Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 15, No 48, Winter 2024 p: 178-188

"Research Paper"

Investigating the Effect of Iron Nanoparticle and Putrescine Stimulants on some Functional and Physiological Traits of Camelina (*Camelina Sativa*)

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

1- MSc. Graduate, Horticultural Science-Medicinal Plants, 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 (Corresponding author: p.majidian@areeo.ac.ir)
4- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran
Received: 12 February, 2023 Accepted: 10 October, 2023

Extended Abstract

Introduction and Objective: Stimulants are compounds that initiate signals for cells to increase or decrease the production of secondary metabolites and plant defense response and stimulants such as Putrescine play a role in regulating various plant physiological processes. The use of nano-fertilizers has led to an increase in the efficiency of the use of nutrients, the correct management of fertilizer consumption, and a reduction in the frequency of fertilizer application. This research was conducted in order to investigate the effect of iron nanoparticle and putrescine as plant growth stimulants on the yield and yield components of the oil-medicinal plant Camelina.

Material and methods: This research was conducted as factorial design in a randomized complete block design with three replications in the research fields of Baye-Kala Agricultural Research Station (BARS) in Neka county in 2021. The studied factors included iron nanoparticles in four concentrations (zero, 20, 40, and 60 ppm) and polyamine putrescine in four concentrations (zero, 0.5, 1, and 1.5 mM).

Results: The results of variance analysis of different traits indicated that the simple effect of iron nanoparticles and putrescine was significant on all the studied traits at the 5% level. Also, the interaction of the two factors was significant on all the studied traits except peroxidase in the reproductive stage and this interaction was nonsignificant on all physiological traits in vegetative stage. According to the results, the highest amount of flavonoid (21.871 and 21.389, respectively), soluble sugar (116.643 and 105.453, respectively), catalase (1.301 and 1.394, respectively) and peroxidase (5.056 and 4.687, respectively) were observed in the vegetative stage in the application of 40 ppm iron nanoparticles and 1.5 mM putrescine. The results indicated that the highest amount of flavonoid (40.72), soluble sugar (139.27) and plant height (115.75) were observed in the treatment combination of 60 ppm iron and 1 mM putrescine, the highest percentage of oil (41.76) and protein (27.77) were observed in the treatment combination of 40 ppm iron and 1.5 mM putrescine and the highest amount of grain yield (210.27) and morphological components of yield were observed in the treatment combination of 40 ppm iron and 1 mM putrescine.

Conclusion: In general, the interaction effect of 40 ppm of iron nanoparticles and high concentration of putrescine had the best results, and the spraying of iron nanoparticles and putrescine through the more effective absorption of microelement nutrients and strengthening the plant's defense system can improve the growth, development and yield of the medicinal-oil Camelina plant.

Keywords: Camelina, Microelement, Nano-fertilizers, Polyamine, Stimulant

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-15]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.178]

OPEN ACCESS
CC BY NC

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

"مقاله پژوهشی"

بررسی اثر محرک‌های نانوذره آهن و پوترسین بر برخی صفات عملکردی و فیزیولوژیکی در گیاه کاملینا (*Camelina Sativa*)

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

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، باغبانی-گیاهان دارویی، 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، (نویسنده مسوول: p.majidian@areeo.ac.ir)
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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۱۸
صفحه: ۱۷۸ تا ۱۸۸

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: محرک‌ها، ترکیباتی هستند که آغاز کننده پیام‌هایی برای سلول‌ها در جهت افزایش یا کاهش تولید متابولیت‌های ثانویه و پاسخ دفاعی گیاه بوده و محرک‌هایی مانند پوترسین در تنظیم فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی گیاه نقش دارند. استفاده از نانو کودها منجر به افزایش کارایی استفاده از عناصر غذایی، مدیریت صحیح مصرف کود و کاهش تعداد دفعات کاربرد کود می‌شود. این پژوهش به‌منظور بررسی تاثیر نانوذره آهن و پوترسین به‌عنوان محرک‌های رشد گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه روغنی-دارویی کاملینا انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزارع تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات کشاورزی بابع کلا در شهرستان نکا در سال ۱۴۰۰ انجام گرفت. فاکتورهای مورد مطالعه 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.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس صفات مختلف نشان داد اثر ساده نانوذره آهن و پوترسین بر تمام صفات مورد مطالعه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل نانو ذره آهن و پوترسین بر تمامی صفات مورد مطالعه در مرحله زایشی به جز پراکسیداز در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده و این برهمکنش بر تمام صفات فیزیولوژیکی در مرحله رشد رویشی معنی‌داری نبود. بر اساس نتایج، مشاهده شد که با استفاده از۴۰ ppm نانوذره آهن و ۱/۵ میلی‌مولار پوتریسین در مرحله رویشی میزان فلاونوئید (به ترتیب ۲۱/۸۷۱ و ۲۱/۳۸۹)، قند محلول (به ترتیب ۱۱۶/۶۴۳ و ۱۰۵/۴۵۳)، کاتالاز (به ترتیب ۱/۳۰۱ و ۱/۳۹۴) و پراکسیداز (به ترتیب ۵/۰۵۶ و ۴/۶۸۷) بیشترین مقدار بود. بیشترین میزان فلاونوئید (۴۰/۷۲)، قند محلول (۱۳۹/۲۷) و ارتفاع بوته (۱۱۵/۷۵) در ترکیب تیماری ۶۰ ppm آهن و ۱ میلی‌مولار پوترسین، بیشترین درصد روغن (۴۱/۷۶) و پروتئین (۲۷/۷۷) در ترکیب تیماری ۴۰ ppm آهن و ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین و بیشترین میزان عملکرد دانه (۲۱۰/۲۷) و اجزای مورفولوژیکی عملکرد در ترکیب تیماری ۴۰ ppm آهن و ۱ میلی‌مولار پوترسین مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: به طور کلی اثر متقابل ۴۰ ppm نانوذره آهن و غلظت بالای پوترسین بهترین نتایج را داشته و محلول پاشی نانوذره آهن و پوترسین از طریق جذب موثرتر عنصر غذایی کم‌مصرف و تقویت سیستم دفاعی گیاه می‌تواند موجب بهبود رشد، نمو و عملکرد محصول گیاه دارویی-روغنی کاملینا شود.

