doi: 10.22124/cr.2021.17715.1625

(مقاله پژوهشی)

تحقیقات غلات

دوره دهم/ شماره سوم/ پاییز ۱۳۹۹ (۲۷۱-۲۵۹)

افزایش عملکرد گیاه ذرت و بهبود ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک آهکی شور با استفاده تلفیقی از کود نانوزیستی و کود دامی

علیرضا فلاح نصرت‌آباد[1*]، امیر آفتاب‌طلب[2] و شایان شریعتی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۲

چکیده

با توجه به نیاز روزافزون افزایش عملکرد گیاه ذرت همراه با کاهش مصرف کودهای شیمیایی در راستای کشاورزی پایدار، هدف از این پژوهش بررسی تاثیر کود نانوزیستی به‌عنوان یک فناوری نوین به‌همراه کود دامی بر افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و عملکرد گیاه ذرت در یک خاک آهکی شور با ماده آلی پایین بود. بدین منظور، یک آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل کود نانوزیستی در سه سطح صفر، یک و دو کیلوگرم در هکتار (Nb_0، Nb_1 و Nb_2) و کود دامی در سه سطح صفر، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار (M_0، M_1 و M_2) بودند. نتایج آزمایش نشان داد که برهمکنش کودها بر ویژگی‌های خاک و صفات رشدی و عملکرد گیاه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین برهمکنش عامل‌ها نشان داد که تیمار Nb_2M_2 وزن هزاردانه (۱۰۱ ٪)، وزن کاه (۷۸ ٪)، وزن کل (۸۲/۴۵ ٪)، درصد نیتروژن دانه (۱۳۵ ٪)، درصد پروتئین (۱۳۶ ٪)، عملکرد پروتئین (۳۷۷ ٪)، تنفس خاک (۱۸۲/۶۱ ٪)، کربن آلی خاک (۱۲۶/۲۰ ٪) ماده آلی خاک (۱۲۵/۵۰ ٪) و درصد نیتروژن خاک (۱۴۱/۳۰ ٪) را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. در مقابل، تیمار Nb_1M_1 نسبت C/N خاک را به‌میزان ۲۲/۷ درصد کاهش داد. در مورد EC خاک نیز تیمار Nb_2M_0 با کاهش ۴۱/۰۷ درصدی هدایت الکتریکی خاک بهترین عملکرد را داشت. افزون‌بر این، تیمار Nb_0M_2 توانست pH خاک را از ۷/۹۰ به ۷/۶۵ کاهش دهد. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از کودهای نانوزیستی به‌همراه ماده آلی، ضمن پتانسیل اثرگذاری بالا در افزایش عملکرد (کمی- کیفی) گیاه ذرت می‌تواند ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک‌های آهکی شور را نیز به‌طور چشم‌گیری بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR)، *سودوموناس*، کشاورزی پایدار، کود زیستی، نانو کود

۱- دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۲- کارشناس ارشد، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳- دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

* نویسنده مسئول: rezafayah@yahoo.com

مقدمه

در سال‌های اخیر در پی بحران آلودگی‌های زیست‌محیطی، به‌ویژه آلودگی منابع خاک و آب که زنجیره‌وار به منابع غذایی روزمره انسان‌ها راه یافته و سلامت جوامع انسانی را مورد تهدید قرار داده است، تلاش‌های گسترده‌ای به‌منظور یافتن راهکارهای مناسب برای بهبود کیفیت خاک و محصولات کشاورزی و حفظ پایداری اکوسیستم‌های طبیعی آغاز شده است (Kumar *et al*., 2018; Shah and Wu, 2019; Mahanty *et al*., 2020). مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی (Mahdi *et al*., 2010)، انرژی و هزینه‌های تولید و مصرف آن‌ها و آثار ناخواسته‌ای که بر چرخه‌های زیستی و خودپایداری بوم نظام‌های زراعی دارند، از یک سو و مسئله تامین غذای کافی با کیفیت مناسب برای جمعیت روزافزون جهان از دیگر سو، تجدید نظر در روش‌های افزایش تولید محصولات زراعی را ضروری ساخته است. از این‌رو کاربرد فرآورده‌های زیستی برای تغذیه گیاهان زراعی به‌عنوان راهکاری بنیادین مد نظر قرار گرفته شده است. از جمله روش‌های زیستی موثر در افزایش عملکرد گیاهان زراعی در راستای کشاورزی پایدار، استفاده از کودهای آلی و زیستی است (Bhardwaj *et al*., 2014; Arora, 2018; Dal Cortivo *et al*., 2020).

ماده آلی کلید حاصل‌خیزی و باروری خاک است. برای حفظ سطح حاصل‌خیزی و قدرت تولید یک خاک، میزان ماده آلی آن باید در سطح مناسبی حفظ شود. متاسفانه با توجه به اینکه سطح مواد آلی خاک‌های زراعی کشور عمدتاً کم‌تر از یک درصد است، به‌منظور افزایش حاصل‌خیزی و باروری خاک، استفاده از کودهای آلی از قبیل کود حیوانی، کود سبز و ورمی‌کمپوست از اهمیت بالایی برخوردار است (Blouin *et al*., 2019; Meya *et al*., 2020; Stewart *et al*., 2020). گزارش شده است که استفاده از کود گاوی موجب افزایش عملکرد دانه گیاه ذرت و کربن آلی و نیتروژن خاک می‌شود (Martinez *et al*., 2017; Geng *et al*., 2019). پژوهش شلگل و همکاران (Schlegel *et al*., 2015) نشان داد که کاربرد طولانی‌مدت کود دامی موجب افزایش عملکرد و جذب عناصر غذایی دانه ذرت شد. گو و همکاران (Guo *et al*., 2016) بیان کردند که استفاده از کمپوست کود دامی در سیستم تناوبی کشت ذرت و گندم موجب افزایش معنی‌دار ماده آلی، نیتروژن کل و محتوای آب خاک و عملکرد گیاهان ذرت و گندم شد. ژائو و همکاران (Zhao *et al*., 2014) گزارش کردند که استفاده از کود دامی موجب افزایش ماده آلی خاک، عناصر غذایی کل و قابل دسترس مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی، pH و هدایت الکتریکی یک خاک آهکی شد، اگرچه اضافه کردن کود دامی موجب کاهش تجمع روی در خاک و افزایش تجمع کادمیوم شد که می‌تواند امنیت غذایی انسان را با خطر مواجه سازد. ژائو و همکاران (Zhao *et al*., 2016) نیز بیان کردند که استفاده از کود دامی در کشت برنج موجب افزایش نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دسترس خاک و ماده آلی خاک شد.

بدون تردید کاربرد کودهای زیستی بر پایه باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR)، در کنار کودهای آلی با تاثیر مستقیم و غیرمستقیم بر روابط آب-خاک-گیاه-اتسمفر مانند تثبیت نیتروژن، فراهمی فسفر، آزادسازی پتاسیم، افزایش دسترسی عناصر غذایی کم، تولید سیدروفور، ACC-deaminase و HCN، افزایش مقاومت به شوری، خشکی، سرما، فلزات سنگین و .... موجب بهبود ویژگی‌های خاک، رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Lalitha *et al*., 2017; Dal Cortivo *et al*., 2020; Kour *et al*., 2020; Cavite *et al*., 2021). باکتری‌های جنس *سودوموناس* به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین باکتری‌های محرک رشد گیاه در جهان محسوب می‌شوند (Awais *et al*., 2017; Nobahar *et al*., 2017; Alikhani *et al*., 2018; Kumari *et al*., 2018). ساندینی و همکاران (Sandini *et al*., 2019) نشان دادند که باکتری *Pseudomonas fluorescens* توانست رشد و عملکرد گیاه ذرت را افزایش و مصرف کود نیتروژن را کاهش دهد. باکتری *Pseudomonas aeruginosa* RSP5 با توانایی تولید سیدروفور توانست طول ساقه، طول ریشه، تعداد دانه و غلظت آهن در برگ، دانه و ساقه را افزایش دهد (Sah *et al*., 2017).

