نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال چهاردهم / شماره اول / بهار ۱۴۰۳/ مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۴۷ تا ۶۱

اثر تغذیه برگی کلات و نانو کود آهن و روی بر رشد و عملکرد ماش (*Vigna radiate* L.)

صفورا نوری منش[۱] و علی سپهری[۲*]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶)

چکیده

عناصر ریزمغذی نقش کلیدی در تشکیل کلروفیل، فتوسنتز، تنفس، سیستم آنزیمی و فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه داشته و کمبود آنها اثرات مخربی بر رشد، تولید و عملکرد گیاه دارد. این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بر گیاه ماش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینای همدان در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو رقم گوهر و پرتو و محلول‌پاشی کلات روی، کلات آهن، نانو کود روی، نانو کود آهن و شاهد (محلول پاشی با آب) بودند. نتایج نشان داد بیشترین بیشینه شاخص سطح برگ (۳/۱۲) و بیشینه سرعت رشد محصول (۱۶/۲ گرم بر مترمربع در روز) و دوام سطح برگ (۱۵۷ روز) با رقم گوهر و محلول‌پاشی نانو کود روی حاصل شد. نانو کود روی بیشترین تأثیر را در تعداد غلاف در بوته (۲۱/۷)، تعداد دانه در غلاف (۸/۰۸) و تعداد دانه در بوته (۱۶۴) رقم گوهر داشت که نسبت به شاهد، به‌ترتیب افزایش ۳۲، ۲۲ و ۳۷ درصدی نشان داد. بیشترین عملکرد زیستی (۸۵۹۹ کیلو گرم در هکتار) با رقم گوهر و محلول‌پاشی نانو کود روی و سپس با نانو کود آهن حاصل شد. بیشترین عملکرد دانه (۲۶۵۷ کیلو گرم در هکتار) در رقم گوهر و با محلول‌پاشی نانو روی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با رقم پرتو نداشت و به‌ترتیب سبب افزایش ۳۸ و ۳۵ درصدی عملکرد دانه در دو رقم مذکور نسبت به شاهد شد. بیشترین شاخص برداشت نیز با رقم گوهر و محلول‌پاشی نانو کود روی با افزایش ۲۴ درصدی نسبت به شاهد حاصل شد. محلول‌پاشی کودهای آهن و روی سبب افزایش قابل‌توجه در رشد، عملکرد زیستی و دانه و همچنین محتوای این عناصر در دانه هر دو رقم مورد بررسی شدند. ولی به‌ترتیب تاثیر نانوکودهای روی و آهن بر صفات مورد بررسی در رقم گوهر بیشتر از رقم پرتو بود.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، شاخص‌های رشد، عملکرد دانه، محلول‌پاشی، عناصر ریز مغذی

۱ و ۲. به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Sepehri2748@gmail.com; a_sepehri@basu.ac.ir

مقدمه

با توجه به کمبود پروتئین در برنامه غذایی کشورهای در حال توسعه، حبوبات به‌عنوان دومین منبع غذایی پس از غلات، در بهبود امنیت غذایی مردم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ماش (*Vigna radiata* L.) به‌عنوان یکی از حبوبات سرشار از فسفر و پروتئین دارای ارزش غذایی بالایی بوده و با توجه به کوتاهی دوره رشد و عملکرد نسبتاً خوب، نقش مثبتی نیز در بهبود حاصلخیزی خاک دارد (۲۴). علاوه بر این پژوهش‌ها نشان داده کشت ماش سبب جلوگیری از فرسایش خاک شده و علوفه خوش خوراکی نیز برای دام و سیلو فراهم می‌کند(۲۲).

امروزه ثابت شده عناصر ریزمغذی آهن و روی با بهبود فرآیندهای مهم فیزیولوژیک مانند بهبود دوام سطح برگ و فتوسنتز باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شوند (۶). نتایج تحقیقات متعدد حاکی از تأثیر مناسب کاربرد ریزمغذی‌ها در افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی است (۶ و ۳۵). از مهم‌ترین نقش ریزمغذی‌ها، می‌توان به ایجاد توازن در فعالیت‌های فیزیولوژی گیاه و نقش حیاتی در فعالیت‌های سیستم ایمنی گیاه اشاره کرد. این عناصر نقش مهمی در تقسیم سلول، توسعه بافت‌های مریستمی، فتوسنتز، تنفس و افزایش سرعت رشد گیاه دارند (۴۱). گزارش شده است که مصرف برگی این عناصر ضمن رفع کمبود، سبب افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی می‌شود (۲۱). از سوی دیگر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی مانند روی، منیزیم، آهن و منگنز نسبت به مصرف خاکی آن‌ها برای رفع سریع کمبود، کاهش سمیت این عناصر در خاک و جلوگیری از تثبیت مناسب‌تر است. از این رو در راستای کاهش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، تغییر در منابع کودی و تغییر در روش کوددهی ضروری به‌نظر می‌رسد. محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی، روشی جایگزین جهت کاهش مصرف کود و خطرات زیست‌محیطی آنها است. با این روش، عناصر ریزمغذی در مدت زمان کوتاه به گیاه داده شده و به‌طور مستقیم در اختیار ساقه، برگ یا دانه قرار می‌گیرند (۱). محلول‌پاشی به‌عنوان یک روش جدید و کارا، لایه نازکی از عنصر مربوطه را به‌طور مستقیم و یکنواخت در سطح برگ و سایر اندام هوایی گیاه قرار می‌دهد (۲۷). در تغذیه برگی، عناصر غذایی به راحتی در دسترس بافت‌های گیاهی قرار گرفته و دست‌یابی به عملکرد بیشتر محقق می‌شود (۲۲).

در بین عناصر ریزمغذی، آهن (Fe) نقش کلیدی در تشکیل کلروفیل و فتوسنتز داشته و از اهمیت زیادی در سیستم آنزیمی گیاهان برخوردار است. بنابراین، کاربرد آن، اثرات مثبتی بر تولید ماده خشک و عملکرد گیاه دارد (۶). از مهم‌ترین اثرات کمبود آهن، کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی است که نتیجه‌ی آن افزایش نسبی کارتنوئیدها در مقایسه با کلروفیل بوده که درنهایت سبزینگی برگ‌ها و توان فتوسنتزی آنها را کاهش می‌دهد (۵). عنصر روی (Zn) نیز یکی از عناصر مهم ریزمغذی است که در سنتز تریپتوفان، پروتئین و ایندول استیک اسید، متابولیسم کربوهیدرات‌ها و بخشی از ساختار آنزیم‌ها مشارکت دارد (۲۶). کمبود روی می‌تواند رشد و عملکرد گیاهان زراعی را محدود سازد (۲۷). گزارش‌ها نشان می‌دهد عنصر روی بر فتوسنتز، تولید هورمون‌های رشد و تشکیل کلروفیل گیاه تأثیرگذار بوده و کمبود آن سبب کاهش کیفیت و کمیت محصول می‌شود (۳۳). از آن جایی که عنصر روی در خاک تثبیت و جذب آن به‌وسیله گیاه دشوار است، مصرف این عنصر به‌صورت محلول‌پاشی نسبت به مصرف خاکی آن ترجیح داده می‌شود (۳۰).

