بررسی اثر سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک بر گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa*) در یک خاک شور

سید علی‌اکبر محمدی[۱]، محمودرضا تدین[۲*] و هدایت الله کریم‌زاده[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۳۱)

چکیده

به‌منظور ارزیابی تأثیر کود سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک بر عملکرد و اجزای عملکرد و رشد گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd)، آزمایشی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در یک خاک شور در شرق اصفهان اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سولفات پتاسیم در چهار سطح شاهد (عدم مصرف کود)، ۵۰ درصد میزان توصیه شده، ۱۰۰ درصد میزان توصیه شده و ۱۵۰ درصد (۱/۵ برابر) میزان توصیه شده و محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک در سه سطح شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر)، ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربرد کود سولفات پتاسیم و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک بر تمام صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود. در واقع این تیمارها باعث افزایش شاخص سطح برگ و ماده خشک تولیدی شدند. با افزایش مقدار اسید آسکوربیک و سولفات پتاسیم، محتوای نسبی آب برگ، ارتفاع بوته، تعداد خوشه در واحد سطح، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه افزایش معنی‌داری داشتند. کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید آسکوربیک و مصرف ۱۵۰ درصد میزان توصیه شده سولفات پتاسیم، عملکرد دانه و شاخص برداشت را به‌ترتیب ۷۹ درصد و ۲/۶ برابر نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. از این‌رو، سطح برهم‌کنش مذکور را در صورت تکرار در شرایط آزمایشی مشابه، می‌توان به‌عنوان ترکیب مناسبی در جهت بهبود عملکرد در گیاه کینوا در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، شاخص برداشت، عملکرد دانه، ماده خشک، محتوای نسبی آب برگ

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجو کارشناسی ارشد و استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۳. پژوهشگر پسا دکترا پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mrtadayon@yahoo.com

مقدمه

در بسیاری از نقاط دنیا، گیاهان اغلب با تنش‌های غیرزیستی مانند شوری، خشکی، بالا و یا پایین بودن دما، مسمومیت با فلزات، ازن، پرتو فرابنفش و علف‌کش‌ها مواجه‌اند که تهدید جدی برای تولید گیاهان محسوب می‌شوند (۸). در این بین شوری یکی از مهم‌ترین عوامل تنش‌زای محدودکننده بهره‌وری گیاهان زراعی است. بخش قابل‌توجهی از زمین‌های کشاورزی در جهان تحت تأثیر شوری قرار دارند و سرعت گسترش شوری حدود ۱/۵ میلیون هکتار در سال تخمین زده می‌شود (۳۷).

دانشمندان اعتقاد دارند که تحولات محیطی موجب تغییرات آب و هوایی، طول فصول، شدت و الگوی بارش می‌شوند و تولید محصولات استراتژیک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. پیش‌بینی می‌شود در شرایط اقلیمی جدید عملکرد برنج، گندم و سیب‌زمینی، که عمده‌ی غذای بشر را تأمین می‌کنند، کاهش یابد (۴۴). همین عامل موجب شده است که توجه به گیاهانی که در عرض‌های جغرافیایی و در ارتفاعات متفاوت رشد می‌کنند، بیشتر شود. در شرایطی که تغییر اقلیم و فعالیت‌های بشر باعث شده است کیفیت اراضی کشاورزی روز به روز کاهش یابد، نیاز به گیاهانی است که بتوانند در شرایط تنش‌های مختلف از جمله شوری و خشکی، دوام یافته و عملکرد اقتصادی قابل قبولی نیز داشته باشند. یکی از این گیاهان کینوا است که گیاهی شورپسند و کم توقع بوده و قادر است در زمین‌هایی که بسیاری از گیاهان زراعی توانایی رشد و تولید عملکرد ندارند، رشد و عملکرد اقتصادی تولید کند (۵۱). کینوا گیاهی است که علاوه بر دانه، از برگ گیاهان جوان آن نیز به عنوان سبزی تازه یا پخته استفاده می‌شود و مصرف دارویی نیز دارد. افزون براین، به‌دلیل ارزش غذایی بالا و نیز به دلیل موازنه مطلوبی که در ترکیب اسیدهای آمینه آن وجود دارد، توسط سازمان خوار بار جهانی با شیرخشک مقایسه شده است. به‌طوری که از طرف مجمع عمومی سازمان ملل متحد سال ۲۰۱۳ با هدف معرفی نقش و ارزش این گیاه در امنیت غذایی، توسعه و تولید آن، به نام سال بین‌المللی کینوا نام‌گذاری شد (۲۱). کینوا گیاهی یک‌ساله است که با توجه به توان سازگاری بالا می‌تواند در اقلیم‌های متنوع کشور کشت شود. توسعه آن از نظر تولید در مناطق جنوبی کشور، سبب ایجاد تنوع در گیاهان زراعی، تولید کمّی و کیفی و افزایش سود کشاورزان و امنیت غذایی خواهد شد (۵۱ و ۵۲). کینوا دارای ۸ تا ۲۲ درصد پروتئین با کیفیت و متعادل از اسیدهای آمینه ضروری است که به اندازه نصف مقدار پروتئین تخم‌مرغ و گوشت و دو برابر پروتئین برنج است (۵۱). این گیاه در مقایسه با خانواده گندمیان و لگوم‌ها میزان اسیدهای آمینه لیزین، میتونین و تیرئونین بالاتری دارد (۵۰). در مقایسه با غلات، کینوا میزان بالایی ویتامین E، C، ریبوفلاوین و تیامین دارد و میزان اسیدفولیک آن ۱۰ برابر غلات است (۱۸). در بین غلات، گندم و جو تحمل بالاتری نسبت به شوری دارند، به‌طوری که ۵۰ درصد کاهش عملکرد گندم رقم کویر و جو رقم مرودشت به‌ترتیب در شوری ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شده است (۳۵). این در حالی است که در سطح شوری ۲۵ دسی‌زیمنس بر متر، عملکرد کینوا تنها ۲۰ درصد کاهش یافته است (۳۶). اگرچه آستانه کاهش عملکرد کینوا و غلات مورد اشاره (گندم و جو) تفاوت زیادی ندارد، اما کاهش عملکرد به ازای افزایش واحد شوری در کینوا بسیار کمتر از سایر غلات است. بر همین اساس کینوا جز گیاهان شورزیست اختیاری دسته‌بندی می‌شود. تحمل به شوری این گیاه در بین ژنوتیپ‌های مختلف آن به‌طور معنی‌دار متفاوت است (۱۱).

علاوه بر روش‌های به‌نژادی و معرفی ارقام مقاوم به تنش شوری، روش به‌زراعی مانند تغذیه پتاسیم نیز جایگاه ویژه‌ای در مواجهه با شرایط تنش دارد. پتاسیم افزون بر دخالت در فرایندهای فیزیولوژیک، در بهبود کیفیت محصولات کشاورزی و مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی نیز نقش ویژه‌ای بازی می‌کند. همچنین این عنصر فراوان‌ترین کاتیون موجود در سیتوپلاسم است و در تثبیت pH، تنظیم فشار اسمزی، فعال کردن آنزیم‌ها، ساخت پروتئین، فتوسنتز و بزرگ شدن سلول‌ها نقش مهمی دارد (۵). افزایش دسترسی گیاه به پتاسیم ضمن کاهش تنش‌های محیطی، اعم از خشکی، شوری و سرما سبب جذب آب توسط سلول‌های ریشه خواهد شد که درنتیجه باعث

خنثی‌تر شدن پتانسیل اسمزی و گسترش ریشه‌ها می‌شود و این موضوع موجب دسترسی به آب و عناصر غذایی مانند نیتروژن و افزایش رشد و نمو خواهد شد (۴). مقدار کافی پتاسیم در شرایط تنش شوری متوسط باعث بهبود تحمل به شوری در گیاه کینوا می‌شود (۴۵). در شرایط شور، کاربرد پتاسیم از طریق افزایش نسبت پتاسیم به سدیم باعث بهبود رشد گیاه کینوا شد (۱). همچنین گزارش شده است در شرایط بروز تنش شوری، کاربرد پتاسیم باعث افزایش تراکم روزنه‌ای در برگ گیاه کینوا شده است. به دنبال افزایش تراکم روزنه‌ای، میزان تعرق و کارایی مصرف آب افزایش و مقدار سدیم در بافت‌های گیاه کینوا کاهش نشان داد (۴۵). مصرف ۲۵۰ کیلوگرم کود پتاسیم در هکتار سبب افزایش اجزای عملکرد، وزن هزار دانه و شاخص برداشت کلزا و خردل هندی شده است (۱۷). وفایی و همکاران (۴۸)، بیان کردند که با افزایش مقدار کود پتاسیم مقدار زیست توده، شاخص برداشت و عملکرد دانه در گلرنگ به‌طور معنی‌داری افزایش داشت، به‌طوری که بیشترین محتوای روغن از مصرف ۶۰ کیلوگرم پتاسیم به دست آمد. اثر مثبت کود پتاسیم در بهبود رشد گیاه، صفات فتوسنتزی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و اسید آسکوربیک، همچنین تجمع یون و صفات تنش اکسیداتیو در برگ خردل در شرایط تنش شور گزارش شده است (۴۶). کاربرد کود پتاسیم همراه با روی در شرایط شوری، وزن خشک اندام هوایی گندم را نسبت به تیمار شاهد ۷۰ درصد افزایش داده و اثر تنش شوری با افزایش مقدار کاربرد پتاسیم کاهش یافت (۳۳).

