



بررسی تأثیر محلول‌پاشی کودهای نانو و معمولی روی و سیلیس بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای

فرزانه اکبری^۱، سیدغلامرضا موسوی^{۲*}، محمد جواد ثقه‌الاسلامی^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

۲- دانشیار گروه زراعت، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۲۱

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی کودهای نانو و معمولی روی و سیلیس بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند انجام شد. تیمارهای آزمایش در ۷ سطح کودی (شاهد یا عدم محلول‌پاشی ریز مغذی، محلول‌پاشی اکسید روی، نانو اکسید روی، اکسید سیلیس، اکسید روی + اکسید سیلیس، نانو اکسید سیلیس، نانو اکسید سیلیس + نانو اکسید روی، نانو اکسید سیلیس) بود. نتایج تحقیق نشان داد که کاربرد کودهای نانو و معمولی روی و سیلیس بر تمام صفات مذکور معنی‌دار بود. بیش‌ترین عملکرد دانه با میانگین ۶۱۱۴/۳۲ کیلو گرم در هکتار مربوط به تیمار محلول‌پاشی نانو اکسید روی + نانو اکسید سیلیس بود که از برتری معنی‌دار ۱۸۹/۶، ۴۰/۳، ۱۸/۸، ۴۹، ۲۳/۶ و ۴۵/۸ درصدی به ترتیب نسبت به تیمارهای شاهد، اکسید روی، نانو اکسید روی، اکسید سیلیس، نانو اکسید سیلیس و اکسید روی + اکسید سیلیس برخوردار بود و به عبارتی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که کاربرد نانو اکسید روی + نانو اکسید سیلیس می‌تواند رشد و عملکرد ذرت را به نحو موثرتری افزایش دهد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که مصرف کودهای روی و سیلیس به صورت نانو در مقایسه با کودهای معمولی روی و سیلیس کارایی بیشتری در بهبود عملکرد دانه ذرت دارد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، روی، ذرت دانه‌ای، سیلیس، عملکرد، کود نانو، محلول‌پاشی

مقدمه

یکی از مهمترین کاربردهای فناوری نانو در کشاورزی، استفاده از نانو کودها برای تغذیه گیاهان می باشد (رضایی و همکاران، ۱۳۸۸؛ محمدزاده و همکاران، ۱۳۹۰). این ترکیبات نانویی به سرعت و به صورت کامل جذب گیاه شده و به خوبی نیازها و کمبودهای غذایی آن را مرتفع می سازد (خلج و همکاران، ۱۳۸۸).

تغذیه بهینه یکی از مهمترین عوامل مؤثر در افزایش کمی و کیفی محصولات می باشد (پای گذار و همکاران، ۱۳۸۸). عنصر روی یکی از عناصر مهم و ضروری در فرآیند رشد و نمو گیاهان می باشد که در بسیاری از واکنش های آنزیمی و فرآیندهای متابولیکی نقش اساسی ایفا می کند. همچنین عنصر روی، در ساختار بسیاری از آنزیم های دخیل در فرآیندهای متابولیسم نیتروژن، انتقال انرژی و سنتز پروتئین نقشی اساسی دارد. کمبود روی در گیاهان، فرآیندهای رشد و نمو را تحت تأثیر قرار داده و به تعویق می اندازد و باعث کاهش شدید محصول می گردد

(Hafeez et al., 2013). سیلیس در تغذیه گیاهان به عنوان یک عنصر ماکرو نیست، اما می تواند اهمیتی هم سطح، عناصر ماکرو داشته و اثرات سودمندی در تولید محصولات مختلف داشته باشد (Epstein, 1999). سیلیس باعث رشد رویشی و افزایش تولید ماده خشک می شود و تعرق را کاهش می دهد و بر کیفیت و عملکرد دانه اثر می گذارد (Agarie et al

1993). هر دو عنصر روی و سیلیس در بهبود عملکرد دانه نقش دارند و بر اساس تحقیق اسدپور و همکاران (۱۳۹۳) استفاده توأم از این دو عنصر توانست عملکرد دانه را در ذرت به میزان ۱۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به شاهد افزایش دهد. همچنین در این پژوهش مشخص شد که تأثیر محلول پاشی عنصر روی معمولی در بهبود صفت تعداد دانه در ردیف های بلال بیشتر از سیلیس معمولی بوده است. Prasad et al (2012) گزارش کردند که محلول پاشی نانو ذرات اکسید روی سبب افزایش تعداد غلاف در بوته، وزن هزار دانه دانه بادام زمینی در مقایسه با کود روی معمولی شد.

با توجه به مطالب فوق این تحقیق با هدف بررسی تأثیر کودهای معمولی و نانو روی و سیلیس بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه ای SC704 انجام شد.

مواد و روش ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند واقع در کیلو متر ۵ جاده بیرجند - زاهدان با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ درجه شرقی و در ارتفاع ۱۴۹۱ متری از سطح دریا، به اجرا در آمد.