علاوه بر استفاده از عناصر ریزمغذی به‌صورت کلات، در سال‌های اخیر استفاده از نانو کودها نیز مرسوم شده است. نانو کودها دارای خواص مؤثر برای آزاد کردن مواد مغذی و عناصر بر اساس نیاز گیاه هستند. نانو کودها به‌دلیل سطح ویژه زیاد، سبک و کوچک بودن ذرات، واکنش‌پذیری زیاد و حلالیت بیشتر در محیط‌های مختلف به‌راحتی جذب می‌شوند (۳ و ۲۲). ذرات این کودها به‌دلیل داشتن قطر بسیار کم به‌سرعت در سطح برگ و منافذ روزنه‌ای گیاه جذب شده و به‌راحتی به بافت‌های دیگر منتقل می‌شوند (۲ و ۲۲). این مواد به‌عنوان جایگزین

کودهای مرسوم، عناصرغذایی را به‌تدریج و به‌صورت کنترل شده آزاد می‌کنند (۱۷ و ۳۸). لذا در این آزمایش علاوه بر کودهای کلات از نانوکودها نیز استفاده شده است. با توجه به اهمیت کشت ارقام ماش و همچنین نقش آهن و روی در تغذیه، متابولیسم و رشد گیاه و کارآیی بالای محلول‌پاشی در تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان هدف این پژوهش بررسی تاثیر محلول‌پاشی کلات و نانو کودهای آهن و روی بر رشد و عملکرد دو رقم ماش در شرایط اقلیمی همدان بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان انجام گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. از دو رقم ماش اصلاح شده (گوهر و پرتو) که از مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد دزفول تهیه شده بود (رقم گوهر به رنگ سبز روشن و قلوه‌ای شکل و رقم پرتو به رنگ سبز تیره و گرد، هر دو رقم مقاوم به بیماری و با دوره رشد حدود ۷۵ تا ۸۰ روز) به‌همراه پنج سطح محلول‌پاشی شامل کلات روی، کلات آهن، نانو کود روی، نانو کود آهن و محلول پاشی با آب (شاهد) استفاده شد. نانو کود روی حاوی ۱۲ درصد کلات روی با بنیان قوی و قابلیت جذب کامل از طریق برگ و نانو کود آهن حاوی نه درصد آهن کلاته با بنیان قوی و پایدار با میانگین قطر ذرات ۳۰ نانومتر و قابل‌حل در آب بود. عملیات تهیه زمین شامل شخم و دو دیسک عمود برهم و توزیع کودهای پایه‌ی نیتروژن از منبع اوره به میزان ۷۰ کیلوگرم و فسفر از منبع فسفات‌آمونیوم به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار که بر اساس توصیه کودی ارقام و آزمایش خاک، بود. آبیاری به‌صورت جوی و پشته‌ای و بر اساس مراحل مختلف رشد به فاصله هفت تا ده روز یکبار تنظیم شد. در هر واحد آزمایش پنج خط کاشت با فاصله ۵۰ سانتی‌متر و به طول شش متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت در اول خرداد انجام شد. بذور به فاصله پنج سانتی‌متر روی پشته‌ها به عمق سه سانتی‌متر کشت شدند و مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. طول دوره رشد گیاهان، با توجه به رقم و تیمارهای اعمال شده، بین ۷۵ تا ۸۰ روز متغیر بود ولی بوته‌های رقم پرتو حدود دو تا سه روز نسبت به رقم گوهر زودتر به مرحله رسیدگی رسیدند. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است.

محلول‌پاشی کلات و نانو کودهای آهن و روی با غلظت ۲ در هزار طی دو مرحله قبل از شروع گل‌دهی و در زمان غلاف رفتن گیاهان به‌وسیله سم‌پاش‌دستی با نازل بادبزنی و فشار ۰/۲ اتمسفر انجام شد (۹). غلظت‌های مصرفی طبق توصیه شرکت سازنده نانو کود (صدور احرار شرق- خضرا) و آنالیز خاک بود. به‌منظور اندازه‌گیری شاخص‌های رشد ۲۰ روز پس از کاشت، تعداد ۵ بوته از هر کرت انتخاب و به فاصله هر ۱۴ روز یک‌بار این عمل تکرار شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک برگ و کل گیاه، نمونه‌ها برای مدت ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و وزن خشک آن‌ها تعیین شد. همچنین، برای محاسبه شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد محصول (CGR) و دوام شاخص سطح برگ (LAID) از معادلات زیر استفاده شد.

در این معادله‌ها a، b، c، a'، b' و c' ضریب‌های معادله‌های مربوطه و T زمان بر حسب روز می‌باشد.

شاخص سطح برگ $$LAI = EXP\left(a' + b'T + c'T^2\right)$$

سرعت رشد محصول $$CGR = NAR \times LAI$$

دوام شاخص سطح برگ

$$LAID = \sum\left[\left(LAI_1 + LAI_2\right)/2\right) \times \left(T_2 - T_1\right)]$$

پس از رسیدگی فیزیولوژیک دانه، صفاتی از جمله تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت تعیین و محاسبه شدند. برای اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد، با رعایت حاشیه، حدود چهار مترمربع از هر کرت انتخاب شد.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک)

بافت خاک	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته pH	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	روی قابل جذب	آهن قابل جذب	کربن آلی	نیتروژن کل
			(میلی‌گرم بر کیلوگرم)				(درصد)	
سیلتی لومی	۱/۳۷	۷/۹۱	۱۰/۱	۳۲۰	۱/۲۶	۲/۴	۰/۷۸	۰/۱۳

نمونه‌هایی نیز شامل ۲۰ بوته به‌طور تصادفی از هر واحد آزمایشی برای ارزیابی اجزای عملکرد انتخاب شدند. عملکرد دانه برحسب ۱۴ درصد رطوبت محاسبه شد. از تقسیم عملکرد دانه (بر حسب کیلوگرم در هکتار) به عملکرد زیستی (بر حسب کیلو گرم در هکتار)، شاخص برداشت بر حسب درصد به‌دست آمد (۲۴). برای محاسبه محتوی عناصر روی و آهن دانه، غلظت عناصر پس از استخراج با اسیدکلریدریک ۲ نرمال از خاکستر دانه توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS (9.4) آنالیز و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

بیشینه شاخص سطح برگ (LAImax)

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که علاوه بر اثرات اصلی، برهم‌کنش عوامل مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد برای بیشینه شاخص سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۲). در بین تیمارهای مورد آزمایش، بیشترین مقدار شاخص سطح برگ معادل (۳/۱۲) در رقم گوهر با محلول‌پاشی نانو روی به‌دست آمد و کمترین مقدار شاخص سطح برگ معادل (۱/۹۱) در رقم گوهر و با محلول‌پاشی آب (شاهد) حاصل شد (جدول ۳). بیشینه شاخص سطح برگ در رقم گوهر با محلول‌پاشی نانو کود روی، افزایش ۳۸ درصدی نسبت به شاهد داشت (جدول ۳). در مقایسه دو رقم پرتو و گوهر، بیشینه شاخص سطح برگ با محلول‌پاشی نانو کود روی در رقم گوهر افزایش ۶ درصدی نسبت به رقم پرتو داشت. تیمار رقم گوهر با کود کلات روی، کلات آهن و نانو آهن نسبت به شاهد به‌ترتیب افزایش ۱۰، ۷ و ۱۶ درصدی در بیشینه شاخص سطح برگ نشان داد. همچنین، در رقم پرتو کودهای کلات روی، کلات آهن، نانو روی و نانو آهن به‌ترتیب افزایش ۱۳، ۷، ۲۷ و ۲۲ درصدی در بیشینه شاخص سطح برگ نسبت به شاهد داشتند (جدول ۴). علاوه بر این، محلول‌پاشی روی به‌صورت نانو نسبت به فرم معمول آن تأثیر بیشتری بر شاخص‌های رشدی گندم (*Triticum aestivum* L.) شامل شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول داشته است (۱۰). افزایش شاخص سطح برگ در اثر استفاده از نانو روی می‌تواند به‌دلیل افزایش اسید آمینه تریپتوفان و تولید هورمون ایندول‌استییک‌اسید باشد که عامل مؤثر در توسعه برگ‌هاست (۳۱).

