دو فصلنامه‌ی علوم به زراعی گیاهی
دوره سیزدهم ، شماره اول، بهار و تابستان۱۴۰۲

ارزیابی محتوای رنگیزه‌ها و صفات عملکردی گیاه کاملینا (*Camelina sativa*) تحت تاثیر محرک‌های رشد

نجمه رضائیان [۱]، مهیار گرامی [۲]، پرستو مجیدیان [۳] و حمیدرضا قربانی [۴*]

۱- کارشناسی ارشد، بخش زیست شناسی، موسسه آموزش عالی سنا ساری، ایران.
۲- دانشیار، بخش زیست شناسی، موسسه آموزش عالی سنا ساری، ایران.
۳- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.
۴*- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.
***مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی:** h.ghorbani@areeo.ac.ir.
(تاریخ دریافت:۷ تیرماه ۱۴۰۲، تاریخ پذیرش: ۸ مرداد ماه ۱۴۰۲)

چکیده

این پژوهش به‌منظور بررسی تاثیر نانوذره آهن و پوترسین بر برخی صفات گیاه کاملینا به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزارع تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات کشاورزی بابع‌کلا (شهرستان نکا) در سال ۱۴۰۰ انجام گرفت. تیمارهای مورد استفاده شامل نانوذره آهن در چهار غلظت صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ ppm و پلی‌آمین پوترسین در چهار غلظت صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار بود. تجزیه واریانس بیانگر معنی‌داری اثر ساده نانوذره آهن و پوترسین و اثر متقابل آنها بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و صفات مورفولوژیکی در سطح ۵ درصد بود. نتایج مقایسه میانگین اثر ساده تیمارها نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a و کارتنوئید در مرحله رویشی و کارتنوئید در مرحله زایشی در سطح ۶۰ ppm نانوذره آهن و بیشترین میزان کلروفیل a در سطح ۱ میلی‌مولار پوترسین و بیشترین میزان کارتنوئید در سطح ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین بود. بیشترین میزان رنگیزه‌های کلروفیل b و کل در مرحله رویشی در ترکیب تیماری ۴۰ ppm آهن با ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین و در مرحله زایشی در ترکیب تیماری ۶۰ ppm آهن با ۱ میلی‌مولار پوترسین مشاهده شد. بیشترین میزان عملکرد و تعداد دانه در کپسول و نیز میزان بالایی از وزن هزار دانه و ارتفاع بوته در ترکیب تیماری ۴۰ ppm نانوذره آهن با ۱ میلی‌مولار پوترسین مشاهده شد. به‌طور کلی ترکیب تیماری ۶۰ ppm نانوذره آهن و غلظت‌های مختلف پوترسین بیشترین میزان رنگیزه‌ها و صفات عملکردی را داشته و محلول‌پاشی این دو محرک می‌تواند موجب بهبود رشد، نمو و عملکرد محصول کاملینا شود.

واژه‌های کلیدی: پوترسین، دانه روغنی، عملکرد، کلروفیل، نانوذره آهن

مقدمه

گیاه دارویی-روغنی کاملینا با نام علمی (*Camelina sativa* L.) یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی خانواده براسیکاسه می‌باشد که تاریخچه کشت کاملینا به ۴۰۰۰ سال پیش بر می‌گردد (۱۰). بذر کاملینا حاوی ۳۸ تا ۴۳ درصد روغن و ۲۷ تا ۳۲ درصد پروتئین می‌باشد. علاوه‌بر مصرف خوراکی این گیاه، با توجه به کیفیت بالای امگا-۳ (تا ۵ درصد)، میزان بالای پروتئین و روغن و میزان کالری بالا به عنوان خوراک مناسب در رژیم غذایی چهارپایان، پرندگان و ماهیان نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۵). وجود مقدار بالای الفا اسید لینولنیک (امگا ۳)، توکوفرول‌ها و سایر آنتی‌اکسیدان‌ها در روغن کاملینا با توجه به نقش این ترکیب‌ها در سلامت انسان، روغن کاملینا را به عنوان یک منبع ارتقادهنده سلامتی از نظر تغذیه‌ای مورد توجه قرار داده است (۲۸).

یکی از مهمترین کاربردهای فناوری نانو، استفاده از نانوکودها جهت تغذیه گیاهان است. با بهره‌گیری از نانوکودها، عناصر غذایی به آرامی و با سرعتی مناسب در تمام فصل رشد گیاه آزاد می‌شود و به دلیل کاهش آب‌شویی، گیاهان قادر به جذب بیشتر عناصر خواهند بود و آلودگی‌های زیست محیطی کاهش می‌یابد (۲۰). فناوری نانو با تغییر و اثرگذاری در فرمولاسیون کودها و تولید موادی با ویژگی‌های مناسب (نانو کود شیمیایی، نانو کود آلی و نانو کود بیولوژیک) می‌تواند نقش مهمی در افزایش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی ایفا کند (۲۶).

کمبود یا فعالیت کم آهن در گیاه باعث می‌شود که کلروفیل در مقادیر کافی تولید نشود و برگ‌ها رنگ پریده شوند. کاهش کلروفیل منجر به کاهش فتوسنتز می‌شود. بدون کلروفیل کافی، برگ‌ها قادر به تولید ترکیبات فتوسنتزی مورد نیاز برای رشد و نمو نیستند. در بعضی موارد کاهش فتوسنتز ناشی از کاهش کلروفیل سبب بازدارندگی کامل از تشکیل برگ‌های جدید و در نتیجه کاهش محصول گیاه می‌شود (۳۱). وجود آهن در سنتز پروتئین لازم بوده و از آنجایی‌که نقش عمده آهن در سنتز پروتئین‌های همراه کلروفیل است، کمبود آن، ساختار کلروپلاست و میزان فتوسنتز را کاهش می‌دهد (۱۷). آزمایش‌ها نشان داده است که جایگزینی کود آهن تهیه شده با فناوری نانو در مقایسه با کودهای آهن رایج در غلظت مناسب یا حتی کمتر می‌تواند سبب افزایش رشد گیاه ریحان شود (۱۴). احتمالا خصوصیات ذرات نانو، حلالیت بیشتر ذرات نانو و سطح تماس بیشتر ذرات نانو با ریشه گیاهان علت این امر است. در مطالعه بر روی گندم مشاهده شد تیمار آهن باعث افزایش معنی‌دار حجم کلروفیل کل، نشاسته و پروتئین شده است (۱۲).

