نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد نوزدهم، شماره ۱(۷۳)، بهار ۱۴۰۴، صفحه ۸۴-۶۹

مقاله پژوهشی DOI:

اثر کاربرد مقادیر مختلف سولفات روی در مراحل رشدی لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) بر عملکرد و غلظت عناصر آهن و روی در دانه

سجاد بیات[۱]، عزت‌اله اسفندیاری[۲*]، اسماعیل کریمی[۳] و علی‌اکبر اسدی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات کاربرد برگی سولفات روی بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت عناصر آهن و روی در دانه لوبیا چیتی، آزمایشی در شرایط مزرعه‌ای اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل غلظت محلول‌پاشی سولفات روی در چهار سطح (صفر، یک، دو و چهار در هزار) و زمان محلول‌پاشی در سه سطح (مرحله گل‌دهی، غلاف‌بندی و هشت تا ۱۱ برگی به‌همراه گل‌دهی) بودند. نتایج نشان داد کاربرد سولفات روی اثر معنی‌داری بر صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و غلظت روی دانه داشت. اما، اثر آن بر صفات شاخص برداشت و غلظت آهن دانه معنی‌دار نشد. بیشترین عملکرد دانه با محلول‌پاشی غلظت یک در هزار سولفات روی و مرحله هشت تا ۱۱ برگی به‌همراه گل‌دهی، مشاهده شد و در مقایسه با تیمار شاهد عملکرد دانه را ۲۲/۷ درصد افزایش داد. بالاترین غلظت روی دانه با کاربرد سطح دو در هزار سولفات روی در مرحله غلاف‌بندی حاصل شد و در مقایسه با تیمار شاهد غلظت روی دانه را ۴۲/۹ درصد افزایش داد. محلول‌پاشی سولفات روی در مراحل هشت تا ۱۱ برگی به‌همراه گل‌دهی، با غلظت یک در هزار برای بهبود همزمان عملکرد کمی و افزایش میزان روی دانه از سایر مراحل مناسب‌تر بود.

واژگان کلیدی: خاک آهکی، رقم صدری، کاربرد برگی، کمبود روی.

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.
۲- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.
۳- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.
۴- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، زنجان، ایران.
نگارنده مسئول esfandiari@maragheh.ac.ir

مقدمه

بقولات همانند غلات از منابع مهم غذایی انسان بوده و دارای مقادیر بالای پروتئین در مقایسه با سایر تیره‌های گیاهی هستند. مقدار پروتئین حبوبات حدود دو تا چهار برابر غلات و ۱۰ تا ۲۰ برابر گیاهان غده‌ای مانند سیب‌زمینی گزارش شده است (Soheili-Movahhed *et al*., 2017). لوبیا به دلیل دارا بودن حدود ۲۵-۲۰ درصد پروتئین و مقادیر قابل توجه ویتامین‌ها و موادمعدنی، از ارزش غذایی بسیار مناسبی برخوردار است. همین ویژگی‌ها سبب شده تا در گروه حبوبات لوبیا عنوان پرمصرف‌ترین در دنیا را به خود اختصاص دهد (Broughton *et al*., 2003).

زمانی لوبیا و سایر گیاهان قادرند به حداکثر پتانسیل ژنتیکی خود از نظر کمی و کیفی برسند که شرایط محیطی مانند تامین عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد و نمو آنها مناسب باشد (Esfandiari *et al*., 2016). روی از جمله عناصر ضروری مورد نیاز برای گیاهان بوده و در خاک-های زراعی ایران میزان روی قابل دسترس حدود ۰/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم (کمتر از حد نرمال آن، دو میلی‌گرم بر کیلوگرم) گزارش شده است (Malakouti and Davoodi, 2002). بالغ بر ۶۰ درصد اراضی کشور به درجات مختلف کمبود روی مبتلا بوده و این عامل باعث افت ۵۰ درصدی تولیدات گیاهی می‌شود (Malakouti *et al*., 2009). از دلایل پایین بودن روی قابل جذب در خاک‌های زراعی می‌توان به آهکی بودن خاک، pH بالای خاک، بی‌کربناته بودن آب آبیاری، میزان ماده آلی پائین و مصرف بیش از نیاز کودهای فسفاته اشاره نمود (Khoshgoftarmanesh and Arabzadeghan, 2007).

