به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۰ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۷
صفحه‌های ۲۸۱-۲۶۳

اثر کودهای نانو، شیمیایی و بیولوژیک بر عملکرد و کیفیت دانهٔ کنجد در رژیم‌های متفاوت آبیاری

اکرم مهدوی‌خرمی[۱]، جعفر مسعودسینکی[۲*]، مجید امینی‌دهقی[۳]، شهرام رضوان[۲]، علی دماوندی[۲]

۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان، دامغان، ایران.
۲. استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان، دامغان، ایران.
۳. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شاهد، تهران، ایران.

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۳۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۱۷

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کودهای شیمیایی، بیولوژیک و نانو بر عملکرد و کیفیت (میزان روغن و پروتئین) دانهٔ کنجد در شرایط قطع آبیاری، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار در دانشگاه شاهد در سال ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. سطوح آبیاری شامل، آبیاری کامل (شاهد) و قطع آبیاری در BBCH ۷۵ و ۶۵ (کدهایی برای فنولوژیک گیاه که به ترتیب معادل ۵۰ درصد گل‌دهی و دانه‌بندی است) در کرت‌های اصلی و ترکیب‌های مختلف نیتروژن (نیتروکسین، اوره و تلفیق ۵۰ درصد اوره و نیتروکسین) و ترکیب‌های مختلف پتاسیم (عدم مصرف، محلول‌پاشی نانو پتاسیم (۲ در هزار)، مصرف آبی دی‌اکسید پتاسیم (۲ لیتر در هکتار) و مصرف خاکی نانو پتاسیم (۲ کیلوگرم در هکتار) در کرت‌های فرعی قرار داشتند. بیشترین تعداد کپسول در بوته، در آبیاری تا ۵۰ درصد دانه بندی و مصرف اوره به همراه محلول‌پاشی نانو کلات پتاسیم (۱۹/۲۶ عدد) بود. بالاترین عملکرد دانه و همچنین عملکرد و درصد پروتئین در آبیاری تا ۵۰ درصد دانه‌بندی در شرایط عدم استفاده از کود پتاسیم و کاربرد نیتروکسین (به ترتیب ۱۳۴۰/۵، ۲۷۶/۵۳ کیلوگرم در هکتار و ۲۰/۵ درصد) حاصل شد. بیشترین درصد و عملکرد روغن در آبیاری تا ۵۰ درصد گل دهی، و محلول‌پاشی نانو کلات پتاسیم به همراه سیستم تلفیقی ۵۰ درصد کود اوره به اضافهٔ کود نیتروکسین به‌ترتیب با میانگین ۴۷/۹۶ درصد و ۵۵۰/۴۶ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. استفاده از کود بیولوژیک نیتروکسین و محلول‌پاشی نانو کلات پتاسیم در شرایط قطع آبیاری در ۵۰ درصد دانه‌بندی، باعث افزایش عملکرد دانه (حدود ۱۵ درصد نسبت به شاهد) و همچنین بهبود صفات کیفی دانه کنجد شد.

کلیدواژه‌ها: اوره، پروتئین، روغن، قطع آبیاری، نانو کلات، نیتروکسین.

* نویسنده مسئول Email: jmsinaki2020@gmail.com

۱. مقدمه

تنش خشکی در مقایسه با سایر تنش های زیستی و محیطی که گیاهان طی فصل رشد در معرض آن ها هستند، به مراتب اثر شدیدتری بر کاهش عملکرد دارد [۱۴]. بیش از نیمی از سطح کشور ایران دارای بارندگی های کمتر از ۱۵۰ میلی‌لیتر و حدود ۷۵ درصد آن کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر در سال است. در نتیجه بخش عمده‌ای از آن از کم‌آبی رنج می برد [۳]. با توجه به کمبود منابع آبی، به‌ویژه در شرایط کشت دوم، در بسیاری از مناطق لازم است آب موجود برای آبیاری تنظیم شود که این امر موجب آبیاری ناکافی می‌شود. بنابراین، به‌منظور به‌دست آوردن حداکثر محصول از واحد سطح، استفادهٔ کارآمد از آب در دسترس و جلوگیری از اتلاف آن ضروری است.

نانو کودها به دلیل آزادسازی آرام و کنترل شدهٔ مواد غذایی، به‌منظور تأمین عناصر مورد نیاز گیاه در هر دو روش جذب برگی و ریشه ای، نسبت به کودهای مرسوم برتری دارند [۴۶]. استفاده از نانو کودها، به افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، به حداقل رسیدن آثار منفی ناشی از مصرف بیش از حد کود و کاهش تعداد دفعات کاربرد کود می‌انجامد [۲۶]. همچنین، به دلیل اینکه زمان و سرعت رهاسازی عناصر با نیاز غذایی گیاه منطبق و هماهنگ می شود، لذا گیاه قادر به جذب بیشترین مقدار مواد غذایی بوده و در نتیجه ضمن کاهش آبشویی عناصر، عملکرد محصول نیز افزایش می‌یابد. در زمینهٔ آثار مثبت نانو کودها گزارش های محدودی دربارهٔ گیاهان بادام‌زمینی (باعث افزایش رشد ریشه و ساقه از طریق افزایش میزان کلروفیل و استقرار سریع‌تر گیاه) [۴۲] و نخود (باعث افزایش سرعت رشد گیاه) [۴۱] وجود دارد. اثر محلول‌پاشی نانوکلات آهن بر درصد روغن و عملکرد و اجزای عملکرد دانهٔ کنجد، معنادار گزارش شد [۷].

یکی از آثار تنش خشکی آخر فصل بر هم زدن تعادل تغذیه ای در گیاه است [۱و۱۴]. با مدیریت مصرف عناصر غذایی، می توان وضعیت رشد گیاه و در نهایت کیفیت محصول تولید را در شرایط تنش بهبود بخشید [۱و۱۴]. پتاسیم از عناصر ضروری گیاهان عالی و فراوان ترین عنصر موجود در پیکرهٔ گیاه پس از نیتروژن است که علاوه بر دخالت در فرایندهای فیزیولوژیکی، در بهبود کیفیت محصولات کشاورزی نیز جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است [۳۹]. اثر محلول پاشی و کاربرد خاکی نانو کود پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گندم معنادار گزارش شده است [۹]. در پژوهشی، استفاده از کود پتاسیم باعث تغییر در میانگین صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه، تعداد برگ، تعداد غلاف، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گیاه کنجد شد [۴۳]. اثر کود نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد دانه، تعداد شاخه، تعداد برگ، تعداد بذر در کپسول و تعداد دانه در بوتهٔ کنجد، معنادار گزارش شده است [۴۴و۴۰]. از آثار افزایش تعداد کپسول در بوته، ازدیاد تعداد دانه در بوته است که این افزایش تولید، تأثیر زیادی در عملکرد خواهد داشت [۱۷].

آثار مثبت و مفید استفاده از کودهای بیولوژیک مناسب، از طریق تأمین عناصر غذایی گیاه بر صفات کمّی و کیفی و همچنین، جایگزینی برای کود شیمیایی در کشاورزی پایدار در گیاهان دارویی و روغنی مختلف گزارش شده است [۳۸]. گزارش‌های متعددی اثر مثبت استفاده از کود نیتروژن را بر عملکرد کمّی و کیفی گیاه کنجد ثابت کرده‌اند [۳۶]. استفاده از کودهای بیولوژیک موجب بهبود رشد گیاه در ارقام مختلف کنجد شد [۱۷].

کنجد (*Sesamum indicum* L.) گیاهی یکساله و روغنی (۴۵ درصد) با پروتئین بالا (۱۹ تا ۲۵ درصد) است [۲۳]. میزان روغن و پروتئین دانهٔ کنجد بسته به رقم و شرایط محیطی می تواند متغیر باشد. کنجد، به‌عنوان گیاه

دانه روغنی مقاوم به کم آبی مطرح است، ولی در مرحلهٔ استقرار گیاهچه و همچنین در دورهٔ گل دهی تا پرشدن دانه به تنش کم‌آبی حساس است [۱۹]. در پژوهشی در منطقهٔ خنج استان فارس اثر نانو کود (نانو کود بیوز) و کودهای بیولوژیک و همچنین رژیم‌های آبیاری (به‌صورت دور آبیاری) بر عملکرد و اجزاء عملکرد دانه کنجد (وزن هزار دانه، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه) معنادار گزارش شد [۱]. اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد واریته های مختلف کنجد معنادار گزارش شده است [۳۴].

آثار مراحل مختلف قطع آبیاری براساس مراحل مختلف فنولوژیک گیاه بر صفات ارتفاع بوته، درصد روغن، شاخص برداشت و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مختلف کنجد، معنادار گزارش شده است [۲۷]. کاهش نزولات جوی و خشکسالی های پی‌درپی سال‌های اخیر باعث کاهش ذخیرهٔ رطوبتی خاک‌ها و فقر مواد آلی آن‌ها شده است. از این رو استفاده از موادی در خاک که علاوه بر تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، حفظ باروری و حاصل خیزی خاک و افزایش ذخیرهٔ رطوبتی آن، حداقل بتواند به کاهش مضرات ناشی از مصرف کودهای شیمیایی کمک کند، امری منطقی و ضروری به نظر می رسد. هدف از این پژوهش بررسی اثر کودهای نانو، بیولوژیک و شیمیایی نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد و میزان روغن و پروتئین دانه کنجد در شرایط قطع آبیاری و کشت دوم بود.