این آزمایش در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای کودی شامل ۷ سطح (شاهد یا عدم محلول پاشی ریز

کودپاش سانتریفیوژ به زمین داده شد. کاشت بذور در ۷ خرداد سال ۱۳۹۳ به صورت هیرم کاری و در عمق حدود ۳ سانتیمتری انجام شد. به منظور اطمینان از استقرار کامل گیاهان، مقدار بذر مورد استفاده ۲ تا ۳ برابر مقدار مورد نیاز در نظر گرفته شد. اولین آبیاری در تاریخ ۹۳/۳/۷ بلافاصله بعد از کاشت انجام شد. از زمان کاشت بذر تا رسیدن گیاهچه به مرحله دو برگگی، دور آبیاری در تمام تیمارها هر ۴ روز یکبار و تا مرحله ۴ برگگی شدن هر ۷ روز یکبار بود. از مرحله ۴ برگه شدن و پس از استقرار بوته‌ها که گیاه یک تحمل نسبی در مقابل تنش کم‌آبی ایجاد کرد، آبیاری هر ده روز انجام گرفت. عملیات مبارزه با علف‌های هرز موجود در مزرعه به صورت وجین دستی انجام شد. در طول اجرای طرح آزمایشی آفت و بیماری خاصی در قطعه مورد آزمایش مشاهده نگردید. در تاریخ ۱۸ آبان ماه، به هنگام رسیدگی فیزیولوژیک دانه‌ها همزمان با تشکیل لایه سیاه در قاعده دانه‌ها و مشاهده علائم ظاهری رسیدگی شامل زردی و خشکی برگ‌ها، برداشت نهایی ذرت دانه‌ای صورت گرفت. برداشت با حذف دو ردیف کناری و نیم متر ابتدا و انتهای ردیف‌ها به عنوان اثر حاشیه‌ای، از دو متر مربع میانی هر کرت آزمایشی انجام شد و نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد به آزمایشگاه منتقل شد.

مغذی، محلول پاشی اکسید روی، نانو اکسید روی، اکسید سیلیس، اکسید روی + اکسید سیلیس، نانو اکسید سیلیس، نانو اکسید روی + نانو اکسید سیلیس) بود. محلول پاشی در دو نوبت (دو هفته قبل از گلدهی و دو هفته بعد از گلدهی) صورت گرفت و نانو اکسید روی و سیلیس هر کدام با غلظت ۰/۵ در هزار و اکسیدهای معمولی روی و سیلیس هر کدام با غلظت ۵ در هزار محلول پاشی گردید. ابعاد هر کرت آزمایشی ۲/۴×۴ متر و تعداد خطوط کاشت ۴ خط بود و فاصله بین خطوط کاشت ۶۰ سانتیمتر، فاصله بین بلوک‌ها ۱/۵ متر و فاصله بین کرت‌ها نیز ۱/۲ متر در نظر گرفته شد.

رقم مورد استفاده جهت کاشت، سینگل کراس ۷۰۴ بود که رایج‌ترین رقم ذرت برای مصارف دانه و علوفه در بسیاری از مناطق کشور است. این رقم، دیررس بوده و دوره رشد آن از ۱۱۵ تا ۱۲۵ روز متغیر می‌باشد. پس از انتخاب محل اجرای طرح که در سال قبل آیش بوده و شخم عمیق خورده بود، نمونه برداری از خاک جهت آنالیز آزمایشگاهی همزمان با عملیات آماده سازی زمین، در اوایل خرداد ماه سال ۱۳۹۳ انجام گرفت. سپس با استفاده از تراکتور و فاروئر، زمین به صورت جوی و پشته آماده و نقشه طرح پیاده گردید. بر اساس نتایج تجزیه خاک، به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن خالص از منبع اوره و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل، همزمان با آماده سازی مزرعه و قبل از زدن فارو با کمک

میانی هر کرت آزمایشی با رعایت اثر حاشیه‌ای استفاده گردید.

همچنین برای محاسبه وزن هزار دانه، یک نمونه ۱۰۰۰ تایی بذر از بذور بوجاری شده هر کرت آزمایشی به طور تصادفی از طریق شمارش با دستگاه بذر شمار جدا شده و با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن آن تعیین گردید. شاخص برداشت دانه نیز از رابطه زیر بر حسب درصد بدست آمد:

$$HI = Y_e / Y_b \times 100$$

در این رابطه Y_e عملکرد اقتصادی (عملکرد دانه) بر حسب کیلوگرم در هکتار و Y_b عملکرد بیولوژیک (مجموع وزن خشک کلیه اندام‌های هوایی) بر حسب کیلوگرم بر هکتار است.

در پایان تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گردید. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد و نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel رسم گردید.

برای تعیین تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد ردیف در ۱۰ بلال برداشت شده به طور تصادفی شمارش گردید و میانگین آنها برای این صفت در آنالیز داده‌ها استفاده شد. همچنین در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد دانه‌های ۲۰ ردیف به طور تصادفی از بلال‌های برداشت شده هر کرت شمارش شد و میانگین آن‌ها به عنوان تعداد دانه در ردیف بلال در نظر گرفته شد. برای بدست آوردن عملکرد دانه، ابتدا در زمان برداشت بلال‌ها جدا گردید و به تفکیک هر کرت در پاکت‌های کاغذی مشخص ریخته شد و برای خشک شدن در آون با حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت. پس از خشک شدن بلال‌ها و رسیدن رطوبت دانه‌ها به ۱۲ درصد، دانه‌های هر بلال جداسازی گردید و پس از بوجاری کامل برای تعیین عملکرد دانه در واحد سطح با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم توزین گردید. لازم به ذکر است که برای تعیین عملکرد دانه در واحد سطح از ۲ خط

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک محل آزمایش

pH	EC (ms/cm)	Na (meq/lit)	K (meq/lit)	Cl (meq/lit)	CaCO ₃ (%)	GYP	OC (%)	Sand (%)
۸/۰۷	۲/۹۷	۱۶/۳	۰/۳	۱۷/۱	۱۶/۲	۱۰/۹	۰/۱۳	۴۰
Silt (%)	Clay (%)	Texture	N (total) (%)	P(ava) ppm	K(ava) ppm	Fe (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
۵۰	۱۰	Clay	۰/۰۱۹	۳/۱۷	۱۸۵	۲/۲۳	۰/۴	۰/۵۱