در راستای نیل به کاهش استفاده از کودهای شیمیایی و تحقق اهداف کشاورزی پایدار، علاوه بر کودهای آلی و زیستی، علم نانو نیز به‌کمک بشر آمده است. نانوساختارها یا نانومواد، محصولات هوشمندتر و کم‌خطرتری هستند و نیمه‌عمر طولانی‌تری دارند که در نهایت سبب صرفه اقتصادی و غذایی در تولیدات آن‌ها می‌شود. در این راستا، استفاده از نانو کودها به‌منظور کنترل دقیق آزادسازی عناصر غذایی می‌تواند گامی مؤثر در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط زیست باشد. با

کاربرد نانوکودها به‌عنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصر غذایی کود به‌تدریج و به‌صورت کنترل‌شده در خاک آزاد می‌شوند (Babaei *et al*., 2017; Raliya *et al*., 2018; Elemike *et al*., 2019). نانو کود کامل، نانو کود کربن و نانو کلات روی موجب افزایش عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن هزاردانه گیاه ذرت در شرایط مزرعه شدند (Nouraein, 2019). افزون بر نانو کلات روی، محققین گزارش کردند که استفاده از نانو کلات آهن موجب افزایش ارتفاع، وزن خشک، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، سطح برگ و مقدار پرولین گیاه ذرت شد (Elanchezhian *et al*., 2019). نتایج پژوهش نوید و همکاران (Naveed *et al*., 2018) نشان داد که استفاده از کود آلی به‌همراه کاربرد روی در خاک، موجب افزایش جذب عناصر غذایی خاک، کیفیت محصول، عملکرد دانه و غلظت روی در دانه گیاه ذرت شد. جان‌محمدی و همکاران (Janmohammadi *et al*., 2016) طی پژوهشی گزارش کردند که استفاده از نانو کود کامل، نانو کلات روی و کودهای زیستی فسفره و نیتروژنه در کشت گیاه ذرت، موجب افزایش معنی‌دار قطر برگ و ساقه، مقدار کلروفیل، عملکرد دانه، عملکرد کاه، شاخص برداشت و درصد پروتئین و روغن دانه شد.

در ایران، گیاه ذرت بعد از گندم و برنج، بیش‌ترین میزان سطح زیر کشت را دارد و به‌دلیل نقشی که این گیاه در تغذیه انسان‌ها، جانوران و حتی پرندگان و مصارف صنعتی دارد، از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به نیاز کشور به افزایش تولید این محصول و کاهش واردات، یافتن مسیرهای موثر و دوست‌دار محیط زیست در این جهت از اولویت‌های بخش کشاورزی و تولید گیاهان زراعی محسوب می‌شود. برای تحقق اهداف بیان شده، در این پژوهش تاثیر مستقل و متقابل کود آلی و نانوزیستی بر برخی ویژگی‌های خاک و صفات رشدی و عملکردی گیاه ذرت در یک خاک آهکی شور با درصد کربن آلی کم در کشت مزرعه‌ای مورد بررسی قرار گرفت که هدف از آن، تعیین بهترین حالت اثرگذاری (مستقل یا متقابل) و مناسب‌ترین میزان تیمار کودی مصرفی (نانوزیستی و دامی) در جهت افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه ذرت بود.

مواد و روش ها

جهت انجام تحقیق حاضر، از کود نانوزیستی حاوی ترکیبی از مواد آلی و نانو کلات روی و آهن و کنسرسیوم میکروبی حاوی باکتری‌های محرک رشد گیاه *Pseudomonas putida*، *Pseudomonas aeruginosa* و *Pseudomonas flourescens* (تهیه شده از بانک ژن موسسه تحقیقات خاک و آب ایران) استفاده شد. پژوهش حاضر در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج در شهر ماهدشت با طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی در ارتفاع ۱۳۱۲ متر از سطح دریا در یک خاک آهکی شور اجرا شد. طرح آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. به‌منظور انجام آزمون خاک، پیش از کاشت از نقاط مختلف مزرعه تعداد ۱۰ نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری برداشت شده و سپس نمونه مخلوط از خاک مناطق مختلف زمین مورد نظر جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و شناخت وضعیت حاصل‌خیزی تهیه شد. پس از هوا خشک شدن پارامترهای بافت خاک، درصد رطوبت اشباع، پتاسیم قابل استفاده (K_a)، pH، قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، نیتروژن کل خاک، کربنات کلسیم، ماده آلی، فسفر قابل جذب (P_a) و عناصر کم‌مصرف آهن (Fe)، مس (Cu)، روی (Zn) و منگنز (Mn) قابل جذب اندازه‌گیری شد. همچنین برخی از ویژگی‌های کود دامی مورد استفاده مانند pH، EC، درصد ماده آلی، درصد نیتروژن، فسفر، پتاسیم و C/N تعیین شد (Carter and Gregorich, 2008; Sparks, 1996). تیمارها ترکیبی از دو فاکتور شامل کود نانوزیستی در سه سطح (Nb_0= بدون مصرف کود نانوزیستی، Nb_1= ۱ کیلوگرم در هکتار کود نانوزیستی، Nb_2= ۲ کیلوگرم در هکتار کود نانوزیستی) و کود دامی در سه سطح (M_0= بدون مصرف کود، M_1= ۱۰ تن کود دامی در هکتار، M_2= ۲۰ تن کود دامی در هکتار) بود.

به‌منظور انجام آزمایش مزرعه‌ای، ابتدا قطعه زمین مورد نظر در بهار آماده‌سازی شد (شخم-دیسک- لولر- فارو). مزرعه آزمایشی شامل سه بلوک و هر بلوک دارای ۱۸ ردیف (هر تیمار دارای دو ردیف) بود و در هر ردیف، کاشت ذرت به فاصله ۲۰ سانتی‌متر صورت گرفت. با احتساب تراکم ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار و وزن هزاردانه ذرت سینگل‌کراس ۷۰۴ (تهیه شده از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر) و با توجه به طول خطوط و تعداد کرت‌ها، برای هر ردیف ۳۰ عدد بذر در نظر گرفته شد که در هر سوراخ سه بذر کشت شد (برای اطمینان از سبز شدن حتمی حداقل یکی از بذرها) و در مجموع میزان ۴۵۳۶ گرم بذر برای کل کرت‌ها استفاده شد. آبیاری کرت‌ها هر هفته به‌طور منظم

صورت گرفت. چون کود نانوزیستی به‌عنوان تیمار کودی در نظر گرفته شده بود، مقدار مورد نیاز محاسبه و با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شده، در حجم مشخصی آب به‌طور کامل حل شده و دو هفته پس از کشت به‌صورت پای بوته‌ای به کرت‌ها اضافه شد. مقدار محاسبه شده از تیمار کود دامی بعد از سرک شدن با الک به این صورت به کرت‌های مورد نظر افزوده شد:۱- ابتدا در فاصله پنج سانتی‌متری از پای بوته ذرت به‌صورت نواری، به‌وسیله تیشه با دقت زیاد به‌دلیل اینکه به ریشه گیاه صدمه وارد نشود، شیاری ایجاد و مقدار کود گاوی پوسیده محاسبه شده طبق تیمار آزمایش به‌طور یکنواخت در آن ریخته شد. به‌منظور جلوگیری از جابجایی در هنگام آبیاری و آبشویی شیار حاوی کود گاوی با خاک پوشانده شد و سپس عملیات آبیاری انجام شد. عملیات وجین به‌صورت دستی و به‌طور منظم و در مواقع لزوم عملیات خاک‌دهی در پای بوته‌ها بر روی پشته‌ها انجام شد. در هفته چهارم طی دو روز عملیات تنک اول و در هفته پنجم عملیات تنک دوم نیز در دو روز انجام گرفت و به‌منظور جلوگیری از آسیب‌دیدگی بوته‌های اصلی، بوته‌های اضافه توسط قیچی از سطح خاک قطع شدند. همچنین طی دوره کشت ذرت هیچ‌گونه سمپاشی صورت نپذیرفت.

