تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره دوم، پاییز ۱۴۰۲، ص ۴۸۷-۵۰۰

مقاله پژوهشی

تأثیر تنش خشکی و کود شیمیایی نیتروژن بر ویژگی‌های ریشه و عملکرد در سه رقم کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild)

زینب زمانی[۱]، احسان زیدعلی[۲*]، حمزه‌علی علیزاده[۳]، امین فتحی[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۳- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۴- دکتری زراعت، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران
* مسئول مکاتبه: e.zeidali@ilam.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱ /۰۷/۱۳ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.353966.1261**

چکیده

مدیریت آبیاری و تغذیه به ویژه نیتروژن برای به حداکثر رساندن بهره‌وری نهاده‌ها در زراعت کینوا ضروری می‌باشد. به همین منظور آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه‌ای واقع در چرداول از توابع استان ایلام اجرا شد. این آزمایش در سه تکرار به‌صورت اسپلیت پلات-فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. رژیم آبیاری با سطوح ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی به‌عنوان عامل اصلی، ارقام کینوا TITICACA، Q29 و GIZA1 و کود نیتروژن با سطوح عدم مصرف، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره به‌صورت فاکتوریل به‌عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم GIZA1 به میزان ۱۰/۱ گرم مشاهده شد که نسبت به تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در ارقام TITICACA و Q29 به ترتیب ۳۸/۹ و ۵۰/۷ درصد افزایش نشان داد. رقم GIAZ1 در شرایط حداکثر کاربرد نیتروژن عملکرد بیشتری نسبت به سایر ارقام داشت. در تیمارهای ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره، میزان عملکرد دانه در رقم GIZA1 نسبت به Q29 و TITICACA به ترتیب۳۲/۷ و ۴۹/۱ درصد افزایش نشان داد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که اعمال شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و استفاده از رقم GIAZ1 در زراعت کینوا در منطقه ایلام مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، شاخص برداشت، طول ریشه، عملکرد بیولوژیک، وزن خشک ریشه

مقدمه

رشد جمعیت جهان روز به روز در حال افزایش بوده و این در حالی است که امکان گسترش و توسعه اراضی زراعی به دلیل محدودیت منابع آب بسیار اندک است؛ بنابراین یکی از اهداف مهم برای هماهنگی با افزایش جمعیت جهان، افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد. کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) گیاهی است که به عنوان گیاهی نسبتاً جدید، توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. این گیاه به دلیل خواص دارویی و سهولت در کشت و صنعت آن برای تغذیه انسان و دام اهمیت دارد (Baldermann *et al.*, 2016; Fathi and Kardoni, 2020). با توجه به ضرورت و ارزش غذایی کینوا، سازمان ملل سال ۲۰۱۳ را سال بین‌المللی کینوا نام‌گذاری کرده است. طی سال‌های اخیر تقاضا برای کاشت و مصرف کینوا به‌طور قابل توجه در جهان افزایش یافته است (Fathi and Kardoni, 2020).

تنش خشکی از عوامل مهم در کاهش عملکرد گیاهان زراعی است که بسیاری از ویژگی‌های مرفولوژیک و فیزیولوژیک مرتبط با رشد و نمو گیاه را مختل می‌کند (Ezati *et al.*, 2019). تنش آبی در گیاه منجر به بسته شدن روزنه‌ها، کاهش تعرق و انتقال آب از طریق گیاه می‌شود که به دنبال آن میزان جذب مواد مغذی را کاهش می‌دهد (Fathi *et al.*, 2022). عملکرد کینوا با تنش خشکی محدود می‌شود، به همین دلیل اختلاف قابل توجهی بین عملکرد بالقوه و عملکرد واقعی کینوا در زمان بروز تنش خشکی مشاهده می‌شود (Mohammadi *et al.*, 2021). تنش خشکی اثر معناداری بر روی عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک گیاه کینوا دارد؛ به‌طوری‌که

ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی، محتوای کلروفیل و نیتروژن برگ و در نهایت عملکرد کمی و کیفی را کاهش می‌دهد (Yang *et al*., 2016; Naz *et al*., 2020). البته کینوا یک سیستم ریشه توسعه یافته با نفوذپذیری بالا دارد که می‌تواند تا حدی سبب افزایش مقاومت کینوا در برابر تنش خشکی شود (Jacobsen *et al*., 2009). محققان اظهار داشتند که تنش خشکی سبب کاهش قابل توجه در صفات رشدی کینوا از جمله وزن تر و خشک و رنگدانه‌های فتوسنتزی گردید، اما سبب افزایش در پارامترهای رشد ریشه شامل طول ریشه و وزن تر و خشک ریشه شد (Elewa *et al*., 2017).

مدیریت کود به‌ویژه کود نیتروژن در شرایط تنش خشکی نقش مهمی در بهبود رشد و نمو کینوا دارد (Taheri *et al*., 2021). نیتروژن نقش کلیدی در رشد و نمو و در نهایت عملکرد اقتصادی گیاهان ایفا می‌کند، بنابراین کمبود نیتروژن یکی از عوامل مهم محدود کننده تولید در گیاهان زراعی به شمار می‌رود (Ghadirnezhad Shiade et al., 2023a). عدم تعادل بین تأمین آب و کود نیتروژن باعث کاهش بهره‌وری عملکرد در گیاهان زراعی می‌شود (Taheri *et al*., 2021). وضعیت نیتروژن بهینه در گیاه می‌تواند اثرات تنش خشکی را با افزایش تنظیم اسمزی و جلوگیری از آسیب غشای سلولی کاهش دهد (Saravia *et al*., 2016). نیتروژن بواسطهٔ افزایش غلظت مواد مغذی در ساقه و برگ‌های گیاه، اثر نامطلوب خشکی بر ماده خشک و عملکرد دانه را به حداقل می‌رساند (Ashraf *et al*., 2001). در تحقیقی مشخص گردید که با افزایش کاربرد سطوح کود شیمیایی نیتروژن از ۸۰ به ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد کینوا به‌طور متوسط ۱۲ درصد افزایش داشت (Shams, 2012). بررسی اثرات تنش خشکی و نیتروژن از مهم‌ترین موضوعاتی است که معمولاً پژوهش‌گران در بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاهان زراعی جدید در نظر می‌گیرند (Taheri *et al*., 2021). شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد رضایت‌بخش تحت کوددهی کم نیتروژن یکی از سخت‌ترین چالش‌ها برای اصلاح‌کنندگان است. پژوهش‌گران برای شناسایی این ژنوتیپ‌ها به داده‌های بیشتری در مورد برهم‌کنش بین صفات گیاهی با عوامل خارجی، به ویژه اطلاعات در مورد صفات کلیدی که منجر به سازگاری بهتر گیاهان زراعی در شرایط تنش خشکی می‌شوند، نیاز دارند (Olesen *et al*., 2011; Piao *et al*., 2010). محققان با بررسی خصوصیات ریشه ۳۰ ژنوتیپ کینوا تحت تنش خشکی گزارش کردند شاخص‌های تحمل به خشکی تنوع زیادی را در همه ژنوتیپ‌های کینوا نشان داد. آن‌ها هم‌چنین اظهار داشتند که تجزیه و تحلیل روابط متقابل بین طول ریشه، قطر ریشه، سطح ریشه، تحمل به خشکی و منشاء جغرافیایی ژنوتیپ‌ها، دستورالعمل‌های جالبی را برای کشف مکانیسم‌های سازگاری ریشه‌های کینوا به تنش خشکی نشان داد (Nguyen *et al*., 2021).