نتایج و بحث

اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محلول پاشی کودهای نانو به طور معنی داری اجزای عملکرد را تحت تأثیر قرار داد به طوری که تعداد بلال در متر مربع، تعداد ردیف در بلال و وزن هزار دانه در سطح یک درصد و تعداد دانه در ردیف در سطح پنج درصد تحت تأثیر تیمار کودی قرار گرفت (جدول ۲).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد بلال در متر مربع با میانگین ۱۱/۳۳ مربوط به تیمار کاربرد نانو اکسید روی + نانو اکسید سیلیس بود که از برتری معنی دار به ترتیب نسبت به تیمارهای شاهد، اکسید روی، نانو اکسید سیلیس، اکسید سیلیس و نانو اکسید سیلیس + اکسید روی + اکسید سیلیس برخوردار بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد که مصرف نانو ذرات روی + سیلیس در گیاه توانسته است باعث افزایش باروری و رشد زایشی گیاه شده و در نتیجه بیشترین تعداد بلال تولید شده در تیمار مصرف توام نانو روی و سیلیس بدست آمد. شجاعی و مکاریان (۱۳۹۳) گزارش کردند که محلول پاشی با ۱۰ گرم نانو ذرات اکسید روی و ۱۰ گرم اکسید روی معمولی در مرحله گلدهی ماش توانست به طور معنی داری تعداد غلاف در واحد سطح را نسبت به تیمار شاهد افزایش دهد.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد دانه در ردیف بلال با میانگین ۲۷/۹ مربوط به تیمار کاربرد نانو اکسید روی بود، که با تیمار کاربرد نانو اکسید سیلیس از لحاظ آماری اختلاف معنی داری نداشت. با این وجود تیمار کاربرد نانو اکسید روی از برتری معنی دار ۸۶/۱، ۲۳/۵، ۴۳/۲، ۲۹/۲ و ۵۴/۲ درصدی به ترتیب نسبت به تیمارهای شاهد، اکسید روی، اکسید سیلیس، اکسید روی + اکسید سیلیس و نانو اکسید سیلیس + نانو اکسید سیلیس در صفت مذکور برخوردار بود (جدول ۳). احتمالاً کاربرد کودهای نانو اکسید روی و نانو اکسید سیلیس به علت قابلیت حل پذیری و جذب بالا در گیاه (تراپیان و زاهدی، ۱۳۹۲) فعالیت فتوسنتزی گیاه را بهبود بخشیده و باعث افزایش راندمان سیستم فتوسنتزی در جهت آسمیلاسیون مواد و تولید مواد آلی در گیاه شده است و از اینرو سبب قوی‌تر شدن منبع و در نهایت افزایش معنی دار تعداد دانه در ردیف بلال شده است. به نظر می‌رسد، نانو ذرات اکسید روی نسبت به اکسید روی، به دلیل ثبات و پایداری بالا ذرات نانو بیشتر در اختیار گیاه قرار گرفته و در تشکیل دانه ردیف در بلال ذرت مؤثرتر بوده است. مطالعات Moaveni & Kheiri (2011) نیز نشان داد که تأثیر ذرات نانو اکسید تیتانیوم بر تعداد دانه ذرت در بلال و عملکرد دانه در واحد سطح قابل ملاحظه بود. در تحقیق مذکور تیمار ذرات نانو اکسید تیتانیوم بر رشد ذرت تأثیر به سزایی داشت در حالی که تیمار معمولی

داری ۴۱/۳، ۲۸/۳، ۳۹، ۱۰/۳، ۱۸/۶، ۲۷ درصدی به ترتیب نسبت به تیمارهای شاهد، اکسید روی، نانو اکسید روی، اکسید سیلیس، نانو اکسید سیلیس و اکسید روی + اکسید سیلیس برخوردار بود (جدول ۳). وزن هزار دانه یکی از مهم ترین اجزای عملکرد محسوب شده و بالا بودن آن باعث افزایش عملکرد می گردد. وزن هزار دانه به چهار عامل دوره پر شدن دانه، تعداد برگ های فعال در مرحله نمو زایشی، سطح برگ و وزن خشک ساقه بستگی دارد (کوچکی، ۱۳۷۶). دوره پر شدن دانه، دوره ای بین گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک است. در غلات این دوره به طور معنی داری به وسیله عوامل محیطی تحت تأثیر قرار می گیرد (Wiegand *et al.*, 2009). وزن دانه به سرعت و دوام پر شدن دانه بستگی دارد، هر عاملی که سرعت یا دوام پر شدن دانه را تقلیل دهد، کاهش وزن دانه را نیز در بر خواهد داشت (Moayedi *et al.*, 2009). به نظر می رسد کاربرد کودهای نانو، رهاسازی آهسته و مداوم عناصر غذایی را تسهیل می کنند که منجر به تداوم سطح برگ و فتوسنتز گیاه و در نتیجه افزایش دوام تخصیص مواد پرورده به سمت بلال در حال رشد و در نهایت منجر به افزایش وزن هزار دانه ذرت می گردد. کمبود عناصر ریز مغذی به طور معنی داری وزن نهایی دانه را کاهش می دهد و در نتیجه وزن دانه ها در تیمار شاهد کاهش یافته است.

