



دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

اثر نانو کودها بر عملکرد دانه، پروتئین، پرولین، کاتالاز و کلروفیل ارقام کینوا در شرایط کم آبیاری

افسانه اسمعیل زهی^{۱*}، احمد مهربان^۲، حمیدرضا مبصر^۲، حمیدرضا گنجعلی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۵

چکیده

این پژوهش طی دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی باهوکلالت شهرستان چابهار به صورت آزمایش اسپیلت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. در این آزمایش سه سطح آبیاری (شاهد هر ۱۴ روز (عرف منطقه)، ۲۱ و ۲۸ روز) به عنوان عامل اصلی و سه سطح نانوکود (عدم مصرف کود (شاهد)، نانو کود کلات سیلسیم و نانو کود کلات میکرو کامل به میزان دو در هزار) و دو رقم کینوا (Q۱۲ و Q۲۶) به عنوان عامل های فرعی بودند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۱۹۲۲/۸۲ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین میزان پروتئین (۱۸/۶۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) در سال دوم و بیشترین عملکرد بیولوژیک (۱۷۸۹۰/۵ کیلوگرم در هکتار) و میزان کلروفیل کل (۱/۵۲۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) در سال اول از تیمار شاهد هر ۱۴ روز آبیاری، در شرایط مصرف کود نانو کلات میکرو کامل از رقم کینوا Q۱۲ حاصل شد. بیشترین میزان پرولین (۰/۲۹۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) در سال دوم آزمایش در شرایط عدم مصرف کود نانو (شاهد) و بیشترین غلظت آنزیم کاتالاز (۱/۲۳ ادسی بر گرم وزن تر در دقیقه^۲) در سال اول در شرایط مصرف کود نانو کلات سیلسیم در تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری برای رقم کینوا Q۲۶ مشاهده شد. به طور کلی جهت رسیدن به حداکثر عملکرد دانه شرایط هر ۱۴ روز یکبار آبیاری، و مصرف کود نانو کلات میکرو کامل در رقم کینوا Q۱۲ برای کشت در منطقه پیشنهاد می شود.

کلمات کلیدی: Q۱۲، پرولین، عملکرد دانه، کاتالاز، کم آبیاری، نانو کلات.

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران. مسئول مکاتبات: afsaneh.esmaielzehi@iauzah.ac.ir

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران.

اسماعیل زهی، الف، مهربان، الف، مبصر، ح.ر. و گنجعلی، ح.ر. اثر نانو کودها بر عملکرد دانه، پروتئین، پرولین، کاتالاز و کلروفیل ارقام کینوا در شرایط کم-آبیاری. (۱۵) ۵۴: ۱۷۸-۱۵۷

مقدمه

رشد جمعیت جهان روز به روز در حال افزایش است و این در حالی است که امکان گسترش و توسعه اراضی زراعی به دلیل کمبود زمین‌های حاصلخیز بسیار اندک است. بنابراین یکی از اهداف مهم برای هماهنگی با افزایش جمعیت جهان، افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۰). کینوا (*Chenopodium quinoa*) گیاهی پهن برگ از خانواده اسفناجیان (chenopodiaceae) است که به عنوان گیاه نسبتاً جدید، توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است (زارعی و دیگران، ۱۳۹۹؛ دتجانس و گلدبرگر، ۱۳۹۸). طی سال‌های اخیر تقاضای برای مصرف کینوا به طرز چشمگیری افزایش یافته است. از دیدگاه کشاورزی این گیاه به دلیل مقاومت به تنش‌های غیر زنده از جمله تنش خشکی و تنش شوری اهمیت فراوانی دارد (کودونی و فتحی، ۱۳۹۹). تنش خشکی مهمترین عامل کاهش عملکرد در بین عوامل بازدارنده محیطی بر گیاهان زراعی می‌باشد (عزتی و دیگران، ۱۳۹۸؛ پاینده و دروگر، ۱۳۹۹). تنش خشکی بسیاری از ویژگی‌های مورفولوژیک و فرایندهای فیزیولوژیک مرتبط با رشد و نمو گیاه را مختل می‌کند (رئسی ساداتی، ۱۳۹۹؛ عزتی، ۱۳۹۸؛ فتحی و کاردونی، ۱۳۹۹). در حقیقت عملکرد محصولات زراعی توسط تنش‌های محیطی محدود شده و به همین دلیل اختلاف قابل توجهی بین عملکرد بالقوه و عملکرد واقعی محصولات زراعی مشاهده می‌شود. کمبود رطوبت نیز در مراحل مختلف رشد موجب کاهش عناصر غذایی، جذب آب، کاهش نقل و انتقال عناصر در داخل گیاه و در نهایت کاهش عملکرد می‌شود (پاینده و دیگران، ۱۳۹۷). همچنین تنش خشکی اثر معنی‌داری بر گیاه کینوا دارد، به طوری که ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی، محتوای کلروفیل و نیتروژن برگ را کاهش می‌دهد (یانگ و دیگران، ۱۳۹۵). از سوی دیگر تنش خشکی سبب کاهش عملکرد کمی و کیفی گیاه کینوا می‌شود (سان و دیگران، ۱۳۹۴). طی چند سال اخیر استراتژی‌های مختلف تغذیه گیاه بر پایه حفظ محیط زیست و دسترسی بهتر عناصر غذایی برای گیاه مورد بررسی قرار گرفته است، که یکی از مهمترین آنها استفاده از فناوری نانو می‌باشد. فناوری نانو عبارت از هنر دستکاری مواد در مقیاس اتمی و مولکولی با هدف در دست گرفتن کنترل آن‌ها در سطح مولکولی و اتمی و استفاده از خواص آنها در این سطوح است (لویی و لال، ۱۳۹۴). با توجه به مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی و در نتیجه آلودگی آب‌های زیرزمینی و شور شدن خاک، استفاده از کودهای نانو بسیار کارآمد و موثر است. راوات و دیگران، ۲۰۱۹ گزارش دادند که کودهای نانو پتانسیل استفاده به عنوان یک محرک رشد گیاه را دارند و می‌توانند تبادل گازی گیاه و کارایی ریشه را افزایش دهند. استفاده از نانوکودها سبب افزایش کارایی عناصر غذایی می‌شوند، به طوری که علاوه بر رهاسازی مداوم عناصر غذایی، جذب و انتقال آنها از طریق برگ نیز به سهولت انجام می‌گیرد. از جمله ویژگی‌های جالب توجه مواد نانو، سبک و کوچک بودن آنها و صرفه‌جویی در مواد مصرفی است (سوبرامانیان و تیرونو و کاروس، ۲۰۱۷). بنابراین مدیریت تغذیه در گیاهان زراعی یکی از مهمترین عواملی است که بر رشد و تولید اثر می‌گذارد (کرمی و دیگران، ۲۰۱۸). با توجه به اهمیت گیاه کینوا از نظر ارزش غذایی دانه آن از یک سو و با توجه به شرایط محیطی و منطقه‌ای ایران و استان سیستان و بلوچستان به دلیل وجود تنش‌های محیطی از سوی دیگر، استفاده از گیاه جدید کینوا به عنوان گیاهی متحمل به تنش‌های محیطی، یک راهکار کارآمد برای

افزایش تولیدات زراعی است. بنابراین، هدف پژوهش حاضر بررسی اثر نانو کودها بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گیاه جدید کینوا برای اولین بار به منظور تعیین پتانسیل عملکرد گیاه فوق در شرایط کم آبیاری با استفاده از نانو کود، جهت افزایش راندمان تولید و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه منابع می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی باهوکلات شهرستان چابهار انجام شد. منطقه باهوکلات با مختصات جغرافیایی ۶۱ درجه شمالی و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۲۵ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی، با ارتفاع ۴۰ متر از سطح دریا قرار دارد (پورتال استانداری سیستان و بلوچستان). نتایج به دست آمده از تجزیه نمونه خاک محل اجرای آزمایش در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک

N	P	K	pH	EC	Clay	Silt	Sand	بافت
(%)	(ppm)			(Ds/m)		(%)		
۰/۰۲۹	۷/۴	۶۰	۷/۱۰	۷/۳۵	۱۳	۶۹	۱۸	سیلتی لوم