کینوا گیاهی است که کشت آن در شرایط فقر منابع، مقرون به صرفه است (Taheri *et al*., 2021; Saddiq *et al*., 2021). علی‌رغم مطالعات انجام شده در مورد واکنش کینوا به تنش خشکی، مطالعه گسترده‌ای در مورد اثرات تنش خشکی و میزان نیتروژن برای ارقام کینوا در ایران انجام نشده است. لذا تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرات مقادیر کود نیتروژن و رژیم‌های آبیاری بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک و ظرفیت بالقوه عملکرد سه رقم کینوا انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه‌ای واقع در پنج کیلومتری شهرستان چرداول در استان ایلام در بهار و تابستان سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به انجام رسید. محل اجرای آزمایش با ارتفاع حدود ۹۷۰ متر از سطح دریا در عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۷ دقیقهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۶ دقیقهٔ شرقی بود. برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک زمین، قبل از اجرای تیمارها از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌گیری شد (جدول ۱). این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات-فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح رژیم آبیاری شامل ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ بر اساس درصد نیاز آبی به عنوان عامل اصلی و ارقام کینوا در سه سطح شامل TITICACA و Q29 و GIZA1 و کود شیمیایی نیتروژن از منبع اوره در سه سطح بدون مصرف کود نیتروژن (شاهد)، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به صورت فاکتوریل به عنوان عامل فرعی بودند.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Results of physical and chemical analysis of soil at the test site

بافت خاک	رس	سیلت	شن	پتاسیم	فسفر	نیتروژن کل	کربن آلی	هدایت الکتریکی	واکنش خاک
Soil texture	**Clay**	**Silt**	**Sand**	**K**	**P**	**N**	**OC**	**EC**	**pH**
	(%)	(%)	(%)	(mg kg^{-1})	(mg kg^{-1})	(%)	(%)	m^{-1}) (dS	
لومی رسی Clay loam	42	30	28	700	18.4	0.12	1.23	0.65	7.6

کاشت در دوم فروردین سال ۱۴۰۰ انجام شد. مقدار خالص نیتروژن بر اساس تیمارهای کود نیتروژن ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برابر ۴۶ و ۹۲ کیلوگرم بود. با توجه به نتایج آزمایش خاک، خاک از نظر عناصر فسفر و پتاسیم دچار فقر نبود و لذا فقط از کود اوره استفاده شد. در تیمارهای حاوی کود، نیتروژن در طی دو مرحله بصورت ۵۰ درصد قبل از کاشت و ۵۰ درصد بصورت سرک در مرحله غنچه‌دهی (در ۱۷ اردیبهشت‌ماه) استفاده شد. فاصله بین دو ردیف و بین بوته روی ردیف در کشت کینوا به ترتیب ۵۰ و ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. طول هر کرت آزمایشی پنج متر و عرض آن چهار متر بود. هر کرت آزمایشی شامل پنج خط کاشت بود. مقدار آب آبیاری در هر دور آبیاری با استفاده از روش رطوبت وزنی محاسبه گردید. برای این منظور رطوبت وزنی خاک به‌صورت روزانه و مرتب اندازه‌گیری شده و زمانی‌که رطوبت خاک به حد رطوبت آبیاری رسید آبیاری انجام شد. مقدار آب آبیاری در هر آبیاری از معادله زیر محاسبه شد (Martin *et al.*, 1990).

$$In = (\theta_{FC} - \theta_i) \times \rho_b \times D_r \qquad (۱)$$

In: عمق خالص آب آبیاری (cm)، θ_i و θ_{fc}: به ترتیب درصد وزنی رطوبت در قبل از آبیاری و ظرفیت زراعی، ρb: وزن مخصوص ظاهری (gr cm^{-3}) و Dr: عمق توسعه ریشه (cm)می‌باشد.

برداشت نهایی پس از رسیدگی فیزیولوژیک (رطوبت دانه زمان برداشت ۲۰-۱۵ درصد بود) دانه‌ها با حذف ردیف‌های کناری یک متر مربع از قسمت میانی هر کرت برداشت و به آزمایشگاه انتقال داده شد. برای اندازه‌گیری صفات مورد بررسی ریشه از هر کرت تعداد ده بوته انتخاب شدند، سپس پروفیل خاک ایجاد و با دقت زیاد تمام ریشه از خاک جدا و مقداری از خاک و گل باقی‌مانده بر سطوح ریشه با فشار آب از ریشه جدا گردید. پس از این عملیات ریشه‌های جانبی با دقت زیاد به صورت دستی شمارش گردید. برای محاسبه وزن خشک ریشه ابتدا ریشه‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شد و نمونه‌ها داخل آون به مدت ۴۸ ساعت و درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا وزن خشک ریشه برحسب گرم اندازه‌گیری شود. طول ریشه از محل طوقه تا انتهای ریشه با خط‌کش محاسبه گردید. برای محاسبه ارتفاع بوته از سطح خاک تا نوک گل‌آذین در زمان رسیدگی فیزیولوژیک با خط‌کش نواری اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه، با جداکردن دانه‌های ده بوته، پس از توزین، میانگین هزار دانه آن ثبت شد. عملکرد بیولوژیک پس از کف‌بر کردن بوته‌ها از سطح خاک، بوته‌ها در آون به مدت ۴۸ ساعت و در درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند؛ سپس وزن آن بر اساس کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری درصد شاخص برداشت عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک تقسیم و سپس در ۱۰۰ ضرب شد. جهت محاسبات آماری در این مطالعه از نرم‌افزارهای SAS 9.3 و Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک ریشه

تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه تیمارها بر وزن خشک و تر ریشه گیاه کینوا در سطح یک درصد معنادار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم GIZA1 به میزان ۱۰/۱ گرم مشاهده شد که نسبت به ۶۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در ارقام TITICACA و Q29 به ترتیب ۳۸/۹ و ۵۰/۷ درصد افزایش نشان داد. بیشترین وزن تر ریشه نیز در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم‌های GIZA1 و TITICACA به ترتیب به میزان ۲۱/۳۳ و ۲۰/۰۷