علیرغم نیاز کم گیاهان به روی، این عنصر دارای نقش‌های فیزیولوژیک متعددی است که می‌توان به نقش کوفاکتوری آن در آنزیم‌هایی مانند کربنیک آنهیدراز، دهیدروژنازها، پروتئینازها و کربوکسی پپتیدازها و فسفاتازها اشاره نمود. همچنین، عنصر روی در بیوسنتز RNA و DNA، هورمون اکسین و برخی از اسیدهای آمینه همچون سیستئین، هیستیدین، اسید گلوتامیک و اسید آسپارتیک ضروری است (Shu *et al*., 2008; Passerini *et al*., 2007). در ساختار آنزیم‌های جمع‌آوری کننده رادیکال سوپراکسید (سوپراکسید دیسموتاز) و پراکسید هیدروژن (پراکسیدازها)، عنصر روی حضور دارد. این آنزیم-ها نقش ویژه‌ای در مقابله با بروز تنش اکسیداتیو بر عهده دارند (Esfandiari *et al*., 2016; Welch, 2001).

کاهش عملکرد گیاهان زراعی از اثرات منفی کمبود روی قابل دسترس در خاک می‌باشد. محققین متعددی (Kavian-Athar and Aboutalebian, 2020; Jamshidi *et al*., 2016; Kordi *et al*., 2016) کاهش عملکرد گیاه لوبیا را در عدم کاربرد روی گزارش کرده‌اند. برای تأمین روی مورد نیاز گیاه از روش‌هایی مانند پیش‌تیمار کردن بذور، مصرف خاکی، محلول‌پاشی برگی و ترکیب روش‌های یاد شده استفاده می‌گردد. درحالی که کاربرد برگی روی، به‌دلیل مصرف کمتر و جذب سریع‌تر توسط برگ مورد توجه قرار گرفته است (Alloway, 2003). در این راستا، محلول‌پاشی عنصر روی در باقلا و عدس باعث افزایش تعداد غلاف، تعداد دانه در بوته و وزن

صددانه شد (El-Gizawy and Mehasen, 2009; Pandey *et al*., 2006).

افتاده واجاری و همکاران (Oftadeh-Vajari *et al*., 2013) اثرات مثبت کاربرد توأم روی و آهن بر ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک و دانه لوبیا در شرایط آب و هوایی رشت را گزارش کرده‌اند. علاوه‌بر این، محلول‌پاشی همزمان منگنز و روی منجر به افزایش میزان عملکرد بیولوژیک لوبیا شد (Jamshidi *et al*., 2016; Teixeira *et al*., 2004). افزایش میزان عملکرد دانه لوبیا با کاربرد برگی روی در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است (Kordi *et al*., 2016; Saeedi-Abu Ishaqi and Yadavi, 2015; Tolay and Gulmezoglu, 2004). همچنین، افزایش عملکرد دانه باقلا (El-Gizawy and Mehasen, 2009)، نخود (Dadkhah *et al*., 2014)، سویا (Banks, 2004)، عدس (Pandey *et al*., 2006)، گندم و ذرت (Sheykhbagloo *et al*., 2009) با محلول-پاشی عنصر روی گزارش گردیده است. عادلی و رفیعی (Adeli and Rafiee, 2017) نیز در پژوهش خود اثر افزایشی و معنی‌دار کاربرد سولفات روی بر عملکرد دانه سویا را گزارش کرده‌اند. گزارش شده است که محلول‌پاشی کود روی در لوبیا اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت نداشت (Saeedi-Abu Ishaqi and Yadavi, 2015; Jamshidi *et al*., 2016). برآیند عوامل ذکر شده ضمن تأثیر منفی بر رشد و نمو و عملکرد لوبیا، می‌تواند منجر به بروز علایم سوءتغذیه گردد. کمبود روی قابل دسترس در خاک می‌تواند منجر به کاهش غلظت روی دانه، کاهش میزان پروتئین و کیفیت آن، افزایش میزان اسید فیتیک و افزایش نسبت مولی اسید فیتیک به روی شود (Esfandiari and Abdoli, 2017; Cakmak, 2008). با توجه به اهمیت لوبیا در سبد غذایی مردم کشور افت کیفی محصول تولیدی به دلیل عدم تامین ریزمغذی‌های مورد نیاز بدن منجر به شیوع سوء تغذیه در جامعه می‌شود. از اثرات منفی آن می‌توان به ضعف سیستم ایمنی بدن و افزایش ابتلاء به بیماری‌های عفونی، افت کارایی افراد جامعه، افت تحصیلی و کاهش قدرت یادگیری دانش‌آموزان به‌همراه کاهش میزان رشد اقتصادی اشاره نمود (Murgia *et al*., 2013). محققین متعددی افزایش غلظت روی دانه را در پی محلول‌پاشی روی در لوبیا گزارش نموده‌اند (Pahlavan, 2006; Kazemi-Poshtmasari *et al*., 2008; Saeedi Abu Ishaqi and Yadavi, 2015; Kordi *et al*., 2016; Kavian-Athar and Aboutalebian, 2020).