۲. مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی کاربرد ساختارهای مختلف کودهای نیتروژن (شیمیایی و بیولوژیک) و پتاسیم (شیمیایی و نانو) بر عملکرد و صفات کیفی دانهٔ کنجد در کشت دوم، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح آزمایشی بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شاهد تهران در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ روی ژنوتیپ داراب یک اجرا شد. تیمارها مشتمل بر مراحل مختلف قطع آبیاری براساس BBCH[1]، عامل اصلی (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، BBCH ۶۵ (آبیاری تا ۵۰ درصد گل دهی) و BBCH ۷۵ (آبیاری تا ۵۰ درصد دانه‌بندی)) در کرت‌های اصلی و ترکیب‌های مختلف نیتروژن (نیتروکسین، اوره براساس آزمون خاک و تلفیق ۵۰ درصد اوره براساس آزمون خاک و نیتروکسین) و ترکیب های مختلف پتاسیم (عدم مصرف، محلول پاشی نانو کلات پتاسیم، کاربرد دی اکسید پتاسیم همراه با آب آبیاری و مصرف خاکی نانو کلات پتاسیم) در کرت های فرعی قرار داشتند که مقدار، منبع و روش استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. BBCH مقیاسی است که منبعی برای گزارش‌دهی و آنالیز داده‌های رشتهٔ کشاورزی به کار می‌رود. مراحل فنولوژی گیاهان بر طبق کدهای BBCH در فصل خاص خود تعریف می‌شود [۳۷].

با توجه به زمان کاشت کنجد بعد از گندم و شرایط اقلیمی منطقه اجرای طرح (جنوب تهران)، که در این فصل، هوا به شدت گرم می شود، این عوامل باعث کاهش رشد ریشه گیاه شده و به دنبال آن کاهش جذب مواد معدنی (مثل پتاسیم) از خاک اتفاق می‌افتد. بنابراین روش‌های مختلف کوددهی پتاسیم (محلول‌پاشی، استفاده با آب آبیاری و خاک پاش) در این طرح بررسی شد. دلیل استفاده از تیمار خاک پاش پتاسیم در ابتدای کاشت نیز به دلیل محدودیت کشت دوم و زیر کشت بودن محل آزمایش بود.

بعد از برداشت گندم پاییزه (در هفتهٔ سوم خرداد ماه)، خاک تجزیه شد که دارای بافت لومی رسی شنی بود (جدول ۲). عملیات خاک ورزی شامل شخم، دیسک و

1. Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry

تسطیح قبل از کاشت دستی که در ۳۱ خرداد ماه بود، صورت گرفت. هر کرت آزمایشی به ابعاد ۲×۳ متر (دارای پنج ردیف کشت) و فاصله بین بلوک‌ها ۲ متر، فاصلهٔ کرت‌های در هر بلوک ۱متر، فاصلهٔ بوته‌ها روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر و فاصلهٔ ردیف‌ها از هم ۴۵ سانتی‌متر بودند [۲۷]. آبیاری کرت‌ها به‌صورت جوی و پشته‌ای و تعیین زمان آبیاری با استفاده از تشتک تبخیر کلاس A (در ۷۰ میلی متر تبخیر و تعرق گیاه) صورت گرفت. بعد از اعمال تیمارهای محلول پاشی، زمانی که حدوداً ۵۰ درصد کرت‌های مربوطه در مرحلهٔ گل‌دهی (برای اعمال BBCH ۶۵) و یا در مرحلهٔ دانه بندی (برای اعمال تیمار BBCH ۷۵) قرار داشتند، قطع آبیاری صورت گرفت.

جدول ۱. تیماری‌های مختلف کودی، منابع تأمین و زمان مورد استفاده

نوع کود	زمان و مقدار مصرف	منبع مورد استفاده
کود بیولوژیک نیتروکسین	قبل از کاشت به صورت بذرمال ۰/۵ لیتر برای ۹ کیلوگرم بذر در شرایط تاریکی [۱۴]	تهیه شده از شرکت مهر آسیا، حاوی باکتری‌های محرک رشد (*ازتوباکتر کروئوکوکوم*[1]، *ازتوباکترآجیلیس*[2]، *آزوسپریلیوم برازیلنس*[3] و *آزوسپریلیوم لیپوفرم*[4]
محلول‌پاشی نانو کلات پتاسیم	به میزان ۲ در هزار در ۲ مرحلهٔ ابتدای گل دهی و ابتدای دانه‌بندی	از منبع نانو کود خضراء دارای ۲۷ درصد کلات پتاسیم
نانو کلات پتاسیم به صورت خاک‌پاش	به میزان ۲ کیلوگرم در هکتار در ابتدای کاشت (به دلیل محدودیت زیر کشت بودن مزرعه و کشت دوم بودن آزمایش)	از منبع نانو کود خضراء دارای ۲۷ درصد کلات پتاسیم
دی اکسید پتاسیم همراه با آب آبیاری	به میزان ۲ لیتر در هکتار براساس توصیهٔ شرکت سازنده کود	از منبع کود شیمیایی پتاکارب (حاوی ۵۲ درصد دی‌اکسید پتاسیم)
کود شیمیایی نیتروژن	به میزان ۳۱/۲ گرم برای هر کرت در طی دو مرحله در ابتدای کاشت و ابتدای گل‌دهی	از منبع اوره دارای ۴۶ درصد نیتروژن

جدول ۲. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعهٔ آزمایشی در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر خاک

بافت خاک	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (mg/kg)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	هدایت الکتریکی (dS/m)	pH
لوم رسی شنی	۰/۱۴	۱۲۰۰	۷/۴	۲۵۰	۳/۶۷	۷/۸

1. Azotobacter chroococcum
2. Azotobacter agillis
3. Azospirillum brasilense
4. Azospirillum lipoferum

بعد از رسیدگی فیزیولوژیک (در پنجم آبان و نشانه های این مرحله، خشک شدن و تغییر رنگ در ۵۰درصد از کپسول‌ها)، بعد از حذف آثار حاشیه‌ای از هر کرت تعداد پنج بوته به تصادف انتخاب و صفات عملکردی شامل تعداد کل کپسول، وزن دانه در کپسول، وزن دانه در بوته و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد [۲۷و۳۴]. برای کم کردن خطای نمونه‌برداری و دقیق‌تر شدن محاسبهٔ عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک اندازه‌گیری این پارامترها در واحد سطح با حذف آثار حاشیه ای صورت گرفت [۶]. در نهایت شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک محاسبه شد [۲۷و۳۴]. اندازه‌گیری پروتئین با استفاده از روش برادفورد [۲۸] انجام شد. روغن کل دانه به روش لیبوریتز و همکاران [۳۵]، با استفاده از اتر انجام شد. برای محاسبهٔ عملکرد پروتئین و روغن نیز درصد پروتئین و روغن در عملکرد دانه ضرب شد. در نهایت داده‌های به‌دست آمده با نرم‌افزار آماری SAS 9.2 تجزیه شد و مقایسهٔ میانگین داده‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵درصد صورت گرفت.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. تعداد کل کپسول در بوته

اثر ترکیب‌های مختلف کود نیتروژن، پتاسیم و رژیم‌های آبیاری و اثر متقابل رژیم های آبیاری در کود نیتروژن، کود نیتروژن در کود پتاسیم و اثر سه گانه (آبیاری در نیتروژن در پتاسیم) بر تعداد کل کپسول در بوته معنادار شد (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین اثر سه گانه نشان داد که بیشترین تعداد کل کپسول در بوته در ترکیب تیماری آبیاری تا ۵۰ درصد دانه بندی (BBCH ۷۵) در مصرف نیتروژن به‌صورت اوره و محلول پاشی نانو کلات پتاسیم با میانگین ۱۹/۲۶ عدد بود که افزایش ۱۱/۴۲ درصدی در مقایسه با تیمار شاهد را نشان داد (جدول ۴). در بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد ۴رقم کنجد تحت تنش کم آبی، تنش شدید سبب کاهش ۴۲، ۳۷، ۴۸ و ۴۹ درصد به‌ترتیب در تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک شد [۲۳]. تنش خشکی در مرحلهٔ گل دهی با ریزش تعداد کپسول‌های تشکیل شده و عدم تشکیل آنها، باعث کاهش تعداد کپسول در بوته می شود [۳۳] که این مطلب در پژوهش های مختلف نیز گزارش شده است [۴]. استفاده از نانو کلات پتاسیم در قیاس با سایر ترکیب های پتاسیم تعداد کپسول در بوته بالایی را ایجاد کرد. چنانچه در بالا ذکر شد، تعداد کپسول در بوته از اجزای مهم عملکرد دانه در گیاه کنجد محسوب می شود. تأثیر کود نیتروژن به‌صورت اوره و همچنین کودهای زیستی بر تعداد کل کپسول کنجد (با افزایش تعداد شاخهٔ فرعی و همچنین بهبود رشد ریشه) در آزمایش های مختلف معنادار گزارش شده است [۱۷]. باکتری‌های موجود در کود بیولوژیک نیتروکسین (گونه‌های مختلف ازتوباکتر و آزوسپریلیوم) می‌توانند به‌طور مستقیم بر رشد گیاه به‌وسیلهٔ افزایش جذب نیتروژن، سنتز فیتوهورمون ها و انحلال مواد معدنی مفید باشند. در شرایط فراوانی مواد آلی خاک، کارایی استفاده از کود بیولوژیک افزایش خیلی بیشتری خواهد داشت. در همین راستا گزارش شد، که نبود یا کمبود مواد آلی در خاک، کود بیولوژیک نیتروکسین تأثیری بر افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم نداشت [۳۲].

