کارایی مصرف آب و پاسخ کمی و کیفی کینوا به کاربرد غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید تحت شرایط کم‌آبیاری

حمید صادقی زاده[۱]، غلامرضا خواجویی نژاد[۲] و جلال قنبری[۳]

تاریخ ارسال:۱۳۹۹/۰۴/۱۷
تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۰۶/۱۲

مقاله پژوهشی

چکیده

در سال‌های اخیر، سطح زیر کشت کینوا (Chenopodium quinoa Willd.) و مصرف غذایی دانه آن به‌دلیل خصوصیات تغذیه‌ای و قابلیت رشد آن در شرایط سخت محیطی نظیر خشکی، افزایش یافته است. هدف از این مطالعه، ارزیابی رشد، عملکرد کمی و کیفی، کارایی مصرف آب و تعیین واکنش گیاه کینوا رقم 'تیتیکاکا' به غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید (۰، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی مولار) در سطوح مختلف آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) بود. این آزمایش مزرعه ای در قالب طرح کرت‌های خرد شده در قالب سه بلوک در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان در طول فصل رشد ۱۳۹۸ اجرا شد. نتایج نشان داد در حالی‌که اعمال کم‌آبیاری موجب کاهش سرعت رشد، عملکرد زیستی و عملکرد و اجزای عملکرد دانه شد، کاربرد غلظت بالای سالیسیلیک اسید منجر به بهبود معنی‌دار پارامترهای مذکور شد. در شرایط آبیاری نرمال، اعمال غلظت‌های متوسط و در شرایط شدید کم‌آبیاری اعمال غلظت بالای سالیسیلیک اسید منجر به بهبود رشد، کارایی مصرف آب و عملکرد پروتئین دانه شد. بیشترین کارایی مصرف آب در شرایط اعمال کم‌آبیاری و غلظت بالای سالیسیلیک اسید حاصل شد. اعمال کم‌آبیاری میزان پروتئین دانه را افزایش داد، در حالی‌که افزایش غلظت سالیسیلیک اسید موجب کاهش آن شد. در مقابل، کم‌آبیاری موجب کاهش عملکرد پروتئین و اعمال سالیسیلیک موجب بهبود آن شد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که براساس قابلیت دسترسی به منابع آب در مزارع کینوا، می‌توان از غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید در جهت بهبود عملکرد و بهره‌وری آب در مناطق خشک و نیمه خشک بهره برد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، خشکی، سالیسیلیک اسید، عملکرد، محتوای پروتئین، *Chenopodium quinoa*.

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۰۹۱۳۲۴۷۴۷۰۲، r.sadeghizadeh11@gmail.com

[۲] دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۰۹۱۳۱۴۰۶۵۱۲؛ khajoei@uk.ac.ir؛ (نویسنده مسئول)

[۳] گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۰۹۱۳۹۹۸۵۶۲۶؛ jalalghanbari@agr.uk.ac.ir

مقدمه

کشاورزی ۷۲ درصد از آب شیرین جهان را مصرف می‌کند (Cai and Rosegrant, 2003). علاوه براین، کمبود منابع آب یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده توسعه کشاورزی در ایران است (Abedi et al., 2002). در تحقیقات مرتبط، کم‌آبیاری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گزینه‌های موجود برای مقابله با این شرایط مد نظر قرار گرفته است (Geerts et al., 2008). از طرف دیگر، توسعه الگوی کشت محصولات در چنین شرایطی بهتر است براساس انتخاب گیاهان سازگار در جهت افزایش بهره‌وری در شرایط محیطی موجود، برنامه‌ریزی شود. از این رو، افزیش بهره‌وری آب یک راه ممکن برای دستیابی به افزایش تولید در شرایط کمبود منابع آبی است (Geerts et al., 2008). کشت گیاهان متحمل به تنش خشکی یکی از مهم‌ترین راه‌های موجود برای بالا بردن بهره‌وری از مزارع و بهبود معیشت در مزارع و مناطق در معرض خشکی است (Sezen et al., 2016).

انعطاف‌پذیری فنولوژیکی و تنوع بالای فنوتیپی و ژنتیکی و همچنین توسعه مکانیزم‌های منحصر به فرد مقاومت به تنش خشکی در کینوا موجب دامنه بالای سازگاری این گیاه به شرایط مختلف اقلیمی به خصوص خشکی شده و علاقه جهانی به این محصول را افزایش داده است (Sezen et al., 2016). سازگاری بالای ارقام کینوا با شرایط مختلف محیطی بدین معناست که می‌توان از این گیاه به‌عنوان جایگزین مناسب برای مناطق خشک و نیمه خشک که سایر محصولات زراعی دانه‌ای میزان و کیفیت تولید پایینی دارند و یا قادر به رشد نیستند، استفاده کرد (Ahmadi et al., 2019). کینوا گیاهی دو لپه و آللوتتراپلوئید از خانواده آمارانتاسه[1] است که جزو شبه غلات دسته‌بندی می‌شود (Adolf et al., 2012). به‌دلیل ارزش غذایی بالا و نقش این گیاه در امنیت غذایی، در راستای تمرکز جامعه جهانی بر بهبود تغذیه و ریشه کنی فقر، سازمان ملل سال ۲۰۱۳ را سال بین المللی کینوا اعلام کرد (FAO, 2013). میزان پروتئین بالا (۱۳/۸۱ تا ۲۱/۹)، نسبت متعادل اسیدهای آمینه ضروری نظیر لیزین، و همچنین محتوای قابل توجه ریزمغذی‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی مختلف از مهم‌ترین ویژگی‌های مهم تغذیه‌ای این گیاه به شمار می‌رود (FAO, 2013).

تنش خشکی اثرات منفی بر فیزیولوژی، رشد و عملکرد گیاه دارد. با اینکه اعمال تنش خشکی در بسیاری تحقیقات منجر به کاهش رشد و عملکرد کینوا شده است اما پاسخ‌های فیزیولوژیکی ناشی از افزایش رشد ریشه این اثرات را تخفیف داده است (Gámez et al., 2019). علی‌رغم اینکه کینوا گیاهی سه‌کربنه است اما از کارایی مصرف آب بالایی برخوردار است. گزارش شده که اعمال تنش خشکی قبل از گل‌دهی و دانه بندی کینوا، عملکرد را کاهش داده در حالی‌که در دوره رشد رویشی اعمال تنش موجب افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب گردیده است (Geerts et al., 2008). در گیاه کینوا تفاوت معنی‌داری در میزان پروتئین (عمدتا آلبومین ها) تحت تنش آبی مشاهده نشده است (Fischer et al., 2017). در مقابل، افزایش پروتئین دانه در گندم دوروم هنگام وقوع تنش آب در مرحله پر شدن دانه گزارش شده است (Flagella et al., 2010).