اکسید تیتانیوم اثرات اندکی بر آن داشت. همچنین باید توجه داشت که روی نقش اصلی در فرایند گرده افشانی، تشکیل اندام های زایشی نر و ماده و فرایند تشکیل دانه دارد (2009) & Rajaie Ziaeyan. مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین تعداد ردیف در بلال با میانگین ۱۴/۳۵ ردیف مربوط به تیمار مملول پاشی نانو اکسید روی بود که از برتری معنی دار ۵۹/۴، ۱۸/۱، ۱۷/۱ و ۲۱/۳ درصدی به ترتیب نسبت به تیمارهای شاهد، اکسید روی، اکسید سیلیس و اکسید روی + اکسید سیلیس برخوردار بود (جدول ۳). به نظر می رسد، کاربرد کودهای نانو احتیاجات غذایی گیاه را در حد لازم و کافی از طریق جذب بهتر روی و سیلیس مرتفع نموده است و به همین دلیل افزایش معنی دار تعداد ردیف در بلال در تیمارهای مصرف کودهای نانو نسبت به سایر تیمارها را باعث شد. ممکن است این افزایش به دلیل خاصیت نانو ذرات و حلالیت بیشتر آن ها و سبک و کوچک بودن و ثبات و پایداری آن ها باشد (ترا بیان و زاهدی، ۱۳۹۲).

محققین معتقدند که وزن هزار دانه، صفتی است که وابستگی بیشتری به ویژگی های ژنتیکی ارقام دارد و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می گیرد (امام و همکاران، ۱۳۸۴). با این وجود در این تحقیق مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه با میانگین ۲۲۵/۱۱ گرم مربوط به تیمار کاربرد نانو اکسید روی + نانو اکسید سیلیس بود که از برتری معنی

عملکرد دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر کودهای معمولی و نانو روی و سیلیس بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار محلول پاشی نانو اکسید روی + نانو اکسید سیلیس بود که از برتری معنی دار ۱۸۹/۶، ۴۰/۳، ۱۸/۸، ۴۹، ۲۳/۶ و ۴۵/۲ درصدی به ترتیب نسبت به تیمارهای شاهد، اکسید روی، نانو اکسید روی، اکسید سیلیس، نانو اکسید سیلیس و اکسید روی + اکسید سیلیس در عملکرد دانه برخوردار بود (شکل ۱). نتایج این تحقیق نشان داد که اثر محلولپاشی با نانو کودها نسبت به اکسید روی و اکسید سیلیس معمولی در بهبود عملکرد دانه نقش بیشتری داشت و استفاده از کودهای نانو در مقایسه با کودهای معمولی به طور معنی‌داری عملکرد دانه را افزایش داد (شکل ۱). احتمالاً نانوکودها به دلیل آزاد سازی آرام و کنترل شده عناصر موجود در کودها، راندمان مصرف کودها را افزایش داده و می‌توانند به صورت مطلوب عناصر غذایی خود را آزاد کنند (Lai, 2007) و از طریق افزایش طول دوره فتوسنتزی گیاه و تداوم سطح برگ باعث بهبود تولید کربوهیدرات و انتقال آن برای رشد دانه‌ها (Rejaie & ziaeyan, 2009) و در نهایت افزایش عملکرد می‌شوند.

Naderi & Danesh Shahraki (2013) نیز

معتقدند که به دلیل آن‌که با به کارگیری نانو کودها، زمان و سرعت رهاسازی عناصر با نیاز غذایی گیاه منطبق و هماهنگ می‌شود، لذا گیاه قادر به جذب بیشترین مقدار مواد غذایی بوده و در نتیجه ضمن کاهش آبشویی عناصر، عملکرد محصول نیز افزایش می‌یابد. همچنین باید توجه داشت که وقتی که گیاه در معرض کمبود مواد غذایی قرار می‌گیرد، برای این که از اثرات کمبود فرار کند اقدام به کوتاه کردن چرخه زندگی خود می‌کند، بنابراین به دلیل کوتاه‌تر شدن دوره پر شدن دانه، وزن نهایی دانه‌ها کم می‌شود.

کمبود در مرحله پر شدن دانه با کاهش طول دوره و اختلال در انتقال مواد به دانه و اثر بر وزن دانه به عنوان یکی از اجزای عملکرد، موجب کاهش عملکرد دانه می‌گردد.

گزارشات دیگری نیز در خصوص افزایش عملکرد گیاهان مختلف بر اثر کاربرد نانو ذرات وجود دارد (سید شریفی و همکاران، ۱۳۹۴؛

Moaveni & Kheiri (2011) که نتایج این تحقیق را تأیید می‌کند.

Moaveni & Kheiri (2011) اظهار داشتند که نانو ذرات با فعال‌تر کردن مجموعه روبیسکو، کارایی فتوسنتزی گیاه را افزایش داده و از طریق گسترش فتوسنتز منجر به افزایش تولید ماده خشک و عملکرد دانه در گیاه می‌شوند.