پس از پایان دوره رشد (شهریورماه)، گیاهان برداشت و بوته‌های ذرت کف‌بر شده در هر تیمار توسط باسکول وزن شده و وزن کل یادداشت شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، پس از جدا کردن دانه از بلال‌های موجود در مساحت برداشت (۵۵ متر مربع)، وزن تر دانه‌ها توسط ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک دانه‌ها، مقدار ۵۰۰ گرم از دانه‌ها به‌طور تصادفی توسط ترازوی دیجیتالی دقیق اندازه‌گیری شده و در داخل پاکت در آون به مدت ۷۲ ساعت با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. پس از آن، عملکرد دانه بر حسب گرم در متر مربع محاسبه و در نهایت به کیلوگرم در هکتار تبدیل شد (Newman *et al*., 1996). با کسر وزن دانه از وزن کل، وزن کاه به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری درصد نیتروژن دانه، ابتدا از دانه‌های ذرت هر تیمار پودر ذرت تهیه و سپس نمونه‌ها با دستگاه کجدال تقطیر شده و درصد نیتروژن کل به دست آمد (Emami, 1996). پس از مشخص شدن درصد نیتروژن کل دانه و با اعمال ضریب مخصوص درصد پروتئین دانه ذرت نیز محاسبه شد (Jackson, 1964; Ghobadi *et al*., 2017). عملکرد پروتئین دانه ذرت نیز از حاصل‌ضرب مقدار عملکرد دانه در درصد پروتئین دانه تقسیم بر عدد ۱۰۰ بر حسب کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. بعد از برداشت گیاه، برخی ویژگی‌های زیستی و شیمیایی خاک شامل تنفس، درصد کربن آلی، درصد ماده آلی، درصد نیتروژن، نسبت کربن به نیتروژن، EC و pH اندازه‌گیری شد (Sparks, 1996; Carter and Gregorich, 2008). پس از اندازه‌گیری تمامی صفات، آزمون‌های آماری داده‌ها با هدف مقایسه اثر مصرف سه سطح کود نانوزیستی به‌همراه سه سطح کود دامی بر صفات رشد و عملکرد گیاه ذرت و برخی ویژگی‌های زیستی و شیمیایی خاک انجام شد. داده‌های حاصل با کمک نرم‌افزار SPSS ver. 19 تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمایی خاک، کود دامی و نانوزیستی

برخی ویژگی‌های خاک و کود دامی مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ ارایه شده است. بافت خاک متوسط (لومی شنی) با قابلیت نفوذپذیری آب مناسب بود. بافت خاک متشکل از ۵۷ درصد شن، ۲۵ درصد سیلت و ۱۸ درصد رس بود. خاک مزرعه آزمایشی دارای pH خنثی تا کمی قلیایی بود، ولی شوری و درصد آهک خاک بالا بود. از نظر مواد آلی و مواد غذایی اصلی نظیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم قابل جذب و آهن و روی نیز فقیر بود. کود دامی مورد استفاده در این پژوهش از نظر ماده آلی و عناصر غذایی مناسب بود، ولی شوری بالایی داشت. تصویر میکروسکوپ الکترونی و طیف FTIR نانو کود مورد استفاده در این پژوهش در شکل ۱ ارایه شده است.

تاثیر کود دامی و نانوزیستی بر برخی ویژگی‌های گیاه ذرت و خاک

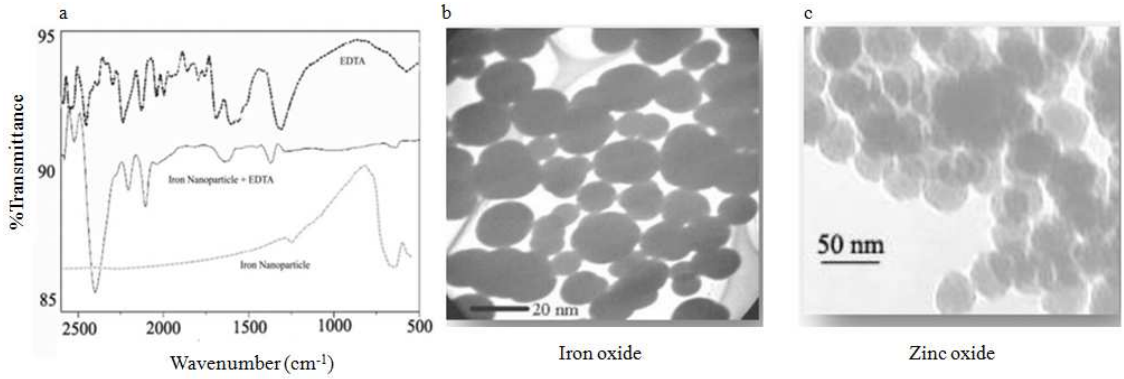
نتایج تجزیه واریانس (جدول‌های ۲ و ۳)، نشان داد که اثر اصلی کودهای نانوزیستی و دامی و نیز برهمکنش این دو عامل بر کلیه صفات اندازه‌گیری شده گیاه ذرت و ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (نتایج نشان داده نشده‌اند).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کود گاوی و خاک

Table 1. Some physical and chemical properties of cattle manure and soil

Soil												
Parameter	Soil texture	K (mg/kg)	P (mg/kg)	N (%)	EC (dS/m)	pH	Organic matter (%)	TNV (%)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)
	Sandy loam	230	7.6	0.09	5.67	7.8	0.89	12	1.2	2.2	0.64	4.2

Cattle manure						
Parameter	pH	EC (ds/m)	Oganic matter (%)	Nitrogen (%)	P (%)	K (%)	C/N
	8	11.21	20.6	2.09	2.1	2.57	5.72



شکل ۱- نانوکلات روی و آهن. a) طیف FTIR نانوکلات روی و آهن، b و c) تصویر نانوکلات روی و آهن در میکروسکوپ الکترونی.

Figure 1. Zn and Fe nanochelate. a) FTIR pattern of Zn and Fe nanochelate, b and C) Image of zinc and iron nanochelate in electron microscopy.

مقایسه میانگین برهمکنش کود نازیستی و کود دامی بر برخی صفات ذرت

با توجه به اینکه برهمکنش کود دامی و نانوزیستی بر صفات مورد بررسی گیاه ذرت و ویژگی‌های خاک تحت کشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، از این‌رو فقط مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای مختلف این دو نوع کود مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش کود دامی و نانوزیستی بر برخی صفات گیاه ذرت در جدول (۲) ارایه شده است. همان‌طور که این جدول نشان می‌دهد، در اثر مصرف کود نانوزیستی و کود دامی به‌صورت ترکیب با هم، سطح دوم کود نانوزیستی با سطح دوم کود دامی (Nb_2M_2) و سطح اول کود نانوزیستی بدون مصرف کود دامی (Nb_1M_0) به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تاثیر را بر عملکرد دانه گیاه ذرت داشتند. همچنین، تفاوت سایر تیمارهای کودی با تیمار شاهد نیز معنی‌دار بود. در مورد برهمکنش کودهای نانوزیستی و دامی بر عملکرد وزن دانه مشاهده شد که در تیمار کودی Nb_2M_2 عملکرد دانه به‌میزان ۸۸۵۰ کیلوگرم در هکتار رسید که در مقایسه با تیمار شاهد آزمایش، ۴۳۸۵ کیلوگرم در هکتار (۱۰۱ درصد) بیش‌تر بود. نتایج نشان داد که تیمارهای مورد استفاده توانستند ۳۱ تا ۱۰۱ درصد عملکرد وزن دانه ذرت را نسبت به تیمار شاهد افزایش دهند. مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف کودهای نانوزیستی و دامی نشان داد که تیمارهای Nb_2M_2 و Nb_1M_2 به‌ترتیب با میزان تولید کاه ۳۴۸۷۵ و ۳۱۶۰۶ کیلوگرم در هکتار، بالاترین سهم را در افزایش عملکرد کاه ذرت در هر هکتار داشتند. در مقابل، تفاوت معنی‌داری بین تیمار کودی یک کیلوگرم در هکتار کود نانوزیستی بدون مصرف کود دامی (Nb_1M_0) و تیمار شاهد مشاهده نشد. در مورد اثر تیمارهای مورد مطالعه بر درصد افزایش عملکرد کاه ذرت نیز نتایج این تحقیق بیانگر آن بود که تیمار کودی دو کیلوگرم در هکتار کود نانوزیستی و ۲۰ تن در هکتار کود دامی (Nb_2M_2) عملکرد را نسبت به تیمار شاهد، ۷۸ درصد افزایش داد که بالاترین اثر در بین تیمارهای کودی مورد مطالعه بود. بیش‌ترین مقدار وزن کل ذرت نیز در تیمار Nb_2M_2 به مقدار ۴۳۷۲۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که اختلاف آن با تیمار شاهد از لحاظ آماری بسیار معنی‌دار بود، به‌طوری که استفاده تلفیقی از کود نانوزیستی و کود

دامی توانست وزن کل گیاه ذرت را نسبت به تیمار شاهد به‌میزان ۶/۴۰ تا ۸۲/۳۵ درصد افزایش دهد.