بیشینه سرعت رشد محصول (CGR_{MAX})

نتایج جدول تجزیه واریانس در خصوص بیشینه سرعت رشد محصول نشان داد که اثرات اصلی رقم، محلول‌پاشی و برهم‌کنش آنها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در بین تیمارها بیشترین و کمترین CGR به میزان ۱۶/۲ و ۱۰/۳ گرم بر مترمربع در روز به‌ترتیب در تیمار رقم گوهر با محلول‌پاشی نانو کود روی و رقم گوهر بدون محلول‌پاشی مشاهده شد (جدول ۳). از سوی دیگر تیمار محلول‌پاشی نانو کود روی در رقم گوهر بیشینه CGR را حدود ۲۹ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (جدول ۳). نانو روی در مقایسه با کلات روی در رقم گوهر بیشینه CGR را ۱۱ درصد افزایش داد. همچنین استفاده از کلات روی، کلات آهن و

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رقم و محلول‌پاشی بر صفات بیشینه شاخص سطح برگ، بیشینه سرعت رشد محصول، دوام شاخص سطح برگ، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه درغلاف و تعداد دانه در بوته ماش

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		بیشینه شاخص سطح برگ	بیشینه سرعت رشد محصول	دوام شاخص سطح برگ	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	تعداد دانه در بوته
تکرار	۲	۰/۱۶**	۱۴۳**	۷۹۸**	۱۹/۲**	۵/۱۸**	۱۸۱۱*
رقم	۱	۰/۱۱**	۳/۶۸**	۱۰/۳**	۴/۸^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۱۷۷^{ns}
محلول‌پاشی	۴	۰/۸۴**	۲۳/۹**	۱۹۶۹**	۲۷/۳**	۱/۶**	۳۲۴۶**
رقم × محلول‌پاشی	۴	۰/۰۸**	۰/۶۷**	۳۱۷**	۱۴/۲**	۰/۵۴*	۱۸۶۹*
خطا	۱۸	۰/۰۰۷	۰/۰۲	۰/۰۵	۲/۷۳	۰/۱۶	۳۶۰
ضریب تغییرات ٪	–	۳/۲۶	۵/۰۹	۴/۱۷	۹/۰۱	۵/۶۷	۱۴/۳

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۳. مقایسه میانگین برهم‌کنش ارقام و محلول‌پاشی بر صفات بیشینه شاخص سطح برگ، بیشینه سرعت رشد محصول، داوم شاخص سطح برگ، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و تعداد دانه در بوته ماش

تیمار		بیشینه شاخص سطح برگ	بیشینه سرعت رشد محصول (گرم بر مترمربع در روز)	دوام شاخص سطح برگ (روز)	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	تعداد دانه در بوته
رقم	کود						
گوهر	کلات روی	۲/۴۸^{de}	۱۴/۵^{d}	۱۲۹^{g}	۲۱/۰^{ab}	۷/۱^{bcde}	۱۴۹^{ab}
	کلات آهن	۲/۴۱^{e}	۱۳/۷^{f}	۱۳۹^{e}	۱۹/۴^{abcd}	۶/۵۳^{de}	۱۲۶^{bc}
	نانو روی	۳/۱۲^{a}	۱۶/۲^{a}	۱۵۷^{a}	۲۱/۷^{a}	۸/۰۸^{a}	۱۶۴^{a}
	نانو آهن	۲/۶۰^{c}	۱۵/۵^{b}	۱۳۳^{f}	۱۸/۰^{bcde}	۷/۵^{ab}	۱۳۴^{bc}
	شاهد	۲/۲۵^{f}	۱۲/۵^{h}	۱۱۵^{i}	۱۶/۴^{ef}	۶/۶۳^{cde}	۱۱۹^{cd}
پرتو	کلات روی	۲/۵۴^{cd}	۱۳/۷^{f}	۱۴۱^{d}	۱۶/۰^{ef}	۷/۱۳^{bcde}	۱۱۴^{cd}
	کلات آهن	۲/۴۰^{e}	۱۳/۱^{g}	۱۲۶^{h}	۱۷/۶^{cde}	۷/۳۶^{abc}	۱۳۰^{bc}
	نانو روی	۲/۸۵^{b}	۱۴/۹^{c}	۱۵۱^{b}	۲۰/۴^{abc}	۷/۴^{abcd}	۱۴۹^{ab}
	نانو آهن	۲/۷۴^{b}	۱۴/۱^{e}	۱۴۹^{c}	۱۸/۶^{abcde}	۷/۹۶^{a}	۱۴۹^{ab}
	شاهد	۲/۲۴^{f}	۱۱/۳^{h}	۱۱۲^{i}	۱۶/۸^{de}	۶/۳۶^{e}	۱۰۶^{cd}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

نانو آهن نسبت به شاهد در رقم گوهر به‌ترتیب افزایش ۱۵، ۱۰ و ۲۴ درصدی بیشینه سرعت رشد محصول را به‌دنبال داشت. کلات روی، کلات آهن، نانو روی و نانو آهن نیز در رقم پرتو به‌ترتیب ۳۱، ۱۶، ۳۲ و ۲۵ درصدی افزایش سرعت رشد محصول را نسبت به شاهد داشتند (جدول ۳). مشاهده شد در گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) نیز عنصر روی سبب افزایش سرعت رشد محصول شده است (۳۷). به‌نظر می‌رسد دسترسی مطلوب به عنصر روی با افزایش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی

مانند آنزیم کربنیک‌آنهیدراز سرعت رشد گیاه را بهبود می‌دهد (۳۸). گزارش شده است که محلول‌پاشی نانو ذرات روی (۰/۵ درصد) از طریق افزایش سطح ایندول استیک اسید در گیاه نخود (*Cicer arietinum*) موجب افزایش سرعت رشد این گیاه شده است (۶). با توجه به قطر نانوذرات انتظار می‌رود سرعت جذب، انتقال و تجمع ذرات نانو بسیار بیشتر از ذرات معمول باشد (۴۲). لذا عنصر روی با افزایش فرآیند فتوسنتز سبب افزایش شاخص سطح برگ شده و این عامل می‌تواند باعث افزایش سرعت رشد محصول شود (۱۴).

دوام شاخص سطح برگ (LAID)

جدول تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی رقم، محلول‌پاشی و اثرات متقابل تیمارها در سطح احتمال یک درصد بر دوام شاخص سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد بیشترین دوام سطح برگ در رقم گوهر با محلول‌پاشی نانو کود روی (۱۵۷ روز) به‌دست آمد که افزایش ۳۶ درصدی نسبت به شاهد (۱۱۵ روز) داشت (جدول ۳). همچنین، در بررسی ارقام مشاهده شد که رقم گوهر با محلول‌پاشی نانو روی افزایش چهار درصدی دوام شاخص سطح نسبت به رقم پرتو با محلول‌پاشی نانو روی داشت. سایر کودهای مورد استفاده در رقم گوهر شامل کلات روی، کلات آهن و نانو آهن نسبت به شاهد به‌ترتیب افزایش ۱۲، ۲۱ و ۱۵ درصدی دوام شاخص سطح برگ را داشتند. علاوه بر این، در رقم پرتو کلات روی، کلات آهن، نانو روی و نانو آهن به‌ترتیب افزایش ۲۵، ۱۲، ۳۴ و ۳۲ درصدی دوام سطح برگ را نسبت به شاهد داشتند (جدول ۳). دوام سطح برگ، میزان تدوام بافت‌های فتوسنتز کننده را نشان می‌دهد و می‌تواند شاخص مناسبی از تولید باشد. گزارش شده است که میزان دوام شاخص سطح برگ بعد از گل‌دهی، شاخص مهم در ارزیابی قدرت منبع فتوسنتز جاری در پر شدن دانه است (۳۹). بدیهی است هر قدر شاخص سطح برگ بزرگ‌تر مدت زمان فعالیت برگ‌ها بیشتر خواهد بود. در گیاه لوبیا مشاهده شده با تأمین مناسب عنصر روی شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، دوام برگ و فتوسنتز گیاه افزایش می‌یابد (۳۷). همچنین اعلام شده محلول‌پاشی عنصر روی سبب بالا بردن فتوسنتز و دوام سطح برگ لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris*) شده است (۳۵). اظهار شده است که کاربرد نانو کود روی در غلظت‌های بالا سبب بهبود خصوصیات رشدی، سطح برگ و زیست توده گیاه ماش(*Vigna radiata*) و نخود (*Cicer arietinum*) می‌شود (۸). از سوی دیگر کمبود آهن نیز به‌عنوان یکی از عناصر ضروری رشد برای همه گیاهان سبب کاهش تشکیل کلروفیل در سلول‌های برگ شده و فتوسنتز به شدت کاهش یافته و دوام سطح برگ را نیز کاهش می‌دهد (۳۴).