۲.۳. تعداد دانه در کپسول و بوته

اثر رژیم‌های آبیاری و کود نیتروژن بر تعداد دانه در بوته معنادار بود. همچنین، اثر متقابل آبیاری در کود نیتروژن، کود نیتروژن در پتاسیم و اثر متقابل سه گانه (نیتروژن در پتاسیم در آبیاری) بر تعداد دانه در کپسول و تعداد دانه در بوته معنادار بودند (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیهٔ واریانس اثر ترکیب‌های مختلف کود نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد در رژیم‌های مختلف آبیاری

منابع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)						
		تعداد کل کپسول	تعداد دانه در کپسول	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت
بلوک	۲	۴/۴۸ ns	۱۶/۶۹ ns	۲۶۹۴۴/۸ ns	۰/۲۳*	۵۵۳۴۲/۸*	۳۵۶۲۰۳ns	۰/۰۵ ns
آبیاری (I)	۲	۱۴/۴۳**	۶۶/۶۹ ns	۷۷۱۸۶/۳*	۰/۲۵*	۲۹۹۸۰/۹ns	۱۹۴۲۲۹۷ns	۱۲/۹۳ ns
خطای اصلی	۴	۰/۳۳	۵۵/۹۳	۱۴۹۱۹/۳	۰/۱۶	۱۲۹۹۷/۶	۳۰۳۵۰۶۳۰	۵/۷۸
نیتروژن (N)	۲	۱۵۰/۵۴**	۱۶/۸۶ ns	۸۶۵۹۴۴/۷**	۰/۰۶ ns	۴۴۹۸۱۷/۶**	۵۵۳۱۲۶۱۰**	۱۴/۹۶ ns
پتاسیم (K)	۳	۱۱/۷۸**	۳۹/۶۵ ns	۳۹۳۶۹/۷ ns	۰/۱ ns	۲۸۵۳۵/۲ns	۳۱۶۹۵۴۶ns	۴/۷۱ ns
I×N	۴	۱۸/۸۶**	۲۵۵/۰۵**	۲۴۴۸۸۹/۴**	۰/۲۳**	۱۸۲۸۴۵/۲**	۲۰۳۶۲۸۱ns	۲۱/۲**
N×K	۶	۹/۵۶**	۹۷/۱*	۶۶۰۳۳/۷**	۰/۱۲ ns	۳۹۵۰۷/۳*	۳۳۴۰۸۷۷ns	۱۱/۷۷ ns
I×K	۶	۱/۲۴ ns	۹۳/۵۳*	۱۲۱۴۳/۶ ns	۰/۱۹**	۲۰۰۹۷/۷ns	۱۲۴۴۲۳۴ns	۲/۲ ns
I×N×K	۱۲	۲۰**	۸۳/۰۹*	۱۵۰۷۹۴/۳**	۰/۰۷ ns	۸۶۹۱۴/۲**	۸۳۷۹۶۵۳**	۷ ns
خطا	۶۶	۲/۵۱	۴۲/۰۳	۱۹۹۱۰/۲	۰/۰۶	۱۵۸۷۱/۲	۲۷۶۰۹۰۰	۵/۸۴
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۱/۷۶	۸/۸۲	۱۴/۲	۸/۵۸	۱۲/۸۸	۲۱/۹۲	۱۸/۱۲

ns، * و ** : به‌ترتیب غیرمعنادار و معنادار در سطوح ۵ و ۱درصد

بیشترین تعداد دانه در کپسول در ترکیب تیماری آبیاری تا ۵۰ درصد گل‌دهی در محلول‌پاشی نانو کلات پتاسیم در استفاده از سیستم تلفیقی کود نیتروژن (۵۰ درصد اوره + نیتروکسین) با میانگین ۸۵ عدد (افزایش ۱۴/۵۱ درصدی در قیاس با تیمار شاهد) بود (جدول ۴). بیشترین تعداد دانه در بوته نیز در آبیاری تا ۵۰ درصد دانه‌بندی در محلول‌پاشی نانو کلات پتاسیم در شرایط استفاده از اوره و در قطع آبیاری در ۵۰ درصد دانه بندی در عدم استفاده از کود پتاسیم در شرایط تلقیح با کود بیولوژیک نیتروکسین به‌ترتیب با میانگین ۱۴۳۱/۷ و ۱۴۵۴ عدد بذر در بوته (به‌ترتیب افزایش ۱۵/۳۴ و ۱۷/۱۴ درصدی در قیاس با شاهد) به‌دست آمد (جدول ۴). علت افزایش تعداد دانه احتمالاً به دلیل فراهم شدن رشد سریع و تولید منابع فراوان برای فتوسنتز و ماده‌سازی بیشتر از طریق کاربرد کودهای شیمیایی و بیولوژیک، به افزایش رشد و تولید تعداد دانه در بوته بیشتر می‌انجامد [۲۱]. پژوهشگران اثر تنش خشکی را بر تعداد دانهٔ کنجد معنادار گزارش کردند [۴].

جدول ۴. مقایسهٔ میانگین اثر ترکیب‌های مختلف کود نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد در رژیم‌های مختلف آبیاری

مراحل قطع آبیاری	کود پتاسیم	کود نیتروژن	تعداد کل کپسول در بوته	تعداد دانه در کپسول	تعداد دانه در بوته	عملکرد دانه (kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (kg/ha)
آبیاری کامل	شاهد	نیتروکسین (N)	۱۰/۹۸ h-l	۷۵/۶۶ a-e	۸۲۹/۴ f-l	۸۵۴/۶ h-n	۴۹۰۰ h
		اوره (O)	۱۷/۰۶ abc	۷۲/۶۶ a-g	۱۲۴۱/۲ abc	۱۱۰۷/۶ a-g	۹۶۳۳ a-d
		N+50% O	۱۱/۲ h-l	۶۱ g	۶۹۲/۹ jkl	۷۵۰/۵ lmn	۷۱۰۰ c-h
	محلول‌پاشی نانو کلات پتاسیم	نیتروکسین (N)	۱۲/۳ f-j	۸۱/۶۶ abc	۱۰۰۱/۹ c-i	۹۵۹/۴ e-m	۷۳۶۷ b-h
		اوره (O)	۱۳/۱۴ d-i	۸۰ a-d	۱۰۴۳/۵ b-h	۹۵۲/۱ f-n	۸۰۵۸ a-h
		N+50% O	۸/۴۵ l	۷۲/۳ a_g	۶۱۸/۲ l	۷۲۴ mn	۵۰۳۳ gh
	مصرف آبی دی‌اکسید پتاسیم	نیتروکسین (N)	۱۴/۹۸ c-f	۷۵/۶ a_e	۱۱۲۸/۷ b-e	۱۱۶۱ a-f	۱۰۸۶۷ a
		اوره (O)	۱۴/۳ c-g	۷۳/۶۶a_g	۱۰۵۷/۷ b-g	۱۰۱۲/۸ c-j	۸۲۶۷ a-h
		N+50% O	۱۰/۲ i-l	۷۲a_f	۷۴۵/۷ i-l	۷۷۶/۳ j-n	۶۲۶۷ e-h
	کاربرد خاکی نانو کلات پتاسیم	نیتروکسین (N)	۱۳/۵۴ d-h	۷۹/۶۶a_d	۱۰۷۴/۸ b-g	۱۰۴۶/۴ c-i	۷۹۳۳ a-h
		اوره (O)	۱۶/۸۵ abc	۷۱/۶۶b-g	۱۲۰۷/۵ a-d	۱۲۲۹/۲ a-d	۹۷۰۰ a-d
		N+50% O	۹/۹۳ jkl	۷۰/۶ b-g	۷۰۲/۷ jkl	۷۶۶/۷ k-n	۶۰۰۰ fgh
آبیاری ۶۵ BBCH	شاهد	نیتروکسین (N)	۱۳/۳ i-h	۶۸/۶۶ c-g	۹۱۵/۲ f-k	۹۲۷ f-n	۷۴۰۰ b-h
		اوره (O)	۱۵/۵۴ b-e	۸۲/۶۶ ab	۱۲۸۴/۵ ab	۱۱۳۷/۷ a-f	۷۷۸۸ a-h
		N+50% O	۱۲/۸۸ e-j	۷۸/۶۶ a-e	۱۰۰۹/۷ b-h	۱۰۵۶ c-h	۷۰۶۷ c-h
	محلول‌پاشی نانو کلات پتاسیم	نیتروکسین (N)	۱۱/۰۹ h-l	۷۰ b-g	۷۷۱/۶ h-l	۸۰۲/۸ i-n	۵۹۰۰ fgh
		اوره (O)	۱۴/۴ c-g	۶۲/۳۳ fg	۸۹۶/۵ e-l	۸۷۷/۸ g-n	۸۳۰۴ a-g
		N+50% O	۱۳/۰۲ d-i	۸۵ a	۱۱۱۰/۶ b-e	۱۱۳۸/۲ a-f	۶۴۶۷ d-h
	مصرف آبی دی‌اکسید پتاسیم	نیتروکسین (N)	۱۲/۱f-k	۶۷/۳۳ d-g	۸۱۳/۴ g-l	۸۴۸/۹ h-n	۶۸۰۰ d-h
		اوره (O)	۱۶/۹۲ abc	۷۱/۳۳ b-g	۱۲۱۶/۸ abc	۱۲۰۶/۹ a-e	۹۶۶۷ a-d
		N+50% O	۱۲/۹۷ d-j	۷۲ b-g	۹۳۵/۳ d-j	۹۹۳/۵ d-l	۶۱۳۳ fgh

ادامهٔ جدول ۴. مقایسهٔ میانگین اثر ترکیب‌های مختلف کود نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد در رژیم‌های مختلف آبیاری