در مورد محتوای نیتروژن دانه، مقایسه میانگین برهمکنش کود دامی و نانوزیستی نشان داد که تیمار Nb_2M_2 با مقدار ۴/۵۷ درصد نیتروژن بیش‌ترین و تیمار Nb_1M_0 با مقدار ۲/۲۱ درصد (به‌غیر از تیمارشاهد) کم‌ترین میزان نیتروژن دانه ذرت را به‌خود اختصاص دادند. همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، تیمار کودی دو کیلوگرم در هکتار کود نانوزیستی و ۲۰ تن در هکتار کود دامی (Nb_2M_2)، درصد نیتروژن دانه را نسبت به تیمار شاهد ۱۳۵درصد افزایش داد که بالاترین اثر در بین تیمارهای کودی مورد مطالعه بود. در مجموع، کاربرد ترکیب کودهای دامی و نانوزیستی توانست درصد نیتروژن دانه را نسبت به گیاه شاهد از ۱۴/۴۳ تا ۱۳۵ درصد افزایش دهد. در مورد پروتئین دانه نیز بیش‌ترین مقدار درصد پروتئین دانه در تیمار Nb_2M_2 به مقدار ۲۶/۰۶ درصد و کم‌ترین آن در تیمار Nb_0M_0 به مقدار ۱۱/۰۳ درصد مشاهده شد و تیمارهای مختلف کود نانوزیستی و کود دامی توانستند درصد پروتئین دانه را نسبت به تیمار شاهد بین ۱۴/۶۰ تا ۱۳۶ درصد افزایش دهند (جدول ۲). در مورد عملکرد پروتئین دانه ذرت نیز نتایج مشابهی به‌دست آمد، به‌طوری که بیش‌ترین مقدار عملکرد پروتئین دانه در تیمار Nb_2M_2 به مقدار ۲۳۰۶/۶ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن در تیمار Nb_0M_0 به مقدار ۴۸۳/۹ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. در مورد درصد افزایش عملکرد پروتئین نیز نتایج حاصل نشان داد که در مجموع استفاده از کود دامی و نانوزیستی به‌صورت ترکیبی عملکرد پروتئین دانه را نسبت به گیاه شاهد بین ۵۰ تا ۳۷۷ درصد افزایش داد. مقایسه میانگین تیمارها نیز نشان داد که بیش‌ترین تاثیر مربوط به تیمار دو کیلوگرم در هکتار کود نانوزیستی و ۲۰ تن در هکتار کود دامی (Nb_2M_2) بود که توانست عملکرد پروتئین را نسبت به تیمار شاهد، ۳۷۷ درصد افزایش دهد. همان‌طور که نتایج مقایسه میانگین برهمکنش کودهای دامی و نانوزیستی (جدول ۲) نشان می‌دهد، در همه صفات گیاه ذرت، تیمار Nb_2M_2 برترین تیمار این آزمایش بود و تفاوت معنی‌داری با همه تیمارهای دیگر داشت.

نتایج این تحقیق بیانگر آن است که استفاده از کود نانوزیستی با ویژگی رهاسازی کند عناصر غذایی و حاوی باکتری‌های محرک رشد گیاه در کنار کود دامی موجب افزایش شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه ذرت شد. در حقیقت، باکتری‌های جنس *Pseudomonas* استفاده شده در این پژوهش با ویژگی‌های محرک رشدی مانند انحلال فسفات‌های نامحلول، تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه، تولید سیدروفور، ACC-deaminase و HCN، موجب افزایش دسترسی عناصر غذایی (فسفر و پتاسیم) و جذب آن‌ها توسط ریشه گیاه می‌شود. کود دامی نیز علاوه بر بهبود ساختمان خاک، موجب تامین کربن مورد نیاز برای میکروارگانیسم‌های خاک و عناصر غذایی برای گیاهان و میکروارگانیسم‌ها، موجب افزایش شاخص‌های رشد گیاه می‌شود. یافته‌های این آزمایش با یافته‌های تحقیقات سایر پژوهشگران در مورد تاثیر کودهای نانوزیستی و دامی بر گیاهان زراعی مطابقت داشت (Elemike *et al*., 2019; Dimkpa *et al*., 2020).

جدول ۲- مقایسه میانگین برهمکنش کود دامی و کود نانوزیستی بر برخی صفات ذرت

Table 2. Comparison of means of cattle manure and nanobiologic fertilizer interaction on some maize traits

Treatment	Grain yield (kg/ha)	Straw weight (kg/ha)	Total yield (kg/ha)	Grain nitrogen (%)	Grain protein (%)	Grain protein yield (kg/ha)
Nb_0 M_0	4385.00 i	19593.33 h	23978.30 i	1.94 h	11.04 h	483.97 i
Nb_0 M_1	6400.00 g	22705.00 g	29105.00 g	2.71 f	15.43 f	987.30 g
Nb_0 M_2	7153.33 e	27746.67 e	34900.00 e	3.52 d	20.08 d	1436.21 e
Nb_1 M_0	5740.00 h	19770.00 h	25510.00 h	2.22 g	12.63 g	724.75 h
Nb_1 M_1	7423.33 d	28816.67 d	36240.00 d	3.76 c	21.41 c	1589.10 d
Nb_1 M_2	8660.00 b	31606.67 b	40266.66 b	4.29 b	24.46 b	2118.54 b
Nb_2 M_0	6956.67 f	26115.00 f	33071.66 f	3.08 e	17.55 e	1220.88 f
Nb_2 M_1	8021.67 c	31261.67 c	39283.33 c	4.22 b	24.07 b	1930.65 c
Nb_2 M_2	8850.00 a	34875.00 a	43725.00 a	4.57 a	26.06 a	2306.61 a

دورداس و همکاران (Dordas *et al*., 2008) بر اساس نتایج آزمایش‌های خود گزارش کردند که کاربرد کود دامی می‌تواند، رشد، جذب نیتروژن و وزن خشک گیاه ذرت را به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاه شاهد بهبود بخشد. فرنیا و امیدی (Farnia and Omidi, 2015) نیز بیان کردند که استفاده از نانو کلات روی و کود زیستی موجب افزایش عملکرد دانه ذرت شد. نتایج آزمایش‌های شلگل و همکاران (Schlegel *et al*., 2015) نیز نشان دهنده این بود که کاربرد طولانی‌مدت کود دامی موجب افزایش عملکرد و جذب عناصر غذایی توسط دانه ذرت شد. آریانپور و همکاران (Aryanpour *et al*., 2017) بیان کردند که استفاده از کود گاوی، وزن هزاردانه، ارتفاع، عملکرد دانه، نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام هوایی گیاه ریحان را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. در مورد تاثیر نانو کلات آهن و روی نیز بابایی و همکاران (Babaei *et al*., 2017) گزارش کردند که کاربرد نانوکلات اکسید آهن و روی موجب افزایش عملکرد دانه گندم در شرایط شوری بسیار بالا شد. نتایج پژوهش نوید و همکاران (Naveed *et al*., 2018) نیز بیانگر این بود که استفاده از کود آلی به همراه کاربرد روی در خاک، موجب افزایش جذب عناصر غذایی خاک، کیفیت محصول، عملکرد دانه و غلظت روی در دانه گیاه ذرت شد.