گرم بدست آمد (جدول ۳). نتایج نشان داد کمترین وزن تر ریشه در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی و عدم مصرف کود اوره در رقم TITICACA به میزان ۱/۸۳ گرم بدست آمد. به طورکلی نتایج نشان داد وزن تر ریشه با افزایش مصرف کود اوره در تیمار ۸۰ و ۱۰۰ نیاز آبی در ارقام کینوا نسبت به حالت عدم مصرف کود اوره افزایش داشت. به نظر می‌رسد آبیاری به همراه مصرف کود اوره نقش اساسی برای افزایش وزن تر ریشه کینوا دارد که در این تحقیق به وضوح مشاهده شد. در همین راستا محققان اظهار داشتند تنش خشکی تا حدی جذب مواد مغذی توسط ریشه را کاهش می‌دهد، زیرا کاهش رطوبت خاک منجر به کاهش سرعت انتشار مواد غذایی از ماتریکس خاک به سطح جذب کننده ریشه می‌شود (Waraich *et al*., 2011; Ghadirnezhad Shiade *et al*., 2023b). برهمین اساس پژوهش‌گران گزارش کردند واکنش ریشه به تنش خشکی ممکن است بر اساس عملکرد ریشه، گونه‌های گیاهی و شدت تنش خشکی متفاوت باشد (Yang *et al*., 2020).

هم‌چنین در شرایط مصرف ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در تمام تیمارهای آبیاری رقم GIZA1 نسبت به دو رقم دیگر کینوا وزن خشک ریشه بیشتری داشت در همه تیمارهای آبیاری با افزایش کود اوره وزن خشک ریشه در ارقام کینوا افزایش یافت (جدول ۳). هم‌چنین نتایج نشان داد که در شرایط یکسان در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی در رقم GIZA1 بین سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف کود اوره اختلاف ۲۰ درصدی در وزن خشک ریشه به نفع تیمار ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار مشاهده شد. به نظر می‌رسد که این اختلاف ناشی از مصرف بیشتر کود نیتروژن و اثربخشی آن در تجمع بیشتر ماده خشک در ریشه‌ها بوده است. محققان در گزارشی بیان کردند کاهش مقدار آب آبیاری سبب کاهش وزن خشک ریشه کینوا شده است (Jamali *et al*., 2020) که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. در تحقیقی دیگر، پژوهش‌گران کاهش وزن تر و خشک ریشه گیاه کینوا تحت اثر تنش خشکی را گزارش کردند (Hosseini *et al*., 2021). توسعه ریشه‌های گیاه علاوه بر اینکه یک صفت ژنتیکی می‌باشد، به وضعیت محیطی که در آن رشد می‌کند نیز وابسته است. از این‌رو، تنش خشکی، با اختلال در جذب آب و مواد غذایی در گیاه باعث کاهش وزن تر و خشک ریشه می‌گردد. گزارشات نشان می‌دهند که تنش خشکی با کاهش رطوبت قابل دسترس خاک، سبب کاهش چشم‌گیر در وزن ریشه گیاه می‌شود (Karandish *et al*., 2013; Li *et al*., 2011).

تعداد ریشه جانبی

تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه تیمارها بر تعداد ریشه‌های جانبی گیاه کینوا در سطح یک درصد معنادار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد ریشه جانبی در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم GIZA1 به تعداد ۱۲ ریشه مشاهده شد و کمترین تعداد ریشه جانبی نیز در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی و بدون مصرف کود اوره در رقم TITICACA به تعداد سه ریشه بدست آمد. در همه تیمارهای آبیاری با کاربرد کود نیتروژن، تعداد ریشه جانبی در ارقام کینوا نسبت به عدم مصرف کود اوره افزایش یافت (جدول ۳). در شرایط تنش خشکی رشد ریشه‌های جانبی ارقام کینوا واکنش متفاوتی نشان دادند که می‌تواند به پتانسیل ژنتیکی آن‌ها مرتبط دانست. تحت تنش خشکی و بدون مصرف کود اوره رقم GIZA1 با ۵/۳۳ ریشه در بوته، بهتر از دو رقم TITICACA و Q29 (به ترتیب با ۴/۳۳ و ۳ ریشه در بوته) ریشه‌های جانبی خود را گسترش داد. با این وجود، در هر سه رقم، تعداد ریشه‌های جانبی در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی، نسبت به سطوح مشابه کودی در تیمارهای ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی بطور معنی‌داری کمتر بود. دلیل کاهش تعداد ریشه‌های جانبی را در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی، می‌توان به کاهش شدید جذب آب در سطوح تنش خشکی و کاهش انتقال مواد غذایی مورد نیاز برای رشد ریشه نسبت داد (Mensah *et al*., 2006). تنش خشکی منجر به کاهش تقسیم و گسترش یاخته‌ای می‌شود و همین مسئله موجب کاهش ریشه‌های جانبی در شرایط تنش خشکی می‌گردد (Kabiri *et al*., 2012).

طول ریشه

تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش سه گانه تیمارها بر طول ریشه در سطح یک درصد معنادار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین طول ریشه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم GIZA1 به میزان ۳۲/۵ سانتی‌متر مشاهده شد و کمترین طول ریشه نیز در تیمار

۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم TITICACA به میزان ۸/۹۷ سانتی‌متر بدست آمد. در تیمارهای ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی استفاده از کود نیتروژن نسبت به عدم کاربرد کود نیتروژن طول ریشه در ارقام افزایش یافت. با مصرف ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در هر آبیاری ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی رقم GIZA1 نسبت به دو رقم دیگر کینوا طول ریشه بیشتری داشت (جدول ۳). تحقیقات نشان داده‌اند که تنش خشکی، باعث کاهش آماس و رشد سلولی و در نتیجه کاهش رشد گیاه، می‌شود. از سوی دیگر، با افزایش تنش خشکی فتوسنتز جاری کاهش و احتیاجات قندی برای تنظیم اسمزی در گیاهان افزایش می‌یابد و به دنبال آن رشد ریشه به طور اجتناب‌ناپذیری متوقف شده و یا کند می‌گردد (Vurayai *et al*., 2011). در این پژوهش تنش کم‌آبی منجر به کاهش طول ریشه در کینوا شد که با نتایج دیگر محققان (Hosseini *et al*., 2021; Farooq *et al*., 2017) مطابقت دارد. در شرایط تنش خشکی سیتوکنین کاهش پیدا می‌کند، با کاهش سنتز سیتوکنین رشد قسمت هوایی کند شده و در نتیجه تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به ریشه کاهش می‌یابد، درنهایت این امر منجر به کاهش رشد ریشه می‌شود (Shubhra *et al*., 2004).