آزمایش به صورت اسپیلت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. سه سطح آبیاری (شاهد هر ۱۴ روز (عرف منطقه)، ۲۱ و ۲۸ روز) به عنوان عامل اصلی و سه سطح نانوکود (عدم مصرف کود (شاهد)، نانو کود کلات سیلیسیم و نانو کود کلات میکرو کامل به میزان دو در هزار) و دو رقم کینوا (Q۱۲ و Q۲۶) به عنوان عامل های فرعی بودند. بذره‌های انتخابی مورد نیاز در این آزمایش از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان ایرانشهر تهیه شد. کودهای نانو مورد نیاز در این آزمایش از شرکت دانش بنیان صدور احراز شرق واقع در تهران تهیه شد. نانو کود کلات سیلیسیم حاوی ۲ درصد سیلیسیم کلات شده، فاقد سیلیکات به شکل نمک، و نانو کود کلات میکرو کامل حاوی 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، قابل جذب برای گیاه در اسیدیته ۳ تا ۱۱ و کاملاً محلول در آب می‌باشند. بذره‌های انتخابی مورد نیاز در این آزمایش شامل دو رقم کینوا Q۱۲ و Q۲۶ بودند که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان ایرانشهر تهیه شد. ارقام کینوا Q۱۲ و Q۲۶ به ترتیب به طور میانگین با ارتفاع بوته ۱۳۶ و ۱۳۲ سانتی‌متر و وزن هزاردانه ۲/۴۷ و ۲/۷۸ گرم دارای عملکرد دانه ۹۸۶ و ۱۳۲۰ کیلوگرم در هکتار بوده که پس از گذراندن یک دوره زمانی ۱۱۸ و ۱۰۸ روزه قابل برداشت می‌باشند (باقری و دیگران، ۱۴۰۰). ابتدا عملیات خاک‌ورزی شامل شخم و دو بار دیسک عمود بر هم انجام گرفت و سپس با استفاده از نه‌رکن کانال‌های انتقال آب احداث و در انتها کرت‌بندی زمین صورت پذیرفت. هر کرت شامل شش ردیف کاشت به فاصله ۳۰ سانتی‌متر و طول ۳ متر و با فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود. بین کرت‌ها دو خط نکاشت فاصله منظور شد. بعد از اتمام عملیات خاک‌ورزی، بلافاصله آبیاری انجام شد. قبل از کاشت، کود فسفره از منبع سوپر فسفات تریپل به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و کود پتاسه از منبع سولفات پتاسیم به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به همراه آب آبیاری وارد خاک شدند. کاشت در تاریخ یکم آذر ماه در هر دو سال آزمایش انجام گرفت. ابتدا میزان بذر مورد نیاز جهت دستیابی به تراکم مطلوب (۳۳ بوته در مترمربع) با توجه به وزن هزار دانه، درصد خلوص و درصد سبز جوانه‌زنی بذر برای هر خط کشت محاسبه شد. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی و در طی کل دوره رویشی

صورت گرفت. برای مبارزه با آفاتی همانند شته و کرم‌های طوقه‌بر از دیازینون با غلظت ۲ در هزار به صورت محلول‌پاشی به اندام‌های هوایی گیاه با ۳ بار تکرار و با فواصل ۷ روزه استفاده گردید. تیمارهای دور آبیاری پس از مرحله ساقه رفتن اعمال شدند. قبل اتمام ساقه رفتن مدار آبیاری پس از ۴۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک اعمال شد. برای سنجش وضعیت رطوبتی خاک از دستگاه **TDR** (مدل **Delta T Dvice**) استفاده شد. کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار در ۲ مرحله به صورت یک دوم کود در مرحله ۶ تا ۸ برگی و یک دوم باقی‌مانده قبل از گلدهی با آب آبیاری وارد خاک شد. در زمان رسیدگی فیزیولوژیک و هنگامی که بوته‌های کینوا کاملاً زرد شده بودند و دانه‌های درون خوشه به راحتی با دست جدا می‌شدند، عملیات برداشت در تاریخ ۱۰ اسفند ماه در هر دو سال آزمایش از سطح زمین به صورت دستی صورت گرفت. خطوط کشت دوم و پنجم به عنوان خطوط نمونه‌برداری و خطوط سوم و چهارم به عنوان برداشت نهایی و سایر خطوط به عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند. اندازه‌گیری ارتفاع بوته از محل یقه در سطح خاک تا نوک بوته با استفاده از متر پارچه‌ای بر حسب سانتی‌متر انجام شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک شامل برگ و ساقه (زیست توده هوایی) ابتدا بذور از نمونه‌ها جدا و سپس به کمک دستگاه آون (در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد) تا حصول وزن ثابت خشک شدند، سپس به همراه بذور وزن و بر مبنای کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. جهت بررسی و محاسبه عملکرد دانه، بعد از جداسازی دانه از بوته، عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار بوسیله ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین و اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک، ضرب در ۱۰۰ محاسبه گردید. تعداد سنبله در بوته و دانه در سنبله ۱۰ بوته به طور جداگانه شمارش و میانگین آنها برای هر تیمار محاسبه گردید. جهت محاسبه وزن هزاردانه تعداد ۴ نمونه ۱۰۰ تایی بطور تصادفی انتخاب و میانگین وزنی به دست آمده در عدد ۱۰ ضرب و برحسب گرم برای هر تیمار آزمایشی گزارش گردید. اندازه‌گیری پرولین برگ با استفاده از روش باتس و همکاران (باتس و دیگران، ۱۳۵۲) و اندازه‌گیری پروتئین برگ به روش برادفورد (۱۳۴۴)، انجام شد. میزان کلروفیل و کارتنوئیدها، توسط اسپکتوفتومتر با استفاده از روش آرنون (۱۳۴۴)، بدست آمد. ارزیابی فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس روش کاکماک و هورست (۱۳۷۰)، انجام گرفت. پراکسید هیدروژن اضافه و فعالیت کاتالاز با توجه به روند تجزیه پراکسید هیدروژن و در نتیجه کاهش جذب در ۲۴۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر سنجیده شد. فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز با روش شانس و ماهلی (۱۳۷۴)، ارزیابی شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم افزار **SAS** و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. پس از جمع‌آوری داده‌های حاصل از آزمایش، آزمون بارتلت برای صفات مورد بررسی انجام شد و با توجه به عدم معنی دار شدن ضریب کای اسکوتر برای صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت، پرولین، پروتئین و آنزیم کاتالاز آنالیز تجزیه مرکب برای آنها انجام شد (جدول ۲). اما ضریب کای اسکوتر برای آنزیم پراکسیداز و میزان کلروفیل معنی دار بود و در نتایج دو ساله برای این دو صفت به طور جداگانه مورد بحث و تفسیر قرار گرفتند (جدول ۵).

نتایج و بحث مرکب دو ساله صفات دو رقم کینوا

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله داده‌های آزمایش نشان داد که اثرات متقابل سال $\times$ آبیاری $\times$ نانوکود $\times$ رقم بر عملکرد بیولوژیک با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول ۳)، بیشترین عملکرد بیولوژیک در سال اول (۱۷۸۹۰/۵ کیلوگرم در هکتار) از تیمار شاهد هر ۱۴ روز یکبار آبیاری (عرف منطقه)، در شرایط مصرف کود نانو کلات میکرو کامل از رقم کینوا Q۱۲ به دست آمد. در مقابل کمترین عملکرد بیولوژیک در سال دوم (۳۹۶۶/۶ کیلوگرم در هکتار) در تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری، در شرایط عدم مصرف کود نانو (شاهد) مربوط به رقم کینوا Q۲۶ بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد شرایط آبیاری هر ۱۴ روز یکبار در سال اول آزمایش در طی مراحل رویشی تأثیر بسیار خوبی بر رشد گیاه کینوا داشته و باعث گردیده حداکثر ماده خشک در تیمار آبیاری کامل به دست آید. از سوی دیگر کم آبیاری در سال دوم احتمالاً با اثر روی توسعه برگ‌ها، باعث کاهش رشد و تولید ماده خشک شده و سرعت رشد محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اما مصرف کود نانو کلات میکرو کامل باعث افزایش رشد رویشی و از این طریق سبب زیاد شدن فتوسنتز گردیده و به تولید ماده خشک بیشتر و افزایش عملکرد بیولوژیک منجر شده است. در پژوهش دیگری بیان شد تنش خشکی سبب کاهش عملکرد زیست توده گیاهان می‌شود که علت آن را به کاهش جذب و مواد غذایی، کاهش هدایت روزنه‌ای نسبت داده و در نتیجه باعث کاهش قدرت فتوسنتزی کینوا می‌شود (یانگ و دیگران، ۱۳۹۵). دیگر پژوهشگران نیز گزارش کردند که تنش خشکی، زیست توده کینوا را کاهش می‌دهد (الوا و دیگران، ۱۳۹۶). بهبود عملکرد در شرایط مصرف کود نانو کلات میکرو کامل می‌تواند ناشی از کارایی کلات با ساختار نانو در رسانش و فراهمی بهینه عناصر میکرو در فرایندهای فیزیولوژیکی باشد. احتمالاً با فعال شدن فرایندهای فیزیولوژیکی تشکیل کلروفیل افزایش یافته که در پی آن بهبود فرآیند فتوسنتز اتفاق می‌افتد و نهایتاً منجر به افزایش سطح برگ و عملکرد بیولوژیک کینوا تیمار شده با نانوکلات می‌شود. در تحقیقی مشابه استفاده از کودهای نانو سبب بهبود عملکرد کمی و کیفی گندم شده است (ایسواند، ۱۳۹۳). احتمالاً وزن خشک بیشتر اندام‌های هوایی در رقم کینوا Q۱۲ می‌تواند به استفاده بهتر آن از عوامل محیطی و کارایی تولید ماده خشک مربوط باشد که توانسته است کربوهیدرات‌ها و مواد ذخیره ای بیشتر را در خود ذخیره نماید. در پژوهشی اعمال تیمار قطع آبیاری بر اساس مراحل رشدی بر گیاه کنجد بررسی و گزارش شد که قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی باعث کاهش معنی‌دار وزن تر ارقام مختلف کنجد گردید (باقری و دیگران، ۱۳۹۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب دو ساله صفات دو رقم کینوا در شرایط کم آبیاری و مصرف نانوکود