محرک‌ها، ترکیبات، مواد یا موجودات زنده‌ای هستند که آغازکننده پیام‌هایی برای سلول‌ها در جهت افزایش یا کاهش تولید متابولیت‌های ثانویه و پاسخ دفاعی گیاه می‌باشند. در گیاهان عالی، پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین اصلی‌ترین پلی‌آمین‌ها بوده و در تنظیم فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی مانند رشد گیاهان، جنین‌زایی، پیری، بلوغ، رشد میوه و همچنین در پاسخ به تنش‌های زنده و غیرزنده نقش دارند (۳۲). پلی‌آمین‌ها در محافظت از غشای سلولی و کاهش تنش اکسایشی نقش داشته و کاربرد خارجی پلی‌آمین‌ها منجر به افزایش ثبات و یکپارچگی غشای سلولی در گیاهان تحت تنش می‌شود (۸). محققان دلیل احتمالی افزایش عملکرد در زمان مصرف پوترسین را اثر پوترسین در کاهش تخریب غشاء سلولی و اندامک‌های درون سلولی و تولید اسمولیت‌های سازگار توسط گیاه دانسته که منجر به افزایش پتانسیل اسمزی شده و به افزایش قدرت جذب آب در شرایط نامساعد محیطی کمک می‌کند (۱). کاربرد خارجی پوترسین باعث القای داخلی

سیتوکنین می‌شود که باعث تحریک بیوسنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کل) و تمایز کلروپلاست در گندم گردید (۲۴). با توجه به عدم اطلاع کافی از کاربرد نانو ذرات آهن و پوترسین در تغذیه گیاه کاملینا، در این پژوهش اثربخشی این دو محرک رشدی به طور همزمان بر میزان رنگیزه‌ها و صفات عملکردی گیاه کاملینا ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۰ در مزارع تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات کشاورزی بایع‌کلا (مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران) واقع در شهرستان نکا به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۴ سطح پلی‌آمین پوترسین (غلظت‌های صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) از شرکت سیگما (Sigma) و ۴ سطح نانوذره آهن (غلظت‌های صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ ppm) از شرکت پیشگامان نانومواد ایرانیان بود. آماده‌سازی زمین و عملیات کاشت طبق عرف منطقه شامل شخم، دیسک زدن و ... انجام شد. قبل از اجرای طرح، طبق توصیه بخش تحقیقات آب و خاک مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، کود شیمیایی نیتروژن به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبـع اوره، کود فسفره P_2O_5 به مقدار ۷۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات‌تریپل و کود پتاس به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات پتاسیم به عنوان کود پایه، به‌صورت یکسان در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه توزیع شد. هر کرت آزمایشی به مساحت ۶ متر مربع تهیه و اعمال تیمارهای مورد مطالعه به صورت محلول‌پاشی برگی و در دو مرحله فاز رویشی (ساقه رفتن گیاه قبل از ظهور غنچه‌ها بر روی گیاه) و شروع فاز زایشی گیاه (آغاز گلدهی بر روی بوته‌ها در سطح کرت) انجام گرفت. دو هفته بعد از اعمال تیمارها در هر دو مرحله رویشی و زایشی به صورت مجزا، نمونه‌گیری جهت بررسی خصوصیات فیزیولوژیک گیاه شامل محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید انجام شد. اندازه‌گیری میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در برگ تازه گیاه کاملینا از طریق روش آرنون (۱۳) انجام شد. پس از تهیه نمونه‌ها، جذب محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر (Uv/Vis S-2150 شرکت UNICO) در طول موج‌های ۶۴۵ ، ۶۶۳ و ۴۸۰ نانومتر اندازه‌گیری و برای شاهد نیز از استون ٪۸۰ استفاده گردید. مقدار کلروفیل‌ها بر حسب میلی‌گرم بر گرم محاسبه و همچنین برای اندازه‌گیری کارتنوئید از روش لیچنتالر (۲۹) استفاده شد.

در زمان رسیدگی بعد از حذف اثر حاشیه‌ای، برداشت در سطح یک متر مربع صورت گرفت و عملکرد نهایی دانه و زیست توده محاسبه گردید. به‌منظور تعیین میزان ماده خشک، ۵ بوته از هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای برداشت و پس از اندازه‌گیری وزن تر، نمونه گیاهی به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سانتیگراد قرار گرفته و سپس با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند (۲۱). همچنین به‌منظور اندازه‌گیری سایر صفات زراعی از هر واحد آزمایشی تعداد ۵ بوته به طور تصادفی انتخاب و صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی و اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار SAS (ver 9.0) و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتیجه و بحث

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش بیانگر معنی‌داری اثر ساده نانوذره آهن بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل و کارتنوئید در مرحله رویشی و زایشی و تمام صفات مورفولوژیکی به جز ارتفاع بوته و وزن خشک بوته و نیز اثر معنی‌دار پوترسین بر تمام صفات مورد مطالعه در سطح ۵ درصد بود. همچنین اثر متقابل نانوذره آهن و پوترسین بر تمامی صفات مورد مطالعه به جز صفات کلروفیل a و کارتنوئید در مرحله رویشی و کارتنوئید در مرحله زایشی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جداول ۱ و ۴).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر محرک‌های نانوذره آهن و پوترسین بر صفات فیزیولوژیکی گیاه کاملینا

منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		مرحله رویشی				مرحله زایشی			
		کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم)	کارتنوئید (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم)	کارتنوئید (میلی‌گرم بر گرم)
نانوذره آهن	۳	۰/۰۲۰*	۰/۴۵۰*	۰/۶۱۶*	۰/۰۰۱*	۰/۰۳۳۶*	۰/۱۳۶*	۰/۲۹۷*	۰/۰۰۱۹*
پوترسین	۳	۰/۰۰۴*	۰/۰۷۲*	۰/۱۰۸*	۰/۰۰۲*	۰/۰۰۹۶*	۰/۰۵۰*	۰/۱۰۴*	۰/۰۰۱۶*
تکرار	۲	۰/۰۰۰۸ns	۰/۰۱۲ns	۰/۰۰۸ns	۰/۰۰۰۲ns	۰/۰۰۰۷ns	۰/۰۱۰۹ns	۰/۰۱۱ns	۰/۰۰۰۲ns
نانوذره آهن × پوترسین	۹	۰/۰۰۰۵ns	۰/۰۶۹*	۰/۰۷۲*	۰/۰۰۰۱ns	۰/۰۰۰۹*	۰/۰۱۳*	۰/۰۱۷*	۰/۰۰۰۷ns
خطا	۳۰	۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۶۹	۰/۰۰۰۹
ضریب تغییرات٪		۱۴/۱۴	۱۳/۸۳	۱۰/۰۵	۱۹/۶۷	۱۶/۴۰	۱۵/۳۳	۱۷/۳۲	۱۷/۵۹