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه تیمارها بر ارتفاع بوته گیاه کینوا در سطح یک درصد معنادار بود (جدول ۲). بررسی مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم GIZA1به میزان ۱۰۹ سانتی‌متر مشاهده شد و کمترین ارتفاع بوته در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم Q29 به میزان۵۰ سانتی‌متر بدست آمد. در تیمارهای آبیاری با افزایش کود نیتروژن، ارتفاع بوته در ارقام کینوا افزایش یافت. هم‌چنین در همه تیمارهای آبیاری، میزان ارتفاع بوته در رقم GIZA1 نسبت به دو رقم دیگر بیشتر بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد رقم GIZA1در شرایط تنش خشکی پتانسیل ژنتیکی خوبی برای مقاومت به تنش خشکی داشته و می‌تواند با ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره اثرات منفی تنش را کاهش دهد. خشکی منجر به کاهش ارتفاع گیاه می‌شود، زیرا تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌ها در اثر کاهش فشار اسمزی درون سلول کاهش می‌یابد. از طرفی کاهش ارتفاع گیاه به موازات افزایش تنش خشکی را می‌توان به اختلال در فتوسنتز به‌واسطه وقوع تنش خشکی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت انتقال به لندام‌های در حال رشد گیاه و نهایتاً عدم دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع نسبت داد (Farooq *et al*., 2017; Mohammadi *et al*., 2021). محققان گزارش کردند که اعمال تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع گیاه کینوا شد. با این‌حال، افزایش ارتفاع با افزایش سطح نیتروژن عمدتاً به دلیل نقش نیتروژن در تحریک فعالیت‌های متابولیکی بود (Taheri *et al*., 2021) که نتایج این مطالعه با نتایج آن‌ها مطابقت داشت. به نظر می‌رسد اختلال در فتوسنتز به دلیل تنش خشکی و کاهش فتوسنتز برای ارگان‌های در حال رشد گیاه باشد. در نهایت این گیاه از نظر ارتفاع به پتانسیل ژنتیکی نمی‌رسد. پژوهش‌گران در گزارشی بیان کردند بیشترین ارتفاع بوته کینوا با ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار بدست آمد (Azarpour *et al*., 2014) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده آبیاری در سطح یک درصد و اثر رقم در سطح پنج درصد بر وزن هزاردانه گیاه کینوا معنادار شد. هم‌چنین اثر برهم‌کنش آبیاری × رقم در سطح پنج درصد بر وزن هزار دانه معنادار شد و سایر اثرات تفاوت معناداری بر وزن هزار دانه کینوا نداشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش آبیاری و رقم نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه در تیمار ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی در رقم GIZA1 به‌ترتیب به میزان ۲/۹۳ و ۲/۹۱ گرم مشاهده شد و کمترین وزن هزار دانه نیز در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه در هر سه رقم بدست آمد. وزن هزار دانه در ارقام Q29 و TITICACA در همه تیمارهای آبیاری یکسان بود (شکل ۱). اثر تنش رطوبتی در مرحله پر شدن دانه‌ها بسیار برجسته است؛ زیرا عملکرد گیاه وابستگی زیادی به وزن هر دانه داشته و افزایش وزن دانه نیازمند تجمع مواد فتوسنتزی در دانه‌ها می‌باشد. تنش کم‌آبی بر حسب زمان، طول و شدت دوره تنش می‌تواند عملکرد دانه را کاهش دهد (Farooq *et al*., 2017;

Fathi *et al.*, 2022). بنابراین تنش رطوبتی به ویژه در مرحله گرده‌افشانی انتقال مواد غذایی از برگ به دانه را کاهش می‌دهد و به همین دلیل رسیدگی دانه سریع‌تر، دانه‌ها چروکیده و وزن هزار دانه آن‌ها کم می‌شود.

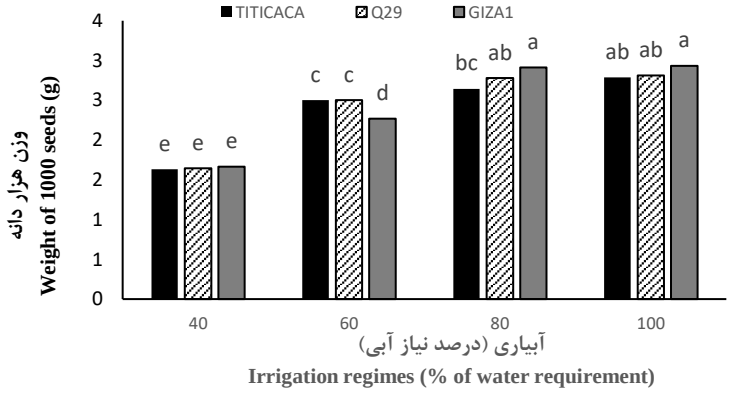
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر آبیاری، کود نیتروژن و ارقام بر خصوصیات ریشه و عملکرد کینوا

Table 2- Analysis of variance of irrigation effect, nitrogen fertilizer and cultivars on root characteristics and yield of quinoa

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	M.S								
		وزن تر ریشه Root wet weight	وزن خشک ریشه Dry weight of roots	طول ریشه Root length	تعدادریشه‌های جانبی Number of lateral roots	ارتفاع بوته Plant height	وزن هزار دانه Weight of 1000 seeds	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
تکرار R	2	0.13 ns	0.01 ns	0.04 ns	2.4**	2.29 ns	0.18 *	3.21 ns	4803.7 ns	133803.7 ns
آبیاری Irrigation (I)	3	374.04 **	74.32**	417.11**	58.73**	7927.65 **	8.16 **	41.00 **	13546528.4**	401127302.4**
خطای الف Error a	6	0.59	0.08	0.33	0.16	2.81	0.02	0.74	3065.43	230272.8
کود نیتروژن Nitrogen (N)	2	1009.15 **	249.32**	152.11 **	37.73**	3735.15 **	0.12 ns	201.43**	2579381.48**	236089559. **
رقم Cultivars (C)	2	46.23 **	20.20**	91.05 **	17.9**	330.81**	0.10*	68.45**	205692.59**	32479848.1**
آبیاری× نیتروژن I*N	6	53.98 **	9.14**	8.22 **	1.94 **	426.62**	0.04 ns	25.24**	1452428.4**	76532872.8**
آبیاری× رقم I*C	6	16.65**	3.21**	22.79**	2.52**	39.84**	0.08*	32.03**	85969.14**	9136791.3**
نیتروژن× رقم N*C	4	12.11**	4.05 **	14.49 **	4.8**	19.87**	0.04 ns	37.18**	58309.26**	5728698.1**
آبیاری× نیتروژن×رقم I*N*C	12	6.02**	1.00**	14.24**	3.99**	11.01**	0.02 ns	25.89**	27008.02**	7067789.5**
خطای ب Error b	64	0.88	0.07	0.35	0.67	5.24	0.04	2.84	2916.67	459134.7
C.V (%)	-	8.42	14.26	12.55	12.11	12.06	6.77	9.86	12.49	15.26

ns، **، * به ترتیب نشانگر عدم وجود اثر معنی‌دار، و اثر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد.

ns, ** and * represent not significant and significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.