ترابیان و زاهدی (۱۳۹۲) نیز تأثیر مثبت نانو

ذره آهن را نسبت به آهن معمولی بر رشد و عملکرد آفتابگردان گزارش کردند. جابریزاده و همکاران (۱۳۸۹) در گندم و شجاعی و مکاریان (۱۳۹۳) در گیاه ماش گزارش کردند که کود نانو روی، تأثیر بیشتری نسبت به اکسید روی بر عملکرد دانه داشته است. این محققین اظهار داشتند که نانو ذرات از طریق افزایش فرایند باروری تعداد دانه را افزایش داده و باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردد. (Marschner (1993 گزارش کرد که بر اثر مصرف آهن و روی در ذرت، مقدار کل کربوهیدرات نشاسته و پروتئین آن افزایش یافت و با افزایش کربوهیدرات، وزن دانه، تعداد دانه در بلال و در نتیجه عملکرد دانه افزایش یافت. محمدی و عزیزی (۱۳۹۳) اظهار داشتند که نانو ذرات سیلیس موجود در کود نانو اکسید سیلیس موجب افزایش مواد فتوسنتزی گیاه شده است و این مواد شرایط را برای بهبود رشد رویشی گیاه فراهم کرده است. از طرفی دیگر، عنصر روی در سنتز پروتئین لوله کرده به هنگام گرده افشانی شرکت می‌کند که این موضوع به افزایش تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه می‌انجامد (Marschner , 1995).

۴/۴، ۴۰/۵ درصدی به ترتیب نسبت به تیمارهای شاهد، اکسید سیلیس، نانو اکسید سیلیس و اکسید روی+ اکسید سیلیس برخوردار بود (شکل ۲). در توجیه کاهش شدید و معنی‌دار عملکرد بیولوژیک در تیمار شاهد (عدم مصرف ریزمغذی) می‌توان گفت که عناصر ریزمغذی اگرچه به مقدار کم مورد نیاز برای رشد و تولید گیاهان می‌باشند، اما کمبود آن‌ها اثرات نامطلوبی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاهان خواهد داشت (Heidarian *et al*, 2011) و در نتیجه پتانسیل تولید ماده خشک در واحد سطح کاهش خواهد یافت.

تبدیل مواد به مقیاس نانو، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و فعالیت‌های کاتالیزوری آن‌ها را تغییر می‌دهد. نانو ذرات علاوه بر انحلال پذیری بیشتر، فعالیت‌های شیمیایی و قابلیت نفوذ در غشای سلولی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند (Mazaherinia *et al*, 2010). به نظر می‌رسد که با کاربرد کودهای نانو به دلیل قابلیت تنظیم رهاسازی عناصر غذایی از کپسول کودی در گیاه و نیز ثبات و پایداری آن‌ها گیاه به راحتی می‌تواند این عناصر را جذب کند و در تولید بیوماس بیشتر استفاده نماید.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک با میانگین ۱۲۰۴۶/۴۸ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار کاربرد نانو اکسید روی + نانوکسید سیلیس بود که از برتری معنی دار ۱۱۳/۸، ۲۲/۲، ۱۸/۵، ۴۴،

عملکرد بیولوژیک

Verma & Neue (1984) گزارش کردند که با افزایش مصرف نانو اکسید روی میزان این عنصر نیز در گیاه افزایش می‌یابد. افزایش غلظت نانو اکسید روی بر میزان جذب پتاسیم، فسفر و آهن نیز مؤثر است و در نتیجه فراهم بودن

Bolanos & Edmeades (1996) نیز همبستگی بین عملکرد و وزن هزار دانه را مثبت گزارش کردند. همچنین Ghorbanpour (2004) گزارش کردند که اصولاً تعداد دانه در ردیف ذرت شاخص خوبی در افزایش عملکرد محسوب می‌شود و این صفت همبستگی مثبت و معنی داری با عملکرد نشان می‌دهد.

همبستگی بین صفات نشانگر این موضوع است که با کاربرد کودهای نانو و معمولی روی و سیلیس بیشترین همبستگی بین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک ($r=0/995^{**}$) مشاهده شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد افزایش عملکرد بیولوژیک در شرایط کاربرد کودهای نانو و معمولی روی و سیلیس به واسطه اثرپذیری این صفت از وزن خشک برگ و ساقه، تعداد بلال در متر مربع، تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف در بلال و وزن هزار دانه بوده است. در نتیجه انتخاب مستقیم این صفات برای افزایش عملکرد بیولوژیک در جهت بهبود عملکرد دانه مؤثر خواهد بود. ضریب همبستگی عملکرد بیولوژیک با تعداد بلال در مترمربع ($r=0/83^{**}$)، تعداد دانه در ردیف ($r=0/77^{**}$)، تعداد ردیف در بلال ($r=0/75^{**}$) و وزن هزار دانه ($r=0/52^{**}$) می‌باشد (جدول ۴).

عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، فتوسنتز و دوام سطح برگ افزایش یافته (ابراهیمیان و همکاران، ۱۳۸۷) که در نهایت عملکرد بیولوژیک نیز افزایش می‌یابد.

شاخص برداشت دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی از نظر شاخص برداشت دانه، اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد وجود داشت (جدول ۲). از آنجایی که تغییرات شاخص برداشت تحت تأثیر تغییرات عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک است، به نظر می‌رسد که کاربرد کودهای نانو و ریز مغذی روی و سیلیس باعث افزایش بیشتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک ذرت شده و همین امر باعث شده تا از لحاظ شاخص برداشت تیمارهای مختلف کاربرد کودهای نانو و ریز مغذی روی و سیلیس از برتری معنی داری نسبت به تیمار شاهد برخوردار باشد. همچنین مقایسه میانگین‌ها بیانگر برتری معنی‌دار تیمار نانو اکسید سیلیس در شاخص برداشت دانه نسبت به سایر تیمارها است (جدول ۳). با این وجود Moaveni & Kheiri (2011) دریافتند که محلول پاشی نانو ذرات TiO_2 در گیاه جو بر شاخص برداشت اثر معنی داری نداشت.

همبستگی صفات

نتایج این تحقیق نشان داد که همبستگی مثبت و معنی داری بین اجزای عملکرد و عملکرد دانه وجود داشت (جدول ۴).