مراحل قطع آبیاری	کود پتاسیم	کود نیتروژن	تعداد کل کپسول در بوته	تعداد دانه در کپسول	تعداد دانه در بوته	عملکرد دانه (kg/h)	عملکرد بیولوژیک (kg/h)
آبیاری تا ۷۵ BBCH	کاربرد خاکی نانو کلات پتاسیم	نیتروکسین (N)	۱۰/۵ h-l	۶۲ fg	۶۴۸/۳ kl	۷۳۳/۸ mn	۶۵۰۰ d-h
		اوره (O)	۱۷/۲۴ abc	۷۴ a-g	۱۲۷۶/۳ abc	۱۲۴۲/۵ abc	۹۵۰۰ a-e
		N+50% O	۱۵/۹۴ bcd	۶۹ c-g	۱۰۹۷/۱ b-f	۱۰۳۷/۴ c-i	۶۵۵۸ d-h
	شاهد	نیتروکسین (N)	۱۸/۳۸ ab	۷۹ a-d	۱۴۵۴ a	۱۳۴۰/۵ a	۱۰۳۳۳ abc
		اوره (O)	۱۳/۲۲ d-i	۷۷/۳۳ a-e	۱۰۲۰/۳ b-i	۱۰۲۵/۱ c-i	۷۲۳۳ b-h
		N+50% O	۱۰/۵۸ h-l	۶۵/۶۶ efg	۶۹۳/۲ jkl	۷۰۶/۸ n	۶۲۳۳ f-h
	محلول‌پاشی نانو کلات پتاسیم	نیتروکسین (N)	۹/۲۹ kl	۷۳/۶۶ a-g	۶۸۳/۶ jkl	۷۶۳/۵ k-n	۵۹۶۷ fgh
		اوره (O)	۱۹/۲۶ a	۷۴/۶۶ a-e	۱۴۳۱/۷ a	۱۳۰۰/۸ ab	۱۰۴۳۳ ab
		N+50% O	۱۱/۶ g-k	۷۵ a-f	۸۷۰/۶ e-l	۸۸۰/۲ g-n	۶۷۱۷ d-h
	مصرف آبی دی‌اکسید پتاسیم	نیتروکسین (N)	۱۲/۵۶ e-j	۷۱/۳۳ b-g	۹۰۲/۴ e-k	۸۴۲ h-n	۷۳۰۰ b-h
		اوره (O)	۱۶/۹۶ abc	۷۵ a-f	۱۲۶۷/۹ abc	۱۰۸۶/۷ b-h	۹۵۰۰ a-e
		N+50% O	۱۲/۷۸ e-j	۸۱/۶۶ abc	۱۰۴۴/۲ b-h	۸۶۷/۹ g-n	۶۶۶۷ d-h
	کاربرد خاکی نانو کلات پتاسیم	نیتروکسین (N)	۱۲/۱۷ f-k	۶۹ c-g	۸۳۴ f-l	۹۵۹ e-m	۶۲۳۳ e-h
		اوره (O)	۱۴/۹۲ c-f	۷۴/۶۶ a-f	۱۱۱۶/۳ b-e	۱۰۶۹/۱ b-h	۹۱۶۷ a-f
		N+50% O	۱۴/۶۶ c-f	۷۷/۳۳ a-e	۱۱۳۳/۵ b-e	۱۰۰۶/۸ e-k	۷۹۶۷ a-h

براساس مقایسهٔ میانگین چند دامنه‌ای دانکن حروف غیرمشابه در هر ستون، تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵درصد دارند

همچنین تنش خشکی در مرحلهٔ بذردهی باعث افزایش ۷درصدی تعداد دانه در کپسول شد [۱۸]. علت این امر، گذراندن قسمت بیشتری از دوران رشد گیاه در شرایط بدون تنش بوده که تعداد زیادی کپسول تولید کرده است و پس از ایجاد تنش، به‌دلیل کاهش مخازن عمده دریافت مواد فتوسنتز جاری و انتقال مجدد (ریزش کپسول‌ها)، برای تعدیل عملکرد و ثبات عملکرد اقدام به افزایش تعداد دانه در هر کپسول کرده است [۸]. تأثیر مثبت کود بیولوژیک نیتروکسین (شامل ازتوباکتر و آزوسپریلیوم) در افزایش وزن هزار دانه، عملکرد دانه و بیولوژیک و نیز درصد و عملکرد پروتئین کنجد توسط محققان گزارش شده است [۱۶].

۳.۳. عملکرد دانه و بیولوژیک

اثر ترکیب‌های کود نیتروژن و اثر متقابل سه‌گانه (کود نیتروژن در کود پتاسیم در آبیاری) بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۱درصد معنادار بود. همچنین، اثر متقابل کود نیتروژن در آبیاری و کود نیتروژن در کود پتاسیم بر عملکرد دانه معنادار به دست آمد (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه با توجه به مقایسهٔ میانگین اثر سه‌گانه، در ترکیب تیماری آبیاری تا ۵۰ درصد دانه‌بندی در شرایط عدم‌استفاده از کود پتاسیم و کاربرد کود نیتروکسین با میانگین ۱۳۴۰/۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (افزایش ۱۷/۳۷ درصدی در مقایسه با شاهد) که با ترکیب تیماری آبیاری تا ۵۰ درصد دانه‌بندی در محلول‌پاشی نانو کلات پتاسیم در کاربرد اوره براساس آزمون خاک با میانگین ۱۳۰۰/۸ کیلوگرم در هکتار بذر (افزایش ۱۴/۸۵ درصدی در قیاس با شاهد)، اختلاف معناداری نداشت و در بالاترین سطح قرار داشتند (جدول ۴). پژوهشگران گزارش کردند که با افزایش سطوح تنش خشکی (تنش شدید) کاهش معناداری در میانگین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک کنجد مشاهده شد [۴و۳۳].

دو صفت تعیین‌کنندهٔ میزان مشارکت ساقه در تأمین مواد پرورده برای دانه است. نخست، توانایی ساقه برای ذخیرهٔ مواد پرورده و دوم کارایی تبدیل و انتقال مجدد مواد ذخیره شده به دانه است [۲۴]. به نظر می‌رسد که در شرایط قطع آبیاری در BBCH ۷۵ (آبیاری تا ۵۰ درصد دانه‌بندی) به‌دلیل افزایش قدرت منبع ثانویه برای ارسال مواد ذخیره شده به دانه (مقصد)، عملکرد دانه بیشتر شد [۱۸و۵]. از طرف دیگر گیاه کنجد مقاوم به کم‌آبی بوده و این امر هم می‌تواند دلیل دیگری باشد که تنش ملایم تأثیر کاهنده بر عملکرد و اجزای عملکرد این گیاه نداشته، بلکه باعث تحریک و افزایش انتقال مواد ذخیره شده در اندام‌های رویشی به سمت اندام‌های زایشی شده و در نهایت عملکرد افزایش یافته است. در شرایط تنش شدید (قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی) کاهش عملکرد دانه در هر بوته به‌علت کاهش مواد غذایی باشد، که این کاهش می‌تواند به‌علت کاهش ارتفاع و رشد رویشی و در نهایت کاهش سهم فتوسنتزی گیاه و کم شدن سهم دانه در دریافت کربوهیدرات باشد [۱۸]. در اثر رژیم های آبیاری بر عملکرد دانه بین کمترین و بیشترین میانگین اختلاف حدودی ۱۹ درصدی وجود داشت ولی این تفاوت از لحاظ آماری و مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن غیرمعنادار شد.

در پژوهش حاضر کاربرد کود نیتروکسین به تنهایی، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بالایی را در قیاس با کود نیتروژن و یا سیستم تلفیقی نشان داد. کاربرد کود نیتروژن می‌تواند با توسعهٔ رشد رویشی، گسترش و دوام بیشتر سطح برگ، ساقه و نیز تولید شاخه بیشتر سبب افزایش عملکرد دانه شود [۲۳]. با وجود نقش مؤثر کودهای بیولوژیک بر عملکرد گیاهان، کارایی گونه‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن به‌طور محسوسی می‌تواند تحت تأثیر فراهمی مواد آلی در محیط رشد آن‌ها قرار گیرد [۱۵و۳۱]. به‌طوری که کمبود یا نبود مواد آلی در خاک ممکن است، به کاهش عدم تأثیرگذاری این کودهای زیستی در افزایش تولید گیاهان منجر شود. گزارش شده است که کاربرد نیتروژن در مقایسه با عدم کاربرد آن باعث افزایش عملکرد دانه گلرنگ شد و این افزایش عملکرد را به علت اثر نیتروژن در بهبود فتوسنتز و تولید فتوآسیمیلات‌ها و تأثیر آن بر تسهیم‌بندی مادهٔ خشک و رشد و نمو اندام‌ها دانستند [۲۹].

محلول پاشی یکی از روش های سریع برای پاسخ گیاهان به افزودن کود است که به صرفه‌جویی در مصرف کود نیز منجر می شود و همچنین استفاده از فرم های کلاته که به‌واسطهٔ واکنش نمک‌های فلزی با کمپلکش‌های

مصنوعی و طبیعی حاصل می‌شوند، به افزایش میزان کارایی کود می انجامد [۱۰]. در پژوهشی تأثیر مصرف خاکی و محلول پاشی نانو کلات آهن بر عملکرد دانهٔ آفتابگردان معنادار نبود، ولی باعث افزایش عملکرد دانه شد [۲۲]. در پژوهش حاضر نیز، محلول پاشی نانو کلات پتاسیم و کاربرد آبی دی اکسید پتاسیم در مقایسه با مصرف خاکی آن آثار مثبت بیشتری بر صفات مورد مطالعه نشان داد. گزارش شده که استفاده از کود پتاسیم میزان جذب فسفر خاک را افزایش می‌دهد [۱۱] و از این طریق نیز باعث بهبود عملکرد دانه می‌شود.