با توجه به محدودیت منابع آب کشاورزی، تحقیقات مختلفی جهت یافتن راه‌کارهایی که سبب افزایش کارآیی مصرف آب و تخفیف آثار تنش خشکی در گیاهان می‌گردد، انجام شده است. یکی از این راه‌کارها، اعمال سالیسیلیک اسید می‌باشد که بر بسیاری از فعالیت‌های فیزیولوژیکی سلول اثرگذار بوده و یک مولکول علامت دهنده مهم در پاسخ‌های گیاهان در برابر تنش‌های محیطی محسوب می‌شود (Al-Hakimi, 2008). این هورمون گیاهی در تعدادی از فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه نقش تنظیم کننده داشته و اثرات مخرب تنش اکسیداتیو را با تقویت سیستم دفاع آنتی اکسیدانی کاهش می‌دهد (Pourghasemian et al., 2020). گزارش شده که گیاهان کنجد رشد یافته تحت کمبود آب که با غلظت ۱/۵ میلی مولار سالیسیلیک اسید تیمار شده بودند در مقایسه با گیاهان شاهد از رشد، زیست توده و شاخص سطح برگ بالاتری برخوردار بودند (Pourghasemian et

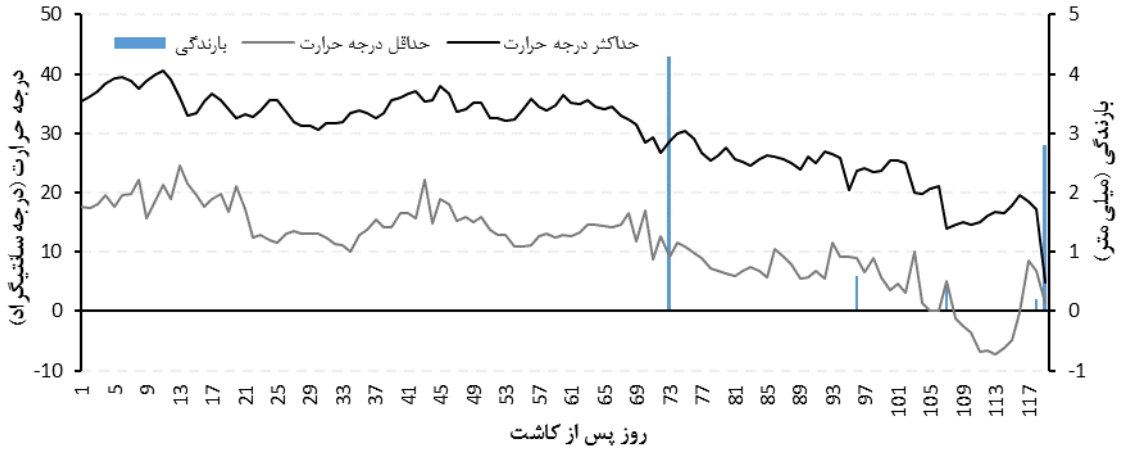
[1] *Amaranthaceae*

al., 2020). براساس موارد ذکر شده، هدف از انجام این آزمایش بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر پارامترهای مختلف کمی و کیفی گیاه کینوا در سطوح مختلف آبیاری و همچنین بررسی اثر تخفیف دهندگی این هورمون گیاهی در برابر اثرات ناشی از تنش خشکی بر رشد و عملکرد این گیاه در منطقه کرمان بود.

مواد و روش‌ها

محل اجرا، تیمارها و طرح آزمایشی

این تحقیق در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان (طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۷ دقیقه و ۱۱ ثانیه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۴ دقیقه و ۳۸ ثانیه شمالی و ارتفاع ۱۷۷۴ متر از سطح دریا) انجام شد. اطلاعات هواشناسی مربوط به دوره اجرای آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای مختلف آبیاری شامل کنترل حجم آبیاری براساس ۱۰۰، ۷۵ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در کرت‌های اصلی و غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید شامل ۰، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار در کرت‌های فرعی اعمال شد. بذر گواهی شده کینوا رقم 'تیتیکاکا' از طریق مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان کرمان تهیه گردید. نمونه‌برداری از خاک مزرعه از ۹ نقطه و در عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتری به‌صورت تصادفی انجام شد. از بین نمونه‌های جمع‌آوری شده دو نمونه نهایی جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج بر اساس میانگین دو نمونه به شرح جدول ۱ حاصل شد.



شکل (۱): اطلاعات هواشناسی مربوط به منطقه مورد بررسی در دوره اجرای آزمایش

جدول (۱): ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

نیتروژن (٪)	فسفر قابل دسترس ($mg\ kg^{-1}$)	کربن آلی (٪)	وزن مخصوص ظاهری ($g\ cm^{-3}$)	pH	قابلیت هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	بافت
۰/۰۵	۶/۰۲	۰/۴۲	۱/۴۵	۷/۴	۱/۲	لوم شنی

عملیات زراعی

عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و فاروبندی در اواخر تیرماه سال ۱۳۹۸ در زمین مورد نظر انجام شد. کاشت به صورت جوی و پشته‌ای انجام و بذرها در عمق ۱ تا ۲ سانتی‌متر با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها و ۵ سانتی‌متر روی ردیف کاشت شد. هر کرت فرعی شامل چهار ردیف کاشت به طول ۲ متر بود.

اولین آبیاری بلافاصله پس از اتمام کاشت (۴ مردادماه ۱۳۹۸) انجام شد. در این آزمایش اعمال رژیم‌های آبیاری از مرحله ابتدای خوشه‌دهی (۲۴ روز پس از کاشت) انجام

گرفت (شکل ۲-الف). جهت محاسبه درصد رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی (FC) از روش صحرایی توضیح داده شده توسط علیزاده (۱۳۹۰) استفاده شد. به این ترتیب که بین ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از آبیاری مزرعه، نمونه‌هایی از خاک مزرعه برداشت شده و درصد رطوبت نمونه‌ها تعیین شد. مقدار رطوبتی که در دو اندازه‌گیری متوالی تقریبا ثابت بود به عنوان ظرفیت زراعی خاک در نظر گرفته شد. پس از محاسبه ظرفیت زراعی خاک مزرعه، میزان آب آبیاری از تفاضل رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی مزرعه و رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری (Pourghasemian et al., 2020) براساس عمق مؤثر توسعه ریشه (۵۰ سانتی‌متر) (Ahmadi et al., 2019; Razzaghi et al., 2012) محاسبه شد و حجم آبیاری در هر سطح آبیاری کنترل شد. پس از آماده‌سازی غلظت‌های مختلف، دو مرحله محلول پاشی برگی (مرحله اول با شروع اعمال تیمارهای آبیاری و مرحله دوم در ابتدای دانه‌بندی) به‌صورت یکنواخت و با استفاده از سمپاش کوله‌ای در سطوح مختلف سالیسیلیک اسید انجام شد (شکل ۲-ب و ج).

شکل(۲): نمایی از مزرعه کینوا در مرحله شروع گل‌دهی (الف)، پس از محلول پاشی دوم (ب) و مرحله پر شدن دانه (ج).

نمونه برداری و اندازه گیری پارامترهای مختلف رشد، عملکرد، میزان پروتئین دانه و کارایی مصرف آب

اولین نمونه برداری گیاه برای تعیین پارامترهای رشد، در تاریخ ۲۳ شهریور در مرحله گل‌دهی (شکل ۲-الف) از مزرعه انجام و پس از انتقال به آزمایشگاه، سطح برگ (LA) با استفاده از دستگاه تعیین سطح برگ WinArea_ut_11 اندازه‌گیری شد. پس از آن، نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و بعد از خشک شدن کامل، وزن خشک هر نمونه تعیین گردید. دومین نمونه‌گیری در تاریخ ۳۰ مهر در ابتدای مرحله دانه‌بندی (شکل ۲-ب) انجام و در این مرحله نیز همانند مرحله اول سطح برگ و وزن خشک هر نمونه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. پارامترهای رشد

شامل سرعت رشد محصول (CGR) و شاخص سطح برگ (LAI) در مرحله رویشی و زایشی طبق روابط زیر محاسبه شد:

$$CGR = [(W_2-W_1)/(T_2-T_1)]/GA \quad (۱)$$

$$LAI = [(LA_2+LA_1)/2]/GA \quad (۲)$$

GA: سطح زمین اشغال شده توسط گیاه؛ LA_1: سطح برگ در مرحله اول؛ LA_2: سطح برگ در مرحله دوم؛ W_1: وزن خشک برگ در مرحله اول؛ W_2: وزن خشک برگ در مرحله دوم. T: زمان؛ تفاضل T_1 و T_2 برحسب تعداد روز از مرحله اول تا مرحله دوم نمونه‌برداری است.