واژه‌های کلیدی: پلی‌آمین، عنصر کم‌مصرف، نانو کود، کاملینا، محرک رشد

مقدمه

دانه‌های روغنی در بین محصولات زراعی دارای اهمیت خاصی بوده و پس از غلات دومین ذخیره غذایی جهان را تشکیل می‌دهند. این محصولات دارای ذخایر غنی از اسیدهای چرب هستند(Jones *et al*., 2021). گیاه دارویی-روغنی کاملینا (*Camelina sativa*) یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی خانواده برسیکاسه می‌باشد که با نام های کتان کاذب و کتان وحشی شناخته شده و تاریخچه کشت آن به ۴۰۰۰ سال پیش بر می‌گردد(Akk and Ilumäe, 2005) میزان روغن موجود در بذرهای کاملینا ۳۰-۴۰ درصد بوده و ۹۰ درصد آن را اسیدهای چرب اشباع نشده شامل آلفا اسیدلینولنیک (۳۰-۴۰ درصد)، اسید لینولئیک (۱۵-۲۵ درصد) و حدود ۱۵ درصد اسید اولئیک و سایر اسیدهای چرب تشکیل می‌دهد (Waraich *et al*., 2013). 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 به‌عنوان یک منبع ارتقا دهنده سلامتی از نظر تغذیه‌ای مورد توجه قرار داده است (Ibrahim and El Habbasha, 2015). متابولیت‌های ثانویه، مواد آلی شیمیایی پیچیده‌ای هستند که گیاهان در طول حیات خود تولید می‌نمایند. متابولیت‌های ثانویه دارای عملکردهای اکولوژیکی مهم در گیاهان هستند. این دسته از ترکیبات، در حفاظت گیاهان مقابل گیاهخواران و عوامل بیماری‌زای میکروبی، به‌عنوان جذب گرده افشان‌ها و جانوران منتشر کننده بذر، رقابت گیاه با گیاه و همزیستی گیاه با میکروب نقش دارند (Wink, 2010). متابولیت‌های ثانوی به‌عنوان دارو، علف کش‌های زیستی، عوامل طعم دهنده، رنگ‌های طبیعی، سم‌ها، مواد توهم‌زا (مانند کوکائین، هروئین، مورفین) و عطرها، آن‌ها را برای استفاده در زیست‌فناوری مورد توجه ساخته است (Mazid *et al*., 2011). با توجه به اینکه بخش اعظم بازار گیاهان دارویی دنیا، به تولید و عرضه متابولیت‌های ثانویه مشتق از گیاهان مربوط می‌شود، لذا این متابولیت‌های گیاهی از ارزش اقتصادی و همچنین ارزش افزوده بسیار بالایی برخوردار بوده و سنتز شیمیایی آن‌ها معمولاً پیچیده و پرهزینه می‌باشد (Bourgaud *et al*., 2001). بعلاوه، با توجه به آنکه در طبیعت سرعت تولیدمتابولیت‌های ثانویه آهسته بوده و مدت زمان طولانی برای تولید لازم است، تولید انبوه و سریع این مواد پیچیده در مقیاس زیاد از طریق روش‌های شیمیایی عمدتاً مشکل و یا غیرممکن می‌باشد و از سویی محدودیت‌های مختلف، مانع تامین این مواد از طبیعت است. استفاده از راهکارهای فناوری زیستی از جمله استفاده از محرک‌ها (الیسیتورها) راه حل مناسبی برای تولید سریع و انبوه متابولیت‌های ثانویه می‌باشد(Mulabagal and Tsay, 2004).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-15]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.178]

در خاک‌های ایران به‌دلیل داشتن pH بالا، آهک فراوان و مصرف کود فسفاته بیش از نیاز در گذشته، جذب عناصر کم‌مصرف نظیر آهن توسط ریشه کمتر از نیاز گیاه می‌باشد که این کمبود سبب اختلال در رشد و نمو گیاه می‌شود (Barghi et al., 2014). پوشاندن و سیمانی کردن کودها با ذرات نانو و کوچکتر از نانو، باعث ایجاد قابلیت تنظیم رهاسازی عناصر غذایی از کپسول کودی می‌شود که این موضوع باعث می‌شود تا عناصر غذایی را به صورت منظم رهاسازی نموده و از تثبیت کلی آن جلوگیری نماید (Vanacker et al., 1995). آزمایش‌هایی که روی روش‌های مصرف آهن در گندم در خاک آهکی انجام گرفت، نشان داد که محلول‌پاشی آهن موجب ایجاد بالاترین غلظت و جذب آهن در اندام هوایی می‌شود (Du et al., 2009). بر اساس یافته‌های پژوهشگران محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی نانو کلات آهن باعث جذب موثرتر عنصرهای غذایی در برگ‌ها و انتقال به سایر اندام‌های گیاه می‌شود(Srivastava et al., 2017). در بین عناصر ریزمغذی، آهن نقش کلیدی در تشکیل کلروفیل و فتوسنتز داشته و از اهمیت زیادی در سیستم آنزیمی و تنفس گیاهان برخوردار می‌باشد. بنابراین کاربرد آن اثر مثبت بر تولید ماده خشک گیاه خواهد داشت. در مقابل از مهمترین اثرات کمبود آهن، کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی است که نتیجه آن افزایش نسبی کارتنوئیدها در مقایسه با کلروفیل بوده که در نهایت سبزینگی برگ‌ها و توان فتوسنتزی آنها را کاهش می‌دهد (Briat et al., 2007). بر این اساس استفاده از نانو کود کلات آهن می‌تواند به‌عنوان منبعی غنی و قابل اعتماد از آهن دو ظرفیتی برای گیاهان محسوب شود (Sozer and Kokini, 2009).

در گیاهان عالی، پلی‌آمین‌ها به‌طور عمده به‌شکل آزاد وجود دارند. پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین اصلی‌ترین پلی‌آمین‌ها در گیاهان هستند و آنها در تنظیم فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی نقش دارند (Mustafavi *et al.*, 2018). این ترکیبات در رشد گیاهان، جنین‌زایی، پیری، بلوغ، رشد میوه و همچنین در پاسخ به تنش‌های زنده و غیرزنده نقش دارند (Reis et al., 2016)اهمیت پلی‌آمین‌ها در رویارویی با تنش‌ها می‌تواند به‌دلیل نقش آنها در تنظیم اسمزی، حفظ و پایداری غشاء، کاهش نشت یونی و پاکسازی کننده رادیکال‌های آزاد و گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر از محیط سلول‌ها باشد (Liu et al., 2015) مکانیسم فیزیولوژی پلی‌آمین‌ها در شرایط تنش به‌درستی شناخته نشده اما به‌دلیل خاصیت پلی‌کاتیونی می‌توانند با اتصال به ماکرومولکول‌های آنیونی شامل فسفولیپیدها، اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها موجب پایداری غشا و ساختارهای ماکرو مولکولی سلول‌ها شده (Alcázar et al., 2006) و به عنوان یک برداشت‌کننده موثر گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) عمل کنند (Kandil et al., 2011). پلی‌آمین‌ها در محافظت از غشای سلولی و کاهش تنش اکسایشی نقش دارند و کاربرد خارجی پلی‌آمین‌ها منجر به افزایش ثبات و یکپارچگی غشای سلولی در گیاهان تحت تنش می‌شود (Gill and Tuteja, 2010). انصاری و همکاران (Ansari *et al.*, 2021). در طی تحقیقات خود در خصوص پوترسین دریافتند که دلیل احتمالی افزایش عملکرد، اثر پوترسین در کاهش تخریب غشاء سلولی و اندامک‌های درون سلولی و تولید اسمولیت‌های سازگار توسط گیاه منجر به افزایش پتانسیل اسمزی گیاه شده و به افزایش قدرت جذب آب در شرایط نامساعد محیطی کمک می‌کند. با توجه به اهمیت استفاده از فناوری‌های نوین از جمله نانوتکنولوژی در کشاورزی پایدار جهت افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات کشاورزی و تاثیر آنها در فراهم کردن عناصر غذایی کم مصرف مانند آهن در ساختار گیاه و نیز به‌علت نقش پوترسین در تعدیل شرایط محیطی رشد و از طرفی عدم انجام بررسی‌های لازم در خصوص بر هم‌کنش توام این عوامل بر صفات گیاهان روغنی- دارویی کاملینا، موجب شد تا در این تحقیق، اثر محلول‌پاشی نانو ذره آهن و پلی‌آمین پوترسین بر واکنش‌های فیزیولوژیک گیاه کاملینا ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزارع تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات کشاورزی بابع‌کلا (مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران) واقع در شهرستان نکا در سال زراعی ۱۴۰۰ با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمار آزمایشی اول پلی‌آمین پوترسین در ۴ سطح (غلظت‌های صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) و تیمار آزمایشی دوم نانوذره آهن در ۴ سطح (غلظت‌های صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ ppm) بود. بعد از آماده‌سازی زمین، عملیات کاشت انجام شد. هر کرت آزمایشی به مساحت ۶ متر مربع با فاصله ردیف کاشت ۳۰ سانتی‌متری تهیه و اعمال تیمارهای مورد مطالعه به صورت محلول‌پاشی و در دو مرحله فاز رشد رویشی و شروع فاز رشد زایشی گیاه انجام گرفت. ۲ هفته بعد از اعمال تیمارها، نمونه‌گیری جهت بررسی خصوصیات فیزیولوژیک گیاه شامل محتوای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، پراکسیداز، قند محلول، سنجش فلاونوئید انجام و بعد از رسیدگی گیاه، میزان درصد روغن و پروتئین دانه اندازه‌گیری شد. در زمان رسیدگی به‌منظور محاسبه عملکرد دانه و زیست توده، بعد از حذف اثر حاشیه‌ای، برداشت در سطح یک متر مربع صورت گرفت و عملکرد نهایی دانه و زیست توده محاسبه گردید. همچنین به منظور اندازه‌گیری سایر صفت‌های زراعی از هر واحد آزمایشی تعداد ۵ بوته به طور تصادفی انتخاب و صفات ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول مورد بررسی قرار گرفت.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز

برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز از روش لوک (Michal and Bergmeyer, 1974) استفاده شد. ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیم با ۹۸۰ میکرولیتر از بافرفسفات حاوی آب‌اکسیژنه دو میلی‌مولار مخلوط شدند و تغییرات جذب آنها در طول موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر خوانده شد.

