Archive of SID

نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران | شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2020.342029.2729
جلد ۳۶، شماره ۳، صفحه ۴۶۵-۴۴۸ (۱۳۹۹) | شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0905.1398.36.448.101.3.1575.41

اثر کلات‌های آهن و روی به شکل نانو و معمول بر برخی خصوصیات گیاه دارویی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.)

سیده حکیمه داودی[1*]، عباس بیابانی[2]، علی راحمی‌کاریزکی[3]، سید علی‌محمد مدرس ثانوی[4]، ابراهیم غلامعلی‌پور علمداری[5] و مهدی زارعی[6]

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران
پست الکترونیک: davoodi.f@yahoo.com
۲- دانشیار، فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران
۳- استادیار، فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران
۴- دانشیار، فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ایران
۵- استادیار، علوم گیاهی- اکوفیزیولوژی علف‌های هرز، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران
۶- استادیار، باغبانی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۸ | تاریخ اصلاح نهایی: اردیبهشت ۱۳۹۹ | تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۹

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کلات‌های آهن و روی بر برخی خصوصیات کمّی و کیفی گیاه دارویی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو منطقه (مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گنبد کاووس و مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران) انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل: آهن (نانو کلات‌های آهن در دو سطح ۱/۵ در هزار و ۴ در هزار + کلات آهن ۳ در هزار) و روی (نانو کلات روی در دو سطح ۱/۵ در هزار و ۳ در هزار و کلات روی ۳ در هزار) بود که به‌صورت محلول‌پاشی به تفکیک اعمال گردید. تیمارها در مرحله ۱۰-۸ برگی و در زمان پر شدن کپسول‌ها بکار برده شد. کاربرد کلات‌های آهن و روی به‌صورت نانو نسبت به شکل معمول ارتباط معنی‌داری با عملکرد و اجزای عملکرد و خصوصیات کیفی داشتند و آنها را افزایش دادند. غلظت ۴ در هزار نانو کلات آهن و ۳ در هزار نانو کلات روی باعث بیشترین افزایش در صفات عملکرد دانه (۲۱۷/۴۷ گرم در مترمربع در گنبدکاووس و ۲۸۸/۶۷ گرم در مترمربع در تهران)، عملکرد زیستی (۵۸۲ گرم در مترمربع در گنبدکاووس و ۳۳۷/۲ گرم در مترمربع در تهران)، شاخص برداشت (۳۷/۴۳٪ در گنبدکاووس و ۷۶/۴۶٪ در مزرعه تهران) و درصد روغن و عملکرد روغن شده است. بیشترین مقدار عددی مربوط به نشت سلولی (۵۷/۷۰ در گنبدکاووس و ۶۴/۷۲ در تهران) و پرولین (۱۳/۴۰ در گنبدکاووس و ۱۱/۵۱ در تهران) مربوط به تیمار کلات آهن و روی به شکل غیر نانو بود. براساس نتایج حاصل و با توجه به ویژگی‌های مختلف اندازه‌گیری شده، کاربرد آهن و روی به شکل نانو حتی در غلظت‌های پایین اثر مثبتی بر عملکرد کمّی و کیفی خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: آهن، روی، سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.)، کلات، نانو.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

سیاه‌دانه (شونیز) با نام علمی *Nigella sativa* L. از خانواده Ranunculaceae می‌باشد. گیاهی دارویی، یک‌ساله، دولپه، علفی با ساقه‌های ایستاده به ارتفاع ۲۰ تا ۶۰ سانتی‌متر است (Phulwariae *et al*., 2018). سیاه‌دانه به کمبود عناصر ضروری ازجمله آهن و خاک‌های ضعیف حساس است و به‌سرعت زرد می‌شود، همچنین به شوری خاک حساس بوده و گرمای شدید را نمی‌پسندد (Davazdah Emami & Majnoon Hoseini, 2003). علاوه‌بر خاصیت ضدباکتریایی روغن دانه‌های سیاه‌دانه، از این گیاه در درمان سرطان، فشارخون، بیماری‌های قلبی-عروقی و غیره استفاده می‌شود. تولید موفقیت‌آمیز محصولات کشاورزی مستلزم وجود خاک مناسب و مقدار کافی از عناصر غذایی قابل استفاده گیاه می‌باشد (Seyed Jamali *et al*., 2013). آهن در ساختار هموپروتئین‌ها مانند سیتوکروم‌ها، سیتوکروم اکسیداز و لگ‌هموگلوبین عضو کلیدی است. آهن اگرچه در ساختار کلروفیل وجود ندارد ولی در سنتز آن نقش مهمی دارد (Rout *et al*., 2014). روی یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاه است که محلولیت آن کاملاً وابسته به pH است. روی آثار عمیقی در متابولیسم بهینه گیاه دارد و به‌طور کلی متابولیسم کربوهیدرات‌ها، پروتئین، اکسین و فرایندهای زایشی تحت تأثیر شدید کمبود روی قرار می‌گیرند (Hafez *et al*., 2013).

گیاهی که خوب تغذیه شده و به‌مقدار کافی عناصر کم‌مصرف و پرمصرف را دریافت کرده باشد، مقاومت بهتری به تنش‌های زنده و غیرزنده خواهد داشت و در این راستا کمّیت و کیفیت محصول نیز تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. به‌طور کلی استفاده از کودهای حاوی عناصر کم‌مصرف، در پرورش گیاهان نقش عمده‌ای دارند، به‌ویژه در خاک‌هایی که دچار کمبودهایی در عناصر مورد نیاز گیاه هستند. از آنجایی که بسیاری از خاک‌ها به‌ویژه در ایران دارای pH قلیایی می‌باشند و نمی‌توانند عناصر مهم ریزمغذی را در خود به‌صورت محلول نگهداری کنند، استفاده از ساختارهایی که بتواند این مشکل را حل کند بسیار ضروریست. فرم کلات یک عنصر فرمی حفاظت‌شده است و سایر عناصر نمی‌توانند مزاحمتی در جذب یک عنصر کلات شده ایجاد کنند. فرآورده‌های نانو شامل مخلوطی از ذره‌های با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که می‌توانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه خود را تغییر دهند (Monica & Cremonini, 2009). استفاده از ترکیب‌های نانو که خصوصیات مطلوب مانند غلظت مؤثر، قابلیت حل‌پذیری مناسب، ثبات و تأثیرگذاری بالا و رهایش کنترل شده را دارند، سبب افزایش کارایی جذب عناصرغذایی می‌شوند. جذب و انتقال ترکیب‌های نانو از طریق برگ به سهولت انجام می‌شود (Naderi *et al*., 2013). ترکیب سه‌گانه نانو کلات‌های آهن، روی و مس بر عملکرد و اجزای عملکرد در گندم اثر مثبت و معنی‌داری داشته است (Hayyawi *et al*., 2019). افزایش عملکرد در برنج با استفاده از ریزمغذی آهن و روی گزارش شده است (Sudhagar *et al*., 2019). نتایج مشابهی نیز در ذرت توسط Gomaa و همکاران (۲۰۲۰) گزارش شده است. Jam و همکاران (۲۰۱۵) طی آزمایش‌های خود گزارش کردند با کاربرد دو عنصر ریزمغذی آهن و روی می‌توان انتظار عملکرد بالاتری در گیاه سیب‌زمینی داشت. Baghaie و همکاران (۲۰۱۱) گزارش نمودند که اثر نانو کود کلاته آهن به‌صورت محلول‌پاشی یک در هزار در اوایل پنجه‌زنی، اواخر ساقه رفتن و اواخر خوشه‌دهی، اثر معنی‌داری بر صفات ارتفاع بوته، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن خشک گیاه، عملکرد دانه و میزان کلسیم، آهن و روی دانه برنج داشته است. Rezae و همکاران (۲۰۱۶) افزایش صفات عملکرد در گیاه استویا با استفاده از آهن و محلول روی و منگنز را به‌صورت نانو گزارش کردند. در تحقیقی مشاهده گردید که مصرف یک کیلوگرم در هکتار کلات آهن به شکل نانو در مقایسه با شکل معمول آن به نسبت بیشتری وزن خشک اندام‌هوایی، ریشه، برگ و طول ریشه گیاه ریحان را افزایش داد (Peyvandi *et al*., 2011).

Ramrudi و همکاران (۲۰۱۱) افزایش عملکرد زیستی، عملکرد دانه و شاخص برداشت را طی استفاده از نانو کلات‌های ریزمغذی گزارش کردند. پایداری غشاء نیز

www.SID.ir

Archive of SID

به‌عنوان ابزاری برای اندازه‌گیری میزان مقاومت در برابر تنش‌های محیطی ازجمله خشکی مطرح است که درجه آسیب‌پذیری غشای‌سلولی ناشی از تنش آب از طریق اندازه‌گیری نشت الکترولیت‌ها برآورد می‌شود (Ahmadizadeh *et al*., 2011). تجمع محافظت‌کننده‌های اسمزی یکی از مهمترین عوامل حفظ گیاهان در مقابل تنش‌های غیرزنده است. در این میان می‌توان به تجمع پرولین، قندهای محلول و برخی از یون‌ها اشاره کرد. در آزمایش Abedi Babaarabi و همکاران (۲۰۱۲) محلول‌پاشی روی در شرایط تنش خشکی توانست میزان پرولین در برگ گلرنگ را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد، آنان گزارش کردند که عنصر روی در سنتز پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها، متابولیسم سلول، محافظت غشاء از رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر فرایندهای مرتبط با امر سازگاری گیاهان به تنش‌ها نقش مهمی ایفاء می‌کند، ازاین‌رو محلول‌پاشی روی توانست با افزایش غلظت پرولین برگ مقاومت به خشکی را در گیاه افزایش دهد. محلول‌پاشی و مصرف خاکی کلات آهن میزان آنتوسیانین برگ گیاه گلرنگ را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Ghorbanpour *et al*., 2015). گزارش‌های پراکنده‌ای در مورد اثر عناصر آهن و روی در افزایش عملکرد سیاه‌دانه وجود دارد. اما مطالعه‌ای در مورد اثر این دو عنصر به‌صورت همزمان در این دو منطقه با توجه به کمبود این عناصر در این مناطق و نقش آنها روی عملکرد کمّی و کیفی گیاه سیاه‌دانه انجام نشده است.

