

واکنش کمی و کیفی ارقام کینوا به دور آبیاری و نانوکود

افسانه اسمعیل زهی^۱، احمد مهربان^{۲*}، حمیدرضا مبصر^۳، حمیدرضا گنجعلی^۲، خالد میری^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران

۲- گروه زراعت، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران

۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بلوچستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایرانشهر، ایران

* مسئول مکاتبه: Ahmadmh2004@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.318837.1164

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۷

چکیده

این پژوهش طی دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی باهوکلات شهرستان چابهار به صورت آزمایش اسپیلت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. آبیاری در سه سطح (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 (Q26 و Q12) به عنوان عامل‌های فرعی بودند. 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 به سوی دانه و اجزای عملکرد دانه باعث بهبود تعداد دانه در سنبله (۱۵/۶ عدد)، وزن هزاردانه (۲/۴۴ گرم) و عملکرد دانه (۹۲۳ کیلوگرم در هکتار) 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 Q12 برای کشت در منطقه پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، رقم Q12، عملکرد دانه، کلروفیل، نانو کلات

مقدمه

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 (Payandeh and Derogar, 2018).

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 (Liu and Lal, 2014). 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 مؤثر است. کودهای نانو پتانسیل استفاده به عنوان یک محرک رشد گیاه را دارند و می‌توانند تبادل گازی گیاه و کارایی ریشه را افزایش دهند (Rawat et al., 2019). استفاده از نانوکودها سبب افزایش کارایی عناصر غذایی می‌شوند، به‌طوری‌که علاوه بر

کینوا^۱ گیاهی پهن‌برگ از خانواده اسفناج^۲ است که به عنوان گیاه نسبتاً جدید، توجه بسیاری از پژوهش‌گران را به خود جلب کرده است (Goldberger and Detjens, 2019). با توجه به اهمیت و ارزش غذایی که گیاه کینوا دارد سازمان ملل سال ۲۰۱۳ را سال بین‌المللی کینوا نام‌گذاری کرده است. با این حال 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 (Fathi and Kardoni, 2020). تنش خشکی بسیاری از ویژگی‌های مورفولوژیک و فرآیندهای فیزیولوژیک مرتبط با رشد و نمو گیاه را مختل می‌کند (Raeesi Sadati et al., 2020). در حقیقت عملکرد محصولات زراعی توسط تنش‌های محیطی محدود شده و به همین دلیل اختلاف قابل توجهی بین عملکرد بالقوه و عملکرد واقعی محصولات

1. *Chenopodium quinoa* Willd
2. *Chenopodiaceae*

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 زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه منابع می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی واکنش کمی و کیفی ارقام کینوا به دور آبیاری و نانوکود، طی دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی باهوکلکات شهرستان چابهار انجام شد. منطقه باهوکلکات 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 فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical characteristics of soil

نیترژن N (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	بافت خاک Soil Texture
0.03	7.4	60	7.10	7.35	13	69	18	سیلتی لوم Loam silty

صدور احرار 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 Q12 و Q26 بودند که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان ایرانشهر تهیه شد. ارقام کینوا Q12 و Q26 به ترتیب به طور میانگین با ارتفاع بوته ۱۳۶ و ۱۳۲ سانتی‌متر و وزن هزاردانه ۲/۴۷ و ۲/۷۸ گرم دارای عملکرد دانه

رهایساز می‌مدام 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 (Subramanian and Thirunavukkarasu, 2017). بنابراین مدیریت تغذیه در گیاهان زراعی یکی از مهم‌ترین عواملی است که بر رشد و تولید اثر می‌گذارد (Karami et al., 2018).

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، مدیریت آب از اهمیت بالایی برخوردار است و باید سعی در استفاده بهینه و مطلوب از منابع آب شود. در چنین شرایطی استفاده از گیاه جدید کینوا به عنوان گیاهی متحمل به تنش‌های محیطی، یک راهکار کارآمد برای افزایش تولیدات زراعی است. لذا شناخت نیازهای اکولوژیکی گیاه کینوا یکی از الزامات اساسی در توسعه کشت آن می‌باشد. بنابراین، هدف پژوهش حاضر

این پژوهش به صورت آزمایش اسپیلت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. با توجه به سابقه کشت‌های انجام شده در منطقه و نظر کارشناسان ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی باهوکلکات شهرستان چابهار و هم‌چنین با کمک از تحقیق مشابه (Beyrami et al., 2020) 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 سیلیسیم و نانو کود کلات میکرو کامل به میزان دو در هزار) و دو رقم کینوا (Q12 و Q26) به عنوان عامل‌های فرعی بودند. کودهای نانو مورد نیاز در این آزمایش از شرکت دانش بنیان

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.

میزان کلروفیل و کارتنوئیدها، توسط اسپکتوفتومتر با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1965) بدست آمد. به این منظور زمانی که گیاهان در فاز رویشی قرار داشته و هنوز وارد مرحله گل‌دهی نشده بودند انتخاب و برگ‌هایی که طول آن‌ها بیش از پنج سانتی‌متر بود، به عنوان برگ کامل در نظر گرفته شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار 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 معنی‌دار شدن ضریب کای اسکور برای صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت، وزن هزاردانه، کلروفیل b و کارتنوئید، آنالیز تجزیه مرکب برای آن‌ها انجام شد (جدول ۴). اما ضریب کای اسکور برای دیگر صفات معنی‌دار بود و در نتیجه دو سال به طور جداگانه مورد بحث و تفسیر قرار گرفتند (جدول ۲).

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در هر دو سال آزمایش نشان داد که اثرات متقابل آبیاری × نانوکود × رقم بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول ۳)، بیشترین ارتفاع بوته در سال دوم (۶۷/۸ سانتی‌متر) و در سال اول آزمایش (۶۱/۱ سانتی‌متر) از تیمار شاهد هر ۱۴ روز یکبار آبیاری (عرف منطقه)، در شرایط مصرف کود نانو کلات میکرو کامل از رقم کینوا Q12 به دست آمد.

۹۸۶ و ۱۳۲۰ کیلوگرم در هکتار بوده که پس از گذراندن یک دوره زمانی ۱۱۸ و ۱۰۸ روزه قابل برداشت می‌باشند (Bagheri et al., 2021).

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 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 (۱۶/۶ 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 به صورت وجین دستی و در طی کل دوره رویشی صورت گرفت. تیمارهای دور آبیاری پس از مرحله ساقه رفتن اعمال شدند. کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار در ۲ مرحله به صورت یک‌دوم کود در مرحله ۶ تا ۸ برگی و یک‌دوم باقی‌مانده قبل از گل‌دهی با آب آبیاری وارد خاک شد.