ns، * و **: به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد

نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای نانوذره آهن و پوترسین بر رنگیزه‌های گیاه کاملینا در مرحله رویشی و زایشی نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a در کابرد نانوذره آهن در تیمار ۶۰ ppm به میزان ۰/۳۴۰ میلی‌گرم بر گرم بوده که اختلاف معنی‌داری با دیگر سطوح تیماری داشت. کمترین غلظت کلروفیل a نیز در تیمار شاهد نانوذره آهن به میزان ۰/۲۵۲ میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد که در مقایسه با تیمار ۶۰ ppm حدود ۲۵ درصد کاهش داشته و اختلاف معنی‌داری با دیگر سطوح نانوذره آهن داشت. با کاربرد پوترسین بیشترین میزان کلروفیل a (۰/۳۲۰ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار ۱ میلی‌مولار پوترسین مشاهده شد که اختلاف معنی-داری با دیگر سطوح تیمار پوترسین داشت (جدول ۳). اگرچه اثر متقابل کاربرد نانوذره آهن و پوترسین بر میزان کلروفیل a در مرحله رویشی معنی‌دار نبود و تغییر در غلظت این دو عامل سبب تغییر در میزان کلروفیل a نشد ولی اثر متقابل این دو محرک در مرحله زایشی بر میزان کلروفیل معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها نشان داد که در میان ترکیبات تیماری، بیشترین غلظت کلروفیل a به ترتیب در ترکیبات تیمار ۶۰ ppm نانوذره آهن با ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین و ترکیب ۶۰ ppm نانوذره آهن با ۱ میلی-

مولار پوترسین به ترتیب به میزان ۰/۴۴۴ و ۰/۴۱۱ میلی‌گرم بر گرم را به خود اختصاص داده و این تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل دو عامل نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل b و کلروفیل کل در مرحله رویشی گیاه در ترکیب تیماری ۴۰ ppm نانوذره آهن با ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین (به ترتیب ۱/۱۵۴ و ۱/۴۶۲ میلی‌گرم بر گرم) بوده در حالی‌که بیشترین میزان این رنگیزه‌ها در مرحله زایشی در ترکیب تیماری ۶۰ ppm نانوذره آهن با ۱ میلی مولار پوترسین (به ترتیب ۱/۱۶۳ و ۱/۵۷۶ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد. کمترین میزان کلروفیل b و کلروفیل کل در مرحله رویشی (۰/۴۸۸ و ۰/۷۱۲ میلی‌گرم بر گرم) و نیز کمترین میزان کلروفیل a و b و کل در مرحله زایشی (۰/۲۴۰، ۰/۶۷۰ و ۰/۹۱۰ میلی‌گرم بر گرم) در ترکیب تیماری شاهد مشاهده شد (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای نانوذره آهن و پوترسین بر صفات فیزیولوژیکی گیاه کاملینا

آهن (ppm)	پوترسین (میلی-مولار)	مرحله رویشی		مرحله زایشی		
		کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم)
صفر	صفر	۰/۴۸۸^{g}	۰/۷۱۲^{h}	۰/۲۴۰^{g}	۰/۶۷۰^{f}	۰/۹۱۰^{f}
	۰/۵	۰/۹۳۰^{bcd}	۱/۱۸۹^{cde}	۰/۲۷۹^{ef}	۰/۶۸۰^{f}	۰/۹۵۶^{ef}
	۱	۱/۱۰۵^{ab}	۱/۳۷۴^{abc}	۰/۲۹۲^{de}	۰/۷۹۰^{cdef}	۱/۰۸۶^{cde}
	۱/۵	۰/۷۴۹^{def}	۱/۰۰۹^{efg}	۰/۲۸۳^{e}	۰/۷۵۰^{def}	۱/۰۳۶^{de}
۲۰	صفر	۰/۵۲۱^{g}	۰/۷۷۴^{h}	۰/۲۴۸^{fg}	۰/۷۰۳^{ef}	۰/۹۵۳^{ef}
	۰/۵	۰/۵۹۶^{efg}	۰/۸۵۸^{gh}	۰/۲۷۲^{ef}	۰/۸۱۳^{cde}	۱/۰۹۰^{cde}
	۱	۰/۵۹۲^{fg}	۰/۸۹۱^{fgh}	۰/۳۰۲^{de}	۰/۷۷۳^{def}	۱/۰۷۳^{cde}
	۱/۵	۰/۷۹۴^{cde}	۱/۰۶۸^{def}	۰/۳۰۰^{de}	۰/۸۳۶^{cd}	۱/۱۴۰^{bcd}
۴۰	صفر	۱/۰۳۰^{ab}	۱/۳۳۸^{abc}	۰/۳۲۰^{cd}	۰/۷۹۳^{cdef}	۱/۱۱۳^{cd}
	۰/۵	۱/۰۶۴^{ab}	۱/۳۸۷^{ab}	۰/۳۰۱^{de}	۰/۷۸۳^{cdef}	۱/۰۸۳^{cde}
	۱	۰/۹۶۷^{abc}	۱/۳۰۵^{abc}	۰/۳۵۵^{b}	۰/۸۲۳^{cde}	۱/۱۸۰^{bc}
	۱/۵	۱/۱۵۴^{a}	۱/۴۶۲^{a}	۰/۳۵۲^{bc}	۰/۸۵۰^{cd}	۱/۲۰۳^{bc}
۶۰	صفر	۰/۹۹۶^{ab}	۱/۳۰۶^{abc}	۰/۳۴۱^{bc}	۰/۸۱۰^{cde}	۱/۱۵۰^{bcd}
	۰/۵	۱/۰۴۴^{ab}	۱/۴۰۴^{ab}	۰/۳۵۴^{b}	۰/۹۰۳^{bc}	۱/۲۶۰^{b}
	۱	۱/۰۵۰^{ab}	۱/۴۲۷^{a}	۰/۴۱۱^{a}	۱/۱۶۳^{a}	۱/۵۷۶^{a}
	۱/۵	۰/۹۰۵^{bcd}	۱/۲۲۲^{bcd}	۰/۴۴۴^{a}	۱/۰۱۰^{b}	۱/۴۵۳^{a}

حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

در مراحل رویشی و زایشی بیش‌ترین مقدار صفت کارتنوئید در سطح تیماری ۶۰ ppm نانوذره آهن (۰/۱۳۵ و ۰/۱۴۲ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سطح تیماری ۴۰ ppm نانوذره آهن نداشت. هم‌چنین بیشترین مقدار کارتنوئید در مراحل رویشی و زایشی در کاربرد سطح تیماری ۱/۵ میلی‌مولار

پوترسین مشاهده شد (۰/۱۳۶ و ۰/۱۴۱ میلی‌گرم بر گرم) که اختلاف معنی‌داری با سطح ۱ میلی‌مولار پوترسین نداشت (جدول ۳).