با در نظر گرفتن اینکه علاوه‌بر انرژی روزانه مورد نیاز انسان بایستی سایر ریزمغذی‌ها از طریق غذا تامین شود و لوبیا چیتی جزیی از سبد غذایی مردم به‌شمار می‌آید که در کشور و استان زنجان رقم صدری لوبیا چیتی در سطح وسیع کشت می-شود. همچنین، بخش عمده خاک مناطق کشت این محصول اغلب آهکی، با غلظت فراتر از پنج درصد می‌باشد؛ کمبود روی با درجات مختلف در خاک‌های زراعی آن‌ها وجود دارد که می‌تواند عملکرد کمی و کیفی محصول تولید شده را کاهش دهد. لذا، این پژوهش با هدف ارزیابی تاثیر کاربرد برگی روی در مراحل مختلف رشدی بر عملکرد دانه و برخی از پارامترهای کیفی در شرایط آب و هوایی و خاکی استان زنجان مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی سولفات روی بر عملکرد کمی و کیفی لوبیا چیتی رقم

صدری، در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان با ارتفاع ۱۶۳۴ متر از سطح دریا اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل محلول‌پاشی مقادیر متفاوت سولفات روی ($ZnSO_4$) حاوی ۳۴ درصد روی (صفر (شاهد)، یک، دو و چهار در هزار (وزنی-حجمی) و مراحل مختلف رشدی لوبیا (گل‌دهی، غلاف‌بندی و هشت تا ۱۱ برگی به‌همراه گل‌دهی) بودند.

جهت آماده‌سازی زمین، پس از شخم زمین با گاوآهن برگردان‌دار در بهار، سایر عملیات‌های تهیه بستر کشت شامل دیسک، تسطیح و کرت بندی انجام شد. به جز روی، سایر عناصر غذایی مورد نیاز، بر اساس آزمون خاک (جدول ۱) در تمامی کرت‌ها به‌صورت یکسان مصرف شد. عناصر نیتروژن، فسفات و پتاسیم به‌ترتیب از منبع اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به ترتیب به میزان ۱۵۰، ۱۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار به خاک اضافه شد و طی عملیات تهیه بستر کشت تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد. ۳۰ درصد کود نیتروژن‌دار در هنگام کاشت و بقیه آن به‌صورت کود سرک اوره در مراحل ۱۱ برگی و گل‌دهی (با نسبت مساوی) تأمین شد و همراه با آب آبیاری مورد استفاده قرار گرفت. آهن به‌میزان ۲۵ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات آهن حاوی ۱۹ درصد آهن و منگنز از منبع سولفات منگنز به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار حاوی ۳۰ درصد منگنز قبل از کشت در تمامی کرت‌ها به صورت خاکی و به‌طور یکنواخت استفاده گردید. در جدول ۱ برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش آورده شده است.