در این پژوهش ارزیابی تأثیر محلول‌پاشی نانو کلات آهن و روی بر تغییرات مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی سیاه‌دانه، مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس با طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی، متوسط بارندگی سالیانه ۴۲۸ میلی‌متر و ارتفاع ۴۵ متر از سطح دریا و مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران با موقعیت طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۸ دقیقه شرقی، متوسط بارندگی سالیانه ۲۴۲ میلی‌متر و ۱۲۱۵ متر ارتفاع از سطح دریا انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل شاهد (محلول‌پاشی با آب خالص)، عنصر غذایی آهن (نانو کلات‌های آهن در دو سطح ۱/۵ در هزار و ۴ در هزار + ۳ در هزار کلات آهن) و عنصر غذایی روی (نانو کلات روی در دو سطح ۱/۵ در هزار و ۳ در هزار + کلات روی ۳ در هزار) که به‌صورت محلول‌پاشی به تفکیک اعمال شد. محلول‌پاشی دو بار و در مرحله ۱۰-۸ برگی و در زمان پر شدن کپسول‌ها بکار برده شد. بذر سیاه‌دانه توده بومی و از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. کودهای کلات و نانو کلات از شرکت خضرا خریداری شد. قبل از آزمایش خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق آزمایشی بررسی گردید (جدول ۱). کرت‌های آزمایشی دارای دو متر عرض شامل چهار ردیف ۵۰ سانتی‌متری و طول هر کرت ۶ متر بود. بین هر واحد آزمایشی فاصله یک متری، بین هر بلوک، فاصله دو متری و فاصله بین بوته‌ها از هم ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت در گنبد کاووس در ۱۵ بهمن‌ماه و در تهران در ۱۵ اسفندماه انجام شد. از خطوط میانی نمونه‌برداری و پارامترهای عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن اندازه‌گیری شد. پارامترهای فیزیولوژیک نشت سلولی، آنتوسیانین، پرولین، درصد روغن و عملکرد روغن براساس روش‌های استاندارد فیتوشیمیایی ذیل مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

نشت سلولی: ۰/۲ گرم از بافت سالم و تازه برگ گیاه را بعد از شستشو با آب‌مقطر برای شستشوی یون‌های احتمالی از سطح گیاه درون لوله‌های آزمایش درپیچ‌دار قرار داده و ۱۰ میلی‌لیتر آب یون‌گیری شده به آن اضافه شد. سپس لوله‌های آزمایش را به‌مدت ۲ ساعت درون حمام آب‌گرم با

www.SID.ir

Archive of SID

دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده و میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC0) با استفاده از EC متر اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو گردیده و بعد از خنک شدن لوله‌ها تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC1) دوباره اندازه‌گیری گردید (Ben hamed *et al.*, 2007) و با فرمول زیر درصد نشت الکترولیت محاسبه شد.

$$CMS= 1-(EC_0/EC_1)\times 100$$

آنتوسیانین: ۰/۱ گرم بافت گیاه تازه را در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص و اسید کلریدریک خالص به نسبت حجمی ۱:۹۹) کاملاً ساییده و عصاره در لوله آزمایش سرپیچ‌دار ریخته شد و به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد گرفت. سپس به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و جذب محلول رویی در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. غلظت با استفاده از فرمول $A= \varepsilon bc$ و با در نظر گرفتن ضریب خاموشی ۳۳۰۰۰ بر سانتی‌متر بر مول و نتایج بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر ارائه شد. A: جذب، b: عرض کوت و c: غلظت محلول مورد نظر می‌باشد (Nadernejad *et al.*, 2013).

اندازه‌گیری محتوی پرولین: ۵۰۰ میلی‌گرم نمونه یکنواخت گیاهی با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪ مخلوط و با کاغذ صافی صاف گردید. ۲ میلی‌لیتر از مخلوط را در داخل لوله آزمایش ریخته و بعد ۲ میلی‌لیتر استیک اسید گلاسیال و ۲ میلی‌لیتر اسید نین‌هیدرین اضافه گردید و یک ساعت در حمام آب‌جوش قرار داده شد. ۴ میلی‌لیتر تولوئن به محلول حاصل اضافه و به‌خوبی تکان داده، سپس لایه رویی زرد رنگ تولوئن جدا و به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در نقطه ۵۲۰ نانومتر خوانده شد (Bates *et al.*, 1973). میزان پرولین در نمونه مورد بررسی با استفاده از نمودار استاندارد برآورد شد.

درصد و عملکرد روغن: برای استخراج روغن، ابتدا دانه‌های مورد آزمایش آسیاب و پودر شدند. از نمونه‌های آسیاب شده و خشک شده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، بعد از ۲۴ ساعت به مقدار ۵ گرم وزن کرده و در داخل سوکسله با ۳۰۰CC از محلول دی‌اتیل اتر قرار گرفتند. پس از ۶ ساعت حلال مورد نظر توسط روتاری از روغن جدا شد (Leal *et al.*, 2009). عملکرد روغن با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید.

عملکرد بذر × درصد روغن = عملکرد روغن

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS Ver 9.3 و مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. نمودارها با کمک نرم‌افزار Excel رسم شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک منطقه در دو منطقه آزمایشی

منطقه	مشخصات نمونه (عمق)	اسیدیته کل اشباع	درصد لای	درصد رس	بافت خاک	درصد کربن آلی	درصد نیتروژن کل
تهران	۳۰-۰	۷/۷	۳۰	۹	لومی شنی	۱/۳۴	۰/۱۳۴
گنبدکاووس	۳۰-۰	۷/۶	۵۶	۳۱	لوم رسی- سیلتی	۰/۷۸	۰/۰۸

منطقه	عمق cm	فسفر قابل جذب ppm	پتاسیم قابل جذب ppm	آهن ppm	منگنز ppm	روی ppm
تهران	۳۰-۰	۱۸	۳۴۱	۳/۶۷	۶/۹	۱/۰۶
گنبدکاووس	۳۰-۰	۱۳	۳۴۰	۲/۸	۱۶	۰/۶

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج

آزمون لونی نشان داد بین دو مزرعه اختلاف معنی‌داری وجود دارد. به‌همین دلیل گزارش‌ها به‌صورت جداگانه در هر منطقه بیان شد. دو مزرعه از نظر شرایط آب و هوایی متفاوت بودند. به‌طوری که میانگین دما و بارش بالاتری را در مزرعه گنبدکاووس نسبت به تهران در طول فصل زراعی شاهد بودیم.

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرهای اصلی محلول‌پاشی آهن و روی و برهم‌کنش این عامل‌ها برای هر دو مزرعه تحقیقاتی معنی‌دار شد (جدول ۲). برش‌دهی برهم‌کنش سطوح روی در هر سطح نانو کلات آهن ۱/۵ در هزار، نانو کلات آهن ۴ در هزار در هر دو منطقه و کلات آهن ۳ در هزار تنها برای مزرعه تهران بیانگر تأثیر معنی‌دار بر ارتفاع بوته بوده است (جدول ۳). ارتفاع بوته در سطوح نانو کلات آهن ۱/۵ در هزار و ۴ در هزار نسبت به کلات آهن در هر دو مزرعه افزایش نشان داد و بیشترین ارتفاع مربوط به نانو کلات آهن ۴ در هزار و نانو کلات روی ۳ در هزار بود (۷۹/۴۰ سانتی‌متر در گنبدکاووس و ۶۸ سانتی‌متر در تهران) و کمترین مقدار عددی این صفت زمانی که از کلات آهن و کلات روی استفاده شد (۳۴/۵۶ سانتی‌متر در گنبدکاووس و ۲۳/۲۶ سانتی‌متر در تهران) مشاهده گردید (جدول ۴). مقایسه گروهی نشان داد که بین تمام ترکیب‌های تیماری با شاهد بجز شاهد با کلات‌های آهن و روی اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۵).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر نانو کلات‌های آهن و روی بر برخی صفات عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه سیاه‌دانه