پلی‌آمین‌ها، هیدروکربن‌هایی با وزن مولکولی کم هستند که به دلیل خاصیت پلی‌کاتیونی می‌توانند با اتصال به ماکرومولکول‌های آنیونی شامل، فسفولیپیدها، اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها، با کاهش پراکسیداسیون چربی‌ها باعث ثبات زیست‌شناختی غشا و ساختار سلول‌ها شوند (۳۴). پلی‌آمین‌های آلفاتیک مانند پوترسین، باعث کاهش تخریب کلروفیل شده و منجر به دریافت بیشتر نور برای بهبود فتوسنتز می‌شوند. نتایج حاصل از داده‌ها نشان داد به‌کارگیری پوترسین با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش ظرفیت مهار رادیکال‌های آزاد موجب کاهش نشت یونی و افزایش محتوای کلروفیل و کارتنوئید در گیاه استویا گردید (۸). همچنین کاربرد پوترسین سبب افزایش مقدار کلروفیل a و کلروفیل b در گیاه برنج شد (۱۹) که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد. افزایش محتوای کلروفیل بعد از کاربرد پوترسین به دلیل ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی آنها است که از تخریب ساختار غشاء کلروپلاست جلوگیری می‌کند (۲۲). در بررسی دیگری نیز کاربرد پوترسین با افزایش تقسیم سلولی و محتوای هورمون‌های گیاهی از قبیل اکسین و جیبرلین و کاهش مقدار اسید آبسیزیک، موجب افزایش محتوای کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید شد (۲۷). کلروفیل دارای نیتروژن و منیزیم است که کمبود این عناصر مانع از تشکیل کلروفیل می‌شود. از جایی‌که پلی‌آمین‌ها در ساختار خود دارای نیتروژن هستند، می‌توانند مقدار کلروفیل را تحت تاثیر قرار دهند. آهن یکی از عناصر ضروری اما کم-مصرف و کم‌تحرک برای گیاهان است. گیاهان در بین همه ریز مغذی‌ها، بیشترین نیاز را به آهن دارند. آهن، بخشی از گروه کاتالیزوری بسیاری از آنزیم‌های اکسیداسیون و احیا است و برای سنتز کلروفیل مورد نیاز است (۳۳). بررسی محققان نشان داد که با افزایش سطح آهن میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئیدهای گیاهان یونجه نسبت به شاهد (صفر آهن) افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد (۷). کمترین و بیشترین شاخص‌های فوق به ترتیب در تیمار شاهد و غلظت ۲۵ میکرومولار نانوذرات اکسید آهن مشاهده شد. نتایج تحقیق دیگری نشان داد کاربرد کلات آهن در غلظت کم (۱/۵ کیلوگرم در هکتار) و همه غلظت‌های نانو آهن (سه سطح ۱، ۳ و ۵ کیلوگرم در هکتار) موجب افزایش در غلظت کلروفیل a می‌شود. کاربرد کود نانو آهن در همه غلظت‌ها (۱، ۳ و ۵ کیلوگرم در هکتار) در افزایش میزان کلروفیل b موثرتر از همه غلظت‌های کلات آهن بود. نتایج نشان داد، کاربرد کلات آهن موجب کاهش و نانو کود کلات آهن موجب افزایش میزان مجموع کلروفیل‌های a و b شده است. در این بررسی اختلاف معنی‌داری در محتوای کارتنوئید بین شاهد و تیمارهای اعمال شده مشاهده نشد (۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای نانوذره آهن و پوترسین بر صفات فیزیولوژیکی گیاه کاملینا

تیمارها	مرحله رویشی		مرحله زایشی
	کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم)	کارتنوئید (میلی‌گرم در گرم)	کارتنوئید (میلی‌گرم در گرم)
نانوذره آهن (ppm)			
صفر	۰/۲۵۲^{d}	۰/۱۱۵^{b}	۰/۱۱۷^{b}
۲۰	۰/۲۷۱^{c}	۰/۱۱۰^{b}	۰/۱۲۱^{b}
۴۰	۰/۳۱۹^{b}	۰/۱۲۶^{a}	۰/۱۴۰^{a}
۶۰	۰/۳۴۰^{a}	۰/۱۳۵^{a}	۰/۱۴۲^{a}
پوترسین (میلی‌مولار)			
صفر	۰/۲۷۳^{c}	۰/۱۱۰^{b}	۰/۱۱۹^{b}
۰/۵	۰/۳۰۰^{b}	۰/۱۱۰^{b}	۰/۱۲۱^{b}
۱	۰/۳۲۰^{a}	۰/۱۳۰^{a}	۰/۱۳۹^{a}
۱/۵	۰/۲۸۹^{bc}	۰/۱۳۶^{a}	۰/۱۴۱^{a}

حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

اثر متقابل نانوذره آهن و پوترسین بر تمامی صفات مورفولوژیکی کاملینا معنی‌دار بود. با بررسی مقایسه میانگین اثرات متقابل دو تیمار مشاهده شد که بالاترین میزان ارتفاع بوته در ترکیب تیماری ۶۰ ppm نانوذره آهن و ۱ میلی‌مولار پوترسین به میزان ۱۱۵/۷۵۰ سانتی‌متر بوده که اختلاف معنی‌داری با کمترین میزان ارتفاع در ترکیب تیماری سطح صفر نانوذره آهن و پوترسین (۹۱/۷۵ سانتی‌متر) داشت. سطح تیماری ۱ میلی‌مولار پوترسین در ترکیب با سطوح تیماری نانوذره آهن، بالاترین میزان ارتفاع را نشان داد (جدول ۵).

با توجه به نتایج تحقیق حاضر، افزایش ارتفاع بوته کاملینا در کاربرد همزمان غلظت‌های افزایشی نانوذره آهن و پوترسین مشاهده شد. محققان بیان داشتند که محلول‌پاشی نانوکلات آهن و منگنز موجب افزایش ارتفاع ساقه اصلی جو در شرایط آبیاری و کم آبیاری شد. ترکیب تیماری آهن میکرو با منگنز میکرو در غلظت سه در هزار در شرایط شاهد (بدون تنش) بیشترین تأثیر را بر ارتفاع گیاه داشت (۵). افزایش ارتفاع به واسطه این دو نوع کود مربوط به نقش این عناصر در فتوسنتز است که باعث افزایش ساخت کلروفیل در برگ‌های جوان و افزایش تنظیم کننده‌های رشد می‌شوند، در نتیجه فتوسنتز افزایش می‌یابد و مواد فتوسنتزی بیشتری به نقاط مختلف گیاه ازجمله ساقه‌ها وارد می‌شود و در نهایت، ارتفاع گیاه افزایش می‌یابد (۹). محققان بیان داشتند که تأثیر محلول‌پاشی سولفات‌آهن به شکل نانو ذرات بر ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی بیشتر از تأثیر محلول‌پاشی این کود به شکل معمول آن بوده (۴) و محلول‌پاشی عناصر آهن، روی و منگنز سبب افزایش ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی و محتوای کلروفیل در برنج گردید (۳۷).

