نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد هفدهم، شماره ۲(۶۶)، تابستان ۱۴۰۲، صفحه ۱۴۶-۱۲۹

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/JCEP.2023.1932890.1808

اثر تعدیل کننده‌های تنش بر غلظت عناصر برگ و دانه و صفات بیوشیمیایی کینوا (*Chenopodium quinoa* **Willd**) درشرایط تنش کم آبی

سیده‌نسرین حسینی[۱]، جلال جلیلیان[۲] و اسماعیل قلی‌نژاد[۳*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۲۲ **تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲** **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷**

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش کم آبی و مصرف تعدیل کننده‌های تنش بر میزان عناصر برگ و دانه و برخی صفات بیوشیمیایی کینوا، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و گلدانی اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل تنش کم آبی در چهار سطح (تنش در مرحله رشد رویشی پس از استقرار گیاهی تا شروع گلدهی؛ تنش در مرحله رشد زایشی از ابتدای گلدهی تا انتهای گلدهی؛ تنش در مرحله پرشدن دانه از شروع پر شدن تا رسیدگی دانه؛ بدون تنش یا آبیاری کامل) و محلول‌پاشی در چهار سطح (اسید آسکوربیک با غلظت ۲ میلی‌مولار؛ اسید سالیسیلیک با غلظت ۲ میلی مولار؛ کود کلاته میکرو کامل نانو ۲ لیتر در هزار لیتر؛ شاهد یا آب‌پاشی) بودند. نتایج نشان داد که تنش کم آبی اثر معنی‌داری بر میزان عناصر برگ و دانه و صفات بیوشیمیایی کینوا داشت. تنش کم آبی در مراحل مختلف رشدی سبب کاهش کلروفیل a و b، کاروتنوئیدها و قندهای محلول نسبت به شاهد شد، اما محتوای پرولین افزایش یافت. تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی، مرحله رشد زایشی و در مرحله پر شدن دانه در مقایسه با شاهد به‌ترتیب محتوای پرولین را به میزان ۱۵، ۲۸ و ۳۱ درصد افزایش داد. از سوی دیگر، تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی، رشد زایشی و مرحله پر شدن دانه در مقایسه با شاهد میزان وزن دانه را به‌ترتیب ۴، ۲۰ و ۲۰ درصد کاهش داد. کاربرد ترکیبات به کار رفته از طریق افزایش تجمع پرولین و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، باعث افزایش وزن دانه کینوا گردید. محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک، کود کامل میکرو نانو و اسید سالیسیلیک در مقایسه با شاهد به‌ترتیب محتوای کلروفیل a را به‌میزان ۲، ۱۳ و ۵ درصد افزایش داد. به نظر می‌رسد محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک در مقایسه با سایر تعدیل کننده‌ها، در مراحل مختلف اعمال تنش کم‌آبی، تاثیر مثبت بیشتری داشت.

واژگان کلیدی: اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک، تنش خشکی، کود نانو و محلول‌پاشی.

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
۲- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
۳- دانشیار گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور،تهران، ایران.
نگارنده مسئول e_gholinejad@pnu.ac.ir

مقدمه

دانه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) کم حجم و بسیار خوش هضم بوده و یک منبع غنی از پروتئین، آهن، منیزیم، فیبر و ویتامینB_2 می‌باشد و در مقایسه با غلات از میزان پروتئین بالاتر و اسیدهای آمینه مطلوب‌تری برخوردار است و توجه جهانی روی این گیاه به دلیل ارزش غذایی بالای آن زیاد است (Nowak *et al*., 2015). خشکی سبب کاهش رشد و نمو گیاه می‌شود (Kumar *et al*., 2015). یکی از روش‌های مناسب تامین مواد غذایی مورد نیاز گیاهان، تغذیه برگی است که باعث کاهش مصرف کود، افزایش کارآیی مصرف کود و همچنین کاهش خطرات زیست محیطی می‌شود (Baybordi and Mamedov, 2010). تنش خشکی، تشکیل رنگدانه‌های کلروفیل a، b و کاروتن را کاهش داده و نسبت کلروفیل a به کلروفیل b تغییر می‌کند (Lawlor and Cornic, 2002). پژوهش‌گران با بررسی گیاه زنیان رومی (*Trachyspermum ammi*) دریافتند که تنش خشکی میزان کلروفیل b را کاهش داد در حالی که تنش خشکی تاثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل a و کل و کاروتنوئیدها نداشت (Zeid *et al*., 2014).

تعدیل کننده‌های تنش خشکی قادر هستند در کنار افزایش توان تحمل تنش‌ها، رشد و عملکرد گیاه را نیز بهبود دهند. بنابراین، می‌توان اظهار داشت استفاده مناسب از این دسته مواد می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای مدیریتی بسیار مهم در افزایش توان تحمل تنش‌های گوناگون در گیاهان زراعی مطرح گردد (Azooz and Ahmad, 2015). اسید آسکوربیک موجب بهبود تحمل گیاه به تنش‌ها می‌شود. در آزمایشی گزارش شد که اسید آسکوربیک سبب بهبود محتوای کلروفیل b برگ سویا در شرایط تنش کم آبی گردید (Sheteawi, 2007). همچنین، گزارش شده در گیاه کلزا محلول‌پاشی تنظیم کننده‌های رشد از طریق بهبود تجمع پرولین و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و اجزای عملکرد باعث افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی می‌شود (Kalantar Ahmadi *et al*., 2017).

اسید سالیسیلیک هم باعث افزایش مقاومت گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) به تنش‌های زیستی و غیر زیستی از جمله خشکی شده است (Karami Chame *et al*., 2016). رنجبر و همکاران (Ranjbar *et al*., 2010) نشان دادند که کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاه کنجد باعث افزایش قندهای محلول و نامحلول و کاهش فعالیت آنزیم‌های اکسیدازی گردید.

کودهای نانو، نسل جدیدی از کودهای سنتزی هستند که دارای عناصر غذایی در ابعاد نانو می‌باشند و به دلیل کارآیی بالاتر در جذب عناصر غذایی و از طرفی کاهش آلودگی محیط، جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی هستند (Subramanian *et al*., 2015). داشتن ویژگی‌هایی همچون غلظت موثر، قابلیت حل پذیری مناسب، ثبات و تاثیرگذاری بالا و رهاسازی تدریجی عناصر غذایی در طول دوره رشدی گیاه باعث افزایش کارآیی کودهای نانو و جذب بهتر آنها توسط گیاهان شده است (Subramanian and Thirunavukkarasu, 2017). نتایج مطالعات موجود بیانگر تأثیرات مثبت استفاده از این کودها در بهبود رشد و عملکرد گیاهان مختلف می‌باشد. بررسی‌ها نشان داده است که علاوه بر عناصر پرمصرف، در دسترس بودن عناصر ریزمغذی مانند آهن، روی، سیلیسم، بر، مس، منگنز و غیره باعث

افزایش عملکرد کمی و کیفی چغندرقند می‌شود (Artyszak *et al*., 2014).

هدف از اجرای این پژوهش، بررسی تاثیر تعدیل کننده‌های تنش کم‌آبی بر غلظت عناصر برگ، دانه و برخی صفات بیوشیمیایی کینوا در شرایط مختلف رطوبتی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت گلدانی و در جهت بررسی اثر تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی بر غلظت عناصر برگ و دانه و برخی صفات بیوشیمیایی گیاه کینوا، تحت تنش خشکی در سال ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، واقع در ۱۱ کیلومتری شمال غرب ارومیه، با ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا، با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۲ ثانیه، و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵ ثانیه اجرا گردید. بر طبق گزارش‌های اداره کل هواشناسی استان آذربایجان غربی (Anonymous, 2021)، ارومیه دارای اقلیم معتدل سرد و مرطوب با زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک است. خصوصیات اقلیمی سال زراعی ۹۷ به‌صورت جدول ۱ ارایه شده است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است (جدول ۲).