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز با استفاده از روش تانگ و همکاران (Tang and Newton, 2005) انجام شد. کمپلکس واکنشی (۲ میلی‌لیتر) شامل ۱ میلی‌لیتر بافرفسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (PH=7)، ۲۵۰ میکرولیتر از EDTA ۰/۱

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-15]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.178]

میلی‌مولار، ۱میلی‌لیتر گایاکول ۵ میلی‌مولار، ۱ میلی‌لیتر پراکسید ۱۵ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر از محلول آنزیمی استخراج شد. واکنش با اضافه کردن محلول آنزیمی شروع شده و افزایش جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر به‌مدت یک دقیقه ثبت شد. فعالیت آنزیمی بر اساس میزان تتراگایاکول تشکیل شده و با استفاده از ضریب خاموشی $1/33\ mmol.cm^{-1}$ به‌دست آمد.

اندازه‌گیری میزان قند محلول

جهت سنجش میزان قند محلول، ۰/۱ گرم بافت تازه را با ۵ میلی‌مولار اتانول ٪۸۰ گرم در هاون چینی خرد و ۱۵ دقیقه در بن‌ماری قرار داده شد. بعد از آن، عصاره الکلی حاوی قند محلول را جدا و قسمت پایینی همراه با ۵ میلی‌مولار اتانول ٪۸۰ دوباره برای تکرار عصاره‌گیری به حمام آب جوش منتقل گردید. عمل استخراج با اتانول ۴ بار تکرار شد. بعد از استخراج به‌منظور تبخیر الکل، عصاره بدست آمده در دمای ۷۰ درجه قرار گرفت. برای حذف کلروفیل عصاره حاصل به نسبت ۱به ۵ با کلروفرم مخلوط شد و بعد از ورتکس به‌مدت ۵ دقیقه به حال سکون رها شد. فاز بالایی عصاره به‌دست آمده به‌مدت ۱۰ دقیقه در سرعت ۱۰۰۰ rpm سانتریفوژ شد. قسمت شفاف بالایی جدا و برای اندازه‌گیری قند محلول استفاده گردید. اندازه‌گیری قند با اندازه‌گیری به‌وسیله آنترون بر طبق روش مک‌کردی و همکاران (McCready et al., 1950) انجام پذیرفت. ۳ میلی‌لیتر محلول آنترون به ۲۰۰ میکرولیتر عصاره اضافه گردید و به‌مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده و پس از سرد شدن نمونه‌ها میزان جذب آنها در طول موج ۶۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. جهت تهیه ۱۰۰ میلی‌لیتر معرف آنترون، ابتدا ۷۶ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد با ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق گردید. بعد از سرد شدن ۱۵۰ میلی‌گرم آنترون در آن حل و در ظرف کهربایی نگهداری شد.

سنجش میزان فلاوونوئیدها

مقدار فلاونوئید کل با روش کالری‌متری آلومینیوم کلراید اندازه‌گیری شد (Du et al., 2009). ابتدا به ۱۵۰ میکرولیتر عصاره استخراج شده به‌ترتیب ۱۷۰۰ میکرولیتر اتانول ۳۰ درصد، ۱۵۰ میکرولیتر نیتریت سدیم ۰/۵ میلی‌مولار و ۱۵۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۰/۳ میلی‌مولار اضافه و بلافاصله به‌هم زده شد. بعد از ۵ دقیقه، ۱۰۰ میکرولیتر محلول هیدروکسید سدیم یک میلی‌مولار اضافه شد. پس از ۱۰ الی ۱۵ دقیقه، میزان جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۰۶ نانومتر ثبت شد. سپس مقدار فلاونوئید کل از روی منحنی استاندارد کاتچین بر حسب میلی‌گرم کاتچین در گرم بافت تازه بیان شد. استخراج روغن توسط حلال هگزان با استفاده از دستگاه سوکسله ((AOAC, 1970 و سنجش میزان پروتئین با روش بردفورد (Bradford, 1976) انجام شد. پس از بررسی و اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.0 و مقایسه میانگین‌ها به‌روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد اثر ساده پوترسین بر تمام صفات مورد مطالعه در سطح احتمال ۵ درصد و نیز اثر ساده نانو ذره آهن بر صفات فیزیولوژیکی فلانوئید، قند محلول، کاتالاز، پراکسیداز در هر دو مرحله رشد رویشی و زایشی و صفات مورفولوژیکی تعداد دانه در کپسول، عملکرد در واحد سطح، درصد روغن و پروتئین در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج حاصل از بررسی اثرات متقابل نشان داد. اثر متقابل نانو ذره آهن و پوتریسین بر تمامی صفات مورد مطالعه در مرحله رشد رویشی معنی‌داری نبوده ولی اثر برهمکنش نانو ذره آهن و پوترسین بر تمامی صفات مورد مطالعه در مرحله زایشی به‌جز پراکسیداز در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). غلظت فلاونوئید در مرحله رشد رویشی با کاربرد نانو ذره آهن در سطح صفر، ۲۰ و ۶۰ ppm به‌ترتیب با غلظت ۱۶/۶۹۵ و ۱۶/۳۵۱ و ۱۶/۸۳۱ میلی‌گرم بر گرم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان نداده و بیشترین میزان فلاونوئید در کاربرد ۴۰ ppm نانو آهن (۲۱/۸۷۱ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سطوح دیگر نانوذره آهن داشت. با کاربرد پوترسین در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار، بیشترین میزان غلظت فلاونوئید (۲۱/۳۸۹ میلی‌گرم بر گرم) در مرحله رویشی مشاهده شد که در مقایسه با سطح صفر پوترسین حدود ۳۹ درصد افزایش در غلظت فلاونوئید را تولید کرد و کمترین میزان فلاونوئید نیز با کابرد پوترسین در تیمار سطح ۰/۵ میلی‌مولار با مقدار ۱۵/۵۰۹ میلی‌گرم بر گرم بود (جدول ۲). بررسی اثر متقابل تیمارهای نانو ذره آهن و پوترسین بر غلظت فلاونوئید در مرحله زایشی نشان داد که بیشترین غلظت فلاونوئید را ترکیب تیماری ۶۰ ppm نانوذره آهن و ۱ میلی‌مولار پوترسین به میزان ۴۰/۷۲۶ میلی‌گرم بر گرم به‌خود اختصاص داد که با تمام ترکیبات تیماری به‌جز ترکیب تیماری ۶۰ ppm نانوذره آهن و ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین اختلاف معنی‌داری داشت. همچنین ترکیب تیماری صفر ppm نانوذره آهن و ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین با میزان ۲۱/۵۴۳ میلی‌گرم بر گرم، کمترین غلظت فلاونوئید را نشان داد (جدول ۳). نتایج آزمایش برومند سویری و همکاران (Bromand Sivieri et al., 2020) نشان داد که مصرف همزمان محلول‌پاشی نانواکسید آهن و کودهای زیستی منجر به افزایش میزان فلاونوئید در سیاهدانه شد. با افزایش غلظت نانو اکسید آهن از سطح شاهد به سه کیلوگرم نانواکسید آهن در هزار لیتر آب بر میزان فلاونوئید افزوده شد. همچنین با بررسی تاثیر نانواکسید آهن بر نعناع فلفلی بیان شد که با افزایش غلظت نانواکسید آهن، میزان فلاونوئید برگ افزایش می‌یابد (Mohammadi *et al.*, 2016).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-15]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.178]