میانگین مربعات							منبع تغییرات
کاتالاز	پروتئین	پرولین	شاخص برداشت	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	درجه آزادی	
سال							
۰/۲۴۱۷۸ **	۵/۹۳۹ NS	۰/۰۰۰۱۸ **	۸/۹۲۱ NS	۳۰۷۰۰۸/۴۶ **	۵۰۵۲۵۲۰/۶ **	۱	
تکرار (سال)							
۰/۰۰۰۹۲ NS	۱/۹۲۶ NS	۰/۰۰۰۰۱	۴۶۳/۵ NS	۱۰۸۳۴/۵۸ NS	۲۰۳۱۴۱/۸ NS	۴	
آبیاری							
۰/۱۶۷۶۷ **	۴/۵۳۳	۰/۰۰۵۴۹ **	۲۵۱/۷۹ **	۷۲۶۶۵/۴۱ *	۷۱۹۱۴۵۴۳/۸ **	۲	
سال × آبیاری							
۰/۰۱۴۷۷ **	۰/۸۲۵ NS	۰/۰۰۰۴۷۱ **	۱/۳۵۲ NS	۱۱۶۳۷۶/۳۷ **	۷۵۵۶۱۲/۲ **	۲	
تکرار × آبیاری (سال)							
۰/۰۰۰۱۷۰ NS	۳/۱۹۹ NS	۰/۰۰۰۰۱ NS	۷/۸۱۱ NS	۳۰۷۱۷/۱۹ NS	۲۵۰۵۲۵/۰ NS	۸	
نانوکود							
۰/۰۶۱۴۴ **	۱/۵۱۵ NS	۰/۰۱۶۷۹ **	۶۶۴/۲۵ **	۶۰۰۲۳/۶۵ *	۱۰۲۹۶۸۱۴۴/۰ **	۲	
آبیاری × نانوکود							
۰/۰۴۲۱۴ **	۱۱/۱۶۴ **	۰/۰۰۵۵۹ **	۱۹۵/۲۲ **	۲۸۶۵۱/۶۸ NS	۲۴۱۸۰۲۴۴/۸ **	۴	
سال × نانوکود							
۰/۱۳۵۱۶ **	۵/۳۶۹ NS	۰/۰۰۰۶۳ **	۱۴/۷۲۱ *	۳۹۶۳۰/۱۶ NS	۱۸۲۴۵۵۹/۱ **	۲	
سال × آبیاری × نانوکود							
۰/۰۱۹۹۲ **	۳/۴۳۴ NS	۰/۰۰۰۴۹ **	۴۳/۶۹۸ **	۵۹۳۵۵/۷۸ *	۶۴۰۴۳۲۹/۶ **	۴	

رقم	۱	۹۹۵۲۰۵۵/۵ **	۹۹۳۷۲/۸۵*	۵/۰۷۹ NS	۰/۰۰۰۱۹ **	۲/۵۴۷ NS	۰/۰۱۷۰۸ **
آبیاری × رقم	۲	۹۳۹۹۱۹۳/۷ **	۳۱۳۹۵/۲۰ NS	۱۱۸/۴۴ **	۰/۰۰۶۴۹ **	۰/۰۷۱ *	۰/۰۱۳۱۹ **
نانوکود × رقم	۲	۱۲۰۸۲۱۲۹۶/۴ **	۱۱۴۷/۸۴ NS	۶۱۲/۳۷ **	۰/۰۰۶۲۰ **	۰/۲۵۷ NS	۰/۰۰۰۸۸ NS
سال × رقم	۱	۱۶۳۳۹۷/۰ NS	۱۴۱۰۲/۹۳ NS	۰/۰۴۵۶ NS	۰/۰۰۰۳۲ **	۰/۶۷۴ NS	۰/۰۳۴۴۹ **
سال × آبیاری × رقم	۲	۸۶۱۶۹۵۴/۸ **	۲۸۳۶۵/۱۰ NS	۲۲/۱۸۵ **	۰/۰۰۰۱۲ **	۰/۷۹۸ NS	۰/۰۴۶۶۹ **
سال × نانوکود × رقم	۲	۳۴۳۵۶۰۵/۶ **	۴۸۹۳۶/۸۹ NS	۱۵/۴۰۸ *	۰/۰۰۰۳۱ **	۰/۷۴۲ NS	۰/۰۶۱۵۵ **
آبیاری × نانوکود × رقم	۴	۲۶۲۳۱۴۹۸/۴ **	۲۸۹۵۴/۸۲ NS	۱۳۱/۴۵ **	۰/۰۰۶۳۰ **	۵/۰۱۶ NS	۰/۰۱۲۴۸ **
سال × آبیاری × نانوکود × رقم	۴	۶۲۶۶۲۳۸/۱ **	۳۵۰۱۷/۱۰ NS	۳۱/۳۴۱ **	۰/۰۰۰۱۴ **	۰/۶۹۴ *	۰/۰۱۵۵۴ **
خطای آزمایشی	۶۰	۳۳۹۶۹۷/۸	۱۸۱۸۸/۱۹	۳/۸۹۲	۰/۰۰۰۰۲	۲/۱۷۳	۰/۰۰۱۷۱
ضریب پراکندگی (%)	-	۶/۰۲	۷/۶۳	۹/۸۰	۱/۹۹	۹/۵۷	۳/۹۸

NS: غیر معنی دار؛ * و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین مرکب دو ساله صفات دو رقم کینوا در شرایط کم آبیاری و مصرف نانوکود

عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)		شاخص برداشت (%)		پرولین		پروتئین		کاتالاز	
سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
تیمار	های	آزمایشی							
I ₁ N ₀ Q ₁	d e f	۱/۶	۱۳۰	c	۴۱۳	j-o	۱/۵	۱۴	a b
I ₁ N ₀ Q ₂	ij	۸/۶	۵۹۰	l m	۶۰۸	q	۱/۹	۱۴	a b
I ₁ N ₁ Q ₁	d e f	۱/۹	۱۶۱	b c	۴۵۱	h m	۱/۷	۲۳	a b
I ₁ N ₁ Q ₂	h i	۹/۵	۶۸۳	ij	۸۰۲	i-n	۱/۶	۱۴	a b
I ₁ N ₂ Q ₁	a	۷۸۹	۵۳۱	b	۵۳۱	c d e	۱/۷	۲۳	a b
I ₁ N ₂ Q ₂	f g	۱/۲	۰۶۹	d e	۱۸۸	k p	۱/۸	۲۳	a b
I ₂ N ₀ Q ₁	ij	۸/۰	۷۱۷	j k	۹۲۴	i-n	۱/۷	۲۳	a b
I ₂ N ₀ Q ₂	m	۵/۸	۹۲۹	l m	۵۸۸	i-n	۱/۷	۲۳	a b
I ₂ N ₁ Q ₁	h i	۹/۱	۴۵۲	e f g	۱۰۹	b	۱/۶	۲۳	a b
I ₂ N ₁ Q ₂	j k	۷/۳	۸۶۱	ij	۸۴۳	e-j	۱/۴	۲۳	a b