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ویژگی تعداد غلاف در بوته در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر محلول‌پاشی و برهم‌کنش رقم با محلول‌پاشی قرار گرفت، ولی بین ارقام ماش در خصوص تعداد غلاف در بوته تفاوت معنی‌داری ملاحظه نشد (جدول ۲). بیشترین تعداد غلاف در بوته ماش در رقم گوهر با محلول‌پاشی نانو روی (۲۱/۷) حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد (محلول‌پاشی با آب) افزایش۳۲ درصدی را در پی داشت (جدول ۳). در مقایسه تعداد غلاف در بوته دو رقم گوهر و پرتو با محلول‌پاشی نانو روی، افزایش ۶/۲ درصدی در رقم گوهر نسبت به رقم پرتو مشاهده شد. محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی از جمله روی در گیاه سبب افزایش تولید گل‌های بارور شده و شرایط مناسب را برای افزایش فعالیت‌های هورمونی در غلاف‌های در حال رشد ایجاد می‌کند درنتیجه غلاف‌ها و دانه‌ها نسبت به سایر اندام‌های گیاه به‌عنوان مقصد فیزیولوژیکی قوی‌تر عمل کرده و مواد فتوسنتزی را بیشتر جذب می‌کنند (۶). در تأیید نتایج به‌دست آمده گزارش شده است که تغذیه گیاه با عنصر روی به‌دلیل افزایش ذخیره کربوهیدرات دانه‌گرده، باعث افزایش طول عمر آن و درنتیجه، موجب افزایش گرده‌افشانی و درنهایت تعداد بیشتر دانه در

غلاف می‌شود (۱۴). طبق نظر برخی محققین مصرف روی، از طریق کاهش درصد ریزش گل‌ها، افزایش دوره گل‌دهی، باروری و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر، موجب افزایش تعداد غلاف در بوته می‌شود. برای مثال مصرف روی در باقلا (*Vicia faba*) و ماش (*Vigna radiata*) نیز باعث افزایش تعداد غلاف در بوته شده است (۷ و ۳۱). دیگر محققان نیز افزایش تعداد غلاف در بوته در اثر محلول‌پاشی روی را گزارش نمودند (۴۱). به‌نظر می‌رسد عنصر روی از طریق افزایش سطح برگ، وزن خشک و طول دوره گل‌دهی باعث افزایش تعداد غلاف در گیاه می‌شود (۲۳). همچنین گزارش شده افزایش مصرف روی باعث افزایش ۲۹/۲ درصدی تعداد غلاف در بوته نسبت به تیمار شاهد در گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) شده است (۱۵).

تعداد دانه در غلاف

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس تعداد دانه در غلاف نشان داد که اثر ارقام مختلف بر این صفت معنی‌دار نبود ولی تعداد دانه در غلاف تحت تأثیر محلول‌پاشی و برهم‌کنش رقم با محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محلول‌پاشی عناصر مورد استفاده بر تعداد دانه در غلاف بوته‌های هر دو رقم افزوده است (جدول ۳)، به‌طوری‌که، بیشترین تعداد دانه در غلاف (۸/۰۸) در رقم گوهر با محلول‌پاشی نانو روی به‌دست آمد هر چند که با رقم پرتو و محلول‌پاشی نانو آهن اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). کمترین تعداد دانه در غلاف (۶/۳۶) در رقم پرتو و با محلول‌پاشی آب مشاهده شد. علت بیشتر شدن تعداد دانه‌ها در غلاف را می‌توان به عدم محدودیت منبع در شرایط مصرف کودهای ریزمغذی نسبت داد. همچنین غلظت مناسب ریزمغذی‌ها در گیاه از سقط بیش از حد دانه‌ها جلوگیری می‌کند. محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی باعث حفظ تعداد گل و تلقیح بهتر گل‌چه و درنتیجه تعداد دانه در بوته شده، از این رو تأثیر مثبتی بر این ویژگی دارد. گزارش شده است که تغذیه گیاه با عناصر ریزمغذی روی و آهن به‌دلیل افزایش ذخیره کربوهیدرات در دانه‌گرده، باعث افزایش طول عمر دانه‌گرده شده و درنتیجه منجر به افزایش تلقیح و تشکیل تعداد بیشتری دانه در غلاف می‌شود (۲۸). همچنین، بیان شده محلول‌پاشی عنصر روی به‌صورت نانو و غیر نانو در گیاه ماش (*Vigna radiata*) سبب تولید بیشتر دانه در غلاف شده ولی نانو ذرات روی نسبت به غیر نانو، به‌دلیل ثبات و پایداری بیشتر، در تشکیل دانه در غلاف موثرتر بوده است (۴۰). گزارشی دیگر نشان داده که محلول‌پاشی با عنصر روی با غلظت ۶ در هزار، تعداد دانه در غلاف لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش می‌دهد (۲۸). همچنین گزارش شده بیشترین تعداد دانه در غلاف لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) از مصرف نانو اکسید روی ۱/۲ گرم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمده است (۴).

تعداد دانه در بوته

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد بین دو رقم ماش مورد آزمایش از لحاظ تعداد دانه در بوته تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. با این حال اثرات محلول‌پاشی و برهم‌کنش رقم با محلول‌پاشی بر تعداد دانه در بوته به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین تعداد دانه در بوته (۱۶۴) در رقم گوهر با محلول‌پاشی نانو روی به‌دست آمد که سبب افزایش ۳۷ درصدی تعداد دانه در بوته نسبت به شاهد (محلول‌پاشی آب) شد. کمترین تعداد دانه در بوته (۸۹/۲) مربوط به رقم گوهر با محلول‌پاشی آب تعلق گرفت (جدول ۴). تعداد دانه در بوته در رقم گوهر با محلول‌پاشی نانو روی، ۱۰ درصد بیشتر از رقم پرتو بود. روی عنصری است که در مقادیر کم و حیاتی برای گیاه لازم بوده و فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه مانند آنزیم کربنیک‌آنهیدراز فتوسنتزی، آنزیم‌های دهیدروژناز، پروتئیناز و ساخت RNA به آن وابسته است. این فعالیت‌ها نقش مهمی در فرآیندهای فتوسنتزی و تشکیل کربوهیدرات و تشکیل دانه دارند (۲۵). گزارش شده محلول‌پاشی کلات روی با غلظت ۲ در هزار در گیاه نخود (*Cicer arietinum*) از سقط بیش از حد دانه‌ها

جلوگیری کرده و موجب افزایش و همچنین، حفظ تعداد گل و درنتیجه تعداد دانه در بوته می‌شود به‌طوری که با مصرف آن در مرحله قبل و حین گل‌دهی، درصد پوکی دانه‌ها کاهش و تعداد دانه در بوته افزایش می‌یابد (۶). گزارش شده مصرف عنصر روی در زمان گل‌دهی سبب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در غلاف و درنتیجه تعداد دانه در بوته ماش سیاه (*Vigna mungo*) شده است (۳۰). همچنین مصرف روی قبل از گل‌دهی با افزایش تعداد گلهای بارور و افزایش تعداد غلاف در بوته، افزایش تعداد دانه در بوته نخود (*Cicer arietinum*) را به‌دنبال داشته است (۳۱).