به منظور تعیین عملکرد و اجزای عملکرد، برداشت در آخر آبان‌ماه (۱۱۸ روز پس از کاشت)، انجام و ارتفاع بوته، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در بوته (اندازه‌گیری شده توسط دستگاه شمارش دانه مدل 220V 50HZ) و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. تعیین عملکرد دانه و عملکرد زیستی در واحد سطح، با برداشت از ۲ متر مربع از هر کرت، با رعایت حاشیه از اطراف کرت انجام شد. پس از اندازه‌گیری وزن کل بوته‌ها به عنوان عملکرد زیستی، دانه ها از بوته جدا شده و وزن دانه‌ها پس از تبدیل به واحد سطح (متر مربع) به‌عنوان عملکرد دانه گزارش شد. همچنین کارایی مصرف آب و شاخص برداشت به‌ترتیب با استفاده از روابط (۳) و (۴) محاسبه شد:

$$WUE = Y / (I + P) \quad (۳)$$

WUE= کارایی مصرف آب؛ Y= عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار؛ I= حجم آب آبیاری بر حسب مترمکعب در هکتار؛ P= میزان بارندگی موثر بر حسب مترمکعب در هکتار. با توجه به مقادیر بارندگی در طول فصل رشد گیاه (شکل ۱)، میزان بارندگی در هر نوبت ناچیز بوده که با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه جزء بارندگی مؤثر در این مطالعه محاسبه نشد و در نتیجه از این جزء رابطه صرفنظر شد.

حجم آب آبیاری براساس دبی آب ورودی به کرت و زمان ورود آب با دبی مشخص به هر کرت بر اساس سطوح آبیاری مورد نظر کنترل شد. در انتهای دوره آزمایش، حجم آب آبیاری در شرایط نرمال، ۷۱۲۴ متر مکعب در هکتار ثبت شد.

$$HI = (Y / BY) \times 100 \quad (۴)$$

HI= شاخص برداشت؛ Y= عملکرد دانه برحسب گرم در متر مربع؛ BY= عملکرد زیستی بر حسب گرم در مترمربع

میزان پروتئین دانه با استفاده از روش کجلدال تعیین (Mæhre et al., 2018) و عملکرد پروتئین از حاصل‌ضرب میزان پروتئین دانه (درصد) در عملکرد دانه در واحد سطح حاصل شد.

تجزیه آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS ver. 9.2 انجام شد. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد (LSD; $P<0.05$) استفاده گردید. تحلیل رگرسیون خطی با استفاده از نرم افزار Excel 2016 انجام شد.

نتایج

پارامترهای رشد و عملکرد زیستی

نتایج نشان داد که پارامترهای شاخص سطح برگ در مرحله رویشی و زایشی و سرعت رشد محصول در مرحله رویشی تحت تأثیر سطوح آبیاری و غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید و همچنین اثر متقابل آن‌ها قرار نگرفت. درمقابل، اثر متقابل معنی‌داری برای سرعت رشد محصول در مرحله زایشی و عملکرد زیستی گیاه مشاهده شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال، محلول پاشی با غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار موجب افزایش معنی‌دار سرعت رشد محصول و عملکرد زیستی شد، در حالی‌که محلول‌پاشی با غلظت ۲ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان نداد (جدول ۳). در شرایط آبیاری با حجم متوسط (۷۵٪ ظرفیت زراعی)، اعمال سالیسیلیک اسید با غلظت ۲ میلی‌مولار نسبت به غلظت ۱ میلی‌مولار موجب افزایش معنی‌دار صفات مذکور شد. در شرایط کم آبیاری (۴۰٪ ظرفیت زراعی)، محلول‌پاشی با سطح بالای سالیسیلیک اسید (۲ میلی‌مولار) موجب افزایش ۸۵ درصدی سرعت رشد

محصول و ۲۱/۸ درصدی عملکرد زیستی گیاه نسبت به عدم کاربرد سالیسیلیک اسید گردید. همچنین در شرایط آبیاری ۴۰٪ و ۷۵٪ ظرفیت زراعی، محلول‌پاشی با غلظت ۲ میلی‌مولار موجب بهبود در رشد کینوا گردید درحالی‌که کاربرد غلظت های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار میزان رشد و زیست توده را کاهش داد (جدول ۳).

جدول (۲): تجزیه واریانس (میانگین مربعات) پارامترهای رشد، عملکرد و اجزای عملکرد، کارایی مصرف آب و میزان پروتئین دانه کینوا تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و سالیسیلیک اسید

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص سطح برگ		سرعت رشد محصول		عملکرد	ارتفاع	تعداد
		مرحله رویشی	مرحله زایشی	مرحله رویشی	مرحله زایشی	زیستی	بوته	خوشه در بوته
بلوک	۲	۰/۰۳۰	۰/۰۰۴	۱/۶۴	۱۵۷	۵۹۷۰۴	۱۴۲	۰/۱۹
سطح آبیاری	۲	۰/۳۲۸ ns	۰/۰۲۸ ns	۰/۶۷ ns	۱۷۶ ns	۳۲۷۱۰۲ ns	۱۹۳۳ ns	۱/۰۳ ns
بلوک × سطح آبیاری	۴	۰/۰۹۱	۰/۱۲۴	۱/۴۴	۲۶۳	۱۳۶۰۰۲	۳۲۸	۲/۵۷
سالیسیلیک اسید	۳	۰/۰۸۳ ns	۰/۰۵۷ ns	۰/۲۹ ns	۳۰ ns	۶۲۲۹۴ **	۴۲ **	۰/۳۳ ns
آبیاری × سالیسیلیک اسید	۶	۰/۰۳۹ ns	۰/۰۲۹ ns	۰/۵۰ ns	۹۷ *	۹۱۱۱۴ **	۱۴ ns	۱/۲۵ ns
خطا	۱۸	۰/۰۵۰	۰/۰۴۵	۰/۵۰	۳۲	۱۰۴۱۹	۸/۰۴	۱/۸۹

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	کارایی مصرف آب	شاخص برداشت	درصد پروتئین دانه	عملکرد پروتئین
بلوک	۲	۱۵۳۸۵۴	۰/۰۸۴	۲۷۷	۰/۰۰۱۱	۶۸/۲	۰/۰۱۸	۶/۵۰
سطح آبیاری	۲	۱۶۳۹۰۳۱ **	۱/۳۷۰ **	۱۲۵۷۱ **	۰/۰۵۸ **	۲۶/۲ ns	۰/۵۵۰ **	۲۹۷ **
بلوک × سطح آبیاری	۴	۸۶۷۴۳	۰/۰۰۶	۲۸۸	۰/۰۰۱۶	۶۵/۲	۰/۰۲۶	۷/۴۳
سالیسیلیک اسید	۳	۱۵۶۷۷۷ **	۰/۱۶ **	۴۰۹ **	۰/۰۰۲۳ **	۳۴/۶ ns	۰/۴۱۶ **	۶/۸۹ **
آبیاری × سالیسیلیک اسید	۶	۷۱۴۱۶ **	۰/۱۰۸ **	۱۷۶ **	۰/۰۰۱۴ **	۱۵۹ **	۰/۱۴۷ **	۳/۴۰ **
خطا	۱۸	۳۲۲۹	۰/۰۰۹	۱۲	۰/۰۰۰۱	۲۰/۵	۰/۰۰۸	۰/۲۸

****: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، *: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، ns: غیر معنی‌دار**

اجزای عملکرد

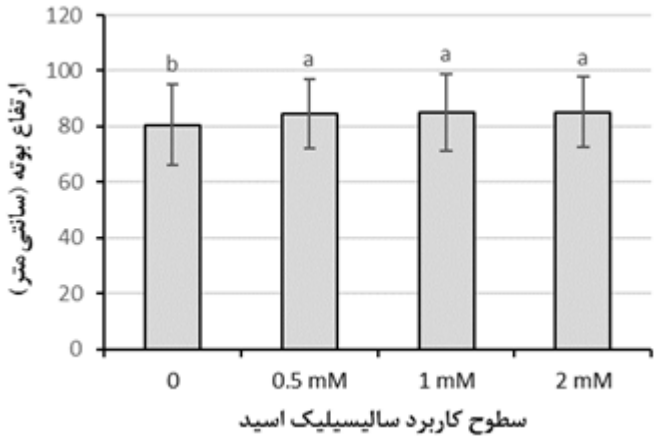
نتایج نشان داد که وزن هزار دانه تحت تأثیر اثر متقابل محلول پاشی سالیسیلیک اسید و سطوح مختلف آبیاری قرار گرفت (جدول ۲). اعمال کم‌آبیاری موجب کاهش معنی‌دار وزن هزاردانه در پایان فصل رشد گردید. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در شرایط آبیاری نرمال، کاربرد غلظت‌های ۰/۵و ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید موجب کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه در مقایسه با شاهد و غلظت ۱ میلی‌مولار گردید. در مقابل، افزایش غلظت محلول پاشی در شرایط کم آبیاری (۷۵ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) وزن هزار دانه را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد بهبود داد. استفاده از سالیسیلیک اسید با غلظت ۲ میلی‌مولار در سطح آبیاری ۷۵ درصد به‌ترتیب ۲۹/۴، ۲۰ و ۱۰ درصد و در شرایط آبیاری با ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه به‌ترتیب ۴۸/۶ ، ۲۸/۸ و ۱۳/۷ درصد، وزن هزار دانه را نسبت به شاهد و غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار افزایش داد (جدول ۳).