بررسی وزن هزار دانه در کاربرد همزمان تیمارهای نانوذره آهن و پوترسین نشان داد که بیشترین میزان صفت را ترکیب تیماری ۶۰ ppm نانوذره آهن با ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین به میزان ۱/۲۷۵ گرم به خود اختصاص داد که با تمام ترکیبات تیماری ۴۰ ppm نانوذره آهن با سطوح مختلف پوترسین و نیز ترکیب تیماری ۶۰ ppm نانوذره آهن با ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین ترکیب تیماری صفر ppm نانوذره آهن و صفر میلی‌مولار پوترسین (شاهد) با میزان ۰/۹۹۳ گرم، کمترین وزن هزار دانه را نشان داد. بیشترین تعداد دانه در کپسول در ترکیب تیماری ۴۰ ppm نانوذره آهن با ۱ میلی‌مولار پوترسین (۱۷ دانه در کپسول) وجود داشت (جدول ۵).

نتایج تحقیق نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه کاملینا در کاربرد همزمان بیشترین سطوح تیماری به‌کار رفته مشاهده شد. در آزمایش گلخانه‌ای، کاربرد پودر نانواکسید آهن نسبت به اکسید آهن معمولی سبب افزایش معنی‌دار غلظت آهن گیاه، طول سنبله، ارتفاع گیاه، وزن دانه در سنبله، وزن خشک کل، وزن هزار دانه و وزن دانه گندم شد (۳۰). همچنین گزارش شده است که کاربرد پوترسین باعث افزایش عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و وزن هزار دانه در گندم شده است (۲۵). مطابق با دیگر تحقیقات، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش سطح نانوذره آهن به همراه تیمار پوترسین، تعداد دانه در بوته نیز افزایش می‌یابد. نتایج محققان نشان داد که کاربرد کود نانوکلات آهن اثر معنی‌داری بر صفت تعداد دانه در بوته گیاه اسفرزه داشته و با افزایش سطح تیمار تا ۲ گرم در لیتر، تعداد دانه در بوته افزایش معنی‌دار یافت (۲). آهن یک عنصر ضروری برای رشد گیاهان است. آهن برای عملکرد مناسب اغلب فرآیندهای متابولیکی و آنزیمی مربوط به انتقال الکترون، تثبیت نیتروژن، سنتز DNA، سنتز هورمون و دیگر فرآیندها ضروری است؛ بنابراین نقش مهمی را در متابولیسم گیاهی بازی می‌کند (۳۱). کمبود آهن در خاک‌های آهکی که شامل یک سوم کشتزارها است به کاهش معنی‌دار رشد و محصول گیاهان زراعی منجر می‌شود. کاهش ۲۰ درصد محصول بادام زمینی رشد یافته در خاک‌های آهکی گزارش شده است. این کاهش در برخی گیاهان زراعی مثل گندمیان، لگوم‌ها، سبزی‌ها و درختان میوه می‌تواند از ۲۵ درصد هم تجاوز کند (۱۶). همچنین محلول‌پاشی آهن اثر معنی‌داری بر تعداد بذر در کاپیتول و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ داشت (۲۳).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر محرک‌های نانوذره آهن و پوترسین بر صفات مورفولوژیکی گیاه کاملینا

منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ارتفاع (سانتیمتر)	تعداد شاخه‌های جانبی	وزن هزار دانه (گرم)	دانه در کپسول	وزن خشک بوته (گرم)	عملکرد (گرم/متر مربع)
نانوذره آهن	۳	۲۱/۲۹ ns	۳/۷۲ *	۰/۰۲۶ *	۱۷/۱۳۱ *	۱۳۲۶۱/۶۳ ns	۴۲۳۰/۸۹۵ *
پوترسین	۳	۲۴۹/۰۱ *	۲/۱۶ *	۰/۰۳۵ *	۱۱/۰۷۶ *	۵۹۷۱۷/۷۱ *	۳۶۰۴/۱۳۳ *
تکرار	۲	۰/۴۷ ns	۰/۵۸ ns	۰/۰۰۴ *	۰/۱۸۷ ns	۳۶۲۳/۹۰۹ ns	۹۵۰/۷۴۲ ns
نانوذره آهن × پوترسین	۹	۱۱۱/۸۹ *	۲/۴۸ *	۰/۰۰۶ *	۸/۳۱۷ *	۸۱۱۳۷/۹۳ *	۳۶۳۶/۲۳۸ *
خطا	۳۰	۳۵/۷۳	۰/۵۸	۰/۰۰۲	۲/۲۳۱	۲۱۶۶۰/۷۷	۱۰۳۹/۶۴۰
ضریب تغییرات٪		۱۵/۶۰	۱۶/۳۶	۴۱/۶۱	۱۱/۴۳	۱۹/۴۴	۱۹/۴۲

ns، * و **: به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد

با بررسی نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها بر صفات عملکردی در گیاه کاملینا مشاهده شد که بالاترین وزن خشک بوته کاملینا در ترکیبات تیماری ۶۰ ppm نانوذره آهن با ۱ میلی‌مولار پوترسین و ۶۰ ppm نانوذره آهن با ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین به ترتیب با ۹۵۷/۱۷۶ و ۸۵۰/۰۱۸ گرم بوده که اختلاف آماری معنی‌داری با همدیگر نداشتند. همچنین ترکیب تیماری ۴۰ ppm نانوذره آهن ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین نیز در رتبه بعدی بیشترین میزان وزن خشک بوته قرار داشت (۶۷۲/۳۷۰ گرم) که اختلاف معنی‌داری با دو ترکیب تیماری فوق نداشت (جدول ۵). بیشترین تعداد شاخه جانبی بوته کاملینا در میان اثرات متقابل محرک‌ها در ترکیب تیماری ۶۰ ppm نانوذره آهن و ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین به تعداد ۷ عدد مشاهده شد که

اختلاف معنی‌داری با ترکیب تیماری ۶۰ ppm نانوذره آهن و صفر میلی‌مولار پوترسین نداشت. کمترین تعداد شاخه جانبی نیز در ترکیب تیماری صفر ppm آهن و ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین با ۳ عدد بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد و ترکیب تیماری صفر ppm نانوذره آهن و ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین نداشت (جدول ۵).