گزارش‌های مختلف نشان می‌دهند که نانو کود کامل و نانو کلات روی و آهن به‌ترتیب موجب افزایش عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن هزاردانه گیاه ذرت در شرایط مزرعه (Nouraein, 2019) و نیز افزایش ارتفاع گیاه، وزن خشک گیاه، مساحت برگ، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و مقدار پرولین در گیاهان ذرت شد (Elanchezhian *et al*., 2019). علاوه بر این، نتایج تحقیقات قبلی نشان می‌دهند که استفاده از کنسرسیوم میکروبی باکتری‌های محرک رشد گیاه از جنس *سودوموناس* شامل *Pseudomonas putida*، *Pseudomonas aeruginosa*، *Pseudomonas alcaligenes*، *Pseudomonas aurantiaca*، *Pseudomonas aureofaciens*، *Pseudomonas chlororaphi* و *Pseudomonas flourescens* تاثیر چشم‌گیری در افزایش عملکرد گیاهان ذرت داشتند (Awais *et al*., 2017; Nobahar *et al*., 2017; Alikhani *et al*., 2018; Kumari *et al*., 2018; Kour *et al*., 2020). نتایج آزمایش ویروئل و همکاران (Viruel *et al*., 2014) در مورد تاثیر باکتری *Pseudomonas tolaasii* IEXb بر افزایش رشد و عملکرد ذرت نشان داد که کاربرد این باکتری توانست وزن خشک گیاه ذرت را در حدود ۴۰ درصد نسبت به شاهد افزایش دهد. جان‌محمدی و همکاران (Janmohammadi *et al*., 2016) طی پژوهشی گزارش کردند که استفاده از نانو کود کامل و نانو کلات روی و کودهای زیستی فسفره و نیتروژنه در کشت گیاه ذرت موجب افزایش معنی‌دار قطر برگ، قطر ساقه، مقدار کلروفیل، عملکرد دانه، عملکرد کاه، شاخص برداشت، درصد پروتئین دانه و درصد روغن دانه شد. ساه و همکاران (Sah *et al*., 2017) نیز گزارش کردند که باکتری *Pseudomonas aeruginosa* RSP5 با توانایی تولید سیدروفور، طول ساقه، طول ریشه، تعداد دانه و غلظت آهن در برگ، دانه و ساقه ذرت را افزایش داد. نتایج مطالعات ساندینی و همکاران (Sandini *et al*., 2019) نیز نشان داد که کاربرد باکتری *Pseudomonas fluorescens* موجب افزایش رشد و عملکرد گیاهان ذرت و کاهش میزان مصرف کود نیتروژن شد.

مقایسه میانگین برهمکنش کود نانوزیستی و کود دامی بر برخی ویژگی‌های خاک

مقایسه میانگین برهمکنش کود نانوزیستی و کود دامی بر برخی ویژگی‌های خاک در جدول (۳) ارایه شده است. در مورد تنفس خاک، بیش‌ترین اثربخشی مربوط به تیمار Nb_2M_2 (دو کیلوگرم کود نانوزیستی به‌همراه ۲۰ تن در هکتار کود دامی) با مقدار ۰/۱۹۵ میلی‌گرم CO_2 بود. پس از آن و در رتبه دوم، تیمار کودی Nb_1M_2 با مقدار ۰/۱۷ میلی‌گرم و در رتبه سوم تیمار کودی Nb_0M_2 با مقدار ۰/۱۴۳ میلی‌گرم قرار گرفت. در مقابل، کم‌ترین میزان تنفس خاک (به‌غیر از تیمار شاهد)، مربوط به تیمار Nb_1M_0 با مقدار ۰/۰۸۸ میلی‌گرم بر گرم خاک بود. با توجه به این نتایج می‌توان بیان کرد که برهمکنش کود نانوزیستی و کود دامی توانست تنفس خاک را نسبت به شاهد ۲۳ تا ۱۸۲/۶۱ درصد افزایش دهد. در مورد تاثیر برهمکنش کود نانوزیستی و کود دامی بر نسبت C/N خاک، نتایج تحقیق حاضر نشان داد (جدول ۳) که با افزایش میزان کود نانوزیستی و کود دامی از سطح اول تا سوم نسبت C/N خاک ابتدا روندی کاهشی و سپس افزایشی داشت. در بررسی نتایج مقایسه میانگین برهمکنش کودهای نانوزیستی و دامی بر نسبت C/N خاک مشاهده شد که تیمارهای Nb_1M_1، Nb_2M_1 و Nb_0M_2 به‌ترتیب با نسبت ۳/۹۱، ۴/۱۰ و ۴/۳۱ بالاترین سهم را در کاهش نسبت C/N

خاک داشتند. در مقابل، کم‌ترین میزان کاهش نسبت C/N (به‌غیر از تیمار شاهد) مربوط به تیمار کودی Nb_0M_1 با نسبت C/N ۴/۷۷ بود. از نظر درصد کاهش نسبت C/N نیز نتایج نشان داد که تیمار سطح اول کود نانوزیستی با سطح اول کود دامی (Nb_1M_1) با ۲۲/۷ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد، بیش‌ترین تاثیر را در کاهش نسبت C/N داشت و پس از آن، تیمار سطح دوم کود نانوزیستی با سطح یک کود دامی (Nb_2M_1) با ۱۸/۲۱ درصد و سپس تیمار بدون کود نانوزیستی با سطح دوم کود دامی (Nb_0M_2) با ۱۴/۳۱ درصد در رده‌های بعدی قرار گرفتند. محمود و همکاران (Mahmood *et al*., 2017) نیز بیان کردند که کاربرد انواع مختلف کود دامی در سیستم کشت گیاه ذرت، نسبت C/N خاک کاهش یافت.

در مورد تاثیر کاربرد توأم کودهای نانوزیستی و دامی بر EC، تیمار Nb_2M_0 بهترین نتایج را داشت (جدول ۳). تیمارهای Nb_2M_0 و Nb_1M_0 و Nb_2M_1 و Nb_1M_1 به‌ترتیب با مقدار ۱/۹۸ و ۲/۴۱ و ۲/۴۸ و ۲/۷۳ بالاترین سهم را در کاهش EC خاک از آن خود کردند. کم‌ترین میزان کاهش EC خاک که حتی باعث افزایش EC خاک نسبت به شاهد (۳/۳۶) شد، مربوط به تیمار کودی Nb_0M_2 با EC ۳/۵۰ بود که می‌تواند به‌دلیل شوری بالای کود دامی باشد. تیمار سطح دوم کود نانوزیستی با سطح بدون مصرف کود دامی (Nb_2M_0) با ۴۱/۰۷ درصد و پس از آن تیمار سطح یک کود نانوزیستی با سطح بدون مصرف کود دامی(Nb_1M_0) با ۲۸/۲۷ درصد و سپس تیمار سطح دو کود نانوزیستی با سطح یک کود دامی (Nb_2M_1) با ۲۶/۱۹ درصد بیش‌ترین کاهش در مقدار EC خاک در مقایسه با تیمار شاهد را داشتند. لازم به ذکر است که تیمار کودی Nb_0M_2 به‌میزان ۴/۱۶ درصد نسبت به تیمار شاهد (Nb_0M_0)، EC خاک را افزایش داد. دلیل افزایش EC در تیمار Nb_0M_2، کود آلی مورد استفاده در این پژوهش با هدایت الکتریکی بالا و در حدود ۱۱/۲۱ dS/m (جدول ۱) بوده است. نتایج مطالعات لیتورگیدیس و همکاران (Lithourgidis *et al*., 2007) نشان داد که استفاده از کود دامی (گاوی) موجب افزایش جذب نیتروژن، پتاسیم، فسفر و در نهایت افزایش عملکرد دانه در گیاه ذرت و افزایش نیترات، فسفر، پتاسیم و هدایت الکتریکی خاک شد. البته افزایش هدایت الکتریکی خاک ناشی از کاربرد کود دامی در حد قابل قبول برای بیش‌تر گیاهان زراعی بوده است. ژائو و همکاران (Zhao *et al*., 2014) نیز گزارش کردند که استفاده از کود دامی موجب افزایش هدایت الکتریکی یک خاک آهکی شد.

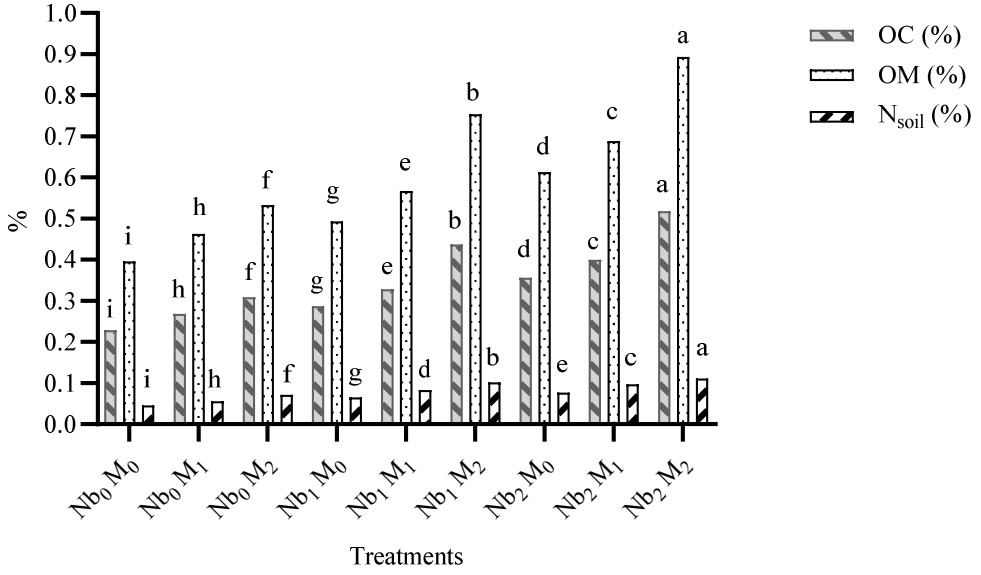
بررسی برهمکنش کودهای نانوزیستی و کود دامی بر میزان pH خاک (جدول ۳) نیز نشان داد که تیمارهای کودی Nb_0M_2 و Nb_1M_2 سبب کاهش معنی‌دار pH خاک از مقدار ۷/۹۰ (در تیمار شاهد) به‌ترتیب به مقدار ۷/۶۵ و ۷/۶۶ شد. تیمار Nb_2M_2 نیز با pH برابر با ۷/۶۷ در رتبه بعدی قرار گرفت و دارای تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد شد. این در حالی است که تیمارهای کودی که بیش‌ترین pH خاک در آن‌ها ملاحظه شد، به‌غیر از شاهد (۷/۹۰) عبارت از تیمارهای Nb_2M_0 (۷/۸۸)، Nb_1M_0 (۷/۸۴)، Nb_2M_1 (۷/۸۲) بودند. در مصرف توأم کودهای نانوزیستی و دامی، به‌ترتیب تیمارهای Nb_0M_2 با ۳/۱۶ درصد، Nb_1M_2 با ۳/۰۳ درصد، Nb_2M_2 با ۲/۹۱ درصد و Nb_0M_1 با ۲/۰۲ درصد، بیش‌ترین کاهش در مقدار pH خاک را در مقایسه با تیمار شاهد داشتند. کاهش pH یک خاک آهکی با استفاده از کود دامی توسط یادووانشی (Yaduvanshi, 2003) و کرمی و همکاران (Karami *et al*., 2012) نیز گزارش شده است. رحمان و همکاران (Rehman *et al*., 2012) و محمود و همکاران (Mahmood *et al*., 2017) نیز بر اساس نتایج پژوهش‌های خود نتیجه‌گیری کردند که استفاده از کود دامی در خاک آهکی تحت کشت گیاه ذرت موجب کاهش معنی‌دار pH نسبت به گیاه شاهد شد.

بررسی برهمکنش و تاثیر توأم کودهای نانوزیستی و دامی بر درصد کربن آلی خاک نشان داد که که تیمارهای Nb_2M_2 و Nb_1M_2 به‌ترتیب با میزان ۰/۵۱۸ و ۰/۴۳۷ درصد بالاترین سهم را در افزایش کربن آلی خاک داشتند (شکل ۲). تیمار Nb_2M_2 توانست ۱۲۶/۲۰ درصد کربن آلی خاک را نسبت به شاهد افزایش دهد. بیش‌ترین درصد ماده آلی خاک در تیمار Nb_2M_2 با ۰/۸۹۲ درصد مشاهده شد. پس از این تیمار و در رتبه دوم نیز تیمار Nb_1M_2 با ۰/۷۵۴ درصد ماده آلی قرار داشت و تیمار Nb_2M_1 نیز در رتبه سوم قرار گرفت. تیمار Nb_2M_2 توانست ۱۲۵/۵ درصد ماده آلی خاک را نسبت به تیمار شاهد افزایش دهد. مقایسه میانگین تیمارها از نظر درصد نیتروژن خاک نیز نشان داد که تیمارهای Nb_2M_2 و Nb_1M_2 به‌ترتیب با میزان ۰/۱۱ و ۰/۱۰ درصد بالاترین سهم را در افزایش درصد نیتروژن خاک داشتند، به‌طوری که تیمار Nb_2M_2 درصد نیتروژن خاک را به‌میزان ۱۴۱/۳۰ درصد افزایش داد.

جدول ۳- مقایسه میانگین برهمکنش کود دامی و کود نانوزیستی بر ویژگی‌های خاک

Table 3. Comparison of means of cattle manure and nanobiologic fertilizer interaction on soil properties

Treatment	pH	EC (dS/m)	C/N	Respiration ($mgCO_2.gdm^{-1}.24\ h^{-1}$)
$Nb_0\ M_0$	7.90 a	3.36 f	5.03 e	0.069 i
$Nb_0\ M_1$	7.74 cd	3.28 f	4.77 d	0.098 g
$Nb_0\ M_2$	7.65 f	3.50 g	4.31 c	0.143 c
$Nb_1\ M_0$	7.84 b	2.41 b	4.39 c	0.089 h
$Nb_1\ M_1$	7.79 c	2.74 c	3.92 a	0.121 e
$Nb_1\ M_2$	7.66 f	3.03 e	4.27 bc	0.170 b
$Nb_2\ M_0$	7.88 a	1.98 a	4.60 d	0.106 f
$Nb_2\ M_1$	7.82 b	2.48 b	4.11 b	0.128 d
$Nb_2\ M_2$	7.67 de	2.84 d	4.65 d	0.195 a



شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش کودهای نانوزیستی و دامی بر درصد کربن آلی، ماده آلی و نیتروژن خاک مزرعه آزمایشی

Figure 2. Comparison of means of cattle manure and nanobiologic fertilizer interaction on percentage of organic carbone (OC), organic matter (OM) and nitrogen of experimental field soil

افزایش ماده آلی و نیتروژن خاک را می‌توان به کود دامی و کود نانوزیستی استفاده شده در این پژوهش که هردو حاوی مواد آلی بودند، نسبت داد. ژائو و همکاران (Zhao *et al.*, 2014) گزارش کردند که استفاده از کود دامی موجب افزایش ماده آلی خاک، مواد غذایی (کم‌مصرف و پرمصرف) کل و قابل دسترس یک خاک آهکی شد. گاوو و همکاران (Guo *et al.*, 2016) بیان کردند که استفاده از کمپوست کود دامی در سیستم تناوبی کشت ذرت و گندم، موجب افزایش معنی‌دار ماده آلی، نیتروژن کل و محتوای آب خاک شد و در نتیجه موجبات افزایش عملکرد گیاهان ذرت و گندم را فراهم کرد. یافته‌های ژائو و همکاران (Zhao *et al.*, 2016) نیز نشان داد که اضافه کردن ماده آلی به خاک تحت کشت گیاه برنج، موجب افزایش ماده آلی و دسترسی بیش‌تر عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک شد. مطالعات دیگر نیز افزایش کربن آلی و نیتروژن خاک و به‌دنبال آن افزایش عملکرد دانه گیاه ذرت را در اثر کاربرد کود گاوی گزارش کرده‌اند (Martinez *et al.*, 2017; Geng *et al.*, 2019).

نتیجه‌گیری کلی

وجود خاک‌های آهکی با شوری بالا و ماده آلی کم در برخی نقاط ایران و استفاده بیش از اندازه از کودهای شیمیایی در جهت افزایش دسترسی عناصر غذایی و افزایش عملکرد گیاهان زراعی در این خاک‌ها، علاوه بر افزایش هزینه تمام شده تولیدی، مشکلات زیست‌محیطی بسیاری نیز برای موجودات زنده، سلامت و کیفیت خاک به‌همراه داشته است. یکی از راهکارهای مفید به‌منظور کاهش استفاده از کودهای شیمیایی و در عین حال، افزایش عملکرد گیاهان زراعی، استفاده از پتانسیل زیستی خاک یعنی میکروارگانیسم‌های موثر و مفید موجود در خاک است. در کنار میکروارگانیسم‌های خاک، استفاده از کود دامی به عنوان منبع ماده آلی و عناصر غذایی ارزان‌قیمت و نانوکودها با توانایی رهاسازی کند عناصر غذایی می‌توانند به‌عنوان مسیرهای کمکی در جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی باشند. در این پژوهش، برهمکنش کود نانوزیستی شامل نانو کلات روی و آهن و حاوی کنسرسیوم باکتری‌های جنس *سودوموناس* (*Pseudomonas putida*، *Pseudomonas aeruginosa* و *Pseudomonas flourescens*) به‌همراه کود دامی بر ویژگی‌های گیاه ذرت و خاک تحت کشت گیاه در یک کشت مزرعه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از دو کیلوگرم در هکتار کود نانوزیستی به‌همراه ۲۰ کیلوگرم در هکتار کود دامی (Nb_2M_2) توانست صفات وزن هزاردانه ذرت، وزن کاه ذرت، وزن کل ذرت، درصد نیتروژن دانه، درصد پروتئین دانه، عملکرد دانه، تنفس خاک، درصد نیتروژن خاک، کربن آلی و ماده آلی خاک را نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌دار و قابل توجهی افزایش دهد. همچنین، تیمارهای یک کیلوگرم در هکتار کود نانوزیستی به‌همراه ۱۰ کیلوگرم در هکتار کود دامی (Nb_1M_1)، دو کیلوگرم در هکتار کود نانوزیستی به‌همراه صفر کیلوگرم در هکتار کود دامی (Nb_2M_0) و صفر کیلوگرم در هکتار کود نانوزیستی به‌همراه ۲۰ کیلوگرم در هکتار کود دامی (Nb_0M_2) به‌ترتیب توانستند به‌طور معنی‌داری C/N، EC و pH خاک را کاهش دهند و موجب اصلاح ویژگی‌های خاک شوند. در مجموع یافته‌های این تحقیق نشان داد که تلفیق کود دامی و کود نانوزیستی در افزایش عملکرد گیاه ذرت و بهبود برخی از ویژگی‌های خاک کاملاً موثر بود. علاوه بر این، استفاده تلفیقی از کودهای دامی و نانوزیستی می‌تواند میزان مصرف کودهای شیمیایی را نیز به‌طور معنی‌داری کاهش دهد و در نتیجه در راستای دستیابی به کشاورزی پایدار، نقش موثری در کاهش آلودگی محیط زیست (منابع آب و خاک) داشته باشد.

References

Alikhani, H. A., Etesami, H. and Mohammadi, L. 2018. Evaluation of the effect of rhizospheric and Non-rhizospheric phosphate solubilizing bacteria on improving the growth indices of wheat under salinity and drought stress. **Journal of Soil Biology** 6 (1): 1-15. (In Persion with English abstract).

Arora, N. K. 2018. Agricultural sustainability and food security. **Environmental Sustainability** 1: 217-219.

Aryanpour, H., Movahedi Naeini, S. A. and Ahmadian, A. 2017. Application of nano- and micro-sized particles of cattle manure on soybean growth. **Environmental Health Engineering and Management Journal** 4 (4): 239-244.

Awais, M., Tariq, M., Ali, A., Ali, Q., Khan, A., Tabassum, B. and Husnain, T. 2017. Isolation, characterization and inter-relationship of phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of sugarcane and rice. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology** 11: 312-321.

Babaei, K., Sharifi, S. R., Pirzad, A. and Khalilzadeh, R. 2017. Effects of bio-fertilizer and nano Zn-Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. **Journal of Plant Interactions** 12 (1): 381-389.

Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K. and Tuteja, N. 2014. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. **Microbial Cell Factories** 13: 66.

Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S. and Mathieu, J. 2019. Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. **Agronomy for Sustainable Development** 39 (34): 1-15.

Carter, M. R. and Gregorich, E. G. 2008. Soil sampling and methods of analysis. 2nd Ed. Canadian Society of Soil Science. 1224 p.

Cavite, H. J. M., Mactal, A. G., Evangelista, E. V. and Cruz, J. A. 2021. Growth and yield response of upland rice to application of plant growth-promoting rhizobacteria. **Journal of Plant Growth Regulation** 40: 495-508.

Dal Cortivo, C., Ferrari, M., Visioli, G., Lauro, M., Fornasier, F., Barion, G., Panozzo, A. and Vamerali, T. 2020. Effects of seed-applied biofertilizers on rhizosphere biodiversity and growth of common wheat (*Triticum aestivum* L.) in the field. **Frontiers in Plant Science** 11 (72): 1-14.

Dimkpa, C. O., Andrews, J., Sanabria, J., Bindraban, P. S., Singh, U., Elmer, W. H., Torresday, J. L. G. and White, J. C. 2020. Interactive effects of drought, organic fertilizer, and zinc oxide nanoscale and bulk particles on wheat performance and grain nutrient accumulation. **Science of the Total Environment** 722 (137808): 1-12.

Dordas, C. A., Lithourgidis, A. S., Matsi, T. and Barbayiannis, N. 2008. Application of liquid cattle manure and inorganic fertilizers affect dry matter, nitrogen accumulation, and partitioning in maize. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 80: 283-296.

Elanchezhian, R., Kumar, D., Ramesh, K., Biswas, A. K., Guhey, A. and Patra, A. K. 2017. Morpho-physiological and biochemical response of maize (*Zea mays* L.) plants fertilized with nano-iron (Fe_3O_4) micronutrient. **Journal of Plant Nutrition** 40 (14): 1969-1977.

Elemike, E. E., Uzoh, I. M., Onwudiwe, D. C. and Babalola, O. O. 2019. The role of nanotechnology in the fortification of plant nutrients and improvement of crop production. **Applied Sciences** 9 (499): 2-32.

Emami, A. 1996. Methods of plant analysis. Publication No. 982. Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran. (In Persian).

Farnia, A. and Omidi, M. M. 2015. Effect of nano-zinc chelate and nano-biofertilizer on yield and yield components of maize (Zea mays L.), under water stress condition. **Indian Journal of Natural Science** 5 (9): 4614-4707.

Geng, Y., Cao, G., Wang, L. and Wang, S. 2019. Effects of equal chemical fertilizer substitutions with organic manure on yield, dry matter, and nitrogen uptake of spring maize and soil nitrogen distribution. **PLoS ONE** 14 (7): e0219512.

Ghobadi, R., Ghobadi, M., Jalali Honarmand, S., Mondani, F. and Farhadi, B. 2017. Economic analysis of effect of water and nitrogen levels on grain yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) cv. SC 704. **Iranian Journal of Crop Sciences** 19 (3): 220-238. (In Persion with English Abstract).

Guo, L., Wu, G., Li, Y., Li, C., Liu, W., Meng, J., Liu, H., Yu, X. and Jiang, G. 2016. Effects of cattle manure compost combined with chemical fertilizer on topsoil organic matter, bulk density and earthworm activity in a wheat–maize rotation system in Eastern China. **Soil and Tillage Research** 156: 140-147.

Jackson, M. C. 1964. Soil chemical analysis. Constable Co. Ltd. London. pp: 183-192.

Janmohammadi, M., Navid, A., Segherloo, A. E. and Sabaghnia, N. 2016. Impact of nano-chelated micronutrients and biological fertilizers on growth performance and grain yield of maize under deficitirrigation condition. **Biologika** 62 (2): 134-147.

Karami, A., Homaeea, M., Afzalinia, S., Ruhipour, H. and Basirat, S. 2012. Organic resource management: Impacts on soil aggregate stability and other soil physico-chemical properties. Agriculture. **Ecosystem and Environment** 148: 22-28.

Kour, D., Rana, K. L., Yadav, A. N., Yadav, N., Kumar, M., Kumar, V., Vyas, P., Dhaliwal, H. S. and Saxena, A. K. 2020. Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology** 23 (101487): 1-11.

Kumar, M. S., Reddy, G. C., Phogat, M. and Korav, S. 2018. Role of bio-fertilizers towards sustainable agricultural development: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry** 7 (6): 1915-1921.

Kumari, P., Meena, M. and Upadhyay, R. 2018. Characterization of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) isolated from the rhizosphere of Vigna radiata (*mung bean*). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology** 16: 155-162.

Lalitha, S. 2017. Plant growth–promoting microbes: A boon for sustainable agriculture. In: Dhanarajan, A. (Ed.). Sustainable agriculture towards food security. Springer Singapore. pp: 125-158.

Lithourgidis, A. S., Matsi, T., Barbayiannis, N. and Dordas, C. A. 2007. Effect of liquid cattle manure on corn yield, composition, and soil properties. **Agronomy Journal** 99 (4): 1041-1047.

Mahanty, T., Bhattacharjee, S., Goswami, M., Bhattacharyya, P., Das, B., Ghosh, A. and Tribedi, P. 2017. Biofertilizers: A potential approach for sustainable agriculture development. **Environmental Science and Pollution Research** 24 (4): 3315-3335.

Mahdi, S. S., Hassan, G., Samoon, S., Rather, H., Dar, S. A. and Zehra, B. 2010. Bio-fertilizers in organic agriculture. **Journal of Phytology** 2 (10): 42-54.

Mahmood, F., Khan, I., Ashraf, U., Shahzad, T., Hussain, S., Shahid, M., Abid, M. and Ullah, S. 2017. Effects of organic and inorganic manures on maize and their residual impact on soil physico-chemical properties. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 17 (1): 22-32.

Martínez, E., Domingo, F., Roselló, A., Serra, J., Boixadera, J. and Lloveras, J. 2016. The effects of dairy cattle manure and mineral N fertilizer on irrigated maize and soil N and organic C. **European Journal of Agronomy** 83: 78-85.

Meya, A. I., Ndakidemi, P. A., Mtei, K. M., Swennen, R. and Merck, R. 2020. Optimizing soil fertility management strategies to enhance banana production in volcanic soils of the Northern Highlands, Tanzania. **Agronomy** 10 (289): 2-21.

Naveed, S., Rehim, A., Imran, M., Bashir, M. A., Anwar, M. F. and Ahmad, F. 2018. Organic manures: An efficient move towards maize grain biofortification. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture** 7: 189-197.

Newman, E. I. 1996. A method of estimating the total length of root in a sample. **Journal of Apply Ecology** 3: 139-145.

Nouraein, M. 2019. Effect of nanofertilizers and biofertilizers on yield of maize: Biplot analysis. **Botanica** 25 (2): 121-130.

Raliya, R., Saharan, V., Dimkpa, C. and Biswas, P. 2018. Nanofertilizer for precision and sustainable agriculture: Current state and future perspectives. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 66 (26): 6487-6503.

Rehman, H. U., Aziz, T., Farooq, M., Wakeel, A. and Rengel, Z. 2012. Zinc nutrition in rice production systems. **Plant and Soil** 361 (1-2): 203-226.

Sah, S., Singh, N. and Rajni S. 2017. Iron acquisition in maize (*Zea mays* L.) using *Pseudomonas* siderophore. **3 Biotech** 7 (2): 121.

Sandini, I. E., Pacentchuk, F., Hungria, M., Nogueira, M. A., Cruz, S. P., Nakatani, A. S. and Araujo, R. S. 2019. Seed inoculation with *Pseudomonas fluorescens* promotes growth, yield and reduces nitrogen application in maize. **International Journal of Agriculture and Biology** 22: 1369-1375.

Schlegel, A. J., Assefa, Y., Bond, H. D., Wetter, S. M. and Stone, L. R. 2015. Corn response to long-term applications of cattle manure, swine effl uent, and inorganic nitrogen fertilizer. **Agronomy Journal** 107 (5): 700-710.

Shah, F. and Wu, W. 2019. Soil and crop management Sstrategies to ensure higher crop productivity within sustainable environments. **Sustainability** 11 (1485): 1-19.

Sparks, D. L. 1996. Method of soil analysis. Part 3. Chemical methods. American Society of Agronomy. Wisconsin, USA. 1390 p.

Stewart, Z. P., Pierzynski, G. M. B., Middendorf, J. and Prasad, P. V. V. 2020. Approaches to improve soil fertility in sub-Saharan Africa. **Journal of Experimental Botany** 71 (2): 632-641.

Viruel, E., Erazzu, L. E., Martínez Calsina, L., Ferrero, M. A., Lucca, M. E. and Siñeriz, F. 2014. Inoculation of maize with phosphate solubilizing bacteria: Effect on plant growth and yield. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 14 (4): 819-831.

Yaduvanshi, N. P. S. 2003. Substitution of inorganic fertilizers by organic manures and the effect on soil fertility in a rice-wheat rotation on reclaimed sodic soil in India. **Journal of Agricultural Science** 140: 161-168.

Zhao, Y., Yan, Z., Qin, J. and Xiao, Z. 2014. Effects of long-term cattle manure application on soil properties and soil heavy metals in corn seed production in Northwest China. **Environmental Science and Pollution Research** 21: 7586-7595.

Zhao, Y. N., He, X. H., Huang, X. C., Zhang, Y. Q. and Shi, X. J. 2016. Increasing soil organic matter enhances inherent soil productivity while offsetting fertilization effect under a rice cropping system. **Sustainability** 8 (879): 1-12.

doi: 10.22124/cr.2020.17715.1625

(Research Article)

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 10, No. 3, Autumn 2020 (259-271)

Increasing the yield of maize and improving the chemical and biological properties of saline calcareous soil using a combination of nano-biofertilizer and cattle manure

Alireza Fallah Nosrat Abad[1*], Amir Aftab Talab[2] and Shayan Shariati[3]

Received: July 18, 2020 Accepted: November 12, 2020

Abstract

Due to the growing need to increase the grain yield of maize and reduce the use of chemical fertilizers to achieve sustainable agriculture, the purpose of this study was to investigate the effect of nano-biofertilizer as new eco-friendly technology along with cattle manure on increasing nutrient efficiency and corn yield in a saline calcareous soil with low organic matter. For this purpose, a field experiment was performed as a factorial experiment in randomized complete block design with three replications. The factors included nano-biofertilizer at three levels of zero, 1, and 2 (Nb_0, Nb_1, and Nb_2) ton/ha, and cattle manure in three levels 0, 10, and 20 (M_0, M_1, and M_2) ton/ha. The results showed that the independent and interaction effects of these fertilizers on soil properties and yield and growth traits of maize were significant at 1% probability level. The results of interactions showed that Nb_2M_2 treatment compared to control could increase grain yield (101 %), straw weight (78 %), total yield (82.82 %), grain nitrogen (135 %), grain protein (136 %), protein yield (377 %), soil respiration (61.18 %), soil organic carbon (126.20 %), soil organic matter (125.50 %) and soil nitrogen (140.30 %). Nb_1M_1 treatment was able to reduce soil C/N by 22.7 %. In the case of soil EC, Nb_2M_0 treatment had the best performance with a reduction of 41.7 % in soil salinity. Besides, Nb_0M_2 treatment could reduce soil pH from 7.90 to 7.65. The results of this study showed that the use of nano- biofertilizers with organic matter while having a high potential for increasing the yield (quantitative-qualitative) of corn also can significantly improve the biological and chemical properties of saline calcareous soils.

Keywords: Biofertilizer, Nano fertilizer, Plant Growth Promoting bacteria (PGPR), *Pseudomonas*, Sustainable agriculture

1. Assoc. Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Reaserch, Education and Extention Organization (AREEO), Karaj, Iran
2. M. Sc., Soil and Water Research Institute, Agricultural Reaserch, Education and Extention Organization (AREEO), Karaj, Iran
3. Ph. D. Graduated, Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
[*] Corresponding author: rezafayah@yahoo.com