قبل از اجرای طرح حین عملیات تهیه بستر کاشت با توجه به تجزیه خاک کودهای پایه شامل: نیتروژن از منبع اوره به میزان ۱ گرم، فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل به میزان ۱ گرم تأمین شدند. طی دوره داشت کینوا و در زمان ۱۰ برگی شدن گیاه یک نوبت کود نیتروژن سرک به‌میزان ۱ گرم در سطح گلدان‌ها پخش گردید. وزن خاک هر گلدان ۷ کیلوگرم بود. بذور کینوا که از مرکز ملی تحقیقات شوری یزد تهیه شده و به تعداد ۵ بذر در هر گلدان و در عمق ۲-۱ سانتی‌متر خاک کاشته شده و در شرایط باز محیطی قرار داده شدند. پس از سبز شدن، بوته‌ها تنک شده و درون هر گلدان دو بوته نگهداری شد. عملیات کاشت در تاریخ ۹ تیر و برداشت ۱۴ مهر انجام پذیرفت.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۱۶ تیمار و ۳ تکرار اجرا گردید. فاکتورهای مورد مطالعه شامل تنش کم آبی (تنش در مرحله رشد رویشی پس از استقرار گیاهی تا شروع گلدهی، تنش در مرحله رشد زایشی از ابتدای گلدهی تا انتهای گلدهی، تنش در مرحله پرشدن دانه از شروع پر شدن تا رسیدگی دانه و بدون تنش (شاهد) و محلول‌پاشی (محلول‌پاشی اسید آسکوربیک با غلظت ۲ میلی مولار، اسید سالیسیلیک با غلظت ۲ میلی‌مولار، کود کلاته میکرو کامل نانو ۲ لیتر در هزار لیتر (وزنی-حجمی) و شاهد (آب‌پاشی) بودند. از دستگاه رطوبت‌سنج خاک مدل PMS-714 ساخت تایوان برای تنظیم رطوبت خاک استفاده شد. با توجه به اینکه خاک گلدان‌ها مخلوطی از خاک مزرعه و ماسه بادی بود جهت تعیین ظرفیت زراعی گلدان‌ها، پس از ریختن مقدار یکسان خاک (۸ کیلوگرم) در هر گلدان، ظرفیت زراعی خاک گلدان به روش وزنی و پس از خروج آب ثقلی تعیین گردید، در این زمان به‌منظور کالیبراسیون، با استفاده از دستگاه رطوبت سنج درصد رطوبت خاک نیز به‌منظور اعمال زمان مناسب آبیاری قرائت و میزان آب مورد نیاز برای رساندن گلدان‌ها به ظرفیت زراعی برآورد گردید. بر این اساس، در شرایط تنش کم آبی پس از رسیدن رطوبت گلدان‌ها به ۶۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری تا حد

ظرفیت زراعی اعمال و در تیمارهای بدون تنش کم آبی نیز پس از رسیدن رطوبت گلدان‌ها به ۹۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری انجام شد. دوره‌ی آبیاری حدود ۳ تا ۵ روز به‌ترتیب برای شرایط بدون تنش تنش بود. در هر مرحله حدود یک لیتر آب مصرف شد. کود میکرو نانو استفاده شده مجموعه‌ایی از ۶ نوع عنصرریز مغذی مورد نیاز برای گیاه شامل ۸ درصد آهن، ۱/۵ درصد روی، ۱/۵ درصد منگنز، ۰/۵ درصد بور، ۰/۵ درصد مولیبدن و ۰/۵ درصد مس کلات شده و قابل جذب برای گیاه بود که به میزان ۲ در هزار استفاده شد.

محلول‌پاشی تیمارها در مرحله ۱۰ برگی (BBCH ۱۵)، همزمان با تنش خشکی آغاز و در ۶ مرحله و به فاصله ۱۰ روز انجام پذیرفت. تا مرحله استقرار کامل بوته‌ها آبیاری در حد مطلوب و بدون اعمال تنش و پس از این مرحله تیمار تنش کم آبی اعمال شد. در پایان فصل رشد در ۱۴ مهرماه زمانی که دانه‌ها به رنگ زرد در آمدند برداشت انجام شد. گل‌آذین‌های کینوا در هوای آزاد و بدون دستگاه خشک‌کن به‌طور طبیعی خشک و سپس توسط ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم توزین گردیدند. برای محاسبه وزن خشک کل، تمامی اجزای کینوا (برگ، دانه و ساقه) را خشک کرده و توسط ترازوی دقیق اندازه‌گیری شدند.

اندازه‌گیری پرولین و قندهای محلول در برگ: برای اندازه‌گیری پرولین و قندهای محلول، بعد از اعمال تیمارهای تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی از برگ‌های توسعه یافته و جوان بوته‌های هر گلدان نمونه برداری انجام و در فویل آلومینیومی در تانک نیتروژن مایع قرار داده شده و سپس در فریزر نگهداری شدند. اندازه‌گیری پرولین بر اساس روش بیتس و همکاران (Bates *et al*., 1973) و قندهای محلول به روش ایریگوین و همکاران (Irigoyen *et al*., 1992) انجام شد.

رنگیزه‌های فتوسنتزی: رنگیزه‌های فتوسنتزی بر اساس روش آرنون (Arnon, 1975) با استفاده از طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل‌های a و b و از طول موج ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئیدها (Lichtenthaler, 1987) توسط روابط زیر بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ تعیین شدند:

رابطه ۱: $Chla=(12.7\times663-2.69\times645)\times V/(W\times100)$

رابطه ۲: $Chlb=(22.9\times645-4.69\times663)\times V/(W\times100)$

رابطه ۳: $Car=1000\times470-1.82\times chla-85.02\times chlb/198$

در این روابط V= حجم محلول کووت و W= وزن نمونه برگ بودند.

اندازه‌گیری عناصر برگ و دانه: برای اندازه‌گیری مقدار عناصر از روش ویلیام (William, 2000) استفاده شد. برای تعیین میزان پتاسیم و سدیم ابتدا محلول‌های استاندارد هرکدام از این عناصر تهیه و غلظت عناصر توسط دستگاه فلایم فوتومتر (مدل Clinical PFP7 ساخت JENWAY 1971 انگلستان) به روش نشر شعله‌ای قرائت شدند. اندازه‌گیری سایر عناصر توسط دستگاه جذب اتمی (مدل AA-6300) انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و MSTAT-C انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

غلظت عناصر: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تاثیر اثرات تنش کم آبی، محلول‌پاشی و

برهمکنش اثرات آنها بر غلظت عناصر برگ و دانه و وزن دانه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳).

محتوای آهن برگ و دانه: تنش کم آبی در مرحله رویشی و مرحله زایشی در مقایسه با شاهد (بدون تنش کم آبی) میزان آهن برگ را به ترتیب ۵ و ۹ درصد کاهش داد (جدول ۵). محلول‌پاشی با کود کلاته میکرو کامل نانو در مقایسه با شاهد (آب پاشی) در شرایط بدون تنش، تنش کم آبی در مرحله رویشی، زایشی و پر شدن دانه به‌ترتیب میزان آهن برگ را ۳۶، ۴۲، ۴۵ و ۱۹ درصد افزایش داد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثرات برهمکنش تنش کم آبی و محلول‌پاشی بیانگر این مطلب است که تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی، مرحله رشد زایشی و مرحله پر شدن دانه در مقایسه با شاهد (بدون تنش کم آبی) میزان آهن دانه را به‌ترتیب ۲۸، ۱۷ و ۱۷ درصد کاهش داد (جدول ۵). میزان آهن دانه در شرایط بدون تنش کم آبی و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک، تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی و محلول‌پاشی با کود کلاته میکرو کامل نانو و همچنین پر شدن دانه و محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک در مقایسه با شاهد (آب‌پاشی)، به ترتیب ۳۹، ۲۵ و ۲۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). بر اساس نظر موحدی دهنوی و مدرس ثانوی (Movahedy Dehnavy and Modarres Sanavy, 2007) تنش خشکی در مرحله زایشی انتقال عناصر آهن و منگنز به دانه را محدود می‌کند که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت. در بین عناصر ریزمغذی، آهن نقش کلیدی در تشکیل کلروفیل و فتوسنتز داشته و از اهمیت زیادی در سیستم آنزیمی و تنفس گیاهان برخوردار می‌باشد (Bayati *et al*., 2015). مظاهرنیا و همکاران (Mazaherinia *et al*., 2010) طی بررسی کارآیی نانو اکسید آهن و اکسید معمولی آهن در جذب و غلظت عناصر غذایی آهن، روی، مس و منگنز در گندم گزارش نمودند که نانو اکسید آهن نسبت به اکسید معمولی آهن برتری معنی‌داری داشت.