جدول (۳): اثر متقابل سطوح آبیاری و غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا.

سطوح آبیاری (ظرفیت زراعی)	غلظت سالیسیلیک اسید	سرعت رشد محصول در مرحله زایشی (گرم در مترمربع در روز)	عملکرد زیستی (گرم در متر مربع)	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (گرم در متر مربع)
۱۰۰ درصد	عدم کاربرد	۱۳/۳ ± ۱۰/۵ b-d	۶۰۷ ± ۲۷۱ def	۱۸۴۱ ± ۲۹۶ b	۲/۴۳ ± ۰/۱۵ a	۱۵۹ ± ۶/۸ bc
	۰/۵ میلی‌مولار	۲۵/۱ ± ۹/۶ a	۱۰۱۷ ± ۱۸۶ a	۱۸۱۱ ± ۱۵۳ bc	۲/۲۰ ± ۰/۱۰ b	۱۶۴ ± ۱۲ b
	۱ میلی‌مولار	۲۲/۳ ± ۱۲/۹ ab	۸۸۲ ± ۲۹۶ ab	۲۰۱۴ ± ۲۶۵ a	۲/۴۰ ± ۰/۱۰ a	۱۷۱ ± ۱۰ a
	۲ میلی‌مولار	۱۴/۸ ± ۱۲/۱ a-e	۸۰۳ ± ۳۴۷ bc	۱۷۲۵ ± ۳۳۲ cd	۲/۱۷ ± ۰/۱۲ b	۱۵۵ ± ۱۵ c
۷۵ درصد	عدم کاربرد	۱۶/۵ ± ۱۳/۲ a-e	۵۷۸ ± ۱۴۵ ef	۱۱۸۸ ± ۱۳۳ g	۱/۷۰ ± ۰/۱۰ e	۱۱۱ ± ۹/۰ g
	۰/۵ میلی‌مولار	۱۵/۲ ± ۸/۵ a-e	۷۷۶ ± ۸۶ bcd	۱۳۱۹ ± ۹۱ f	۱/۸۳ ± ۰/۱۲ de	۱۷ ± ۸/۳ f
	۱ میلی‌مولار	۱۱/۵ ± ۴/۳ b-e	۴۷۸ ± ۳۸ f	۱۴۲۰ ± ۱۳۹ e	۲/۰۰ ± ۰/۱۰ c	۱۲۵ ± ۱۰ e
	۲ میلی‌مولار	۱۸/۰ ± ۶/۳ a-d	۷۸۶ ± ۱۳۶ bc	۱۶۸۱ ± ۱۱۰ d	۲/۲۰ ± ۰/۱۰ b	۱۳۳ ± ۸/۹ d
۴۰ درصد	عدم کاربرد	۱۰/۶ ± ۲/۶ cde	۵۶۷ ± ۸۸ ef	۸۶۹ ± ۴۴ i	۱/۳۷ ± ۰/۰۶ f	۸۶ ± ۴/۶ j
	۰/۵ میلی‌مولار	۶/۸ ± ۳/۶ e	۲۹۴ ± ۷۳ g	۱۰۵۰ ± ۳۴ h	۱/۵۰ ± ۰/۱۰ f	۹۵ ± ۳/۳ i
	۱ میلی‌مولار	۷/۸ ± ۰/۶ de	۴۳۷ ± ۷ fg	۱۱۹۰ ± ۵۲ g	۱/۷۰ ± ۰/۲۰ e	۱۰۲ ± ۶/۲ h
	۲ میلی‌مولار	۱۹/۶ ± ۱۱/۶ abc	۶۹۱ ± ۲۱۷cde	۱۳۴۸ ± ۴۴ ef	۱/۹۳ ± ۰/۱۵ cd	۱۱۲ ± ۶/۶ fg

در هر ستون، میانگین‌های (میانگین ± انحراف استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD; $P \leq ۰/۰۵$) می‌باشند ($n = ۳$).

نتایج نشان داد که تعداد خوشه در بوته و ارتفاع بوته در پایان فصل رشد تحت تأثیر اثر متقابل سطوح آبیاری و غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید قرار نگرفت. همچنین کاربرد غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید و اعمال سطوح مختلف آبیاری باعث ایجاد اختلاف معنی‌دار بر تعداد خوشه در بوته نشد. اعمال سطوح مختلف آبیاری اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نداشت در حالی که ارتفاع بوته تحت تأثیر کاربرد غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کاربرد غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید به‌طور معنی‌داری نسبت به عدم کاربرد، ارتفاع بوته را افزایش داد (شکل ۳).



شکل (۳): اثر کاربرد غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر ارتفاع بوته کینوا. میانگین‌های (میانگین ± انحراف استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD; $P \leq ۰/۰۵$) می‌باشند ($n = ۹$).

. جدول (۴):اثر متقابل سطوح آبیاری و غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر شاخص برداشت، کارایی مصرف آب، محتوای پروتئین و عملکرد پروتئین دانه گیاه کینوا.

سطوح آبیاری (ظرفیت زراعی)	غلظت سالیسیلیک اسید	شاخص برداشت (درصد)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)	محتوای پروتئین دانه (درصد)	عملکرد پروتئین دانه (گرم در متر مربع)
۱۰۰ درصد	عدم کاربرد	۲۹/۱ ± ۹/۵ ab	۰/۲۲ ± ۰/۰۱۰ efg	۱۶/۰ ± ۰/۱۰ e	۲۵/۵ ± ۱/۱۳ bc
	۰/۵ میلی‌مولار	۱۶/۵ ± ۳/۱ de	۰/۲۳ ± ۰/۰۱۵ ef	۱۶/۰ ± ۰/۱۵ de	۲۶/۳ ± ۲/۱۶ b
	۱ میلی‌مولار	۲۰/۷ ± ۵/۹ cde	۰/۲۴ ± ۰/۰۱۵ e	۱۵/۹ ± ۰/۱۰ e	۲۷/۲ ± ۱/۵۵ a
	۲ میلی‌مولار	۲۱/۰ ± ۶/۰ cde	۰/۲۱ ± ۰/۰۲۰ fg	۱۶/۰ ± ۰/۱۵ de	۲۴/۸ ± ۲/۲۹ c
۷۵ درصد	عدم کاربرد	۲۰/۱ ± ۵/۴ cde	۰/۲۰ ± ۰/۰۱۵ g	۱۶/۵ ± ۰/۱۰ b	۱۸/۳ ± ۱/۳۷ fg
	۰/۵ میلی‌مولار	۱۵/۳ ± ۲/۸ e	۰/۲۱ ± ۰/۰۱۵ fg	۱۶/۳ ± ۰/۱۰ c	۱۹/۱ ± ۱/۲۴ f
	۱ میلی‌مولار	۲۶/۱ ± ۱/۵ bc	۰/۲۳ ± ۰/۰۲۱ ef	۱۶/۲ ± ۰/۱۲ cd	۲۰/۱ ± ۱/۵۱ e
	۲ میلی‌مولار	۱۷/۳ ± ۳/۳ de	۰/۲۳ ± ۰/۰۴۴ ef	۱۶/۰ ± ۰/۱۵ de	۲۱/۳ ± ۱/۲۵ d
۴۰ درصد	عدم کاربرد	۱۵/۴ ± ۱/۸ e	۰/۳۰ ± ۰/۰۱۵ d	۱۷/۰ ± ۰/۱۰ a	۱۴/۶ ± ۰/۸۳ j
	۰/۵ میلی‌مولار	۳۳/۸ ± ۱۰/۱ a	۰/۳۳ ± ۰/۰۱۵ c	۱۶/۵ ± ۰/۰۶ b	۱۵/۶ ± ۰/۵۴ i
	۱ میلی‌مولار	۲۳/۲ ± ۱/۸ bcd	۰/۳۵ ± ۰/۰۲۵ b	۱۶/۲ ± ۰/۰۶ c	۱۶/۵ ± ۰/۹۷ h
	۲ میلی‌مولار	۱۷/۷ ± ۷/۴ de	۰/۳۹ ± ۰/۰۲۵ a	۱۶/۰ ± ۰/۰۶ e	۱۷/۸ ± ۱/۰۶ g