کرت‌های آزمایشی شامل ۶ خط کشت بود که در آن فاصله ردیف‌های کشت و فاصله بین بوته‌ها روی خطوط کشت به‌ترتیب ۵۰ و ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذور ضد عفونی شده با قارچ‌کش کاربندازیم (۰/۷ به ۱۰۰۰، وزنی-وزنی) به‌صورت دستی در عمق پنج تا شش سانتی‌متری خاک در تاریخ ۲۰ خرداد ۱۳۹۸ کشت و آبیاری شدند. آبیاری مزرعه به روش قطره‌ای با دور آبیاری شش روزه انجام گردید. همچنین، کنترل با علف‌های هرز به شکل مکانیکی و از استقرار گیاهچه‌ها شروع و تا سایه-اندازی بوته‌ها بر روی آن‌ها ادامه یافت. محلول-پاشی سولفات روی بر روی بوته‌ها در تیمارهای مورد نظر در ساعات پایانی روز انجام شد. در تیمار شاهد محلول‌پاشی با آب اجرا گردید.

با رسیدن بوته‌های لوبیا چیتی و حذف اثر حاشیه‌ای، یک متر مربع از کرت‌های آزمایشی برداشت و بطور کامل هوا خشک گردید. سپس، صفات زراعی مانند تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین، غلظت عناصر روی و آهن دانه با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل AA-6300، Shimadzu-Japan) اندازه‌گیری شد (Maralian *et al.*, 2008).

قبل از تجزیه واریانس، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با روش کولموگروف اسمیرنوف تایید شد. سپس داده‌های به‌دست آمده توسط نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) تجزیه گردید. مقایسات میانگین نیز توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد سطوح و مراحل کاربرد سولفات روی اثر معنی‌داری بر تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در سطح احتمال ۵ درصد داشت. اما، اثر متقابل سطوح در مراحل کاربرد سولفات روی بر صفات مذکور معنی‌دار نشد. همچنین، غلظت روی دانه به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثرات ساده غلظت، مراحل کاربرد برگی سولفات روی و اثر متقابل دوگانه آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲).

با توجه به مقایسات میانگین اثرات ساده (جدول ۳)، کاربرد برگی سولفات روی توانست تعداد غلاف در بوته را در مقایسه با شاهد افزایش دهد. بیشترین میزان افزایش در سطح یک در هزار سولفات روی مشاهده شد که نسبت به شاهد رشد ۱۹/۴۲ درصدی داشت.

با کاربرد سولفات روی در مرحله هشت تا ۱۱ برگی به‌همراه گل‌دهی بیشترین تعداد غلاف در بوته (۱۱/۵۳ عدد) مشاهده شد که تفاوت آن در مقایسه با مراحل گل‌دهی و تشکیل غلاف معنی‌دار بود (جدول ۳).

تعداد غلاف در بوته یکی از اجزای عملکرد لوبیا بوده و قادر است مواد فتوسنتزی را در دانه-هایی که در آن وجود دارد انباشته نماید. افزایش تعداد غلاف در بوته به‌نوعی بیانگر افزایش اندازه مخزن است. لذا، افزایش تعداد غلاف در بوته با کاربرد برگی روی حاکی از اثرگذاری این عنصر بر فرآیندهای متابولیسمی و تأمین بهتر نیازهای بوته برای تشکیل غلاف در بوته است. از سوی دیگر با توجه به بالا بودن فعالیت پرچم در گیاهان خودگرده افشان، عناصر کم مصرف به ویژه روی با اثر مثبت بر تشکیل پرچم و دانه گرده و کاهش ریزش گل ها می تواند باروری گل ها و تعداد غلاف در گیاه را افزایش دهد. گزارش شده است کاربرد برگی عنصر روی در باقلا باعث افزایش تعداد غلاف در بوته می‌شود (El-Gizawy and Mehasen, 2009) که با نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر همخوانی دارد.

