیپ برای صفت وزن هزار دانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. وزن هزار دانه ژنوتیپ Titicaca بیشتر از دو ژنوتیپ دیگر بود اما بین این دو ژنوتیپ (Q26 و Q29) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با افزایش دور آبیاری از ۸ روز به ۱۲ و ۱۶ روز به ترتیب وزن هزار دانه ۴٪ و ۳۶٪ کاهش داشت. به‌طورکلی با افزایش دور آبیاری، رطوبت خاک در طول دوره رشد گیاه کاهش می‌یابد. تنش حاصل از کمبود رطوبت و کاهش انتقال مواد می‌تواند باعث محدودیت تولید مواد فتوسنتزی در گیاه شود. طبق فرضیه جریان توده‌ای، عوامل کاهش‌دهنده فتوسنتز گیاهی، فشار هیدرواستاتیکی و سرعت انتقال مواد را نیز کاهش می‌دهند (Russel et al., 2020). همچنین کاهش توانایی مقصد در ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی تولیدی گیاه، منجر به نقصان فتوسنتز توسط منبع می‌شود (Mondel et al., 1978). بر این اساس در تیمارهای تنش رطوبتی در مرحله پر شدن دانه، طول این مرحله رشدی مهم کاهش می‌یابد. با کاهش طول این مرحله، میزان و سرعت انتقال مواد فتوسنتزی و ذخیره‌ای (انتقال مجدد) از اندام‌های مختلف گیاه به سمت دانه‌ها، موجبات کاهش اندازه بذر و وزن هزار دانه را فراهم می‌شود (Ahmadi and Backer, 2001). در پژوهش حاضر نیز با افزایش دور آبیاری و بروز تنش، وزن هزار دانه کاهش پیدا کرد. علاوه بر این، تنش خشکی از طریق تسریع پیری برگ و کاهش دوره پر شدن دانه، از وزن هزار دانه می‌کاهد (Royo et al., 2004).

شاخص برداشت

اثرات ساده دور آبیاری و ژنوتیپ برای صفت شاخص برداشت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد (جدول ۵) بالاترین میزان شاخص برداشت با مقدار ۵۱،۱۳٪ برای ژنوتیپ Titicaca است و بین دو ژنوتیپ Q26 و Q29 برای این صفت اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. با توجه به فرمول شاخص برداشت (تقسیم عملکرد اقتصادی بر عملکرد بیولوژیک×۱۰۰) می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که ارتفاع کمتر و عملکرد دانه بیشتر در ژنوتیپ Titicaca در مقایسه با ارتفاع بیشتر و عملکرد دانه پایین‌تر در دو ژنوتیپ دیگر، باعث اختلاف معنی‌دار شاخص برداشت، بین آن‌ها شده

است. همچنین با توجه به رابطه مستقیم شاخص برداشت با عملکرد اقتصادی و رابطه معکوس آن با عملکرد بیولوژیک، با افزایش دور آبیاری میزان شاخص برداشت کاهش پیدا کرد که این نتیجه را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد که اثر تنش کم‌آبی بر عملکرد دانه بیشتر از عملکرد بیولوژیک و اندام‌های هوایی بوده است. تنش خشکی در مراحل مختلف رشد، به‌خصوص مرحله گلدهی و دانه‌بندی محدودکننده عملکرد است (Hughes, 1989).

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر ساده ژنوتیپ بر صفات موردمطالعه در گیاه کینوا

Table 5. Mean comparison of simple effects of genotype for the studied traits in quinoa

ژنوتیپ Genotype	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه در بوته Number of branches per plant	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	شاخص برداشت HI (%)
Titicaca	99.22 ^{c}	14.11 ^{a}	2.36 ^{a}	51.13 ^{a}
Q26	121.11 ^{a}	13.00 ^{b}	2.26 ^{b}	40.40 ^{b}
Q29	109.77 ^{b}	13.00 ^{b}	2.23 ^{b}	39.92 ^{b}

درهرستون میانگین‌هایی که دارای حروف غیرمشابه هستند بر مبنای آزمون دانکن در سطح احتمال ۱٪ دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

In each column, means with similar letters have a significant difference based on the Duncan test at p<0.01

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری×ژنوتیپ بر صفات موردمطالعه در گیاه کینوا

Table 6. mean Comparison of the interaction of Irrigation×Genotype for the studied traits in quinoa plant

دور آبیاری (روز) Irrigation intervals (day)	ژنوتیپ Genotype	طول خوشه Panicle length	وزن خوشه Panicle weight	عملکرد در هکتار Yield per hectare
8	**Titicaca**	26.0 ^{a}	148.7 ^{a}	2247.7 ^{a}
	Q26	26.3 ^{a}	131.6 ^{b}	2130.7 ^{c}
	Q29	24.6 ^{ab}	129.5 ^{b}	2085.0 ^{d}
12	**Titicaca**	22.7 ^{b}	128.3 ^{bc}	2178.3 ^{b}
	Q26	23.3 ^{b}	127.6 ^{c}	2008.3 ^{e}
	Q29	20.6 ^{c}	126.7 ^{c}	2003.3 ^{e}
16	**Titicaca**	19.7 ^{c}	112.8 ^{d}	1468.3 ^{f}
	Q26	20.3 ^{c}	110.7 ^{d}	1380.0 ^{g}
	Q29	16.1 ^{d}	109.9 ^{d}	1233.3 ^{h}