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک و هنگامی که بوته‌های کینوا کاملاً زرد هستند و دانه‌های درون خوشه به راحتی با دست جدا می‌شوند، 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، ساقه، سنبله (زیست‌توده 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

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

Table 2- Analysis of variance of traits of two quinoa cultivars under low irrigation and use of nanofertilizer

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares									
		ارتفاع بوته Plant height		تعداد سنبله در بوته Number of spikes per plant		تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike		کلروفیل a Chlorophyll a		کلروفیل کل Total chlorophyll	
		سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year
		سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year
سال Year	2	18.0 *	15.0 ^{ns}	0.36 ^{ns}	0.54 ^{ns}	0.48 ^{ns}	0.49 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.001 ^{ns}
آبیاری Irrigation	2	219 **	883 **	4.24 ^{ns}	1.47 ^{ns}	17.5 **	4.06 **	0.03 **	0.004 ^{ns}	0.07 **	0.007 ^{ns}
تکرار (سال) Replication (year)	4	26.3 **	20.6 **	12.1 **	0.03 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.004 ^{ns}
نانوکود Nanofertilizer	2	61.8 **	32.3 **	2.70 ^{ns}	0.35 ^{ns}	13.2 **	0.50 ^{ns}	0.05 **	0.002 ^{ns}	0.13 **	0.01 ^{ns}
رقم Cultivars	1	0.64 ^{ns}	2.32 ^{ns}	2.32 ^{ns}	2.36 *	1.88 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.01 ^{ns}
آبیاری × نانوکود Irrigation × Nanofertilizer	4	63.5 **	239 **	2.36 ^{ns}	0.07 ^{ns}	17.8 **	1.70 *	0.08 **	0.02 **	0.12 **	0.04 **
آبیاری × رقم Irrigation × Cultivars	2	32.9 **	9.44 ^{ns}	3.12 ^{ns}	0.41 ^{ns}	2.44 *	0.42 ^{ns}	0.31 **	0.03 **	0.66 **	0.17 **
نانوکود × رقم Nanofertilizer × Cultivars	2	102 **	287 **	0.47 ^{ns}	1.42 ^{ns}	1.16 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.24 **	0.01 ^{ns}	0.52 **	0.08 **
آبیاری × نانوکود × رقم Irrigation × Nanofertilizer × Cultivars	4	253 **	337 **	0.32 ^{ns}	0.07 ^{ns}	3.83 **	1.90 *	0.05 **	0.008 ^{ns}	0.06 **	0.01 *
خطای آزمایشی Error	30	4.40	4.71	1.46	0.47	0.51	0.57	0.002	0.003	0.004	0.006
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)	-	4.10	4.46	12.5	7.34	4.91	5.26	6.22	7.08	5.23	6.21
ضریب کای اسکوئر Chi-square	1	7.05 **		30.6 **		23.2 **		34.6 **		20.2 **	

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

ns: not significant; * and **: significant at five and one percent probability levels, respectively

باشد. کاهش رشد طولی و ارتفاع بوته تحت شرایط هر ۲۱ و ۲۸ روز یکبار آبیاری، که نتیجه حساسیت بالای فرایندهای تقسیم و رشد سلولی به افزایش دور آبیاری می باشد باعث کاهش میزان کربوهیدرات‌های غیرساختمانی ذخیره شده در ساقه، کاهش سطح برگ و کاهش فتوسنتز شده و در نتیجه تولید ماده خشک کاهش یافته است. کاهش آبیاری اثر معنی داری بر گیاه کینوا دارد، به طوری که ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی، محتوای کلروفیل و نیتروژن برگ را کاهش

در مقابل کمترین ارتفاع بوته در سال اول آزمایش (۳۹/۴ سانتی‌متر) در تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری، و در سال دوم آزمایش (۳۳/۷ سانتی‌متر) در تیمار هر ۲۱ روز یکبار آبیاری، در شرایط عدم مصرف کود نانو (شاهد) مربوط به رقم کینوا Q26 بود (جدول ۳). بهبود ارتفاع بوته را می توان به وضعیت بهتر تغذیه‌ای گیاه به واسطه مصرف کود نانو کلات میکرو کامل نسبت داد که خود می تواند برآیندی از اثرات مثبت نانو ذرات و دسترسی سریع عناصر میکرو از طریق محلول پاشی

می‌دهد (Yang *et al.*, 2016). کاهش ارتفاع بوته کینوا در تورگر سلول، حجم سلول و در نهایت رشد سلول باشد پاسخ به کاهش آبیاری احتمالاً به دلیل کاهش طول سلول، (Elewa *et al.*, 2017).

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

Table 3- Comparison of mean traits of two quinoa cultivars in under low irrigation and nanofertilizer consumption

تیمارهای آزمایشی Treatments	ارتفاع بوته Plant height (cm)		تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike		کلروفیل a Chlorophyll a (mg g ⁻¹ fresh weight)		کلروفیل کل Total chlorophyll (mg g ⁻¹ fresh weight)	
	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year
	I ₁ N ₀ Q ₁	54.3 bc	41.9 ef	16.3 b	15.1 ab	0.88 bc	- -	1.30 def
I ₁ N ₀ Q ₂	51.5 cd	39.9 f	15.0 cde	14.4 a-e	0.96 ab	- -	0.80 h	1.06 b
I ₁ N ₁ Q ₁	57.3 ab	61.7 b	16.4 b	15.1 ab	0.96 ab	- -	1.47 ab	1.37 a
I ₁ N ₁ Q ₂	57.8 ab	63.7 ab	15.1 cd	14.1 b-e	0.94 ab	- -	0.99 g	1.10 b
I ₁ N ₂ Q ₁	61.0 a	67.8 a	19.5 a	15.6 a	0.97 a	- -	1.52 a	1.38 a
I ₁ N ₂ Q ₂	58.5 ab	64.9 ab	16.1 bc	15.2 ab	0.96 ab	- -	1.41 abcd	1.28 a
I ₂ N ₀ Q ₁	48.5 def	40.7 ef	12.6 g	13.8 b-e	0.65 d	- -	1.29 ef	1.28 a
I ₂ N ₀ Q ₂	43.9 efg	33.7 g	12.5 g	13.9 b-e	0.48 e	- -	0.80 h	1.08 b
I ₂ N ₁ Q ₁	49.3 cd	48.5 c	13.6 fg	15.0 abc	0.95 ab	- -	1.44 abc	1.33 a
I ₂ N ₁ Q ₂	48.8 de	40.5 ef	13.2 g	14.5 a-e	0.62 d	- -	0.99 g	1.10 b
I ₂ N ₂ Q ₁	58.8 ab	49.3 c	15.1 cd	15.1 ab	0.95 ab	- -	1.47 ab	1.37 a
I ₂ N ₂ Q ₂	57.0 ab	48.9 c	14.7 def	14.5 a-e	0.88 bc	- -	1.37 bcde	1.33 a
I ₃ N ₀ Q ₁	43.6 fg	44.5 c-f	13.1 g	13.6 cde	0.53 e	- -	1.19 f	1.24 a
I ₃ N ₀ Q ₂	39.4 g	42.9 def	12.8 g	13.2 e	0.46 e	- -	0.76 h	0.99 b
I ₃ N ₁ Q ₁	44.0 efg	45.3 cde	13.7 fg	14.7 a-d	0.81 c	- -	1.34 cde	1.27 a
I ₃ N ₁ Q ₂	44.2 efg	45.3 cde	13.7 fg	13.5 de	0.52 e	- -	0.84 h	1.09 b
I ₃ N ₂ Q ₁	51.9 cd	49.1 c	13.7 fg	14.8 a-d	0.88 abc	- -	1.38 bcde	1.32 a
I ₃ N ₂ Q ₂	50.2 cd	47.5 cd	13.8 efg	13.6 cde	0.83 c	- -	1.20 f	1.25 a

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 سیلیسیم (N₁) و کود نانو کلات میکرو کامل - دو رقم کینوا شامل Q12 و Q26

Three irrigation levels including control every 14 days (area custom) (I₁), 21 (I₂) and 28 (I₃) days - Three levels of nano-fertilizer include no fertilizer (control) (N₀), silicon nano-chelate fertilizer (N₁) and micro-complete nano-chelate fertilizer (N₂) - Two quinoa cultivars include Q12 and Q26

کینوا Q26 داشته و از نظر آماری اختلاف معنی‌داری را نشان دادند. افزایش در میزان کلروفیل برگ و سطح سبز گیاهی و ذخیره مواد فتوسنتزی باعث می‌گردد که پس از مرحله گرده‌افشانی مواد فتوسنتزی ذخیره شده در ساقه، طی فرایند انتقال مجدد از ساقه به دانه‌های در حال پرشدن انتقال یابند.