۱۴	b	۰۵	۶۷	a	۴۵	a	۱۹	۲۰	۴۱	d	۳۴	۱/۴	d	۱/۳	I ₂ N
/۲	-	/۵	f	۱/	۱/	-	/۹	o	۲/	-	۲/	c	e	۲۲۵	d
۱	e	۱	g	۶	e	e	.	p	.	h	۴	۹	f	۵	2Q ₁
۰۷	e	۰۳	۱۷	a	۴۵	b	۲۱	۲۶	۸۳	h	۴۷	۸/۱	j	۹/۱	I ₂ N
/۹	f	/۱	g	b	۱/	-f	/۲	j	۱/	-	۲/	c	k	۴۵۱	h
۱	g	.	i	c	۵	.	.	k	۶	n	۱	-f	k	i	2Q ₂
۹۵		۸۸	۷۱	۷۰	۲۷	۲۶	۲۰	۲۱	d	۲۱	f-	۸/۸	ij	۷/۷	I ₃ N
/۹	ij	/۱	k	e	b	c	/۹	c	d	۴/	-	۷۳۴	ij	۳۸۸	k
.	.	.	l	f	-f	.	.	h	۸	۸	k	.	.	l	0Q ₁
۸۰		۷۶	۷۶	۹۱	d	۲۹	۲۰	۴۵	o	۹۳	m	۳/۶	n	۴/۲	I ₃ N
/۱	m	/۶	m	f	e	a	/۱	o	p	۱/	-	۹۶۶	n	۳۶۳	n
.	.	.	.	f	f	.	.	p	۲	۳	p	.	.	.	0Q ₂
۰۹	d	۰۹	d	۱۳	d	۰۰	۲۶	۲۳	۱۵	۹۴		۹/۸	h	۸/۴	I ₃ N
/۴	-	/۴	-	۱/	e	b	/۶	j	۴/	a	۴/	a	i	۲۳۵	ij
۱	g	۱	g	۴	f	-f	.	k	.	.	.	.	.	۸۷۸	1Q ₁
۹۴		۰۴	f	d	۵۲	c	۲۵	۲۲	۰۸	۵۷		۸/۸	ij	۷/۷	I ₃ N
/۸	j	/۳	g	e	۱/	-f	/۱	f	۲/	d	۲/	c	۵۹۲	۰۷۴	k
.	k	۱	h	f	۴	.	.	g	.	-i	۳	d	.	l	1Q ₂
۱۵	b	۹۰	۹۵	۳۷	a	۲۰	۲۱	۵۹	۶۷	۱/۹	۱/۵				I ₃ N
/۱	-	/۷	j	b	-f	۱/	-	n	۲/	c	۳۷۶	c	۰۲۵	g	2Q ₁
۱	e	.	k	۴	e	۶	.	o	۸	-f	۱	.	۹	h	.
۱۳	b	۸۲	۱۳	a	۶۴	b	۲۶	۲۳	۳۴	۷۹		۸/۸	ij	۸/۸	I ₃ N
/۶	-	/۴	l	-	۱/	-f	/۶	d	۲/	c-	۱/	g	۵۹۲	۸۵۱	ij
۱	e	.	m	e	۵	.	.	e	۱	g	-l	.	.	.	2Q ₂

سه سطح آبیاری شامل شاهد هر ۱۴ روز (عرف منطقه) (I₁), ۲۱ (I₂) و ۲۸ (I₃) روز

سه سطح نانوکود شامل عدم مصرف کود (شاهد) (N₀), کود نانو کلات سیلسیم (N₁) و کود نانو کلات میکرو کامل (N₂) دو رقم کینوا

شامل Q12 و Q26

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله داده‌های آزمایش نشان داد که اثرات متقابل سال × آبیاری × نانوکود و همچنین اثر رقم بر عملکرد دانه با احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول ۴)، بیشترین عملکرد دانه در سال دوم (۱۹۲۲/۸۲) کیلوگرم در هکتار از تیمار شاهد هر ۱۴ روز یکبار آبیاری (عرف منطقه) و در شرایط مصرف کود نانو کلات میکرو کامل به دست آمد. در مقابل کمترین عملکرد دانه در سال اول (۱۴۵۲/۱۸) کیلوگرم در هکتار در تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری و در شرایط عدم مصرف کود نانو (شاهد) مشاهده شد (جدول ۴). همچنین مقایسه میانگین‌های اثر ساده رقم (جدول آورده نشده است)، نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۱۷۹۸/۴۱) کیلوگرم در هکتار از رقم کینوا

Q۱۲ به دست آمد. به نظر می‌رسد کاهش عملکرد دانه تحت شرایط هر ۲۸ روز یکبار آبیاری، به علت فتوستز پایین و جذب تشعشع کمتر در طی مرحله رویشی و مرحله کوتاه‌تر رشد زایشی به دلیل وقوع تنش رطوبتی در زمان گل‌دهی و مراحل بعد از آن باشد. افزایش عملکرد سال دوم آزمایش در سطح آبیاری کامل ناشی از افزایش اجزای عملکرد مانند تعداد سنبله در بوته و وزن هزار دانه در این سطح آبیاری است. در آزمایش دیگری تنش خشکی سبب کاهش عملکرد کمی و کیفی گیاه کینوا گردید (سان و دیگران، ۱۳۹۳). در یک آزمایش میدانی دو ساله تحت شرایط کم‌آبیاری، تولید زیست توده نخود فرنگی در سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹، به ترتیب ۳۹ و ۴۲ درصد کاهش یافت (موسوی و دیگران، ۱۳۹۹). در توجیه کارایی بهتر کود نانو کلات میکرو کامل باید به ساختار آن اشاره کرد، از آنجایی که ذرات نانو دارای ابعاد بسیار ریزی هستند، لذا سطح ویژه بالایی دارند که این امر واکنش پذیری و تحرک بالاتری در گیاه ایجاد می‌کند و باعث می‌شود محلول کود نانو کلات با سرعت و همگنی بالاتر در گیاه توزیع شود، مجموعه این دلایل افزایش پارامترهای مؤثر در اجزای عملکرد را به دنبال دارد و به طور ویژه در شرایط وقوع تنش از گیاه در برابر آسیب‌های جدی محافظت می‌کند. در پژوهشی مشابه کاربرد نانو ذرات موجب افزایش عملکرد لوبیا چشم بلبلی (خلج و دیگران، ۱۳۹۹) گردید. هارسینی و دیگران (۱۳۹۸)، گزارش دادند محلول‌پاشی نانوذرات اثر معناداری بر ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه داشت. به نظر می‌رسد دلیل بیشتر بودن عملکرد دانه در رقم کینوا **Q۱۲** نسبت به رقم کینوا **Q۲۶** متأثر از بیشتر بودن اجزای عملکرد دانه در این رقم باشد. تغییرات عملکرد دانه در این بررسی طی تیمارهای آزمایشی کاملاً با تغییرات اجزای عملکرد مخصوصاً تعداد سنبله در بوته و وزن هزاردانه منطبق بود. وجود اختلاف بین ارقام مختلف از لحاظ میزان عملکرد دانه توسط پورجمشید و دیگران (۱۴۰۰)، نیز گزارش شده است.

جدول ۴- مقایسه میانگین مرکب دو ساله عملکرد دانه کینوا در شرایط کم آبیاری و مصرف نانوکود

عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)		
تیمارهای آزمایشی	سال اول	سال دوم
I ₁ N ₀	a-d ۱۷۳۷/۹۲	a-d ۱۷۸۶/۰۱
I ₁ N ₁	a-d ۱۷۶۱/۳۳	ab ۱۸۹۱/۸۹
I ₁ N ₂	a-d ۱۸۲۲/۶۸	a ۱۹۲۲/۸۲
I ₂ N ₀	c-d ۱۷۰۱/۴۲	a-d ۱۸۳۷/۶۲
I ₂ N ₁	a-d ۱۷۹۴/۴۶	abc ۱۸۶۱/۰۳
I ₂ N ₂	a-d ۱۸۰۳/۳۹	a ۱۹۱۴/۹۳
I ₃ N ₀	e ۱۴۵۲/۱۸	bcd ۱۷۱۹/۳۹
I ₃ N ₁	d ۱۶۶۸/۸۳	a-d ۱۷۳۷/۳۱
I ₃ N ₂	cd ۱۶۹۰/۶۷	bcd ۱۷۲۱/۵۹

سه سطح آبیاری شامل شاهد هر ۱۴ روز (عرف منطقه) (I₁)، ۲۱ (I₂) و ۲۸ (I₃) روز

سه سطح نانوکود شامل عدم مصرف کود (شاهد) (**N₀**)، کود نانو کلات سیلسیم (**N₁**) و کود نانو کلات میکرو کامل