شکل ۱- اثر متقابل آبیاری و رقم بر وزن هزار دانه گیاه کینوا

Figure 1- Effect of irrigation and cultivar on 1000-seed weight of quinoa

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by similar letters show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری، کود نیتروژن و ارقام کینوا بر صفات مورد بررسی

Table 3- Mean comparison of interactions of irrigation, nitrogen fertilizer and cultivars of quinoa on the studied traits

آبیاری Irrigation (% of water requirement)	نیتروژن Nitrogen ($kg.h^{-1}$)	ارقام Cultivars	وزن تر ریشه Root wet weight (g)	وزن خشک ریشه Dry weight of roots (g)	طول ریشه Root length (cm)	تعداد ریشه جانبی در بوته Number of lateral roots per plant	ارتفاع بوته Plant height (cm)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت HI (%)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)
		TITICACA	1.83q	1.07v	8.9u	3p	52.3uv	1213.33r	19.2ef	6413.3mno
	0	Q29	3.8op	2.1stu	14.33t	4.33no	53uv	1286.67qr	20.9de	6326.7mno
		GIZA1	3.63p	1.93u	17.97r	5.33lmn	55tu	1266.67qr	17.64fghij	7193.3lm
		TITICACA	4.23nop	2.07tu	16.03s	6.33jkl	56.17st	926.67st	18.5efg	5006.6p
40	100	Q29	6.03lm	3.73mn	18.3qr	6.33jkl	50v	686.67u	11.85n	6193.3no
		GIZA1	8.8k	4.03m	21.5mn	6.33jkl	58.33rs	913.33st	22.8bcd	3993.3q
		TITICACA	4nop	2.87pq	15.1t	5mno	60.3pqr	986.67s	16.4ghijkl	6013.3o
	200	Q29	5.2mn	3.5no	17.63r	4.33no	53.17tu	606.67u	13.2mn	4593.3pq
		GIZA1	9.1jk	5.8kl	19.23p	6.33jkl	62opq	873.33t	17.4fghij	4993.3p
		TITICACA	3.5p	2.2stu	20.2 o	4.33no	59qrs	1320q	22.2cd	6073.3no
	0	Q29	4.27nop	2.4rs	19.1pq	6klm	60.1pqr	1486.67p	19.37ef	7720kl
		GIZA1	4.3nop	2.6qr	24.03hij	6.33jkl	62.67op	1473.33p	24.02bc	6126.6no
		TITICACA	16.2def	7.9gh	22.37lm	7hijk	64o	1706.67mn	24.71b	6906.6lmno
60	100	Q29	15.1fgh	5.4l	25.27ef	6.67ijk	72.33vklm	1580 o	17.32fghijk	9133.33hij
		GIZA1	16.4def	7.63hi	25.13fg	7.33ghij	74.33jk	1740m	18.12fghi	9600ghi
		TITICACA	14.11h	7.27i	24.77hij	8efgh	68n	1700mn	20.75de	8193.33jk
	200	Q29	10.23j	6.7j	22.7kl	7hijk	73.67jkl	1780 lm	17.47fghij	10280g
		GIZA1	12.1i	8.8cd	25fg	6.33jkl	80.33i	1840kl	18.59efg	9906.6gh
		TITICACA	5.03mno	2.07tu	19.23p	4op	70mn	1593.33o	22.73bcd	7013.3lmn
	0	Q29	3.83nop	2.03tu	20.8no	6klm	71lmn	1593.33o	24.88b	6406.7mno
		GIZA1	6.97l	3.5no	26.13cde	7.33ghij	72.83vklm	1633.33no	23.32bc	7006.7lmn
		TITICACA	17.17bcd	8.33ef	28.2b	9.67bcd	90.33h	2306.67h	18.44efgh	12506.67f
80	100	Q29	14.67gh	5.9k	26.37c	6.33jkl	94.17g	2160i	14.98klm	14413.3e
		GIZA1	18.07bc	9.03cd	23.83ij	10.33b	95.33vfh	2406.67g	15.99ijkl	15046.7de
		TITICACA	18.33b	9.67b	25.03fg	8.33efg	94g	2230.33hi	28.82a	7753.3kl
	200	Q29	9.6jk	7.4i	23.33jk	7hijk	100de	2506.67f	16.27ghijkl	15413.3cd
		GIZA1	15.6efg	9.8ab	21.13n	8.67def	105b	2553.33f	14.52lm	17593.3b
		TITICACA	5.1mno	2.37rst	23.37jk	8.33efg	71lmn	1593.33o	22.13cd	7200lm
	0	Q29	6.03lm	3.8mn	20.77no	7hijk	72klm	1906.67k	24.47bc	7793.3kl
		GIZA1	5.13mno	3.2op	24.47fghi	8.33efg	76j	2013.33j	22.88bcd	8806.7ij
		TITICACA	20.07a	7.37i	26.17cd	10bc	96.67fg	2906.67d	18.16fghi	16013.3c
100	100	Q29	15.8defg	6.7j	24.9fg	8.33efg	98ef	2980cd	17.12fghijk	17413.3b
		GIZA1	21.3a	8.6de	28.1b	9cde	102bcd	3006.67c	18.29fghi	18193.3b
		TITICACA	16.7cde	9.1c	24.3ghi	7.67fghi	101cde	2806.67e	16.13hijkl	17420b
	200	Q29	16.6de	8.1fg	25.3def	8efgh	103.17bc	3193.33b	17.74fghi	18006.67b
		GIZA1	16.8cde	10.1a	32.5a	12a	109a	3326.67a	15.3jklm	19620a

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵درصد، اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند

Means followed by similar letters in each column show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نتایج نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه تیمارها بر عملکرد بیولوژیک گیاه کینوا در سطح یک درصد معنادار می‌باشد (جدول ۲). بیشترین عملکرد بیولوژیک کینوا در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم GIZA1 به میزان ۱۹۶۲۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد و کمترین عملکرد بیولوژیک در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم GIZA1 به