در هر ستون، میانگین‌های (میانگین ± انحراف استاندارد) دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD; $P\leq$ ۰/۰۵) می‌باشند (n = ۳).

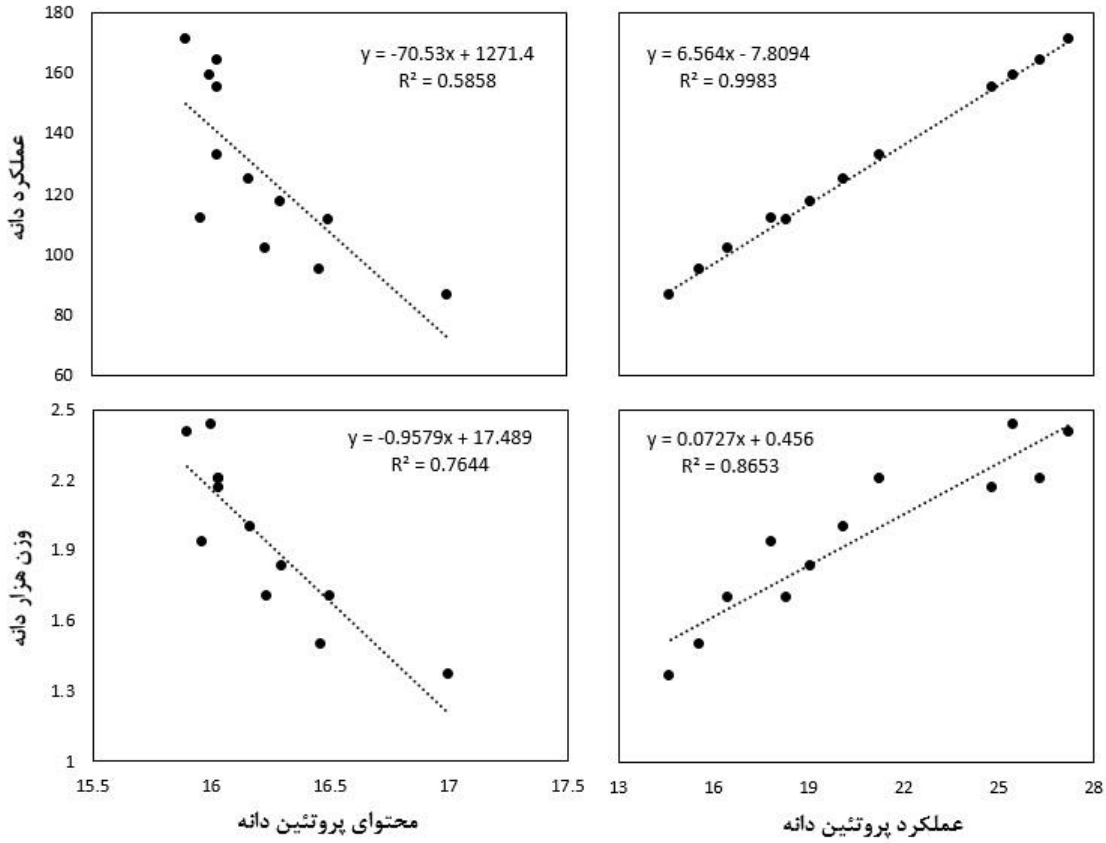
کارایی مصرف آب

کارایی مصرف آب تحت تأثیر اثر متقابل سطوح آبیاری و سالیسیلیک اسید قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین کارایی مصرف آب در سطح آبیاری ۴۰ درصد در مقایسه با سطوح آبیاری دیگر حاصل گردید. افزایش غلظت کاربرد سالیسیلیک اسید در این سطح آبیاری به‌صورت خطی میزان کارایی مصرف آب را افزایش داد. در این سطح آبیاری، افزایش غلظت سالیسیلیک اسید نسبت به عدم کاربرد، کارایی مصرف آب را به ترتیب ۱۰/۱، ۱۹ و ۳۰/۳ درصد بهبود داد. به‌طور مشابه در سطح کم‌آبیاری متوسط، کاربرد افزایش غلظت‌های بالای سالیسیلیک اسید منجر به افزایش کارایی مصرف آب نسبت به عدم کاربرد شد در حالی که در سطح نرمال آبیاری، کاربرد غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید اثر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب نداشت و حتی کاربرد غلظت ۲ میلی‌مولار کارایی مصرف آب را کاهش داد (جدول ۴).

درصد و عملکرد پروتئین دانه

درصد پروتین دانه تحت تأثیر اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و غلظت‌های متفاوت سالیسیلیک اسید قرار گرفت (جدول ۲) و با اعمال کم آبیاری افزایش یافت. بیشترین میزان پروتئین دانه در سطح ۴۰ درصد آبیاری و شرایط عدم استفاده از سالیسیلیک اسید مشاهده شد. افزایش غلظت سالیسیلیک اسید در شرایط کم‌آبیاری (۴۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی) باعث ایجاد روند کاهشی در میزان پروتئین دانه گردید، در حالی‌که در شرایط نرمال آبیاری اثر معنی‌داری بر محتوای پروتئین دانه نداشت (جدول ۴). با توجه به روند تغییرات مشاهده شده و همچنین با توجه به شکل ۳، محتوای پروتئین دانه با عملکرد دانه و وزن هزاردانه ارتباط منفی نشان داد. برخلاف درصد پروتئین دانه، عملکرد پروتئین با عملکرد دانه و اجزای عملکرد ارتباط مثبت و معنی‌داری نشان داد (شکل ۳). بالاترین عملکرد پروتئین دانه در شرایط آبیاری

نرمال مشاهده شد و با افزایش تنش آبی عملکرد پروتئین دانه نیز کاهش پیدا کرد. بالاترین عملکرد پروتئین دانه در شرایط آبیاری نرمال از کاربرد سطوح متوسط سالیسیلیک حاصل شد در حالی‌که در سطوح آبیاری ۷۵ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید عملکرد پروتئین دانه افزایش یافت و بیشترین میزان در محلول پاشی با غلظت ۲ میلی مولار سالیسیلیک اسید مشاهده شد (جدول ۴).



شکل (۳)نتایج تجزیه رگرسیون خطی جهت تعیین ارتباط بین محتوای پروتئین و عملکرد پروتئین دانه با عملکرد دانه و وزن دانه.