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد وزن هزار دانه دو رقم ماش به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر محلول‌پاشی عناصر قرار گرفت، همچنین برهم‌کنش رقم با محلول‌پاشی بر این صفت معنی‌دار بود اما، اثر ارقام بر وزن هزار دانه معنی‌دار نبود (جدول ۴). با توجه به مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارها مشخص شد اثر محلول‌پاشی نانو روی و نانو آهن بر وزن هزار دانه رقم پرتو بیشتر از بقیه تیمارها بود هر چند که اختلاف معنی‌داری با تیمار محلول‌پاشی کلات روی و کلات آهن در رقم گوهر نداشت (جدول ۵). کمترین وزن هزار دانه معادل ۳۷/۸ و ۳۸/۴ گرم به‌ترتیب متعلق به رقم پرتو و گوهر بود که با محلول‌پاشی آب حاصل شد (جدول ۵). مشخص شده است که روی و آهن با تأثیر بر میزان کلروفیل برگ و افزایش سنتز ایندول استیک اسید سبب تأخیر در پیری گیاه و درنتیجه طولانی شدن دوره فتوسنتز جاری در حین پر شدن دانه می‌شوند. این امر باعث بهبود تولید کربوهیدرات‌ها و انتقال آن‌ها به گل‌آذین‌ها و دانه‌های در حال رشد شده و درنتیجه رقابت بین دانه‌های در حال شکل‌گیری، برای دسترسی به مواد غذایی کاهش یافته و وزن دانه افزایش می‌یابد (۲۷). در تایید نتایج به‌دست آمده از آزمایش حاضر گزارش شده که محلول‌پاشی عنصر روی با افزایش تعداد سلول‌های گیاهی در دانه و به دنبال آن افزایش نیاز مخزن، سبب تجمع ماده خشک بیشتر در دانه‌های لوبیا می‌شود (۲۸). همچنین گزارش شده محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن و روی در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) سبب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی شده است (۱۹). در مطالعه حاضر افزایش وزن هزار دانه در اثر مصرف روی می‌تواند به‌دلیل افزایش مواد ذخیره شده و کاهش محدودیت منبع بوده که موجب سرازیر شدن مواد پرورده به سمت دانه می‌شود.

عملکرد زیستی

اثر ارقام ماش و محلول‌پاشی بر عملکرد زیستی گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین این ویژگی تحت تأثیر برهم‌کنش رقم با محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۴). به‌طورکلی رقم گوهر عملکرد زیستی بیشتری نسبت به رقم پرتو داشت. کمترین میزان عملکرد زیستی (۶۶۳۳ کیلوگرم در هکتار) متعلق به تیمار محلول‌پاشی با آب در رقم پرتو بود و بیشترین مقدار عملکرد زیستی (۸۵۹۹ کیلوگرم در هکتار) به رقم گوهر و با محلول‌پاشی نانو روی و سپس نانو آهن تعلق گرفت (جدول ۵). نانو روی و نانو آهن عملکرد زیستی را در رقم گوهر به‌ترتیب حدود ۲۲ و ۱۷ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. تیمارهای کودی کلات روی و کلات آهن نسبت به نانوکودها عملکرد زیستی را به مقدار کمتری افزایش دادند به‌طوری‌که در رقم پرتو کلات روی، کلات آهن، نانو روی و نانو آهن به‌ترتیب ۵، ۸، ۱۰، ۱۲ درصد عملکرد را نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۵). در پژوهش حاضر محلول‌پاشی نانو آهن و روی موجب افزایش بیشتر عملکرد زیستی در گیاه ماش شد که علت آن را می‌توان افزایش سطح جذب، دوام برگ و فتوسنتز، سرعت رشد محصول و درنهایت افزایش وزن خشک گیاه ذکر کرد (۴۰). در مطالعه‌ای بیان شد که محلول‌پاشی نانو کلات آهن با غلظت ۲ در هزار میزان عملکرد زیستی لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) را نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی حدود ۱۲درصد بهبود بخشیده

جدول ۴. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رقم و محلول‌پاشی بر صفات وزن هزار دانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، شاخص برداشت، محتوی روی دانه و محتوی آهن دانه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن هزار دانه	عملکرد زیستی	عملکرد دانه	شاخص برداشت	محتوی روی دانه	محتوی آهن دانه
تکرار	۲	۱۰۰**	۲۷۴۳۰۷۹**	۲۵۱۰۵۱**	۰/۰۰۲*	۵۵/۴**	۱۸۴**
رقم	۱	۱/۳۴^{ns}	۲۱۹۴۸۵۲**	۶۲۲۲۰*	۰/۰۰۷**	۱۳/۰*	۳۹/۹^{ns}
محلول‌پاشی	۴	۱۰/۹**	۱۵۳۹۷۱۶**	۶۷۰۶۷۱**	۰/۰۰۶**	۲۳۰**	۹۸۳**
رقم × محلول‌پاشی	۴	۱۷/۴**	۳۳۲۵۳۳*	۲۱۸۳۲۰**	۰/۰۰۲*	۰/۱۸۴^{ns}	۲/۷ ^{ns}
خطا	۱۸	۳/۶۹	۲۶۰۶۶۲	۱۷۹۸۲	۰/۰۰۰۷	۱/۲۹	۲۳/۲
ضریب تغییرات ٪	–	۵/۷۶	۶/۹۴	۶/۰۸	۹/۳۴	۶/۵۶	۷/۶۸

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار درسطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۵. مقایسه میانگین برهم‌کنش ارقام و محلول‌پاشی بر صفات وزن هزار دانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، شاخص برداشت

تیمار		وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)
رقم	کود				
گوهر	کلات روی	۴۳/۵^{a}	۷۰۷۲^{c}	۲۱۲۹^{d}	۳۰/۱^{b}
	کلات آهن	۴۰/۲^{ab}	۷۲۳۸^{c}	۲۲۰۴^{cd}	۳۱/۰^{ab}
	نانو روی	۳۹/۵^{bc}	۸۵۹۹^{a}	۲۶۵۷^{a}	۳۲/۰^{a}
	نانو آهن	۳۹/۴^{bc}	۸۱۹۲^{ab}	۲۱۲۶^{d}	۲۵/۹^{d}
	شاهد	۳۸/۴^{c}	۷۰۱۶^{c}	۱۹۲۲^{e}	۲۵/۷^{d}
پرتو	کلات روی	۳۹/۱^{bc}	۶۹۸۵^{c}	۱۹۲۸^{ef}	۲۶/۲^{d}
	کلات آهن	۳۸/۸^{c}	۷۰۸۲^{c}	۲۰۱۴^{de}	۲۸/۶^{cd}
	نانو روی	۴۳/۲^{a}	۷۲۱۸^{c}	۲۵۹۸^{ab}	۳۱/۷^{ab}
	نانو آهن	۴۲/۷^{ab}	۷۴۹۳^{bc}	۲۵۴۶^{ab}	۲۹/۶^{bc}
	شاهد	۳۷/۸^{c}	۶۶۳۳^{c}	۱۹۱۷^{ef}	۲۵/۹^{d}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

است (۴۶). همچنین در مطالعه تأثیر محلول‌پاشی کلات آهن ۶ درصد با غلظت ۳/۵ در هزار و کلات روی ۱۵ درصد با غلظت ۲/۵ در هزار بر صفات کمی و کیفی ارقام ارزن دانه‌ای (*Panicum miliaceum*)، عملکرد زیستی با محلول‌پاشی این عناصر افزایش پیدا کرده است (۱۶).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر ارقام ماش بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین، اثر محلول‌پاشی و برهم‌کنش رقم با محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۴). در