میزان ۳۹۹۳ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (جدول ۳). در شرایط کم‌آبی کاربرد کود نیتروژن باعث کاهش عملکرد بیولوژیک در ارقام کینوا شد و با افزایش آب آبیاری و استفاده از کود اوره اثر معناداری بر افزایش عملکرد بیولوژیک کینوا داشت. هم‌چنین در تیمارهای ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، میزان عملکرد بیولوژیک در رقم GIZA1 نسبت به دو رقم دیگر بیشتر بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد که افزایش مصرف نیتروژن در شرایط فراهمی رطوبت، به دلیل افزایش تولید مواد فتوسنتزی، سبب بهبود عملکرد بیولوژیک گردید که این نتایج با گزارشات دیگر محققان مطابقت دارد (Fathi and Zeidali, 2021). محققان بیان داشتند که تنش خشکی عملکرد بیولوژیک را در کینوا کاهش داد (Mohammadi *et al*., 2021). از مهم‌ترین دلایل کاهش وزن گیاه در طول دوره تنش می‌توان به اثرات منفی تنش بر رشد رویشی، سیستم فتوسنتزی و جذب عناصر غذایی اشاره کرد (Taheri *et al*., 2021).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه تیمارها بر عملکرد دانه گیاه کینوا در سطح یک درصد معنادار بود (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه کینوا در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم GIZA1به میزان ۳۳۲۶ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد و کمترین عملکرد دانه در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی با کاربرد ۲۰۰ و۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره در رقم Q29 به ترتیب به میزان ۶۰۶ و ۶۸۶ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (جدول ۳). در شرایط کم‌آبی کاربرد کود نیتروژن باعث کاهش عملکرد دانه در ارقام کینوا شد و با افزایش آب آبیاری استفاده از کود نیتروژن تأثیر معناداری بر افزایش عملکرد دانه کینوا داشت. به نظر می‌رسد که با افزایش مصرف کود نیتروژن، نیاز گیاه به‌واسطه احتیاج فرایند متابولیسم نیتروژن به آب هم بیشتر می‌شود و چون گیاه در شرایط تنش خشکی با کمبود شدید آب قرار می‌گیرد، بنابراین مصرف بیشتر نیتروژن نه تنها باعث رشد و عملکرد بیشتر نمی‌گردد، بلکه عملکرد دانه را کاهش می‌دهد. بنابراین تا زمانی که شرایط تنش خشکی بر گیاه حاکم است، باید از مصرف کود نیتروژن اجتناب کرد.

هم‌چنین در تیمارهای ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره، میزان عملکرد دانه در رقم GIZA1 نسبت به رقم Q29 در شرایط مشابه آب و کود نیتروژن به ترتیب ۳۲/۵۹ و ۴/۱۷ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). پژوهش‌گران به این نتیجه رسیدند که کمبود آب در زمان پر شدن دانه از طریق تقلیل فتوسنتز جاری، عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Mohammadi *et al*., 2021). خشکی در مرحله پر شدن دانه مخصوصاً اگر با افزایش دما همراه باشد، موجب کاهش طول دوره پر شدن دانه، تسریع در پیری برگ‌ها، کاهش میانگین وزن دانه‌ها و در نهایت عملکرد دانه می‌شود (Farooq *et al*., 2017). دسترسی به آب در مراحل مختلف رشد بر عملکرد دانه تأثیر می‌گذارد (Fathi *et al*., 2022). در تحقیق حاضر، تنش خشکی به‌طور معناداری باعث کاهش ویژگی‌های عملکردی هم‌چون وزن هزار دانه در گیاه کینوا نسبت به شاهد (شرایط فراهمی ۱۰۰ درصد نیاز آبی) شد. با توجه به نتایج بدست آمده، رقم TITICACA در شرایط آبیاری مطلوب از عملکرد دانه پایین‌تری نسبت به دو رقم دیگر برخوردار بود. بطور کلی در تحقیق حاضر، رقم TITICACA از عملکردی پایینی برخوردار بود. اما در شرایط تنش شدید رقم TITICACA نسبت به دو رقم دیگر عملکرد دانه بالاتری داشت. گزارش شده است که رشد رویشی و فراهمی مواد فتوسنتزی به تناسب با افزایش میزان نیتروژن مصرفی سبب بهبود عملکرد دانه کینوا می‌شود (Taheri *et al*., 2021; Kakabouki *et al*., 2014).

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نتایج نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه تیمارها بر شاخص برداشت گیاه کینوا در سطح یک درصد معنادار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین شاخص برداشت کینوا در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم TITICACA به میزان ۲۸/۸۲ درصد مشاهده شد و کمترین شاخص برداشت در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم Q29 به میزان ۱۱/۸۵ درصد بدست آمد (جدول ۳). در تحقیقی گزارش شد که در شرایط پنج رژیم آبیاری متفاوت تغییر معناداری در شاخص برداشت مشاهده نشد، اما عملکرد دانه در تنش شدید کاهش زیادی نشان داد (Lovelli *et al*., 2007). به نظر

می‌رسد که افزایش مقدار مصرف نیتروژن تولید بافت‌های ساختمانی گیاه را نسبت به بافت‌های غیر ساختمانی، بیشتر افزایش داده و بدین ترتیب افزایش مصرف نیتروژن باعث افزایش نسبت بیوماس به دانه شده است. در نتیجه شاخص برداشت در تیمارهای دارای کود نیتروژن نسبت به تیمار بدون کود کاهش پیدا کرد. محققان اظهار داشتند که شاخص برداشت کینوا با افزایش تیمارهای نیتروژنه تا بالاترین سطح، کاهش یافت (Basra *et al*., 2014).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که گیاه کینوا تحمل بالایی به شرایط تنش خشکی دارد. به نحوی که توانست در شرایط تنش شدید دوره رشد خود را کامل کرده و عملکرد قابل قبولی داشته باشد. البته بیشترین وزن خشک ریشه، تعداد ریشه جانبی، طول ریشه، و عملکرد دانه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم GIAZ1 مشاهده شد. رقم GIAZ1 نسبت به دو رقم دیگر عملکرد بهتری در شرایط کاربرد حداکثر کود نیتروژن را داشت. رقم TITICACA در شرایط آبیاری بهینه از عملکرد دانه کمتری نسبت به دو رقم دیگر برخوردار بود. اما در شرایط تنش شدید رقم TITICACA نسبت به دو رقم دیگر از عملکرد دانه بالاتری برخوردار بود. نتایج نشان داد که در شرایط ۲۰ درصد کاهش در تأمین نیاز آبی (از ۱۰۰ به ۸۰ درصد نیاز آبی) و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در ارقام GIZA1، Q29 و TITICACA

به ترتیب ۳۰/۲۸، ۲۷/۳۹ و ۲۵/۸۴ درصد از عملکرد دانه کاهش پیدا کرده است. بطور کلی نتایج نشان داد که در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از رقم GIAZ1 برای کشت کینوا در شرایط اکولوژیکی منطقه ایلام استفاده شده و در شرایط عدم فراهمی رطوبت در حد مطلوب، از رقم TITICACA استفاده شود.