بحث

تنش خشکی باعث کاهش پارامترهای رشد و عملکرد در کینوا (Geerts et al., 2008; Aziz et al., 2018; Hinojosa et al., 2018; Gámez et al., 2019) و گیاهان دیگر شده (دانشور و خواجویی نژاد، ۱۳۹۳؛ بهرام نژد و صفاری، ۱۳۹۳) و با تجمع رادیکال‌های فعال اکسیژن (ROS) عملکرد آنتی اکسیدانی گیاه را دچار اختلال می‌کند (Pourghasemian et al., 2020). کاهش فشار آماس در شرایط کمبود آب معمولاً منجر به کاهش انبساط سلولی شده، که منجر به کاهش پارامترهای رشد گیاه مانند سطح برگ، ارتفاع گیاه، وزن خشک و عملکرد دانه می‌شود (Taiz and Zeiger, 2012). نتایج این مطالعه نیز نشان از اثر منفی کم‌آبیاری بر سرعت رشد محصول در فاز زایشی، عملکرد زیستی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه کینوا در مقایسه با شرایط نرمال آبیاری داشت. در این بررسی، پارامترهای رشد در دو مرحله مختلف از رشد گیاه کینوا شامل مرحله رویشی و مرحله زایشی تعیین شد. در این بررسی، کم‌آبیاری و اعمال سالیسیلیک اسید و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص سطح برگ در هر دو مرحله و همچنین بر میزان سرعت رشد در مرحله رویشی اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). اعمال تیمارهای مذکور در زمان وقوع مرحله زایشی انجام

شد. بنابراین، دلیل عدم تأثیر بر پارامترهای رشد به زمان اعمال کم‌آبیاری بر می‌گردد. سطح برگ در مرحله رشد زایشی نیز تحت تأثیر کم آبیاری و اعمال سالیسیلیک اسید قرار نگرفت. این احتمالاً به این دلیل است که در این زمان برگ‌های کینوا توسعه کامل خود رسیده و در زمان رشد زایشی چندان توسعه برگی در کینوا دیده نمی‌شود. با این حال سرعت رشد محصول در مرحله زایشی و عملکرد زیستی تحت تأثیر سطوح آبیاری قرار نگرفت (جدول ۲) که به دلیل پاسخ متفاوت کینوا به سطوح مختلف آبیاری با اعمال غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید و اثر متقابل معنی‌دار بین آن‌ها بود (جداول ۲ و ۳).

اعمال تنش خشکی در مرحله زایشی در کینوا می‌تواند منجر به خسارت به اجزای عملکرد دانه و در نهایت عملکرد دانه شود (Geerts et al., 2008; Gámez et al., 2019). به‌طور مشابه، هنگامی که تنش آبی در طول دوره پر شدن دانه در غلات اعمال می شود، عملکرد دانه، تعداد دانه در بوته و وزن دانه را کاهش می‌دهد (Farooq et al., 2009). عملکرد دانه تحت تأثیر اجزاء آن از جمله تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه می‌باشد. همان‌طور که در نتایج مشاهده شد، در این بررسی به‌نظر می‌رسد تغییرات در عملکرد دانه حاصل تغییر در تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه باشد (جدول ۳). در شرایط نرمال، بیشترین عملکرد و اجزای عملکرد دانه در کاربرد غلظت سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار مشاهده شد در حالی‌که در شرایط اعمال کم‌آبیاری کاربرد غلظت‌های بالای سالیسیلیک اسید منجر به حصول بیشترین میزان عملکرد و اجزای عملکرد دانه شد. افزایش در عملکرد کینوا که ناشی از اعمال سالیسیلیک اسید بود به‌دلیل تأثیر سالیسیلیک اسید بر کاهش اثرات ناشی از کم‌آبیاری می‌باشد. نتایج مشابه در مطالعه‌ای که روی اثر سالیسیلیک اسید ۱/۵ میلی‌مولار در مقایسه با عدم کاربرد آن روی رشد و عملکرد کنجد در شرایط مختلف آبیاری (۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) انجام شده، گزارش شده است (Pourghasemian et al., 2020). در مطالعه مذکور سالیسیلیک اسید در شرایط تنش شدیدتر، تأثیر بیشتری بر بهبود رشد و عملکرد داشته است. این اثرات مشاهده شده به اثر سالیسیلیک اسید در کاهش میزان آبسیزیک اسید (ABA) مربوط دانسته‌اند (La et al., 2019). آبسیزیک اسید هورمونی است که در شرایط تنش افزایش یافته و موجب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش میزان هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز می‌شود (Hinojosa et al., 2018; Gámez et al., 2019). براساس اطلاعات نویسندگان، اثر متقابل سالیسیلیک اسید و کم آبیاری روی گیاه کینوا مورد بررسی قرار نگرفته است. در مطالعه‌ای اثر تعدیل کنندگی اثرات مضر تنش خشکی با اعمال اسکوربیک اسید در کینوا گزارش شده است (Aziz et al., 2018).

گزارش شده که اعمال تنش خشکی در مرحله گل‌دهی شاخص برداشت کینوا را کاهش می‌دهد (Geerts et al., 2008). در شرایط عدم کاربرد سالیسیلیک اسید، با اعمال سطوح کم آبیاری میزان شاخص برداشت به ترتیب ۳۱ و ۴۷ درصد نسبت به آبیاری نرمال کاهش یافت (جدول ۴) که به دلیل اثر تنش خشکی بر تقسیم زیست توده در طول دوره پر شدن دانه است (Geerts et al., 2008). در شرایط شدید کم ابیاری، اعمال سطوح متوسط سالیسیلیک اسید نسبت به عدم اعمال، منجر به افزایش معنی‌دار شاخص برداشت شد که به‌دلیل نسبت قابل توجه عملکرد دانه به عملکرد زیستی در این تیمارها بود (جدول ۳). کینوا قابلیت سازگاری با شرایط متنوع رشد را داراست (Ahmadi et al., 2019). ضمن اینکه کینوا تحت تنش خشکی قادر به حفظ میزان هدایت روزنه‌ای، قابلیت نگهداری پتانسیل آب برگ و تراکم روزنه‌ای است (Ahmadi et al., 2019)، نسبت میزان فتوسنتز به میزان تعرق را می‌تواند تا ۲ برابر، حتی در مقادیر پایین پتانسیل آب برگ، بهبود بخشد (Vacher, 1998). این افزایش در کارایی اسیمیلاسیون باعث می‌شود که کینوا در شرایط اعمال تنش یا خشکی قادر به تولید مقادیر عملکرد برابر و یا نزدیک به شرایط نرمال آبیاری بوده و در نتیجه کارایی مصرف آب بالاتری نشان دهد (Geerts et al., 2008). با توجه به مطالب ذکر شده، دلیل افزایش قابل توجه در کارایی مصرف آب با اعمال شرایط کم آبیاری (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) از طرفی در

ارتباط با قابلیت بالای سازگاری گیاه کینوا و از طرف دیگر با محتوای آب مصرفی کمتر در این تیمار، مرتبط است. همچنین اعمال سالیسیلیک اسید به‌طور قابل توجهی به‌خصوص در شرایط شدید کم آبیاری موجب بهبود کارایی مصرف آب شد (جدول ۴). اثر بهبود دهندگی سالیسیلیک اسید به‌خصوص در شرایط شدید کم‌آبیاری با عملکرد این هورمون گیاهی در برابر تجمع ABA مرتبط است (La et al., 2019). تجمع ABA با اعمال تنش خشکی هدایت روزنه‌ای و میزان فتوسنتز را کاهش می‌دهد (Hinojosa et al., 2018; Gámez et al., 2019). بنابراین، اعمال سالیسیلیک اسید با بهبود فتوسنتز می‌تواند کارایی مصرف آب را به‌خصوص در شرایط تنش شدید بهبود دهد (Pourghasemian et al., 2020).