کودهای نانو از طریق عرضه پایدار عناصر غذایی کم مصرف و پر مصرف می‌توانند موجب افزایش رشد و نمو و عملکرد محصول گردند (Aghazadeh-Khalkhali *et al.*, 2015). ارتفاع بوته تحت تأثیر پتانسیل ژنتیکی رقم قرار گرفته به نحوی که رقم کینوا Q12 در این آزمایش از نظر ارتفاع بوته تفاوت بسیار زیادی با رقم

تعداد سنبله در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در سال دوم آزمایش نشان داد که تعداد سنبله در بوته تنها تحت تأثیر رقم قرار گرفت و در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، اما این صفت در سال اول آزمایش تحت تأثیر هیچ‌کدام از تیمارها قرار نگرفت (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین در سال دوم آزمایش، بیشترین تعداد سنبله در بوته (۹/۵۴ عدد) از رقم کینوا Q23 به دست آمد. در مقابل کمترین تعداد سنبله در بوته (۹/۱۲ عدد) مربوط به رقم کینوا Q12 بود (جدول آورده نشده است). احتمالاً در سال دوم آزمایش در شرایط استفاده از کودهای نانو به دلیل رساندن سریع عناصر غذایی کارایی جذب عناصر افزایش یافته و در نتیجه باعث بهبود تعداد سنبله در بوته شده است، به طوری که بین سطوح آبیاری و کودهای نانو اختلاف چندانی مشاهده نمی‌شود. کاهش آبیاری فتوسنتز گیاه را مختل می‌کند که در نهایت بر فرایندهای رشد و فیزیولوژیک کینوا اثر می‌گذارد. با کاهش مقدار آب میزان تجمع مواد فتوسنتزی کاهش می‌یابد که در ادامه سبب کاهش ماده خشک تولیدی می‌شود، در این حالت بیشترین تأثیر منفی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارد (Jamali et al., 2020).

احتمال می‌رود که در اثر مصرف کود نانو فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه افزایش یافته و در نتیجه بهترین شرایط برای رشد و نمو گیاه فراهم گردیده است (Bekhrad et al., 2017). نتایج پژوهش دیگری نشان داد که محلول پاشی نانو کود پتاسیم صفات تعداد پنجه بارور، طول خوشه، تعداد دانه در خوشه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد اقتصادی گندم را تحت تأثیر معنی‌داری قرار داد (Jafarzade et al., 2013).

تعداد سنبله در بوته در سال اول آزمایش تحت تأثیر هیچ‌کدام از تیمارها قرار نگرفت. تعداد سنبله در ارقام مختلف مربوط به صفات ژنتیکی و فیزیولوژیک آنهاست که از این نظر تفاوت معنی‌داری نداشته‌اند. احتمال دارد نبودن تفاوت معنی‌دار بین تعداد سنبله در ارقام به دلیل تشابه ژنتیکی ارقام با یکدیگر بوده است. چنانچه گیاه کینوا دوره رشدی خود را با سرعت بیشتری کامل نماید و وارد فاز زایشی گردد، دوره کوتاه‌تری را برای افزایش سطح سبز برگ در اختیار داشته، در نتیجه با کاهش تعداد سنبله‌های بارور در بوته منجر به کاهش عملکرد می‌گردد.

تعداد دانه در سنبله

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در هر دو سال آزمایش نشان داد که اثرات متقابل آبیاری \times نانوکود \times رقم بر تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول ۳)، بیشترین تعداد دانه در سنبله در سال اول (۱۹/۵ عدد) و در سال دوم آزمایش (۱۵/۶ عدد) از تیمار شاهد هر ۱۴ روز یکبار آبیاری (عرف منطقه)، در شرایط مصرف کود نانو کلات میکرو کامل از رقم کینوا Q12 به دست آمد. در مقابل کمترین تعداد دانه در سنبله در سال اول آزمایش (۱۲/۵ عدد) در تیمار هر ۲۱ روز یکبار آبیاری، و در سال دوم آزمایش (۱۳/۲ عدد) در تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری، در شرایط عدم مصرف کود نانو (شاهد) مربوط به رقم کینوا Q26 بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد در تیمار هر ۲۱ و ۲۸ روز یکبار آبیاری، کاهش آبیاری از طریق کاهش شاخص سطح برگ و اختلال در جذب و انتقال عناصر غذایی عرضه مواد پرورده را کاهش داده و موجب تغییر در اجزاء عملکرد و کاهش عملکرد دانه شده است. دلایل زیادی وجود دارد که کاهش آبیاری از میزان ظهور سلول‌های بنیادی گل جلوگیری می‌کند. کاهش آبیاری در مرحله‌افشانی و لقاح، تعداد دانه‌ها را به علت پسابیدگی دانه‌های گرده کاهش می‌دهد. به‌طور کلی تعداد دانه در سنبله ظرفیت مخزن‌های گیاه را مشخص می‌کند. هرچه تعداد دانه‌ها بیشتر باشد، گیاه تعداد مخزن‌های بیشتری برای ذخیره مواد پرورده حاصل از فتوسنتز، تولید کرده است، هر عاملی که این جزء را افزایش دهد باعث افزایش عملکرد نیز خواهد شد. بر اساس گزارش دیگری تنش خشکی اثر شدیدی بر کاهش عملکرد نشان داد (Divsalar et al., 2016).

بیشترین تعداد دانه در سنبله در شرایط مصرف کود نانو کلات میکرو کامل به دست آمد. طی تحقیق مشابهی در گیاه کنجد گزارش شده که کاربرد توام کود نیتروژن و نانو موجب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در کپسول، عملکرد دانه و عملکرد روغن گردیده است (Bekhrad et al., 2017). بر اساس نتایج یک پژوهش دیگر محلول پاشی روی به صورت نانو ذرات نسبت به اکسید روی معمولی تأثیر بیشتری بر کاهش اثرات تنش خشکی در گیاه ماش نشان داد (Shojaei and Makarian, 2014). آنان ادعان داشتند که نانوذره اکسید روی نسبت به

مقابل کمترین میزان کلروفیل کل در سال اول (۰/۷۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) و در سال دوم آزمایش (۰/۹۹ میلی گرم بر گرم وزن تر) در تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری، در شرایط عدم مصرف کود نانو (شاهد) مربوط به رقم کینوا Q26 بود (جدول ۳). 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 کلروفیلاز نسبت داد (Hinojosa et al., 2018). در آزمایشی 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 (Jamali et al., 2020).