References

Ashraf, M., Shabaz, M. and Ashraf, M.Y., 2001. Influence of nitrogen supply and water stress on growth and nitrogen, phosphorus, potassium and calcium contents in pearl millet. *Biologia Plantarum*, *44*(3), PP.459-462. **doi:10.1023/A:1012400422848**

Azarpour, E., Bozorgi, H.R. and Moraditochaee, M., 2014. Effects of ascorbic acid foliar spraying and nitrogen fertilizer management in spring cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in north of Iran. *Biological Forum*, *6*(2), PP.254.

Baldermann, S., Blagojević, L., Frede, K., Klopsch, R., Neugart, S., Neumann, A. and Schreiner, M., 2016. Are neglected plants the food for the future. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *35*(2), PP.106-119. **doi:10.1080/07352689.2016.1201399**

Basra, S.M.A., Iqbal, S. and Afzal, I., 2014. Evaluating the response of nitrogen application on growth, development and yield of quinoa genotypes. *International Journal of Agriculture and Biological*, 16, PP.886-892.

Elewa, T.A., Sadak, M.Sh. and Dawood, M.G., 2017. Improving drought tolerance of quinoa plant by foliar treatment of trehalose. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, PP.245-254.

Ezati, N., Maleki, A. and Fathi, A., 2020. Effect of drought stress and spraying of gibberellic acid and salicylic acid on the quantitative and qualitative yield of canola (*Brassica napus*). *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, *14*(56), PP.94-109 [In Persian]. **doi:20.1001.1.76712423.1398.14.56.5.9**

Farooq, M., Gogoi, N., Barthakur, S., Baroowa, B., Bharadwaj, N., Alghamdi, S.S. and Siddique, K.H.M., 2017. Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science*,

203(2), PP.81-102. **doi:10.1111/jac.12169**

Fathi, A. and Kardoni, F., 2020. The importance of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) cultivation in developing countries: A review. *Cercetări Agronomice în Moldova*, *3*(183), PP.337-356. **doi: 10.46909/cerce-2020-030**

Fathi, A., Maleki, A. and Naseri, R., 2022. A review of the effects of drought stress on plants and some effective strategies in crop management. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, PP.1-29 [Article in Press, In Persian]. **doi: 10.30495/iper.2022.1944163.1744**

Fathi, A. and Zeidali, E., 2021. Conservation tillage and nitrogen fertilizer: a review of corn growth and yield and weed management. *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*, *1*(3), PP.121-142. **doi:10.22034/CAJPSI.2021.03.01**

Ghadirnezhad Shiade, S. R., Fathi, A., Kardoni, F., Pandey, R., & Pessarakli, M., 2023a. Nitrogen contribution in plants: recent agronomic approaches to improve nitrogen use efficiency. *Journal of Plant Nutrition*, PP.1-18. **doi:10.1080/01904167.2023.2278656**

Ghadirnezhad Shiade, S.R., Fathi, A., Taghavi Ghasemkheili, F., Amiri, E. and Pessarakli, M., 2023b. Plants' responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches—a review. *Journal of Plant Nutrition*, PP.1-33. **doi: 10.1080/01904167.2022.2105720**

Hosseini, S., Jalilian, J. and Gholinezhad, E., 2021. The effect of ascorbic acid, salicylic acid, and nano-micronutrient chelate fertilizer on yield and yield components of quinoa under water-deficit stress. *Journal of Crops Improvement*, *23*(3), PP.349-361 [In Persian]. **doi:10.22059/jci.2021.308905.2441**

Jacobsen, S.E., Liu, F. and Jensen, C.R., 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Horticulturae*, *122*(2), PP.281-287. **doi:10.1016/j.scienta.2009.05.019**

Jamali, S., Goldani, M. and Zeynodin, S., 2020. Evaluation the effects of periodic water stress on yield and water productivity on Quinoa. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *13*(6), PP.1687-1697. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.20087942.1398.13.6.13.9**

Kabiri, R., Farahbakhsh, H. and Nasibi, N., 2012. Effect of drought stress and its interaction with salicylic acid on black cumin (*Nigella sativa*) germination and seedling growth. *World Applied Sciences Journal*, *18*(4), PP.520-527.

Kakabouki, I., Bilalis, D., Karkanis, A., Zervas, G. and Hela, D., 2014. Effects of fertilization and tillage system on growth and crude protein content of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An alternative forage crop. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, PP.18-24. **doi: 10.9755/ejfa.v26i1.16831**

Karandish, F., Mirlatifi, M., Shahnazari, A., Gheisari, M. and Abbasi, F., 2013. Effect of partial root-zone drying (PRD) and deficit irrigation on Nitrogen uptake and leaching in maize. *Water and Irrigation Management*, *2*(2), PP.85-98. **doi:10.22059/jwim.2013.30342**

Li, C., Sun, J., Li, F., Zhou, X., Li, Z., Qiang, X. and Guo, D., 2011. Response of root morphology and distribution in maize to alternate furrow irrigation. *Agricultural Water Management*, *98*(12), PP.1789-1798. **doi:10.1016/j.agwat.2011.07.005**

Lovelli, S., Perniola, M., Ferrara, A. and Di Tommaso, T., 2007. Yield response factor to water (Ky) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. *Agricultural Water Management*, *92*(1-2), PP.73-80. **doi:10.1016/j.agwat.2007.05.005**

Martin, D.L., Stegman, E.C. and Fereres, E., 1990. Irrigation scheduling principles. Agricultural Engineers, St. Joseph, MI., IN: Management of Farm Irrigation Systems. *American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, MI, 155-203.

Mensah, J.K., Obadoni, B.O., Eruotor, P.G. and Onome-Irieguna, F., 2006. Simulated flooding and drought effects on germination, growth and yield parameters of sesame (*Sesamum indicum* L.). *African Journal of Biology*, 5, PP.1249-1253.

Mohammadi, F., Maleki, A. and Fathi, A., 2021. Effects of drought stress and humic acid on plant growth, yield quality and its components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Journal of Crop Nutrition Science*, *7*(3), PP.11-23.