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر محرک‌های نانوذره آهن و پوترسین بر صفات مختلف گیاه کاملینا در مرحله رشد رویشی و زایشی

Table 1. The analysis of variance of the effect of iron nanoparticle and putrescine on physiological traits in camelina at vegetative and productive stage

منبع Source	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean square												
		مرحله رشد رویشی Vegetative growth stage							مرحله رشد زایشی Reproductive growth stage					
		فلاونوئید (میلیگرم بر گرم) Flavonoid (mg/g)	قند محلول (میلیگرم بر گرم) Soluable sugare (mg/g)	کاتالاز (میکرومول هیدروکسیدامسیژن/دق یقه) Catalase (µmole H_2O_2/min)	پراکسیداز (میکرومول هیدروکسیدامسیژن/د قیقه) Peroxidase (µmole H_2O_2/min)	فلاونوئید (میلیگرم بر گرم) Flavonoid (mg/g)	قند محلول (میلیگرم بر گرم) Souable sugar (mg/g)	کاتالاز (میکرومول هیدروکسیدامسیژن/د قیقه) Catalase (µmole H_2O_2/min)	پراکسیداز (میکرومول هیدروکسیدامسیژن/د قیقه) Peroxidase (µmole H_2O_2/min)	کپسول در بوته Number of capsule per plant	دانه در کپسول Number of seed per capsule	عملکردانه در واحد سطح Seed yield per unit	درصد روغن Oil percentage	درصد پروتئین Protein percentage	ارتفاع بوته Plant height
نانوذره آهن Fe nanoparticle	3	83.033*	232.431*	0.233*	3.350*	221.037*	156.391*	0.492*	9.296*	758.354ns	17.131*	4230.895	4.528*	3.026*	21.292ns
پوترسین Putrescine	3	73.406*	437.167*	0.387*	0.747*	213.656*	112.546*	0.506*	3.156*	6484.465*	11.076*	3604/133	6.810*	0.970*	249.011*
نانوذره آهن × پوترسین Fe nanoparticle × Putrescine	9	2.274ns	116.392ns	0.020ns	0.055ns	21.972*	115.433*	0.077*	0.256ns	2144.576*	8.317*	3636.238	9.510*	4.708*	111.897*
تکرار Replication	2	9.782ns	122.296ns	0.036ns	0.094ns	9.292ns	133.016ns	0.014ns	0.095ns	914.770ns	0.187ns	950.742ns	10.537*	14.184*	0.472ns
خطا Error	30	4.867	77.186	0.036	0.175	7.538	51.225	0.034	0.498	928.859	2.231	1039.640	0.447	0.247	35.739
ضریب تغییرات Variation coefficient		12.29	16.08	16.51	17.65	14.61	16.14	14.41	18.15	20.50	11.43	19.42	11.70	18.02	15.60

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

ns, *, ** show non significant, significanc at the level of 5 and 1%, respectively

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-15]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.178]

جعفرپور و همکاران (Jafarpour et al., 2014) گزارش نمودند که گلچه‌های تیمار شده با ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین میزان فلاونوئید کل بیشتری داشته و از لحاظ آماری با غلظت ۱ و ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین اختلاف معنی‌داری را نشان نداده‌اند. این غلظت از پوترسین با جلوگیری از تخریب کلروفیل و حفظ ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، پیری گلچه‌های کلم بروکلی را به تأخیر انداخت. فلاونوئیدها دارای خاصیت خنثی‌کنندگی رادیکال‌های آزاد می‌باشند (Vanacker et al., 1995). ورما و میشرا (Verma and Mishra, 2005) بیان داشتند که پوترسین قادر است با کم کردن میزان پراکسید هیدروژن نقش آنتی‌اکسیدانی در گیاه داشته باشد. محمدرضاخانی و همکاران (Mohammadrezakhani et al., 2018) با تیمار میوه‌های مرکبات با غلظت‌های مختلف پوترسین و پرولین، افزایش معنی‌داری در میزان ترکیبات فنلی، فلاونوییدها و قندهای محلول نسبت به نمونه‌های شاهد گزارش نمودند و بالاترین میزان این شاخص، در تیمار ۲۰ میلی‌مولار پرولین و ۱۰ میلی‌مولار پوترسین مشاهده گردید.

نتایج مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای نانوذره آهن و پوترسین بر صفات فیزیولوژیکی در گیاه کاملینا در مرحله رشد رویشی نشان داد که بیشترین میزان غلظت قند محلول در کابرد نانو ذره آهن در تیمار ۴۰ ppm به میزان ۱۱۶/۶۴۳ میلی‌گرم بر گرم بوده که اختلاف معنی‌داری با دیگر سطوح تیماری داشت. کمترین غلظت قند محلول نیز در تیمار ۲۰ ppm کاربرد نانو ذره آهن به‌میزان ۸۴/۸۲۱ میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد که در مقایسه با تیمار ۴۰ ppm حدود ۳۲ درصد کاهش داشته و اختلاف معنی‌داری با سطح صفر نانوذره آهن نداشت (جدول ۲). با کاربرد پوترسین در غلظت قند محلول در تیمارهای سطح صفر میلی‌مولار، ۰/۵ میلی‌مولار و ۱ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده و بیشترین میزان قند محلول (۱۰۵/۴۵۳ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با دیگر سطوح تیمار پوترسین داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها نشان داد که اثر متقابل نانوذره آهن و پوترسین در مرحله رشد زایشی بیشترین غلظت قند محلول به‌ترتیب در ترکیب تیمار ۶۰ ppm نانوذره آهن با ۱ میلی‌مولار پوترسین، ترکیب ۶۰ ppm نانوذره آهن با ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین و ترکیب ۴۰ ppm نانوذره آهن با ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین، به ترتیب به‌میزان ۱۳۹/۲۷۰، ۱۳۶/۹۷۰ و ۱۳۵/۲۷۰ میلی‌گرم بر گرم اختصاص دارد و این تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۳). در کلروپلاست دارای کمبود آهن، سرعت جذب CO2 فتوسنتزی به‌دلیل کاهش در ظرفیت فتو شیمیایی کاهش می‌یابد. کاهش کلروفیل و صدمه به انتقال الکترون فتوسنتزی موجب کاهش قندها و کاهش رشد می‌شود (Mazid, 2011). مصرف برگی عناصر ریز مغذی به دفعات متعدد، ضمن رفع کمبود آنها سبب افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه نیز می‌شوند (Willekens, 1997). نتایج تحقیقات متعدد حاکی از تأثیر مثبت کاربرد ریزمغذی‌ها در افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی و دارویی می‌باشد (Babhulkar et al., 2000). ایوانس (Evans, 1996) گزارش کرده است که در گیاه نعناع فلفلی با کاربرد کودهای شیمیایی، تعداد غدد ترشح کننده اسانس بیشتر می شود و به تبع آن، میزان اسانس در گیاه نیز افزایش می‌یابد.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای نانوذره آهن و پوترسین بر صفات فیزیولوژیکی در گیاه کاملینا در مرحله رشد رویشی نشان داد که بیشترین غلظت کاتالاز با کاربرد نانوذره آهن در تیمار ۴۰ ppm با ۱/۳۰۱ میلی‌گرم بر گرم بدست آمده و در مقایسه با تیمار سطح صفر بدون کاربرد نانو آهن (۰/۹۹۶ میلی‌گرم بر گرم) ۳۱ درصد روند افزایشی داشته اما اختلاف معنی‌داری با میزان کاتالاز در سطح تیماری ۶۰ ppm (۱/۲۳۳ میلی‌گرم بر گرم) نداشت (جدول ۲). افزایش غلظت پوترسین سبب افزایش غلظت کاتالاز تا سطح تیماری ۱/۵ میلی‌مولار با میزان ۱/۳۹۴ میلی‌گرم بر گرم شده که اختلاف معنی‌داری با دیگر سطوح تیماری داشته و همچنین اختلاف معنی‌داری میان غلظت کاتالاز در تیمار سطوح دیگر مشاهده نشد (جدول ۲). بالاترین غلظت کاتالاز در مرحله رشد زایشی در ترکیبات تیماری ۶۰ ppm نانوذره آهن با ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین و ۴۰ ppm نانوذره آهن با ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین به ترتیب با ۱/۹۲۰ و ۱/۸۳۶ میلی‌گرم بر گرم بوده که اختلاف آماری معنی‌داری با همدیگر نداشتند (جدول ۲). آنزیم کاتالاز و سایر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از سلول در برابر اثرات H_2O_2 محافظت می‌کنند و نقش مهمی در افزایش مقاومت به تنش اکسیداتیو بر عهده دارند (Mittler, 2002). کاربرد نانوذرات آهن با توجه به اینکه گیاه را از کمبود تغذیه ناشی از تنش محافظت می‌کند، می‌تواند به سیستم دفاعی گیاه در جهت مقابله با تنش کمک کند. آهن به‌عنوان یک کاتالیزور در واکنش‌ها عمل نموده و موجب تسریع واکنش‌ها می‌شود. همچنین مطالعات به نقش آهن در فعالیت برخی آنزیم‌ها مانند کاتالاز، پراکسیداز و سیتوکروم اکسیداز اشاره کرده‌اند (Ruiz et al., 2000). در بررسی اثر آهن در گیاهان دارای ارزش دارویی بر روی گیاه *Bacops monnieril* استفاده از آهن سبب افزایش فعالیت پراکسیداز در ریشه و کاهش فعالیت پراکسیداز در برگ‌ها شد (Sinha and Saxena, 2006). آزاد و همکاران (AZAD et al., 2018) با بررسی اثر تنش خشکی و نانوکلات آهن در گیاه بابونه بیان داشتند که هر دو عامل مورد مطالعه سبب افزایش بیان کاتالاز و پراکسیداز در گیاه شده که در نتیجه کنش‌های گیاه در مقابله با اثرات اکسیداتیوی تنش و اثرات محافظتی آنزیم‌ها می‌باشد. گرامی و همکاران (Akbarpour, 2019) گزارش نمودند که مقادیر آنزیم کاتالاز و پراکسیداز با افزایش سطوح پوترسین روند صعودی معنی‌داری را داشت. همچنین مقایسه میانگین اثر متقابل پوترسین و اسید سالیسیلیک نشان داد که در سطح ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک با افزایش سطوح پوترسین، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به نمونه شاهد روند افزایشی معنی‌داری را نشان داد. همچنین در سطح ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و در سطوح مختلف پوترسین مقدار آنزیم پراکسیداز نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت. امرایی تبار و همکاران (Amraee Tabar et al., 2016) در بادام و هلو