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 (Singh et al., 2017). نتایج پژوهشی بر کاربرد نانو کود پتاسیم در گندم نشان داد که محتوای کلروفیل در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری یافت (Tavan et al., 2014).

می‌توان گفت علت بیشتر بودن میزان کلروفیل در رقم کینوا Q12 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 مناسب‌تر از نهاده‌های محیطی مثل آب، نور و غیره را پیدا می‌کند؛ بنابراین سطح فتوسنتز کننده در این گیاهان افزایش می‌یابد و متعاقب آن دی‌اکسیدکربن بیشتری تثبیت شده و مواد غذایی بیشتری ساخته می‌شود و نهایتاً بیوماس تولیدی گیاه بیشتر خواهد بود.

اکسید روی معمولی، به دلیل ثبات و پایداری بالا، بیشتر در اختیار گیاه قرار گرفته و در تشکیل دانه بیشتر از غلاف مؤثر بوده است. بیشترین تعداد دانه در سنبله از رقم کینوا Q12 به دست آمد. این امر را می‌توان به طولانی‌تر شدن مرحله گل‌دهی مرتبط دانست. تعداد دانه در سنبله قبل از ظهور سنبله و عمدتاً بر اساس پتانسیل ژنتیکی گیاه تعیین می‌گردد. بعد از لقاح دانه‌ها ادامه رشد و پر شدن آن‌ها منوط به ارسال مواد فتوسنتزی از منبع تولید کننده مواد پرورده به سوی آن‌ها می‌باشد. واضح است که به دلیل فراهم بودن مواد فتوسنتزی در مرحله گل‌دهی تعداد بیشتری گل در رقم کینوا Q12 تلقیح شده و در نتیجه میزان بیشتری دانه تشکیل شده است. در نتیجه تحقیق دیگری بیان شد که تعداد دانه در طبق بر عملکرد دانه تأثیر مثبتی داشته است (Mirzaei et al., 2012).

کلروفیل a و کلروفیل کل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که میزان کلروفیل a در سال اول آزمایش تحت تأثیر متقابل آبیاری × نانوکود × رقم، و در سال دوم آزمایش تحت تأثیر متقابل آبیاری × نانوکود و همچنین تأثیر متقابل آبیاری × رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل در سال اول (جدول ۳)، بیشترین میزان کلروفیل a (۰/۹۷ 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 Q12 به دست آمد. در مقابل کمترین میزان کلروفیل a در سال اول آزمایش (۰/۴۷ میلی گرم بر گرم وزن تر) در تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری، در شرایط عدم مصرف کود نانو (شاهد) مربوط به رقم کینوا Q26 بود (جدول ۳). همچنین نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در هر دو سال آزمایش نشان داد که اثرات متقابل آبیاری × نانوکود × رقم بر میزان کلروفیل کل در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول ۳)، بیشترین میزان کلروفیل کل در سال اول (۱/۵۲ میلی گرم بر گرم وزن تر) و در سال دوم آزمایش (۱/۳۸ 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 Q12 به دست آمد. در

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب دو ساله صفات دو رقم کینوا در شرایط کم آبیاری و مصرف نانوکود

Table 4- Analysis of two-year combined variance of traits of two quinoa cultivars under low irrigation and use of nanofertilizer

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares					
		وزن هزاردانه 1000 seeds weight	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	کارتنوئید Cartonoid	کلروفیل b Chlorophyll b
سال Year	1	2.17 **	8.58 ^{ns}	306997**	9924724**	0.24 **	0.005 ^{ns}
تکرار (سال) Replication (year)	4	0.02 ^{ns}	2.16 ^{ns}	10833 ^{ns}	230794 ^{ns}	0.005 *	0.003 ^{ns}
آبیاری Irrigation	2	0.07 *	31.4**	72667*	71335018**	0.08 **	0.007 **
سال × آبیاری Year × Irrigation	2	0.22 **	28.3**	116378**	1313661*	0.03 **	0.002 ^{ns}
تکرار × آبیاری (سال) Replication × Irrigation (year)	8	0.01 ^{ns}	5.45*	30714 ^{ns}	332582 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.0005 ^{ns}
نانوکود Nanofertilizer	2	0.06 *	107**	60028*	47981545**	0.01 **	0.03 **
آبیاری × نانوکود Irrigation × Nanofertilizer	4	0.09 **	30.8**	28649 ^{ns}	9498706**	0.001 ^{ns}	0.01 **
سال × نانوکود Year × Nanofertilizer	2	0.02 ^{ns}	4.24 ^{ns}	39618 ^{ns}	790251 ^{ns}	0.009 **	0.00004 ^{ns}
سال × آبیاری × نانوکود Year × Irrigation × Nanofertilizer	4	0.07 **	23.9**	59361*	3333741**	0.004 ^{ns}	0.0006 ^{ns}
رقم Cultivars	1	0.04 ^{ns}	0.73 ^{ns}	99390*	624945 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.01 **
آبیاری × رقم Irrigation × Cultivars	2	0.005 ^{ns}	45.6**	31392 ^{ns}	8061428**	0.012 **	0.12 **
نانوکود × رقم Nanofertilizer × Cultivars	2	0.03 ^{ns}	72.2**	11485 ^{ns}	55864692**	0.008 **	0.09 **
سال × رقم Year × Cultivars	1	0.06 ^{ns}	3.98 ^{ns}	14106 ^{ns}	2732563**	0.0002 ^{ns}	0.001 ^{ns}
سال × آبیاری × رقم Year × Irrigation × Cultivars	2	0.06 *	4.86 ^{ns}	28373 ^{ns}	261390 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.002 ^{ns}
سال × نانوکود × رقم Year × Nanofertilizer × Cultivars	2	0.004 ^{ns}	10.4*	48931 ^{ns}	4509734**	0.004 ^{ns}	0.001 ^{ns}
آبیاری × نانوکود × رقم Irrigation × Nanofertilizer × Cultivars	4	0.005 ^{ns}	14.6**	28949 ^{ns}	13488877**	0.002 ^{ns}	0.004 *
سال × آبیاری × نانوکود × رقم Year × Irrigation × Nanofertilizer × Cultivars	4	0.004 ^{ns}	15.1**	35010 ^{ns}	6326680**	0.005 *	0.0005 ^{ns}
خطای آزمایشی Error	60	0.01	2.32	18190	278183	0.001	0.001
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)	-	6.69	16.98	17.55	5.74	3.78	9.59
ضریب کای اسکوئر Chi-square	1	0.48 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.77 ^{ns}	0.23 ^{ns}	2.90 ^{ns}	0.41 ^{ns}

^{ns}: غیر معنی دار؛ * و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

^{ns}: not significant; * and **: significant at five and one percent probability levels, respective

جدول ۵- مقایسه میانگین مرکب دو ساله صفات دو رقم کینوا در شرایط کم آبیاری و مصرف نانوکود

Table 5- Comparison of two-year compound mean of traits of two quinoa cultivars under low irrigation and nanocomplete consumption