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله داده‌های آزمایش نشان داد که اثرات متقابل سال $\times$ آبیاری $\times$ نانوکود $\times$ رقم بر شاخص برداشت با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول ۳)، بیشترین شاخص برداشت در سال اول آزمایش (۴۰/۹۴ درصد) از تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری، در شرایط مصرف کود نانو کلات سیلسیم از رقم کینوا Q۱۲ به دست آمد. در مقابل کمترین شاخص برداشت در سال اول (۹/۸۱ درصد) در تیمار شاهد هر ۱۴ روز یکبار آبیاری (عرف منطقه)، در شرایط مصرف کود نانو کلات سیلسیم مربوط به رقم کینوا Q۲۶ بود (جدول ۳). احتمالاً تغییرات عملکرد دانه در سال دوم آزمایش همگام با تغییرات عملکرد بیولوژیک بوده و در نتیجه در شاخص برداشت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده است. به نظر می‌رسد در تیمار شاهد هر ۱۴ روز یکبار آبیاری، تاثیر آبیاری بر عملکرد بیولوژیک بیشتر از عملکرد دانه بوده و کاهش نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک، باعث کاهش شاخص برداشت شده است. همچنین شاخص برداشت تقریباً مشابه بین تیمارها می‌تواند ناشی از کاهش اجزاء رویشی و اجزاء عملکرد به یک میزان باشد که در نتیجه باعث تغییرات تقریباً مشابه در شاخص برداشت شده است. با توجه به شرایط نامطلوب به دنبال افزایش دور آبیاری، فرصت کافی برای رشد رویشی گیاه وجود ندارد و در نتیجه گیاه به منظور حفظ بقای خود مواد فتوسنتزی بیشتری را به عملکرد و اجزای عملکرد دانه اختصاص داده است، و بنابراین در این شرایط شاخص برداشت افزایش می‌یابد. این نتیجه مخالف با نتایج طاووسی و سپهوند (۱۳۹۴)، می‌باشد. نتایج حاکی از آن است که تاثیر کود نانو کلات سیلسیم بر شاخص برداشت در سال اول آزمایش نسبت به دیگر تیمارها بهتر بود. این موضوع احتمالاً به دلیل افزایش قابل ملاحظه کارایی مصرف عناصر غذایی با ساختار نانو و متعاقباً افزایش عملکرد محصول خواهد شد. در نتیجه، انتظار می‌رود تولید نهاده‌های کودی با اندازه نانو اثری مفید بر کارایی کودها داشته باشد (مستروناردی و دیگران، ۱۳۹۵). رقم کینوا Q۱۲ در انتقال کربوهیدرات‌ها از اندام‌های سبز گیاه به دانه‌ها نسبت به ارقام دیگر موفق‌تر عمل کرده است. به نظر می‌رسد که رقم کینوا Q۱۲ توانسته است از طریق استفاده بهینه از عوامل محیطی و انتقال مواد فتوسنتزی به سمت دانه شاخص برداشت بالاتری تولید نماید. نتیجه مشابهی توسط نجات زاده (نجات زاده، ۲۰۱۵) نیز گزارش شد.

پرولین

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله داده‌های آزمایش نشان داد که اثرات متقابل سال $\times$ آبیاری $\times$ نانوکود $\times$ رقم بر میزان پرولین با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول ۳)، بیشترین میزان پرولین در سال دوم آزمایش (۰/۲۹۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) از تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری، در شرایط عدم مصرف کود نانو (شاهد) از رقم کینوا Q۲۶ به دست آمد. در مقابل کمترین میزان پرولین در سال دوم (۰/۱۵۲ میلی گرم بر گرم وزن تر) در تیمار شاهد هر ۱۴ روز یکبار آبیاری (عرف منطقه)، در شرایط مصرف کود نانو کلات سیلسیم مربوط به رقم کینوا Q۱۲ بود (جدول ۳). می‌توان

گفت تجمع پرولین در سال دوم آزمایش در شرایط هر ۲۸ روز یکبار آبیاری، به سرعت افزایش می‌یابد و تجمع آن در برگ‌ها، تعادل آبی گیاه را از طریق تعدیل پتانسیل اسمزی حفظ می‌کند. تجمع پرولین نقش مهمی در تنظیم اسمزی، سم زدایی گونه‌های فعال اکسیژن و یکپارچگی غشای گیاهان تحت شرایط تنش ایفا می‌کند. تجمع پرولین به گیاه کمک می‌کند تا در دوره کوتاهی پس از اعمال تنش خشکی زنده مانده و بتواند پس از رفع تنش، رشد خود را بازیابی کند و بنابراین اثر مثبتی بر عملکرد خواهد داشت (دمیرالی، ۲۰۱۳). استفاده از نانوکودها که همه خصوصیات لازم مانند غلظت موثر، قابلیت حل‌پذیری مناسب، ثبات و تاثیرگذاری بالا و رهایش کنترل شده را دارند، سبب افزایش کارایی عناصر غذایی می‌شوند، به طوری که علاوه بر رهاسازی مداوم عناصر غذایی، جذب و انتقال آنها از طریق برگ نیز به سهولت انجام می‌گیرد (سوبرامانیان و دیگران، ۲۰۱۵).

پروتئین

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله داده‌های آزمایش نشان داد که اثرات متقابل سال × آبیاری × نانوکود × رقم بر میزان پروتئین با احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول ۳)، بیشترین میزان پروتئین در سال دوم (۱۸/۶۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) از تیمار شاهد هر ۱۴ روز یکبار آبیاری (عرف منطقه)، در شرایط مصرف کود نانو کلات میکرو کامل از رقم کینوا Q۱۲ به دست آمد. در مقابل کمترین میزان پروتئین در سال دوم (۱۲/۷۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) در تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری، در شرایط عدم مصرف کود نانو (شاهد) مربوط به رقم کینوا Q۲۶ بود (جدول ۳). گیاه جدید کینوا ضمن دارا بودن پروتئین بالا نسبت به شرایط نامساعد محیطی متحمل بوده و امکان تولید اقتصادی در چنین اراضی را خواهد داشت (رزاقی و دیگران، ۲۰۱۲). نانوکودها حامل‌های عناصر غذایی در ابعاد ۳۰ تا ۴۰ نانومتر (10^{-9} متر) هستند و توانایی حمل مناسب یون‌های عناصر غذایی را به علت سطح ویژه زیاد دارند (دروسا و دیگران، ۲۰۱۲؛ سوبرامانیان و دیگران ۲۰۱۰). تیمارهای نانو موجب افزایش رنگدانه‌ها، مقدار پروتئین و قند و فعالیت‌های نیتрат ریداکتاز و دیگر آنزیم‌های آنتی اکسیدانت شد (سینگ و دیگران، ۲۰۱۳).

آنزیم کاتالاز

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله داده‌های آزمایش نشان داد که اثرات متقابل سال × آبیاری × نانوکود × رقم بر غلظت آنزیم کاتالاز با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول ۳)، بیشترین غلظت آنزیم کاتالاز در سال اول (۱/۲۳ ادسی بر گرم وزن تر در دقیقه^۱) در تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری، در شرایط مصرف کود نانو کلات سیلسیم از رقم کینوا Q۲۶ به دست آمد. در مقابل کمترین غلظت آنزیم کاتالاز در سال اول (۰/۷۶۶ ادسی بر گرم وزن تر در دقیقه) از تیمار شاهد هر ۱۴

¹.OD.g⁻¹.FW.min⁻¹

روز یکبار آبیاری (عرف منطقه)، در شرایط عدم مصرف کود نانو (شاهد) مربوط به رقم کینوا Q۱۲ بود (جدول ۳). بر اساس نتایج بدست آمده، افزایش دور آبیاری باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز مانند سایر آنزیم‌های آنتی اکسیدانت گردید و کود نانو کلات سیلسیم باعث افزایش فعالیت آنزیم‌ها برای دفاع گیاه در شرایط کم آبیاری شد، به عبارت دیگر گیاه به منظور تجزیه پراکسید هیدروژن و افزایش تحمل در مقابل رادیکال‌های فعال اکسیژن، بایستی غلظت این آنزیم را افزایش دهد. آنزیم کاتالاز به عنوان یک آنزیم محافظتی در سیستم دفاع آنتی اکسیدانت باعث تجزیه پراکسید هیدروژن می‌شود (ایلکایی و دیگران، ۲۰۱۰). توان و همکاران (توان و دیگران، ۲۰۱۴)، رفتار نانو ذرات مولیبدن را به عنوان منبع عنصر غذایی کم مصرف مولیبدن برای نخود مورد مطالعه قرار دادند. بررسی آنها نشان داد که در مقایسه با شاهد (بدون مولیبدن)، تمام تیمارهای نانو ذرات مولیبدن با غلظت‌هایی در گستره ۰/۱۰۰۰۰ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر فعالیت آنزیم آنتی اکسیدان را در نخود دو تا سه برابر افزایش داد که موجب افزایش مقاومت گیاه به عوامل تنش زا شد.