	درجه آزادی		میانگین مربعات				
			ارتفاع	تعداد شاخه جانبی	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	شاخص برداشت
R (بلوک)	۱	تهران	۱/۶۱ns	۰/۵۰ ns	۱۹۱/۲۹ ns	۲/۵۷ ns	۶۱/۳۴ ns
		گنبدکاووس	۱۰/۵۸ns	۰/۵۰ns	۱۵۹/۶۱ns	۱۲۸ ns	۱۱/۳۶ns
Fe (آهن)	۲	تهران	۱۶۰۶/۳۷**	۲۶/۷۰**	۴۹۹۱۵/۱۴**	۴۳۴۳۰/۹۴**	۲۷۷۶/۲۰**
		گنبدکاووس	۱۵۴۶/۶۰**	۵۲/۴۸**	۳۰۷۱۲/۸۶**	۸۶۸۶۹/۴۹**	۸۳۹/۴۱۱**
Zn (روی)	۲	تهران	۶۰۲/۰۳**	۱۲/۲۶**	۲۴۰۴۵/۰۸**	۲۰۵۵۳/۸۷**	۱۴۵۷/۴۳**
		گنبدکاووس	۷۴۲/۰۱**	۲۳/۳۷**	۱۳۳۵۶/۳۳**	۲۲۸۳۹/۸۶**	۳۴۰/۳۷**
Fe×Zn (آهن×روی)	۴	تهران	۷۶/۸۸**	۲/۲۶**	۹۱۰۲/۷۱**	۳۶۸۴/۴۵**	۳۰۷/۸۱**
		گنبدکاووس	۸۴/۳۵۹**	۵/۸۱**	۳۴۴۲/۶۴۶۸**	۱۵۴۴۱/۶۴**	۲۳/۴۴*
E (خطا)	۱۷	تهران	۱۰/۲۳	۰/۴۱۳	۱۸۸/۵۷	۲۶۱/۸۴	۴۰/۴۸
		گنبدکاووس	۸/۰۷	۰/۱۳	۱۷۲/۷۶	۴۵۲/۵۳	۷/۱۲
ضریب تغییرات (٪)	-	تهران	۷/۴۵	۱۲/۰۴	۱۴/۶۱	۷/۰۲	۱۸/۵۲
		گنبدکاووس	۵/۳۲	۵/۶۷	۱۳/۱۵	۵/۵۹	۱۱/۱۰

ns، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ است.

www.SID.ir

Archive of SID

تعداد شاخه جانبی

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرهای اصلی و برهم‌کنش محلول‌پاشی در هر دو مزرعه بر صفت تعداد شاخه جانبی معنی‌دار بود (جدول ۲). برش‌دهی برهم‌کنش سطوح روی در هر سطح نانو کلات آهن ۱/۵ در هزار و ۴ در هزار بر این صفت معنی‌دار بود، در صورتی که در سطح کلات آهن ۳ در هزار مزرعه تهران ارتباط معنی‌داری برای این صفت مشاهده نشد (جدول ۳). با توجه به جدول ۴، بیشترین تعداد شاخه فرعی در سطوح یک و دو آهن (نانو کلات آهن ۱/۵ در هزار و ۴ در هزار) و نانو کلات روی ۱/۵ در هزار و ۳ در هزار مشاهده گردید و در سطح ۳ آهن (کلات آهن ۳ در هزار) بین سطوح روی و تعداد شاخه فرعی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. البته بین دو مزرعه تهران و گنبد کاووس بیشترین تعداد شاخه جانبی در گیاهان مزرعه گنبد کاووس (۱۲ شاخه جانبی) مشاهده گردید که با بیشتر بودن ارتفاع گیاهان در این مزرعه ارتباط دارد. در گنبد کاووس بین شاهد با تمام ترکیب‌های تیماری اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید، در صورتی که در تهران بین شاهد با ترکیب‌های تیماری که شامل کلات‌های آهن بود تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵).

جدول ۳- تجزیه واریانس برش‌دهی برهم‌کنش سطوح روی در سطوح مختلف آهن برای برخی صفات

Fe	Zn	df		میانگین مربعات				
				ارتفاع	تعداد شاخه جانبی	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	شاخص برداشت
Fe1	zn	۲	تهران	۹۰/۲۲**	۴/۳۳**	۳۴۹۸/۶۲**	۳۹۷۷/۱۴**	۳۵۸/۰۹۷**
			گنبدکاووس	۲۱۴/۸۰**	۴/۱۱**	۲۸۹۴/۹۵**	۱۱۴۴/۷۶**	۱۴۳/۱۱*
Fe2	zn	۲	تهران	۵۷۷/۸۳**	۱۲/۱۱*	۳۸۵۳۷/۹۱**	۱۸۶۰۹/۱۹*	۱۶۵۷/۰۲۸**
			گنبدکاووس	۶۲۵/۲۹**	۳۰/۱۱**	۱۶۹۹۶/۸۲**	۵۱۹۷۹/۷۵**	۲۱۰/۲۶۷*
Fe3	zn	۲	تهران	۸۷/۷۳**	۰/۳۳ns	۲۱۳/۹۹**	۲۳۱۶/۴۴*	۵۷/۹۲ ns
			گنبدکاووس	۷۰/۶۳ns	۰/۷۷**	۳۴۹/۹۲**	۵۹۸/۶۳ns	۳۳/۸۷**

ns،* و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ است.

عملکرد دانه

آهن و روی و برهم‌کنش آنها اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه در هر دو مزرعه تحقیقاتی داشتند (جدول ۲). برش‌دهی برهم‌کنش سطوح روی در سطوح مختلف آهن اثر معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه (۲۱۷/۴۷ گرم در مترمربع در گنبدکاووس و ۲۸۸/۶۷ گرم در مترمربع در تهران) در تیمار نانو کلات آهن ۴ در هزار مشاهده گردید (جدول ۴). نتایج مقایسات اورتوگونال اختلاف معنی‌دار بین شاهد با ترکیب‌های تیماری (بجز ترکیب کلات آهن ۳ در هزار و کلات روی ۳ در هزار) را در هر دو مزرعه تحقیقاتی نشان داد (جدول ۵).

عملکرد زیستی

تیمارهای آهن و روی و برهم‌کنش آنها اثر معنی‌داری بر عملکرد زیستی در هر دو مزرعه مورد بررسی داشتند (جدول ۲). برش‌دهی برهم‌کنش سطوح روی در سطوح مختلف آهن اثر معنی‌داری را بجز برای کلات آهن در گنبدکاووس نشان دادند (جدول ۳).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح روی در هر سطح آهن برای صفات عملکرد و اجزای عملکرد مورد بررسی

Fe	Zn	ارتفاع (سانتی‌متر)		تعداد شاخه جانبی		عملکرد دانه در مترمربع		عملکرد زیستی در مترمربع		شاخص برداشت (٪)	
		تهران	گنبدکاووس	تهران	گنبدکاووس	تهران	گنبدکاووس	تهران	گنبدکاووس	تهران	گنبدکاووس
Fe1	Zn1	۴۳/۰۴b	۵۱/۶۰b	۵b	۶b	۶۸/۷۴b	۱۰۵/۷۳۳b	۲۱۶/۶۷b	۳۷۰/۹۳۳c	۳۱/۰۹b	۲۸/۴۶۷b
	Zn2	۵۰/۰۸a	۶۴/۱۶۷a	۶/۶۶a	۷a	۱۱۴/۸a	۱۴۷/۲۰۰a	۲۸۴/۴۰a	۴۱۰a	۴۶/۳۴a	۳۵/۹a
	Zn3	۳۹/۲۸c	۴۸/۰۶۷b	۴/۳۳b	۴/۶۶c	۴۸/۰۹c	۸۶/۴۰۰c	۱۹۱/۰۷b	۳۹۰/۸b	۲۵/۱۶c	۲۲/۱c
Fe2	Zn1	۵۸/۳۳b	۶۷/۵۰b	۷/۳۳a	۹b	۱۷۵/۵۳b	۱۶۵a	۳۵۲/۹۳a	۵۰۹/۳۳b	۴۹/۸۵۳b	۳۲a
	Zn2	۶۸a	۷۹/۴۰a	۹b	۱۲a	۲۸۸/۶۷a	۲۱۷/۴۷a	۳۳۷/۲a	۵۸۲a	۷۶/۴۶۷a	۳۷/۴۳a
	Zn3	۴۰/۶۳c	۵۰/۶۶۷c	۵b	۵/۶۶۷c	۶۱/۹۹c	۶۹/۰۶۷b	۲۰۹/۳۳b	۳۲۶/۵۳۳c	۲۰/۶۰b	۲۱/۱۳۳b
Fe3	Zn1	۲۹/۷۸a	۴۰/۴۰ab	۳/۶۷a	۴ab	۳۱/۲۷b	۳۶b	۱۶۶/۶۷ab	۲۸۵/۲a	۱۸/۸۱ab	۱۲/۶۳۳b
	Zn2	۳۴a	۴۴a	۴a	۴/۶۶a	۳۶/۶a	۴۶/۸a	۱۸۵/۳۳a	۲۸۵/۰۷a	۱۹/۹۲۰a	۱۶/۴۳۳a
	Zn3	۲۳/۲۶b	۳۴/۵۶b	۳/۳۳a	۳/۶۶۷b	۲۰/۰۵c	۲۵/۲c	۱۳۰/۶۷b	۲۶۰/۶۷a	۱۱/۸۱۷b	۹/۷۳۳c

Fe1= نانو کلات آهن ۱/۵ در هزار، Fe2= نانو کلات آهن ۴ در هزار، Fe3= کلات آهن ۳ در هزار

Zn1= نانو کلات روی ۱/۵ در هزار، Zn2= نانو کلات روی ۳ در هزار، Zn3= کلات روی۳ در هزار

www.SID.ir

Archive of SID

بیشترین عملکرد زیستی (۵۸۲ گرم در مترمربع) در تیمار نانو کلات آهن ۴ و نانو کلات روی ۳ در هزار در گنبدکاووس مشاهده گردید (جدول ۴). البته اختلاف معنی‌داری بین شاهد با ترکیب‌های تیماری (به‌غیر از شاهد با کلات آهن ۳ در هزار + کلات روی ۳ در هزار) در هر دو مزرعه تحقیقاتی مشاهده گردید (جدول ۵).