جدول ۲- میانگین مربعات تأثیر کودهای نانو و معمولی روی و سیلیس بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد بلال در متر مربع	تعداد ردیف در بلال	تعداد دانه در ردیف	وزن هزار دانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت دانه
تکرار	۲	۶/۳۳	۲۳/۵۵	۱/۶۴	۴۹/۴۹	۲۸۴۸۰۱۱۹/۴	۷۲۰۸۶۹۵/۸	۳/۹۳
تیمار	۶	**۶/۶۴	**۶۹/۷۲	*۳/۰۵	**۱۴۷۳/۳۱	*۱۱۶۴۰۰۷۰/۲	۳۱۴۸۳۶۳/۳۵ **	۱۶/۴۶*
خطا	۱۲	۰/۷۸	۵/۵۹	۰/۹۸	۱۱۵/۲۹	۳۰۱۸۷۳۰/۴	۷۳۷۹۷۴/۳	۵/۲۸
ضریب تغییرات	(%)	۱۹/۷۴	۱۰/۰۷	۲۴/۰۶	۱۲/۱۹	۲۸/۴۸	۲۷/۰۵	۱۴/۵۱

* و ** به ترتیب نشانگر معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۳- اثر کودهای نانو و معمولی روی و سیلیس بر میانگین عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت

تیمار	تعداد بلال در متر مربع	تعداد دانه در ردیف	تعداد ردیف در بلال	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت دانه (%)
شاهد	۷/۳۳d	۱۵d	۹c	۱۵۹/۲۶d	۲۱۱۰/۹d	۵۶۳۴/۵۵c	۳۷/۴۶c
اکسید روی	۸/۳۳cd	۲۲/۶b	۱۲/۱۵b	۱۷۵/۴۷cd	۴۳۵۹/۱۹c	۹۸۶۰/۶۳ab	۵۰/۰۷b
نانو اکسید روی	۸/۳۳cd	۲۷/۹۲a	۱۴/۳۵a	۱۶۱/۹d	۵۱۴۷/۷۸b	۱۰۱۶۱ab	۵۰/۶۶b
اکسید سیلیس	۷/۶۷d	۱۹/۵cd	۱۲/۲۵b	۲۰۴/۱b	۴۱۰۳/۲۱c	۸۳۶۳/۱۶bc	۴۹/۰۶b
نانو اکسید سیلیس	۸cd	۲۷a	۱۳/۴۳ab	۱۸۹/۸۱bc	۴۹۴۶/۴۲b	۸۵۷۴/۴۶bc	۵۷/۶۸a
اکسید روی+اکسید سیلیس	۹/۳۳bc	۲۱/۶bc	۱۱/۸۳b	۱۷۷/۱۶cd	۴۲۱۱/۸۱c	۸۸۲۹/۳۹bc	۴۷/۷b
نانو اکسید روی+نانو اکسید سیلیس	۱۱/۳۳a	۱۸/۱cd	۱۳/۷۶ab	۲۲۵/۱۱a	۶۱۱۴/۳۲a	۱۲۰۴۶/۴۸a	۵۰/۷۵b

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند.

جدول ۴. ضریب همبستگی عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت

شاخص برداشت دانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	تعداد ردیف در بلال	تعداد دانه در ردیف	تعداد بلال در مترمربع	صفات
۱	۰/۶۴۳**	۰/۶۴۰**	۰/۸۸۷**	۰/۷۴۶**	۰/۹۴۲**	۰/۸۲۶**	شاخص برداشت دانه
۱	۰/۹۹۵**	۰/۵۲۳**	۰/۵۰۲*	۰/۷۵۳**	۰/۷۶۷**	۰/۸۳۶**	عملکرد دانه
۱	۰/۵۰۶*	۰/۸۲۰**	۰/۷۲۴**	۱	۰/۷۷۹**	۰/۵۹۲**	وزن هزار دانه
۱	۰/۷۵۱**	۰/۷۷۰**	۰/۸۳۱**	۱	۰/۸۴۶**	۰/۸۳۱**	تعداد دانه در ردیف
۱	۰/۷۴۶**	۰/۷۴۶**	۰/۷۴۶**	۱	۰/۷۴۶**	۰/۷۴۶**	تعداد بلال در مترمربع

* و ** به ترتیب نشانگر معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

نتیجه‌گیری

به نظر می‌رسد که تیمار کاربرد کودهای نانواکسید روی + نانواکسید سیلیس نسبت به سایر تیمارهای کودی تأثیر بیشتری بر بهبود عملکرد دانه ذرت داشته است و هر چند سایر تیمارهای کودی توانسته است افزایش معنی‌دار عملکرد دانه را نسبت به تیمار شاهد به دنبال داشته باشد، اما در نهایت در شرایط تحقیق حاضر می‌توان استفاده توأم از کودهای نانو اکسید روی + نانو اکسید سیلیس با غلظت ۰/۵ در هزار را به صورت محلول پاشی در دو نوبت

(دو هفته قبل از گلدهی و دو هفته بعد از گلدهی) برای بهبود عملکرد دانه در زراعت ذرت پیشنهاد نمود. لازم به ذکر است که تیمارهای کاربرد تنهایی کودهای نانواکسید روی و نانواکسید سیلیس نیز توانست در مقایسه با تیمارهای کاربرد اکسید معمولی روی و اکسید معمولی سیلیس به صورت تنهایی یا توأم، عملکرد دانه را به طور معنی‌داری افزایش دهد و بنابراین می‌توان گفت مصرف کودهای روی و سیلیس به صورت نانو در مقایسه با کودهای معمولی روی و سیلیس کارایی بیشتری در بهبود عملکرد دانه ذرت دارد.