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-15]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.178]

گزارش کردند که به‌کارگیری پوترسین سبب افزایش مقدار غلظت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز گردیده است.

بررسی نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای نانوذره آهن و پوترسین بر صفات فیزیولوژیکی گیاه کاملینا در مرحله رشد رویشی نشان داد که بیشترین غلظت پراکسیداز با کابرد نانوذره آهن در تیمار سطح ۴۰ ppm به مقدار ۵/۰۵۶ میلی‌گرم بر گرم بوده و اختلاف معنی‌داری با دیگر سطوح تیماری داشت. همچنین کمترین میزان پراکسیداز در تیمار سطح صفر و نیز تیمار سطح ۲۰ ppm نانوذره آهن به ترتیب به مقادیر ۳/۹۴۵ و ۳/۹۳۷ میلی‌گرم بر گرم بوده که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۲). کاربرد پوترسین در سطح ۱/۵ میلی‌مولار سبب افزایش معنی‌دار غلظت پراکسیداز در مرحله رشد رویشی شده (۴/۶۸۷ میلی‌گرم در گرم) درحالیکه در تیمار سطح ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین کمترین مقدار غلظت پراکسیداز مشاهده شده و با سطح صفر و ۱ میلی‌مولار پوترسین اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای نانوذره آهن و پوترسین در مرحله رشد زایشی گیاه کاملینا نشان داد که بیشترین غلظت پراکسیداز در تیمار سطح۶۰ ppm نانوذره آهن به‌میزان ۴/۹۶۹ میلی‌گرم بر گرم به‌دست آمد که در مقایسه با سطح صفر نانوذره آهن به‌میزان حدود ۴۰ درصد افزایش معنی‌دار نشان داد. بیشترین غلظت پراکسیداز در مرحله رشد زایشی با کاربرد پوترسین در سطح ۱/۵ میلی مولار و به‌میزان ۴/۳۸۵ میلی‌گرم بر گرم بدست آمد. علاوه بر آن، کمترین مقدار پراکسیداز در مرحله رشد زایشی در تیمار سطح صفر پوترسین مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سطوح ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین داشت (جدول ۲). برومند سویری و همکاران (Bromand Sivieri et al., 2020) با بررسی اثر نانو اکسید آهن و کود زیستی بر سیاهدانه گزارش نمودند که اثر متقابل محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و کودهای زیستی، تاثیر معنی‌داری بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پلی‌فنول اکسیداز داشته و محلول‌پاشی میزان ۳ گرم نانو اکسید آهن در لیتر، در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بسیار موثر واقع شد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط عدم مصرف کود زیستی و غلظت سه کیلوگرم در هزار لیتر نانواکسید آهن و کمترین مقدار نیز از تلقیح گیاه با قارچ میکوریزا بدون محلول‌پاشی نانو اکسید آهن به دست آمد. ایشان افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در غلظت بالای نانواکسید آهن را به افزایش گونه‌های فعال اکسیژن در پاسخ به سمیت آهن در گیاه نسبت دادند و با توجه به نقش آهن در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بیان داشتند که کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز و پلی‌فنول اکسیداز در سطح شاهد به دلیل کمبود آهن در گیاه سیاهدانه می‌باشد. از این‌رو تعیین میزان مطلوب آن، از اهمیت بسزایی برخوردار است (Bromand Sivieri et al., 2020). در بررسی سیدشریفی و نریمانی (Seyed Sharifi and Narimani, 2021) گزارش شد که با افزایش غلظت پوترسین مورد استفاده، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بیشتر شده و کاربرد توام پوترسین با کودهای زیستی به کاهش پراکسید هیدروژن تولید شده منجر شد. فورنظیر و همکاران (Fornazier et al., 2002) گزارش کردند که مکانیسم دفاع سلولی پلی‌آمین ها در برابر تنش، از طریق فعال سازی بیان ژن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی موجب از بین رفتن رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود. کوهن و همکاران (Cohen *et al*., 1979) اظهار داشتند پوترسین به علت ویژگی آنتی‌اکسیدانی که دارد با ممانعت از تخریب ساختار غشای کلروپلاست، موجب افزایش محتوای کلروفیل می‌شود. همچنین حسن‌پور و رنجبر (Hassanpour and Ranjber, 2019) گزارش نمودند که کاربرد پوترسین با بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای نانوذره آهن و پوترسین بر صفات فیزیولوژیکی گیاه کاملینا در مراحل رشد رویشی و زایشی
Table 2. The mean comparison of the simple effect of iron nanoparticle and putrescine treatments on physiological traits in camelina at both vegetative and reproductive stages