نتایج به‌دست آمده از جدول همبستگی (جدول ۵) بین صفات نشان داد که عملکرد دانه به‌عنوان مهم‌ترین بخش اقتصادی گیاه با صفات تعداد کل کپسول، تعداد دانه در کپسول، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد پروتئین و عملکرد روغن همبستگی مثبت و معنادار در سطح احتمال ۱درصد داشت.

جدول ۵. همبستگی ساده بین صفات کمّی و کیفی در گیاه کنجد تحت تأثیر کاربرد کودهای مختلف نیتروژن و پتاسیم در شرایط قطع آبیاری

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱	۱										
۲	۰/۱۴	۱									
۳	۰/۹۱**	۰/۵۲**	۱								
۴	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۸	۱							
۵	۰/۸۵**	۰/۴۸**	۰/۹۲**	۰/۴۴**	۱						
۶	۰/۸۰**	۰/۱۶	۰/۷۵**	۰/۱۰	۰/۷۲**	۱					
۷	−۰/۲۱	۰/۳۰*	−۰/۰۶	۰/۳۴*	۰/۰۶	−۰/۶۱**	۱				
۸	−۰/۰۴	۰/۰۱	−۰/۰۲	۰/۰۲	−۰/۰۰۸	۰/۱۰	−۰/۱۵	۱			
۹	۰/۷۰**	۰/۴۱**	۰/۷۷**	۰/۳۷*	۰/۸۴**	۰/۶۷**	−۰/۰۳	۰/۵۲**	۱		
۱۰	−۰/۲۳	−۰/۰۴	−۰/۲۱	۰/۰۵	−۰/۱۶	−۰/۱	−۰/۰۱	−۰/۳۰*	−۰/۰۵	۱	
۱۱	۰/۵۱**	۰/۳۸*	۰/۶۰**	۰/۴۲**	۰/۷۰**	۰/۵۱**	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۶۵**	۰/۵۷**	۱

بدون علامت غیرمعنادار، * و ** : به‌ترتیب معنادار در سطوح ۵ و ۱درصد

۱. تعداد کل کپسول، ۲. تعداد دانه در کپسول، ۳. تعداد دانه در بوته، ۴. وزن هزار دانه، ۵. عملکرد دانه، ۶. عملکرد بیولوژیک، ۷. شاخص برداشت، ۸. درصد پروتئین، ۹. عملکرد پروتئین، ۱۰. درصد روغن، ۱۱. عملکرد روغن.

بیشترین عملکرد بیولوژیک که شامل کل وزن خشک اندام هوایی گیاه است در آبیاری کامل در کاربرد کود بیولوژیک نیتروکسین در کاربرد دی‌اکسید پتاسیم با میانگین ۱۰۸۶۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (افزایش ۱۱/۳۵ درصدی) و کمترین میانگین این صفت در شرایط آبیاری کامل در عدم استفاده از کود پتاسیم و استفاده از کود بیولوژیک نیتروکسین بود (کاهش ۴۹/۱۳ درصدی) (جدول ۴). قطع آبیاری در مرحلهٔ BBCH ۷۵ (آبیاری تا ۵۰ درصد دانه بندی) در اکثر صفات نظیر تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه، درصد و عملکرد پروتئین، بالاترین میانگین را داشت. احتمالاً ترشح هورمون‌های محرک رشد گیاه و افزایش جذب عناصر غذایی (از طریق محلول کردن فسفر و پتاسیم خاک) توسط باکتری های موجود در کودهای زیستی، در تحریک رشد گیاه، افزایش مادهٔ خشک و در نهایت افزایش عملکرد بیولوژیک مؤثر بوده است [۴۵]. کاهش عملکرد بیولوژیک ناشی از تجمع مادهٔ خشک است. قطع آبیاری در مراحل اولیه رشد زایشی که گیاه تقریباً سرعت بسیاری در تجمع مادهٔ خشک دارد، باعث آسیب شدید به مادهٔ خشک تجمعی و در نهایت عملکرد بیولوژیک می‌شود، در حالی که قطع آبیاری در مراحل پایانی رشد میزان خسارت کمتری خواهد داشت [۲۱].

۴.۳. درصد و عملکرد پروتئین

نتایج به‌دست آمده نشان داد که اثر آبیاری و پتاسیم بر درصد پروتئین و اثر نیتروژن، اثر متقابل آبیاری در نیتروژن، اثر آبیاری در پتاسیم و اثر متقابل سه گانه (آبیاری در نیتروژن در پتاسیم) بر درصد و عملکرد پروتئین معنادار بودند (جدول ۶). بالاترین درصد و عملکرد پروتئین در آبیاری تا ۵۰ درصد دانه‌بندی در عدم مصرف کود پتاسیم در شرایط تلقیح با کود زیستی نیتروکسین به‌ترتیب با میانگین ۲۰/۵ درصد و ۲۷۶/۵۳ کیلوگرم در هکتار (به ترتیب باعث افزایش ۲۹/۷۴ درصدی در درصد پروتئین و دو برابر شدن عملکرد پروتئین) به‌دست آمد. در هر دو صفت، کمترین میانگین در آبیاری تا ۵۰ درصد گل دهی در عدم استفاده از کود پتاسیم در شرایط استفاده از کود بیولوژیک نیتروکسین بود (جدول ۷).

جدول ۶. تجزیهٔ واریانس اثر ترکیب‌های مختلف کود نیتروژن و پتاسیم بر صفات کیفی دانه کنجد در رژیم‌های مختلف آبیاری

منابع تغییر (S.O.V)	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات			
		درصد پروتئین	عملکرد پروتئین	درصد روغن	عملکرد روغن
بلوک	۲	۷/۱۷^{ns}	۵۰۲۳/۶**	۳۵/۳۴^{ns}	۲۲۱۲۱**
آبیاری (I)	۲	۲۳/۶۲**	۷۰۹/۳^{ns}	۲۳/۳۶^{ns}	۳۳۳۹/۷^{ns}
خطای اصلی	۴	۴/۱۲	۸۹۹/۱	۲۴/۷۲	۵۹۶۱/۷
نیتروژن (N)	۲	۱۱/۴۷*	۶۹۱۲/۳**	۷۶/۶۲*	۲۲۶۲۶/۹**
پتاسیم (K)	۳	۱۷/۵**	۱۴۲۲/۶^{ns}	۶۰/۸۷*	۱۵۶۳/۱^{ns}
I×N	۴	۹/۵۴*	۶۷۴۳/۶**	۱۲۹/۳**	۱۸۵۲۸/۵**
N×K	۶	۳/۶۱^{ns}	۱۳۸۰/۴^{ns}	۱۵۴/۱۶**	۲۳۲۸۲/۵**
I×K	۶	۱۳/۱۴**	۲۶۸۳**	۱۱۱/۲۷**	۱۲۴۲۴**
I×N×K	۱۲	۶/۲*	۴۷۳۰/۹**	۸۱/۰۲**	۱۷۰۸۱**
خطا	۶۶	۲/۶۳	۷۸۶/۸	۱۱/۰۶	۴۰۱۶/۳
ضریب تغییرات(٪)	_	۹/۵۱	۱۶/۸۱	۱۶/۰۶	۱۸

ns، * و ** : به‌ترتیب غیرمعنادار و معنادار در سطوح ۵ و ۱درصد

جدول ۷. مقایسهٔ میانگین اثر ترکیب‌های مختلف کود نیتروژن و پتاسیم بر صفات کیفی کنجد در رژیم‌های مختلف آبیاری

مراحل قطع آبیاری	کود پتاسیم	کود نیتروژن	درصد پروتئین	عملکرد پروتئین (kg/ha)	درصد روغن	عملکرد روغن (kg/ha)
آبیاری کامل	شاهد	نیتروکسین (N)	۱۵/۸ e-i	۱۳۲/۷ ghi	۳۲/۵ h-n	۲۷۴/۸ hij
		اوره (O)	۱۷ b-g	۱۸۹/۸ b-f	۳۳/۷ g-n	۳۷۳/۵ b-i
		N+50% O	۱۹/۵ abc	۱۴۷/۷ e-i	۳۷ d-l	۲۷۹/۴ g-j
	محلول‌پاشی نانو کلات پتاسیم	نیتروکسین (N)	۱۷/۱ b-g	۱۶۴ d-i	۳۷/۸ d-j	۳۶۲/۷ b-i
		اوره (O)	۲۰ ab	۱۹۱/۵ b-f	۳۸/۷ c-i	۳۶۵/۲ b-i
		N+50% O	۱۷/۶ a-g	۱۲۷/۵ hi	۴۱/۷ a-g	۳۰۴/۷ f-j
	مصرف آبی دی اکسید پتاسیم	نیتروکسین (N)	۱۷/۸ a-g	۲۰۷/۱ bcd	۴۰ b-h	۴۶۵/۸ abc
		اوره (O)	۱۶/۳ c-h	۱۶۷/۴ c-i	۴۳/۵ a-e	۴۳۵ a-e
		N+50% O	۱۷/۳ a-g	۱۳۵/۲ f-i	۳۳/۵ h-n	۲۵۸/۶ ij
	کاربرد خاکی نانو کلات پتاسیم	نیتروکسین (N)	۱۷/۲ a-g	۱۸۲ c-h	۳۲/۱ h-n	۳۳۹/۰ c-j
		اوره (O)	۱۷/۸ a-g	۲۱۹/۹ bc	۳۰/۹ i-n	۳۸۹/۴ b-h
		N+50% O	۱۹/۶ abc	۱۴۹/۷ e-i	۳۶ e-m	۲۷۷/۷ hij
آبیاری BBCH ۶۵	شاهد	نیتروکسین (N)	۱۲/۷ i	۱۱۷/۵ i	۳۷/۴ d-k	۳۴۸/۲ c-j
		اوره (O)	۱۵/۱ f-i	۱۷۳/۶ c-i	۲۸/۶ mn	۳۲۷/۶ d-j
		N+50% O	۱۴/۸ ghi	۱۵۶/۳ d-i	۲۹/۶ k-n	۳۱۰/۹ e-j
	محلول‌پاشی نانو کلات پتاسیم	نیتروکسین (N)	۱۶/۱ d-g	۱۲۹/۹ ghi	۳۶/۱ e-m	۲۸۹/۷ g-j
		اوره (O)	۱۵/۷ e-i	۱۳۸/۲ f-i	۳۴/۲ f-m	۳۰۱/۱ f-j
		N+50% O	۱۷/۷ a-g	۲۰۰/۴ b-e	۴۷/۹ a	۵۵۰/۴ a
	مصرف آبی دی اکسید پتاسیم	نیتروکسین (N)	۱۵/۳ e-i	۱۳۰ ghi	۳۹/۶ b-h	۳۳۵/۸ d-j
		اوره (O)	۱۶/۹ b-g	۲۰۶/۱ bcd	۲۶/۱ n	۳۲۲ d-j
		N+50% O	۱۶/۶ c-g	۱۶۸ c-i	۲۹/۷ k-n	۲۹۱ g-j
	کاربرد خاکی نانو کلات پتاسیم	نیتروکسین (N)	۱۹/۵ abc	۱۴۴/۹ e-i	۴۷/۴ ab	۳۴۸/۹ c-j
		اوره (O)	۱۵/۴ e-i	۱۹۱/۸ b-f	۳۴/۴ f-m	۴۲۸/۶ b-f
		N+50% O	۱۷/۹ a-g	۱۸۶/۴ c-g	۳۲/۶ j-n	۳۴۰/۱ c-j