اسید آسکوربیک، آنتی‌اکسیدانی با وزن مولکولی پایین و قابل حل در آب است که به‌عنوان پیش‌ساز اولیه در چرخه سمیت‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن به‌ویژه پراکسید هیدروژن نقش دارد. افزون بر این، در فرایندهای رشد و نمو گیاه مانند تقسیم سلولی، توسعه دیواره و دیگر فرایندهای نموی نقش دارد. وجود غلظت‌های کمّی از این ماده در برگ‌ها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان نقش مهمی در تحمل گیاه به تنش شوری و کاهش اثرات آن بازی می‌کند. با این وجود در مورد مصرف خارجی اسید آسکوربیک روی گیاهان به‌ویژه کینوا گزارش‌های کمّی وجود دارد (۲۳). مصرف خارجی اسید آسکوربیک می‌تواند مقاومت به تنش شوری را افزایش داده و سبب کاهش اثر تنش اکسیداتیو حاصله شود (۴). کاربرد اسید آسکوربیک، جوانه‌زنی تعدادی از گیاهان خانواده لگومینوز را که تحت تأثیر تنش شوری با کاهش جوانه زنی مواجه شده بودند، به‌طور معنی‌داری افزایش داد (۴). دانشمند (۱۵) گزارش کرد که تنش‌های محیطی شامل تنش آبی، شوری و غیره میزان اسید آسکوربیک در گیاه گوجه‌فرنگی را کاهش می‌دهند و محلول پاشی اسید آسکوربیک موجب کاهش پراکسیداسیون لیپید، افزایش مقدار اسید آسکوربیک، کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و درنتیجه سبب بهبود شاخص‌های رشد می‌شود.

با توجه به اینکه تنش شوری به‌طور فزاینده‌ای در حال افزایش است و همچنین با توجه به نقش پتاسیم و اسید آسکوربیک در کاهش اثر تنش شوری، آزمایش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر پتاسیم و اسید آسکوربیک در کاهش اثرات مخرب تنش شوری بر گیاه کینوا در یک خاک شور انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک بر گیاه کینوا در شرایط شوری خاک، این آزمایش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در منطقه شرق اصفهان در بخش جلگه اجرا شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل دو عامله در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سولفات پتاسیم در چهار سطح شاهد (عدم مصرف کود)، ۵۰ درصد میزان توصیه شده (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، ۱۰۰ درصد میزان توصیه شده (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و ۱۵۰ درصد میزان توصیه شده (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک در سه سطح شاهد (عدم مصرف)، ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. قبل از کاشت نمونه‌ای همگن از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه تهیه و به آزمایشگاه ارسال شد. بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و توصیه

جدول ۱. نتایج آزمون خاک محل اجرای آزمایش

عمق	شوری	pH	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	کربن آلی	نیتروژن کل	شن	سیلت	رس
(cm)	(dS/m)		(ppm)		(درصد)				
۰-۳۰	۱۳/۸	۸/۲	۱۵/۳	۲۹۰	۱/۱	۰/۱۱	۳۳	۵۲	۱۵

کودی انجام‌شد، عناصر غذایی (به جز پتاسیم) به خاک اضافه شدند. بر اساس توصیه کودی مقدار ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن در دو مرحله پس از سبز شدن و رشد طولی ساقه و ۷۵ کیلوگرم بر هکتار فسفر به‌صورت پیش‌کاشت به خاک اضافه شد. مقدار پتاسیم مورد نیاز نیز بر اساس توصیه کودی، ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار بود که بر اساس تیماهای مورد بررسی، قبل از کاشت در هر کرت با خاک مخلوط شد. بذرهای کینوا رقم تیتیکاکا که از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شده بود، با فاصله ۱۰ سانتی‌متر (تراکم ۱۰۰بوته در مترمربع) در کرت های ۲ در ۲ و آبیاری سطحی در فاصله ۱۰ روز (به‌منظور بروز پیشگیری از بروز تنش خشکی) کشت شدند. کشت آزمایش در تاریخ پنجم اردیبهشت ۱۳۹۸ و به‌صورت دستی انجام شد. شوری آب آبیاری نیز ۸/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود.

به‌منظور اندازه‌گیری روند تغییرات سطح برگ و وزن خشک، در طول فصل رشد از زمان سبز شدن در هر مرحله ۵ بوته از هر کرت برداشت شده و به دو قسمت برگ و ساقه تفکیک شد و در هر مرحله، سطح برگ با دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter AM 200) اندازه‌گیری شد و سپس به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک در آون با درجه حرارت ۷۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت و پس از آن وزن خشک ثبت شد. برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ نیز در زمان گل‌دهی از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته استفاده شد (۱۰). بدین منظور ابتدا وزن تر برگ (FW) اندازه‌گیری شد و جهت اندازه‌گیری وزن تورژسانس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت درون ظروف شیشه‌ای حاوی آب مقطر در دمای محیط قرار گرفته و سپس با گرفتن آب روی برگ‌ها با کاغذ خشک کن، وزن آماس (TW) آنها اندازه‌گیری شد. نمونه‌های وزن شده به مدت ۲۴ ساعت درون پاکت‌های کاغذی در آون با درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا کاملاً خشک شدند و در نهایت وزن نمونه‌های خشک (DW) یاداشت شد. در نهایت محتوای آب نسبی برگ با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد.

$$RWC = \left[\frac{FW - DW}{TW - DW}\right] \times 100 \qquad (۱)$$

برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و اجزای آن در زمان رسیدگی، بوته‌های یک مترمربع از مرکز هر کرت برداشت شد و از بین این نمونه ۵ بوته برای تعیین تعداد دانه در خوشه، تعداد خوشه در بوته و همچنین ارتفاع بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد. برای شمارش تعداد خوشه در هر بوته اولین انشعابات گل‌آذین در نظر گرفته شد. پس از خشک شدن بوته‌ها عملکرد دانه و همچنین عملکرد زیستی به دست آمد و از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد زیستی، شاخص برداشت محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.0 صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برای ترسیم نمودارها نیز از نرم‌افزارهای Excel و SigmaPlot 12.5 استفاده شد.

نتایج و بحث

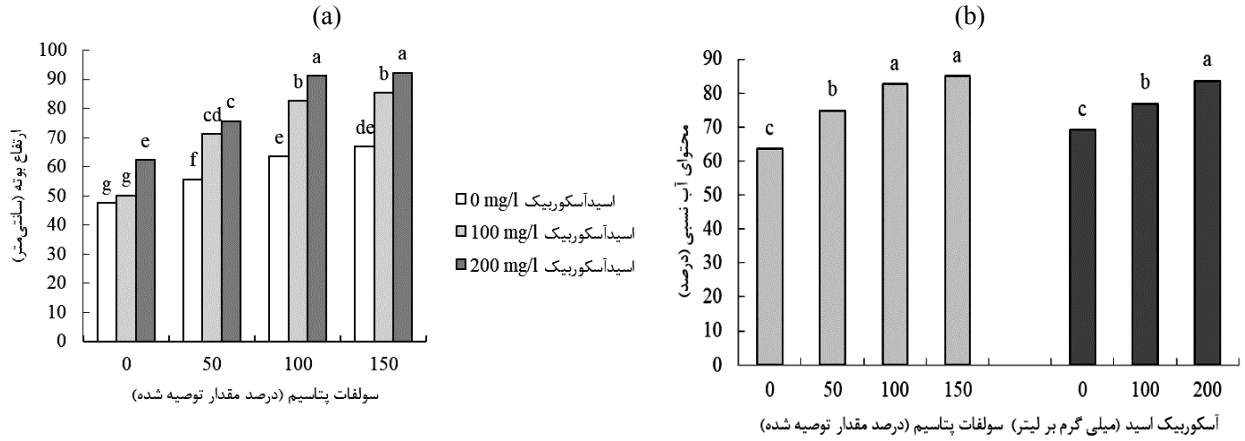
ارتفاع بوته

عوامل آزمایشی سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک و برهم‌کنش آنها تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشت (جدول ۲). کاربرد توام سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک باعث افزایش ارتفاع گیاه کینوا شد (شکل ۱-a). در واقع تیمارهای مصرف معادل ۱۰۰ و ۱۵۰ درصد سولفات پتاسیم مورد نیاز گیاه به همراه محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید آسکوربیک به‌ترتیب با ۹۱/۲ و ۹۲/۳ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع بوته را بین تیمارهای آزمایشی داشتند و