تیمارهای آزمایشی Treatments	شاخص برداشت Harvest index (%)		عملکرد بیولوژیک Biological yield (t.ha ⁻¹)		کارتنوئید Cartonoid (mg g ⁻¹ fresh weight)		کلروفیل b Chlorophyll b (mg g ⁻¹ fresh weight)	
	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	میانگین دو سال Mean of two years	
	I ₁ N ₀ Q ₁	7.60 h-o	7.05 j-p	11.3 cde	11.8 bcd	1.04 def	1.07 cde	0.45
I ₁ N ₀ Q ₂	8.72 e-k	6.21 op	5.59 ij	6.60 lm	1.07 cde	1.03 d-g	0.33	g
I ₁ N ₁ Q ₁	8.35 f-m	7.05 j-p	11.6 b-e	12.4 ab	1.13 abc	1.15 ab	0.49	b
I ₁ N ₁ Q ₂	7.43 i-p	9.54 e-i	9.68 gh	7.89 jk	1.08 b-e	1.10 bcd	0.41	cde
I ₁ N ₂ Q ₁	7.56 i-p	17.9 a	12.9 a	12.5 ab	1.12 abc	1.19 a	0.55	a
I ₁ N ₂ Q ₂	17.3 b	9.24 e-j	10.7 f	8.80 hij	1.02 e-i	1.04 def	0.40	ef
I ₂ N ₀ Q ₁	5.06 op	11.3 b-e	8.71 hij	7.92 jk	0.96 g-j	1.13 abc	0.40	de
I ₂ N ₀ Q ₂	5.04 p	7.63 h-o	5.92 m	6.58 lm	0.92 j	1.09 b-e	0.32	g
I ₂ N ₁ Q ₁	7.65 g-o	11.0 d-g	9.45 ghi	11.1 def	0.97 f-j	1.07 cde	0.46	bc
I ₂ N ₁ Q ₂	11.1 c-f	12.1 bcd	7.86 jk	8.04 jk	0.92 j	1.02 e-i	0.32	g
I ₂ N ₂ Q ₁	10.4 d-h	7.69 g-o	12.2 abc	11.4 cde	0.95 hij	1.12 abc	0.49	b
I ₂ N ₂ Q ₂	9.76 e-i	8.53 f-l	9.45 ghi	8.84 hij	0.94 j	1.13 abc	0.40	ef
I ₃ N ₀ Q ₁	6.96 k-p	8.15 f-m	7.38 kl	8.73 hij	0.97 f-j	1.03 d-g	0.40	ef
I ₃ N ₀ Q ₂	6.21 nop	6.41 m-p	4.36 n	3.96 n	0.91 j	1.01 e-i	0.26	h
I ₃ N ₁ Q ₁	7.82 f-n	8.66 e-k	8.87 hij	9.23 hi	0.94 ij	1.02 e-h	0.40	ef
I ₃ N ₁ Q ₂	6.83 l-p	13.2 bc	7.07 kl	8.59 ij	0.92 j	1.02 e-i	0.27	h
I ₃ N ₂ Q ₁	10.8 d-h	7.14 j-p	10.2 fg	12.1 abc	0.95 hij	1.13 abc	0.44	cde
I ₃ N ₂ Q ₂	6.81 l-p	9.10 e-j	8.85 hij	8.73 hij	0.92 j	1.07 cde	0.35	fg

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 سیلیسیم (N₁) و کود نانو کلات میکرو کامل - دو رقم کینوا شامل Q12 و Q26

Three irrigation levels including control every 14 days (area custom) (I₁), 21 (I₂) and 28 (I₃) days - Three levels of nano-fertilizer include no fertilizer (control) (N₀), silicon nano-chelate fertilizer (N₁) and micro-complete nano-chelate fertilizer (N₂) - Two quinoa cultivars include Q12 and Q26

نتایج و بحث مرکب دو ساله صفات دو رقم کینوا

کلروفیل b

در سال دوم (۰/۲۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) در تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری، در شرایط عدم مصرف کود نانو (شاهد) مربوط به رقم کینوا Q26 بود (جدول ۵). می توان گفت در تیمار شاهد هر ۱۴ روز یکبار آبیاری (عرف منطقه)، در شرایط مصرف کود نانو کلات میکرو کامل از رقم کینوا Q12 با افزایش آب قابل دسترس و فراهمی عناصر غذایی منجر به استقرار و بسته شدن سریع تر تاج پوششی گیاه شده که در نتیجه سطح برگ و فتوسنتز افزایش یافته و از این طریق باعث افزایش میزان کلروفیل شده است. عوامل محیطی شامل رطوبت، نوع خاک، مدیریت گیاه، عناصر غذایی، دما و بیماری های

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله داده های آزمایش نشان داد که اثرات متقابل آبیاری × نانوکود × رقم بر میزان کلروفیل b در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول ۵)، بیشترین میزان کلروفیل b (۰/۵۵ 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 Q12 به دست آمد. هم چنین کمترین میزان کلروفیل b

شرکت کرده و از طریق افزایش تعداد و سطح برگ و فراهم نمودن زمینه مناسب برای دریافت انرژی نورانی خورشید و نیز حضور در ساختار کلروفیل و آنزیم‌های درگیر در متابولیسم کربن فتوسنتزی، موجب افزایش بازده فتوسنتزی می‌شود (Briat et al., 2015).

گیاهی و به طور کلی هر عاملی که روی سرعت فتوسنتز جاری تأثیر بگذارد بر تجمع و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی نیز تأثیرگذار است (Pampana et al., 2014). مصرف کودهای نانو در مراحل مختلف به‌خصوص بعد از گل‌دهی تأثیر بسزایی در تداوم فعالیت سطح برگ دارد. از طرفی عناصر مورد نیاز در توسعه و تقسیم سلول‌های جدید

جدول ۶- مقایسه میانگین مرکب دو ساله عملکرد دانه و وزن هزاردانه کینوا در شرایط کم‌آبیاری و مصرف نانوکود

Table 6- Comparison of two-year average seed yield and 1000-seeds weight of quinoa under low irrigation and nanofertilizer application

تیمارهای آزمایشی Treatments	وزن هزاردانه 1000 seeds weight (g)		عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	
	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year
I ₁ N ₀	1.92 efg	2.08 b-e	737 a-d	786 a-d
I ₁ N ₁	1.94 efg	2.13 bc	761 a-d	892 ab
I ₁ N ₂	1.92 efg	2.44 a	822 a-d	922 a
I ₂ N ₀	1.79 gh	2.05 b-f	701 cd	837 a-d
I ₂ N ₁	1.88 fg	2.22 b	794 a-d	861 abc
I ₂ N ₂	1.93 efg	2.18 bc	803 a-d	915 a
I ₃ N ₀	1.63 h	1.95 d-g	452 e	719 bcd
I ₃ N ₁	1.79 gh	2.03 c-f	668 d	737 a-d
I ₃ N ₂	1.84 g	2.11 bcd	690 cd	721 bcd

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 سیلیسیم (N₁) و کود نانو کلات میکرو کامل

Three irrigation levels including control every 14 days (area custom) (I₁), 21 (I₂) and 28 (I₃) days - Three levels of nano-fertilizer include no fertilizer (control) (N₀), silicon nano-chelate fertilizer (N₁) and micro-complete nano-chelate fertilizer (N₂)

جدول ۷- مقایسه میانگین مرکب دو ساله وزن هزاردانه دو رقم کینوا در شرایط کم‌آبیاری

Table 7- Comparison of the two-year compound average of 1000-seed weight of two quinoa cultivars under low irrigation conditions