ادامه جدول ۷. مقایسهٔ میانگین اثر ترکیب‌های مختلف کود نیتروژن و پتاسیم بر صفات کیفی کنجد در رژیم‌های مختلف آبیاری

مراحل قطع آبیاری	کود پتاسیم	کود نیتروژن	درصد پروتئین	عملکرد پروتئین (kg/h)	درصد روغن	عملکرد روغن (kg/h)
آبیاری تا BBCH ۷۵	شاهد	نیتروکسین (N)	۲۰/۵ a	۲۷۶/۵ a	۳۵/۹ e-m	۴۷۹/۶ ab
		اوره (O)	۱۵/۶ e-i	۱۵۹/۶ d-i	۴۴/۲ a-d	۴۵۰ a-d
		N+50% O	۱۷/۹ a-g	۱۲۷/۳ hi	۴۰ b-h	۲۸۰/۳ g-j
	محلول‌پاشی نانو کلات پتاسیم	نیتروکسین (N)	۱۸/۶ a-e	۱۴۲/۵ f-i	۲۹ lmn	۲۲۲ j
		اوره (O)	۱۸/۵ a-f	۲۴۰/۳ ab	۳۴/۲ f-m	۴۴۶/۳ a-d
		N+50% O	۱۹/۱ a-d	۱۶۸/۶ c-i	۴۶/۴ abc	۴۰۹ b-g
	مصرف آبی دی اکسید پتاسیم	نیتروکسین (N)	۱۶/۶ c-g	۱۴۱/۵ f-i	۳۳ h-n	۲۸۲/۶ g-j
		اوره (O)	۱۳/۳ hi	۱۴۴/۲ e-i	۲۹/۹ j-n	۳۳۱/۴ d-j
		N+50% O	۱۵/۲ f-i	۱۳۲/۷ ghi	۴۳/۳ a-e	۳۷۸/۷ b-g
	کاربرد خاکی نانو کلات پتاسیم	نیتروکسین (N)	۱۷/۵ a-g	۱۶۷/۶ c-i	۴۱/۹ a-f	۴۰۴/۲ b-h
		اوره (O)	۱۵/۶ e-i	۱۶۸/۲ c-i	۳۶ e-m	۳۸۳/۵ b-i
		N+50% O	۱۷/۸ a-g	۱۷۸ c-h	۲۸/۳ mn	۲۸۳/۶ g-j

براساس مقایسهٔ میانگین چند دامنه‌ای دانکن حروف غیرمشابه در هر ستون، تفاوت معناداری در سطح احتمال ۵درصد دارند.

با توجه به این نکته که کود نیتروژنه (بیولوژیک و شیمیایی) از جمله مهم‌ترین عناصر مؤثر در افزایش درصد نیتروژن دانه است، به‌نظر می‌رسد که افزایش کاربرد کود نیتروژن، تجمع این عنصر در دانه و همچنین کل گیاه را افزایش می دهد [۱۲]. از طرف دیگر نیتروژن موجود در دانه از مهم‌ترین عناصر در تشکیل آمینواسیدهاست که این وضعیت در نهایت، به افزایش درصد پروتئین دانه منجر می‌شود [۱۲].

در واقع با افزایش قابلیت دسترسی به نیتروژن، درصد پروتئین دانه افزایش می یابد [۳۰]. کودهای بیولوژیک، کارایی تنظیم‌کنندگی رشد، فعالیت فیزیولوژیک و متابولیسمی را در گیاه افزایش داده‌اند و منجر به بهبود رشد گیاه و افزایش ماکرومولکول‌ها می‌شود [۴۳]. در واقع باکتری‌های موجود در کود بیولوژیک نیتروکسین علاوه بر تثبیت نیتروژن هوا و متعادل کردن جذب عناصر اصلی غذایی مورد نیاز گیاه با تولید مواد محرک رشد نظیر انواع هورمون‌های تنظیم‌کنندهٔ رشد باعث بهبود رشد و نمو گیاه کنجد می‌شود [۲۴]. با کاربرد تلفیقی کود شیمیایی و نیتروکسین، از طریق جلوگیری از هدرروی نیتروژن به علت وجود کود زیستی، نیتروژن بیشتری در اختیار گیاه قرار گرفته و لذا میزان پروتئین نیز افزایش می یابد [۲۵]. کودهای نیتروژنه احتمالاً مقدار واردات نیتروژن از قسمت‌های

رویشی به دانه را افـزایش داده و موجـب افـزایش غلظـت نیتروژن دانه و درصد پروتئین آن می‌شود [۴۷].

دربارهٔ صفات کیفی روغن و پروتئین، استفاده از سیستم تلفیقی (۵۰ درصد کود نیتروژن به همـراه اسـتفاده از کـود بیولوژیک نیتروکسین) در قیاس بـا سـطوح دیگـر، درصـد بیشتری داشتند (جدول ۷). در برخی صفات مثل درصـد و عملکرد پروتئین و عملکرد دانه عدم کـاربرد کـود پتاسـیم، میانگین بالاتری در مقایسـه بـا کـاربرد آن داشـت. بعضـی محققان بیان داشتند که کنجـد در برابـر مصـرف کودهـای شیمیایی واکنش چندانی نشان نمی دهـد. ایـن موضـوع بـه علت کودپذیری کم ارقام کنجد است که با شرایط محیطـی سازگاری یافته‌اند [۱۶].

۵.۳. درصد و عملکرد روغن

اثر نیتروژن، نیتروژن در آبیاری، نیتروژن در پتاسیم، آبیـاری در پتاسیم و اثر متقابل سه گانه نیتروژن در پتاسیم در آبیاری بـر درصـد و عملکـرد روغـن در سـطح احتمـال ۱درصـد معنادار بودند (جدول ۶). بیشترین درصد و عملکرد روغن در ترکیـب تیمـاری آبیـاری تـا ۵۰ درصـد گـل‌دهـی در محلول‌پاشی از نانو کلات پتاسیم در شرایط سیستم تلفیقـی کود ۵۰ درصد اوره و کود بیولوژیک نیتروکسین به‌ترتیب با میـانگین ۴۷/۹۶ درصـد و ۵۵۰/۴۶ کیلـوگرم در هکتـار به‌دست آمد. کمترین درصد روغن در شرایط آبیاری تـا ۵۰ درصد گل دهی در کاربرد اوره و کاربرد دی‌اکسـید پتاسـیم بود و کمتـرین عملکـرد روغـن در آبیـاری تـا ۵۰ درصـد دانه‌بندی در شرایط کاربرد نیتروکسین در محلول‌پاشی نـانو کلات پتاسیم به‌دست آمد (جدول ۷). بـا توجـه بـه اینکـه عملکرد روغن دانهٔ تابعی از درصد روغن و عملکـرد دانـه است، در شرایط تنش شدید، میزان افزایش درصـد روغـن (حدود ۴۲/۱۳ درصدی در قیاس با شاهد) به حدی بود که افت عملکرد دانه در این سطح از تنش را جبران و عملکرد روغن را ۳۲/۱۴ درصد افـزایش داد. محققـان بـا مشـاهدهٔ افزایش معنـادار عملکـرد دانـه و روغـن کنجـد در نتیجـهٔ مصرف کود بیولوژیک نیتروکسین، اظهار داشتند که کـاربرد کود بیولوژیک می‌توانـد در راسـتای کـاهش مصـرف کـود شیمیایی نیتروژن مفیـد باشـد [۲۳]. کـاربرد کـود نیتـروژن عامل مهمی در دیررسی کنجد بوده و ممکن اسـت تجمـع مواد هیدروکربنه در روغن را تحـت تـأثیر قـرار دهـد [۲]. گزارش شده است که با افزایش مصرف نیتـروژن شـیمیایی تشکیل پیش‌مـاده‌هـای نیتـروژن‌دار بیشـتر شـده و تشـکیل پروتئین افزایش و در نتیجه میزان مواد لازم برای تبدیل بـه روغن کاهش می یابد، ولـی در شـرایط اسـتفاده از سیسـتم تلفیقی کود، تعادلی بین میزان تشکیل پروتئین و روغـن در گیاه ایجاد می‌شود [۲۰].