محتوای عنصر روی در برگ و دانه: نتایج مقایسه میانگین اثرات برهمکنش تنش کم آبی و محلول‌پاشی نشان داد تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی، مرحله رشد زایشی گلدهی و گرده افشانی و مرحله پر شدن دانه در مقایسه با شاهد (بدون تنش کم آبی) میزان روی برگ را به‌ترتیب ۲۱، ۲۸ و ۲۰ درصد افزایش داد (جدول ۵). محلول‌پاشی با کود کلاته میکرو کامل نانو در مقایسه با شاهد (آب‌پاشی) در شرایط بدون تنش، تنش کم آبی در مرحله رویشی، تنش کم آبی در مرحله زایشی و تنش کم آبی در مرحله پر شدن دانه به‌ترتیب میزان روی برگ را ۵۷، ۶۴، ۶۸ و ۵۸ درصد افزایش داد (جدول ۵). تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی، مرحله رشد زایشی گلدهی و گرده‌افشانی و پر شدن دانه در مقایسه با شاهد (بدون تنش کم آبی) میزان روی دانه را به‌ترتیب ۱۰، ۷ و ۱۰ درصد کاهش داد (جدول ۵). در شرایط تنش کم آبی در مرحله رشد زایشی و محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک و همچنین مرحله پر شدن دانه و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک در مقایسه با شاهد (آب‌پاشی)، به‌ترتیب میزان روی دانه را ۱۳ و ۲۷ درصد افزایش داد (جدول ۵). با توجه به نتایج این آزمایش به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی با تعدیل کننده‌های تنش کم آبی هنگامی که گیاه دچار تنش خشکی است باعث کاهش خسارت تنش خشکی در گیاه می‌شود. کاربرد نانوکلات روی از طریق افزایش میزان جذب عنصر روی، افزایش محتوای پروتئین، حفظ

کلروفیل برگ و در نتیجه فتوسنتز مؤثرتر، و همچنین افزایش پرولین در برگ گیاه، تنش اسمزی ناشی از تنش خشکی را کاهش داده و مقاومت زرین گیاه (*Dracocephalum kotschyi* Boiss) در برابر تنش خشکی را بهبود بخشید (Jamali *et al*., 2012). علت کاهش انتقال روی به اندام‌های هوایی در سطوح تنش دیده به علت نقصان رطوبت در جذب و انتقال می‌باشد، برای اینکه مکانیسم‌های جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاهان، نظیر جریان توده‌ای، انتشار و یا جذب و انتقال به‌وسیله پدیده اسمزی، همگی کم و بیش تابعی از مقدار رطوبت موجود در خاک و ریشه می‌باشد و در صورت کمبود رطوبت، شدت و مقدار جذب عناصر غذایی دستخوش تغییر و تحول می‌گردد. نتایج پژوهش مشابهی که روی گیاه آفتابگردان انجام گرفت حاکی از آن بود که تنش خشکی، تأثیر منفی بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان داشت. دما و تهویه محیط ریشه از عواملی هستند که شدیداً بر مقدار کل جذب روی توسط گیاه تاثیر دارند (Shahgholi *et al*., 2022).

محتوای منگنز برگ و دانه: تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی، مرحله رشد زایشی گلدهی و گرده‌افشانی و مرحله پر شدن دانه در مقایسه با شاهد (بدون تنش کم آبی) میزان منگنز برگ را به‌ترتیب ۴ درصد کاهش، ۱۷ درصد افزایش و ۵ درصد افزایش داد (جدول ۵).

محلول‌پاشی با کود کلاته میکرو کامل نانو در مقایسه با شاهد (آب‌پاشی) در شرایط بدون تنش، تنش کم آبی در مرحله رویشی، تنش کم آبی در مرحله زایشی گلدهی و گرده‌افشانی و تنش کم آبی در مرحله پر شدن دانه به‌ترتیب میزان روی برگ را ۲۸، ۴۲، ۱۸ و ۵۱ درصد افزایش داد (جدول ۵). تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی و مرحله رشد زایشی گلدهی و گرده افشانی در مقایسه با شاهد (بدون تنش کم آبی) میزان منگنز دانه را به‌ترتیب ۷ و ۵ درصد کاهش داد (جدول ۵). محلول‌پاشی با کود کلاته میکرو کامل نانو، در شرایط بدون تنش کم آبی، تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی و تنش کم آبی در مرحله رشد زایشی در مقایسه با شاهد (آب‌پاشی)، به‌ترتیب میزان منگنز دانه را ۶۱، ۴۲ و ۹ درصد افزایش داد (جدول ۵). موحدی‌دهنوی و مدرس ثانوی (Movahedy Dehnavy and Modarres Sanavy, 2007) طی تحقیقی گزارش کردند تنش خشکی در مرحله زایشی انتقال عناصر آهن و منگنز به دانه را محدود می‌کند. در پژوهش حاضر نیز مشخص گردید که با اعمال تنش خشکی در دو مرحله گلدهی و پر شدن دانه‌ها از میزان این عناصر نسبت به تیمار شـاهد در دانه‌ها کاسته می‌شود.

محتوای پتاسیم برگ و دانه: نتایج مقایسه میانگین تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی، مرحله رشد زایشی گلدهی و گرده‌افشانی و مرحله پر شدن دانه در مقایسه با شاهد (بدون تنش کم آبی) میزان پتاسیم برگ را به‌ترتیب ۵، ۱۵ و ۲۲ درصد افزایش داد (جدول ۶). در شرایط بدون تنش کم آبی و محلول‌پاشی با کود کلاته میکرو کامل نانو، در شرایط تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک و در شرایط تنش کم آبی در مرحله رشد زایشی و محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک در مقایسه با شاهد (آب‌پاشی)، به‌ترتیب میزان پتاسیم برگ را ۳۹، ۵ و ۱۵ درصد افزایش دادند (جدول ۶).

تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی و مرحله پر شدن دانه در مقایسه با شاهد (بدون

تنش کم آبی) میزان پتاسیم دانه را به‌ترتیب ۸ و ۱۳ درصد کاهش داد (جدول ۶). در شرایط تنش کم آبی در شرایط شاهد (بدون تنش کم آبی) و محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک، شرایط تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی و محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک، شرایط تنش کم آبی در مرحله رشد زایشی و محلول‌پاشی با کود کلاته میکرو کامل نانو و مرحله پر شدن دانه با محلول‌پاشی اسید آسکوربیک در مقایسه با شاهد (آب‌پاشی)، به ترتیب میزان پتاسیم دانه را ۲۲، ۱۴، ۲۴ و ۳ درصد افزایش دادند (جدول ۶). نتیجه تحقیق حاضر نشان‌دهنده افزایش میزان پتاسیم در سطح تنش در مرحله گلدهی می‌باشد. در میان عناصر غذایی، پتاسیم در باز و بسته کردن روزنه‌ها و نیز تنظیم اسمزی در سلول‌های ریشه گیاهان نقش مهمی دارد، قابلیت گیاهان در جذب این عنصر از محیط ریشه در شرایط نامساعد محیطی همانند خشکی و شوری می‌تواند در میزان تولید گیاه مؤثر باشد (Shahbazi Nejad *et al*., 2019). پتاسیم نقش مهمی در حیات و بقای گیاهان تحت تنش محیطی با افزایش فعالیت آنزیمی و سایر فرایندهای فیزیولوژیکی دارد (Ramswaroop *et al*, 2017). طی تحقیقی، پیرزاد و همکاران (Pirzad *et al*., 2012) نشان دادند که محدودیت آب عموماً مقدار پتاسیم برگ را افزایش و آهن را در گیاه کاهش می‌دهد.