نتایج مقایسات میانگین نشان داد که کاربرد سولفات روی در مقادیر مورد مطالعه می‌تواند تعداد دانه در غلاف را در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد سولفات روی) بطور معنی‌داری افزایش دهد (جدول ۳). بیشترین میزان افزایش این پارامتر (با ۱۴/۳۳ درصد) در کاربرد یک در هزار سولفات روی بدست آمد. در بین تیمارهای کاربرد سولفات روی در مراحل مختلف رشدی بیشترین تعداد دانه در غلاف (۳/۶۰ عدد) در تیمار کاربرد سولفات روی در مرحله ۸ تا ۱۱ برگی به‌همراه گل‌دهی مشاهده شد که با سطوح دیگر مورد مطالعه تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۳).

با توجه به نقش‌های فیزیولوژیک روی در فرآیندهای متابولیسمی نظیر متابولیسم کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها، می‌توان انتظار داشت که با افزایش دسترسی بوته‌های لوبیا چیتی به این عنصر تأمین فتوآسیمیلات‌ها و سایر بیومولکول-های مورد نیاز سلول‌ها در مقایسه با شرایط عدم دسترسی کافی به روی مطلوب‌تر گردد. برآیند این عوامل منجر به بهبود پارامترهای اثرگذار بر عملکرد مانند تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف می‌شود. در بین مراحل کاربرد سولفات روی، کاربرد برگی آن در مرحله ۸ تا ۱۱ برگی به-همراه گل‌دهی، در مقایسه با کاربرد سولفات روی در مراحل گل‌دهی و غلاف‌بندی بر پارامترهای

مذکور بیشترین اثر را داشت (جدول ۳). دلیل اثرگذاری بیشتر سولفات روی در تیمار یاد شده می‌تواند ناشی از تامین مناسب‌تر نیازهای گیاه در مراحل اولیه رشد بابت تشکیل بیشتر اجزای عملکرد باشد که در اثر آن طرح‌های اولیه غلاف بیشتر تشکیل شده و به پتانسیل ژنتیکی رقم نزدیک‌تر می‌شود. تعداد دانه در غلاف در لوبیا بطور متوسط سه عدد می‌باشد. در صورتیکه غلاف‌ها به‌خوبی تغذیه نشوند قبل از گرده‌افشانی به دلیل عدم تغذیه مناسب و تامین مواد غذایی مورد نیاز و بعد از عمل گرده‌افشانی به دلیل افزایش سقط جنین، تعداد دانه در غلاف دچار کاهش خواهد شد (Esfandiari *et al*., 2016). نتایج نشان داد که کاربرد برگی سولفات روی در مرحله ۸ تا ۱۱ برگی به‌همراه گل‌دهی توانست همانند کاربرد سولفات روی با مقادیر مختلف تعداد دانه در غلاف را افزایش دهد (جدول ۳) که حاکی از اثر مثبت کاربرد سولفات روی بر این پارامتر می‌باشد. افزایش تعداد دانه در غلاف توسط برخی از محققین در لوبیا (Togay *et al*., 2004) و باقلا (El-Gizawy and Mehasen, 2009) گزارش شده است.

طبق نتایج مقایسات میانگین، تعداد دانه در بوته با کاربرد مقادیر متفاوت سولفات روی در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد سولفات روی) بطور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳). این افزایش متأثر از افزایش پارامترهای تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف می‌باشد. بطوریکه، بیشترین افزایش این پارامتر نیز در کاربرد یک در هزار سولفات روی (به میزان ۳۷/۴۴ درصد) مشاهده شد. همچنین، بیشترین تعداد دانه در بوته (۴۲/۱۶ عدد) در تیمار کاربرد سولفات روی در مرحله ۸ تا ۱۱ برگی به‌همراه گل‌دهی بدست آمد که تفاوتش با مراحل دیگر مورد مطالعه معنی‌دار شد (جدول ۳). برآیند بهبود فرآیندهای زایشی گیاه با عنصر روی و اثر افزایشی آن بر تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف که دو جزء مهم عملکرد در لوبیا می‌باشند منجر به افزایش تعداد دانه در بوته می‌گردد. افزایش تعداد دانه در بوته عدس در اثر محلول‌پاشی با روی توسط (Pandey *et al*., 2006) گزارش گردیده است که مطابق با نتایج بدست آمده در این پژوهش می‌باشد.