تیمارها treatments	مرحله رشد رویشی Vegetative growth stage			مرحله رشد زایشی Reproductive growth stage	
	فلاونوئید (میلی‌گرم بر گرم) Flavonoid (mg/g)	قند محلول (میلی‌گرم بر گرم) Soluable sugar (mg/g)	کاتالاز (میکرومول هیدروکسیدامسیژن/دقیقه) Catalase (µmole H_2O_2/min)	پراکسیداز (میکرومول هیدروکسیدامسیژن/دقیقه) Peroxidase (µmole H_2O2/min)	پراکسیداز (میکرومول هیدروکسیدامسیژن/دقیقه) Peroxidase (µmole H_2O_2/min)
آهن Fe					
ppm 0	16.695^{b}	90.486^{bc}	0.996^{c}	3.945^{c}	2.860^{c}
ppm 20	16.351^{b}	84.821^{c}	1.078^{bc}	3.397^{c}	3.641^{b}
ppm 40	21.871^{a}	116.643^{a}	1.301^{a}	5.056^{a}	4.082^{b}
ppm 60	16.831^{b}	94.995^{b}	1.233^{ab}	4.421^{b}	4.969^{a}
پوترسین Putresince					
0 mM	17.510^{b}	93.319^{b}	1.019^{c}	4.270^{b}	3.247^{c}
0.5 mM	15.509^{c}	92.139^{b}	1.012^{c}	4.094^{b}	3.714^{bc}
1 mM	17.341^{bc}	96.034^{b}	1.182^{b}	4.308^{b}	4.206^{ab}
1.5 mM	21.389^{a}	105.453^{a}	1.394^{a}	4.687^{a}	4.385^{a}

حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.
The same letters show the significant difference

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-15]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.178]

اثر متقابل نانو ذره 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 ۳). زاهدی و علی‌پور (Zahedi and Alipour, 2018)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. 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(Malakoti and Tehrani, 1999). ترابیان و زاهدی (Torabian and Zahedi, 2013) بیان داشتند که تأثیر محلول‌پاشی سولفات آهن به شکل نانو ذرات بر ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی بیشتر از تأثیر محلول‌پاشی این کود به شکل معمول آن بود. در آزمایش جبین و احمد (Jafarpour *et al*., 2014) نیز با محلول‌پاشی عناصر پتاسیم، آهن و بور ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی و غلظت آهن در اندام هوایی آفتابگردان افزایش یافت. در آزمایش زاید و همکاران (Zayed *et al*., 2011) محلول‌پاشی عناصر آهن، روی و منگنز سبب افزایش ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی و محتوای کلروفیل در برنج گردید. در آزمایش پیوندی و همکاران (Reis et al., 2016)مصرف یک کیلوگرم در هکتار کلات آهن به شکل نانو در مقایسه با شکل معمول آن به نسبت بیشتری وزن خشک اندام هوایی، ریشه و برگ و طول ریشه گیاه ریحان را افزایش داد.

بررسی اثرات متقابل القاگرهای نانو ذره آهن و پوترسین بر تعداد دانه در کپسول نشان داد که بیشترین تعداد دانه در ترکیب تیماری ۴۰ ppm نانوذره آهن با ۱ میلی‌مولار پوترسین (۱۷ دانه در کپسول) وجود داشت (جدول ۳). نتایج آقازاده خلخالی و همکاران (Aghazadeh-Khalkhali, 2015) 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. 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 (Mohamadipoor, 2013) 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(Briat, 2015). همچنین محلول‌پاشی آهن اثر معنی‌داری بر تعداد بذر در کاپیتول و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ داشت(Diepenbrock, 2000). در میان اثرات متقابل محرک‌های نانو ذره آهن و پوترسین، ترکیب تیماری ۴۰ ppm نانوذره آهن و ۱ میلی مولار پوترسین با ۲۱۱/۰۰ کپسول در بوته، بیشترین تعداد را به خود اختصاص داده و کمترین تعداد مربوط به ترکیب تیماری ۴۰ ppm نانوذره آهن و ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین (۷۷/۰۰) بود (جدول ۳).

بیشترین درصد روغن در میان اثرات متقابل محرک‌ها در ترکیب تیماری ۴۰ ppm نانوذره آهن و ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین به میزان ۴۱/۷۶۰ میلی‌گرم در گرم مشاهده شد و کمترین مقدار درصد روغن در ترکیب‌های تیماری ۴۰ ppm نانوذره آهن و صفر میلی‌مولار پوترسین و ۴۰ ppm نانوذره آهن و ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین بود که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۳). پژوهشگران گزارش کردند که در کلزا که گیاهی حساس به کمبود آهن بوده و کاربرد آهن به فرم نانوذره حتی در غلظت‌های بالا اثر مثبتی بر عملکرد دانه و درصد روغن خواهد داشت، تأخیر در محلول‌پاشی (محلول‌پاشی در مراحل زایشی کلزا) غلظت آهن دانه را افزایش داد (Mohammadi, 2016). گزارش شده که با مصرف نانو کلات آهن، عملکرد روغن، درصد روغن و درصد پروتئین دانه آفتابگردان به طور معنی‌داری افزایش یافت. به علاوه، بیشترین عملکرد و درصد روغن دانه آفتابگردان تحت تأثیر تیمار محلول‌پاشی نانو کلات آهن در مرحله ساقه‌دهی ایجاد گردید (Mousavi, 2007).

با بررسی درصد پروتئین در میان ترکیبات تیماری مورد مطالعه مشاهده شد که ترکیب تیماری ۴۰ ppm نانوذره آهن و ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین با دارا بودن میزان ۲۷/۷۷۵ میلی‌گرم در گرم دارای بیشترین درصد پروتئین بوده و همچنین کمترین میزان درصد پروتئین در ترکیبات تیماری ۲۰ ppm نانوذره آهن و ۱ میلی‌مولار پوترسین و ۶۰ ppm نانوذره آهن و ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین بود که اختلاف معنی‌داری با همدیگر نداشتند (جدول ۳). در یک بررسی بر روی بادام زمینی، ملکی و همکاران (Marschner, 1995) بیان داشتند که بین تیمارهای مختلف (۲، ۳ و ۴ در هزار از منبع کلات آهن) تفاوت معنی‌داری از لحاظ درصد پروتئین دانه وجود دارد. همچنین در حضور کود آهن و نانو کود آهن، تفاوت معنی‌داری در میانگین محتوای پروتئین برگ‌های ریحان مشاهده شد (Reis, 2016)افزایش غلظت آهن در گیاهان می‌تواند موجب ایجاد سمیت آهن و تولید انواع اکسیژن فعال شده که تنش اکسیداتیو را در گیاه القاء می‌کند. در شرایط طبیعی پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های آزاد اکسیژن در بخش‌های مختلف یاخته‌های گیاهان تولید می‌شود (Bhattacharjee, 2005)

و در این حالت، سوپر اکسید دیسموتاز رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برد و کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز به سادگی H_2O_2 را تجزیه می‌کند، اما در شرایط سمیت آهن، عدم خنثی شدن رادیکال‌های اکسیژن و وجود پراکسید هیدروژن در گیاه

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-15]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.178]

منجر به ناپایداری انواع ماکرومولکول‌های زیستی از جمله لیپیدها و پروتئین می‌شود. نتیجه تنش اکسیداتیو ناشی از سمیت آهن در گیاهان کاهش میزان پروتئین‌ها، قندهای محلول، کلروفیل و صدمات برگشت ناپذیر به غشای زیستی و اسیدهای نوکلئیک است که توسط بسیاری از محققان گزارش شده است (Blokhina, 2003).