نتایج و بحث

آنزیم پرکسیداز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که میزان آنزیم پرکسیداز در سال اول آزمایش تحت تاثیر متقابل آبیاری × نانوکود، تاثیر متقابل آبیاری × رقم و همچنین تاثیر متقابل نانوکود × رقم با احتمال خطای پنج و یک درصد، و در سال دوم آزمایش تحت تاثیر متقابل آبیاری × نانوکود × رقم با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری × نانوکود در سال اول آزمایش (جدول ۶)، نشان داد که بیشترین میزان آنزیم پرکسیداز (۰/۰۸۷۵ میلی گرم بر گرم وزن تر) از تیمار شاهد هر ۱۴ روز یکبار آبیاری (عرف منطقه) و در شرایط مصرف کود نانو کلات میکرو کامل به دست آمد. در مقابل کمترین میزان آنزیم پرکسیداز در سال اول آزمایش (۰/۰۶۸۷ میلی گرم بر گرم وزن تر) در تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری و در شرایط عدم مصرف کود نانو (شاهد) مشاهده شد (جدول ۶). همچنین بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری × رقم (جدول ۷)، بیشترین میزان آنزیم پرکسیداز (۰/۰۸۴۸ میلی گرم بر گرم وزن تر) از تیمار شاهد هر ۱۴ روز یکبار آبیاری (عرف منطقه) و از رقم کینوا Q۱۲ حاصل شد. در مقابل کمترین میزان آنزیم پرکسیداز (۰/۰۷۶۳ میلی گرم بر گرم وزن تر) در تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری مربوط به رقم کینوا Q۲۶ بود (جدول ۷). علاوه بر این نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل نانوکود × رقم (جدول ۸)، بیشترین میزان آنزیم پرکسیداز (۰/۰۸۶۳ میلی گرم بر گرم وزن تر) در شرایط مصرف کود نانو کلات میکرو کامل از رقم کینوا Q۱۲ به دست آمد. در مقابل کمترین میزان آنزیم پرکسیداز (۰/۰۷۲۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) در شرایط عدم مصرف کود نانو (شاهد) مربوط به رقم کینوا Q۲۶ بود (جدول ۸). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل در سال دوم (جدول ۹)، بیشترین میزان آنزیم پرکسیداز (۰/۰۹۴۰ میلی گرم بر گرم وزن تر) از تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری، در شرایط مصرف کود نانو کلات میکرو کامل از رقم کینوا Q۱۲ به دست آمد. در مقابل کمترین

میزان آنزیم پرکسیداز در سال دوم آزمایش (۰/۰۶۲۷ میلی گرم بر گرم وزن تر) در تیمار شاهد هر ۱۴ روز یکبار آبیاری (عرف منطقه)، در شرایط عدم مصرف کود نانو (شاهد) مربوط به رقم کینوا Q۲۶ بود (جدول ۹). کود نانو کلات میکرو کامل باعث افزایش فعالیت آنزیم‌ها برای دفاع گیاه در شرایط کم آبیاری شد. کودهای نانو دارای نقش‌های کاتالیزوری و تنظیم کنندگی بوده و به عنوان فعال کننده آنزیمی عمل می‌نمایند. در آزمایش دیگری تنش خشکی آنزیم‌های آنتی اکسیدان و مالون دی آلدئید را در گشنیز افزایش داد، همچنین برهمکنش آبیاری و سلنیوم اثر بسیار معنی‌داری بر آنزیم سوپراکسید دیسموتاز داشت (بوییک و دیگران، ۲۰۱۳). جوادی مقدم و و دیگران ۲۰۱۵ برای بررسی اثر محلول پاشی غلظت‌های مختلف نانوکود کلات آهن و روی بر رشد و عملکرد گیاه خیار، یک آزمایش گلخانه‌ای انجام دادند. بالاترین تعداد میوه و گل، کلروفیل و غلظت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در غلظت‌های دو میلی گرم در لیتر آهن و ۲/۵ میلی گرم در لیتر روی به دست آمد. مطالعه نشان داد که محلول پاشی نانوکود کلات آهن و روی می‌تواند رشد و عملکرد این گیاه را بهبود بخشد.

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات دو رقم کینوا در شرایط کم آبیاری و مصرف نانوکود

میانگین مربعات					
کلروفیل کل		پروکسیداز		درجه آزادی	
سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول		
NS۰/۰۰۱۸	NS۰/۰۰۸۱	NS۰/۰۰۰۰۰۷۹	NS۰/۰۰۰۰۰۴۸	۲	منع تغییرات
NS۰/۰۰۷۷	**۰/۰۷۱۳	**۰/۰۰۰۰۰۷۷۰	**۰/۰۰۰۰۱۸۱۷	۲	آبیاری
NS۰/۰۰۳۹	NS۰/۰۰۲۰	*۰/۰۰۰۰۰۲۷۷	NS۰/۰۰۰۰۰۳۵۰	۴	تکرار (سال)
NS۰/۰۱۸۲	**۰/۱۳۰۹	NS۰/۰۰۰۰۰۰۹	**۰/۰۰۰۰۱۹۸۷	۲	نانوکود
NS۰/۰۱۲۴	NS۰/۰۰۱۴	NS۰/۰۰۰۰۰۰۹	NS۰/۰۰۰۰۰۰۵	۱	رقم
**۰/۰۰۴۱۱	**۰/۱۲۷۴	**۰/۰۰۰۰۴۴۲۷	*۰/۰۰۰۰۴۷۹	۴	آبیاری × نانوکود
**۰/۱۷۵۵	**۰/۶۶۸۴	**۰/۰۰۰۱۴۴۹	**۰/۰۰۰۱۶۳۵	۲	آبیاری × رقم
**۰/۰۸۷۶	**۰/۵۲۶۷	**۰/۰۰۰۰۷۵۶۱	**۰/۰۰۰۰۷۴۸	۲	نانوکود × رقم
*۰/۰۱۸۹	**۰/۰۶۳۹	**۰/۰۰۰۰۲۰۳۰	NS۰/۰۰۰۰۰۳۱۸	۴	آبیاری × نانوکود × رقم
۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۰۰۱۰۳	۰/۰۰۰۰۱۳۳	۳۰	خطای آزمایشی
۶/۲۱	۵/۲۳۰	۴/۰۵	۴/۴۱	-	ضریب پراکندگی (%)

NS: غیر معنی‌دار؛ * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۶- مقایسه میانگین غلظت آنزیم پرکسیداز کینوا در شرایط کم آبیاری و مصرف نانوکود

پرسیداز (میلی گرم بر گرم وزن تر)

تیمارهای آزمایشی

سال اول		
۰/۰۸۱۲	b	I ₁ N ₀
۰/۰۸۲۲	b	I ₁ N ₁
۰/۰۸۷۵	a	
۰/۰۷۱۳	cd	I ₂ N ₀
۰/۰۸۱۷	b	I ₂ N ₁
۰/۰۸۴۷	ab	I ₂ N ₂
۰/۰۶۸۷	d	I ₃ N ₀
۰/۰۷۴۵	c	I ₃ N ₁
۰/۰۸۲۲	b	I ₃ N ₂

سه سطح آبیاری شامل شاهد هر ۱۴ روز (عرف منطقه) (I₁)، ۲۱ (I₂) و ۲۸ (I₃) روز
سه سطح نانوکود شامل عدم مصرف کود (شاهد) (N₀)، کود نانو کلات سیلیم (N₁) و کود نانو کلات میکرو کامل (N₂)

جدول ۷- مقایسه میانگین غلظت آنزیم پرکسیداز دو رقم کینوا در شرایط کم آبیاری
تیمارهای آزمایشی پرکسیداز (میلی گرم بر گرم وزن تر)

سال اول		
۰/۰۸۴۸	a	I ₁ Q ₁
۰/۰۷۸۶	bc	I ₁ Q ₂
۰/۰۸۰۷	b	I ₂ Q ₁
۰/۰۷۶۴	c	I ₂ Q ₂
۰/۰۷۹۱	bc	I ₃ Q ₁
۰/۰۷۶۳	c	I ₃ Q ₂

سه سطح آبیاری شامل شاهد هر ۱۴ روز (عرف منطقه) (I₁)، ۲۱ (I₂) و ۲۸ (I₃) روز
دو رقم کینوا شامل Q12 و Q26

جدول ۸- مقایسه میانگین غلظت آنزیم پرکسیداز دو رقم کینوا در شرایط مصرف نانوکود

تیمارهای آزمایشی		پرکسیداز (میلی گرم بر گرم وزن تر)	
سال اول			
N₀Q₁	b	۰/۰۸۰۴	
N₀Q₂	c	۰/۰۷۲۶	
N₁Q₁	a	۰/۰۸۵۳	
N₁Q₂	c	۰/۰۷۳۶	
N₂Q₁	a	۰/۰۸۶۳	
N₂Q₂	b	۰/۰۷۷۷	

سه سطح نانوکود شامل عدم مصرف کود (شاهد) (**N₀**)، کود نانو کلات سیلیم (**N₁**) و کود نانو کلات میکرو کامل (**N₂**) دو رقم کینوا شامل **Q12** و **Q26**