کاربرد مقادیر متفاوت سولفات روی سبب افزایش معنی‌دار وزن صد دانه در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد سولفات روی) شد (جدول ۳). بیشترین میزان افزایش (۱۹/۴۹ درصد) در کاربرد یک در هزار سولفات روی بدست آمد. در بین تیمارهای کاربرد سولفات روی در مراحل مختلف رشدی بیشترین وزن صد دانه (۳۹/۵۲ گرم) در تیمار کاربرد سولفات روی در مرحله ۸ تا ۱۱ برگی به‌همراه گل‌دهی مشاهده شد که با مراحل دیگر مورد مطالعه تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۳).

افزایش وزن صد دانه ناشی از افزایش چگالی یا اندازه دانه می‌باشد و زمانی اتفاق می‌افتد که مواد فتوسنتزی بیشتری به دانه در طول دوره پرکردن دانه تخصیص یابد (Nasri *et al*., 2011). لذا، با کاربرد روی، افزایش تعداد سلول‌های گیاهی و به دنبال آن افزایش نیاز مخزن و تجمع ماده خشک در دانه‌ها بیشتر می‌شود (Nasri *et al*., 2011). اثرگذاری مثبت کاربرد برگی روی در مراحل مختلف رشدی و مقادیر متفاوت آن بر وزن صد دانه بیانگر بهبود روند تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه است (جدول ۳). افزایش وزن هزار دانه با کاربرد برگی روی در گیاهان متعددی

مانند باقلا (El-Gizawy and Mehasen, 2009)، لوبیا (Oftadeh-Vajari *et al*., 2013) و گندم (Sheykhbagloo *et al*., 2009) گزارش شده است.

کاربرد سولفات روی با مقادیر مورد مطالعه عملکرد بیولوژیک را در مقایسه با تیمار شاهد بطور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۳). بیشترین میزان افزایش (۲۱/۸۶ درصد) در کاربرد یک در هزار سولفات روی بدست آمد. در بین تیمارهای کاربرد سولفات روی در مراحل مختلف رشدی بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک (۱۱۹۱۶/۱ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کاربرد سولفات روی در مرحله ۸ تا ۱۱ برگی به‌همراه گل‌دهی مشاهده شد که با مراحل دیگر مورد مطالعه تفاوت معنی-دار داشت (جدول ۳).

افزایش عملکرد بیولوژیک تابع افزایش وزن اندام‌های هوایی نظیر شاخه‌ها، برگ‌ها و غلاف‌ها است. در حضور روی سنتز کربوهیدرات‌ها در گیاه در سطح بالاتری صورت می‌گیرد و عملکرد بیولوژیک را افزایش می‌دهد (Esfandiari and Abdoli, 2017). با توجه به افزایش میزان عملکرد بیولوژیک در اثر کاربرد برگی سولفات روی در این مطالعه (جدول ۳) می‌توان به تأثیر مثبت روی بر فرآیندهای متابولیسمی، بهبود تولید فتوآسیمیلات‌ها و تخصیص مناسب‌تر آنها به بخش‌های مختلف اشاره نمود که افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن صد دانه تائیدی بر این موضوع است. افزایش عملکرد بیولوژیک توسط محققین دیگر (Jamshidi *et al*., 2016; Oftadeh-Vajari *et al*., 2013; Teixeira *et al*., 2004) در لوبیا گزارش شده است.