درهرستون میانگین‌هایی که دارای حروف غیرمشابه هستند بر مبنای آزمون دانکن در سطح احتمال ۱٪ دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

In each column, means with similar letters have a significant difference based on the Duncan test at p<0.01

طول خوشه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۳) اثر متقابل دو فاکتور دور آبیاری و ژنوتیپ برای این صفت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. مقایسه میانگین اثر متقابل دو فاکتور نشان داد (جدول ۶) بیشترین طول خوشه مربوط به تیمار Titicaca و Q26 در دور آبیاری ۸ روز و کمترین طول خوشه مربوط به تیمار Q29 در دور آبیاری ۱۶ روز است.

وزن خوشه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۳) اثر متقابل دو فاکتور دور آبیاری و ژنوتیپ بر این صفت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. بررسی مقایسه میانگین اثر متقابل دو فاکتور بر وزن خوشه نشان داد بالاترین وزن خوشه برای ژنوتیپ Titicaca در دور آبیاری ۸ روز (۱۴۸٫۷ گرم) به دست آمد (جدول ۶). وزن خوشه ژنوتیپ Titicaca در دور آبیاری ۱۲ روز با وزن خوشه ژنوتیپ‌های Q26 و Q29 در دور آبیاری ۸ روز دارای اختلاف معنی‌دار نیست. این نشان از پتانسیل عملکرد بالای ژنوتیپ Titicaca نسبت به دو ژنوتیپ دیگر در شرایط محدودیت آبیاری است.

عملکرد در هکتار

جدول مقایسه میانگین اثر متقابل دو فاکتور بر عملکرد در هکتار نشان داد (جدول ۶) که بالاترین عملکرد مربوط به تیمار Titicaca با دور آبیاری ۸ روز است و تیمار Titicaca

با دور آبیاری ۱۲ روز با ۳,۱٪ کاهش عملکرد در مرتبه دوم قرار دارد. تیمار Q26 با دور آبیاری ۸ روز و تیمار Q29 با دور آبیاری ۱۲ روز، به ترتیب با میانگین عملکرد ۲۱۳۰,۷ و ۲۰۸۵,۰ در مراتب بعدی قرار دارند. کمترین میزان عملکرد نیز مربوط به تیمار Q29 با دور آبیاری ۱۶ روز با ۴۵٪ کاهش عملکرد، نسبت به تیمار اول است. نکته مهم دیگر، درصد کاهش عملکرد ژنوتیپ‌ها مابین دور آبیاری ۸ روز و ۱۲ روز کمتر از درصد کاهش عملکرد مابین ۱۲ روز و ۱۶ روز است که نشان‌دهنده تأثیر سعودی دور آبیاری بر عملکرد دانه است. در مطالعه حاضر با افزایش دور آبیاری، عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد که این کاهش می‌تواند ناشی از کوتاه شدن طول خوشه و درنتیجه کاهش تعداد دانه باشد. نتایج مشابهی را در مورد کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش کم‌آبیاری گزارش شده است (Erdem et al., 2006; Goksoy et al., 2004).

نتیجه‌گیری نهایی

افزایش جمعیت و نیاز به غذای بیش‌تر، فشار مضاعفی بر محیط‌زیست خصوصاً منابع آب و اکوسیستم‌های زراعی وارد می‌کند. یکی از گیاهانی که امروزه به علت تغییرات شرایط آب‌وهوایی موردتوجه قرار گرفته است، گیاه کینوا است (Salehi and Dehghani, 2018). هدف از این پژوهش بررسی مدیریت منابع آبی و انتخاب ژنوتیپ مناسب جهت کشت در منطقه گرمسار بود. نتایج حاکی از آن است که تا معرفی ارقام برتر، ژنوتیپ Titicaca دارای پتانسیل عملکرد مناسب جهت کشت در این شهرستان و مناطق مشابه است. همچنین باوجود عملکرد بالا در فاصله آبیاری ۸ روز یک‌بار می‌توان جهت مدیریت بهتر منابع، از فاصله آبیاری ۱۲ روز یک‌بار نیز استفاده نمود.

منابع

Ahmadi, A., Backer, D.A., 2001. The effect of water stress on grain filling processes in wheat. The Journal of Agricultural Science. 136, 257-269.

Baqeri, M., 2017. Quinoa cultivation. Agricultural Research, Education and Extension Organization [In Persian].

Daryanto, S., Wang, L., Jacinthe, P.A., 2017. Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: A review. Agricultural Water Management.179, 18–33.