جدول ۵- تجزیه واریانس مقایسه اورتوگونال تیمارهای آزمایش بر برخی صفات

منابع تغییر	df	منطقه	ارتفاع	تعداد شاخه جانبی	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	شاخص برداشت
شاهد-Fe1Zn1	۱	تهران	۸۱۹/۴۷**	۶**	۵۴۲۶//۴۳**	۱۸۱۵۰**	۷۹۵/۵۷**
		گنبدکاووس	۶۳۶/۵۴**	۱۶/۶۶۷**	۱۳۹۳۹/۴۴**	۲۶۲۴۱/۷۰۷**	۹۰۵/۲۸۲**
شاهد-Fe1Zn2	۱	تهران	۱۳۸۷/۷۶**	۲۰/۱۶**	۱۶۹۱۷/۶۶**	۴۷۳۸۳/۷۱**	۲۱۹۷/۲۷**
		گنبدکاووس	۱۶۵۰/۰۴۲**	۲۸/۱۶۶**	۲۸۵۱۰/۸۲۶**	۴۴۰۳۲/۶۶**	۱۵۳۶**
شاهد-Fe1Zn3	۱	تهران	۵۵۷/۰۲**	۲/۶۷**	۲۳۳۹/۵۹**	۱۰۶۸۵/۰۴**	۴۳۸/۲۷**
		گنبدکاووس	۴۳۶/۹۰۶۷**	۶**	۸۹۰۸/۹۰۶**	۳۴۷۱۶/۸۲۷**	۴۹۶/۸۶**
شاهد-Fe2Zn1	۱	تهران	۲۲۴۲/۶۶**	۲۸/۱۶**	۴۱۸۰۰/۱۱**	۹۰۹۷۰/۹۱**	۲۶۱۹/۶۱**
		گنبدکاووس	۱۹۹۸/۳۷۵**	۶۰/۱۶۷**	۳۶۴۲۹/۱۵۸**	۱۰۹۸۹۰/۶۷**	۱۲۳۵/۶۲۶**
شاهد-Fe2Zn2	۱	تهران	۳۵۰۴/۱۶**	۵۴**	۱۱۷۶۵۶/۰۰۷**	۷۹۷۱۸/۴۳**	۷۰۱۸/۵۲**
		گنبدکاووس	۳۵۱۳/۸۴**	۱۳۰/۶۶۷**	۶۴۹۷۹/۲۲۶**	۱۷۶۸۱۶/۶۶**	۱۶۸۶/۷۲۶**
شاهد-Fe2Zn3	۱	تهران	۶۵۹/۴۰**	۶**	۴۲۷۵/۲۰۴۳**	۱۵۸۱۰/۶۷**	۶۹۶/۱۷**
		گنبدکاووس	۵۸۰/۱۶۶۷**	۱۳/۵**	۵۳۵۲/۱۰۶**	۱۱۵۸۰/۸۲۶**	۴۴۵/۴۸۲**
شاهد-Fe3Zn1	۱	تهران	۱۵۳/۵۲**	۰/۶۷ ns	۷۷۰/۶۷**	۵۴۰۰**	۱۷۳/۳۴**
		گنبدکاووس	۱۳۲/۵۴**	۲/۶۶**	۱۰۶۶/۶۶۷**	۳۲۴۸/۰۲۶۷**	۱۱۴/۴۰۷**
شاهد-Ffe3Zn2	۱	تهران	۳۰۸/۱۶**	۱/۵ ns	۱۱۷۶**	۹۲۰۸۲/۶۶**	۲۱۰/۸۷**
		گنبدکاووس	۲۶۱/۳۶**	۶**	۲۱۰۵/۶۲۷**	۳۲۲۹/۴۴**	۲۳۵/۶۲۶**
شاهد-Fe3Zn3	۱	تهران	۱۹/۴۴ns	۰/۱۷ ns	۱۹۶/۷۷ns	۸۶۴ns	۲۱/۱۳ns
		گنبدکاووس	۱۹/۰۸ns	۱/۵**	۳۷۷/۶۲۶ns	۷۲۶ns	۵۱/۰۴۱*
شاهد-ترکیب‌های تیماری	۱	تهران	۱۴۶۱/۸۹**	۱۵/۱۷**	۱۹۶۷۸/۵۵**	۴۱۳۸۶/۳۴**	۱۸۶۴/۳۰**
		گنبدکاووس	۱۳۵۴/۳۰**	۳۵/۵۷۰**	۲۲۱۴۳/۰۰۶**	۵۳۹۷۸/۰۳۶**	۱۰۹۶/۰۵۹**

ns،* و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ است.

شاخص برداشت

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی و برهم‌کنش محلول‌پاشی آهن و روی تأثیر معنی‌داری بر صفت شاخص برداشت داشتند (جدول ۲). برش‌دهی نشان داد که در گنبدکاووس سطوح مختلف آهن و روی تأثیر معنی‌داری بر این صفت داشتند و در تهران تنها برای نانو

www.SID.ir

Archive of SID

کلات آهن ۱/۵ در هزار و ۴ در هزار بین سطوح مختلف روی اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید (جدول ۳). در تیمار نانو کلات آهن ۴ در هزار بیشترین مقدار شاخص برداشت نسبت به سطوح دیگر مشاهده شد (۳۷/۴۳٪ در گنبدکاووس و ۷۶/۴۶۷٪ در تهران) و بین سطوح روی در این سطح آهن بیشترین شاخص برداشت به‌ترتیب مربوط به نانو کلات روی ۳ در هزار، نانو کلات روی ۱/۵ در هزار و کلات روی ۳ در هزار بود (جدول۴). مقایسه گروهی نشان داد از نظر صفت شاخص برداشت بین تمام ترکیب‌های تیماری با شاهد (بجز شاهد با کلات آهن + کلات روی در تهران) اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۵).

نشت سلولی

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی و برهم‌کنش محلول‌پاشی آهن و روی تأثیر معنی‌داری بر صفت نشت سلولی داشتند (جدول ۶). برش‌دهی نشان داد که در مزرعه گنبدکاووس و تهران سطوح مختلف آهن و روی تأثیر معنی‌داری بر این صفت داشتند (جدول ۷). جدول مقایسه میانگین نشان می‌دهد که بیشترین نشت سلولی (۱۱/۵۱ در تهران و ۱۳/۴۰ در گنبدکاووس) در سطوح کلات آهن و کلات روی رخ داده است (جدول ۸). طبق نتایج حاصل از مقایسه گروهی بین تمام ترکیب‌های تیماری با شاهد اختلاف معنی‌داری از نظر این صفت وجود دارد (جدول ۹).

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر نانو کلات‌های آهن و روی بر برخی صفات کیفی در گیاه سیاه‌دانه

			میانگین مربعات				
	df		نشت سلولی	پرولین	آنتوسیانین	درصد روغن	عملکرد روغن
R (بلوک)	۱	تهران	۰/۳۱ns	۰/۰۳ ns	۰/۰۱۶ ns	۲۵۶۹/۸۷ ns	۰/۰۹۳ ns
		گنبدکاووس	۰/۲۵۴ns	۰/۰۹۷ ns	۰/۴۳۱ ns	۰/۰۷۴ ns	۵۷۴۵/۰۱ ns
Fe (آهن)	۲	تهران	۱۴۲۸/۵۲**	۵۵/۷۴**	۵۷/۸۳**	۱۱۰۳۶۷۶۸/۶۴**	۴۲/۴۹**
		گنبدکاووس	۱۱۳۹/۶۰**	۵۶/۱۵**	۳۸/۱۰**	۴۹/۱۹**	۱۰۶۳۷۲۰۶/۱۵**
Zn (روی)	۲	تهران	۲۸۱/۱۷**	۱۱/۱**	۱۸/۲۵**	۶۱۲۲۲۸۱/۵۵**	۱۶/۱۲**
		گنبدکاووس	۳۰۷/۵۶**	۱۲/۱۳**	۱۲/۴۴**	۱۶/۱۲**	۴۳۳۱۳۶۵/۳۴**
Fe×Zn (آهن×روی)	۴	تهران	۱۳/۴۸**	۳/۱۰**	۱/۰۵ ns	۲۰۱۴۱۱۸/۳۲**	۲/۴۷**
		گنبدکاووس	۲۹/۷۳**	۳/۱۱**	۱/۱۲**	۲/۴۶**	۱۳۷۴۱۸۲/۳۷**
E (خطا)	۱۷	تهران	۳/۷۳	۰/۰۶	۰/۶۲	۷۱۹۸/۴	۰/۰۶
		گنبدکاووس	۰/۲۵۵	۰/۰۵	۰/۱۶	۰/۰۶۵	۲۱۳۶/۷۱
ضریب تغییرات (٪)	–	تهران	۴/۱۴	۳/۳۸	۱۰/۵۹	۵/۹۶	۱/۵۳
		گنبدکاووس	۱/۱۸	۲/۲۳	۶/۶۵	۱/۶۱	۳/۱۲

ns،* و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ است.

www.SID.ir

Archive of SID

پرولین

نتایج آزمایش در مورد غلظت پرولین نشان داد که اثرهای اصلی و برهم‌کنش در سطح ۱٪ معنی‌دار گردید (جدول ۶). نتایج برش‌دهی اثر معنی‌دار سطوح مختلف آهن و روی را برای این صفت نشان داد (جدول ۷). در این آزمایش، بیشترین مقدار عددی این صفت در تیمار کلات آهن و سطوح مختلف روی به‌ویژه کلات روی مشاهده شد که مشخص گردید در مقایسه با سایر تیمارها، این تیمار از نظر انتقال آهن به گیاه ضعیف‌تر عمل کرده و گیاه با تنش کمبود آهن بیشتری مواجه بوده است (جدول ۸). جدول مقایسه اورتوگونال اختلاف معنی‌داری را بین شاهد با سایر ترکیب‌های تیماری نشان داد (جدول ۹).