کاربرد سولفات روی با مقادیر مورد مطالعه عملکرد دانه را در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد سولفات روی) بطور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۳). بیشترین میزان افزایش این پارامتر (با ۲۲/۶۶ درصد) در کاربرد یک در هزار سولفات روی بدست آمد. در بین تیمارهای کاربرد سولفات روی در مراحل مختلف رشدی بیشترین میزان عملکرد دانه (۴۴۲۵/۲ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کاربرد سولفات روی در مرحله ۸ تا ۱۱ برگی به‌همراه گل‌دهی مشاهده شد که با مراحل دیگر مورد مطالعه تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۳).

با توجه به آهکی بودن خاک و کم بودن روی قابل دسترس در خاک محل اجرای آزمایش و اهمیت نقش‌های فیزیولوژیک روی در فرآیندهای متابولیسمی کمترین میزان عملکرد دانه در تیمار شاهد (عدم کاربرد سولفات روی) مشاهده شد (جدول ۳) که ناشی از تحت تاثیر قرار گرفتن پارامترهای دخیل در عملکرد نظیر تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و عملکرد بیولوژیک از کمبود روی قابل دسترس می‌باشد (جدول ۳). اما، کاربرد روی توانست اثرات منفی کمبود این عنصر را کاهش داده و با بهبود پارامترهای دخیل در عملکرد دانه، میزان این شاخص را افزایش دهدکه ناشی از بهبود فرآیندهای متابولیسمی نظیر بیوسنتز کربوهیدرات‌ها در گیاه در حضور روی و تخصیص مطلوب‌تر مواد فتوسنتزی تولید شده به بخش‌های مختلف گیاه است. افزایش عملکرد دانه با کاربرد روی در گیاهان مختلفی مانند لوبیا (Kordi *et al*., 2016; Saeedi-Abu Ishaqi and Yadavi, 2015; Tolay and Gulmezoglu, 2004)، نخود (Dadkhah *et al*., 2014)، سویا (Banks, 2004) و عدس (Pandey *et al*., 2006)، ذرت (Sheykhbagloo *et al*., 2009) و سویا (Adeli and Rafiee, 2017) گزارش گردیده است.

نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده فاکتورهای مورد مطالعه نشان داد که کاربرد سولفات روی در مقادیر مختلف و مراحل متفاوت رشدی بر شاخص برداشت اثرگذار نبود (جدول ۳). شاخص برداشت تحت تأثیر تغییرات عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک قرار دارد. معنی‌دار نشدن شاخص برداشت حاکی از تخصیص متوازن مواد فتوسنتزی به دانه و سایر اندام‌های گیاهی می‌باشد. بر اساس نتیجه به‌دست آمده در این پژوهش بین افزایش عملکرد دانه و افزایش عملکرد بیولوژیک در اثر محلول‌پاشی سولفات روی توازن وجود داشت که منجر به عدم افزایش معنی‌دار این صفت گردیده است. معنی‌دار نشدن شاخص برداشت لوبیا در اثر محلول‌پاشی روی توسط سایر محققین (Jamshidi *et al*., 2016; Saeedi-Abu Ishaqi and Yadavi, 2015) گزارش شده است که مؤید نتیجه حاصل شده در این تحقیق می‌باشد.

با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل مقادیر متفاوت سولفات روی در مراحل مختلف رشدی در صفت غلظت روی دانه، تجزیه واریانس جداگانه بین سطوح متفاوت سولفات روی در هر مرحله رشدی انجام شد (جدول ۴). نتایج نشان داد که در هر سه مرحله رشدی بین سطوح متفاوت سولفات روی در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. به نظر می‌رسد که با توجه به روند یکسان تغییرات میزان روی دانه، در هر سه سطح مرحله رشدی، اثر متقابل مشاهده شده از نوع تغییر در مقدار باشد به‌صورتی که در هر سه مرحله رشدی با افزایش غلظت محلول‌پاشی روی تا سطح دو در هزار، میزان روی دانه افزایش می‌یابد اما در سطح چهار در هزار کاهش پیدا می‌کند و ملاحظه می گردد بیشترین میزان روی دانه مربوط به سطح دو در هزار می‌باشد (البته اختلاف مشاهده شده در روند تغییرات مرحله گل‌دهی در کاربرد دو در هزار سولفات روی، با دیگر مراحل می تواند ناشی از اشتباه در اندازه‌گیری باشد)، اما با معنی‌دار شدن اثر متقابل در این پارامتر، روند کلی تغییرات یکسان بوده و در نهایت می‌توان اظهار نمود با افزایش سطح محلول‌پاشی تا میزان دو در هزار و در مرحله تشکیل غلاف افزایش غلظت روی دانه مشاهده خواهد شد.