شرایط محیطی بر محتوای پروتئین دانه کینوا اثرگذار است (Hinojosa et al., 2018). در حالی‌که افزایش میزان پروتئین دانه گندم دوروم تحت تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه گزارش شده است (Flagella et al., 2010)، محتوای پروتئین دانه کینوا در شرایط تنش خشکی تغییر معنی‌داری نشان نداده است (Fischer et al., 2017). در این مطالعه محتوای پروتئین با اعمال کم‌آبیاری افزایش و با کاربرد سالیسیلیک اسید به‌خصوص در شرایط کم‌آبیاری، کاهش یافت (جدول ۴). روند تغییر میزان پروتئین دانه با تغییر در عملکرد، وزن هزاردانه ارتباط منفی نشان داد (شکل ۳ و جداول ۳ و ۴). به‌نظر می‌رسد کاهش در اندازه دانه تحت سطوح کم‌آبیاری می‌تواند منجر به افزایش محتوای پروتئین دانه شود. این روابط در شرایط اعمال سالیسیلیک نیز مشاهده شد. اعمال سالیسیلیک به خصوص در شرایط کم‌آبیاری با اثرات ذکر شده که موجب افزایش در اجزای عملکرد و عملکرد دانه کینوا شده، موجب کاهش محتوای پروتئین دانه گردیده است. عملکرد پروتئین تابعی از عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه است. در مقابل روند تغییرات درصد پروتئین، روند تغییرات عملکرد پروتئین به نظر می‌رسد بیشتر تحت تأثیر تغییر در عملکرد دانه باشد تا درصد پروتئین (جدول ۴). ارتباط مثبت و معنی‌دار عملکرد پروتئین با عملکرد دانه (r =۰/۹۹۹**) نتایج حاصله را تأیید می‌کند. این نتایج نشان از اهمیت بالای افزایش تولید دانه نسبت به محتوای پروتئین دانه کینوا، جهت دستیابی به حداکثر بهره‌وری از مزارع کینوا دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که رشد، اجزاء عملکرد و عملکرد کینوا تحت تأثیر اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و غلظت‌های متفاوت سالیسیلیک اسید قرار گرفت. نتایج به‌طور کلی بیانگر اثر بهبود دهندگی غلظت‌های بالای سالیسیلیک اسید در سطوح متوسط و شدید کم‌آبی بر صفات مورد ارزیابی بود. این در حالی است که در شرایط نرمال، غلظت‌های متوسط و در برخی موارد عدم اعمال سالیسیلیک اسید مؤثرتر واقع شد. افزایش کارایی مصرف آب کینوا در شرایط اعمال کم‌آبیاری نشان داد کینوا گیاهی است که در شرایط سخت محیطی می‌تواند بازدهی قابل توجهی داشته باشد. از نظر تولید پروتئین، با اینکه اعمال تنش موجب افزایش میزان پروتئین دانه شد، اما نتایج نشان داد تولید پروتئین در واحد سطح و در نتیجه بهره‌وری از مزارع کینوا به‌طور منفی تحت تأثیر کم‌آبیاری قرار می‌گیرد که اعمال سالیسیلیک می‌تواند تا حد قابل توجهی این اثر منفی را تخفیف دهد. بنابراین، نتایج این مطالعه با توجه به شرایط موجود و منابع آبی قابل دسترس در منطقه مورد نظر، جهت تولید در سطوح کاربردی نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

.منابع

بهرام نژاد، ر. و م. صفاری. ۱۳۹۳. اثر پیش‌تیمارهای مختلف بذر بر ویژگی‌های مورفولوژیک، عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس رازیانه (*F*oeniculam vulgar Mill.) در شرایط تنش آب. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، سال پنجم، شماره ۱، ص ۲۹-۱۴.

دانشور، ف. و غ. خواجوئی نژاد. ۱۳۹۳. بررسی اثر کاربرد کودهای زیستی بر پتانسیل عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گلرنگ (Cartahamus tinctorius L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، سال چهارم، شماره ۴، ص ۶۹-۵۹.

علیزاده، ا. ۱۳۹۰. رابطه آب و خاک و گیاه (ویرایش سوم). انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). چاپ سیزدهم. ۶۱۶ ص.

Abedi, M.J., S. Nairizi, N. Ebrahimi Birang, M. Maherani, H. Khaledi, N. Mehrdadi and A. M. Cheraghi. 2002 Saline Water Utilization in Sustainable Agriculture. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. 224p.

Adolf, V.I., S.E. Jacobsen and S. Shabala. 2013. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Environmental and Experimental Botany, 92: 43-54.

Ahmadi, S.H., S. Solgi and A.R. Sepaskhah. 2019. Quinoa: A super or pseudo-super crop? Evidences from evapotranspiration, root growth, crop coefficients, and water productivity in a hot and semi-arid area under three planting densities. Agricultural Water Management, 225: 105784.

Al-Hakimi, A.M.A. 2008. Effect of salicylic acid on biochemical changes in wheat plants under khat leaves residues. Plant, Soil and Environment, 54(7): 288-293.

Aziz, A., N.A. Akram and M. Ashraf. 2018. Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants under water deficit regimes. Plant Physiology and Biochemistry, 123: 192-203.

Cai, X. and M.W. Rosegrant. 2003. World water productivity: current situation and future options. In (Kijne J. W., R. Barker and D. Molden eds.) Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement.

FAO, 2013. Home-international Year of Quinoa 2013. Retrieve from. http://www.fao.org/quinoa-2013/en/.

Fischer, S., R. Wilckens, J. Jara, M. Aranda, W. Valdivia, L. Bustamante, F. Graf and I. Obal. 2017. Protein and antioxidant composition of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) sprout from seeds submitted to water stress, salinity and light conditions. Industrial Crops and Products, 107: 558-564.

Flagella, Z., M.M. Giuliani, L. Giuzio, C. Volpi and S. Masci. 2010. Influence of water deficit on durum wheat storage protein composition and technological quality. European Journal of Agronomy, 33(3): 197-207.

Gámez, A.L., D. Soba, Á.M. Zamarreño, J.M. García-Mina, I. Aranjuelo and F. Morales. 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.

Geerts, S., D. Raes, M. Garcia, J. Vacher, R. Mamani, J. Mendoza, R. Huanca, B. Morales, R. Miranda, J. Cusicanqui and C. Taboada. 2008. Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). European journal of agronomy, 28(3): 427-436.

Hinojosa, L., J.A. González, F.H. Barrios-Masias, F. Fuentes and K.M. Murphy. 2018. Quinoa abiotic stress responses: A review. Plants, 7(4): 106.

La, V.H., B. Lee, M. Tabibul Islam, S. Park, H. Jung, D. Bae and T. Kim. 2019. Characterization of salicylic acid-mediated modulation of the drought stress responses: reactive oxygen species, proline, and redox state in Brassica. Environmental and Experimental Botany, 157: 1–10.

Mæhre, H.K., L. Dalheim, G.K. Edvinsen, E.O. Elvevoll and I.J. Jensen. 2018. Protein determination—method matters. Foods, 7(1): 5.

Pourghasemian, N., R. Moradi, M. Naghizadeh and T. Landberg. 2020. Mitigating drought stress in sesame by foliar application of salicylic acid, beeswax waste and licorice extract. Agricultural Water Management, 231: 105997.

Razzaghi, F., F. Plauborg, S.E. Jacobsen, C.R. Jensen and M.N. Andersen. 2012. Effect of nitrogen and water availability of three soil types on yield, radiation use efficiency and evapotranspiration in field-grown quinoa. Agricultural water management, 109: 20-29.

Sezen, S.M., A. Yazar, S. Tekin and M. Yildiz. 2016. Use of drainage water for irrigation of quinoa in a Mediterranean environment. In Proceedings of 2nd World Irrigation Forum (WIF2) (pp. 6-8).

Taiz, L. and E. Zeiger. 2012. Plant Physiology. Sinauer Associates Inc., Publishers, Sunderland, MA, pp. 769.

Vacher, J.J. 1998. Responses of two main Andean crops, quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) and papa amarga (*Solanum juzepczukii* Buk.) to drought on the Bolivian Altiplano: Significance of local adaptation. Agriculture, ecosystems & environment, 68(1-2): 99-108.