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 به‌میزان ۲۱۰/۲۷۰ گرم 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 به‌ترتیب با ۲۰۰/۲۷۷ و ۱۹۱/۲۸۲ گرم وجود نداشت. کمترین میزان عملکرد نیز در ترکیبات تیماری سطح صفر نانوذره آهن و پوترسین و سطح صفر نانوذره آن با ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین (۹۶/۵۱۹ گرم) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۳). آهن یکی از عناصر ضروری، کم مصرف و غیرمتحرک می‌باشد. این عنصر در تقسیم‌بندی عناصر لازم برای رشد و نمو گیاهان بر اساس عملکرد بیوشیمیایی آن‌ها جزء گروهی قرار می‌گیرد که نقش‌های مهمی در واکنش‌های جابجایی الکترون و تبادل انرژی دارند. با توجه به اینکه این عنصر در واکنش‌های اکسایش و کاهش دخالت دارد (Tang, 2005)، استفاده از نانو کود کلات آهن و موجب افزایش رشد اندام هوایی و متعاقب آن افزایش عملکرد وزن خشک اندام هوایی شده است. آمالیوتیس و همکاران (Almaliotis, 2000) گزارش کردند که یک رابطه خطی معنی‌دار بین غلظت آهن و عملکرد گیاه وجود دارد. به‌طوری‌که 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. همچنین محلول‌پاشی گیاه علف لیمو با ترکیبات آهن دار سبب افزایش عملکرد این گیاه گردید (Sinha, 2006). 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 (Akk, 2005). همچنین اظهار شده که محلول‌پاشی برگی آهن باعث افزایش ۳۸ تا ۴۲ درصدی عملکرد بادام زمینی در خاک‌های آهکی شد (Budin, 1995).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای نانوذره آهن و پوترسین بر صفات گیاه کاملینا در مرحله رشد زایشی

Table 3. The mean comparison of the interaction effect of iron nano particle and putrescine on camelina traits at reproductive stage

تیمارها Treatments	فلاونوئید (میلی‌گرم بر گرم) Flavonoid (mg/g)	قند محلول (میلی‌گرم بر گرم) Soluable sugar (mg/g)	کاتالاز (میکرومول هیدروکسیدامسیژن/دقی قه) Catalase (µmol H2O2/min)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	دانه در کپسول Seed per capsule	کپسول در بوته Capsule per plant	درصد روغن Oil percentage	درصد پروتئین Protein percentage	عملکرد در واحد سطح (گرم) Yield per unit (gr)
Fe0Pu0	22.55^{hi}	91.38^{f}	0.98^{d}	91.75^{f}	14.00^{b-d}	135.00^{bc}	34.94^{g}	25.04^{b-d}	94.72^{g}
Fe0Pu0.5	21.541^{i}	95.04^{f}	0.98^{d}	109.50^{a-d}	11.33^{ef}	134.00^{bc}	39.02^{de}	24.71^{cd}	180.60^{a-d}
Fe0Pu1	27.63^{ef}	117.79^{cd}	1.24^{cd}	113.75^{ab}	11.33^{ef}	120.00^{b-d}	40.59^{b}	25.62^{b}	149.65^{b-f}
Fe0Pu1.5	26.81^{e-g}	120.44^{b-d}	1.20^{cd}	107.50^{a-e}	10.00^{f}	115.00^{b-d}	39.42^{c-e}	24.84^{b-d}	96.51^{fg}
Fe20Pu0	22.74^{g-i}	100.61^{ef}	0.98^{d}	98.25^{ef}	13.66^{c-e}	147.00^{bc}	40.18^{bc}	24.30^{de}	187.37^{a-c}
Fe20Pu0.5	21.22^{i}	108.838^{de}	1.04^{cd}	102.50^{c-f}	11.33^{ef}	114.00^{b-d}	37.11^{f}	25.39^{bc}	119.59^{e-g}
Fe20Pu1	27.3627^{cd}	116.266^{cd}	1.34^{bc}	106.25^{a-e}	14.33^{bc}	113.00^{b-d}	40.61^{b}	22.94^{f}	191.28^{ab}
Fe20Pu1.5	33.0633^{d-f}	113.35^{cd}	1.13^{cd}	114.75^{a}	16.33^{ab}	138.00^{bc}	39.01^{de}	25.02^{b-d}	183.56^{a-d}
Fe40Pu0	29.3929^{f-h}	109.499^{c-e}	1.28^{cd}	107.50^{a-e}	13.66^{c-e}	148.00^{bc}	38.34^{e}	24.87^{b-d}	149.67^{b-f}
Fe40Pu0.5	25.51^{f-h}	109.30^{de}	1.18^{cd}	111.25^{a-c}	12.33^{c-f}	100.00^{cd}	38.38^{e}	25.49^{bc}	151.48^{b-e}
Fe40Pu1	27.307^{e-g}	118.62^{b-d}	1.32^{c}	110.00^{a-d}	17.00^{a}	211.00^{a}	38.81^{de}	25.65^{b}	210.27^{a}
Fe40Pu1.5	34.42^{bc}	135.27^{a}	1.83^{a}	100.50^{d-f}	12.00^{c-f}	105.00^{cd}	41.76^{a}	27.77^{a}	134.54^{c-g}
Fe60Pu0	30.240^{c-e}	129.98^{ab}	1.29^{c}	104.50^{b-f}	14.33^{bc}	163.00^{ab}	40.20^{bc}	24.72^{cd}	178.70^{a-d}
Fe60Pu0.5	27.637^{ef}	129.29^{bc}	1.17^{cd}	103.75^{c-f}	13.00^{c-e}	123.00^{b-d}	40.85^{ab}	23.35^{f}	200.27^{ab}
Fe60Pu1	40.720^{a}	139.27^{a}	1.64^{ab}	115.75^{a}	12.66^{c-e}	77.00^{Vd}	39.91^{b-d}	24.77^{cd}	165.05^{a-e}
Fe60Pu1.5	38.7738^{ab}	136.97^{a}	1.92^{a}	108.75^{a-d}	11.66^{d-f}	128.00^{bc}	39.01^{de}	23.59^{ef}	133.08^{d-g}

حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

The same letters show the significant difference

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، کاربرد ۴۰ ppm نانوذره آهن و ۱ میلی‌مولار پوترسین و همچنین اثر متقابل آنها بهترین نتایج را در میان کلیه تیمارهای مورد مطالعه بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد (فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی) کاملینا داشت. بنابراین می‌توان بیان کرد که محلول‌پاشی نانوذره آهن و پوترسین از طریق عرضه پایدار عناصر غذایی کم مصرف و تقویت سیستم دفاعی گیاه می‌تواند موجب بهبود رشد، نمو و عملکرد محصول گیاه دارویی-روغنی کاملینا شود.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-15]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.178]

منابع

Akbarpour, V. (2019). The effect of putrescine and salicylic acid on physiological characteristics and antioxidant in Stevia rebaudiana B. under salinity stress. *Journal of Crop Breeding, 11*(29), 40-54.

Akk, E., & Ilumäe, E. (2005). Possibilities of growing Camelina sativa in ecological cultivation. *Estonian Res Institute Agric, 1*, 28-33.

Alcázar, R., Marco, F., Cuevas, J. C., Patron, M., Ferrando, A., Carrasco, P., Tiburcio, A. F., & Altabella, T. (2006). Involvement of polyamines in plant response to abiotic stress. *Biotechnology letters, 28*, 1867-1876.

Amraee Tabar, S., Ershadi, A., & Robati, T. (2016). The effect of putrescine and spermine on drought tolerance of almond and peach. *Journal of Crops Improvement, 18*(1), 203-218.

Ansari, A., Andalibi, B., Zarei, M., & Shekari, F. (2021). Effect of putrescine foliar application on growth and tolerance of iberica dragon's head (Lallemantia iberica) to lead stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 14*(3), 861-871.

AOAC, A. (1970). Official Methods of analysis. th ed. *Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, EUA, 997*.

Azad, H., Fakheri, B. A., & Parmoon, G. (2018). The study the efficacy of drought stress and foliar application of nano iron chelated on antioxidant enzymes activity and yield flower in plant in chamomile genotypes (Matricaria Chamomilla L.).

Babhulkar, P., Kar, D., Badole, W., & Balpande, S. (2000). Effect of sulphur and zinc on yield, quality and nutrient uptake by safflower in Vertisol. *Journal of the Indian Society of soil Science, 48*(3), 541-543.