جدول ۷- تجزیه واریانس برش‌دهی برهم‌کنش سطوح روی در سطوح مختلف آهن برای برخی صفات

Fe	Zn	df		میانگین مربعات				
				نشت سلولی	پرولین	آنتوسیانین	درصد روغن	عملکرد روغن
Fe1	zn	۲	تهران	۱۳۶/۵۲**	۰/۶۸۰**	۴/۶۸**	۱۹۴۶۱۷۵/۴**	۴/۴۹**
			گنبد کاووس	۱۴۶/۳۹۷**	۰/۷۱۴**	۴/۳۷**	۴/۴۹**	۱۲۵۷۷۰۲/۱۵**
Fe2	zn	۲	تهران	۱۰۷**	۱/۵۵**	۱۰/۷۳**	۸۱۶۵۱۴۱/۵**	۱۵/۷۲**
			گنبد کاووس	۷۷/۳۳**	۲/۸۳**	۶/۸۱**	۱۵/۷۲**	۷۹۵۴۲۴۰/۱۴**
Fe3	zn	۲	تهران	۶۴/۵۹**	۱۶/۸۷**	۴/۹۷**	۳۹۲۰۳/۲۱**	۰/۸۴**
			گنبد کاووس	۱۴۳/۲۹**	۱۴/۸۲**	۳/۴۹**	۰/۸۴**	۷۹۸۹۰/۹۶**

ns، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ است.

آنتوسیانین

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی در هر دو مزرعه و برهم‌کنش محلول‌پاشی آهن و روی در گنبد کاووس تأثیر معنی‌داری بر این صفت داشتند (جدول ۶). به‌طوری که برش‌دهی نشان داد که سطوح مختلف آهن و روی تأثیر معنی‌داری بر این صفت داشتند (جدول ۷). مقایسه گروهی اختلاف معنی‌دار بین شاهد با تمام ترکیب‌های تیماری برای گنبدکاووس و تمام ترکیب‌های تیماری با شاهد بجز ترکیب‌های شامل سطوح مختلف روی در سطح کلات آهن را نشان می‌دهد (جدول ۹).

درصد روغن، عملکرد روغن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرهای اصلی و برهم‌کنش تیمارهای مورد بررسی بر درصد روغن معنی‌دار بود (جدول ۶). به‌نحوی که برش‌دهی سطوح مختلف روی در هر سطح آهن در هر دو مزرعه تحقیقاتی اختلاف معنی‌دار نشان دادند (جدول ۷). بیشترین مقدار عددی درصد روغن در مزرعه تهران و در تیمار نانو کلات آهن ۴ در هزار به‌همراه نانو کلات روی ۳ در هزار مشاهده گردید (جدول ۸). طبق جدول مقایسه گروهی بین تمام ترکیب‌های تیماری (بجز شاهد با کلات‌های آهن و روی) اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید (جدول ۹). در رابطه با عملکرد روغن، نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرهای اصلی و برهم‌کنش تیمارهای مورد بررسی بر عملکرد روغن معنی‌دار بود (جدول ۵). به‌طوری که برش‌دهی سطوح مختلف روی در هر سطح آهن در هر دو مزرعه اختلاف معنی‌دار نشان دادند (جدول ۷).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸- مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح روی در هر سطح آهن برای برخی صفات کیفی مورد بررسی

Fe	Zn	نشت سلولی (٪)		پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)		آنتوسیانین (میکرومول بر گرم وزن تر)		درصد روغن		عملکرد روغن	
		تهران	گنبد کاووس	تهران	گنبد کاووس	تهران	گنبد کاووس	تهران	گنبد کاووس	تهران	گنبد کاووس
Fe1	Zn1	۳۸/۸۴b	۳۳/۱۱b	۶/۰۳b	۸/۰۷b	۵/۴۵b	۴/۰۹b	۱۱۹۴/۸۳b	۱۷/۰۷b	۱۷/۴۷b	۱۸۰۴/۷۵b
	Zn2	۳۶/۲۸c	۳۰/۱۳c	۵/۴۹c	۷/۷۹c	۵/۲۹c	۳/۹۲c	۲۳۱۸/۵۳a	۱۷/۷۱a	۱۸/۱۱a	۲۶۰۷/۳۵a
	Zn3	۴۰/۰۴a	۴۳/۴۴a	۶/۴۴a	۸/۷۴a	۷/۵۲a	۶/۰۹a	۷۵۷/۱۱c	۱۵/۳۴c	۱۵/۷۵c	۱۳۲۵/۹۵c
Fe2	Zn1	۳۵/۷۸b	۲۹/۵۵b	۴/۸۵b	۷/۱۵b	۴/۱۱b	۳/۳۳b	۳۵۱۴/۸b	۱۹/۶a	۱۹/۰۱a	۳۲۳۷/۹a
	Zn2	۳۲/۶۸b	۲۸/۸۹c	۴/۸۴b	۶/۴۷b	۴/۱۳b	۳/۰۰۶b	۴۰۹۹/۲a	۱۹/۶۲a	۲۰/۰۳a	۴۲۷۲/۱a
	Zn3	۴۴/۲۲a	۳۷/۹۹a	۶/۰۹a	۸/۳۹a	۷/۳۹a	۵/۷۶a	۹۹۴/۷c	۱۵/۶۴b	۱۶/۰۵b	۱۰۸۰/۷b
Fe3	Zn1	۶۲/۵۷a	۵۶/۴۸a	۱۰/۹۸a	۱۳/۲۲b	۹/۵۱b	۸/۳۷a	۴۴۹/۶۲a	۱۳/۹۸b	۱۴/۳۸b	۵۰۳/۲۸b
	Zn2	۵۵/۸۳b	۴۵/۱۷b	۷/۱۷b	۹/۴۶c	۸/۰۶c	۶/۶۵b	۵۰۸/۱۳a	۱۴/۰۱a	۱۴/۴۱a	۶۵۵/۶a
	Zn3	۶۴/۷۲a	۵۷/۷۰a	۱۱/۵۱a	۱۳/۴۰a	۱۰/۶۲a	۸/۶۳a	۲۸۷/۴۸b	۱۳/۰۸c	۱۳/۴۷c	۳۲۹/۴۶c

Fe1= نانو کلات آهن ۱/۵ در هزار، Fe2= نانو کلات آهن ۴ در هزار، Fe3= کلات آهن ۳ در هزار

Zn1= نانو کلات روی ۱/۵ در هزار، Zn2= نانو کلات روی ۳ در هزار، Zn3= کلات روی۳ در هزار

www.SID.ir

Archive of SID

بیشترین مقدار عملکرد روغن در تهران و در تیمار نانو کلات آهن ۴ در هزار به‌همراه نانو کلات روی ۳ در هزار (۴۲۷۲/۱) و کمترین در گنبدکاووس و تیمار کلات آهن و کلات روی (۱۳/۴۱) مشاهده گردید (جدول ۸). مقایسه گروهی نشان داد بین تمام ترکیب‌های تیماری (بجز شاهد با کلات‌های آهن و روی در گنبدکاووس) اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۹).