تیمارهای آزمایشی Treatments	وزن هزاردانه 1000 seeds weight (g)	
	سال اول First year	سال دوم Second year
I ₁ Q ₁	1.93 efg	2.25 a
I ₁ Q ₂	1.92 efg	2.11 bcd
I ₂ Q ₁	1.90 fg	2.19 ab
I ₂ Q ₂	1.84 g	2.18 abc
I ₃ Q ₁	1.85 g	2.01 def
I ₃ Q ₂	1.66 h	2.05 cde

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

Three irrigation levels including control every 14 days (area custom) (I₁), 21 (I₂) and 28 (I₃) days - Two quinoa cultivars include Q12 and Q26-

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 در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول ۵)، بیشترین عملکرد بیولوژیک در سال اول (۱۲/۹ تن در هکتار) از تیمار شاهد هر ۱۴ روز یکبار آبیاری (عرف منطقه)، در شرایط مصرف کود نانو کلات میکرو کامل از رقم کینوا Q12 به دست آمد. در مقابل کمترین عملکرد بیولوژیک در سال دوم (۳/۹۶ تن در هکتار) در تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری، در شرایط عدم مصرف کود نانو (شاهد) مربوط به رقم کینوا Q26 بود (جدول ۵). 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 کم‌آبیاری 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 زیست‌توده گیاهان می‌شود که علت آن را به کاهش جذب و مواد غذایی، کاهش هدایت روزه‌ای نسبت داده و در نتیجه باعث کاهش قدرت فتوسنتزی کینوا می‌شود (Yang et al., 2016). دیگر پژوهش‌گران نیز گزارش کردند که تنش خشکی، زیست‌توده کینوا را کاهش می‌دهد (Elewa et al., 2017).

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 فرآیندهای فیزیولوژیکی باشد. احتمالاً با فعال شدن فرآیندهای 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 (Eisvand et al., 2014).

می‌توان گفت علت بیشتر بودن میزان کلروفیل در رقم کینوا Q12 مربوط به صفات ژنتیکی و فیزیولوژیکی 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 مناسب‌تر 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.

کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله داده‌های آزمایش نشان داد که اثرات متقابل سال \times آبیاری \times نانوکود \times رقم بر میزان کاروتنوئید در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول ۵)، بیشترین میزان کاروتنوئید در سال دوم (۱/۱۹ 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 Q12 به دست آمد. در مقابل کمترین میزان کاروتنوئید در سال دوم (۰/۹۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری، در شرایط عدم مصرف کود نانو (شاهد) مربوط به رقم کینوا Q26 بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد در سال دوم آزمایش در تیمار شاهد هر ۱۴ روز یکبار آبیاری (عرف منطقه)، در شرایط مصرف کود نانو کلات میکرو کامل از رقم کینوا Q12 با افزایش آب قابل دسترس و فراهمی عناصر غذایی باعث افزایش پتانسیل آب برگ گیاه و افزایش شاخص سطح برگ و در نتیجه افزایش فتوسنتز و غلظت کاروتنوئید برگ شده است. محققان دیگر افزایش F_0 را تحت تنش خشکی در ارقامی از لوبیا چیتی گزارش کردند (Soheyli Movahed et al., 2017). تنش آب باعث بروز تغییراتی در رنگدانه‌های فتوسنتزی، آسیب به دستگاه فتوسنتزی و کاهش فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین می‌گردد (Anjum et al., 2011). نتایج حاصل از پژوهش دیگری نشان داد که نانو کود کلات روی و نانو کود بیولوژیک توانست شاخص‌های رشد و فیزیولوژیک سیب زمینی را افزایش دهد (Vafi and Afshari, 2014).

واکنش‌پذیری 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 (Khalaj *et al.*, 2020) گردید. یافته‌های پژوهش دیگری نشان داد که محلول‌پاشی نانوذرات اثر معناداری بر ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه داشت (Harsinia *et al.*, 2014).

به نظر می‌رسد دلیل بیشتر بودن عملکرد دانه در رقم کینوا Q12 نسبت به رقم کینوا Q26 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 محققان دیگر نیز گزارش شده است (Pourjamshid, 2021).

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 در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول ۵)، بیشترین شاخص برداشت در سال دوم آزمایش (۱۷/۹ درصد) از رقم کینوا Q12 و در سال اول (۱۷/۳ درصد) از رقم کینوا Q26 از تیمار شاهد هر ۱۴ روز یکبار آبیاری (عرف منطقه)، در شرایط مصرف کود نانو کلات میکرو کامل به دست آمد. در مقابل کمترین شاخص برداشت در سال اول (۵/۰۴ درصد) در تیمار هر ۲۱ روز یکبار آبیاری، در شرایط عدم مصرف کود (شاهد) مربوط به رقم کینوا Q26 بود (جدول ۵). 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، تأثیر 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

احتمالاً وزن خشک بیشتر اندام‌های هوایی در رقم کینوا Q12 می‌تواند به استفاده بهتر آن از عوامل محیطی و کارایی تولید ماده خشک مربوط باشد که توانسته است کربوهیدرات‌ها و مواد ذخیره‌ای 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 (Bagheri *et al.*, 2013).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله داده‌های آزمایش نشان داد که اثرات متقابل سال \times آبیاری \times نانوکود و هم‌چنین اثر رقم بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول ۶)، بیشترین عملکرد دانه در سال دوم (۹۲۳ 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 (۴۵۲ کیلوگرم در هکتار) در تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری و در شرایط عدم مصرف کود نانو (شاهد) مشاهده شد (جدول ۶). هم‌چنین مقایسه میانگین‌های اثر ساده رقم (جدول آورده نشده است)، نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۷۹۸ کیلوگرم در هکتار) از رقم کینوا Q12 به دست آمد. به نظر می‌رسد کاهش عملکرد دانه تحت شرایط هر ۲۸ روز یکبار آبیاری، به علت فتوسنتز 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 (Sun *et al.*, 2014). در یک آزمایش میدانی دو ساله تحت شرایط کم‌آبیاری، تولید زیست‌توده نخود فرنگی در سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹، به ترتیب ۳۹ و ۴۲ درصد کاهش یافت (Mousavi *et al.*, 2020).

در توجیه کارایی بهتر کود نانو کلات میکرو کامل باید به ساختار آن اشاره کرد، از آنجایی‌که ذرات نانو دارای ابعاد بسیار ریزی هستند، لذا سطح ویژه بالایی دارند که این امر

وزن هزاردانه (۲/۲۵ گرم) از تیمار شاهد هر ۱۴ روز یکبار آبیاری (عرف منطقه) از رقم کینوا Q12 به دست آمد. در مقابل کمترین وزن هزاردانه در سال اول (۱/۶۶ گرم) در تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری مربوط به رقم کینوا Q26 بود (جدول ۷). شاید بتوان افزایش وزن هزاردانه در سال دوم آزمایش را به کارایی مصرف آب بالاتر با استفاده از کود نانو کلات میکرو کامل، از طریق فراهمی عناصر میکرو و افزایش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به سوی دانه و اجزای عملکرد دانه نسبت داد. کاهش رطوبت خاک به دنبال افزایش دور آبیاری باعث می‌شود که گیاه در شرایط نامساعد قرار گرفته و در نتیجه دوره رشدی گیاه کاهش یافته و پتانسیل تولید آن کاهش یابد که در نهایت باعث کاهش تعداد سنبله در بوته، وزن هزاردانه و افت عملکرد خواهد شد. اثر افزایش دور آبیاری در مرحله پرشدن دانه‌ها بسیار بارز است، چون عملکرد بالقوه بستگی به وزن و تعداد دانه دارد که این امر مستلزم گرده‌افشانی کامل و تجمع مواد فتوسنتزی در دانه می‌باشد. گزارش شده است که کاهش آبیاری سبب کاهش وزن هزار دانه کینوا می‌شود (Elewa et al., 2017).