جدول ۹- مقایسه میانگین صفات دو رقم کینوا در شرایط کم آبیاری و مصرف نانوکود

پرکسیداز (میلی گرم بر گرم وزن تر)		کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم وزن تر)	
تیمارهای آزمایشی	سال اول	سال دوم	سال اول
I₁N₀Q₁	-	bc	def
I₁N₀Q₂	-	f	h
I₁N₁Q₁	-	a	ab
I₁N₁Q₂	-	ef	g
I₁N₂Q₁	-	a	a
I₁N₂Q₂	-	ef	abcd
I₂N₀Q₁	-	ef	ef
I₂N₀Q₂	-	f	h
I₂N₁Q₁	-	ab	abc
I₂N₁Q₂	-	def	g
I₂N₂Q₁	-	a	ab
I₂N₂Q₂	-	cd	bcde
I₃N₀Q₁	-	ef	f
I₃N₀Q₂	-	g	h
I₃N₁Q₁	-	ef	cde
I₃N₁Q₂	-	ef	h
I₃N₂Q₁	-	a	bcde
I₃N₂Q₂	-	de	f

سه سطح آبیاری شامل شاهد هر ۱۴ روز (عرف منطقه) (**I₁**)، ۲۱ (**I₂**) و ۲۸ (**I₃**) روزسه سطح نانوکود شامل عدم مصرف کود (شاهد) (**N₀**)، کود نانو کلات سیلیم (**N₁**) و کود نانو کلات میکرو کاملو رقم کینوا شامل **Q12** و **Q26**

کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در هر دو سال آزمایش نشان داد که اثرات متقابل آبیاری $\times$ نانوکود $\times$ رقم بر میزان کلروفیل کل با احتمال خطای یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول ۹)، بیشترین میزان کلروفیل کل در سال اول (۱/۵۲۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و در سال دوم آزمایش (۱/۳۸۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمار شاهد هر ۱۴ روز یکبار آبیاری (عرف منطقه)، در شرایط مصرف کود نانو کلات میکرو کامل از رقم کینوا Q۱۲ به دست آمد. در مقابل کمترین میزان کلروفیل کل در سال اول (۰/۷۶۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و سال دوم آزمایش (۰/۹۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری، در شرایط عدم مصرف کود نانو (شاهد) مربوط به رقم کینوا Q۲۶ بود (جدول ۹). به نظر می‌رسد در تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری، کاهش آبیاری باعث کاهش رنگرزه‌های برگ کینوا شده و در نتیجه، کاهش میزان کلروفیل در این گیاه را به همراه داشته است. علت کاهش میزان کلروفیل کینوا در اثر تنش خشکی را می‌توان به تخریب غشای تیلاکوئیدهای کلروپلاست، اکسیداسیون نوری کلروفیل در اثر افزایش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز نسبت داد (هینوجوزا و دیگران، ۲۰۱۸). در آزمایش جمالی و دیگران، ۲۰۲۰ در بررسی اثر تنش آبی بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه کینوا، نتایج نشان داد که افزایش آب آبیاری منجر به افزایش کلروفیل برگ و محتوای نسبی آب برگ شد. بیشترین میزان کلروفیل کل در شرایط مصرف کود نانو کلات میکرو کامل به دست آمد. این امر می‌تواند به دلیل افزایش جذب مواد غذایی باشد که موجب افزایش کلروفیل و فتوسنتز گیاه شده و از این طریق رشد گیاه را افزایش داده است. گزارش شده که نانو کودها به دلیل افزایش سطح تماس و امکان انجام واکنش‌های متابولیکی در گیاه موجب بهبود فتوسنتز، افزایش تولید ماده خشک و در نهایت افزایش عملکرد می‌گردد سینگ و دیگران، ۲۰۱۷). نتایج توان و دیگران، ۲۱۰۴ نشان داد که کاربرد نانو کود پتاسیم در گندم موجب افزایش معنی‌داری در محتوای کلروفیل در مقایسه با شاهد شد. می‌توان گفت علت بیشتر بودن میزان کلروفیل در رقم کینوا Q۱۲ مربوط به صفات ژنتیکی و فیزیولوژیک این رقم است که احتمالاً مرتبط با افزایش رشد رویشی و تولید برگ و سطح فتوسنتز کننده بیشتر آن است. زمانی که گیاه رشد رویشی خوبی داشته باشد امکان بهره‌برداری مناسب تر از نهاده‌های محیطی مثل آب، نور و غیره را پیدا می‌کند. بنابراین سطح فتوسنتز کننده در این گیاهان افزایش می‌یابد و متعاقب آن دی اکسیدکربن بیشتری تثبیت شده و مواد غذایی بیشتری ساخته می‌شود و نهایتاً بیوماس تولیدی گیاه بیشتر خواهد بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که استفاده از کودهای نانو در شرایط آبیاری کامل به دلیل رساندن سریع عناصر غذایی کارایی جذب عناصر افزایش یافته و در نتیجه از طریق فراهمی عناصر میکرو و افزایش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی باعث بهبود عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، میزان کلروفیل کل، شده است. به طور کلی جهت رسیدن به حداکثر عملکرد دانه شرایط هر ۱۴ روز یکبار آبیاری (عرف منطقه)، و مصرف کود نانو کلات میکرو کامل در رقم کینوا Q۱۲ برای کشت در منطقه پیشنهاد می‌شود.

منابع

- Arnon, D.I. 1965. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol-oxidase in Beta vulgaris. *Plant Physiology*, 24: 1-15.
- Bagheri, E., Masood Sinaki, J., Baradaran Firoozabadi, M., Abedini Esfhlani, M. 2013. Evaluation of salicylic acid foliar application and drought stress on the physiological traits of sesame (*Sesamum indicum*) cultivars. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 3(4): 809-816. (In Persian).
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *J. Plant Soil* 39: 205-207.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 74: 248-254.
- Buick, Z., Hassanpoure Darvishi, H., Mozafari, H. and Habibi, D. 2013. Effect of selenium foliar application on antioxidant enzymes activity and mda in coriander (*Coriandrum sativum* L.) medicinal plant under drought stress conditions. *Journal of Crop Production Research (Environmental Stresses in Plant Sciences)*, 5(1), 35-48. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=364168>
- Cakmak, I. and Horst, W. 1991. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tip of soybean (*Glysin max*). *Plant Physiol.* 83:463-468.
- Chance, B. and Maehly, C. 1995. Assay of catalase and peroxidase. *Methods in Enzymology*, 11: 755-764.
- Demiralay, M., Sağlam A, and Kadioğlu, A. 2013. Salicylic acid delays leaf rolling by inducing antioxidant enzymes and modulating osmoprotectant content in *Ctenanthe setosa* under osmotic stress. *Turkish Journal of Biology*, 37(1): 49-59.
- Eisvand, H., Esmaeili, A., Mohammadi, M. 2014. Effects of iron oxide nanoparticles on some quantity, quality and physiological characteristics in wheat (*Triticum aestivum* L.) at Khoramabad climate. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 45(2), 287-298. doi: 10.22059/ijfcs.2014.51907
- Elewa, T. A., Sadak, M. S. and Dawood, M. G. 2017. Improving drought tolerance of quinoa plant by foliar treatment of trehalose. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19: 245-254.
- Ezati, N., Maleki, A., and Fathi, A. 2020. Effect of drought stress and spraying of gibberellic acid and salicylic acid on the quantitative and qualitative yield of canola (*Brassica napus*). *Journal of Plant Environmental Physiology*, 14(56), 94-109. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=729998>
- Fathi, A and Kardoni, F. 2020. The importance of quinoa (*Quinoa Chenopodium willd.*) cultivation in developing countries: A review. *Cercetari Agronomice în Moldova*. 3 (183): 337- 356.
- Goldberger, J.R. and Detjens, A.C. 2019. Organic farmers' interest in quinoa production in the 662 western United States. *Food Studies: An Interdisciplinary Journal*. 9 (3):17-35.
- Harsinia MG, Habibib H, Talaei GH. 2014. Study the effects of iron nano chelated fertilizers foliar application on yield and yield components of new line of wheat cold region of kermanshah provence. *Agricultural Advances* 3(4): 95-102.