جدول ۹- تجزیه واریانس مقایسه اورتوگونال تیمارهای آزمایش بر برخی صفات

منابع تغییر	df		نشت سلولی	پرولین	آنتوسیانین	درصد روغن	عملکرد روغن
شاهد–**fe1zn1**	۱	تهران	۲۳۵۳/۰۹**	۱۲۱/۹۹**	۴۳**	۱۹۹۹۶۰۷/۶۶**	۲۹/۱**
		گنبدکاووس	۱۳۹۰/۸۱**	۶۷/۶۴**	۴۵/۴۹**	۲۵/۰۳**	۴۰۴۵۵۶۲/۸۳**
شاهد–**fe1zn2**	۱	تهران	۲۶۸۹/۵۲**	۱۳۸/۰۰۹**	۴۵/۷۳**	۸۳۲۵۲۳۲/۳۱**	۳۸/۹۰**
		گنبدکاووس	۱۶۷۴/۶۹**	۷۳/۳۶**	۴۸/۴۵**	۳۳/۵۰**	۸۹۴۰۰۰۲/۰۳**
شاهد–**fe1zn3**	۱	تهران	۱۲۳۶/۴۰**	۱۱۰/۳۲**	۱۴/۷۰*	۷۰۷۲۲۱/۸۵**	۹/۸۵**
		گنبدکاووس	۶۰۹/۷۹**	۵۴/۸۶**	۱۵/۵۸**	۸/۴۳**	۲۰۳۷۹۱۳/۷۵**
شاهد–**fe2zn1**	۱	تهران	۲۷۵۸/۳۱**	۱۵۸/۴۰**	۶۹/۰۱**	۱۹۸۱۶۸۰۲/۸۶**	۷۵/۷۳**
		گنبدکاووس	۱۷۳۳/۰۸**	۸۷/۳۵**	۵۸/۹۲**	۶۵/۳۶**	۱۴۱۲۸۳۷۴/۷۵**
شاهد–**fe2zn2**	۱	تهران	۳۲۰۱/۱۲**	۱۵۸/۶۲**	۶۸/۵۱**	۲۷۲۱۴۸۷۵**	۷۶/۴۲**
		گنبدکاووس	۱۸۰۱/۰۷**	۱۰۳/۳۷**	۶۵/۱۳**	۶۵/۹۶**	۲۵۱۹۹۷۷۲/۹۹**
شاهد–**fe2zn3**	۱	تهران	۱۷۱۹/۶۸**	۱۲۰/۱۷**	۱۶/۰۳**	۱۳۲۷۲۰۳/۴۵**	۱۲/۴۷**
		گنبدکاووس	۹۸۱/۸۹**	۶۱/۳۷**	۲۲/۱۷**	۱۰/۶۸**	۱۲۷۳۶۱۸/۲۳**
شاهد–**fe3zn1**	۱	تهران	۳۰۴/۱۱**	۲۰/۷۵**	۱/۵۲ns	۱۹۲۱۶۸۵/۵**	۱/۸۲**
		گنبدکاووس	۷۷/۴۱**	۳/۷۶**	۲/۳۲**	۱/۵۲**	۱۸۰۱۶۸/۳۷ns
شاهد–**fe3zn2**	۱	تهران	۶۹۰/۰۱**	۹۱/۲۵**	۹/۸۶ns	۲۶۵۱۹۷/۷**	۱/۹۳**
		گنبدکاووس	۵۱۰/۲۵**	۴۲/۵۳**	۱۳/۱۹**	۱/۶۲**	۳۷۲۳۳۴/۷۱**
شاهد–**fe3zn3**	۱	تهران	۲۱۳/۸۶**	۱۴/۹۱**	۰/۰۵ns	۵۱۱۰۷/۸۵**	۰/۰۳ns
		گنبدکاووس	۵۳/۳۳**	۲/۹۶**	۱/۴۸**	۰/۰۲ns	۴۵۱۶۷/۰۵ns
شاهد–ترکیب‌های تیماری	۱	تهران	۲۹۷۶/۴۲**	۱۹۱/۶۸**	۴۴/۰۳**	۷۳۷۱۰۲۰/۳۴**	۳۷/۴۷**
		گنبدکاووس	۱۴۵۷/۴۹**	۸۴/۰۸**	۴۴/۳۷**	۲۸/۳۰**	۶۸۲۲۲۲۷/۰۴**

www.SID.ir

Archive of SID

بحث

ارتفاع بوته

همانطور که در نتایج مشاهده گردید کاربرد نانوکلات‌ها موجب افزایش ارتفاع گیاه نسبت به فرم معمول (کلات) شد. نتایج حاصل از بررسی Baghaie و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که اثر نانو کود کلاته آهن به‌صورت محلول‌پاشی یک در هزار در مراحل مختلف رشد برنج بر ارتفاع بوته اثر معنی‌داری داشته است. همچنین Nazaran و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی نانو کود کلات آهن بر خصوصیات گندم، به این نتیجه رسیدند که محلول‌پاشی نانو کود آلی کلات آهن سبب افزایش ارتفاع گیاه نسبت به شاهد شده است. در آزمایشی دیگر مشاهده شد که کاربرد کود آهن باعث افزایش ارتفاع بوته‌های کلزا در مقایسه با عدم کاربرد شده است (Bayati *et al*., 2015). دو ویژگی سطح ویژه و سطح واکنش‌کنندگی بالا، واکنش‌پذیری نانو ذرات را افزایش داده که نتیجه آن بهبود توان جذب نانو کودها و حتی نانو سموم آفت‌کش و در نهایت افزایش صفات عملکردی می‌باشد (Chinnamuthu & Murugesa Boopathi, 2009). طبق گزارش برخی پژوهشگران ازجمله دلایل بهبود ارتفاع بوته‌های کلزا فراهمی مطلوب آهن در مراحل رویشی بوده که نتیجه آن توسعه بهتر سطح برگ و بهبود فتوسنتز جاری گزارش شده است (Bybordi & Mamedov, 2010). به‌طور کلی، افزایش ارتفاع به دلیل کود آهن مربوط به تأثیر این عنصر در فتوسنتز است که سبب افزایش ساخت کلروفیل در برگ‌ها می‌شود، در نتیجه فتوسنتز افزایش می‌یابد و مواد فتوسنتزی بیشتری به نقاط مختلف گیاه ازجمله ساقه‌ها وارد می‌شود و در نهایت ارتفاع گیاه افزایش می‌یابد (Nasiry *et al*., 2013).

تعداد شاخه جانبی

تعداد شاخه جانبی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر فرم عناصر و سطوح مورداستفاده آنها قرار گرفته است. محققان با استفاده توأم نانو کودهای آهن و روی در تراکم‌های مختلف کاشت روی گیاه کاسنی به تعداد شاخه فرعی بیشتری نسبت به شاهد دست یافتند (Sepehri & Vaziriamjad, 2015). در این رابطه محققان دیگری نیز نشان دادند که محلول‌پاشی آهن و روی در نعناع شیرین تحت تنش شوری موجب افزایش تعداد شاخه‌ها گردید (Aghdasi *et al*., 2018). در تحقیقات قبلی اثر مثبت محلول‌پاشی کودهای آهن و روی در افزایش تعداد شاخه‌های جانبی گیاه آنیسون و ریحان گزارش شده است، که دلیل آن تأثیر این عناصر بر مقدار کلروفیل برگ و اسید ایندول استیک است (Nazari *et al*., 2012؛ Pirzad *et al*., 2012).

عملکرد دانه

در این پژوهش با مصرف عناصر به شکل نانو و افزایش دوز مصرفی میزان عملکرد افزایش یافته است. محلول‌پاشی نانو کود کلات روی و آهن در این آزمایش باعث تأمین این عناصر برای گیاه سیاه‌دانه و افزایش عملکرد شد. عنصر روی می‌تواند اثر مطلوبی بر فعالیت‌های فتوسنتزی برگ‌ها داشته باشد و باعث انتقال بهتر مواد فتوسنتزی شود (Yang *et al*., 2006). با توجه به نقش آهن و روی در برخی آنزیم‌ها و همچنین نقش مؤثر آنها در سنتز پروتئین‌ها می‌توان این افزایش عملکرد را توجیه کرد (Baghai & Maleki Farahani, 2013). همچنین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش جذب آهن و روی در تیمار نانو کلات منجر به افزایش صفات مربوط به عملکرد در این تیمار شده است (Pourgholam *et al*., 2013). انجام محلول‌پاشی نانو کلات آهن و منگنز می‌تواند با تحریک رشد و تقسیم‌سلولی، دانه را به یک مخزن قوی مبدل کرده، در نتیجه با پذیرفتن مواد فتوسنتزی بیشتر مقادیر ماده خشک بیشتری در دانه ماش ذخیره گردد (Izadi & Modares-Sanavi, 2018).

عملکرد زیستی

استفاده از عناصر آهن و روی موجب افزایش عملکرد زیستی در این پژوهش گردید. افزایش ماده خشک تولیدی در گیاهان تحت شرایط تغذیه مطلوب به‌صورت نانو کلات‌ها می‌تواند به‌دلیل گسترش بیشتر سطح برگ و نیز دوام سطح برگ آن باشد که با ایجاد منبع فیزیولوژیکی کارآمد برای

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده هر چه بیشتر از نور دریافتی باعث افزایش تولید ماده خشک شده است (Izadi & Modares-Sanavi, 2018). در یک تحقیق مشخص گردید که تیمارهای محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی به شکل نانو در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری عملکرد بیولوژیکی اسفرزه را افزایش داد (Ramroudi *et al*., 2011). نتایج تحقیقی نشان داد در اثر کمبود عناصر غذایی فتوسنتز به‌شدت کاهش می‌یابد که نتیجه نهایی آن کاهش رشد رویشی و زایشی و در نهایت کاهش عملکرد اقتصادی و بیولوژیک گیاه خردل می‌باشد (Pari *et al*., 2011).

شاخص برداشت

محلول‌پاشی نانو کلات آهن به میزان ۴ در هزار در مراحل رشد رویشی و زایشی سبب افزایش تولید ماده خشک در گیاه شده و به‌دلیل آن میزان شاخص سطح برگ نیز از طریق انتقال دوباره این مواد به اندام‌های رویشی و تولید سطح فتوسنتزکننده شده است. روی باعث بهبود تقسیم‌سلولی، فتوسنتز، تنفس، متابولیسم نیتروژن، سنتز پروتئین و فعالیت‌های فیزیولوژیکی می‌شود، همچنین آهن نقش اساسی در تنفس گیاه، فرایندهای فتوسنتز و ساختار کلروفیل دارد. کاربرد این عناصر موجب افزایش چشمگیر دانه‌ها، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت شده است (Jalal *et al*., 2020). البته افزایش شاخص برداشت به‌دنبال افزایش عملکرد دانه با محلول‌پاشی آهن و روی در ماش توسط Soni و همکاران (۲۰۲۰) و در ذرت توسط Gomaa و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش شده است. Pazaki و همکاران (۲۰۱۰) افزایش شاخص برداشت در کلزا را طی کاربرد عناصر آهن و روی به‌صورت نانو نسبت به فرم معمول گزارش کردند.