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات ارتفاع بوته، محتوای نسبی آب برگ، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه و شاخص برداشت کینوا در شرایط کاربرد سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		ارتفاع بوته	محتوای نسبی آب برگ	شاخص سطح برگ	تعداد خوشه در بوته	تعداد دانه در خوشه	وزن هزار دانه	عملکرد زیستی	عملکرد دانه	شاخص برداشت
تکرار	۲	۱۶۵/۹**	۱۳۰/۰**	۰/۰۹۴**	۶/۵**	۲۶/۲**	۰/۱۳**	۱۱۰/۲^{ns}	۲۳۶/۷**	۲۱/۴**
سولفات پتاسیم (S)	۳	۱۴۹۵/۶**	۸۳۳/۱**	۰/۶۸**	۱۰۵/۵**	۲۵۸/۳**	۰/۹۶**	۶۳۲۰/۶**	۹۱۷۸/۱**	۵۲۱/۰**
اسید آسکوربیک (A)	۲	۱۴۷۰/۶**	۶۳۸/۷**	۰/۵۸**	۷۹/۷**	۲۱۷/۸**	۰/۸۲**	۵۴۷۴/۸**	۸۴۷۹/۶**	۴۶۳/۱**
A*S	۶	۵۱/۶^{ns}	۱۸/۹^{ns}	۰/۰۲۸**	۲/۰^{ns}	۷/۳^{ns}	۰/۰۴**	۲۳۷/۹^{ns}	۵۴۸/۰**	۲۴/۱**
خطا	۲۲	۹/۷	۱۱/۹	۰/۰۰۵**	۱/۲	۲/۰	۰/۰۱	۱۰۹/۳	۳۱/۷	۲/۷
ضریب تغییرات (درصد)		۴/۴	۴/۵	۳/۱	۴/۱	۴/۳	۳/۶	۳/۱	۶/۸	۶/۹

^{ns} و **، به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد



شکل ۱. اثر برهم‌کنش سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک بر ارتفاع گیاه کینوا (a) و مقایسه میانگین تیمارهای سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک بر محتوای نسبی آب برگ گیاه کینوا (b). میانگین‌های دارای حرف مشابه، اختلاف معنی‌دار با یکدیگر ندارند (LSD, 5%).

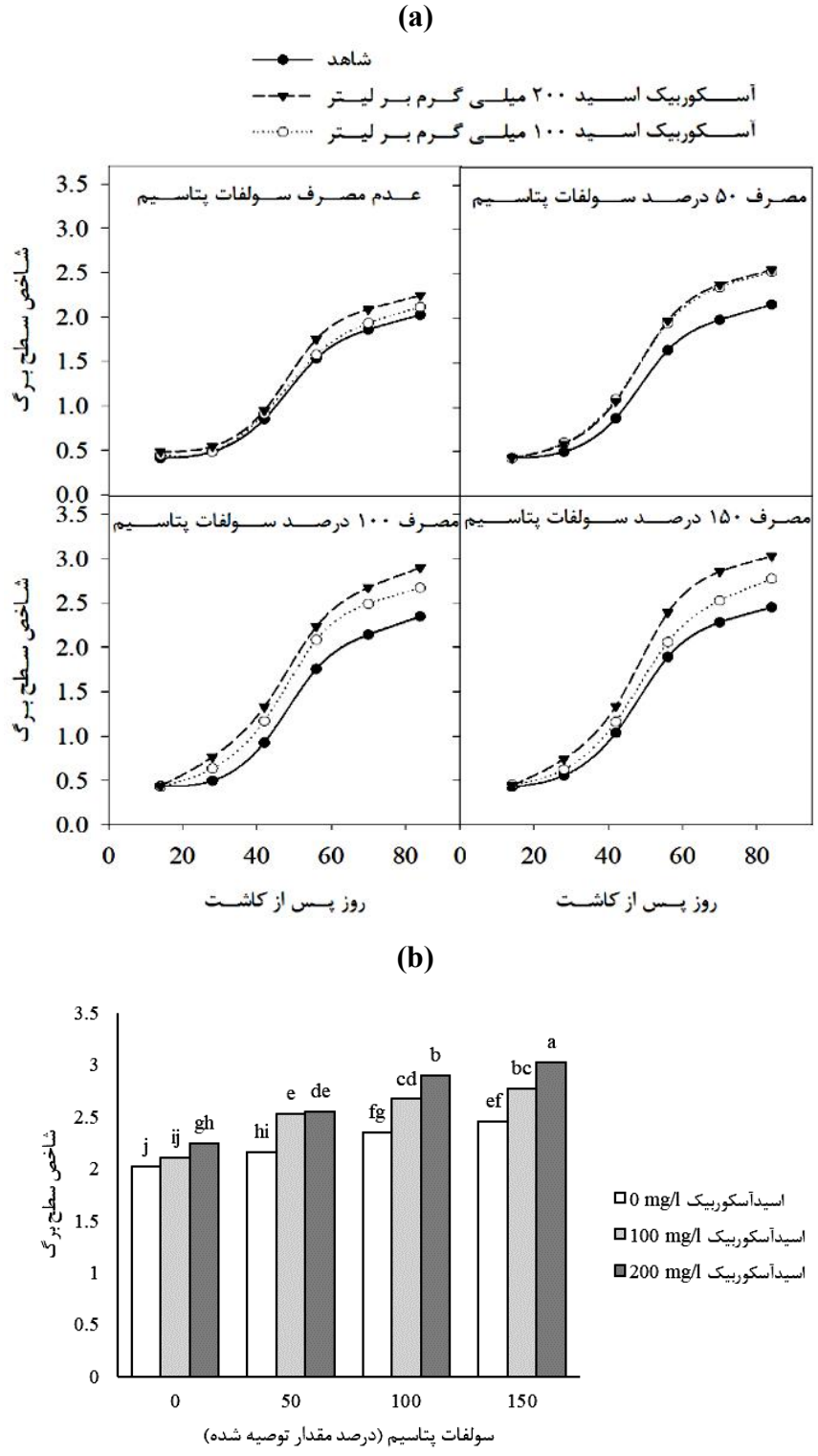
کمترین ارتفاع بوته با ۴۷/۶ و ۵۰/۱۱ سانتی‌متر مربوط به تیمار شاهد (عدم مصرف سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک) و کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید آسکوربیک به تنهایی بود (شکل ۱–a). اسید آسکوربیک با تأثیر بر روی غشاء پلاسمایی و پمپ‌های پروتئینی سبب تحریک عوامل سست‌کننده دیواره سلولی و در نتیجه افزایش توسعه و بزرگ‌شدن سلول می‌شود (۴۲). مطالعات نشان دادند که احتمالاً اسید آسکوربیک از طریق افزایش جذب عناصر موجب تحریک رشد و افزایش ارتفاع در گیاهان می‌شود (۳۴). العامری و محمد (۲) در مطالعه خود نشان دادند که اسید آسکوربیک به میزان زیادی باعث بهبود رشد گیاه و پارامترهای عملکرد، ارتفاع بوته، ماده خشک گیاه در گیاه لوبیا نسبت به عدم محلول‌پاشی شد که علت آن را نقش اسید آسکوربیک در تحریک و رشد برگ و جذب آب بیشتر بیان کردند. با توجه به شواهد موجود اسید آسکوربیک نقش دوگانه‌ای در رشد سلول دارد، از یک طرف موجب تقسیم سلولی می‌شود و از طرف دیگر، رشد طولی سلول را امکان‌پذیر می‌سازد. احتمال می‌رود که افزایش وزن بوته گیاه کینوا توسط اسید آسکوربیک به‌همین دلیل باشد. پتاسیم نیز از طریق تنظیم اسمزی، پتانسیل آب لازم رشد و به تبع آن تقسیم سلولی را در شرایط تنش و نرمال فراهم می‌کند و منجر به افزایش ارتفاع ساقه می‌شود (۲۹).

محتوای نسبی آب برگ

محتوای نسبی آب برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک قرار گرفت (جدول ۲). محتوای نسبی آب برگ گیاه کینوا با مصرف سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک افزایش یافت (شکل ۱- b). بالاترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به تیمار مصرف ۱۵۰ درصد سولفات پتاسیم با ۸۵ درصد بود که البته اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری با سطح مصرف ۱۰۰ درصد سولفات پتاسیم نداشت. تیمارهای مصرف ۱۵۰ و ۱۰۰ درصد سولفات پتاسیم به‌ترتیب افزایش ۳۴ و ۳۰ درصدی نسبت به تیمار عدم مصرف سولفات پتاسیم داشتند (شکل ۲). محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید آسکوربیک از بالاترین محتوای نسبی آب برگ با ۸۳/۷ درصد برخوردار بود که افزایش ۲۱ درصد نسبت به تیمار عدم کاربرد اسید آسکوربیک نشان داد (شکل ۱- b). در کل مشاهده شد در هیچ یک از تیمارهای مورد بررسی، محتوای نسبی آب برگ از۶۰ درصد کمتر نبود که البته با توجه به اینکه گیاه کینوا گیاهی شورپسند است، بالا بودن محتوای نسبی آب برگ در این شرایط چندان هم دور از انتظار نیست. محتوای نسبی آب برگ به‌عنوان معیاری قابل اعتماد برای برآورد وضعیت آب در بافت‌های گیاهی به شمار می‌رود و از این نظر نسبت به پتانسیل آب سلول برتری دارد، زیرا که محتوای نسبی آب برگ از طریق ارتباط مستقیم با حجم سلول می‌تواند تعادل بین آب و سرعت تعرق را بهتر نشان دهد (۳۸). در این مطالعه مشاهده شد که محلول‌پاشی اسید آسکوربیک موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ شد. گزارش شده است که کاربرد اسید آسکوربیک با تجمع ترکیبات پرولین و قندها به‌عنوان اسمولیت‌های آلی نقش به‌سزایی در تنظیم اسمزی و حفظ محتوای نسبی آب دارد (۴۳). همچنین احتمالا به‌دلیل نقش اسید آسکوربیک در توسعه ریشه گیاه و افزایش توان جذب رطوبت خاک موجب افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ می‌شود (۱۹). پتاسیم دارای نقش کلیدی در تنظیم حرکت روزنه‌ها به‌عنوان سازوکار عمده در مهار آب گیاهان و همچنین به‌عنوان ماده اسمزی عمده در واکوئل در جهت نگهداری آب کافی در بافت‌ها است (۲۴). در مطالعه ون و همکاران (۵۳) کاربرد پتاسیم با غلظت ۱/۲۸ میلی‌مولار در محیط کشت MS برای گیاه *Houttuynia cordata Thunb* موجب افزایش محتوای آب گیاه نسبت به شاهد شد.