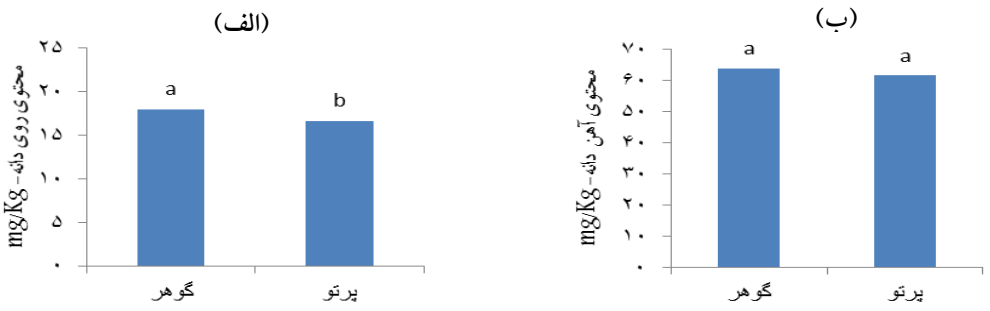
تیمارهای مختلف آزمایشی کمترین عملکرد دانه (۱۹۱۷ کیلوگرم در هکتار) در رقم پرتو با محلول‌پاشی با آب به‌دست آمد. بیشترین عملکرد دانه به ترکیب تیماری رقم گوهر با محلول‌پاشی نانوکود روی (۲۶۵۷ کیلوگرم در هکتار) تعلق گرفت که اختلاف معنی‌داری با رقم پرتو با محلول‌پاشی نانو کود روی و یا نانو کود آهن نداشت (جدول ۵). با توجه به این که اجزای مهم عملکرد دانه ماش در اثر محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی نانو روی و نانو آهن افزایش یافت، لذا می‌توان دلیل افزایش عملکرد دانه را افزایش اجزای مذکور ذکر کرد. قابل ذکر است کاربرد ریزمغذی‌های روی و آهن نقش قابل‌توجهی درتشکیل کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز داشته، لذا مواد فتوسنتزی بیشتری تولید و به سمت دانه‌ها، به‌عنوان مهم‌ترین مقاصد فیزیولوژیک، منتقل شده است. گزارش شده است که محلول‌پاشی با عنصر روی یکی از عوامل مهم افزایش وزن هزار دانه و عملکرد دانه در لوبیا است (۲۸). همچنین گزارش شده است که آهن و روی سبب افزایش تعداد ساقه‌های گل‌دهنده، تعداد دانه و عملکرد بذر سویا (*Glycine max*) می‌شود (۱۸). در مطالعه محلول‌پاشی عناصر روی و آهن منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد کنجد (*Sesamum indicum*) از قبیل تعداد و وزن دانه شده است (۳۳). پژوهش دیگری نشان داد که محلول‌پاشی با نانو کلات آهن و روی منجر به بهبود چشم‌گیر عملکرد دانه در رقم COS 16 لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) می‌شود (۳۴). اظهار شده است که کاربرد کود نانو آهن نیز در مقایسه با کود سولفات آهن به‌صورت محلول‌پاشی، ضمن بهبود وزن اندام‌های هوایی و وزن خشک غلاف‌ها سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه سویا می‌شود (۳۴). در گیاه عدس (*Lens culinaris*) نیز کاربرد روی سبب افزایش عملکرد دانه شده است (۱۲). با مصرف کود روی عملکرد دانه باقلا نیز افزایش یافته است (۷). در تایید نتایج حاضر، محققین در مطالعه‌ای با محلول‌پاشی عنصر روی بر گیاه سویا (*Glycine max*) به این نتیجه رسیدند که محلول‌پاشی روی منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه می‌شود (۲۹).

شاخص برداشت

در مورد شاخص برداشت نتایج حاکی از این بود که اثرات اصلی رقم و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش رقم با محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد برای این صفت معنی‌دار شدند (جدول ۴). با توجه به برهم‌کنش تیمارها مشخص شد که رقم گوهر با محلول‌پاشی نانو روی نسبت به سایر تیمارها دارای شاخص برداشت بالاتری بوده و با ترکیب تیماری رقم گوهر با محلول‌پاشی کلات روی اختلاف معنی‌داری نداشت و سبب افزایش ۲۴ درصدی شاخص برداشت نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۵). کمترین میزان شاخص برداشت (۲۵/۷ درصد) در رقم گوهر و محلول‌پاشی با آب مشاهده شد. در مطالعه‌ای با محلول‌پاشی عنصر روی بر لوبیا معمولی (*Phaseolus vulgaris*) مشخص شد که محلول‌پاشی این عنصر منجر به افزایش شاخص برداشت می‌شود (۱۵). همچنین، بهبود ویژگی شاخص برداشت در محلول‌پاشی آهن و روی در سورگوم دانه‌ای (*Sorghum bicolor*) نیز گزارش شده است (۲۰). بازده فیزیولوژیکی یک محصول برای تبدیل ماده خشک به عملکرد اقتصادی به وسیله شاخص برداشت تعیین می‌شود لذا شاخص برداشت بیانگر چگونگی تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام اقتصادی گیاه، نسبت به کل مواد تولیدی ذخیره شده در گیاه است. از آنجایی که یکی از اجزای محاسبه شاخص برداشت، عملکرد دانه است، تغییرات آن به تغییرات عملکرد دانه وابستگی زیادی دارد. مصرف عناصر ریز مغذی آهن و روی در امر تغذیه گیاه باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود (۱۱). این عناصر به‌علت افزایش تولید مواد فتوسنتزی، باعث افزایش شاخص برداشت در گیاه می‌شوند.

محتوی روی دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ارقام ماش بر محتوی روی دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین، اثر محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد بر محتوی روی دانه معنی‌دار شد، ولی برهم‌کنش رقم با



شکل ۱. محتوی روی (الف) و آهن دانه (ب) در ارقام گوهر و پرتو، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

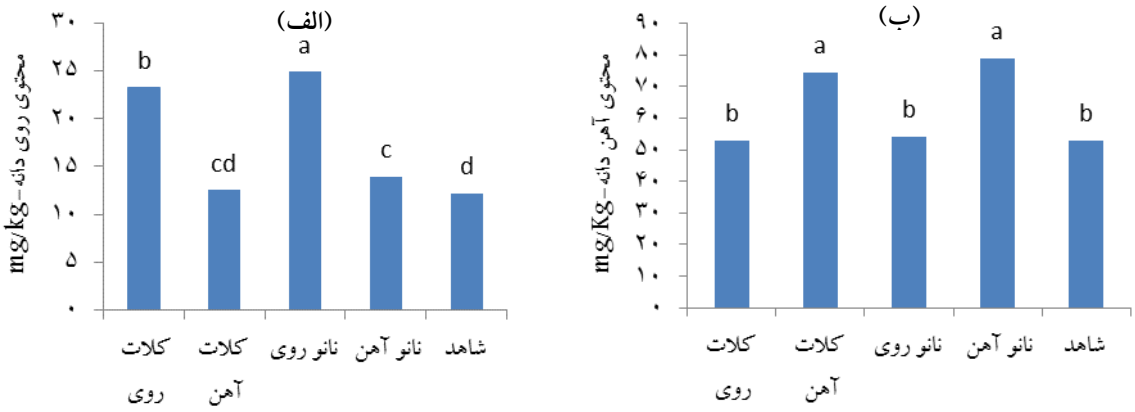
محلول‌پاشی در این خصوص معنی‌دار نشد (جدول ۴). کمترین محتوی روی دانه (۱۶/۶ گرم در کیلوگرم) در رقم پرتو و بیشترین محتوی روی دانه (۱۸ گرم در کیلوگرم) در رقم گوهر مشاهده شد(شکل ۱). محلول پاشی روی به‌صورت کلات و نانو روی سبب افزایش تقریباً دو برابری در محتوی روی دانه نسبت به محلول‌پاشی با آب (شاهد) شد. هر چند که تأثیر محلول‌پاشی نانو روی حدود ۷ درصد بیشتر از کلات روی بود (شکل۲). کاربرد عنصر روی به فرم کلات در گیاه عدس (*Lens culinaris*) نیز سبب افزایش محتوی روی دانه و برخی عناصر مانند پتاسیم و نیتروژن شده است (۱۲). عناصر ریز مغذی از جمله روی اگر چه به مقدار کم مورد نیاز گیاهان است ولی کمبود آن‌ها اثرات نامطلوبی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی، به‌خصوص کیفیت دانه از لحاظ عناصر معدنی خواهد داشت (۱۳). گزارش شده است که عنصر روی عمدتا در خاک تثبیت و جذب آن به‌وسیله گیاه دشوار است، لذا مصرف این عنصر به‌صورت محلول‌پاشی جهت افزایش رشد و افزایش روی در دانه ترجیح داده می‌شود (۳۰).