محتوای مس برگ و دانه: مقایسه میانگین اثرات برهمکنش تنش کم آبی و محلول‌پاشی، بیانگر این مطلب است که تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی، مرحله زایشی گلدهی و گرده‌افشانی و مرحله پر شدن دانه در مقایسه با شاهد (بدون تنش کم آبی) میزان مس برگ را به‌ترتیب ۲۲، ۱۶ و ۳ درصد کاهش داد (جدول ۶). محلول‌پاشی با کود کلاته میکرو کامل نانو، در شرایط بدون تنش کم آبی، تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی، تنش کم آبی در مرحله رشد زایشی و تنش کم آبی در مرحله پر شدن دانه در مقایسه با شاهد (آب‌پاشی)، به‌ترتیب میزان مس برگ را ۵۹، ۶۲، ۳۶ و ۲۵ درصد افزایش داد (جدول ۶). تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی، مرحله رشد زایشی و مرحله پر شدن دانه در مقایسه با شاهد میزان مس دانه را به‌ترتیب ۱۵، ۲۳ و ۱۵ درصد افزایش داد (جدول ۶). در شرایط تنش کم آبی در شرایط شاهد (بدون تنش کم آبی) و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک، شرایط تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک و شرایط تنش کم‌آبی در مرحله رشد زایشی با محلول‌پاشی کود کلاته میکرو کامل نانو در مقایسه با شاهد (آب‌پاشی)، به‌ترتیب میزان مس دانه را ۲۵، ۲۲ و ۱۲ درصد افزایش دادند (جدول ۶). محلول‌پاشی کودنانو باعث افزایش محتوای مس دانه در شرایط کمبود رطوبت شد. به نظر می‌رسد در تنش مرحله زایشی به‌دلیل نزدیک بودن عملیات محلول‌پاشی و تشکیل گل آذین در گیاه کینوا، میزان انتقال مس به دانه‌ها بیشتر از مرحله رویشی و شاهد می‌باشد و مس دانه را نسبت به این مراحل افزایش داده است.

نتایج تحقیقات محققان بیانگر آن است که مصرف کودهای ریز مغذی می‌تواند تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی نظیر خشکی و شوری را افزایش دهد، همچنین تنش آب فعالیت ریشه‌های پیرتر را متوقف می‌کند و فقط نوک ریشه‌ها جذب عناصر غذایی را انجام می‌دهند. در شرایط تنش کم آبی گیاه پاسخ مناسبی به محلول‌پاشی داده و با محلول‌پاشی کود نانو میزان مس در دانه افزایش یافت (Baybordi, 2004).

کلروفیل a، b و نسبت کلروفیل a/b: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تاثیر اثرات تنش کم آبی و محلول‌پاشی بر محتوای کلروفیل a و b معنی‌دار بود، در مورد صفت نسبت کلروفیل a/b فقط اثر محلول‌پاشی معنی‌دار شد. اثرات برهمکنش تنش کم آبی و محلول‌پاشی بر صفات فوق معنی‌دار نشد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات تنش کم آبی و محلول‌پاشی نشان داد تنش کم آبی در مرحله زایشی و تنش کم آبی در مرحله پر شدن دانه به‌ترتیب محتوای کلروفیل a را به‌میزان ۱۷ و ۱۰ درصد کاهش دادند (جدول ۷). همچنین، تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی، مرحله رشد زایشی و در مرحله پر شدن دانه در مقایسه با شاهد (بدون تنش کم آبی) به‌ترتیب محتوای کلروفیل b را به‌میزان ۱۵، ۲۸ و ۳۱ درصد کاهش دادند (جدول ۷). پژوهش شریعت و همکاران (Shariat *et al*., 2017) نشان داد تنش خشکی منجر به کاهش معنی‌دار شاخص‌های توان آبی برگ، محتوای نسبی آب برگ و رنگیزه‌های گیاهی مرزه شد. محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک، کود کامل میکرو نانو و اسید سالیسیلیک در مقایسه با شاهد (آب پاشی) به‌ترتیب محتوای کلروفیل a را به‌میزان ۲، ۱۳ و ۵ درصد و محتوای کلروفیل b را به‌میزان ۲۳، ۲۸ و ۲۲ درصد افزایش داد (جدول ۸). به نظر می‌رسد کاربرد ریز مغذی‌ها از طریق افزایش سطح و دوام برگ و نیز افزایش کلروفیل برگ و فعالیت آنزیم‌ها باعث افزایش توان فتوسنتزی گیاه شده است (Marschner, 2012). کاربرد کود نانوکلات آهـن در گیاه ریحان موجب افزایش محتوای کلروفیل شـد (Payghozar *et al*., 2013). اثر افزایشی اسید سالیسیلیک بر رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌تواند در ارتباط با تاثیر آن بر تحریک فعالیت آنزیم روبیسکو و فتوسنتز باشد (Idrees *et al*., 2011).

مصرف سولفات پتاسیم و سولفات روی از طریق افزایش میزان جذب عناصر پتاسیم و روی، حفظ کلروفیل برگ و در نتیجه فتوسنتز مؤثرتر و همچنین با افزایش غلظت پرولین در برگ گیاه، تنش اسمزی ناشی از تنش خشکی را کاهش داده و تحمل گیاه ذرت در برابر تنش خشکی را بهبود بخشید (Jamali *et al*., 2012).

بیشترین میزان نسبت کلروفیل a/b با میانگین (۲/۲۰) مربوط به شاهد (آب‌پاشی) و کمترین آن با میانگین (۱/۷۲) مربوط به تیمار آسکوربیک اسید بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار کود نانو و سالیسیلیک اسید نداشت و باعث کاهش ۲۱/۸۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد (آب‌پاشی) گردید (جدول ۸). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک تحت شرایط تنش خشکی موجب افزایش آنتی‌اکسیدان‌ها، بتاکاروتن و زانتوفیل در گیاه بادرشبویه شده و محافظت غشای سلولی، فتوسنتز و رنگدانه‌های فتوسنتزی افزایش یافت (Abaspor and Rezaei, 2014).

کاروتنوئید: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تاثیر اثرات محلول‌پاشی بر محتوای کاروتنوئید معنی‌دار بود (جدول ۴). محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک، کود کامل میکرو نانو و اسید سالیسیلیک در مقایسه با شاهد (آب پاشی) به ترتیب محتوای کاروتنوئید را به‌میزان ۲۲، ۱۹ و ۱۷ درصد افزایش داد (جدول ۸). کارتنوئیدها از راه برگشت‌پذیر با رادیکال‌های آزاد اکسیژن و تشکیل زانتوفیل مانع تخریب کلروفیل‌ها می‌شوند (Amal and Aly, 2008). در بررسی پاسخ ارقام کلزا به تنش خشکی مشخص شد کمبود رطوبت خاک در مراحل رشد رویشی، گلدهی، و

خورجین‌دهی سبب کاهش چشمگیر میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها در مقایسه با آبیاری مطلوب می‌شود (Din *et al*., 2011). محلول‌پاشی اسید آسکوربیک هم در شرایط مطلوب و هم در شرایط تنش خشکی می‌تواند از کاهش میزان کاروتنوئیدها جلوگیری کند (Khalid Hussein and Qader Khursheed, 2014).

پرولین: بر طبق نتایج جدول تجزیه واریانس، اثرات تنش کم آبی بر محتوای پرولین معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات تنش کم‌آبی نشان داد تنش کم‌آبی در مرحله رشد رویشی، مرحله رشد زایشی و مرحله پر شدن دانه در مقایسه با شاهد (بدون تنش کم آبی) به‌ترتیب محتوای پرولین را به میزان ۱۵، ۲۸ و ۳۱ درصد افزایش داد (جدول ۷). تجمع پرولین در گیاهان در معرض کم‌آبی به تنهایی نتیجه تنش نبوده بلکه قسمتی از سیستم دفاعی متابولیک بر علیه تنش غیرزنده می‌باشد (Turkan, 2011). به نظر می‌رسد که افزایش پرولین به انرژی بیشتری نیاز دارد که این انرژی از کاهش ماده خشک تامین می‌شود. نتایج پژوهش‌ها نشان داد که پرولین به عنوان یک اسمولیت سازگارکننده، نقش مهمی در تنظیم اسمزی درون سلولی، پایدار کردن ساختار پروتئین‌ها و غشای سلولی، جاروب کردن گونه‌های اکسیژن رادیکال (ROS)، تنظیم pH سلولی و واکنش‌های اکسیداسیون و احیا ایفا می‌کند (Keshavarz *et al*., 2016). افزایش معنی‌دار در میزان پرولین با اعمال تنش خشکی در مرحله بعد از گرده افشانی توسط باجی و همکاران (Bajji *et al*., 2001) نیز گزارش شده است.

قندهای محلول: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات تنش کم آبی و محلول‌پاشی بر غلظت قندهای محلول معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات کم آبی و محلول‌پاشی نشان داد تنش کم آبی در مرحله رشد زایشی و مرحله پر شدن دانه در مقایسه با شاهد (بدون تنش کم آبی) غلظت قندهای محلول را به‌میزان ۹ درصد کاهش داد (جدول ۷). قندهای محلول به عنوان واکنش میان‌مدت به خشکی شاخصی برای تنظیم اسمزی در شرایط تنش می‌باشد. کاهش قند محلول ممکن است ناشی از نیاز پایین به مواد فتوسنتزی به‌دلیل توقف رشد باشد که این امر نشان می‌دهد سنتز قندهای محلول نیاز به انرژی دارد و احتمالاً این انرژی را از طریق کاهش مصرف انرژی برای تجمع ماده خشک تامین می‌کند (Ahmadi and Niazi Ardekani, 2006). محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک، کود کامل میکرو نانو و اسید سالیسیلیک در مقایسه با شاهد (آب پاشی) به‌ترتیب غلظت قندهای محلول را به‌میزان ۵، ۱۰ و ۸ درصد افزایش داد (جدول ۸). پژوهش‌ها نشان داده است که گیاه با تجمع پرولین، افزایش ذخیره‌سازی کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌سازی می‌تواند در برابر تنش ایجاد شده، تحمل کند (Hong *et al*., 2000).

وزن خشک بوته: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثرات تنش کم آبی و محلول‌پاشی بر وزن خشک بوته معنی‌دار شد (جدول ۴). تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی، مرحله رشد زایشی و مرحله پر شدن دانه در مقایسه با شاهد (بدون تنش کم آبی) ماده خشک کل را به‌ترتیب به‌میزان ۴، ۱۶ و ۱۴ درصد کاهش داد (جدول ۷). کاهش در ماده خشک کل با تغییر شرایط از آبیاری کامل به تنش رطوبتی مبین این نکته است که کاهش توانایی گیاه در جذب عناصر غذایی و ساخت و انتقال مواد پرورده در اثر کمبود آب سبب کاهش تجمع ماده خشک می‌گردد و این

کاهش اثر مستقیمی بر روی عملکرد دانه دارد (Sabzi *et al*., 2017). گوفو و همکاران (Goufo *et al*., 2017) با بررسی تاثیر تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیک و اجزای عملکرد نخود گزارش کردند که بیشترین تعداد دانه در نیام مربوط به تیمار بدون تنش خشکی و کم‌ترین مقدار صفات مورد بررسی مربوط به تیمار تنش خشکی در مرحله گلدهی بود. محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک، کود کامل میکرو نانو و اسید سالیسیلیک در مقایسه با شاهد (آب پاشی) ماده خشک کل را به‌ترتیب به‌میزان ۱۱، ۶ و ۱۲ درصد افزایش داد (جدول ۸). در شرایط تنش، ماده خشک کل گیاه به دلیل رقابت گیاه برای به‌دست آوردن آب و مواد غذایی کاهش می‌یابد اما استفاده از مواد ضدتنش و تعرق در شرایط محدودیت آبیاری می‌تواند با حفظ رطوبت گیاه تا حدودی اثرات کمبود رطوبت را جبران نماید (Ghassemi-Golezani *et al*., 2010). در مطالعه‌ای روی گیاه گلرنگ با مصرف اسید سالیسیلیک ماده خشک کل بیشتری نسبت به تیمار شاهد به‌دست آمد (Sibi *et al*., 2012).

وزن دانه در بوته: تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی، رشد زایشی و مرحله پر شدن دانه در مقایسه با شاهد (بدون تنش) میزان وزن دانه در بوته را به‌ترتیب ۴، ۲۰ و ۲۰ درصد کاهش داد (جدول ۶). در شرایط تنش کم‌آبی در مرحله رشد رویشی و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک، شرایط تنش کم‌آبی در مرحله رشد زایشی و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک و تنش کم‌آبی در شرایط پر شدن دانه با محلول‌پاشی کود کلاته میکرو کامل نانو در مقایسه با شاهد (آب‌پاشی)، به‌ترتیب میزان وزن دانه در بوته را ۱۱، ۲۸ و ۱۶ درصد افزایش داد (جدول ۶). تنش خشکی از طریق تاثیر بر منبع و مخزن مواد فتوسنتزی سبب کاهش اجزای عملکرد و در نتیجه وزن دانه در بوته کلزا شده و قطع آبیاری در مرحله گلدهی، تاثیر قابل توجهی بر وزن دانه در بوته و اجزای عملکرد داشت و کمترین وزن دانه در بوته در این تیمار مشاهده گردید (Faraji and Eslami, 2012). گزارش شده است که کاربرد محرک‌های رشد اثرات منفی تنش آبی را کاهش داده و عملکرد و اجزای عملکرد گندم را افزایش دادند (Azimi *et al*., 2013).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش کم آبی غلظت آهن برگ و دانه، مس برگ، روی، منگنز و پتاسیم دانه، رنگیزه‌های فتوسنتزی، قندهای محلول، ماده خشک و وزن دانه کینوا را در شرایط مختلف کم‌آبی کاهش داد اما باعث افزایش غلظت عناصر روی و پتاسیم برگ، مس دانه و پرولین گردید. محلول‌پاشی با تعدیل کننده‌های تنش کم آبی باعث بهبود جذب عناصر و ماده خشک کل شده و از طریق تجمع پرولین، قندهای محلول و افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی باعث تعدیل اثرات نامطلوب تنش خشکی و افزایش تحمل گیاه کینوا به خشکی گردید. بر اساس نتایج این تحقیق، کینوا در مرحله رشد زایشی گلدهی و گرده‌افشانی و مرحله پر شدن دانه به کم آبی حساس بوده و کاهش ماده خشک و وزن دانه بیشتری داشت. بنابراین، محلول‌پاشی تنظیم کننده‌های رشد از جمله اسید سالیسیلیک در مراحل مختلف رشدی مخصوصاً مرحله گلدهی و گرده‌افشانی جهت کاهش اثرات تنش خشکی می‌تواند مؤثر باشد.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی سال ۱۳۹۷ محل اجرای آزمایش

Table 1- Meteorological information of 2018, the area of the experiment

Parameter	فروردین March	اردیبهشت April	خرداد May	تیر June	مرداد July	شهریور Aug.	مهر Sep.	آبان Oct.	آذر Nov.
بارندگی ماهیانه Total monthly precipitation (mm)	107.8	44.5	16.5	0	0	2.6	12.6	52	96.8
میانگین دمای ماهیانه Mean monthly temperature, °C	11.6	15.7	21.8	26.7	24.1	20	13.6	6.3	2.8
میانگین رطوبت نسبی Mean relative humidity, %	56	52	47.3	40.7	52.4	63	69.4	73	48.3

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Physical and chemical properties of site soil

بافت Texture	هدایت الکتریکی EC $dS.m^{-1}$	اسیدیته pH	کلسیم Ca $meq.100g^{-1}$	آهک lime (%)	رس clay (%)	سیلت silt (%)	شن sand (%)	کربن آلی Organic Carbon (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P $mg.kg^{-1}$	پتاسیم K $mg.kg^{-1}$
رسی Clay	3.35	8.04	86.1	22.5	43	29	28	1.20	0.21	17.8	721

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عناصر غذایی کینوا تحت تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی برگی

Table 3- Analysis of variance results (mean squares) of nutrient elements concentration in quinoa under water deficit stress and spraying

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	آهن برگ Leaf Fe	آهن دانه Grain Fe	روی برگ Leaf Zn	روی دانه Grain Zn	منگنز برگ Leaf Mn	منگنز دانه Grain Mn	پتاسیم برگ Leaf K	پتاسیم دانه Grain K	مس برگ Leaf Cu	مس دانه Grain Cu	وزن دانه Grain weight
تنش کم آبی Water deficit stress	3	345.31^{ns}	363.9^{**}	212.07^{**}	13.55^{**}	285.5^{ns}	224.40^{ns}	1.23^{**}	0.62^{**}	8.2^{**}	5.10^{**}	17.6^{**}
محلول‌پاشی Spraying	3	3183.80^{**}	19.18^{ns}	3177.29^{**}	0.80^{ns}	1723.6^{**}	1217.86^{**}	0.10^{ns}	0.36^{**}	60.5^{**}	0.47^{ns}	4.8^{**}
تنش‌کم آبی×محلول‌پاشی Water deficit stress × Spraying	9	862.76^{**}	286.7^{**}	44.63^{*}	14.41^{**}	306.5^{*}	541.99^{*}	0.73^{**}	0.27^{**}	7.8^{**}	2.86^{**}	1.4^{*}
خطای آزمایش error	32	181.42	31.89	18.37	2.97	108.14	237.68	0.07	0.03	1.76	0.19	0.61
ضریب تغییرات(%) C.V.		20.02	14.10	13.63	7.97	21.55	24.92	9.96	6.26	18.64	7.18	7.65

*، ** و ns به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار.

^{ns}, ** and * represent non significant, significant at 1 and 5% level of probability, respectively.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات بیوشیمیایی کینوا تحت تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی

Table 4- Analysis of variance results (mean squares) of biochemical traits in quinoa under water deficit stress and spraying

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a به b Chlorophyll a/b	کاروتنوئید Carotenoid	پرولین Proline	کربوهیدرات carbohydrate	ماده خشک کل Totall dry matter
تنش کم آبی Water stress	3	1.38 **	0.37 *	0.02 ns	0.02 ns	1.19 **	30.78 **	20.69 **
محلول‌پاشی Spraying	3	0.79 *	0.97 **	0.51 *	0.22 **	0.20 ns	24.29 **	9.68 **
تنش‌کم آبی×محلول‌پاشی Water stress × Spraying	9	0.49 ns	0.13 ns	0.10 ns	0.03 ns	0.10 ns	2.53 ns	0.51 ns
خطای آزمایش error	32	0.24	0.11	0.14	0.03	0.11	3.41	1.15
ضریب تغییرات C.V. (%)		12.60	16.34	19.86	13.81	17.40	5.95	7.05

**، * و ns به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار.

ns, ** and * represent non significant, significant at 1 and 5% level of probability, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های اثرات برهمکنش تنش کم آبی و محلول‌پاشی بر جذب عناصر غذایی کینوا

Table 5- Means comparison of interaction effects of water deficit stress and spraying on absorption of nutrients in quinoa

تیمار Treatment		آهن برگ Leaf Fe (ppm)	آهن دانه Grain Fe (ppm)	روی برگ Leaf Zn (ppm)	روی دانه Grain Zn (ppm)	منگنز برگ Leaf Mn (ppm)	منگنز دانه Grain Mn (ppm)
تنش کم آبی Water stress	محلول‌پاشی Spraying						
شاهد (بدون تنش کم آبی) Control (no water deficit stress)	1	65.4 ± 10.80	38.10 ± 0.00	20.66 ± 1.52	25.83 ± 0.05	44.10 ± 2.60	33.33 ± 8.13
	2	102.4 ± 4.45	48.53 ± 1.55	47.66 ± 4.16	22.43 ± 0.65	61.26 ± 14.28	85.00 ± 8.75
	3	59.4 ±3.34	62.90 ± 2.00	15.66 ± 2.30	22.43 ± 0.95	49.86 ± 26.60	63.75 ± 22.94
	4	45.67 ± 3.05	40.03 ± 7.25	18.00 ± 5.19	21.80 ± 0.20	27.86 ± 6.29	67.50 ± 3.75
تنش در مرحله رشد رویشی Stress at vegetative growth stage	1	57.63 ± 4.49	31.00 ± 2.80	19.33 ± 3.51	21.70 ± 0.60	33.83 ± 2.95	45.42 ± 8.13
	2	100.1 ± 1.00	41.30 ± 6.90	54.33 ± 6.50	21.83 ± 0.15	58.93 ± 1.35	77.92 ± 3.14
	3	56.00 ± 0.00	25.00 ± 0.80	28.33 ± 8.50	20.10 ± 0.60	33.63 ± 9.15	56.25 ± 14.08
	4	45.47± 11.10	38.83± 5.05	27.33 ± 5.50	19.90 ± 0.80	49.00 ± 7.60	51.67 ± 16.87
تنش در مرحله رشد زایشی Stress at reproductive growth stage	1	43.23 ± 5.55	49.80 ± 8.00	19.33 ± 1.52	20.30 ± 0.80	54.10 ± 4.10	67.50 ± 13.75
	2	78.77 ±31.81	36.03 ± 0.15	63.33 ± 0.57	22.83 ± 4.95	66.13 ± 17.88	73.92 ±14.22
	3	46.67 ±2.30	34.20 ± 2.60	32.00 ± 2.00	20.03 ± 2.55	41.73 ± 10.15	35.42 ± 16.87
	4	78.37 ±29.32	37.13 ± 4.35	27.00 ± 7.00	23.43 ± 2.15	58.13 ± 8.76	61.25 ±1.25
تنش در مرحله پر شدن دانه Stress at grain filling stage	1	67.03 ±22.83	35.43 ± 3.85	23.00 ± 4.00	17.53 ± 2.15	36.83 ± 1.25	68.75 ± 6.25
	2	82.70 ± 0.30	32.20 ± 8.00	57.33 ± 0.57	20.73 ± 1.85	75.33 ± 8.45	67.83 ± 17.42
	3	96.03 ±6.95	40.40±14.00	23.33 ± 2.51	24.13 ± 0.05	28.10 ± 3.47	68.75 ± 32.57
	4	51.30 ±11.09	49.90 ± 2.30	26.33 ± 2.51	21.03 ± 0.75	53.13 ± 4.35	65.42 ± 21.87
LSD 0.05		22.45	9.41	7.14	2.87	17.33	25.70

1-شاهد (آب‌پاشی) Control (water spraying) 2- کود کلاته میکرو کامل نانو (Nano-micronutrient chelate fertilizer) 3- اسید سالیسیلیک (Salicylic acid) 4- اسید آسکوربیک (Ascorbic acid).

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های اثرات برهمکنش تنش کم آبی و محلول‌پاشی بر وزن دانه و جذب عناصر غذایی در کینوا

Table 6- Means comparison of interaction effects of water deficit stress and spraying on grain weight and absorption of nutrients in quinoa

تیمار Treatment		پتاسیم برگ Leaf K (%)	پتاسیم دانه Grain K (%)	مس برگ Leaf Cu (ppm)	مس دانه Grain Cu (ppm)	وزن دانه Grain weight ($g.plant^{-1}$)
تنش کم آبی Water deficit stress	**محلول‌پاشی** Spraying					
شاهد (بدون تنش کم آبی) Control (no water deficit stress)	1	2.04±0.07	2.76±0.19	4.96±1.19	4.63±0.01	11.07±0.47
	2	3.35±0.12	2.53±0.32	12.10±0.95	4.87±0.06	11.77±1.14
	3	2.38±0.12	3.26±0.25	9.43±2.05	6.15±0.33	11.41±0.19
	4	2.04±0.19	3.52±0.00	5.30±0.90	5.81±1.00	11.90±0.75
تنش در مرحله رشد رویشی Stress at vegetative growth stage	1	2.77±0.51	2.62±0.00	4.10±0.70	5.90±0.36	10.76±0.98
	2	2.00±0.64	2.87±0.12	10.73±0.85	5.91±0.34	10.04±0.56
	3	2.90±0.12	2.53±0.19	3.80±1.70	6.97±0.01	12.16±0.45
	4	2.64±0.00	3.04±0.19	6.13±0.70	5.90±0.45	11.41±1.20
تنش در مرحله رشد زایشی Stress at reproductive growth stage	1	2.90±0.25	2.74±0.12	6.03±1.56	6.97±0.01	7.61±0.56
	2	2.47±0.07	3.60±0.19	9.40±1.21	7.92±1.10	9.02±0.91
	3	2.77±0.0	3.00±0.00	5.23±1.05	7.25±0.20	10.52±0.23
	4	3.41±0.12	3.17±0.19	6.00±0.26	5.66±0.10	9.84±1.45
تنش در مرحله پر شدن دانه Stress at grain filling stage	1	3.33±0.45	2.66±0.07	7.06±1.09	7.08±0.12	8.33±0.50
	2	2.77±0.00	2.53±0.32	9.36±0.61	5.93±0.56	9.91±0.75
	3	3.28±0.12	2.62±0.12	8.53±3.00	5.12±0.02	9.75±0.71
	4	3.28±0.25	2.74±0.00	5.76±0.72	7.00±0.14	8.91±0.41
$LSD_{0.05}$		0.44	0.28	2.21	0.72	1.30

1-شاهد (آب‌پاشی) Control (water spraying) 2- کود کلاته میکرو کامل نانو (Nano-micronutrient chelate fertilizer) 3- اسید سالیسیلیک (Salicylic acid) 4- اسید آسکوربیک (Ascorbic acid).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات تنش کم آبی بر صفات مورد مطالعه کینوا

Table 7- Means comparison of effects of water deficit stress stress on studied traits in quinoa