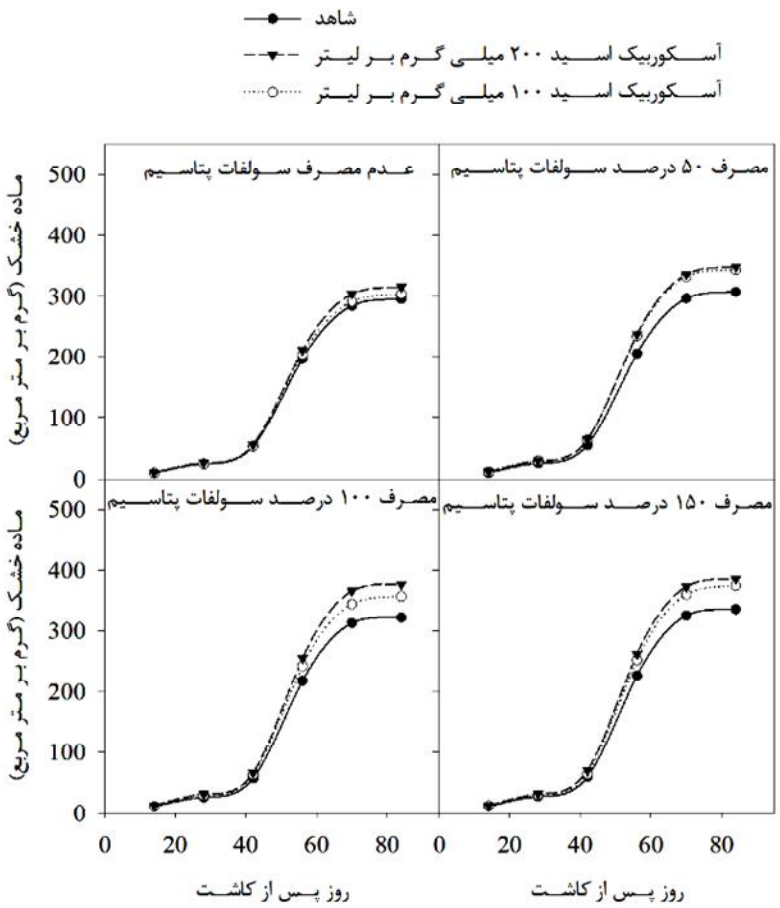
شاخص سطح برگ

تغییرات شاخص سطح برگ گیاه کینوا نشان داد سرعت تغییرات ابتدا کند و از زمان کشت تا حدود ۴۰ روز پس از کشت ادامه داشت. روند تغییرات پس از این مرحله نشان داد شاخص سطح برگ تا ۸۰ روز بعد از کشت به‌طور خطی افزایش یافت و بعد در مرحله آخر دوباره با سرعت کم تا انتهای مرحله رشد افزایش داشت (شکل ۲-a). در تیمار بدون مصرف سولفات پتاسیم و بین تیمارهای محلول‌پاشی اسید آسکوربیک تفاوت کمی وجود دارد با این حال، بیشترین میزان شاخص سطح برگ مربوط به کاربرد ۲۰۰میلی‌گرم بر لیتر اسید آسکوربیک با ۱/۶۷ در اواسط دوره رشد و ۲/۳۲ در اخرین مرحله نمونه‌برداری بود، همچنین روند افزایش شاخص سطح برگ در تمامی دوران رشد شیب ملایمی داشت (شکل ۲- a). در تیمار مصرف ۵۰ درصد سولفات پتاسیم، تفاوتی بین دو سطح محلول‌پاشی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید آسکوربیک وجود نداشت، ولی شاخص سطح برگ در هر دو تیمار بالاتر از تیمار بدون کاربرد اسید آسکوربیک بودند. در واقع افزایش مصرف سولفات پتاسیم موجب افزایش شاخص سطح برگ در تمام سطوح محلول‌پاشی اسید آسکوربیک شد و بالاترین شاخص سطح برگ مربوط به تیمار مصرف ۱۵۰ درصد سولفات پتاسیم و محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید آسکوربیک با ۳/۰۳ در انتهای رشد بود (شکل ۲- a). همچنین اثر اسید آسکوربیک، سولفات پتاسیم و برهم‌کنش این دو بر شاخص سطح برگ در آخرین مرحله اندازه‌گیری معنی‌دار بود (جدول ۲). به نحوی که در هر یک از سطح کاربرد سولفات پتاسیم، بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار کاربرد اسید آسکوربیک با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد. همچنین با افزایش مصرف سولفات پتاسیم، شاخص سطح برگ



شکل ۲. روند تغییرات شاخص سطح برگ در برهم‌کنش اثر تیمارهای سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک گیاه کینوا (a)، میانگین شاخص سطح برگ در آخرین مرحله اندازه‌گیری در برهم‌کنش اثر تیمارهای سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک گیاه کینوا (b)، میانگین‌های دارای حرف مشابه، اختلاف معنی‌دار با یکدیگر ندارند (LSD, 5%)

(c)



ادامه شکل ۲. روند تغییرات تجمع ماده خشک در برهم‌کنش اثر تیمارهای سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک گیاه کینوا (c)

روند افزایشی نشان داد (شکل ۲- b). همانگونه که در بالا اشاره شد کاربرد اسید آسکوربیک و سولفات پتاسیم باعث بهبود رشد گیاه از نظر ارتفاع بوته و همچنین بهبود وضعیت رطوبتی گیاه (محتوای نسبی آب برگ) شد. در واقع در این شرایط گیاه آب بیشتری جذب کرده و توانایی رشد بیشتری داشته و از طریق افزایش رشد طولی و همچنین افزایش شاخص سطح برگ، از منابع موجود استفاده بهینه‌تری می‌کند. اسمیرنوف (۴۱) بیان کرد که اسید آسکوربیک می‌تواند فرایندهای رشد و نموی به‌ویژه ساخت قندها را در جهتی هدایت کند که رشد گیاه افزایش یابد.

ماده خشک

روند تغییرات تجمع ماده خشک در طول فصل رشد دارای سه مرحله بود. مرحله اول، فاز تأخیری که در آن تغییرات تا ۴۰ روز پس از کاشت به کندی صورت می‌گرفت. پس از این مرحله ماده خشک تا حدود ۷۰ روز پس از کشت همزمان با افزایش شاخص سطح برگ و دریافت تابش بیشتر توسط برگ‌ها، با سرعت بیشتری افزایش یافت. در مرحله سوم تغییرات ماده خشک تا شروع رسیدگی فیزیولوژیک (۸۵ روز پس از کاشت) که در آن ماده خشک به حداکثر میزان خود رسیده بود تقریبا ثابت ماند یا به آرامی افزایش یافت (شکل ۲- c). در این در این رابطه هاشم‌پور (۲۲) اعلام کرد که تولید ماده خشک ابتدا به آهستگی صورت گرفته و سپس با گذشت زمان سرعت می‌یابد. رشد بوته در اواخر فصل مجددا کند می‌شود تا این که گیاه به مرحله بلوغ فیزیولوژیکی رسیده و رشد متوقف شود. بالاترین ماده خشک در

گیاه کینوا تحت تیمار مصرف ۱۵۰ درصد سولفات پتاسیم و محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید آسکوربیک با ۳۷۴/۶ گرم بر مترمربع در ۷۰ روز پس از کاشت به‌دست آمد، که افزایش ۳۷ درصدی نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک) در این مرحله رشدی داشت (شکل ۲– c). کاربرد آسکوربیک اسید و سولفات پتاسیم با بهبود محتوای آب نسبی برگ در شرایط تنش شوری و همچنین با افزایش رشد طولی و افزایش شاخص سطح برگ، بهبود رشد و تولید ماده خشک را به دنبال داشت. در واقع افزایش شاخص سطح برگ در این شرایط باعث افزایش مراکز دریافت نور و تبدیل نور دریافتی به مواد پرورده و متعاقبا افزایش رشد و تولید ماده خشک شده است.

عملکرد دانه و اجزای آن

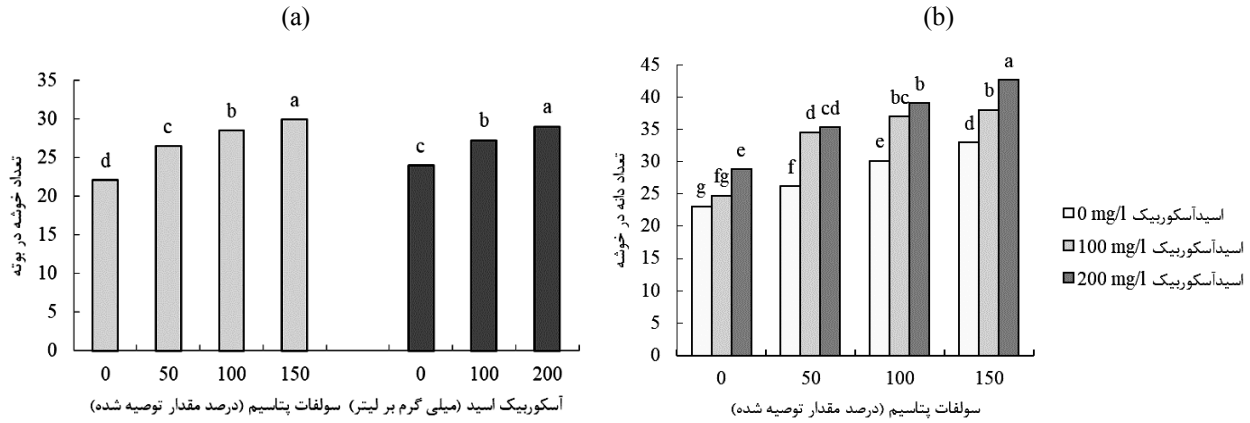
نتایج نشان داد که تعداد خوشه در بوته تحت تأثیر سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک قرار گرفت (جدول ۲) در حالی‌که سایر اجزای عملکرد دانه شامل تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه تحت تأثیر اثر سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک و برهم‌کنش آنها قرار گرفتند (جدول ۲).

همزمان با افزایش مقدار سولفات پتاسیم، تعداد خوشه در بوته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌طوری که تعداد خوشه در بوته در زمانی که میزان ۱۵۰ درصد مقدار توصیه شده به‌کار برده شده بود نسبت به شرایط ۱۰۰ درصد میزان توصیه شده و شاهد به‌ترتیب ۵ و ۳۵ درصد افزایش نشان داد (شکل ۳– a). کمترین تعداد خوشه نیز در شرایط عدم کاربرد سولفات پتاشیم مشاهده شد. همچنین افزایش غلظت اسید آسکوربیک موجب شد سطح ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به سطوح دیگر در بالاترین سطح آماری قرار گرفته و به‌ترتیب ۶ و ۲۱ درصد تعداد خوشه بیشتری در هر بوته نسبت به سطوح ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید آسکوربیک و سطح شاهد (عدم کاربرد) تولید کرده و اختلاف معنی‌داری بین هر سه سطح با یکدیگر گزارش شد (شکل ۳– a).

مهم‌ترین جز در بین اجزای عملکرد دانه کینوا تعداد خوشه در بوته (در واحد سطح) است (۱۳). در پژوهش سینگ و سینگ (۴۰) مشخص شد استفاده از کود پتاسیم سبب افزایش تعداد غلاف در گیاه سویا می‌شود که نتایج این مطالعه و سایر مطالعات (۲۸) مشابه نتایج به‌دست آمده در پژوهش برات‌زاده و همکاران (۹) در لوبیا چشم‌بلبلی بود و نتایج پژوهش حاضر را تایید کردند که تعداد خوشه در بوته با کاربرد سولفات پتاسیم، افزایش معنی‌دار و قابل توجهی یافت. از طرف دیگر، ژانگ (۵۴) بیان کرد که اسید آسکوربیک به سبب فعالیت آنتی‌اکسیدانتی خود، احتمالا از طریق بهبود شرایط تغذیه‌ای و کاهش شرایط تنش‌زا در ریزوسفر گیاه سبب بهبود در تعداد خوشه شده است که تایید کننده نتایج این پژوهش بود.

برهم‌کنش سطوح سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک بر تعداد دانه در خوشه گیاه کینوا در (شکل ۳– b) آورده شده است. نتایج نشان داد غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید آسکوربیک و کاربرد ۱۵۰ درصد سولفات پتاسیم بیشتر از میزان توصیه شده، بیشترین تعداد دانه در خوشه را ایجاد کرد و با تفاوت ۸۵ درصدی نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک) تعداد دانه بیشتری تولید کرد که از نظر آماری در بالاترین سطح قرار گرفت (شکل ۳– b). کمترین تعداد دانه در خوشه نیز متعلق به تیمار شاهد با ۲۳ عدد بود. نتایج آزمون آماری مشخص کرد، تعداد دانه در خوشه در شرایط کاربرد ۱۵۰ درصد سولفات پتاسیم توصیه شده و عدم کاربرد اسید آسکوربیک با شرایط ۵۰ درصد مقدار توصیه شده سولفات پتاسیم و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید آسکوربیک برابر بود. بدین معنی که با کاهش میزان سولفات پتاسیم (به میزان نصف مقدار توصیه شده) و دوبرابر کردن غلظت اسید آسکوربیک، تعداد خوشه تفاوت معنی‌داری نداشت.

برات‌زاده و همکاران (۹) در پژوهش خود روی گیاه لوبیا چشم بلبلی بیان کردند که ممکن است بهبود شرایط لقاح در گیاه به واسطه حضور پتاسیم در اطراف ریشه، به تولید تعداد دانه بیشتری منجر شود. در پژوهش حاضر نیز، به نظر می‌رسد رخداد مشابهی در گیاه کینوا رخ داده و در نهایت تعداد دانه بیشتری تا

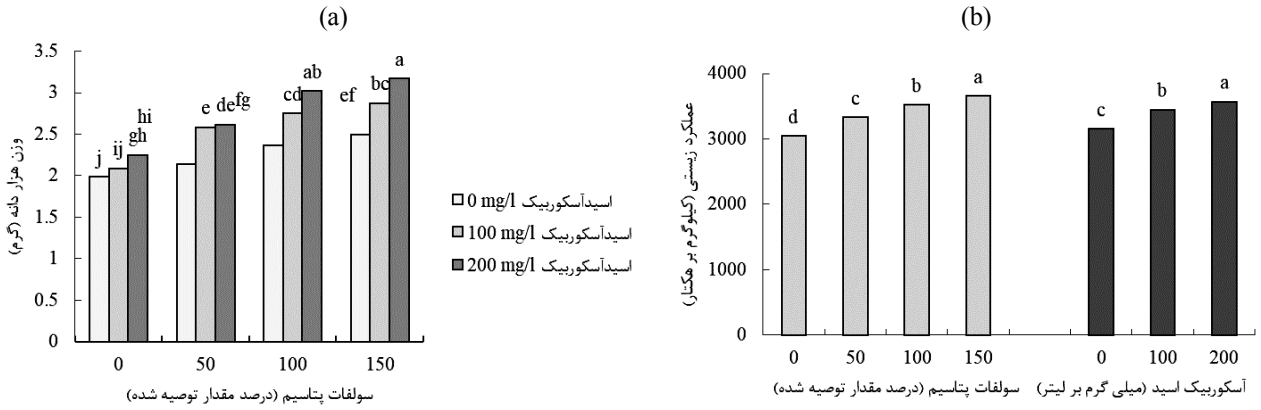


شکل ۳. اثر سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک بر تعداد خوشه در بوته کینوا (a) و اثر برهم‌کنش سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک بر تعداد دانه در خوشه کینوا (b). برای هر عامل، میانگین‌های دارای حرف مشابه، اختلاف معنی‌دار با یکدیگر ندارند (LSD, 5%).

پایان دوره رشد گیاه تولید شدند. به عبارت دیگر، زمانی که شرایط گرده‌افشانی و تلقیح مساعد بود، گیاه زمان بیشتری برای گرده‌افشانی در اختیار داشت و تضمین بالاتری برای تولید تعداد دانه به‌عنوان یکی از اجزای عملکرد داشت. دانشیان و همکاران (۱۴) بیان کردند که به سبب نقش مفید پتاسیم در انتقال آسیمیلات‌ها، تعداد دانه افزایش معنی‌دار نشان داد. ژانگ (۵۴) نیز ضمن تایید نتایج پژوهش حاضر، تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها در اثر محلول‌پاشی اسید آسکوربیک و نیز تحریک تولید و افزایش در فعالیت هورمون‌ها و آنزیم‌های گیاهی را از دلایل آن دانست.