پرولین

در این آزمایش، بیشترین مقدار عددی این صفت در تیمار کلات آهن و سطوح مختلف روی به‌ویژه کلات روی مشاهده شد که مشخص گردید در مقایسه با سایر تیمارها، این تیمار از نظر انتقال آهن به گیاه ضعیف‌تر عمل کرده و گیاه با تنش کمبود آهن بیشتری مواجه بوده است. پرولین یکی از اسیدهای آمینه است که در پاسخ به اغلب تنش‌ها در گیاه تجمع می‌یابد. پژوهشگران چند دلیل را برای تجمع پرولین در گیاهان در شرایط تنش بیان کردند. برخی بیوسنتز ABA در ریشه و انتقال آن به قسمت‌های هوایی گیاه را به‌عنوان سیگنالی برای تجمع پرولین می‌دانند و برخی نیز عقیده دارند که پراکسید هیدروژن تولید شده در طول تنش، سیگنالی برای تجمع پرولین است (Vert, 2002). در صورت کمبود آهن، ABA و H_2O_2 در گیاه ساخته می‌شود و سبب تولید سینگال‌های تجمع پرولین می‌گردد.

آنتوسیانین

در بررسی Farsi و همکاران (۲۰۱۸) کاربرد عنصر روی با افزایش بیوسنتز آنتوسیانین و افزایش تحمل گیاه موجب افزایش محتوای کلروفیل شد. نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهند که محلول‌پاشی روی احتمالاً از طریق تحریک بیان برخی ژن‌ها که مسئول نسخه‌برداری از آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز ترکیب‌های آلی در گیاهان هستند موجب افزایش سنتز آنتوسیانین می‌شوند (Song *et al*., 2015). به‌دلیل افزایش مقدار رنگدانه‌های غیرآنزیمی با کاربرد آهن از تخریب کلروفیل‌ها جلوگیری شده و به‌طور غیرمستقیم مقدار آنتوسانین افزایش یافت (Yousefzadeh *et al*., 2016). بنابراین به‌نظر می‌رسد کاربرد نانو کلات آهن تأثیر مثبتی در افزایش میزان آنتوسیانین داشته است که احتمالاً این افزایش می‌تواند با جلوگیری از آسیب به کلروفیل به افزایش فتوسنتز گیاه منجر شود. در این پژوهش نیز در هماهنگی با یافته‌های فوق، با کاربرد نانو کلات‌ها و سطوح مصرفی بالاتر، میزان آنتوسیانین افزایش یافت.

درصد روغن، عملکرد روغن

از آنجایی که تولید روغن برای دانه‌های روغنی نیاز به انرژی بسیار بیشتری در مقایسه با تولید نشاسته در غلات

www.SID.ir

Archive of SID

دارد، بنابراین وجود سطح سبزینه مطلوب و فعال که توان فتوسنتزی بالایی داشته باشد به دلیل بهبود انرژی در گیاه، اثر مطلوب‌تری بر این صفت کیفی خواهد داشت (Grewal & Graham, 1999). پایین بودن میزان روغن در شرایط کمبود عناصر آهن، روی و منگنز موجب کاهش میزان فتوسنتز و در نتیجه کمتر بودن اسکلت‌های کربن برای ساختن اسیدهای چرب می‌شود (Rezaee Chapane *et al*., 2015). روی باعث افزایش متابولیسم چربی‌ها و افزایش درصد روغن می‌شود و آهن در ترکیب آنزیم‌های فتوسنتزی و تنفسی و همچنین در متابولیسم گیاه نقش دارد و از این طریق بر میزان روغن تأثیر می‌گذارد. البته احتمالاً کمبود روی باعث جلوگیری از فعالیت تعدادی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شود که منجر به خسارتهای شدید و گسترده به غشای لیپیدی می‌شود، ازاین‌رو کمبود عنصر روی می‌تواند باعث کاهش میزان روغن شود. کاربرد آهن در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری درصد روغن دانه کلزا را بهبود داد (Singh & Sinha, 2005). این پژوهشگران بهبود درصد روغن را ناشی از تأثیر مثبت آهن در فرایند تشکیل اسیدهای چرب بیان کردند. همچنین افزایش عملکرد روغن در شرایط کاربرد عناصر ریزمغذی به این دلیل است که عملکرد روغن تابعی از درصد روغن و عملکرد دانه می‌باشد، چون عناصر ریزمغذی آهن و روی سبب افزایش درصد روغن و عملکرد دانه گردید و عملکرد روغن را نیز افزایش داد.

به‌طور کلی می‌توان گفت، استفاده از کلات‌های آهن و روی به شکل نانو کلات نسبت به شکل معمول و شاهد بیشترین تأثیر را بر صفات مورد بررسی کمّی و کیفی در گیاه دارویی سیاه‌دانه داشتند و در بین غلظت‌های مورد بررسی نانو کلات آهن ۴ در هزار و نانو کلات روی ۳ در هزار بیشترین مقدار عددی را در این صفات نشان دادند. در بین تیمارهای مورد بررسی ایجاد تنش غذایی در تیمارهای کلات در مقایسه با شکل نانو مشاهده گردید. به‌طوری که با مصرف کود به‌صورت نانو کلات، جذب و انتقال مواد فتوسنتزی و هورمون‌های تحریک‌کننده رشد افزایش می‌یابد و مجموعه این عوامل سبب افزایش عملکرد می‌گردد. به‌طور کلی نتایج این آزمایش نشان می‌دهد سیاه‌دانه گیاهی است که به کمبود آهن حساس بوده و کاربرد آهن و روی به‌صورت شکل نانو اثر بسیار مثبتی بر عملکرد دانه و درصد روغن دارد.

منابع مورد استفاده

- Abedi Babaarabi, S., Movahhedi Dehnavi, M., Yadavi, A.R. and Adhami, E., 2012. Effects of Zn and K foliar application on physiological traits and yield of spring safflower under drought stress. Electronic Journal of Crop Production, 4(1):75-95.
- Aghdasi, S., Modarres-Sanavy, S.A., Agha Alikhani, M. and Keshavarz, H., 2018. The effect of dehydration and foliar application of fe and mn on some physiological and quantitative and qualitative traits of green Mung Bean forage (*vigena radiate* L.). Journal of Plant Process and Function, 7: 101-115.
- Ahmadizadeh, M., Shahbazi, H., Valizadeh, M. and Zaefizadeh, M., 2011. Genetic diversity of durum wheat landraces using multivariate analysis under normal irrigation and drought stress conditions. Afrcan Journal Agriculture Reserch, 6(10): 2294-2302.
- Baghaie, N., Keshavarz, N. and Nazaran, M.H., 2011. Effect of nano iron chelate fertilizer on yield and yield components of Rice (*Shiroudi cultivar*). First National Conference on New Issues in Agricultur, Islamic Azad University, Saveh Branch, Saveh, 8 November: 29.
- Baghai, N.A. and Farahani, S., 2013. Comparison of iron chelate fertilizer with fundamentals of micro and nano on quantitative yield and allocation of Photosynthesis material of farming saffron (*Crocus sativus* L.). Saffron Research, 1: 169-156.
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Journal of Plant Soil, 39: 205-207.
- Bayati, F., Ayene-band, A. and Fateh, A., 2015. The effect of nano iron fertilizer application values and times on yield and yield components of rapeseed. Iranian Journal of Field Crops Research, 12: 805-812.
- Ben Hamed, K., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A. and Abdelly, C., 2007. Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. Plant Growth Regulation, 53: 185-194.