عملکرد روغن بـا عملکـرد دانـه، عملکـرد بیولوژیـک، عملکـرد پـروتئین و درصـد روغـن همبسـتگی مثبـت و معناداری نشان داد. بین درصـد روغـن و درصـد پـروتئین همبستگی منفی وجود داشـت (جـدول ۵)، ایـن نتـایج بـا یافته‌های سایر محققان در این زمینه هـم‌خـوانی دارد [۱۳]. وجود همبستگی منفی بین این دو صفت می تواند بـه دلیـل تفاوت زمانی در تشکیل ماکرومولکول هـا باشـد، در طـول روند پر شدن دانه نخست پروتئین و سپس روغن تشـکیل می شود. هر چقدر طول دوره پر شدن دانه طـولانی باشـد، روغن بیشتری تشکیل مـی‌شـود و حتـی در مراحـل آخـر، پروتئین ها نیز به روغن تبدیل مـی‌شـوند. ولـی اگـر طـول دوره، پر شدن دانه کوتاه باشد فرصت کافی بـرای تشـکیل روغن وجود نداشته و چون پروتئین هـا در مراحـل زودتـر تشکیل می‌شود، درصد بیشتری خواهنـد داشـت. از طرفـی افزایش روغن در بذر به خاطر ثابت بودن حجم دانه باعث کاهش پروتئین دانه می‌شود [۳].

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده می توان گفت اعمال تیمار قطع آبیاری در مراحل مختلف فنولوژیکی (BBCH)، مصرف تلفیقی کودهای نیتروژن (بیولوژیک و شیمیایی) و مصرف پتاسیم (نانو و شیمیایی) از طرق مختلف (خاک‌پاش، با آب آبیاری و محلول‌پاشی) می‌تواند تأثیرات مطلوبی را در عملکرد و اجزای عملکرد به جای گذاشته و اثر معناداری را به همراه داشته باشد. به‌طوری که بالاترین میانگین صفات عملکرد مثل تعداد کل کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه در رژیم آبیاری تا ۵۰ درصد دانه‌بندی یا مرحله BBCH۷۵ بوده است. به نظر می‌رسد که در شرایط تنش رطوبتی استفاده از روش تغذیهٔ برگی کود نانو کلات پتاسیم میزان پتاسیم در دسترس و جذب و انتقال آن را در گیاه افزایش داده است. همچنین نانو کود به‌دلیل آزادسازی آرام و کنترل شدهٔ مواد غذایی، افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و کاهش تعداد دفعات کاربرد کود را به‌دنبال دارد. بنابراین، برای تأمین عنصر پتاسیم استفاده از روش تغذیهٔ برگی، نتیجهٔ بهتری به همراه دارد، از طرفی مصرف کود تلفیقی نیتروژن (۵۰ درصد اوره+کود نیتروکسین) به همراه نانو کلات پتاسیم باعث افزایش معنادار میزان روغن و پروتئین دانه شد که به‌دلیل فراهم شدن شرایط تغذیه‌ای مناسب تر برای گیاه کنجد (رقم داراب ۱) بوده است. از این‌رو پیشنهاد می‌شود در شرایط کم آبیاری در مناطق گرم و خشک شبیه جنوب تهران و کشت دوم در دورهٔ فنولوژیکی مناسب با مدیریت بهینه استفاده از کودهای نیتروژنه (بیولوژیک و شیمیایی) و پتاسه (نانو وشیمیایی) می توان ضمن کاهش مصرف آب، به عملکرد مطلوب‌تری رسید.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله، از گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه شاهد و استادان گروه کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان، قدردانی می‌شود.

منابع

۱. احمدی ص، باقری ع ر و جعفری حقیقی ب (۱۳۹٤) اثر کودهای آلی، نانو کودهای بیولوژیک و رژیم های آبیاری بر عملکرد و اجزاء عملکرد دانهٔ کنجد در منطقهٔ خنج استان فارس. اکوفیزیولوژی گیاهی.۲۰: ۱٤۰-۱۵۰.

۲. احمدی م و بحرانی م ج (۱۳۸۸) تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد و میزان روغن دانه ارقام کنجد در منطقهٔ بوشهر. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۳(٤۸): ۱۲۳-۱۳۱.

۳. امیری ا، سیروس مهر ع ر، یداللهی پ، اصغری پور م ر و اسماعیل‌زاده بهابادی ص (۱۳۹۵) تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید سالسیلیک و کیتوزان بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گلرنگ. به‌زراعی کشاورزی. ۱۸(۲): ٤۵۳-٤٦٦.

۴. آئین ا (۱۳۹۲) اثر حذف آبیاری در مراحل مختلف رشد بر عملکرد دانه و برخی صفات زراعی دو ژنوتیپ کنجد. به‌زراعی نهال و بذر. ۲-۲۹(۱):٦۷-۷۹.

۵. الیاسی ش، ارادتمند اصلی د و روحی ا (۱۳۸۹) تأثیر تنش خشکی قبل و بعد از گل‌دهی بر انتقال مجدد مواد در ارقام مختلف گندم آبی. زراعت و اصلاح نباتات. ٦(۱): ۱۷-۲۸.

۶. باقری ا، مسعودسینکی ج، برادران‌فیروزآبادی م و عابدینی اسفهلانی م (۱۳۹۵) اثر تنش قطع آبیاری و محلول پاشی اسید سالسیلیک بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات کیفی ارقام کنجد. پژوهش های به‌زراعی. ۸(۳): ۲۵۹-۲۷٤.

۷. بقری م، شمسی محمودآبادی ح و مروتی ا (۱۳۹۳) اثر نانو کلات آهن بر اجزای عملکرد، میزان آهن و درصد روغن دانهٔ کنجد رقم داراب-۱٤. اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳(۱۸): ٦۹-۷۹.

۸. بهداد م، پاک نژاد ف، وزان س، اردکانی م ر و نصری م (۱۳۸۸) اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه در مراحل مختلف رشد ارقام گندم. تنش‌های محیطی در علوم گیاهی. ۱(۲): ۱٤۳-۱۵۷.

۹. جعفرزاده ر، جامی معینی م و حکم آبادی م (۱۳۹۲) واکنش عملکرد و اجزای عملکرد گندم به مصرف خاکی و محلول پاشی نانوکود پتاسیم. پژوهش های به‌زراعی. ۵(۲): ۱۸۹-۱۹۷.

۱۰. جوکار ل و رونقی ع (۱۳۹٤) اثر محلول پاشی سطوح و منابع مختلف آهن بر رشد و غلظت برخی عناصر غذایی در گیاه سورگوم. علوم و فنون کشت های گلخانه‌ای. ۲۲(٦): ۱٦۳-۱۷۳.

۱۱. حسن زاده ا، قاجارسپانلو م و بهمنیار م ع (۱۳۹۲) تأثیر کاربرد پتاسیم و کود دامی بر عملکرد و غلظت برخی عناصر پرمصرف در گندم تحت تنش آبی. مهندسی زراعی، ۳٦(۱): ۷۷-۸۵.

۱۲. حسینی ر، گالشی س، سلطانی ا، کلاته م و زاهد م (۱۳۹۲) اثر کود نیتروژن بر شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن در ارقام گندم. پژوهش های زراعی ایران. ۱۱(۲) ۳۰۰-۳۰٦.

۱۳. دینی ترکمانی م ر و کاراپتیان ژ (۱۳۸٦) بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مهم دانه در ده رقم کنجد (*Sesamum indicum* L.). مجلهٔ زیست‌شناسی ایران. ۲۰(٤): ۳۲۷-۳۳۳.

۱۴. دیوسالار م، طهماسبی سروستانی ز، مدرس ثانوی س ع و حمیدی آ (۱۳۹۵) بررسی اثر تنش خشکی به صورت قطع آبیاری در مراحل رشد زایشی بر عملکرد کمی و کیفی ارقام سویا. به زراعی کشاورزی. ۱۸(۲): ٤۸۱-٤۹۳.

۱۵. رضوانی مقدم پ، امیری م ب و سیدی س م (۱۳۹۳) اثر مصرف کودهای آلی و زیستی بر عملکرد، میزان روغن و ترکیب اسیدهای چرب روغن کنجد. علوم زراعی ایران. ۱٦(۳): ۲۰۹-۲۲۱.

۱۶. سجادی‌نیک ر، یدوی ع، بلوچی ح ر و فرجی ه (۱۳۹۰) مقایسهٔ تأثیر کودهای شیمیایی (اوره)، آلی (ورمی کمپوست) و زیستی (نیتروکسین) بر عملکرد کمی و کیفی کنجد (*Sesamum indicum* L.). دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۱(۲): ۸۷-۱۰۱.

۱۷. شاکری ا، امینی‌دهقی م، طباطبایی س ع و مدرس ثانوی س م (۱۳۹۱) تأثیر کود شیمیایی و بیولوژیک بر عملکرد، اجزای عملکرد، درصد روغن و پروتئین ارقام کنجد. دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۲(۱): ۷۲-۸۵.

۱۸. فرحبخش ص و فرحبخش ح (۱۳۹۳) بررسی اثرات کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد چند توده بومی کنجد در شرایط کرمان. پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۲(٤): ۷۷٦-۷۸۳.