در برهم‌کنش سطوح سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک، بالاترین وزن هزار دانه مشابه با دیگر اجزای عملکرد در کینوا در این آزمایش، در تیمار درصد اسید آسکوربیک بیشتر از مقدار توصیه شده و غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید آسکوربیک (۳/۱ گرم) به‌دست آمد (شکل ۴- a). مطابق نتایج، این تیمار با برهم-کنش ۱۰۰ درصد سولفات پتاسیم توصیه شده و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید آسکوربیک تفاوت معنی‌داری نداشت و هر دو در بالاترین سطح آماری جای گرفتند. از طرف دیگر، کمترین وزن هزار دانه در این آزمایش مربوط به تیمار شاهد (۱/۹ گرم) بود. همچنین بین تیمار عدم کاربرد سولفات پتاسیم و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید آسکوربیک و تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری دیده نشد.

القصیبی و همکاران (۳) در پژوهش خود به‌منظور بررسی اثر آبیاری با آب شور بر رشد کینوا مشاهده کردند که تنش شوری باعث کاهش وزن هزار دانه شد. آنها نشان دادند که بیشترین میزان وزن هزار دانه مربوط به شوری ۱/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین وزن هزار دانه مربوط به شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر بود. برات‌زاده و همکاران (۹) عنوان کردند که محلول‌پاشی اسید آسکوربیک اثر مثبت معنی‌دار بر وزن دانه داشت. همانند سایر پژوهش‌ها که کاربرد کود پتاسیم سبب افزایش معنی‌دار در وزن دانه در گیاهان سویا (۲۷) و لوبیا چشم‌بلبلی (۹) شد، در این پژوهش نیز وزن دانه در این تیمار افزایش یافته است که دلیل آن را می‌توان به نقش مثبت پتاسیم در کمک به فرایند فتوسنتز و انتقال مواد ساخته شده به اندام‌های مقصد (دانه‌ها) نسبت داد. همچنین، اسید آسکوربیک نیز در کنار سولفات پتاسیم در این آزمایش، اجزای عملکرد گیاه کینوا را به شکل چشم‌گیر افزایش داد. پژوهشگران بیان کردند نگهداری از برخی آنزیم‌ها و کاهش تنش‌های محیطی احتمالی توسط اسید آسکوربیک ممکن است از اختلال در حمل و نقل مواد جلوگیری کرده و در واقع، مواد بیشتری را به مقصدهای فیزیولوژیک در گیاه هدایت کرده باشد



شکل ۴. اثر برهم‌کنش سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک بر وزن هزار دانه کینوا (a) و اثر سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک بر عملکرد زیستی گیاه کینوا (b). میانگین‌های دارای حرف مشابه، اختلاف معنی‌دار با یکدیگر ندارند (LSD, 5%).

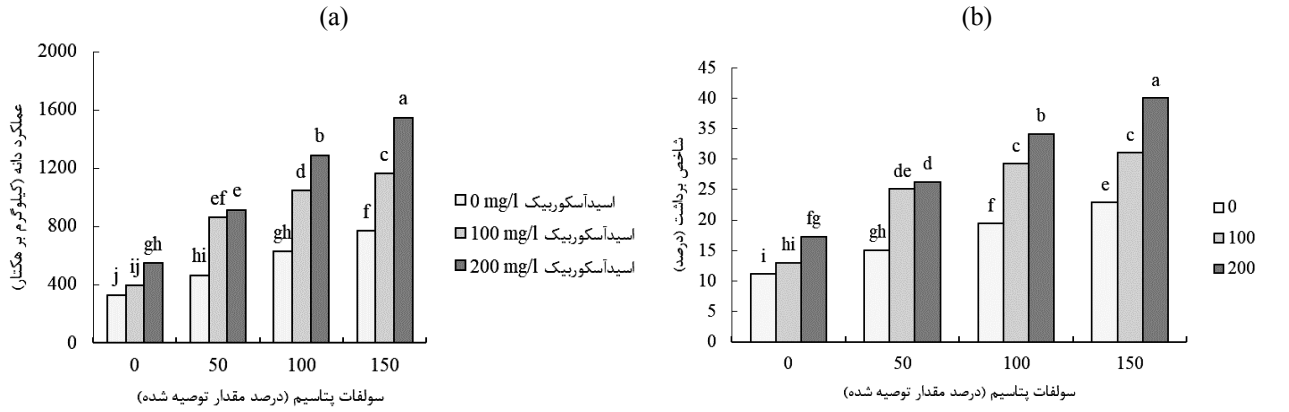
(۲۶). این نتایج توسط مراد و همکاران (۳۲) در گیاه بادام‌زمینی و محمدی (۳۱) در گیاه سویا تایید شد.

اثر سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک بر عملکرد زیستی کینوا معنی‌دار بود (جدول ۲). عملکرد زیستی همزمان با افزایش میزان کاربرد سولفات پتاسیم، به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد، به‌طوری که اختلاف بین همه سطوح آن با یکدیگر معنی‌دار بود (شکل ۴– b). بیشترین عملکرد زیستی با کاربرد ۱۵۰ درصد مقدار توصیه شده سولفات پتاسیم (۳۶۵۰ کیلوگرم بر هکتار) به‌دست آمد. این مقدار نسبت به شرایط عدم کاربرد سولفات پتاسیم (تیمار شاهد) ۲۰ درصد بیشتر بود و اختلاف چشم‌گیری را نشان داد.

همچنین بررسی تغییرات عملکرد زیستی تحت سطوح اسید آسکوربیک نشان داد رابطه بین افزایش غلظت اسید آسکوربیک از سطح بدون کاربرد (شاهد) تا سطح ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و افزایش عملکرد زیستی از نظر آماری معنی‌دار بود، به‌طوری که بیشترین و کمترین عملکرد زیستی به‌ترتیب در تیمارهای ۲۰۰ (۳۵۶۰ کیلوگرم بر هکتار) و صفر (۳۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار) میلی‌گرم بر لیتر اسید آسکوربیک به‌دست آمد (شکل ۴–b).

مطالعه مشابه بر کنجد نشان داد اسید آسکوربیک و سولفات پتاسیم به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های فتوسنتزی، عملکرد زیستی را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (۲۲). پیش از این، کولین (۱۲) نقش مهم اسید آسکوربیک در فیزیولوژی رشد و نمو و فیزیولوژی تنش در گیاهان زراعی را یادآور شده بود. غفوری و همکاران (۲۰) نقش کود پتاسیم در افزایش عملکرد زیستی سورگوم را نشان دادند و ولدآبادی و علی‌آبادی فراهانی (۴۹) نیز دلیل افزایش عملکرد زیستی سورگوم و ارزن در پژوهش خود را به وجود همبستگی مثبت بین حضور پتاسیم در گیاه و ریزوسفر و رشد عمقی ریشه گیاه و در نهایت افزایش وزن خشک ریشه (به‌عنوان ارگان دریافت کننده مواد غذایی از خاک) نسبت دادند. در واقع، نقش کاتالیزوری پتاسیم در متابولیسم سلول‌ها (به هنگام جابجاشدن مواد از عرض غشا سلول) احتمالاً نقش بارزی در افزایش بیوماس کینوا در این آزمایش داشت و مشخص شد در کنار حضور پتاسیم در گیاه، وجود ویتامین اسید آسکوربیک در گیاه، ضمن پالایش گونه‌های فعال اکسیژن و فعال کردن مجموعه آنزیمی در فرایندهای بیوشیمیایی گیاه، سبب تعدیل شرایط رشدی و درنتیجه افزایش عملکرد زیستی شد (۳۴).

عملکرد دانه و شاخص برداشت به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر اثرات اصلی و برهم‌کنش سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک گرفتند (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه در گیاه کینوا در آزمایش حاضر تحت شرایط کاربرد بیشترین مقدار سولفات پتاسیم و بالاترین غلظت اسید آسکوربیک بکار رفته (۱۵۴۰ کیلوگرم بر هکتار) به‌دست آمد که به تنهایی با اختلاف



شکل ۵. برهم‌کنش سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک بر عملکرد دانه گیاه کینوا (a) و برهم‌کنش سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک بر شاخص برداشت دانه گیاه کینوا (b). میانگین‌های دارای حرف مشابه، اختلاف معنی‌دار با یکدیگر ندارند (LSD, 5%).

۲ درصد نسبت به سطح آماری بعد از خود (۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده سولفات پتاسیم و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و ۳/۷ برابر نسبت پایین‌ترین سطح آماری به‌دست آمده (تیمار شاهد) قرار گرفت (شکل ۵- a).

در پژوهشی نتایج نشان داد که گیاه کینوا در شرایط استفاده از آب دریا به‌عنوان آب آبیاری دوره رشد خود را به پایان رسانده و بذر نیز تولید می‌کند. از طرفی افزایش شوری باعث کاهش معنی دار عملکرد، تعداد دانه، وزن دانه و عملکرد زیستی شد (۲۵).