نتایج نشان داد که افزایش غلظت تیمارهای مورد مطالعه سبب افزایش وزن خشک بوته های کاملینا شد. در مطالعه گیاه ذرت مشخص شد که کود عناصر کم مصرف از جمله آهن بیشتر در فعالیت‌های متابولیکی تأثیرگذار بوده و به طور غیرمستقیم با افزایش سرعت رشد گیاه، سطح جذب، دوام برگ و فتوسنتز باعث افزایش وزن خشک گیاه می‌شود (۶). به نظر می‌رسد دلیل احتمالی این افزایش، تاثیر پوترسین در کاهش تخریب غشا سلولی و اندامک‌های درون سلولی و تولید متابولیت‌های ثانویه توسط گیاه مانند پرولین است که باعث افزایش پتانسل اسمزی گیاه و سبب افزایش قدرت جذب آب در شرایط نامساعد محیطی می‌باشد. کاربرد پوترسین در گیاهچه نارنگی و نارنج سه‌برگ تلقیح شده با قارچ ریشه، وزن خشک اندام هوایی را افزایش داد. افزایش رشد با کاربرد پوترسین در گیاهان تلقیحی با قارچ می‌تواند به دلیل تأثیر مثبت پوترسین بر کلروفیل و سطوح جیبرلین، اکسین و سیتوکینین درونی در گیاهان تلقیحی باشد (۳۶).

با بررسی صفت عملکرد در واحد سطح در میان ترکیبات تیماری مختلف، بیشترین عملکرد در ترکیب تیمار ۴۰ ppm نانوذره آهن و ۱ میلی‌مولار پوترسین به میزان ۲۱۰/۲۷۰ گرم در متر مربع مشاهده شده که اختلاف معنی‌داری با ترکیبات تیماری ۶۰ ppm نانوذره آهن و ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین و ۲۰ ppm نانوذره آهن و ۱ میلی‌مولار پوترسین به ترتیب با ۲۰۰/۲۷۷ و ۱۹۱/۲۸۲ گرم در متر مربع وجود نداشت. کمترین میزان عملکرد نیز در ترکیبات تیماری سطح صفر نانوذره آهن با پوترسین (۹۴/۷۲۴ گرم در متر مربع) و سطح صفر نانوذره آن با ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین (۹۶/۵۱۹ گرم در متر مربع) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۵). با توجه به نتایج تحقیق، با افزایش میزان تیمارهای مورد مطالعه، عملکرد محصول نیز افزایش معنی‌داری داشت. آهن یکی از عناصر ضروری، کم مصرف و غیرمتحرک می‌باشد. محققان گزارش کردند که یک رابطه خطی معنی‌دار بین غلظت آهن و عملکرد گیاه وجود دارد. به طوری‌که در اثر مصرف آهن، مقدار کلروفیل، فتوسنتز و رشد رویشی گیاه افزایش یافته و این امر باعث افزایش سطح کربن‌گیری و در نتیجه میزان ماده خشک تولیدی در گیاه می‌شود (۱۱). در رابطه با تأثیرگذاری کود آهن نانو بر گیاهان روغنی اظهار شده که افزایش غلظت کود نانوذره آهن با بهبود وزن برگ، وزن اندام‌های هوایی، همچنین وزن خشک غلاف‌ها، عملکرد دانه سویا را به طور معنی‌داری افزایش داد (۱۰). همچنین اظهار شده که محلول‌پاشی برگی آهن باعث افزایش ۳۸ تا ۴۲ درصدی عملکرد بادام زمینی در خاک‌های آهکی شد (۱۸). در کلروپلاست دارای کمبود آهن سرعت جذب CO_2 فتوسنتزی به دلیل کاهش در ظرفیت فتوشیمیایی کاهش می‌یابد. مصرف برگی عناصر ریز مغذی به دفعات متعدد، ضمن رفع کمبود آنها سبب افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه نیز می‌شوند (۳۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای نانوذره آهن و پوترسین بر صفات مورفولوژیکی گیاه کاملینا

آهن (ppm)	پوترسین (میلی‌مولار)	ارتفاع (سانتیمتر)	تعداد شاخه جانبی	عملکرد (گرم/متر مربع)	تعداد دانه در کپسول	وزن هزار دانه (گرم)	وزن خشک بوته (گرم)
صفر	صفر	۹۱/۷۵^{f}	۳/۶۶^{ef}	۹۴/۷۲^{g}	۱۴/۰۰$^{b-d}$	۰/۹۹۳^{h}	۶۲۲/۹۳۱$^{b-e}$
	۰/۵	۱۰۹/۵۰^{abcd}	۳/۶۶^{ef}	۱۸۰/۶۰$^{a-d}$	۱۱/۳۳^{ef}	۱/۱۴۴$^{c-f}$	۶۳۰/۶۶۹$^{b-e}$
	۱	۱۱۳/۷۵^{ab}	۵/۰۰^{bcd}	۱۴۹/۶۵$^{b-f}$	۱۱/۳۳^{ef}	۱/۱۱۲^{efg}	۵۷۰/۵۵۲$^{b-e}$
	۱/۵	۱۰۷/۵۰$^{a-e}$	۳/۳۳^{f}	۹۶/۵۱^{fg}	۱۰/۰۰^{f}	۱/۱۳۴^{def}	۵۶۱/۱۴۰$^{b-e}$
۲۰	صفر	۹۸/۲۵^{ef}	۵/۳۳^{bc}	۱۸۷/۳۷$^{a-c}$	۱۳/۶۶$^{c-e}$	۱/۱۱۳^{efg}	۵۰۲/۸۴۰^{cde}
	۰/۵	۱۰۲/۵۰$^{c-f}$	۴/۳۳^{cde}	۱۱۹/۵۹$^{e-g}$	۱۱/۳۳^{ef}	۱/۱۵۵$^{c-f}$	۴۴۲/۷۵۷^{cde}
	۱	۱۰۶/۲۵$^{a-e}$	۴/۶۶^{cde}	۱۹۱/۲۸^{ab}	۱۴/۳۳^{bc}	۱/۰۸۴^{fg}	۴۴۱/۵۶۷^{cde}
	۱/۵	۱۱۴/۷۵^{a}	۵/۰۰^{bcd}	۱۸۳/۵۶$^{a-d}$	۱۶/۳۳^{ab}	۱/۲۰۵$^{a-d}$	۵۴۳/۹۶۳^{abc}
۴۰	صفر	۱۰۷/۵۰$^{a-e}$	۵/۰۰^{bcd}	۱۴۹/۶۷$^{b-f}$	۱۳/۶۶$^{c-e}$	۱/۱۹۴$^{a-e}$	۵۷۳/۲۳۹$^{b-e}$
	۰/۵	۱۱۱/۲۵^{abc}	۴/۰۰^{def}	۱۵۱/۴۸$^{b-e}$	۱۲/۳۳$^{c-f}$	۱/۱۸۷$^{a-e}$	۷۳۷/۶۳۱$^{b-e}$
	۱	۱۱۰/۰۰^{abcd}	۵/۰۰^{bcd}	۲۱۰/۲۷^{a}	۱۷/۰۰^{a}	۱/۱۸۷$^{a-e}$	۶۷۲/۳۷۰^{abc}
	۱/۵	۱۰۰/۵۰$^{d-f}$	۴/۶۶^{cde}	۱۳۴/۵۴$^{c-g}$	۱۲/۰۰$^{c-f}$	۱/۲۲۷^{abc}	۵۰۴/۴۴۸^{bcd}
۶۰	صفر	۱۰۴/۵۰$^{b-f}$	۶/۰۰^{ab}	۱۷۸/۷۰$^{a-d}$	۱۴/۳۳^{bc}	۱/۰۴۲^{gh}	۴۱۶/۵۸۱^{e}
	۰/۵	۱۰۳/۷۵$^{c-f}$	۷/۰۰^{a}	۲۰۰/۲۷^{ab}	۱۳/۰۰$^{c-e}$	۱/۲۴۵^{ab}	۴۰۶/۲۸۰^{e}
	۱	۱۱۵/۷۵^{a}	۴/۰۰^{def}	۱۶۵/۰۵$^{a-e}$	۱۲/۶۶$^{c-e}$	۱/۱۷۴$^{b-e}$	۹۵۷/۱۷۶^{a}
	۱/۵	۱۰۸/۷۵^{abcd}	۴/۰۰^{def}	۱۳۳/۰۸$^{d-g}$	۱۱/۶۶$^{d-f}$	۱/۲۷۵^{a}	۸۵۰/۰۱۸^{ab}

حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش سطح تیمارهای بکار رفته، میزان صفات مورد مطالعه در مراحل رشد رویشی و زایشی گیاه افزایش معنی‌داری نشان دادند. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، ترکیب تیماری ۶۰ ppm نانوذره آهن و غلظت‌های مختلف پوترسین، بالاترین میزان رنگیزه‌ها و صفات عملکردی را داشته و محلول‌پاشی این دو عامل با افزایش توان فتوسنتزی گیاه می‌تواند موجب بهبود رشد، نمو و عملکرد محصول کاملینا شود.

منابع

۱. **انصاری، آ. عندلیبی، ب.، زارعی، م.، شکاری، ف. ۱۴۰۰.** اثر محلول‌پاشی پوترسین بر رشد و تحمل بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*) به تنش سرب. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۴(۳): ۸۶۱-۸۷۱.

۲. **آقازاده خلخالی، د.، مهرآفرین، ع.، عبدوسی، و. و نقدی بادی، ح. ۱۳۹۴.** عملکرد دانه و موسیلاژ اسفرزه (*Plantago psyllium* L.) در پاسخ به محلول‌پاشی نانو کود کلات آهن و پتاسیم. گیاهان دارویی، ۱۴(۵۶): ۲۳-۳۴.

۳. **پیوندی، م.، کمالی جامکانی، ز. و میرزا، م. ۱۳۹۰.** تاثیر نانو کلات آهن با کلات آهن بر رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان مرزه (*Satureja hortensis*). مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی- مولکولی، ۲(۵): ۲۵-۳۲.

۴. **ترابیان، ش. و زاهدی، م. ۱۳۹۲.** تأثیر تغذیه برگی سولفات آهن به دو شکل معمول و نانوذرات بر رشد ارقام آفتابگردان تحت تنش شوری. مجله علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۴(۱): ۱۰۹-۱۱۸.

۵. **زاهدی، ح. و علی‌پور، ا. ۱۳۹۷.** تاثیر محلول‌پاشی نانوکلات آهن و منگنز روی عملکرد و اجزای عملکرد جو (*Hordeum vulgare* L.) تحت شرایط کمبود آب آبیاری در مراحل مختلف رشد. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۱(۴): ۸۴۷-۸۶۱.

۶. **ساجدی، ن.، اردکانی، م. و جعفرزاده، م. ۱۳۸۵.** بررسی تاثیر سطوح مختلف نیتروژن، آهن و روی بر رشد و جذب عناصر غذایی و درصد پروتئین توسط ذرت علوفه‌ای رقم سینکل کراس ۷۰۴ در استان مرکزی. نهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. تهران.

۷. **عسکری، م.، امینی، ف.، طالبی، م. و شفیعی گواری، م. ۱۳۹۷.** اثرات کلات آهن و نانوذرات اکسیدآهن بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه یونجه (*Medicago sativa* L.). تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۱(۲): ۴۵۸-۴۴۹.

۸. **گرامی، م.، اکبرپور، و. و محمدیان، ا. ۱۳۹۸.** بررسی اثر پوترسین و اسید سالیسیلیک بر برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی و آنتی‌اکسیدانی گیاه استویا (*Stevia rebaudiana* B) در شرایط شوری. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی، ۱۱(۲۹): ۴۰-۵۴.

۹. **ملکوتی، م. ج. و تهرانی، م. م. ۱۳۷۹.** نقش ریزمغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی "عناصر خرد با تاثیر کلان". ۳۲۸ صفحه.

10. **Akk, E. and Ilumae, E. 2005.** Possibilities of growing Camelina sativa in ecological cultivation. Estonian Research Institute of Agriculture, Teaduse 13, 75501, Saku, Estonia.

11. **Amaliotis, D., Velemis, D., Bladenopoulou, S. and Karapetsas, N. 2002.** Leaf nutrient levels of strawberries (cv. Tudla) in relation to crop yield. Acta Horticulturae, 567: 447-450.

12. **Armin, M., Akbari, S. and Mashhadi, S. 2014.** Effect of time and concentration of nano-Fe foliar application on yield components of wheat. International Journal of Biosciences, 4(9): 69-75.

13. **Arnon, D. I. 1949.** Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxide in betavulgaris. Plant Physiology, 24: 1-15.

14. **Bakhtiari, M., Moaveni, P. and Sani, B. 2015.** The effect of iron nanoparticles spraying time and concentration on wheat. Biological Forum-An International Journal, 7(1): 679-683.

15. **Berti, M., Gesch, R., Eynck, C., Anderson, J. and Cermak, S. 2016.** Camelina uses, genetics, genomics, production, and management. Industrial Crops Production, 94: 690–710.

16. **Briat, J. F., Curie, C. and Gaymard, F. 2007.** Iron utilization and metabolism in plants. Current Opinion in Plant Biology, 10: 276-282.

17. **Briat, J. F., Dubos, C. and Gaymard, F. 2015.** Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. Trends in Plant Science, 20(1): 33-40.