بیشترین وزن هزاردانه در شرایط مصرف کود نانو کلات میکرو کامل به دست آمد. می‌توان چنین بیان نمود که مواد فتوسنتزی ذخیره شده در طول دوره گل‌دهی تعیین‌کننده میزان دانه‌بندی بوده و کمبود عناصر غذایی، وزن دانه را از طریق کاهش مواد فتوسنتزی کاهش می‌دهد. این نتیجه هم‌سو با نتایج دیگر محققین است که بیان داشتند کاربرد نانو کود آهن تأثیر مثبت و چشم‌گیری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای داشت (Mohammad Khani and Roozbahani, 2015). پژوهش دیگری گزارش گردید که محلول‌پاشی نانو ذرات آهن با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برای لوبیا چشم سیاه تعداد غلاف، وزن هزار دانه، مقدار برگ‌ها و مقدار کلروفیل را به طور قابل توجهی نسبت به شاهد افزایش داد (Khalaj et al., 2020).

با توجه به اینکه وزن هزار دانه به عنوان یکی از اجزای مؤثر در عملکرد دانه می‌باشد، این صفت می‌تواند در افزایش عملکرد رقم کینوا Q12 مؤثر بوده باشد. می‌توان این‌گونه استنباط کرد که رقم کینوا Q12 توانسته است با افزایش سطح سبز گیاهی و همچنین افزایش طول دوره پر شدن دانه میزان بیشتری مواد فتوسنتزی را به دانه‌ها منتقل نموده و وزن هزار دانه را افزایش دهد. در پژوهشی اعمال تیمار قطع آبیاری بر اساس مراحل

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 دیگر محققان می‌باشد (Tavousi and Sepahvand, 2014).

نتایج حاکی از آن است که تأثیر 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 (Mastronardi et al., 2015).

رقم کینوا Q12 در انتقال کربوهیدرات‌ها از اندام‌های سبز گیاه به دانه‌ها نسبت به ارقام دیگر موفق‌تر عمل کرده است. به نظر می‌رسد که رقم کینوا Q12 توانسته است از طریق استفاده بهینه از عوامل محیطی و انتقال مواد فتوسنتزی به سمت دانه شاخص برداشت بالاتری تولید نماید. نتیجه مشابهی توسط دیگر محققان نیز گزارش شد (Nejatzadeh, 2015).

وزن هزاردانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله داده‌های آزمایش نشان داد که اثرات متقابل سال × آبیاری × نانوکود در سطح احتمال یک درصد و همچنین اثرات متقابل سال × آبیاری × رقم بر وزن هزاردانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سال × آبیاری × نانوکود (جدول ۶)، بیشترین وزن هزاردانه در سال دوم (۲/۴۴ گرم) 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 وزن هزاردانه در سال اول (۱/۶۳ گرم) در تیمار هر ۲۸ روز یکبار آبیاری و در شرایط عدم مصرف کود نانو (شاهد) مشاهده شد (جدول ۶). همچنین مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سال × آبیاری × رقم (جدول ۷)، نشان داد که بیشترین

عناصر میکرو و افزایش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به سوی دانه و اجزای عملکرد دانه باعث بهبود تعداد دانه در سنبله (۱۵/۶ عدد)، وزن هزاردانه (۲/۴۴ گرم) و عملکرد دانه (۹۲۳ کیلوگرم در هکتار) 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 Q12 برای کشت در منطقه پیشنهاد می‌شود.

رشدی بر گیاه کنجد بررسی و گزارش شد که قطع آبیاری در ۵۰ درصد گل‌دهی باعث کاهش معنی‌دار وزن تر و عملکرد دانه در ارقام مختلف کنجد گردید (Bagheri *et al.*, 2013).

نتیجه‌گیری کلی

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

References

- Aghazadeh-Khalkhali, D., Mehrafarin, A., Abdossi, V. and Naghdi Badi, H.** 2015. Mucilage and seed yield of psyllium (*Plantago psyllium* L.) in response to foliar application of nano-iron and potassium chelate fertilizer. *Journal of Medicinal Plants*, 14(56): 23-34.
- Anjum, S.A., Xie, X., Wang, L., Saleem, M.F., Man, C. and Lei, W.** 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9): 2026-2032.
- 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. and 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).
- Bagheri, M., Anafjeh, Z., Taherian, M., Emami, A., Molaie, A. and Keshavarz, S.** 2021. Assessment of adaptability and seed yield stability of selected quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes in spring cropping systems in cold and temperate regions of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 22(4): 376-387. (In Persian).
- Bekhrad, H., Nikonam, F. and Hamdani, B.** 2017. Effects of nano fertilizer and different levels of nitrogen on grain and oil yield of sesame. *Plant Ecophysiology*, 9(28): 110-122. (In Persian).
- Beyrami, H., Rahimian, M., Salehi, M., Yazdani Biouki, R., Shiran Tafti, M. and Nikkhah, M.** 2020. Effect of irrigation frequency on yield and yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under saline condition. *Journal of Agricultural Science (University of Tabriz)*, 30(3): 347-357. (In Persian).
- Briat, J.F., Dubos, C. and Gaymard, F.** 2015. Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. *Trends in Plant Science*, 20(1): 33-40.
- Divsalar, M., Tahmasbi Sarvestani, Z., Modares Sanavi, S. and Hamidi, A.** 2016. The evaluation of drought stress impact as irrigation withholding at reproductive stages on quantitative and qualitative performance of soybean cultivars. *Journal of Crops Improvement*, 18(2): 481-493. (In Persian).
- Eisvand, H., Esmacili, A. and 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. (In Persian).
- 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.
- 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. (In Persian).