تنش کم آبی Water deficit stress	کلروفیل a Chlorophyll a ($mg.g\ FW^{-1}$)	کلروفیل b Chlorophyll b ($mg.g\ FW^{-1}$)	پرولین Proline $\mu mol.mol^{-1}$	قندهای محلول Soluble carbohydrates ($\mu mol.mol^{-1}$)	وزن خشک بوته Plant dry matter ($g.plant^{-1}$)
1	4.19±0.71	2.30±0.48	1.53±0.21	32.51±1.74	16.63±1.45
2	4.17±0.53	2.18±0.38	1.81±0.34	32.28±1.82	16.00±1.47
3	3.49±0.58	1.89±0.38	2.14±0.33	29.66±2.65	13.94±1.23
4	3.75±0.42	2.04±0.43	2.22±0.43	29.59±2.28	14.25±0.77
$LSD_{0.05}$	0.40	0.27	0.27	1.53	0.89

۱- شاهد (بدون تنش کم آبی) Control (no water deficit stress)، ۲- تنش در مرحله رشد رویشی Stress at vegetative growth stage ۳- تنش در مرحله رشد زایشی Stress at reproductive growth stage ۴- تنش در مرحله پرشدن دانه Stress at grain filling stage

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات محلول‌پاشی بر صفات مورد مطالعه کینوا

Table 8- Means comparison of effects of water deficit stress stress and spraying on studied traits in quinoa

محلول‌پاشی Spraying	کلروفیل a Chla $mg.g\ FW^{-1}$	کلروفیل b Chlb $mg.g\ FW^{-1}$	کلروفیل a به b Chlorophyll a/b	کاروتنوئید Carotenoid $mg.g\ FW^{-1}$	قندهای محلول Soluble carbohydrates ($\mu mol.mol^{-1}$)	وزن خشک بوته Plant dry matter ($g.plant^{-1}$)
اسید آسکوربیک (Ascorbic acid)	3.76±0.78	2.19±0.30	1.72±0.34	1.43±0.19	30.76±2.71	15.78±1.38
کود کلاته میکرو کامل نانو (Nano-micronutrient chelate fertilizer)	4.27±0.58	2.36±0.36	1.84±0.33	1.38±0.15	32.37±2.13	14.95±1.67
اسید سالیسیلیک (Salicylic acid)	3.89±0.49	2.18±0.50	1.85±0.40	1.35±0.25	31.78±2.59	16.04±1.61
شاهد Control	3.69±0.52	1.69±0.28	2.20±0.33	1.12±0.08	29.12±1.31	14.06±1.44
LSD 0.05	0.40	0.27	0.31	0.14	1.53	0.89

۱- شاهد (بدون تنش کم آبی) Control (no water deficit stress) ، ۲- تنش در مرحله رشد رویشی Stress at vegetative growth stage ، ۳- تنش در مرحله رشد زایشی Stress at reproductive growth stage و ۴- تنش در مرحله پرشدن دانه Stress at grain filling stage

References منابع مورد استفاده

- Abaspor, H., and H. Rezaei. 2014. Effects of salicylic acid and jasmonic acid on hill reaction and photosynthetic pigmen (*Dracocephalum moldavica* L.) in different levels of drought stress. *International Journal of Advanced Research in Biological Research*. 2: 2850-2859. doi: http://ijabbr.com/article_11587_1344....
- Ahmadi, S.H., and J. Niazi Ardekani. 2006. The effect of water salinity on growth and physiological stages of eight canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Irrigation Science*. 25: 11-20. doi: 10.1007/s00271-006-0030-3.
- Amal, A.M., and A.A. Aly. 2008. Alteration of some secondary metabolites and enzymes activity by using exogenous antioxidant compound in onion plants growth under seawater salt stress. *American Eurasian Journal of Science Research*. 3: 139-146.
- Anonymous. 2021. General meteorological department of West Azarbaijan province. http://www.azmet.ir.
- Arnon, D.I. 1975. Copper enzymes increased isolated chloroplast polyphenoxidase increased *Beta vulgaris* L. *Plant Physiology*. 45: 1-15. doi: 10.1104/pp.24.1.1
- Artyszak, A., D. Gozdowski, and K. Kucińska. 2014. The effect of foliar fertilization with marine calcite in sugar beet. *Plant, Soil and Environment.* 60(9): 413–417. doi: 10.17221/451/2014-PSE
- Azimi, M.S., J.S. Sayfzadeh, and S. Zare. 2013. Evaluation of amino acid and salicylic acid application on yield and growth of wheat under water deficit. *International Journal of Agriculture and Crop Science*. 5(8): 816-819. doi: IJACS/2013/5-7/709-712
- Azooz, M.M., and P. Ahmad. 2015. Legumes under environmental stress*:* Yield, improvement and adaptations. Published by John Wiley and Sons, Ltd.
- Bajji, M., S. Lutts, and J.M. Kient. 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Defs.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Science*. 160: 669-681. doi: 10.1016/S0168-9452(00)00443-X
- Bates, L., R.P. Waldren, and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. 39: 205–207. doi: 10.1007/BF00018060
- Bayati, F., A. Aynehband, and E. Fateh. 2015. Effect of different rates and application times of nano-iron on yield and yield components of canola (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 12(4): 805-812. doi: 10.22067/gsc. v12i4.27090. (In Persian).
- Baybordi, A. 2004. Effect of Fe, Mn, Zn and Cu on the quality and quantity of wheat under salinity stress. *Journal of Water and Soil Science*. 17: 140-150.
- Baybordi, A., and G. Mamedov. 2010. Evaluation of application methods of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). *Notulae Scientia Biologicae*. 2(1): 94-103. doi:10.15835/nsb.2.1.3531

- Din, J., S.U. Khan, I. Ali, and A.R. Gurmani. 2011. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. *Journal of Animal and Plant Sciences.* 21(1): 78-82. URL: http://www.thejaps.org.pk
- Faraji, A., and K. Eslami. 2012. Effect of supplemental irrigation on seed yield and yield components of canola (*Brassica napus* L.) cultivars in gonbad region of Iran. *Seed and Plant Production.* 28(2): 133-144. doi: 10.22059/IJSWR.2022.344590. 669296. (In Persian).
- Ghassemi-Golezani, K., P. Zafarani-Moattar, Y. Raey, and M. Mohammadi. 2010. Response of *pinato bean* cultivars to water deficit at reproductive stages. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 8: 801- 804.
- Goufo, P., J.M. Moutinho-Pereira, T.F. Jorge, C.M. Correia, M.R. Oliveira, E.A. Rosa, and H. Trindade. 2017. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) metabolomics: osmoprotection as a physiological strategy for drought stress resistance and improved yield. *Frontiers in Plant Science*. 8(586): 1-22. doi:10.3389/fpls. 2017.00586
- Hong, Z., K. Lakkineni, Z. Zhang, and D.P. Verma. 2000. Removal of feedback inhibition of delta (1) pyrroline-5-carboxylate synthetase results in increased proline accumulation and protection of plants from osmotic stress. *Plant Physiology*. 122(4): 1129-1136. doi: 10.1104/pp.122.4.1129
- Idrees, M., M.M.A. Khan, M. Naeem, T. Aftab, N. Hashmi, and M. Alam. 2011. Modulation of defence responses by improving photosynthetic activity, antioxidative metabolism and vincristine and vinblastine accumulation in (*Catharanthus roseus* L.) G. Don through salicylic acid under water stress. *Russain Agricultural Sciences*. 37: 474-482. doi: 10.3103/S1068367411060127
- Irigoyen, J.J., D.W. Emerich, and M. Sanchez-Diaz. 1992. Water stress induced changes in concentration of praline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Journal Physiology*. 84: 55-60. doi: 10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x
- Jamali, J., Sh. Enteshari, and S.M. Hoseini. 2012. The effect of K and Zn on biochemical and physiological changes of tolerance to drought stress in Corn (cv. 704). *Crop Physiology Journal.* 14: 37-44. (In Persian).
- Kalantar Ahmadi, S.A., A. Ebadi, J. Daneshian, S.A. Siadat, and S. Jahanbakhsh. 2017. Effect of drought stress and foliar application of growth regulators on photosynthetic pigments and seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L. cv. Hyola 401). *Iranian Journal of Crop Sciences.* 18(3): 196-217. (In Persian).
- Karami Chame, S., B. Khalil-Tahmasbi, P. ShahMahmoodi, A. Abdollahi, A. Fathi, S. J. Seyed Mousavi, and S. Bahamin. 2016. Effects of salinity stress, salicylic acid and pseudomonas on the physiological characteristics and yield of seed beans (*Phaseolus vulgaris*). *Science Agriculture*. 14 (2): 234-238. doi: 10.15192/PSCP .SA.2016.14.2.234238
- Keshavarz, H., S.A.M. Modarres Sanavy, and R. Sadegh Gol Moghadam, 2016. Impact of foliar application with salicylic acid on biochemical characters of canola

plants under cold stress condition. *Notulae Scientia Biologicae*. 8(1): 98-105. doi: 10.15835/nsb819766