Erdem, T., Erdem, Y. , Orta, A.H., Okursoy, H., 2006. Use of a crop water stress index for scheduling the irrigation of sunflower (*Helianthus annus* L.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 30, 11-20.

Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Vacher, J., Mamani, R., Mendoza, J., Huanca, R., Morales, B., Miranda, R., Cusicanqui, J., Taboada C., 2007. Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). European Journal of Agronomy 28, 427–36. doi:10.1016/j.eja.2007.11.008.

Goksoy, A.T., Demir, A.O., Turan, Z.M., Dagustu, N., 2004. Responses of sunflower to full and limited irrigation at different growth stages. Filed Crops Research. 87, 167-178.

Gregory, P.J., 2006. Food production under poor, adverse climatic conditions. In 'Proceedings of IX ESA Congress'.4–7 September 2006, Warsaw. (European Society for Agronomy)

Howell, T., 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. Agronomy Journal. 93, 281–289. doi:10.2134/agronj2001.932281x

Jacobsen. S-E, Mujica, A., Jensen, C.R., 2003.The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. Food Reviews International. 19, 99–109. Doi: 10.1081/FRI-120018872

Lin, K.H., Chao, P.Y., Yang, C.M., Cheng, W.C., Lo, H.F., Chang, T.R., 2006. The effects of flooding and drought stresses on the antioxidant constituents in sweet potato leaves. Botanical Studies. 47, 417–426.

Maarouf, M., Nagat, M., 2016. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) performance under the hot-dry weather of the Sudan. International Quinoa Conference 2016.

Mondal, M.H., Burn, W.A., Brenner, M.L., 1978. Effects of sink removal on Photosynth hesis and senescence in leaves of soybean plants. Plant Physiology. 61, 394-397.

Ragab, R., 2010.Preface: Salinity management in agriculture: the basis and applications. In 'Manejo da Salinidade Na Agriculture: Estudos

Basicos eAplicados'. (Eds Hans Raj Gheyi, Nildo da Silva Dias, deLacerda, Claudivan Feitosa), pp. 1–3. (Instituto Nacional de Ciencia e Tecnologiaem Salinidade: Fortaleza, Brazil.

Razzaghi, F., Ahmadi, S.H., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R., Andersen, M.N., 2012. Effects of salinity and soil–drying on radiation use efficiency, water productivity and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Journal of Agronomy and Crop Science. 198, 173-184.

Razzaghi, F., Jacobsen, S., Jensen, C.R., Neumann, M. 2015. Ionic and photosynthetic homeostasis in quinoa challenged by salinity and drought mechanisms of tolerance. Functional Plant Biology. 42, 136–148.

Royo, C., Aparicio, N., Blanco, R., Villegas, D., 2004. Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. European Journal of Agronomy. 69, 231- 233.

Salahverzi, Y., Tehranifar, A., Gozanchian, A., 2008. Investigation of green physiomrphological changes of native and foreign carpets in drought stress and re-irrigation, Iranian Horticultural Science and Technology. 9, 204-193. [In Persian with English summary].

Sharifan, H., Jamali, S., Sajadi, F., 2018. Investigation the effect of different salinity levels on the morphological parameters of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under different irrigation regimes. Journal of Water and Soil Science. 22(2), 15-27. [In Persian with English summary].

Sanchez, H.B., Lemeur, R., Damme, P.V., Jacobsen, S.E., 2003. Eco physiological analysis of drought and salinity stress of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Food Reviews International. 19, 111-119.

Salehi, M., Dehghani, F., 2017. Quinoa, a quasi-grain suitable for saline water sources. (1st Ed). National Salt Research. [In Persian].

Jones, R., Ougham, H., Thomas, H., Waaland, S., 2012. Molecular Life of Plants. Wiley-Blackwell.

Schulze, E.D., Beck, E., Müller-Hohenstein, K., 2005. Plant Ecology. 702. Springer-Verlag: Heidelberg

Smith, M., 2000. The application of climatic data for planning and management of sustainable reined and irrigated crop production. Agricultural and Forest Meteorology103, 99–108. Doi: 10.1016/S0168-1923(00)00121-0.

Sun, Y., Liu, F., Bendevis, M., Shabala, S., Jacobsen, S. 2014. Sensitivity of two quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties to progressive drought stress. Journal of Agronomy and Crop Science. 200, 12–23.

Shabani, A., Kamgar-Haqiqi, A., Sepaskhah, A., Emam, Y., Honar, T. 2010. Effect of water stress on grain yield, yield components and quality of winter rapeseed (*Brasica napus* L.) cv. Licord. Iranian Journal of Crop Sciences. 12, 409-421. [In Persian].

Tavakoli, A., Hokm Abadi, H., Naderi Arefi, A., Hajji, A., 2016. Comparative advantage of Semnan agricultural products based on water productivity. Technical report, Agricultural Engineering Research Institute (AERI). [In Persian].