همانند نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر که حاکی از افزایش مقدار اجزای عملکرد دانه در اثر افزایش مصرف سولفات پتاسیم بود، در پژوهش میان‌آب (۳۰) نیز دلیل تولید بیشترین مقدار دانه جو در واحد سطح را به سبب نقش سازنده پتاسیم در بهبود اجزای عملکرد آن دانستند و بیان شد که کاهش اثر تنش اسمزی و به دنبال آن بهبود در جذب آب به درون سلول در گیاه، به‌واسطه حضور پتاسیم بوده است که با نتایج برات‌زاده و همکاران (۹) همسو بود. همچنین همزمان با نقش مثبت سولفات پتاسیم در کینوا در این آزمایش، اثر مثبت اسید آسکوربیک نیز موجب هم‌افزایی نقش سولفات پتاسیم شد و عملکرد دانه را بهبود بخشید. سایر پژوهش‌ها نیز به نقش اسید آسکوربیک در بهبود عملکرد دانه کینوا (۷ و ۱۶) اشاره کرده‌اند و تخفیف اثرات منفی تنش شوری (به سبب حضور پتاسیم) و بهبود شرایط رشد (به سبب حضور اسید آسکوربیک در گیاه) را از علل آن بیان کردند.

گیاهان در شرایط کاربرد بالاترین مقادیر سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک، بیشترین میزان ماده خشک را به مقاصد فیزیولوژیک منتقل کرده و به تولید دانه اختصاص دادند (شکل ۵- b). به عبارت دیگر، برهم‌کنش ۱۵۰ درصد مقدار توصیه شده سولفات پتاسیم و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید آسکوربیک بالاترین شاخص برداشت (۴۰ درصد) را به‌دست آورد و در طرف دیگر، تیمارهای بدون کاربرد سولفات پتاسیم و عدم کاربرد اسید آسکوربیک (۱۱ درصد) و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (۱۳ درصد) کمترین میزان شاخص برداشت دانه را داشتند.

مطابق نتایج، هم کاربرد سولفات پتاسیم و هم محلول‌پاشی اسید آسکوربیک در کینوا نشان داد که حجم بیشتری از آسیمیلات‌های ساخته شده در فرایند فتوسنتز از ریشه به دانه‌ها رسید، به عبارت دیگر، ضمن در نظر گرفتن نتایج مثبت سولفات پتاسیم و اسید آسکوربیک بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و عملکرد زیستی، احتمالا مسیر حرکت مواد فتوسنتزی به سبب مخازن فیزیولوژیک بیشتر در گیاه تغییر کرده و موجب شد تا در نهایت شاخص برداشت دانه افزایش یابد. در تایید این نتایج، شاهید (۳۹) مشاهده کرد شاخص برداشت سورگوم و خردل همزمان با کاربرد پتاسیم افزایش یافت. پژوهشی دیگر نیز نتایجی

مطابق با نتایج این مطالعه گزارش کردند (۶). هم‌چنین واعظی‌راد و همکاران (۴۷) نیز به بهبود عملکرد اقتصادی گیاه در نتیجه محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک اشاره کردند که درنهایت بهبود شاخص برداشت را نتیجه داد.

نتیجه‌گیری

کاربرد سولفات پتاسیم نقش مهمی در بهبود عملکرد دانه و اجزای آن داشت و پس از بررسی رشد در طول فصل، تغییرات چشمگیری در جهت افزیش تولید در گیاه کینوا به‌دست آمد. زمانی که پتاسیم بیشتری در دسترس گیاه قرار داشت، گیاه هم ماده خشک بیشتری (افزایش عملکرد زیستی) تولید کرد و هم مسیر آسیمیلات‌ها را به طرف دانه تغییر داد که این موضوع نشان از بیشتر بودن شاخص برداشت در این تیمارها دارد. به دنبال این تغییر جهت، شاخص برداشت دانه بهبود قابل توجهی یافت. از سوی دیگر، به‌کارگیری اسید آسکوربیک در این پژوهش، سبب هم‌افزایی پتاسیم و اسید آسکوربیک در گیاه کینوا شد. به دیگر سخن، بیشترین میزان در صفات اندازه‌گیری شده در طول فصل رشد و به‌ویژه عملکرد دانه، متعلق به برهم‌کنش سطوح ۱۵۰ درصد میزان توصیه شده سولفات پتاسیم (۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار) و محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌مولار اسید آسکوربیک بود. از این‌رو، سطح برهم‌کنش مذکور را در صورت تکرار در شرایط آزمایشی مشابه، می‌توان به‌عنوان ترکیب مناسبی در جهت بهبود عملکرد در گیاه جدید کینوا در نظر گرفت. البته با توجه به اینکه با افزایش غلظت اسید آسکوربیک، صفات نیز روند افزایشی نشان دادند، امکان دارد با افزایش غلظت اسید آسکوربیک به بالاتر از ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیز همچنان عملکرد دانه روند افزایشی داشته باشد.

منابع مورد استفاده

1. 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.
2. AL-Amery, N. J. and M. M. Mohammed. 2017. Influence of adding ascorbic acid and yeast on growth and yield and rhizobium of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under irrigation with saline water. *Journal of Agriculture and Veterinary Science* 10(10): 23–28.
3. Algosaibi, A. M., M. M. El-Garawany, A. E. Badran and A. M. Almadini. 2015. Effect of irrigation water salinity on the growth of quinoa plant seedlings. *Journal of Agricultural Science* 7: 205-214.
4. Alqurainy, F. 2007. Responses of bean and pea to vitamin C under salinity stress. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 3: 714–722.
5. Arif, M., M. Tasneem, F. Bashir, G. Yahseen and A. Anwar. 2017. Evaluation of different levels of potassium and zinc fertilizer on growth and yield of wheat. *International Journal of Biosensors and Bioelectronics* 3(2): 57–62.
6. Asgharipour, M. R. and M. Heidari. 2011. Effect of potassium supply on drought resistance in sorghum: plant growth and macronutrient content. *Pakistan Journal of Agricultural Science* 48(3): 197–204.
7. 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.
8. Babula, P., V. Adam, R. Opatrilova, J. Zehnalek, L. Havel and R. Kizek. 2009. Uncommon heavy metals, metalloids and their plant toxicity: a review. *Environmental Chemistry Letters* 6(4): 189-213.
9. Barat Zadeh, S., T. Saki Nejad, T. Babaei Nejad. 2019. Effect of potassium nano-chelate and ascorbic acid on grain yield and some qualitative characteristics of cowpea (*Vigna unguiculata* L., Kamran cultivar). *Journal of Plant Production Sciences* 9(2): 149–160. (In Farsi).
10. Barr, H. D. and P. E. Weatherley. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. *Australian Journal of Biological Science* 15: 413–428.
11. Beyrami, H., M. Rahimian, M. Salehi, R. Yazdani-Biouki. 2020. Effect of different levels of irrigation water salinity on quinoa (*Chenopodium quinoa*) yield and yield components in spring planting. *Journal of Crop Production* 12(4): 111-120. (In Farsi).
12. Conklin, P. 2001. Recent advances in the role and biosynthesis of ascorbic acid in plants. *Plant, Cell and*