منابع

- خشکی. فصلنامه اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۲(۴): ۳۰۱-۲۹۵.
- اسدیپور، س.، ق. نورمحمدی، م. مدنی، ح. حیدری شریف آباد و ا. مجیدی هروان. ۱۳۹۳. مطالعه تأثیر کاربرد نانو ذرات سیلیس و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت KSC 704 تحت تنش گرمایی. همایش علوم و تکنولوژی بذر. ص ۱-۴.
- امام، ی، و م. ج. ثقة‌الاسلام. ۱۳۸۴. فرآیندها و فیزیولوژی زراعی، گیاهان. انتشارات شیرازدانشگاه. ص ۵۹۳.
- پایگذار، ی.، ا. قنبری، م. حیدری، و ا. توسلی. ۱۳۸۸. اثر محلولپاشی عناصر کم مصرف بر خصوصیات کمی و کیفی ارزن مرواریدی تحت تنش خشکی (*Pennisetum glaucum*) رقم نوتریفید. مجله علوم کشاورزی، ۳(۱۰): ۶۷-۷۸.
- ترابیان، ش، و م. زاهدی. ۱۳۹۲. تأثیر تغذیه برگی سولفات آهن به دو شکل معمول و نانو ذرات بر رشد ارقام آفتابگردان تحت تنش شوری. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۴(۱): ۱۱۸-۱۰۹.
- جابرزاده، ا.، پ. معاونی، ح. ر. توحیدی مقدم، و ا. مرادی. ۱۳۸۹. بررسی اثر محلول پاشی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم بر روی برخی خصوصیات زراعی در گندم تحت شرایط تنش
- خلج، ح.، ع. رزازی، م. ح. نظران، م. ر. لبافی، و بهشتی، ب. ۱۳۸۸. ارزیابی یک نانو کود آلی کلاته آهن تولید داخل با یک نمونه کود خارجی بر ماندگاری و خصوصیات کیفی خیار گلخانه‌ای، دومین همایش ملی کاربرد نانو تکنولوژی در کشاورزی. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج. ص ۲.
- رضایی، ر.، س. حسینی، ح. شعبانعلی فمی و ل. صفا. ۱۳۸۸. شناسایی و تحلیل موانع و توسعه و فناوری نانو در بخش کشاورزی ایران از دگاه محققان. فصلنامه سیاست علم و فناوری. ۲(۱): ۱۷-۲۶.
- سید شریفی، ر، ح. کمری، و ق. نجفی. ۱۳۹۴. تأثیر تنش شوری و تغذیه برگی با نانو اکسید روی بر عملکرد و برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی جو (*Hordeum vulgare* L.). نشریه پژوهشهای زراعی ایران. ۱۳(۲): ۴۱۰-۳۹۹.
- شجاعی، ح، و ح. مکاریان. ۱۳۹۳. تأثیر محلول پاشی اکسید روی نانو و غیر نانو بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهشهای زراعی ایران. ۱۲(۴): ۷۳۷-۷۲۷.
- ضیائیان، ع. ۱۳۸۲. استفاده از عناصر کم مصرف در کشاورزی. چاپ نشر آموزش کشاورزی. ص ۲۰۷.

- Dash, P., I. Lotan, M. Knapp, Kandel, and E. R. Goelet. P.** 1987. Selective elimination of mRNAs in vivo: Complementary oligodeoxynucleotides promote RNA degradation by an RNase H-like activity. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 84: 7896-7900.
- Epstein, E.** 1999. Silicon. Annuals Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 50: 641-664.
- Hafeez, Y., M. Khanif, and M. Saleem.** 2013. Role of zinc in plant nutrition. American Journal of Experimental Agriculture. PP: 304-391.
- Heidarian, A.R., H. Kord, K.h. Mostafavi, A. Parviz Lak, and F. Amini Mashhadi.** 2011. Investigating Fe and Zn foliar application on yield and its components of soybean (*Glycine max* L.) at different growth stages. Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development. 3 (9): 189 -197.
- Rajaie, M. and A.H. Ziaeyan.** 2009. Combined effect of zinc and boron on yield and nutrients accumulation in corn. International Journal of Plant Production. 3(3), 35-440.
- Ghorbanpour, M., Keyvanfar, H., Seify-abad Shapouri, M.** 2004. The dsRNA Electrophoretotype of Some Isolated Iranian Calf Rotaviruses. Arch. Razi Ins. 58: 85-89.
- Naderi, M. R., Danesh-Shahraki. A.** 2013. Nano fertilizers and their roles in sustainable agriculture. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 5(19): 2229-2232.
- Lai, R.** 2007. Soil science in the era of hydrogen economy and 10 billion people. The Ohio State University. USA. Pp: 1-9.
- کوچکی، ع.** ۱۳۷۶. به زراعی و به نژادی در زراعت دیم (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ص ۳۰۲
- محمدی، س و م. عزیزی.** ۱۳۹۳. بررسی تأثیر سطوح مختلف و دفعات محلولپاشی نانو کود فارمکس بر رشد و نمو و ماده مؤثره بابونه آلمانی. نشریه علوم باغبانی. ۲۸(۴): ۴۳۵-۴۴۵.
- محمدزاده، ا.ح. مجیدی، ح. مقدم، ن. مجنون حسینی و ن. بقائی.** ۱۳۹۰. تأثیر نانو کود کلاته آهن بر محتوی آهن، رنگیزه های فتوسنتزی و شاخص سطح برگ لوبیا چیتی. دومین کنفرانس ملی فیزیولوژی گیاهی ایران، دانشگاه یزد. ص ۴۵۰
- Agarie, S.** 1993. Effect of silicon on growth, dry matter, production & photosynthesis in rice plant (*Oryza sativa* L.). Crop production and improvement technology. 34: 225-234.
- Anomymous.** 2009. Nano technology in agriculture. Journai of agriculture and technology. 114: 54-65.
- Dimitrioss, T., Saionk, S, and Jason C. W.** 2009. Assay-dependent phytotoxicity of nanoparticles to plants. Environ. Sci. Technol. 43: 9473-9479.
- Bolanos, J. and Edmeades G.O.** 1996. The importance of the anthesis silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. Field Crop Res. 48: 65-80.