www.SID.ir

Archive of SID

- Monica, R.C. and Cremonini, R., 2009. Nanoparticles and higher plants. International Journal of Cytology, Cytosystematics and Cytogenetics. 62: 161-65.
- Naderi, M., Danesh-Shahraki, A. and Naderi, R., 2013. The role of nanotechnology in improving the use efficiency of nutrients and chemical fertilizers. Environmental nanotechnology, Monitoring and Management, 11(12): 16-32.
- Nadernejad, N., Ahmadi moghadam, A., Hossyinifard, J. and Poorseyedi, S., 2013. Study of the rootstock and cultivar effect in pal activity, production of phenolic and flavonoid compounds on flower, leaf and fruit in pistachio (*Pistacia vera* L.). Journal of Plant Biology, 15: 95-110.
- Nasiry, Y., Salmasi, S., Nasrolahzadeh, S.Z., Ghasemi, K., Najafi, N. and Javanmard, A., 2013. Evaluation of the effect of foliar application of iron and zinc sulfate on the performance of german chamomile flowers and the concentration of nutrients in the aerial part of german chamomile. Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 23(3): 105-115.
- Nazaran, M., Khalaj, H., Labafi, M., Shams abadi, V. and Razazi, A., 2009. Effect of foliar application time of chelated iron nano fertilizer on quantitative and qualitative properties of dry wheat. Second National Conference on Nanotechnology Application in Agriculture, Karaj, 7-8 October: 12.
- Nazari, M., Mehrafarin, A., Naghdi Badi, H. and Khalighi-sigaroodi, F., 2012. Morphological traits of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) as influenced by foliar application of methanol and nano-iron chelate fertilizers. Scholars Research Library, Annals of Biological Research, 3(12): 5511-5514.
- Pari, I., Moussavi, M., Tavassoli, A., Rastegaripour, F. and Babaiyan, M., 2011. Effect of irrigation frequency and application levels of sulphur fertilizer on water use efficiency and yield of Indian mustard (*Brassica juncea*). African Journal of Biotechnology, 10(55): 11459-11467.
- Pazaki, A., Sherani Rad, A., Habibi, A., Purebred, D. and Haj Seyyed Hadi, M., 2010. Influence of iron decomposition times on yield and yield components of cultivars fall rapeseed in Rey. Journal of Agriculture and Plant Breeding, 1: 35-42.
- Peyvandi, M., Parande, H. and Mirza, M., 2011. Comparison of nano fe chelate with fe chelate effect on growth parameters and antioxidant enzymes activity of *Ocimum basilicum*. New Cellular and Molecular Biotechnology Journal, 4: 89-99.
- Phulwaria, R., Kaushal, K., Kumar Sharma, A., Mishra, R. and Soni, P., 2018. A review on folklore use and therapeutic indications of *Nigella Sativa* a
- Bybordi, A. and Mamedov, G., 2010. Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). Notulae Scientia Biologicale, 2(1): 94-103.
- Chinnamuthu, C.R. and Murugesa Boopathi, P., 2009. Nanotechnology and agroecosystem. Madras Agricultural Journal, 96(1-6): 17-31.
- Davazdah Emami, S. and Majnoon Hoseini, N., 2003. Agriculture and Production of Some Herbs and Spices. University of Tehran Publications, 300p.
- Farsi, M., Abdollahi, F., Salehi, A. and Ghasemi, S.H., 2018. The study of physiological characteristics of one year old marjoram (*Origanum majorana*) In response to zinc in drought stress conditions. Birjand Environmental Stresses, 10(4): 559-570.
- Ghorbanpour, M., 2015. Major essential oil constituents, total phenolics and flavonoids content and antioxidant activity of *Salvia officinalis* plant in response to nano-titanium dioxide. Indian Journal Plant Physiology, 20(3): 249- 256.
- Gomaa, M.A., Kandil, E.E., Amera, M. and Ibrahim, M., 2020. Response of maize to organic fertilization and some nano-micronutrients. Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, 11(1): 13-20.
- Grewal, H.S. and Graham, R., 1999. Residual effect of subsoil zinc and oil seed rape genotype on the grain yield and distribution of zinc in wheat. Plant and Soil, 207: 29-36.
- Hafez, B., Khanif, Y.M. and Saleem, M., 2013. Role of zinc in plant nutrition. American Journal of Experimental Agriculture, 3: 374-391.
- Hayyawi, W., Al-juthery, A., Abdulkareem, H., Fadhil, K., Radhi, F., Hussein, M. and Khaeim, M., 2019. The response of wheat to foliar application of nano micro nutrients. Plant Archives, 19: 827-831.
- Izadi, Y. and Modares-Sanavi, S.A.M., 2018. Effect of nano iron and manganese fertilizers on mung Bean growth and yield in water deficit stress condition. Iranian Journal of Field Crops Research, 16(3): 651-664.
- Jalal, A., Hussain, Z., Khan, A. and Ilyas, H., 2020. Yield and phenological indices of wheat as affected by exogenous fertilization of Zinc and Iron. Agronomy, 15(1): 1-8.
- Jam, A., Ebadi, A. And Parmon, G., 2015. The role of iron and zinc on tuber yield and yield components of potato. Journal of Crop Ecophysiology, 7: 177-190.
- Leal, F., Rodrigues, A., Fernandes, D., Nunes, F.M., Cipriano, J., Ramos, J., Teixeira, S., Vieira, S, Carvalho, L.M. and Pinto-Carnide, O., 2009. Invitro multiplication of *calendula arvensis* for secondary metabolites extraction. Acta Horticulture, 812: 251-256.

www.SID.ir

Archive of SID

- Seyed Jamali, Z.A., Astaraei, R. and Emami, H., 2013. The effect of humic acid and compost on the absorption of some micronutrients in basil (*Ocimum basilicum* L.). First National Conference on Sustainable Farming of Medicinal Plants, Hamedan, Iran, 10 October: 1-8.
- Singh, S. and Sinha, S., 2005. Accumulation of metals and its effects in (Brassica juncea L.) Czern. (cv. Rohini) grown on various amendments of tannery waste. Ecotoxicolgy and Environmental Safety, 62: 118-127.
- Song, C.Z., Liu, M.Y., Meng, J.F., Chi, M., Xi, Z.M. and Zhang, Z.W., 2015. Promoting effect of foliage sprayed zinc sulfate on accumulation of sugar and phenolics in berries of vitis vinifera cv, merlot growing on zinc deficient soil. Molecules, 20: 2536-2554.
- Soni, J. and Kushwaha, H.S., 2020. Effect of foliar spray of zinc and iron on productivity of mungbean *Vigna radiata* L. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 9(1): 108-111.
- Sudhagar, G.B., Immanuel, R., Ramesh, S., Baradhan, G. and Sureshkumar, S.M., 2019. Effect of zinc and iron fertilizartion on growth and development of rice. Plant Archives, 19: 1877-1880.
- Vert, G., 2002. IRT1 an arabidopsis transporter essential for iron uptake from the soil and for plant growth. Plant Cell Journal, 14(6): 1223-1233.
- Yang, F., Hong, W., You, J., Liu, C., Gao, F.Q., Wu, C. and Yang, P., 2006. Influences of nanoanatas tio on the nitrogen metabolism of growing spinach. Biological Trace Element Research, 110: 179-190.
- Yousefzadeh, S., Naghd abadi, H. and Sabbaghnia, N., 2016. The effect of iron nanocolate spray on the physiological and chemical properties of lemongrass. Journal of Medicinal Plants, 15(4): 152-160.
miracle herb. World Journal of Pharmaceutical Research, 7: 1369-1379.
- Pirzad, A., Tosi, P. and Darvishzade, R., 2012. The effect of foliar application of iron and zinc elements on plant properties and essential oil anise. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 15(1): 12-23.
- Pourgholam, M., Nemati, N. and Oveysi, M., 2013. Effect of zinc and iron under the influence of drought on yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.). Annals of Biological Research, 4(4):186-189.
- Ramroudi, M., Kikhazhale, M., Gloy, M., SaghatolEslami, M.J. and Baradaran, R., 2011. Effect of micro-nutrient spraying and irrigation regimes on quantitative and qualitative performance of medicinal plant (*Plantago ovata* Forsk.). Journal of Agroecology, 3: 219-226.
- Rezae, A., Nasri, M. and Goshchi, F., 2016. The effect of micronutrients (Fe, Zn and Mn) on the quantity and quality of the stevia (*Stevia rebaudiana*). Agricultural Research in the Desert, 13(4):275-284.
- Rezaee Chapane, A., Zahtab Salmasi, S., Pirzad, A.R. and Rahimi, A., 2015. Solution effect of micronutrients, iron, zinc and manganese on yield, yield components and grain oil (*Calendula officinalis* L.). Journal of Horticultural Science, 29(1):95-102.
- Rout, G.R., Das, A.B. and Sahoo, S., 2014. Screening of iron toxicity in rice genotypes on the basis of morphological, physiological and biochemical analysis. Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences, 2: 567-582.
- Sepehri, A. and Vaziriamjad, Z., 2015. The Effect of iron and zinc nano fertilizers on quantitative yield of chicory (*Cichorium inyubus* L.) in different crop densities. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 25(1): 61-74.

www.SID.ir

Archive of SID

Effects of nano and common forms of iron and zinc chelates on some characteristics of medicinal plant black cumin (*Nigella sativa* L.)

S.H. Davoodi[1*], A. Biyabani[2], A. Rahemi Karizaki[2], A.M. Modares Sanavi[3], E. Gholamalipor Alamdari[2] and M. Zaree[2]

1*- Corresponding, author, Ph.D. student Plant Physiology, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
E-mail: davoodi.f@yahoo.com
2- Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
3- Department of Plant Production, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: February 2020 Revised: May 2020 Accepted: June 2020

Abstract

To investigate the effect of iron and zinc chelates on some quantitative and qualitative characteristics of medicinal plant black cumin (*Nigella sativa* L.), a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications in two areas (the research farm of 1- Gonbad Kavous University in Golestan province and 2- Agriculture Faculty of Tarbiat Modares University in Tehran province). Experimental treatments included control (spray with pure water), and separate foliar spray of iron: iron nano-chelate at two levels of 1.5 and 4 per 1000 and iron chelate at 3 per 1000 and zinc: zinc nano-chelate at two levels of 1.5 and 3 per 1000 and zinc chelate at 3 per 1000. The treatments were applied in the 8-10 leaf stage and at the time of filling the capsules. The application of nano forms of iron and zinc chelates compared to the common forms had a significant relationship with yield and yield components and qualitative characteristics and increased them. Concentrations of 4 per 1000 of iron nano-chelate and 3 per 1000 of zinc nano-chelate caused the highest increase in seed yield (217.47 g m^{-2} in Gonbad and 288.67 g m^{-2} in Tehran), biological yield (582 g m^{-2} in Gonbad and 337.2 g m^{-2} in Tehran), harvest index (37.43% in Gonbad and 76.46% in Tehran), and oil percentage and yield. The highest numerical values for cell leakage (57.70 µmol g^{-1}FW in Gonbad and 64.72 µmol g^{-1}FW in Tehran) and prolin (13.40 mg g^{-1}FW in Gonbad and 11.51 mg g^{-1}FW in Tehran) were related to iron and zinc chelate treatments (common forms). Based on the results, the application of the nano form of iron and zinc, even at low concentrations, could positively affect the quantitative and qualitative yield.

Keywords: Iron, zinc, black seed (*Nigella sativa* L.), chelate, nano.

www.SID.ir