۱۹. کاظمی ک، خواجه‌حسینی م، نظامی ا و اسکندری ح (۱۳۹۵) تأثیر پرایمینگ بذر بر جوانه زنی، عملکرد و کیفیت دانه کنجد در شرایط آبیاری محدود. به‌زراعی کشاورزی. ۱۸(۲): ۳۷۳-۳۸۸.

۲۰. کوثری‌فر م، خواجوئی‌نژاد غ، مقصودی‌مود ع ا و قنبری ج (۱۳۹٤) اثر کاربرد تیمارهای کودی بر عملکرد کمی و کیفی ارقام کنجد (*Sesamum*

indicum L.) در شـرایط آب و هـوایی کرمـان. پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۳(۲): ۳۷۸-۳۹۰.

۲۱. محسن نیا ا و جلیلیان ج (۱۳۹۱) اثـر تـنش خشـکی و منابع کودی بـر عملکـرد و اجـزای عملکـرد گلرنـگ (*Carthamus tinctorius* L.). بـوم‌شناسـی کشاورزی. ٤(۳): ۲۳۵-۲٤٥.

۲۲. مـرادی‌زاده م، شمسـی محمودآبـادی ح و مروتـی ا (۱۳۹۱) تأثیر نانو کلات آهن بر خواص کمـی و کیفـی آفتابگردان رقم سیرنا در منطقهٔ میبد. پایان نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد، ٦۷ ص.

۲۳. مهرابـی ز و احسـانزاده پ (۱۳۹۰) بررسـی خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد چهار رقـم کنجـد تحت رژیم‌های رطوبتی خاک. بـه زراعـی کشـاورزی. ۱۳(۲): ۷۵-۸۸.

۲۴. میری ح ر (۱۳۸۹) تأثیر تنش خشکی بعد از گل دهـی بر میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکـرد دانـهٔ ارقـام گندم. تولید گیاهان زراعی. ۳(۱):۱-۱۹.

۲۵. یوسف‌پور ز و یدوی ع (۱۳۹۳) تـأثیر کـود زیسـتی و شیمیایی نیتروژنه و فسفره بر عملکـرد کمّـی و کیفـی آفتابگردان. نشریهٔ دانـش کشـاورزی و تولیـد پایـدار. ٢٤(۱): ۹۵-۱۱۲.

26. Asghari S, Moradi H and Afshari K (2014) Evaluation of some physiological and morphological characteristics of Narcissus tazatta under BA treatment and Nano-potassium fertilizer. Journal of Chemical Health Risks. 4(4):63-70.

27. 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 (Sasamum indicum) cultivars. Iranian Journal of Plant Physiology. 3(4):809-816.

28. Bradford MM (1976) A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Annual Review of Biochemistry. 72:248-254.

29. Dordas CA and Sioulas C (2008) Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rain conditions. Indian Crops Production. 27(1): 75-85.

30. Ghani A, Hussain M and. Hassan A (2000) Interactive effect of nitrogen and water stress on leaf area of sunflower. Pakistan Journal of Biological Sciences. 3: 989-990.

31. Gryndler M, Larsen J, Hrselova H, Rezacova V, Gryndlerova H and Kubat J (2006) Organic and mineral fertilization, respectively, increase and decrease the development of external mycelium of Arbuscular mycorrhizal fungi in a long-term field experiment. Mycorrhiza. 16: 159–166.

32. Herman MAB, Nault BA and Smart CD (2008) Effect of plant growth-promoting rhizobacteria on bell pepper production and green peach aphid infestation in New York. Crop Protection. 27: 996-1002.

33. Jain S, Yue-Lioang R, Mei-Wang LE, Ting-Xian Y, Xiao-Wen Y and Hong-Ving Z (2010) Effect of drought stress on sesame growth and yield characteristics and comprehensive evaluation of drought tolerance. Chinese Journal of Oil Crops Sciences 4: 42-48.

34. Kassab OM, Mehanna HM and Aboelill A (2012) Drought impact on growth and yield of some Sesame varieties. Journal of Applied Sciences Research. 8(8): 4544-4551.

35. Leiboritz HE, Benqrson DA, Mouqle PD and Simpson KL (1987) Effects of Artemia lipid fraction on growth and survival of larval in land liver sides. 469- 476. In: Sorgeloss P, Begtson DA, Deelier W and Japers E (Eds.)و Artemia research and its application. Universal Press, Wetteven. Belgium, 763p.

36. Malik MA, Saleem MF, Akhtar Cheema MA and Ahmed S (2003) Influence of different nitrogen levels on productivity of sesame (Sesamum indicum L.) under varying planting patterns. International Journal of Agriculture and Biology. 4: 490- 492.

37. Michel V, Zink G, Schmidtke J and Anderl A (2007) PIAF and PIAF stat, 278-279. In: Bleiholder, H. Piepho H.P. (Ed.): Agricultural Field Trials, Today and Tomorrow. Proceedings of the International Symposium 08-10 October, Stuttgart-Hohenheim, Germany. Verlag Grauer, Beuren Stuttgart, 284 p.

38. Mirzakhani M, Ardakani MR, Aeeneband A, Rejali F and Shirani-Rad AH (2009) Response of spring safflower to Co-inoculation with Azotobacter chrococum and Glomus interaradices under different levels of nitrogen and phosphorus. American Journal of Agricultural and Biological Sciences. 4(3): 255-261.

39. Mojid MA, Wyseure GCL and Biswas SK (2012) Requirement of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers for wheat cultivation under irrigation by municipal wastewater. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 12(4): 655-665.

40. Muhamman MA, Gungula DT and Sajo AA (2009) Phonological and yield characteristics of sesame (Sesamum indicum L.) as affected by nitrogen and phosphorus rates in Mubi, Northern Guinea savanna ecological zone of Nigeria. Emirate Journal of Food Agriculture. 21(1): 1-9.

41. Pandey AC, Sanjay SS and Yadav RS (2010) Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of Cicero arietinum L. Journal of Experimental Nano. 5: 488-497.

42. Prasad TNVKV, Sudhakar P, Sreenivasulu Y, Latha P, Munaswamy V, Raya Reddy K, Sreeprasad TS, Sajanlal PR and Pradeep T (2012) Effect of Nano scales zinc oxide on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition. 35(1): 905-927.

43. RamRao DM, Kodandaramaiah J and Reddy MP (2007) Effect of VAM fungi and bacterial bio fertilizers on mulberry leaf quality and silkworm cocoon characters under semiarid conditions. Caspian Journal Environment Science 5(2): 111-117.

44. Shehu HE, Kwari JD and Sandane MK (2010) Nitrogen, phosphorus and potassium nutrition of sesame (Sesamum indicum L.) in Mubi, Nigeria. New York Science Journal. 3(12):21-27.

45. Sturz AV and Christie BR (2003) Beneficial microbial allelopathies in the root zone: the management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. Soil and Tillage Research.72:107-123.

46. Wurth B (2007) Emissions of engineered and initially produced nanoparticles to the soil, Diploma thesis, ETH Zurich department of environmental Sciences, Switzerland.

47. Yasari E and Patwardhan A (2007) Effects of azotobacter and azosprillium inoculants and chemical fertilizers on growth and productivity of canola (Brassica napus L.). Asian Journal of Plant Science. 6(1): 77-82.

Crops Improvement
(Journal of Agricultural Crops Production)
Vol. 20 ■ No. 1 ■ Spring 2018

Effect of nano, chemical, and biological fertilizers on the yield and quality of sesame seeds under different irrigation regimes

Akram Mahdavi Khorami[1], Jafar Masoud Sinaki[2], Majid Amini Dehaghi[3], Shahram Rezvan[2], Ali Damavandi[2]*

1. Ph.D Student, Department of Agronomy, Islamic Azad University, Damghan Branch, Damghan, Iran
2. Assistant Professor, Agriculture Department, Islamic Azad University, Damghan Branch, Damghan, Iran
3. Associate Professor, Agronomy and Plant Breeding Department, Shahed University, Tehran, Iran

Received: April 20, 2017 **Accepted: June 7, 2017**

Abstract

In order to evaluate the effects of chemical, biological and nano fertilizers on the yield and quality traits (oil and protein) of sesame seeds under different irrigation regimes an experiment was conducted as a split-plot factorial based on completely randomized blocks design with three replications at Shahed University during 2015-2016 growing seasons. Irrigation withholding levels (full irrigation (control) and irrigation withholding at 65 and 75 BBCH (codes of phonological stages that are equivalent to 50% of flowering and seed ripening respectively) were assigned as main plot and different nitrogen combinations (nitroxin, urea, and a mix of 50% nitroxin plus urea), various combinations of potassium (not used, nano-potassium foliar application (2 per thousand), irrigated use of potassium dioxide (2 L ha^{-1}) and soil application of nano-potassium (2 kg ha^{-1}) were allocated in the subplots. The highest number of per-plant capsules (19.26 numbers) was observed with irrigation up to 50% seed ripening and the use of urea together with the potassium nano chelate foliar application. The greatest grain yield and protein content and yield were obtained in irrigation up to 50% seed ripening in the absence of potassium fertilizer and nitroxin usage (1340.5, 276.53 kg ha^{-1} and 5-20%, respectively). The oil yield was utmost in irrigation up to 50% flowering and foliar application of potassium nano chelate together with the mixed system of 50% urea fertilizer plus nitroxin with average values of 47.96% and 550.46 kg ha^{-1}, respectively. The use of nitroxin as a nano-bio-fertilizer and foliar application of chelated nano potassium in irrigation withholding conditions up to 50% grain aggregation resulted in increased grain yield (approx. 15% compared to the control) as well as improved quality of sesame seeds.

Keywords: irrigation withholding, nano-chelate, nitroxin, oil, protein, urea.

Corresponding Author: jmsinaki2020@gmail.com