Water use efficiency and quantitative and qualitative response of quinoa to different concentrations of salicylic acid application under deficit irrigation conditions

Hamid Sadeghizadeh[1], Gholamreza Khajoei-Nejad[2] and Jalal Ghanbari[3]

Abstract

The total area under quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivation and its grain consumption have increased in recent years because of its nutritional properties and ability to grow under harsh environmental conditions, such as drought. The main goal of this work was to evaluate growth, crop quantitative and qualitative yield, and water use efficiency (WUE), as well as to determine the quinoa response, variety 'Titicaca', to different salicylic acid concentrations (SA) (0, 0.5, 1 and 2 mM) under different irrigation levels (100, 75, and 40% field capacity (FC)). The field experiment was conducted in split plots in three blocks during the 2019 growing season, in the research field of Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. The results demonstrated that while the plants subjected to deficit irrigation displayed significant reduction in crop growth rate, biological yield, seed yield and its components, the high concentrated SA (2 mM) application led to improving the mentioned traits. Under normal irrigation conditions, moderate concentrations and under severe water deficit, high concentration of SA resulted in improved growth, WUE, and grain protein yield. The highest WUE was achieved by deficit irrigation and high SA concentrations. Water deficit increased grain protein content, while increased SA concentration reduced its content. In contrast, reduced grain protein yield was observed when water deficit occurred while SA application led to improving protein yield. In general, the results showed that considering the water resources accessibility in quinoa fields, different salicylic acid concentrations can be used to improve the water productivity and performance in arid and semi-arid regions.

Keywords: *Chenopodium quinoa*, Drought, Grain yield, Growth parameters, Protein content, Salicylic acid, Water productivity.

[1] M.Sc. Student of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. r.sadeghizadeh11@gmail.com
[2] Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. khajoei@uk.ac.ir
[3] Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. jalalghanbari@agr.uk.ac.ir

Water use efficiency and quantitative and qualitative response of quinoa to different concentrations of salicylic acid application under deficit irrigation conditions

Hamid Sadeghizadeh[1], Gholamreza Khajoei-Nejad[2], and Jalal Ghanbari[3]

Research article

Introduction

Agricultural productivity is greatly affected by adverse environmental conditions such as drought and water scarcity (Hinojosa et al., 2018). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is recognized as an adapted crop because of its survival in harsh environments (Ahmadi et al., 2019). Furthermore, the quinoa plant is a valuable food crop due to its high nutritional values and that is the reason for attracting interests. For the reasons mentioned, the total area under quinoa cultivation and its grain consumption have been increased in recent years. Quinoa plants have adapted physio-morphological mechanisms to mitigate the adverse effects of water scarcity including the development of deep root system, osmotic adjustment, the increased abscisic acid level which enhanced water use efficiency (Ahmadi et al., 2019; Aziz et al., 2018; Gámez et al., 2019; Hinojosa et al., 2018). Furthermore, exogenous application of salicylic acid (SA) is known as an effective adapting method to improve water use efficiency and crop productivity (Pourghasemian et al., 2020). Therefore, the main goal of this work was to evaluate growth, crop quantitative and qualitative yield, and water use efficiency (WUE) of quinoa plants in different levels of the salicylic acid foliar application under water stress conditions.

Methodology

A field experiment was conducted in split plots in three blocks during the 2019 growing season, in the research field of Shahid Bahonar University of Kerman, Iran, with the aim of determining the quinoa response, 'Titicaca' variety, to different salicylic acid concentrations (SA) (0, 0.5, 1 and 2 mM) under different irrigation levels (100, 75, and 40% field capacity (FC)). The 24 days plants were exposed to different irrigation levels and treated simultaneously with different SA concentrations. Once again, at the beginning of the grain-filling period, plants were sprayed with the same SA concentrations. Growth parameters including crop growth rate (CGR) and leaf area index (LAI) in the vegetative and reproductive stages were determined during the growing season. Also, plant height, number of panicles per plant, number of grains per plant, 1000-grain weight, grain yield, biological yield, harvest index, WUE, grain protein content, and protein yield were measured by the end of the growing season.

Discussion and Conclusion

The results demonstrated that while the plants subjected to deficit irrigation displayed a significant reduction in CGR, biological yield, grain yield, and its components, the high concentrated SA (2 mM) application led to improving the mentioned traits. The improving effect of salicylic acid, especially in severe limited-irrigation conditions, is related to its regulating effect against ABA accumulation (La et al., 2019). Accumulation of ABA as a result of drought stress reduces stomatal conductance and photosynthesis (Hinojosa et al., 2018; Gámez et al., 2019). Under normal irrigation conditions, application of moderate concentrations, and under severe water deficit, application of high

[1] M.Sc. Student of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. r.sadeghizadeh11@gmail.com
[2] Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. khajoei@uk.ac.ir
[3] Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. jalalghanbari@agr.uk.ac.ir

concentration of SA resulted in improved growth, WUE, and grain protein yield. The highest WUE was achieved by deficit irrigation in high concentrations of SA. It has been reported that under water-limited conditions, quinoa has the ability to increase assimilation efficiency and produce yield close to normal irrigation conditions and therefore, exhibiting a considerable water use efficiency (Geerts et al., 2008). The results also showed that water deficit increased grain protein content, while increased SA concentrations reduced its content. In contrast, reduced grain protein yield was observed when water deficit occurred while SA application led to improved protein yield. The variation trend observed in grain protein content showed a negative relationship with grain yield and 1000-grain weight. It seems that decreased grain size under deficit irrigation can lead to an increase in grain protein content. Similar relationships were also observed under SA application conditions. In contrast, the variation in protein yield seems to be more affected by changes in grain yield than grain protein content as confirmed by the positive and significant relationship between protein yield and grain yield ($r = 0.999^{**}$). Such results indicate the high importance of increasing grain production compared with the grain protein content of quinoa to achieve maximum productivity in quinoa fields.

This research confirmed that quinoa plant can cope with drought-stress conditions as evidenced by its considerable yield and WUE in drought-stress conditions. In terms of protein production, although water limitation increased the grain protein content, protein production per unit area and thus productivity of quinoa fields were negatively affected by limited irrigation. In such conditions, SA application significantly mitigated the negative effects of water limitation. In general, the results showed that considering the water resources accessibility in quinoa fields, different salicylic acid concentrations can be used to improve the water productivity and performance in arid and semi-arid regions.

Keywords: *Chenopodium quinoa*, Drought, Protein content, Salicylic acid, Water productivity, Yield.

The most important references

Ahmadi, S.H., S. Solgi and A.R. Sepaskhah. 2019. Quinoa: A super or pseudo-super crop? Evidences from evapotranspiration, root growth, crop coefficients, and water productivity in a hot and semi-arid area under three planting densities. Agricultural Water Management, 225: 105784.

Aziz, A., N.A. Akram and M. Ashraf. 2018. Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) plants under water deficit regimes. Plant Physiology and Biochemistry, 123: 192-203.

Gámez, A.L., D. Soba, Á.M. Zamarreño, J.M. García-Mina, I. Aranjuelo and F. Morales. 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.

Geerts, S., D. Raes, M. Garcia, J. Vacher, R. Mamani, J. Mendoza, R. Huanca, B. Morales, R. Miranda, J. Cusicanqui and C. Taboada. 2008. Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). European journal of agronomy, 28(3): 427-436.

Hinojosa, L., J.A. González, F.H. Barrios-Masias, F. Fuentes and K.M. Murphy. 2018. Quinoa abiotic stress responses: A review. Plants, 7(4): 106.

La, V.H., B. Lee, M. Tabibul Islam, S. Park, H. Jung, D. Bae and T. Kim. 2019. Characterization of salicylic acid-mediated modulation of the drought stress responses: reactive oxygen species, proline, and redox state in Brassica. Environmental and Experimental Botany, 157: 1–10.

Pourghasemian, N., R. Moradi, M. Naghizadeh and T. Landberg. 2020. Mitigating drought stress in sesame by foliar application of salicylic acid, beeswax waste and licorice extract. Agricultural Water Management, 231: 105997.