- Khalid Hussein, Z., and M. Qader Khursheed. 2014. Effect of foliar application of ascorbic acid on growth, yield components and some chemical constituents of wheat under water stress conditions. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*. 10: 1-15. doi: 10.12816/0029871
- Kumar, S., S.N. Saxena, J.G. Mistry, R.S. Fougat, R.K. Solanki, and R. Sharma. 2015. Understanding *Cuminum cyminum*: An important seed spice crop of arid and semi-arid regions. *International Journal of Seed Spices*. 5(2): 1-19.
- Lawlor, D.W., and G. Cornic, 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*. 25(2): 275-294. doi: 10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x
- Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol*. 148: 350-382. doi: 10.1016/0076-6879(87) 48036-1
- Marschner, H. 2012. Mineral nutrition of higher plants. Academic press limited harcourt brace and company, publishers, London, pp. 347–364. doi: 978-0-12-384905-2
- Mazaherinia, M., A.R. Astaraei, A. Fotovat, and A. Monshi. 2010. Effect of nano iron oxide particles on Fe, Mn, Zn, Cu concentrations in weath plant. *World Applied Science Journal*. 7(1): 156-162.
- Movahedy Dehnavy, M., and S.A.M. Modarres Sanavy. 2007. Effect of Zn and Mn micronutrients foliar application on yield and yield components of three winter safflower under drought stress in Isfahan. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 13(2): 1-11. doi: 10.1016/j.indcrop.2009.02.004. (In Persian).
- Nowak, V., J. Du, and U.R. Charrondière, 2015. Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*. 193: 47-54. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.02.111
- Payghozar, Y., A. Ghanbari, M. Heidari, and A. Tavassoli. 2013. The effect of foliar application of trace elements on quantitative and qualitative characteristics of pearl millet Nutrifid cultivar (*Pennisetum glacum*) under drought stress. *Journal of Crop Ecophysiology*. 10(3): 67-79. (In Persian).
- Pirzad, A., M.R. Shakiba, S. Zehtab-Salmasi, S.A. Mohammadi, R. Darvishzadeh, and A. Samadi. 2012. Effect of water stress on leaf relative water content, chlorophyll, proline and soluble carbohydrates in *Matricaria chamomilla* L. *Journal of Medicinal Plants Research*. 5(12): 2483-2488.
- Ramswaroop, J., R.N. Sita, C. Rajsingh, and M. Irfan. 2017. Effect of potassium and sulphur on quality of sesame (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of Current Microbiology Application of Science*. 6(4): 1876-1878.
- Ranjbar, M., H. Larry Yazdi, and Sh. Bromandjazi. 2010. The effect of salicylic acid on antioxidant enzymes, photosynthetic pigments of sugar content in rape (*Brasica*

napus) under Pb stress. *Journal of Plant Biology*. 3(9): 39-52. doi: 20.1001.1. 20088264.1390.3.9.5.5

- Sabzi, S., Z. Tahmasebi, and M. Barari. 2017. Study of the yield and some important plant of common bean (*Phaseolus vulgaris*) genotypes at different moisture levels. *Envirnmental Stresses in Crop Sciences*. 10(1): 21-30. doi: 10.22077/escs.1396. 528. (In Persian).
- Shahbazi Nejad, H., M. Feizian, B. Zahedi, and Y. Parvizi. 2019. Assessment effects of drought stress, superabsorbent and manure on agronomic and chemical traits in German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*. 49(4): 1061-1072. doi: 10.22059/ijhs.2018.228369.1195. (In Persian).
- Shahgholi, Sh., S. Sayfzadeh, E. Hadidi Masouleh, N. Shahsavari, and H. Zakerin. 2022. Assessment of zinc, boron, and iron foliar application on wheat yield and yield components under drought stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 54(9): 1283-1292. doi: 10.1080/00103624.2022.2141772.
- Shariat, A., G. Karimzadeh, M.H. Assareh, and J. Hadian. 2017. Variations of physiological indices and metabolite profiling in *Satureja khuzistanica* in response to drought stress. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*. 25(2): 232-246. doi: 10.22092/IJRFPBGR. 2017.113313. (In Persian).
- Sheteawi, S.A. 2007. Improving growth and yield of salt-stressed soybean by exogenous application of jasmonic acid and ascorbic. *International Journal of Agriculture and Biology*. 9: 473-478. doi: 1560–8530/2007/09–3–473–478
- Sibi, M., M. Mirzakhani, and M. Ghomarian. 2012. Study of cell membranes instability of safflower under water stress, application of zeolite and salicylic acid. *Agronomy and Plant Breeding.* 8(2): 119-136. (In Persian).
- Subramanian, K.S., A. Manikandan, M. Thirunavukkarasu, and C.S. Rahale. 2015. Nano-fertilizers for balanced crop nutrition. In Nanotechnologies in Food and Agriculture. 69–80. doi: 10.1007/978-3-319-14024-7_3
- Subramanian, K.S., and M. Thirunavukkarasu. 2017. Nano-fertilizers and nutrient transformations in soil. *In Nanoscience and Plant–Soil Systems*. 48: 305-319. doi: 10.1007/978-3-319-46835-8_11
- Turkan, I. 2011. Plant responses to drought and salinity stress. Development in a post-Genomic era. Advances Botany Research. 593p.
- William, H. 2000. Official methods of analysis of AOAC international. 17nd ed. USA: Association Official Analytical Chemists, 100p. doi: 10.4236/ce.2020.118106
- Zeid, F., E. Omer, A. Amin, and S.A. Hanafy. 2014. Effect of putrescine and salicylic acid on ajwain plant (*Trachyspermum ammi*) at vegetative stage grown under drought stress. *International Journal of Agricultural Science Research.* 4: 61-79.

Research Article DOI: 10.30495/JCEP.2023.1932890.1808

The Effect of Stress Modifiers on Nutrient Concentration of Leaf and Grain and Biochemical Characteristics of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Water Deficit Stress

Seyyedeh Nasrin Hosseini[1], Jalal Jalilian[2] and Esmaeil Gholinezhad[3*]

Received: June 2021 , Revised: 1 February 2022, Accepted: 6 February 2022

Abstract

To investigate the effect of water deficit stress and stress modifiers on the nutrient concentration of leaf and grain and biochemical characteristics of quinoa, a pot factorial experiment based on a completely randomized design with 16 treatments and 6 replicates was done in 2019 at Urmia University. The first factor includes water deficit stress at four levels (stress at vegetative growth stage, after plant establishment to flowering; stress at reproductive growth stage, from flowering to flowering end; stress at grain filling stag, from the beginning of filling to maturity; no stress, control) and the second factor is foliar spraying at four levels (ascorbic acid, 2 mM; salicylic acid, 2 mM; nano-micronutrient chelate fertilizer, 2 liters/1000 L water; control, water spray). The results showed that dehydration stress had a significant effect on leaf and grain elements and biochemical traits. Dehydration at different stages of growth reduced chlorophyll a and b, carotenoids and soluble sugars compared to the control but proline content increased. Mean comparison showed dehydration stress in vegetative growth stage, reproductive growth stage and dehydration stress in grain filling stage compared to control (without dehydration stress) increased proline content by 15%, 28% and 31%, respectively. However, dehydration stress at vegetative growth stage, reproductive growth and grain filling stage reduced grain weight by 4, 20 and 20%, respectively, compared to the control (without dehydration stress). Foliar application by increasing proline accumulation and photosynthetic pigment content, increased quinoa grain weight. Foliar application of ascorbic acid, complete micro-nanofertilizer and salicylic acid increased the chlorophyll a content by 2, 13 and 5%, respectively, compared to the control (spraying), respectively. It seems that foliar application of salicylic acid had a more positive effect than other modifiers at different stages of dehydration.

Key words: Ascorbic acid, Drought stress, Foliar application, Nano-fertilizer, Salicylic acid.

1- Department of Plant Production and Genetic Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.
2- Professor Department of Plant Production and Genetic Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.
3- Associate Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran.
**Corresponding Authors: e_gholinejad@pnu.ac.ir*