محتوی آهن دانه

اثر محلول‌پاشی بر محتوی آهن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. ولی این ویژگی تحت تأثیر رقم و برهم‌کنش رقم با محلول‌پاشی قرار نگرفت (جدول ۴). بنابراین تفاوت آماری بین دو رقم گوهر و پرتو از لحاظ محتوی آهن دانه مشاهده نشد (شکل۱). کمترین محتوی آهن دانه در تیمار محلول‌پاشی با آب و محلول‌پاشی‌های روی به‌دست آمد و بیشترین میزان محتوی آهن دانه (۷۸/۸ گرم در کیلوگرم) به محلول‌پاشی با نانو آهن و سپس محلول‌پاشی کلات آهن (۷۴/۵ گرم در کیلوگرم) تعلق گرفت (شکل ۲). مصرف کلات روی و نانو روی تأثیر معنی‌داری بر مقدار محتوی آهن دانه نداشتند و با تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد) در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۲). محلول‌پاشی گندم با کود نانو آهن نیز باعث افزایش معنی‌دار آهن در دانه گندم شد (۴۱). گزارش شده است که در تغذیه برگی، عنصر غذایی آهن به راحتی در دسترس بافت‌های گیاهی قرار گرفته و دست‌یابی به عملکرد بالا با افزایش کیفیت دانه محقق می‌شود (۲۵ و ۳۲).

نتیجه‌گیری

بیشترین عملکرد بیولوژیکی مربوط به رقم گوهر با محلول‌پاشی نانو روی و نانو آهن بود. عملکرد دانه نیز در رقم گوهر با محلول‌پاشی نانو روی افزایش قابل‌توجهی داشت، هر چند که اختلاف معنی‌داری با رقم پرتو در محلول‌پاشی نانو روی و محلول‌پاشی نانو آهن نداشت. بیشترین شاخص برداشت نیز از ترکیب تیماری رقم گوهر با محلول‌پاشی نانو روی حاصل شد که سبب افزایش ۲۴ درصدی شاخص برداشت نسبت به شاهد شد. به‌طورکلی در بین محلول‌پاشی عناصر مورد استفاده تأثیر عنصر روی نسبت به آهن در رشد و عملکرد گیاه بیشتر



شکل ۲. محتوی روی (الف) و آهن (ب) دانه تحت تاثیر تیمارهای مختلف محلول‌پاشی، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

بود که علت آن را می توان کمبود بیشتر عنصر روی در خاک مورد استفاده نسبت به آهن دانست. قابل ذکر است مصرف عناصر به‌صورت کود نانو تأثیر بیشتری در برخی صفات مورد مطالعه داشت که می‌تواند در غلظت‌های مورد آزمایش مورد توصیه قرار گیرد. هر چند که درخصوص محتوای آهن و محتوای روی در دانه، مصرف آهن و روی به‌صورت کلات و نانو تأثیر تقریبا یکسانی داشتند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه بوعلی‌سینا که در پیشبرد این پژوهش همکاری و مساعدت نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, L., A. Khourgami and M. Rafiee. 2023. Morphophysiological response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to salicylic acid priming and chelate nanofertilizer application in dryland conditions. *Agricultural Science and Sustainable Production* 4(33): 1-12. (In Farsi).
2. Alhasan, A. S. 2020. Effect of different NPK nano-fertilizer rates on agronomic traits, essential oil seed yield of Basil (*Ocimum basilicun* L. cv dolly) grown under field conditions. *Plant Archives* 20(2): 2959- 2962.
3. Baghai, N., N. Keshavarz, V. Shokri and M. H. Nazaran. 2011. Effect of iron chelate nano-fertilizer on yield and yield components of Hashemi variety rice. In: Proceeding of 12th Congress of Agriculture and Plant Breeding of Iran, Islamic Azad University, Karaj branch, Karaj, Iran, pp. 1-5.
4. Behboudi, F., I. Dadi and I. Mohammadi Goltepe. 2014. Effect of vermicompost originating from cow dung impregnated with nanoparticles of copper oxide and zinc oxide on some agricultural characteristics of pinto beans. *Research and construction* 3(1): 106-116.
5. Briat, J. F., C. Curie and F. Gaymard. 2007. Iron utilization and metabolism in plants. *Current Opinion in Plant Biology* 10: 276-282.
6. Dhaliwal, S. S., V. Sharma, A. K. Shukla, V. Verma, S. K. Behera, P. Singh, S. S. Alotaibi, A. Gaber and A. Hossain. 2021. Comparative efficiency of mineral, chelated and nano forms of zinc and iron for improvement of zinc and iron in chickpea (*Cicer arietinum* L.) through biofortification. *Agronomy* 11: 2436.
7. El Gizawy, N. K. h. B., and S. A. S. Mehasen. 2009. Response of faba bean to bio, mineral phosphorus fertilizers and foliar application with zinc. *World Appicationl Scencei Journal* 6: 1359-1365.
8. Farooqui, A., T. Heena, A. Ahmad, A. Mabood, A. Ahmad and Z. Ahmad, 2016. Role of nanoparticeles in growth and development of plants. *A Reviwe*. *International Journal of Pharma and Bio Sciences* 7(4): 22-37.

9. Fatahi-Siahkamari, S., H. Arouei, M. Azizi Arani and A. Salehi Sardoei. 2020. Effect of nano chelates (iron and zinc) and nitrogen (biofertilizer and chemical fertilizer) on some morphophysiological characteristics and essential oil yield of two Basil populations. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants* 29(1): 106-118.
10. Fathi, A. and M. Zahedi. 2013. Effect of spraying iron and zinc oxide nanoparticles on the growth and ion content of two wheat cultivars under salt stress. *Journal of production and processing of agricultural and horticultural products* 12: 295-304. (In Farsi).
11. Gudarzi, H., P. Kasraei and B. Zand. 2013. Investigation of the effect of different levels of iron and zinc micronutrient concentrations on the yield performance of corn plants. *Agricultural researches* 11(3): 219-225. (in Farsi).
12. Gulser, F. 2004. The effects of zinc application on zinc efficiency and nutrient composition of lentil (*Lens culinaris*) cultivars. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 7: 751-759.
13. Heidarian, A. R., H. Kord, K. Mostafavi, A. Parviz Lak and F. Amini Mashhadi. 2011. Investigating Fe and Zn foliar application on yield and its components of soybean (*Glycine max* L. *Merr*.) at different growth stages. *Journal of Agricultural Biotechnology and sustainable Development* 3(9): 189-197. (In Farsi).
14. Ismailpour, S., J. Asghari, M. N. Safarzadeh Vishgaei and H. Samizadeh Lahiji. 2012. The effect of sulfur and zinc elements on the growth and yield of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Iranian Agricultural Research Journal* 11(2): 283-290. (In Farsi).
15. Jamshidi, M., A. R. Daneshshahraki and S. M. Hashemijezi. 2015. Effect of spraying manganese and zinc elements on yield and yield components of red beans *Phaseolus vulgaris* under dry conditions. *Journal of Iranian Legume Research* 7(2): 164-174. (In Farsi).
16. Javadi, H., M. J. Thagha Al-Islami and S. G. Mousavi. 2015. Effect of iron, zinc and manganese foliar application on quantitative and qualitative traits of two grain millet varieties. *Journal of production and processing of agricultural and horticultural products* 6(21): 121-132. (In Farsi).
17. Javanmard, A., A. Ostadi and Y. Nasiri1. 2021.Assesment of dragon's head (*Lallemantia iberica* (MB) fischer & Meyer) mucilage quantityand quality by application of conventional chemical and nanofertilizers. *Agricultural Science and Sustainable Production* 2(31): 149-165. (In Farsi).
18. Jia, C. X., Y. X. Jia and S. M. Li. 2005. Studies on effect of Zn, Mn and Fe fertilization on soybean in Huanghuai Area of China. *Soybean Journal* 2: 13-15.
19. Kameraki, H. and M. Gulavi. 2011. Evaluation of foliar application of iron nutrients on quantitative and qualitative characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology* 4(3): 201-206.
20. Kazemi, E., R. Baradaran, M. J. Thaqatul-Islami and A. Ghasemi. 2013. The effect of iron and zinc foliar application on the quantitative and qualitative characteristics of grain sorghum under drought stress conditions. *Journal of Agriculture* 102: 190-196. (In Farsi).
21. Khalaj, H., M. Baradarn Firouzabadi and M. delfani. 2020. Effect of nano iron and Magnesium chelate fertilizerson growth and grain yield of *Vigna sinensis* L. *Journal of Plant Process and Function* 9(35): 161-177. (In Farsi).
22. Kochaki, A. and M. Banayan. 2009. Cultivation of Legumes. Mashhad Academic Jihad Publications, Mashhad.
23. Kobraee, S., G. Noormohamadi, H. Heidari Sharifabad, F. DarvishKajori and B. Delkhosh. 2011. Influence of micronutrient fertilizer on soybean nutrient composition. *Indian Journal of Science and Technology* 4(7): 763-769.
24. Majnoon-Hosseini, N. 2014. Cultivation and Production of Legumes. Academic Jihad Publications, University of Tehran, Tehran. (In Farsi).
25. Malkoti, M. J. and M. R. Belali. 2004. Optimum Use of Fertilizer Is a Way for Sustainability in Agricultural Products. Agricultural Education Publication, Karaj. (In Farsi).
26. Morab, P. N., S. Kumar, K. A. Rameshbhai and V. Uma. 2021. Foliar nutrition of nano-fertilizers: A smart way to increase the growth and productivity of crops. *Journal of Pharmacignosy and Phytochemistry* 10(1): 1325-1330.
27. Nasiri, Y., S. Zahtab-Salmasi, S. Nasralehzadeh, K. Ghasemi-Gol-Azani, N. Najafi and A. Jovanmard. 2012. Evaluation of the effect of foliar spraying of zinc and iron sulfate on flower yield and concentration of nutrients in the aerial part of German chamomile. *Journal of agricultural knowledge and sustainable production* 23(3): 105-114. (In Farsi).
28. Nasri, M., M. Khalatbari and H. Aliabadi Farahani. 2011. Zn-foliar application influence on quality and quantity features in phaseolous vulgaris under different levels of N and K fertilizers. *Advances in Environmental Biology* 5(5): 839-846.
29. Pable, D. and D. B. Patil. 2011. Effect of sulphur and zinc on nutrient uptake and yield of soybean. *International Journal of Agricultural Sciences* 7(1): 129-132.
30. Pandey, N., B. Gupta and G. C. Pathak. 2013. Foliar application of Zn at flowering stage improves plant's performance, yield and yield attributes of black gram. *Indian Journal of Exprimental Biology* 53: 723-727.