Barghi, A., Gholipoori, A., Tobeh, A., Jahanbakhsh, S., & Jamaati, E. S. S. (2014). Survey on the effects of iron nano oxide foliar application on mineral nutrients uptake in potato tuber.

Bourgaud, F., Gravot, A., Milesi, S., & Gontier, E. (2001). Production of plant secondary metabolites: a historical perspective. *Plant science, 161*(5), 839-851.

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry, 72*(1-2), 248-254.

Briat, J.-F., Curie, C., & Gaymard, F. (2007). Iron utilization and metabolism in plants. *Current opinion in plant biology, 10*(3), 276-282.

Bromand Sivieri, M., Heydari, M., Gholami, A., & Ghorbani, H. (2020). Effects of biofertilizers and foliar application of iron oxide nanoparticle on grain yield and some physiological characteristics of black cumin (Nigella sativa L.). *Iranian Journal of Field Crop Science, 51*(4), 73-83.

Cohen, A. S., Popovic, R. B., & Zalik, S. (1979). 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.

Du, G., Li, M., Ma, F., & Liang, D. (2009). Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in Actinidia fruits. *Food Chemistry, 113*(2), 557-562.

Fornazier, R. F., Ferreira, R. R., Pereira, G. J., Molina, S. M., Smith, R. J., Lea, P. J., & Azevedo, R. A. (2002). Cadmium stress in sugar cane callus cultures: effect on antioxidant enzymes. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 71*, 125-131.

Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Polyamines and abiotic stress tolerance in plants. *Plant signaling & behavior, 5*(1), 26-33.

Hassanpour, N. F., & Ranjber, M. (2019). Effect of lead and putresine interactions on cress (Lipidium sativum) seedling physiological and biochemical factors.

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

Jafarpour, F., Bakhshi, D., GH, M., & Hassan Sajedi, R. (2014). Effect of putrescine on postharvest quality, and phenolic compounds and antioxidant capacity of Broccoli (Brassica oleracea L. cv. Italica) florets. *Journal Of Horticultural Science, 28*(3), 303-311.

Jones, R. A., Sharman, M., Trębicki, P ,Maina, S., & Congdon, B. S. (2021). Virus diseases of cereal and oilseed crops in Australia: current position and future challenges. *Viruses, 13*(10), 2051.

Kandil, M., El-Saady, M., Mona, H., Afaf, M., & Iman, M. (2011). Effect of putrescine and uniconazole treatments on flower characters and photosynthetic pigments of Chrysanthemum indicum L. plant. *The Journal of American Science, 7*(3), 399-408.

Liu, J.-H., Wang, W., Wu, H., Gong, X., & Moriguchi, T. (2015). Polyamines function in stress tolerance: from synthesis to regulation. *Frontiers in plant science, 6*, 827.

Malakoti, M., & Tehrani, M. (1999). Effects of micronutrients on the yield and quality of agricultural products. *Tarbiat Modarres University Publications, 22*, 292-294.

Mazid, M., Khan, T., & Mohammad, F. (2011). Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants. *Biology and medicine, 3*(2), 232-249.

McCready, R., Guggolz, J., Silviera, V., & Owens, H. (1950). Determination of starch and amylose in vegetables. *Analytical chemistry, 22*(9), 1156-1158.

Michal, G., & Bergmeyer, H. U. (1974). Coenzyme A. In *Methods of enzymatic analysis* (pp. 1967-1987). Elsevier.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-15]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.178]

Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in plant science, 7*(9), 405-410 .

Mohammadi, M., Hosseini, N., & Dashtaki, M. (2016). Effects of nano-ferric oxide and zinc sulfate on chlorophyll, anthocyanin, flavonoid and leaf mineral elements of peppermint (Mentha piperita L.) at Karaj climatic conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 32*(5).

Mohammadrezakhani, S., Hajilou, J., & Rezanejad, F. (2018). Effect of foliar spray with putrescine and proline on some physiological characteristics of peel and pulp of two citrus species in response to low temperature stress. *Research in Pomology, 3*(1), 1-12.

Mulabagal, V., & Tsay, H.-S. (2004). Plant cell cultures-an alternative and efficient source for the production of biologically important secondary metabolites. *International journal of applied science and engineering, 2*(1), 29-48.

Mustafavi, S. H., Naghdi Badi, H., Sękara, A., Mehrafarin, A., Janda, T., Ghorbanpour, M., & Rafiee, H. (2018). Polyamines and their possible mechanisms involved in plant physiological processes and elicitation of secondary metabolites. *Acta Physiologiae Plantarum, 40*, 1-19.

Reis, R. S., de Moura Vale, E., Heringer, A. S., Santa-Catarina, C., & Silveira, V. (2016). Putrescine induces somatic embryo development and proteomic changes in embryogenic callus of sugarcane. *Journal of proteomics, 130*, 170-179.

Ruiz, J. M., Baghour, M., & Romero, L. (2000). Efficiency of the different genotypes of tomato in relation to foliar content of Fe and the response of some bioindicators. *Journal of Plant Nutrition, 23*(11-12), 1777-1786.

Seyed Sharifi, R., & Narimani, H. (2021). Effect of biofertilizers and putrescine on biomass and some physiological and biochemical traits of vetch (Vicia villosa Roth) under rainfed condition. *Iranian Journal of Plant Biology, 13*(3), 1-20.

Sinha, S., & Saxena, R. (2006). Effect of iron on lipid peroxidation, and enzymatic and non-enzymatic antioxidants and bacoside-A content in medicinal plant Bacopa monnieri L. *Chemosphere, 62*(8), 1340-1350.

Sozer, N., & Kokini, J. L. (2009). Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in biotechnology, 27*(2), 82-89.

Srivastava, N., Srivastava, M., Manikanta, A., Singh, P., Ramteke, P., Mishra, P., & Malhotra, B. D. (2017). Production and optimization of physicochemical parameters of cellulase using untreated orange waste by newly isolated Emericella variecolor NS3. *Applied biochemistry and biotechnology, 183*, 601-612.

Tang, W., & Newton, R. J. (2005). Polyamines reduce salt-induced oxidative damage by increasing the activities of antioxidant enzymes and decreasing lipid peroxidation in Virginia pine. *Plant Growth Regulation, 46*, 31-43.

Torabian, S., & Zahedi, M. (2013). Effects of foliar application of common and nano-sized of iron sulphate on the growth of sunflower cultivars under salinity. *Iranian Journal of Field Crop Science, 44*(1), 109-118.

Vanacker, S. A., Tromp, M. N., Haenen, G. R., Vandervijgh, W., & Bast, A. (1995). Flavonoids as scavengers of nitric oxide radical. *Biochemical and biophysical research communications, 214*(3), 755-759.

Verma, S., & Mishra, S. N. (2005). Putrescine alleviation of growth in salt stressed Brassica juncea by inducing antioxidative defense system. *Journal of plant physiology, 162*(6), 669-677.

Waraich, E. A., Ahmed, Z., Ahmad, R., Ashraf, M. Y., Naeem, M .S., & Rengel, Z. (2013). 'Camelina sativa', a climate proof crop, has high nutritive value and multiple-uses: A review. *Australian Journal of Crop Science, 7*(10), 1551-1559.

Wink, M. (2010). *Annual plant reviews, functions and biotechnology of plant secondary metabolites*. John Wiley & Sons.

Zahedi, H., & Alipour, A. (2018). Effect of spraying of iron and manganese nano chelated on yield and yield component of barley (Hordeum vulgare L.) under water deficit stress at different growth stages. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 11*(4), 847-861.

Zayed, B., Salem, A., & El Sharkawy, H. (2011). Effect of different micronutrient treatments on rice (*Oriza sativa* L.) growth and yield under saline soil conditions. *World Journal of Agricultural Sciences* . 7(2),179-184.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-07-15]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.178]