- 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, M.G., Habibib, H. and Talaei, G.H.** 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 province. *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.
- Jafarzade, R., Jami Moeini, M. and Hokmabadi, M.** 2013. Response of yield and yield components in wheat to soil and foliar application of nano potassium fertilizer. *Crop Production Research*, 5(2): 189-198. (In Persian).
- Jamali, S., Goldani, M. and Zeynodin, S.** 2020. Evaluation the effects of periodic water stress on yield and water productivity on Quinoa. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 13(6): 1687-1697. (In Persian).
- Karami, H., Maleki, A. and Fathi, A.** 2018. Determination effect of mycorrhiza and vermicompost on accumulation of seed nutrient elements in Maize (*Zea mays* L.) affected by chemical fertilizer. *Journal of Crop Nutrition Science*, 4(3): 15-29.
- Khalaj, H., Baradarn Firouzabadi, M. and delfani, M.** 2020. Effect of nano iron and Magnesium chelate fertilizers on growth and grain yield of *Vigna sinensis* L.. *Journal of Plant Process and Function*, 9(35): 161-177. (In Persian).
- Liu, R. and Lal, R.** 2014. Synthetic apatite nanoparticles as a phosphorus fertilizer for soybean (*Glycine max*). *Scientific Reports*, 4: 5686-5691.
- Mastronardi, E., Tsae, P., Zhang, X., Monreal, C. and DeRosa, M.C.** 2015. Strategic Role of Nanotechnology in Fertilizers: Potential and Limitations. *Nanotechnologies in Food and Agriculture*. Rai, M., Duran, N., Ribeiro, C., Mattoso, L. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. Springer International Publishing Switzerland.
- Mirzaei, Z., Barary, M. and Rezaizad, A.** 2012. Effect of second planting dates and genotype on yield and its components of oil bearing sunflower genotypes. *Journal of Research in Crop Sciences*, 5(17): 1-14. (In Persian).
- Mohammad Khani, E. and Roozbahani, R.** 2015. Application of vermicompost and nano iron fertilizer on yield improvement of grain corn (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 7(23): 123-131. (In Persian).
- 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.
- 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. (In Persian).
- Pampana, S., Mariotti, M., Ercoli, L. and Masoni, A.** 2014. Remobilization of dry matter, nitrogen and phosphorus in durum wheat as affected by genotype and environment. *Italian Journal of Agronomy*, 3: 303-314.
- Payandeh, K. and Derogar, N.** 2018. Application of micronutrient elements on quantitative and qualitative yield of rapeseed under drought tension conditions. *Crop Physiology Journal*, 10(38): 23-37. (In Persian).
- 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.

- Raeesi Sadati, S.Y., 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 Journal*, 12(2(46)): 45-64. (In Persian).
- Rawat, S., Adisa, I.O., Wang, Y., Sun, Y., Fadil, A.S., Niu, G., Sharma, N., Hernandez-Viezcas, J.A., Peralta-Videa, J.R. and Gardea-Torresdey, J.L.** 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.
- Shojaei, H. and Makarian, H.** 2014. The effect of nano and non-nano zinc oxide particles foliar application on yield and yield components of Mungbean (*Vigna radiate*) under drought stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(4): 727-737. (In Persian).
- Singh, M.D., Chirag, G., Prakash, P.O., Mohan, M.H., Prakasha, G. and 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.
- Soheyli movahed, S., Esmaeeli, M.A. and Jabari, F.** 2017. Investigation the effect of different levels of irrigation on morph physiological and biochemical traits in five genotypes of mung bean (*Vigna radiata* L.). *Crop Physiology Journal*, 9(34): 5-21. (In Persian).
- Subramanian, K.S. 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., Niakan, M. and Norinia, A.A.** 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, First International Congress and 13th Iranian Genetics Congress, Tehran. (In Persian).
- Vafi, N. and Afshari, H.** 2014. Effects of nanochelated zinc and nanobiological fertilizer on morphological characteristics of potato. National e-Conference on Advance in Engineering and Basic Science, Iran. (In Persian).
- 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.

Quantitative and qualitative response of quinoa cultivars to irrigation cycle and nanofertilizer

Afsaneh Esmailzahi¹, Ahmad Mehraban^{2*}, Hamidreza Mobasser², Hamidreza Ganjali², Khaled Miri³

¹ Ph.D. Student, Department of Agronomy, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran

² Department of Agronomy, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran

³ Balochistan Agricultural Research and Training Center, Agricultural Research and Extension Organization, Iranshahr, Iran

*Corresponding Author: Ahmadmh2004@yahoo.com

Received: 8 December 2021

Accepted: 5 April 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.318837.1164

Abstract

Introduction: Environmental stress limits the yield of crops, and as a result, a significant difference is observed between the potential yield and the actual yield of crops. Due to their resistance to abiotic stresses such as drought stress and salt stress, quinoa plants are extremely valuable. In addition, due to the excessive use of chemical fertilizers, groundwater contamination, and soil salinization, nano fertilizers are highly efficient and effective.

Materials and Methods: This study was conducted at the Bahoklat Agricultural and Natural Resources Research Center Station in the city of Chabahar during the two crop years 2018-2019 and 2019-2020 using a split factorial experiment with a randomized complete block design and three replications. Irrigation at three levels (control every 14 days (regional custom), 21 and 28 days) was the main factor, while three levels of nano fertilizer (no fertilizer (control), silicon chelate nano fertilizer, and complete micro-chelate nano fertilizer at a rate of two parts Per thousand) and two cultivars of quinoa (Q12 and Q26) were sub-factors.

Results and Discussion: The results of the comparison of means indicated that the use of nano-fertilizers under full irrigation conditions increased the efficiency of element uptake and, consequently, the production and transfer of photosynthetic material to grain and grain yield components through the availability of microelements. Increased number of seeds per spike (15.6), weight per 1000 seeds (2.44 g), and grain yield (923 kg.ha⁻¹).

It appears that in the treatment of watering once every 21 and 28 days, the reduction of irrigation through the reduction of leaf area index and disturbance in the absorption and transfer of nutrients has decreased the supply of cultivated materials and caused alterations in yield components and a decrease in grain yield. There are numerous reasons why insufficient watering inhibits the development of flower stem cells. Due to the loss of pollen grains, reducing irrigation during the pollination and fertilization stages reduces the number of seeds. Typically, the number of seeds on a spike determines the capacity of a plant's reservoirs. any factor that increases the number of seeds also increases the yield.

The increase in yield during the second year of the experiment at the full irrigation level is attributable to the increase in yield components such as the number of spikes per plant and the weight of one thousand seeds at this irrigation level. It may be possible to attribute the increase in the weight of 1,000 seeds in the second year of the experiment to the increased efficiency of water consumption brought about by the use of complete micro nano chelate fertilizer, through the provision of microelements and the enhancement of the production and transfer of photosynthetic materials to the grain and grain yield components.

Under the conditions of using a complete micro nano-chelate fertilizer, the greatest weight per thousand seeds was achieved. It can be stated that the amount of seeding is determined by the photosynthetic materials stored during the flowering period, and that the lack of nutrients reduces the weight of the seeds by reducing the photosynthetic materials.

Quinoa cultivar Q12 yielded the greatest number of seeds per spike. This can be attributed to the prolonged flowering stage. The number of seeds in a spike is primarily determined by the genetic potential of the plant before the spike emerges. After the seeds have been fertilized, the continued growth and development of the plant depends on the delivery of photosynthetic materials from the source that produces the grown materials. Due to the availability of photosynthetic materials during the flowering stage, it is evident that more flowers were inoculated in the quinoa variety Q12, resulting in more seeds.

It appears that the higher seed yield of quinoa variety Q12 compared to quinoa variety Q26 is the result of a greater number of seed yield components in this variety. Given that the weight of one thousand seeds is one of the most influential factors in grain yield, this trait has the potential to increase the grain yield of the Q12 quinoa variety. By increasing the green area of the plant and lengthening the seed filling period, the Q12 quinoa cultivar was able to transfer more photosynthetic substances to the seeds and increase the weight of 1,000 seeds.

Conclusion: To achieve maximum grain yield, it is recommended that the quinoa Q12 cultivar be grown under irrigation conditions every 14 days (regional custom) and with the addition of a complete micro-nano-chelate fertilizer.

Keywords: Chlorophyll, Grain yield, Irrigation, Nano chelate, Q12 cultivar