31. Pandey, A. C., S. S. Sanjay and R. S. Yadav. 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Experimental Nanoscience* 5: 488-497.
32. Parvar, A., S. Maleki Farahani and A. Rezazadeh. 2020. Influence of application nano-iron chelate fertilizer on agronomic and physiological traits of *Lallemantia* sp. In: Proceeding of 16th National Iranian Crop Science Congress. Ahvaz, Iran. pp. 220-225. (In Farsi).
33. Rahbar-Kiykha, F., E. Khammari, M. Dahmardeh and M. Forouzandeh. 2017. Effect of nano bio-fertilizer and chemical fertilizer application on quantitative and qualitative yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions* 1(2): 177-190. (In Farsi).
34. Rezai chianeh, I. 2016. Cultivation of a mixture of lentil and broad bean in the conditions of spraying with iron and zinc nano-chelate. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production* 26(1): 39-56. (In Farsi).
35. Rushdi, M., D. Boyaqchi, and S. Rezadoost. 2011. Effect of low consumption elements on the growth and performance of chiti beans under irrigation interruption treatments. *Journal of production and processing of agricultural and horticultural products* 2(5): 131-142. (In Farsi).
36. Sabki, M., M. R. Asgharipour, A. Ghanbari and K. Miri. 2016. The effect of iron nanochelate fertilizer on the ecomorphological characteristics of pearl millet and broad bean mixed cultivation. *Ecological Agriculture Journal* 7(1): 96-108. (In Farsi).
37. Sajedi, N. A., M. R. Ardakani and A. R. Zahedi. 2008. The effect of different amounts of zinc and iron on the physiological indicators of beans. *Iranian Agricultural Research Journal* 7(1): 99-109. (In Farsi).
38. Salem, H. M. and N. K. B. El-Gizawy. 2012. Importance of micronutrients and its application methods for improving maize yield grown in clayey soil. American-Eurasian. *Journal of Agricultural and Environmental Science* 12(7): 954-959.
39. Seleiman, M. F., K. F. Almutairi, M. Alotaibi, A. Shami, B. A, Alhammad and M. L. Battaglia. 2021. Nano-fertilization as an emerging fertilization technique: Why can modern agriculture benefit from its use? *Plants* 10(2): 2-27.
40. Shujaei, H. and H. Makarian. 2013. Effect of foliar spraying of nano and non-nano zinc oxide on yield and yield components of mung bean (*Vigna radiate* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of field crop Research* 12(4): 727-737. (In Farsi).
41. Szuplewska, A., J. Sikorski, M. Matczuk, L. Ruzik, B. K. Keppler, A. R. Timerbaev and M. Jarosz. 2023. Enhanced edible plant production using nano-manganese and nano-iron fertilizers: Current status, detection methods and risk assessment. *Plant Physiology and Biochemistry* 199: 1-12.
42. Tarabian, Sh. and M. Zahedi. 2012. Effect of foliar feeding of iron sulfate in two common forms and nanoparticles on the growth and cultivars of sunflower under salinity. *Iranian Journal of Plant Sciences* 44(1): 109-118. (In Farsi).

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 14, No. 1, Spring 2024, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effect of Foliar Nutrition of Chelate and Nanofertilizers of Iron and Zinc on Growth and Yield of Mung bean (*Vigna radiata* L.)

S. Noorimanesh[1] and A. Sepehri[2*]

(Received: September 23-2023; Accepted: January 06-2024)

Abstract

Micronutrient elements play a key role in the formation of chlorophyll and function of photosynthesis, respiration, enzyme system and physiological processes of the plant and their deficiency has destructive effects on the growth, production and yield of the plant. This research was conducted in a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications on mung bean plant in the Research Farm of Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, in 2019-2020 growing season. Two cultivars of Gohar and Partu and foliar spraying of zinc chelate, iron chelate, zinc nano-fertilizer, iron nano-fertilizer, and control (spraying solution with water) were tested. The maximum leaf area index (3.12), maximum growth rate (16.2 g m^{-2} day^{-1}), and leaf area duration (157 day) were achieved by Gohar cultivar in the presence of foliar application of zinc nano fertilizer. Zinc nano-fertilizer had the greatest effect on the pods/plant (21.7), grains/pod (8.08), and grains/plant (164) of Gohar cultivar, which increased by 62, 22 and 62, 77.6 percent respectively, compared to the control. The highest biological yield (8599 kg ha^{-1}) was obtained with Gohar cultivar when receiving foliar application of iron nanofertilizer and zinc nanofertilizer. The highest grain yield (2657kg ha^{-1}) was obtained with Gohar cultivar subjected to nano-zinc foliar spraying, which was not significantly different from Parto cultivar in foliar spraying with zinc nano-fertilizer and caused 38% and 35% increases in grain yield of the two cultivars compared to the control, respectively. The highest harvest index was also obtained with Gohar cultivar supplemented by foliar spraying of zinc nano fertilizer, which increased the harvest index by 24% compared to the control. Foliar spraying of iron and zinc fertilizers caused significant increases in growth, biological yield and grain yield, as well as the content of these elements in the grain of both cultivars. The effect of zinc and iron nanofertilizers on the studied traits was more pronounced in Gohar variety than in Parto variety.

Keywords: Harvest index, Growth indices, Grain yield, Foliar spraying, Micronutrient elements

1 and 2. M.Sc. Graduate and Associate Professor, Respectively, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu- Ali Sina University, Hamedan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: Sepehri2748@gmail.com; a_sepehri@basu.ac.ir