- genotypes. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 3: 4408-4415.
- Ke, W.S., Z.T. Xiong, S. Chen, and J. Chen.** 2007. Effects of copper and mineral nutrition on growth, copper accumulation and mineral element uptake in two *Rumex japonicas* populations from a copper mine and an uncontaminated field sites. Environ. Exp. Bot. 59: 59-67.
- Prasad, T.N.V., P. Sudhakar, Y. Sreenivasulu, P. Latha, V. Munaswamy, K. Raja Reddy, T.S. Sreepasad, P.R. Sajanalal, and T. Pradeep.** 2012. Effect of nanoscales Zinc Oxide on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition. 35: 915-927.
- Wiegand, A., D. Bichsel, A. Magalhaes, K. Becher, and T. Attin.** 2009. Effect of sodium, amine and stannous fluoride at the same concentration and different ph on in vitro erosion. J Dent. 37: 591-595.
- Verma, T. S. and H.U. Neue.** 1984. Effect of soil salinity and zinc application on electrochemical and chemical kinetics and growth and yield of rice. Commun. Soil Science. 15: 553-571.
- Sinebo, W.** 2002. Yield relationship of barley grown in tropical highland environments. Crop Science Journal. 24(3): 428-437.
- Torrest, V.R., J.H. Davila, A.B. Mendoza, F. R. Godina, and R.K. Matit.** 2004. Importance of agronomic characteristics in the grain yield of maize under irrigated and rainfed condition. Crop Research. 27 (2&3): 169-176.
- Lopez-Moreno, M. L., De La Rosa, G., Hernandez-Viezcas, J. A., Castillo-Michel, H., Botez, C. E., Peralta-Videa, and J. R., Gardea-Torresdey, J. L.** 2010. Evidence of the differential biotransformation and genotoxicity of ZnO and CeO₂ nanoparticles on soybean (*Glycine max*) plants. Environ. Sci. Technol. 44, 7315-7320.
- Marschner, H.** 1993. Zinc in soil and plant, ED. A. D. Robon. Kluwer Academic Publishers Drodrecht the Netherlands. 32, 55-77.
- Marschner, H.** 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London. PP: 889.
- Neilson, D. C., Nelson, N. O., 1998. Black bean sensitivity to water stress at various growth stages. Crop Sci. 28: 422-427.
- Moaveni, P. and T. Kheiri.** 2011. TiO₂ Nano Particles Affected on Maize (*Zea mays* L.). 2nd International Conference on Agricultural and Animal Science in Singapore by International Proceeding of Chemical, Biological & Environmental Engineering. International Association of Computer Science and Information Technology Press. 22: 160- 163.
- Mazaherinia, S., A.R. Astarai, A. Fotovat, and A. Monshi.** 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. World Appl. Sci. J. 7(1): 36- 40.
- Moayedi, A.A., A.N. Boyce, and S.S. Barakbah.** 2009. Influence of water deficit during the different growth and developmental stages on the contribution of stored pre-anthesis assimilates to grain in selected durum and bread wheat

The effect of nano and conventional zinc and silica fertilizers spraying on yield and yield components of maize

F. Akbari¹, S.G. Mousavi^{2*}, M.J. Seghatol eslami²

1. Ms.c in Agronomy, Department of Agronomy, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran.

2. Associate Professor, Department of Agronomy, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran.

Abstract

In order to investigate the effect of nano and conventional zinc and silica fertilizers spraying on yield and yield components of maize, an experiment was conducted using randomized complete blocks design with three replications in 2014 at Research Farm of Islamic Azad University, Birjand Branch. Experimental treatments were in 7 levels of fertilization (control or non-spray of micronutrients, zinc oxide, nano-zinc oxide, silica oxide, zinc oxide+ silica oxide, nano-silica oxide, nano-zinc oxide + nano-silica oxide). The results showed that the use of nano and conventional zinc and silica fertilizers on all of the mentioned traits were significant. The highest grain yield (6114.32 kg/ha) was for zinc-nano oxide + silica-nano oxide with significant superiority of 189.6%, 40.3%, 18.8%, 49%, 23.6% and 45.8%, respectively, in relation to the control, zinc oxide, zinc-nano oxide, nano-silica oxide, and zinc oxide+ silica oxide. In other words, the results showed that the use of zinc-nano oxide+ silica-nano oxide could more effectively improve maize growth and yield. In general, it can be concluded that the use of zinc and silica as nano, compared with conventional fertilizers of zinc and silica, is more effective in improving maize grain yield.

Keywords: Maize, Nano fertilizer, Silica, Spray, Yield, Yield components, Zinc

* Corresponding author (s_reza1350@yahoo.com)