- Hinojosa, L., Gonzalez, J., Barrios-Masias, F., Fuentes, F., and Murphy, K. 2018. Quinoa abiotic stress responses: A review. *Plants* 7(4):106-138.
- Ilkaee, M., Habibi, D., Paknejad, F., Khodabandeh, N., Aliakbar Bujar, M., and Sedighi, P. 2010. Effect of chloro cholin chloride (CCC) and spraying time on yield, physiological traits and antioxidant enzyme activity of corn (*Zea mays* cv. SC 704). *Agroecology Journal (Journal of New Agricultural Science)*, 6(19), 11-18. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=201419>
- Jamali, S., Goldani, M., and Zeynodin, S. 2020. Evaluation the effects of periodic water stress on yield, yield components and water productivity on quinoa. *Iranian Journal Of Irrigation And Drainage*, 13(6), 1687-1697. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=718719>
- Javadi Moghadam A, Ladan Moghadam A, Danaee E. 2015. Response of Growth and Yield of Cucumber Plants (*Cucumis sativus* L.) to Different Foliar Applications of Nano- Iron and Zinc. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* 9 (9): 1477-1478.
- Khalaj H, Baradarn Firouzabadi M, Delfani M. 2020. Effect of Nano Iron and Magnesium Chelate Fertilizers On On Growth And Grain Yield Of *Vigna Sinensis* L. *J. Plant Proc. Func.* 9(35): 161-177
URL: <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1120-en.html>
- Liu R and Lal R, 2014. Synthetic apatite nanoparticles as a phosphorus fertilizer for soybean (*Glycine max*). *Scientific Reports*, 4: 5686-5691.
- Maleki, A., Heidari, A., Siadat, A., Tahmasebi, A. and Fathi, A. 2011. Effect Of Supplementary Irrigation On Yield, Yield Components And Protein Percentages Of Chickpea Cultivars In Ilam, Iran. *Journal of Crop Ecophysiology (Agriculture Science)*, 5(19), 65-77. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=296264>
- Mastronardi E, Tsae P, Zhang X, Monreal C and DeRosa MC, 2015. Strategic Role of Nanotechnology in Fertilizers: Potential and Limitations. *Nanotechnologies in Food and Agriculture*. Rai, M., N. Duran, C. Ribeiro, L. Mattoso. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. Springer International Publishing Switzerland.
- Mousavi, S. A., Shokuhfar, A., Lak, S., Mojaddam, M., and Alavifazel, M. 2020. Integrated application of biochar and bio-fertilizer improves yield and yield components of Cowpea under water-deficient stress. *Italian Journal of Agronomy*, 15(2), 94-101. <https://doi.org/10.4081/ija.2020.1581>
- Nejatzadeh, F. 2015. Effect Of Biological And Chemical Nitrogen Fertilizers On Growth, Yield And Essential Oil Composition Of Dill (*Anethum Graveolens* L.). *New Cellular and Molecular Biotechnology Journal*, 5(19), 77-84. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=518402>
- Payandeh, K. and Derogar, N. 2020. Investigation quantitative and qualitative yield of maize (*Zea mayz* L.) under different irrigation intervals and mycorrhizal fungi and bacteria fertile phosphate. *Crop Physiology*, 11(4 (44)), 129-142. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=787108>
- Payandeh, K., Mojdam, M., and Derogar, N. 2018. Application Of Micronutrient Elements On Quantitative And Qualitative Yield Of Rapeseed Under Drought Tension Conditions. *Crop Physiology*, 10(38), 23-37. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=668521>

- Pourjamshid, S. 2021. Study the effect of iron, zinc and manganese foliar application on morphological and agronomic traits of bread wheat (*Chamran cultivar*) under different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(1): 109-118. <http://doi:10.22077/escs.2020.2448.1643>
- Raeesi Sadati, S., Jahanbakhsh Godekahriz, S., Ebadi, A., and Sedghi, M. 2020. Effect of zinc nano oxide foliar application yield and physiological traits wheat under drought stress. *Crop Physiology*, 12(2(46)), 45-64. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=787629>
- Rawat S, Adisa IO, Wang Y, Sun Y, Fadil AS, Niu G, Sharma N, Hernandez-Viezcás JA, Peralta-Videa JR, Gardea-Torresdey JL, 2019. *Differential* physiological and biochemical impacts of nano vs. micron Cu at two phenological growth stages in bell pepper (*Capsicum annuum*) plant. *Nano Impact*, 14: 100-161.
- Razzaghi, F., Plauborg, F., Jacobsen, S.E., Jensen, CH.R. and Andersen, M.N. 2012. Effect of nitrogen and water availability of three soil types on yield, radiation use efficiency and evapotranspiration in field-grown quinoa. *Agricultural Water Management*. 109(2012) 20-29.
- Singh MD, Chirag G, Prakash PO, Mohan MH, Prakasha G, Wajith, V. 2017. Nano fertilizers is a new way to increase nutrients use efficiency in crop production. *International Journal of Agriculture Sciences*, 9 (7): 3831-3833.
- Singh NB, Amist N, Yadav K, Singh D, Pandey JK, Singh SC 2013. Zinc oxide nanoparticles as fertilizer for the germination, growth and metabolism of vegetable crops. *Journal of Nanoengineering and Nanomanufacturing* 3:353-364.
- Subramanian K. S., Manikandan A, Thirunavukkarasu M. and Rahale C.S. 2015. Nano-fertilizers for Balanced Crop Nutrition. In: Rai M., Ribeiro, C., Mattoso L., Duran N. *Nanotechnologies in Food and Agriculture*. Springer. Cham Heidelberg New York.
- Subramanian KS and Thirunavukkarasu M, 2017. Nano-fertilizers and Nutrient Transformations in Soil. In: Ghorbanpour, M, Khanuja, M, Varma, A (Eds.). *Nanoscience and Plant–Soil Systems*. *Soil Biology*, 48: 305-318.
- Sun, Y., Liu, F., Bendevis, M., Shabala, S. and Jacobsen, S. E. 2014. Sensitivity of two quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties to progressive drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 200(1): 12-23.
- Tavan, T., M. Niakan, and A.A. Norinia. 2014. Effect of nano-potassium fertilizer on growth parameters, photosynthetic system and protein content of wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. N8019. *Journal of Plant Environmental Physiology*. 9(3): 61-71. (In Persian).
- Tavousi, M. and Sepahvand, N.A. 2014. Effect of planting date on yield and phenological and morphological characteristics of different genotypes of new quinoa plant in Khuzestan, 1st International Congress and 13th Iranian Genetics Congress, Tehran, <https://civilica.com/doc/328023>
- Yang, A., Akhtar, S.S., Amjad, M., Iqbal, S. and Jacobsen, S. E. 2016. Growth and physiological responses of quinoa to drought and temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 202(6), 445-453.
- Ziaei, S., & Salimi, K., & Amiri, S. 2020. Investigation of quinoa cultivation (*Chenopodium quinoa* Willd.) under different irrigation intervals and foliar application in saravan region. *Crop Physiology*, 12(1(45)), 113-125. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=78749>

Investigation of the effect of nanofertilizers on yield and yield components of two quinoa cultivars under drought stress conditions

Afsaneh Esmailzahi^{1*}, Ahmad Mehraban², Hamidreza Mobasser², Hamidreza Ganjali²

Received: 11 Oct. 2023

Accepted: 14 Feb. 2024

Abstract

This research was conducted during two crop years of 2019 and 2020 in the station of Bahoukalat Agricultural and Natural Resources Research Center of Chabahar city as a factorial split experiment in the form of a randomized complete block design with three replications. In this experiment, three levels of irrigation (control of every 14 days (regional custom), 21 and 28 days) were considered as the main factor and three levels of nano-fertilizer (no fertilizer (control), silicon chelate nano-fertilizer and complete micro-chelate nano-fertilizer in the amount of two Per thousand) and two cultivars of quinoa (Q12 and Q26) were as sub-factors. The results of comparing the means showed that the highest grain yield ($1922.82 \text{ kg ha}^{-1}$) and the highest protein content ($18.66 \text{ mg g}^{-1} \text{ FW}$) in the second year and the highest biological yield ($17890.5 \text{ kg ha}^{-1}$) and the total chlorophyll content ($1.526 \text{ mg g}^{-1} \text{ FW}$) in the first year were obtained from the control treatment of irrigation of every 14 days (local custom), under the conditions of application of complete micro chelate nano-fertilizer from quinoa Q12 cultivar. The highest proline content ($0.296 \text{ mg g}^{-1} \text{ FW}$) in the second year of the experiment in the absence of nano-fertilizer (control) and the highest concentration of catalase ($1.23 \text{ OD g}^{-1} \text{ FW min}^{-1}$) in the first year in the conditions of use Silicon chelate nano-fertilizer was observed in the irrigation once every 28 days for quinoa Q26 cultivar. In general, in order to achieve maximum grain yield, irrigation conditions of every 14 days (custom of the region), and application of complete micro chelate nano-fertilizer in quinoa Q12 cultivar are recommended for cultivation in the region.

Keywords: Q12, Proline, Grain yield, Catalase, Deficit irrigation, Nano chelate

1. Department of Agronomy, Zahedan branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran.

Corresponding Author: afsaneh.esmaielzahi@iauzah.ac.ir

2. Department of Agronomy, Zahedan branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran.