دوازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران
12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran
senaconf.ir

تاثیر متقابل قارچ اندوفیت سرندیپیتا ایندیکا و نانو پارتیکل آهن بر خصوصیات مورفولوژی کاهو

محمد شیرزادایرج[۱]، رسول آذرمی*[۲]، بهروز اسماعیل پور[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲. دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۳. استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
*** نویسنده مسئول : r_azarmi@uma.ac.ir**

چکیده:

کاربرد همزمان نانوذرات و کودهای‌زیستی، در مقایسه با زمانی که نانوذرات یا کودهای‌زیستی به تنهایی استفاده شود، یک استراتژی مقرون به صرفه،کاربردی و سازگار با محیط زیست است. به منظور بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف نانو ذره‌آهن پوشش‌دار شده با سیترال (شاهد، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر) و قارچ *S.indica* (عدم تلقیح(شاهد) و تلقیح شده) بر رشد و خصوصیات مورفولوژی گیاه کاهو *Lactuca sativa*، آزمایشی به صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملا تصادفی در ۴ تکرار به صورت آبکشت اجرا گردید. نتایج این آزمایش نشان داد که تیمار نانو ذره‌آهن پوشش‌دار شده با سیترال بر شاخص های تعداد برگ، وزن تر و محتوای کلروفیل و مقدار آهن برگ معنی دار بود. همچنین تلقیح ریشه کاهو با قارچ *S.indica* باعث افزایش تعداد برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و میزان عنصر آهن برگ شد.

کلمات کلیدی: نانو ذره‌آهن، سیترال، قارچ سرندیپیتا ایندیکا، کاهو

مقدمه

افزایش وابستگی کشاورزی مدرن به کودهای شیمیایی باعث ایجاد مشکلات متعدد زیست‌محیطی از قبیل اثر گلخانه‌ای، تخریب خاک و آلودگی هوا و آب شده است. علاوه بر این، نیاز ضروری به شیوه‌های کشاورزی پایدار در جهان با کاهش انرژی و مشکلات زیست‌محیطی، برای تولید غذای مقرون‌به‌صرفه با افزایش جمعیت انسانی وجود دارد. در نتیجه، کودهای‌زیستی حاوی میکروارگانیسم‌هایی مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها و جلبک‌ها به‌عنوان راه‌حل‌های مناسب برای فعالیت‌های کشاورزی در مقیاس بزرگ پیشنهاد شده‌اند که نه تنها طبیعی، سازگار با محیط زیست و اقتصادی هستند، بلکه ساختار خاک و همچنین تنوع‌زیستی در کشاورزی را حفظ می‌کنند. کودهای‌زیستی علاوه بر غنی‌سازی مواد مغذی در خاک، رشد گیاه را با افزایش جذب کارآمد یا در دسترس بودن مواد مغذی برای گیاهان و با سرکوب بیماری‌های ناشی از خاک افزایش می‌دهند. کودهای‌زیستی عمدتاً با تثبیت نیتروژن اتمسفر، حل شدن فسفر و سنتز مواد محرک رشد گیاهان، مواد مغذی را تکمیل می‌کنند(۸).

نانوکودهای‌زیستی از کودهای‌زیستی محصورشده در نانوذرات تشکیل شده‌اند. کودهای زیستی فرآورده‌ی حامل‌های گیاهی با سلول‌های میکروبی مفید هستند، در حالی که نانوذرات، ذرات میکروسکوپی (۱۰۰-۱ نانومتر) هستند که دارای مزایای متعددی هستند. سیلیکون، روی، مس، آهن و نقره از نانوذرات متداول برای فرمولاسیون نانوکودزیستی هستند. سنتز سبز این نانوذرات عملکرد و ویژگی‌های آنها را افزایش می‌دهد. استفاده از نانوکودهای‌زیستی موثرتر از سایر راهکارهای سنتی است. آنها همچنین نقش خود را بهتر از نمک‌های معمولی که قبلاً در کشاورزی برای افزایش تولید محصولات استفاده می‌شد، انجام می‌دهند. نانوکودهای‌زیستی در مقایسه با کودهای‌شیمیایی سنتی نتایج بهتر و ماندگارتری دارند. ساختار و عملکرد خاک و ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد گیاهان را بهبود می‌بخشد. تشکیل و کاربرد نانوکودزیستی گامی عملی به سوی کود هوشمند است که باعث افزایش رشد و افزایش عملکرد محصولات می شود(۳).

آهن یکی از عناصر ریزمغذی ضروری برای رشد گیاهان است. این عنصر به عنوان یک کاتالیزور در واکنش‌های مختلف بیوشیمیایی عمل می‌کند. برای سنتز آنزیم‌های مختلف و تنظیم فرایند فتوسنتز و تنفس مورد نیاز است. کمبود آن باعث کاهش سنتز کلروفیل و باعث نکروز و کلروز در برگها می‌شود. استفاده از آهن به عنوان کود باعث بهبود رشد گیاه و کاهش اثرات مخرب تنش‌های-محیطی می‌شود(۶).

مواد و روش ها

به منظور بررسی تاثیر قارچ *S.indica* و نانو ذره‌آهن پوشش‌دار شده با سیترال بر خصوصیات مورفولوژی گیاه کاهو آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در ۳ تکرار به‌صورت کشت هیدروپونیک اجرا گردید. تیمار نانو ذره‌آهن پوشش‌دار شده با سیترال (شاهد، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر) و قارچ *S.indica* در دو سطح (عدم تلقیح و تلقیح شده) اعمال گردید. در این آزمایش اولین مرحله، آماده‌سازی بسترها بود. بدین شکل که ابتدا بسترهای کوکوپیت و پرلیت به‌نسبت ۵۰:۵۰ مخلوط شدندسپس گلدان‌ها با بسترهای آماده‌شده (کوکوپیت وپرلیت) به نسبت حجمی یکسان پر شدند. با استقرار کامل گیاهان در گلدان تیمار نانو ذره‌آهن پوشش‌دار شده با سیترال اعمال شد.

محلول غذایی مورد استفاده محلول هوگلند تغییریافته بود. ترکیب و غلظت نمک‌های موجود در محلول هوگلند در جدول (۳-۳) آمده است. pH محلول غذایی در ۶/۲ تنظیم گردید. محلول غذایی پس از تهیه در ظروف پلاستیکی ۲۰ لیتری به صورت دستی به مقدار ۲۰۰-۱۵۰ میلی‌لیتر به هر گلدان اضافه شدند. مقدار محلول‌دهی براساس اندازه‌ی گیاه و شرایط محیطی (دما و رطوبت) انجام می‌گرفت. برای جلوگیری از افزایش غلظت عناصرمعدنی در گلدان‌ها، هر هفت روز یک‌بار بستر کاشت به طور کامل آبشویی و مجدداً از محلول‌های غذایی استفاده می‌شد.

ارتفاع گیاه کاهو با استفاده از خط کش و تعداد برگ‌های کاهو به صورت شمارش تعیین گردید بعد از برداشت کاهوها، و با جدا نمودن قسمت هوایی گیاه، وزن‌تر برای کلیه تیمارها ثبت شد. سپس قسمت هوایی در درون پاکت کاغذی قرار گرفته و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در دستگاه آون قرار داده شدند تا وزن خشک آن‌ها ثبت گردد. وزن‌تر و خشک به وسیله ترازوی دیجیتالی تعیین شدند.

آماده سازی نمونه‌های گیاهی به روش هضم‌تر انجام گرفت، ابتدا سپس ۰/۵گرم از ماده خشک با ۱۰میلی‌لیتر اسیدنیتریک غلیظ ۶۵ درصد هضم شدند. برای تعیین مقدار آهن نمونه های گیاهی از دستگاه جذب اتمی (Shimadzu) استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که فقط اثر ساده نانو ذره آهن پوشش‌دار شده با سیترال در سطح ۵ درصد و قارچ سرندیپیتا ایندیکا در سطح ۱ درصد از نظر آماری معنی دار بود (جدول ۱). طبق نتایج با تلقیح قارچ سرندیپیتا ایندیکا در محیط ریشه گیاه کاهو، تعداد برگ افزایش یافته است. گیاهان تلقیح شده با قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا نسبت به گیاهان تلقیح نشده افزایش معنی داری در تعداد برگ نشان دادند(۴). در مورد گیاهان همزیست با قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا، تعداد برگ‌ها در مقایسه با گیاهان غیر همزیست شده بالا بود(۷). کاربرد قارچ بر ویژگی‌های رشدی اندازه‌گیری شده (ارتفاع بوته، تعداد برگ، وزن تر ، وزن خشک برگ) تأثیر معنی‌داری داشته است. همچنین مقایسه میانگین های مربوط به تیمار قارچی نشان داد که کاربرد میکروارگانیسم باعث بهبود ویژگی‌های رشدی نسبت به گیاهان تلقیح نشده گردید (۱)

مقایسه میانگین تاثیر نانو ذره‌آهن پوشش‌دار شده با سیترال بر شاخص تعداد برگ کاهو(جدول ۳) نشان داد که بیشترین تعداد برگ (۱۹/۸۳) مربوط به تیمار نانو ذره‌آهن پوشش‌دار شده با سیترال در ۵ میلی‌گرم در لیتر بود. که نسبت به تیمار شاهد ۱۶درصد تعداد برگ بیشتری داشت ولی اختلاف معنی‌داریبین تیمارهای ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم بر لیتر نبود. نتایج این تحقیق همسو با یافته های حیدری و همکاران (۲۰۲۱) بود که گزارش کردندکه تیمارهای نانوذره‌آهن در افزایش تعداد برگ در بوته موثر بودند (۵).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که فقط اثر ساده نانو ذره آهن پوشش‌دار شده با سیترال در سطح ۱ درصد و قارچ سرندیپیتا ایندیکا در سطح ۵ درصد بر روی وزن تر از نظر آماری معنی دار بود (جدول ۱) طبق نتایج (جدول ۲) با تلقیح قارچ سرندیپیتا ایندیکا در محیط ریشه گیاه کاهو، وزن تر اندام هوایی افزایش یافت. تلقیح *S.indica* وزن تر اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی را به طور قابل توجهی افزایش داد .کاربرد قارچ بر ویژگی‌های رشدی اندازه‌گیری شده (ارتفاع بوته، تعداد برگ، وزن تر برگ) تأثیر معنی‌داری داشته است. همچنین مقایسه میانگین‌های مربوط به تیمار قارچی نشان داد که کاربرد میکروارگانیسم باعث بهبود ویژگی‌های رشدی نسبت به گیاهان تلقیح نشده گردید (تلقیح با قارچ *S.indica* سبب افزایش در وزن تر و خشک گیاهان کاهو نسبت به شاهد گردیده است (۱)

مقایسه میانگین تاثیر نانو ذره‌آهن پوشش‌دار شده با سیترال بر شاخص وزن‌تر اندام هوایی کاهو(جدول ۳) نشان داد که بیشترین وزن‌تر مربوط به تیمار نانو ذره‌آهن پوشش‌دار شده با سیترال در غلظت ۲۰ با وزن (۱۳۱ گرم) بود. طبق نتایج (جدول ۳) با افزایش غلظت نانو ذره‌آهن پوشش‌دار شده با سیترال در محیط کشت گیاه کاهو وزن تر افزایش یافته است. تیمار نانوذرات آهن بر روی گیاه نعناع باعث افزایش وزن تر نسبت به شاهد شد. نانو ذرات اکسیدآهن سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع، وزن‌تر وخشک گیاه یونجه در محیط هیدروپونیک نسبت به شاهد شد(۲).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر نانو ذره آهن پوشش‌دار شده با سیترال و قارچ سرندیپیتا ایندیکا از نظر آماری معنی دار نبود(جدول ۱) نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که فقط اثر ساده نانو ذره آهن پوشش‌دار شده با سیترال و قارچ سرندیپیتا ایندیکا هر دو در سطح ۱ درصد از نظر آماری معنی دار بود(جدول ۱)

طبق نتایج با تلقیح قارچ سرندیپیتا ایندیکا در محیط ریشه گیاه کاهو، میزان عنصر آهن افزایش یافته است. قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا یکی از مهمترین دلایل برای تقویت رشد گیاه، با افزایش جذب موادمعدنی در گیاهان میزبان است. طی کلونیزاسیون در ریشه، *S.indica* جذب مواد معدنی را در گیاهان میزبان حتی در شرایط کمبود مواد معدنی افزایش می دهد((۷). نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به قارچ نشان داد که گیاهان تلقیح‌شده با قارچ از میزان آهن بیشتری در مقایسه با گیاهان تلقیح‌نشده برخوردار بودند(۱).

مقایسه میانگین تاثیر تیمار قارچ سرندیپیتا ایندیکا در گیاه کاهو تحت کشت هیدروپونیک بر شاخص کلروفیل کل کاهو نشان داد که بیشترین محتوای کلروفیل کل مربوط به تیمار تلقیح قارچ سرندیپیتا ایندیکا به میزان (۲۰/۹۹ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) بود. طبق نتایج تلقیح قارچ سرندیپتا ایندیکا با ریشه گیاه کاهو ، محتوای کلروفیل کل نسبت به عدم تلقیح در حدود (۱۱درصد) افزایش یافت. یکی از دلایل افزایش محتوای کلروفیل در گیاهان تلقیح شده با قارچ، جذب بیشتر عناصر غذایی دخیل در ساختار کلروفیل برگ است، نتایج این تحقیق بیانگر افزایش جذب عناصر غذایی در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ P.indica در مقایسه با گیاهان تلقیح‌نشده می‌باشد. بنابراین بیشتر بودن میزان شاخص کلروفیل در گیاهان همزیست با قارچ در این تحقیق را می توان به بهبود جذب عناصر غذایی در گیاهان تیمار شده نسبت داد(۱).

مقایسه میانگین تاثیر نانو ذره‌آهن پوشش‌دار شده با سیترال بر شاخص میزان عنصر آهن کاهو(جدول ۳) نشان داد که بیشترین میزان عنصر آهن مربوط به تیمار نانو ذره‌آهن پوشش‌دار شده با سیترال در غلظت ۲۰ با وزن (۲۲۴/۱۸ گرم) بود. طبق نتایج با افزایش غلظت نانو ذره‌آهن پوشش‌دار شده با سیترال در محیط کشت گیاه کاهو میزان عنصر آهن افزایش یافته است

ریزوم زنجبیل تیمار شده با نانوذرات اکسید آهن باعث افزایش آهن نسبت به تیمار شاهد شدنانو ذرات اکسیدآهن سبب افزایش معنی‌دار مقدار عنصر آهن و روی گیاه یونجه در محیط هیدروپونیک نسبت به شاهد شد تیمار با نانوذرات‌اکسید آهن منجر به افزایش محتوای آهن در برگ‌های گیاه می‌شود که نشان‌دهنده انتقال شدید یون‌های آهن از خاک به برگ‌ها است. این ممکن است به طور بالقوه با انتقال بهتر آهن در برگ‌ها پس از تیمار بذر با نانوذره آهن مرتبط باشد. (۲).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس حاصل از تاثیر نانو ذره آهن پوشش‌دار شده با سیترال بر شاخص‌های رشد رویشی و عنصر آهن گیاه کاهو تحت همزیستی با قارچ سرندیپیتا ایندیکا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		تعداد برگ	وزن تر	وزن خشک	کلروفیل *a+b*	آهن
قارچ	۱	۶۰/۱۶۷ **	۴۵۹/۳۷۵ *	۱/۷۴۴ ns	۲۶/۱۱۳ **	۱۳۹۳/۶۹۸ **
سیترال	۶	۹/۴۴۴ *	۱۰۳۹/۳۷۵ **	۴/۹۷۹ ns	۰/۴۵۳ ns	۸۴۹/۰۹۱ **
قارچ × سیترال	۶	۰/۵۰۰ ns	۷۵/۸۱۹ ns	۲/۷۵۶ ns	۲/۵۱۲ ns	۲۳۵/۸۷۵ ns
خطا	۲۸	۲/۳۳۳	۹۴/۵۰۰	۴/۶۲۴	۱/۷۱۶	۷۳/۱۰۵

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * معنی دار در سطح ۵ درصد و ns غیر معنی‌دار

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر ساده قارچ سرندیپیتا ایندیکا در گیاه کاهو

تیمار Treatment	تعداد برگ	وزن تر	کلروفیل A+B	آهن
بدون تلقیح قارچ	۱۶,۷^{d}	۱۱۴,۶^{d}	۱۸,۹^{c}	۲۱۰,۴^{ab}
با تلقیح قارچ	۱۹,۹^{abc}	۱۲۳,۴^{cd}	۲۰,۹^{a}	۲۲۵,۷^{a}

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ساده غلظت های مختلف نانو ذره آهن پوشش دار شده با سیترال در گیاه کاهو

تیمار Treatment		تعداد برگ	وزن تر	کلروفیل a+b	آهن
	۰	۱۷^{d}	۱۰۱,۵^{d}	۴,۷۲^{d}	۲۲۹,۹^{ab}
سیترال	۵	۱۹,۸^{bc}	۱۱۶,۶^{bcd}	۵,۰۳^{cd}	۲۰۲,۵^{c}
	۱۰	۱۷,۶^{cd}	۱۲۷^{abc}	۵,۰۸^{cd}	۲۱۵,۵^{c}
	۲۰	۱۸,۸^{cd}	۱۳۱^{a}	۵,۲۴^{c}	۲۲۴,۱^{ab}

۱. اصلانی زهرا، هدایتی احد، حسنی عباس، برین محسن. ۱۴۰۱. تاثیر مایه کوبی با قارچ *Piriformospora indica* بر برخی ویژگی های رویشی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و میزان اسانس گیاه مرزنجوش (*Origanum vulgare L. ssp. vulgare*). مجله تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران شماره ۲، دوره ۳۸.

۲. عسکری مهری، طالبی سیدمهدی، شفیعی‌گواری معصومه. ۱۳۹۹. اثر نانو ذرات اکسیدآهن بر رشد و فیزیولوژی گیاه یونجه (*Medicago sativa L*) تلقیح یافته با *Rhizobium meliloti*. مجله سلول و بافت. جلد۱۱. شماره ۱.

3. Akhtar Nosheen, Noshin Ilyas, Tehseen Ahmad Meraj, Alireza Pour-Aboughadareh, R. Z. Sayyed, Zia-ur-Rehman Mashwani and Peter Poczai. 2022. Improvement of Plant Responses by Nanobiofertilizer: A Step towards Sustainable Agriculture. *Nanomaterials.*

4. Bisht Sanskriti, Shatrupa Singh, Madhulika Singh, Jai Gopal Sharma. 2022. Augmentative role of Piriformospora indica fungus and plant growth promoting bacteria in mitigating salinity stress in Trigonella foenum-graecum. *Journal of Applied Biology & Biotechnology* Vol. 10(01), pp. 85-94.
5. Haydar Md Salman, Suravi Ghosh, Palash Mandal. 2022. Application of Iron Oxide Nanoparticles as Micronutrient Fertilizer in Mulberry Propagation. *Plant Growth Regulation.*

6. Pourjamshid, S.A. 2021. Study the effect of iron, zinc and manganese foliar application on morphological and agronomic traits of bread wheat (Chamran cultivar) under different irrigation regimes. *Environ. Stress. Crop Sci.* 14, 109–118.

7. Prasad Durga, Nidhi Verma, Madhunita Bakshi, Om Prakash Narayan, Alok Kumar Singh, Meenakshi Dua, and Atul Kumar Johri. 2018. Functional Characterization of a Magnesium Transporter of Root Endophytic Fungus Piriformospora indica. *Front Microbiol.*

8. Thomas Lebin and Singh Ishwar. 2019. Microbial Biofertilizers: Types and Applications. *Springer Nature*.