Naz, H., Akram, N.A. and Kong, H., 2020. Assessment of secondary metabolism involvement in water stress tolerance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Subjected to varying water regimes. *Pakistan Journal of Botany*, *52*(5), PP.1553-1559. **doi:10.30848/PJB2020-5**

Nguyen, L.V., Bertero, D., Hoang, D.T. and Long, N.V., 2021. Variation in quinoa roots growth responses to drought stresses. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *208*(6), PP.830-840. **doi:10.1111/jac.12528**

Olesen, J.E., Trnka, M., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P. and Micale, F., 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy*, *34*(2), PP.96-112. **doi:10.1016/j.eja.2010.11.003**

Piao, S., Ciais, P., Huang, Y., Shen, Z., Peng, S., Li, J. and Fang, J., 2010. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, *467*(7311), PP.43-51. **doi:10.1038/nature09364**

Saddiq, M.S., Wang, X., Iqbal, S., Hafeez, M.B., Khan, S., Raza, A. and Gulshan, A.B., 2021. Effect of water stress on grain yield and physiological characters of quinoa genotypes. *Agronomy*, *11*(10), PP.1934. **doi:10.3390/agronomy11101934**

Saravia, D., Farfán-Vignolo, E.R., Gutiérrez, R., De Mendiburu, F., Schafleitner, R., Bonierbale, M. and Khan, M.A., 2016. Yield and physiological response of potatoes indicate different strategies to cope with drought stress and nitrogen fertilization. *American Journal of Potato Research*, *93*(3), PP.288-295. **doi:10.1007/s12230-016-9505**

Shams, A.S., 2012. Response of quinoa to nitrogen fertilizer rates under sandy soil conditions. In Proc. 13th International Conference of Agronomy. Faculty of Agriculture. Benha University., September, Egypt (PP. 9-10).

Shubhra, K., Dayal, J., Goswami, C.L. and Munjal, R., 2004. Effects of water-deficit on oil of Calendula aerial parts. *Biologia Plantarum*, *48*(3), PP.445-448.

Taheri, F., Maleki, A. and Fathi, A., 2021. Study of different levels of nitrogen fertilizer and irrigation on quantitative and qualitative characteristics of quinoa grain yield. *Crop Physiology Journal*, *13*(50), PP.135-

149. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.2008403.1400.13.50.8.5**

Vurayai, R., Emongor, V. and Moseki, B., 2011. Effect of water stress imposed at different growth and development stages on morphological traits and yield of *Bambara groundnusts* (*Vignsubt erranean* L. Verdc). *American Journal of Plant Physiology*, *6*(1), PP.17-27. **doi: 10.3923/ajpp.2011.17.27**

Waraich, E.A., Ahmad, R., Ashraf, M.Y., Saifullah, and Ahmad, M., 2011. Improving agricultural water use efficiency by nutrient management in crop plants. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science*, *61*(4), PP.291-304. **doi:10.1080/09064710.2010.491954**

Yang, A., Akhtar, S.S., Amjad, M., Iqbal, S. and Jacobsen, S.E., 2016. Growth and physiological responses of quinoa to drought and temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *202*(6), PP.445-453. **doi:10.1111/jac.12167**

Yang, A., Akhtar, S.S., Li, L., Fu, Q., Li, Q., Naeem, M.A. and Jacobsen, S.E., 2020. Biochar mitigates combined effects of drought and salinity stress in quinoa. *Agronomy*, *10*(6), PP.1-14. **doi: 10.3390/agronomy10060912**

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 2, Autumn 2023, P. 487-500

Effect of drought stress and nitrogen chemical fertilizer on root properties and yield in three quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd)

Zeinab Zamani[1], Ehsan Zeidali[2*], Hamzeh Ali Alizadeh[3], Amin Fathi[4]

[1] Master Student of Agronomy, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
[2] Department of Agronomy and Plant Breeding, Agriculture Faculty, Ilam University, Ilam, Iran
[3] Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
[4] Ph.D. of Agronomy, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran
[*]Corresponding Author: e.zeidali@ilam.ac.ir

Received: 29 July 2022 Accepted: 5 October 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.353966.1261**

Abstract

Introduction: The world population is increasing daily, while the scope for expansion and development of agricultural land is very narrow due to limited water resources. All of this can affect agriculture indirectly or directly. Quinoa is a pseudo-cereal, belongs to the Amaranthaceae family, and is native to South America. This crop is important for human and animal nutrition due to its medicinal and agro-industrial properties. Water and nitrogen (N) are two major challenges in quinoa cultivation that can be addressed by better understanding related agronomic features. Under water deficit conditions, selecting and cultivating crop species tolerant to drought stress is an approach to maintaining and/or increasing crop production levels. Although it is widely reported that quinoa is a highly drought-tolerant crop, its growth has been significantly suppressed under severe drought stress conditions.

Materials and Methods: The experiment was conducted as a split factorial arranged in a randomized complete block design with three replications. Treatments included four irrigation regimes (100, 80, 60, and 40% of crop water requirement) as the main factor, three quinoa cultivars (TITICACA, Q29, and GIZA1), and three nitrogen fertilizer rates (0, 100, and 200 kg ha1 from urea sources) as subfactorial. The field preparation operations prior to planting included plowing and disc Planting was done on March 22, 2021. The net amount of nitrogen-based nitrogen fertilizer treatments of 100 and 200 kg ha-1 was equal to 46 and 92 kg, respectively. According to the soil test results, the soil was not poor regarding phosphorus and potassium elements, so only urea fertilizer was used. The distance between two rows and between plants on the row in quinoa cultivation was 50 cm and 10 cm, respectively.

Results and Discussion: There was a significant interaction effect between irrigation, N, and cultivar on root traits and grain yield. The effects of irrigation regimes, N rates, and their interactions were significant on plant height at the level of one percent, and the highest (109 cm) and lowest (50 cm) plant heights were obtained with normal irrigation and 100% N application in the GIZA1 cultivar and 40% of the water requirement of 100 kg ha^{-1} N application in cultivar Q29, respectively. The highest 1000-seed weight was obtained with the normal irrigation (2.93 g) regime to meet 80% of the water requirement (2.91 g) in the GIZA1 cultivar. The lowest 1000-seed weight was obtained with 40% of the plant water requirement in all three cultivars. Thousand-grain weight in Q29 and TITICACA cultivars is the same in all irrigation regimes. Two treatments of the normal irrigation, N application and GIZA1 cultivar; and 40% of water requirement, 200 to 100 kg ha^{-1} of N rate and Q29 cultivar obtained the highest (3326 kg ha^{-1}) and lowest (686 kg ha^{-1}) seed yield, respectively. The N addition reduced seed yield in quinoa cultivars under water -deficit conditions. In water deficit conditions, the application of nitrogen fertilizer decreased the biological yield of quinoa cultivars, and increasing the irrigation water and using urea fertilizer significantly increased the biological yield of quinoa. Also,

in 60, 80, and 100 % of water requirement treatments, the amount of biological yield in the cultivar GIZA1 was higher than the other two cultivars.
Conclusion: This research showed that the quinoa plant has a high drought tolerance. In such a way, it could complete its growth period and have acceptable performance in conditions of intense stress. With the higher N application, the GIAZ1 cultivar performed better than the others. Although the TITICACA cultivar recorded a lower grain yield under optimum irrigation conditions, it showed a higher grain yield under severe stress conditions than others. It can be concluded that under the conditions of 100% water requirement and the application of 200 N kg ha^{-1}, GIAZ1 variety is suitable for the growth of quinoa in the ecological conditions of the Ilam region.

Keywords: Biological yield, Harvest index, Plant height, Root length, Root dry weight