18. **Budin, J. T., Breene, W. M. and Putnam, D. H. 1995.** Some compositional properties of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) seeds and oils. Journal of the American Oil Chemists' Society, 72: 309-315.

19. **Chattopadayay, M. K., Tiwari, B. S., Chattopadhayay, G., Bose, A., Sengupta, D. N. and Ghosh, B. 2002.** Protective role of exogenous polyamines on salinity-stressed rice (*Oryza sativa*) plants. Physiologia Plantarum, 116: 192-199.

20. **Chinnamuthu, C. R. and Boopathi, M. P. 2009.** Nanotechnology and agroecosystem. Plant Nutrition and Soil Science, 168: 558-573.

21. **Celicel, FG. 2002.** Postharvest handling of stock (Matthiola incana). Hort. Sci. 37:144-147.

22. **Cohen, A. S., Popovic R. B. and Zalik, S. 2004.** Effects of polyamines on chlorophyll and protein content, photochemical activity and chloroplast ultrastructure of barley leaf discs during senescence. Plant Physiology, 64(5): 717-720.

23. **Demirkiran, A. R. 2005.** Determination of Fe, Cu and Zn Contents of Wheat and Corn grains from different growing site. Journal of animal and veterinary advances, 8(8): 1563-1567.

24. **El-Bassiouny, H. M., Mostafa, H. A., El-Khawas, S. A., Hassanein, R. A., Khalil, S. I. and Abd El- Monem, A. A. 2008.** Physiological responses of wheat plant to foliar treatments with arginine or putrescine. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2: 1390-1403.

25. **Gupta, S., Sharma, M. L., Gupta, N. K. and Kumar, A. 2003.** Productivity enhancement by putrescine in wheat (*Triticum aestivum* L.). Physiology and Molecular Biology of Plants, 9: 279-282.

26. **Hiyasmin Rose, L., Benzon, M., Rosnah, U., Rubenecia, V. U., Litra, J. R. and Sang Chul, L. 2015.** Nano fertilizer affects on the growth, development, and chemical properties of rice. International Journal of Agronomy and Agricultural Research, 7(1): 105-117.

27. **Hussein, M. M., EL-Gereadly, N. H. M. and El-Desuki, M. 2006.** Role of putrescine in resistance to salinity of pea plants (*Pisum sativum* L.). Journal of Applied Science Research, 2(9): 598-604.

28. **Ibrahim, F. M. and El Habbasha, S. F. 2015.** Chemical composition, medicinal impacts and cultivation of camelina (*Camelina sativa*). International Journal of Pharm Tech Research, 8: 114-122.

29. **Lichtenthaler, H. 1987.** Cholorophyllas and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods of Enzymology, 148: 350-382.

30. **Mazaherinia, M. A., Astaraei, R., Fotovat, A. and Monshi, A. 2010.** Effect of Nano iron oxide particles and on Fe, Mn, Zn, Cu concentrations in wheat plants. World Applied Science, 7(1): 156-162.

31. **Mohamadipoor, R., Sedaghathoor, S. and MahboubKhomami, A. 2013.** Effect of application of iron fertilizer in two methods foliar and soil application on growth characteristics of Spathyphyllum illusion. European Journal of Experimental Biology, 3(1): 232-240.

32. **Mustafavi, S. H., Badi, H. N., Sekara, A. and Al, E. 2018.** Polyamines and their possible mechanisms involved in plant physiological processes and elicitation of secondary metabolites. Acta Physiologiae Plantarum, 40: 102.

33. **Taiz, L. and Zeiger, E. 2010.** Plant Physiology. 5th edition. Sinauer Associates Inc. Sunderland.

34. **Unal, D., Tuney, I. and Sukatar, A. 2007.** The role of external polyamines on photosynthetic responses, lipid peroxidation, protein and chlorophyll a content under the UV-A (352 nm) stress in Physica semipinnata. Journal of Photochemistry and Photobiology, 90: 64-68.

35. **Whitty, E. N. and Chambliss, C. 2005.** Fertilization of Field and Forage Crops. Nevada State University Publication, 22. pp.

36. **Wu, Q. S., Zou, Y., Liu, C. and Lu, T. 2012.** Interacted effect of arbuscular mycorrhizal fungi and polyamines on root system architecture of citrus seedlings. Journal of Integrative Agriculture, 11: 1675-1681.

37. **Zayed, B. A., Salem, A. K. M. and El Sharkawy, H. M. 2011.** Effect of Different Micronutrient Treatments on Rice (*Oriza sativa* L.) Growth and Yield under Saline Soil Conditions. World Journal of Agricultural Sciences, 7: 179-184.

Bi-Quarterly Journal of Plant Production
Vol. 13, Issue 1, Spring and Summer 2023

Evaluation of pigments content and functional traits of Camelina (*Camelina sativa*) under the influence of growth stimulants

Najmeh Rezaiean[1], Mahyar Gerami[2], Parastoo Majidian[3], Hamidreza Ghorbani[4*]

1- MSc., Biology Department, Sana Institute of Higher Education, Sari, Iran
2- Associate Professor, Biology Department, Sana Institute of Higher Education, Sari, Iran
3- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran
4*- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran
Corresponding Author; Email: h.ghorbani@areeo.ac.ir.

(Received: 28 June 2023; Accepted: 30 July 2023)

Abstract

This research was conducted in order to investigate the effect of iron nanoparticle (INp) and Putrescine (Pu) on some Camelina traits as a factorial design in a randomized complete block design with three replications at Baye-Kola Agricultural Research Station (BARS) in 2021. The treatments included INp (0, 20, 40 and 60 ppm) and putrescine (0, 0.5, 1 and 1.5 mM). Variance analysis showed that the factors were significant on the amount of photosynthetic pigments and morphological traits. The results of the comparison of the simple effect of the treatments showed that the highest amount of chlorophyll a and carotenoid was in the vegetative stage and carotenoid in the reproductive stage at 60 ppm of INp and the highest amount of chlorophyll a at 1 mM Pu and the highest am ount of carotenoid at 1.5 mM Pu. The highest amounts of chlorophyll b and total pigments were observed in the vegetative stage in the treatment combination of 40 ppm INp with 1.5 mM Pu and in the reproductive stage in the treatment combination of 60 ppm INp with 1 mM Pu. The highest amount of yield, number of seeds per capsule and also, the high value of 1000 seed weight and plant height were observed in the treatment combination of 40 ppm INp with 1 mM Pu. In general, the interaction effect of 60 ppm of INp and different concentration of Pu had the best results, and the spraying of these stimulants can improve the yield of the Camelina plant.

Keywords: Chlorophyll, Iron Nanoparticle, Oil Seed, Putrescine, Yield.