Environment 24: 383–394.
13. Curti, R. N., A. J. Vega, A. J. Andrade, S. J. Bramardi and H. D. Bertero. 2014. Multi-environmental evaluation for grain yield and its physiological determinants of quinoa genotypes across Northwest Argentina. *Field Crops Research* 166: 46–57.
14. Daneshian, J., A. Majidi, G. Nourmohamadi and P. Jonoubi. 2006. Investigation of the effect of drought and application of different amounts of potassium on soybeans. In: Proceeding of 9th Iranian Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding, Tehran, Iran. pp 75-78. (In Farsi).
15. Daneshmand, F. 2014. Response of antioxidant system of tomato to water deficit stress and its interaction with ascorbic acid. *Iranian Journal of Plant Biology* 6(19): 57–72. (In Farsi).
16. El Sebai, T. N., M. M. S. Abdallah, H. M. S. El-Bassiouny, and F. M. Ibrahim. 2016. Amelioration of the adverse effects of salinity stress by using compost, *Nigella sativa e*xtract or ascorbic acid in quinoa plants. *International Journal of PharmTech Research* 9(6): 127–144.
17. Fanayi, H. M., M. Golavi, M. Kafi, A. Ghanbari and A. H. Shiranirad. 2009. Effect of potassium fertilizer and irrigation levels on grain yield and water use efficiency of rapeseed (*Brassica napus* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) species. *Iranian Journal of Crop Sciences* 3(11): 271–289. (In Farsi).
18. FAO. 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Quarterly Bulletin of Statistics. Rome, Italy. Available online at: https://www.fao.org/quinoa-2013/publications/detail/en/item/278923/icode/?no_mobile=1, Accessed 20, April, 2020.
19. Farahvash, F., B. Mirshekari, M. Farzaniyan, A. Hoseainzadeh-Moghbeli. 2015. Effect of zinc sulfate and ascorbic acid on some morpho-physiological traits *of Echinacea purpurea* (Purple coneflower) under water deficit conditions. *Journal of Crop Ecophysiology* 9: 57–78. (In Farsi).
20. Ghafouri, A., M. Majd, A. Shokoohfar and T. Babayinejzad. 2013. The effect of drought stress and amounts of potassium sulfate fertilizer on yield growth components and grain yield components of grain sorghum in climatic conditions of Ahvaz city. MSc Thesis. Islamic Azad University of Ahvaz. Ahvaz, Iran. (In Farsi).
21. Graf, B. L., P. Rojas-Silva, L. E. Rojo, J. Delatorre-Herrera, M. E. Baldeón and I. Raskin. 2015. Innovations in health value and functional food development of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Comprehensive Reviews in Food Science and food Safety* 14(4): 431–445.
22. Hesampour, M. 2015. Effects of potassium and ascorbic acid fertilizer on quantitative and qualitative yield of sesame under different levels of drought stress. MSc Thesis. Zabol University. Zabol, Iran. (In Farsi).
23. Horemans, N. H., C. Foyer, G. Potters and H. Asard. 2000. Ascorbate function and associated transport systems in plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 38: 531–540.
24. Khoravi, M. and M. Sarcheshmehpour. 2015. Effect of foliar application of calcium and potassium on growth, fruit yield and some properties of two muskmelon cultivars (*Cucumis melo* L.). *Journal of Crop production and processing* 5 (17): 295–310. (In Farsi).
25. Koyro, H. W., H. Lieth and S. S. Eisa. 2008. Salt tolerance of *chenopodium quinoa* willd., grains of the Andes: Influence of salinity on biomass production, yield, composition of reserves in the seeds, water and solute relations. *Tasks for Vegetation Sciences* 43: 133–145.
26. Lee, S. K. and A. A. Kader. 2000. Pre-harvest and post-harvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 20: 207–220.
27. Mahler, R. J., W. Sabbe, R. L. Mapples and Q. R. Hornby. 1985. Effect on soybean yield of late soil potassium fertilizer application. *Arkansas Farm Research* 34: 1–11.
28. Malek, M., S. Galeshi, E. Zeinali, H. Ajam and M. Malek. 2012. Investigation of the effect of leaf area index, dry matter and crop growth rate on yield and yield components of soybean cultivars. *Electronic Journal of Crop Production* 5(4): 1–17. (In Farsi).
29. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic press. London.
30. Mianab, M. 2012. Interaction of potassium sulfate fertilizer and seed density on morphological characteristics and barley yield in omidieh saline soils. MSc thesis. Islamic Azad University of Ahwaz. Khuzestan, Iran. (In Farsi).
31. Mohamadi, Y. 2012. The effect of ascorbic acid foliar application on physiological and morphological characteristics of soybeans under low irrigation conditions. MSc thesis. Shahroud University of Technology. Shahroud, Iran. (In Farsi).
32. Morad. M., S. Seyfzadeh, H. R. Dakerin and A. R. ValadAbadi. 2018. Investigation the effect of methanol and ascorbic acid foliar application on growth and yield of peanut (*Arachis hypogaea* L) under rain fed conditions. *Crop physiology Journal* 9 (36): 65–82. (In Farsi).
33. Motesharezadeh, B., F. Vatanara, G. Savaghebi. 2015. Effect of potassium and zinc on some responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Iranian Journal of Soil Research* 29(3): 243–258. (In Farsi).
34. Osman, E. A. M., M. A. El- Galad, K. A. Khatab and M. A. B. El-Sherif. 2014. Effect of compost rates and foliar

application of ascorbic acid on yield and nutritional status of sunflower plants irrigated with saline water. *Global Journal of Scientific Researches* 2(6): 193–200.
35. Ranjbar, G. and M. H. Banakar. 2010. Salinity tolerance threshold of four commercial wheat cultivars. *Iranian Journal of Soil Research* 24(3): 237–242. (In Farsi).
36. Razzaghi, F., S. H. Ahmadi, V. I. Adolf, C. R. Jensen, S. E. Jacobsen and M. N. Andersen. 2011. Water relations and transpiration of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity and soil drying. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197(5): 348–360.
37. Salehi, M. and F. Dehghani. 2017. Quinoa, a grain suitable for saline water sources. National Salinity Research Center of Yazd Province. Available online at: https://civilica.com/doc/1050846/. (In Farsi).
38. Shahbazi Zadeh, E., M. Movahhedi Dehnavi, H. Balouchi. 2015. Effects of foliar application of salicylic and ascorbic acids on some physiological characteristics of soybean (cv. Williams) under salt stress. *Journal of Plant Process and Function* 4 (11): 13–22. (In Farsi).
39. Shahid, U. 2006. Alleviating adverse effects of water stress on yield of sorghum, mustard and groundnut by potassium application. *Pakistan Journal of Botany* 38(5): 1373–1380.
40. Singh, D. and V. Singh. 1995. Effect of potassium, zinc and sulphur on growth characters, yield attributes and yield of soybean. *Indian Journal of Agronomy* 40: 223–227.
41. Smirnoff, N. 2000. Ascorbic acid: metabolism and functions of a multi-facetted molecule. *Current Opinion in Plant Biology* 3: 229–235.
42. Smirnoff, N. and G. L. Wheeler. 2000. Ascorbic acid in plants: biosynthesis and function. *Critical Reviews in Plant Sciences* 19(4): 267–290.
43. Tadayon, M. R. and M. Mohtashami. 2020. Evaluation of the effect of jasmonic acid and ascorbic acid on some morphophysiological traits of safflower genotypes under deficit irrigation regimes. *Journal of Plant Process and Function* 9 (35): 39–56. (In Farsi).
44. Tavakoli Hasanaklou, H., A. Ebadi and S. Jahanbakhsh. 2014. Study of some tolerance mechanisms to water deficit stress in bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). *Cereal Research* 4(1): 13–21.
45. Turcios, A. E., J. Papenbrock and M. Tränkner. 2021. Potassium, an important element to improve water use efficiency and growth parameters in quinoa (*Chenopodium quinoa*) under saline conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science* 207(4): 618-630
46. Umar-Shahid, I. D., A. Naser, M. Anjum, M. Iqbal and E. Pereira. 2011. Potassium-induced alleviation of salinity stress in *Brassica campestris* L. *Central European Journal of Biology* 6: 1054–1063.
47. Vaezirad, S., F. Shekari, A. H. Shiranirad and A. Zangani. 2006. Effect of dehydration stress at different growth stages on yield and grain yield components in red bean cultivars. *New Agricultural Science* 4(10): 86–94. (In Farsi).
48. Vafaie, A., A. Ebadie and G. Parmoon. 2015. Effect of potassium and magnesium application on grain yield and oil content of safflower. *Journal of Plant Process and Function* 5 (17): 111–122. (In Farsi).
49. Valadabadi, S. A. and H. Aliabadi Farahani. 2006. Effect of potassium application on quantitative properties and root development in maize, sorghum and millet under drought stress conditions. *Agronomy and Plant Breeding* 4(2): 37–48. (In Farsi).
50. Vázquez-Luna, A., F. F. Carmona, E. D. Rivadeneyra, C. H. Tobón and R. Diaz-Sobac. 2019. Nutrimental content and functional properties of Quinoa flour from Chile and Mexico. *International Journal of Agriculture and Natural Resources* 46(2): 144–153.
51. Vega-Gálvez, A., M. Miranda, J. Vergara, E. Uribe, L. Puente and E. A. Martínez. 2010. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal Science Food Agriculture* 90: 2541–2547.
52. Wen Xu, Y., Y. T. Zou, A. M. Husaini, J. W. Zeng, L. L. Guan, Q. Liu and W. Wu. 2011. Optimization of potassium for proper growth and physiological response of *Houttuynia cordata* Thunb. *Environmental and Experimental Botany* 71: 292–297.
53. Zhang, Y. 2013. Ascorbic Acid in Plants (Biosynthesis, Regulation and Enhancement). Springer, New York.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 12, No. 1, Spring 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Investigation of the Effect of Potassium Sulfate and Ascorbic Acid on Quinoa (*Chenopodium quinoa*) in a Saline Soil

A. A. Mohammadi[1], M. R. Tadayon[2*] and H. Karimzadeh[3]

(Received: June 07-2021; Accepted: August 22-2021)

Abstract

In order to evaluate the effect of potassium sulfate fertilizer and ascorbic acid application on yield and yield components and growth of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), a field experiment was carried out at 2018-2019 at Isfahan, central Iran. A factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications was used. Experimental treatments were potassium sulfate in four levels including: no fertilizers application (control), 50%, 100%, and 150% (1.5 times) of the recommended amount. Foliar application of ascorbic acid also was used in three levels including: control (spraying with distilled water), 100, and 200 mg L^{-1} ascorbic acid. Plant height, leaf relative water content (RWC), yield and yield components of Quinoa were measured. Analysis of variance showed that potassium sulfate fertilizer and foliar application of ascorbic acid had significant effects on measured traits. The results showed that leaf area index (LAI) and dry matter accumulation (DM) were affected by both potassium sulfate fertilizer and ascorbic acid, and these treatments increased these traits. Increasing rates of ascorbic acid and potassium sulfate increased the relative water content of leaves, plant height, and spikes/m^2, seeds/spike, and 1000-seed weight. Grain yield and harvest index increased due to application of ascorbic acid (200 mg L^{-1}) and potassium sulfate (150% (1.5 times) the recommended amount) by 79% and 2.6 times, respectively, compared to the control treatment. Therefore, these treatments were considered as a suitable combination to improve yield in the quinoa plant.

Keywords: Plant height, Dry matter, Grain yield, Harvest Index, RWC

1, 2. MSc student and Professor, Respectively, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
3. Postdoctoral Researcher, Research Center for Plant Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
*: Corresponding Author, Email: mrtadayon@yahoo.com