کاربرد سولفات روی با مقادیر متفاوت و در مراحل مختلف رشدی سبب افزایش غلظت روی دانه در مقایسه با تیمار شاهد شد. بیشترین میزان غلظت روی دانه در تیمار کاربرد سولفات روی با مقدار دو در هزار و در مرحله غلاف‌بندی بدست آمد که در مقایسه با شاهد افزایش ۴۲/۹۷ درصدی را نشان داد (شکل ۱). از طرف دیگر کمترین میزان افزایش غلظت روی در دانه در تیمار کاربرد سولفات روی با مقدار یک در هزار و در مرحله ۸ تا ۱۱ برگی به‌همراه گل‌دهی مشاهده شد (شکل ۱). در جدول مقایسات میانگین (جدول شماره ۳) ملاحظه می‌گردد که عملکرد، اجزای عملکرد و بیوماس در تیمار کاربرد روی با مقدار یک در هزار و در مرحله ۸ تا ۱۱ برگی به همراه گل‌دهی بیش از سایر مقادیر و مراحل کاربرد روی بوده و بنابر این گیاه مقدار روی دریافتی را صرف تولید فتوآسیمیلات‌ها و تخصیص مناسب‌تر آنها به بخش‌های مختلف نموده که منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک و اندازه مخزن گردیده که تسهیم روی دریافتی به مخزن بزرگ‌تر منجر به کاهش غلظت روی در این سطح و مرحله نسبت به سایر سطوح و مراحل گردیده است. یکی از پارامترهای کیفی دانه در گیاهان زراعی، غلظت روی می‌باشد. پائین بودن غلظت روی دانه بر دیگر

پارامترهای کیفی مانند اسید فیتیک، نسبت مولی اسید فیتیک به روی، اسید آسکوربیک و پروتئین دانه تاثیر منفی داشته و سبب کاهش ارزش تغذیه‌ای دانه تولید شده و افزایش سوء تغذیه در جامعه می‌گردد (Esfandiari and Abdoli, 2017). اگرچه در این پژوهش پارامترهای مذکور سنجش نشده‌اند اما، مطالعات دیگر محققین نشان می‌دهد که علاوه‌بر افزایش غلظت روی در اثر کاربرد برگی روی، سایر پارامترهای کیفی یاد شده نیز تعدیل شده و سبب افزایش کیفیت دانه در گیاهانی مانند گندم (Sheykhbagloo *et al*., 2009) و لوبیا (Kavian-Athar and Aboutalebian, 2020) شده است.

نتیجه‌گیری کلی

کاربرد روی به‌دلیل بهبود اجزای عملکرد سبب افزایش عملکرد دانه و همچنین، غلظت روی دانه شد. غلظت یک در هزار کاربرد برگی سولفات روی در مرحله هشت تا ۱۱ برگی به‌همراه گل-دهی اثر مطلوب‌تری نسبت به سایر غلظت‌ها و مراحل دیگر رشدی در افزایش عملکرد دانه داشت. همچنین، افزایش غلظت روی دانه لوبیا در اثر کاربرد همه غلظت‌های سولفات روی بخصوص در مراحل انتهایی رشد (مرحله تشکیل غلاف) رخ داد و بیشترین میزان این افزایش در مرحله مذکور مربوط به غلظت دو در هزار سولفات روی می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل بنظر می‌رسد در رقم صدری لوبیا چیتی کاربرد برگی سولفات روی با غلظت یک در هزار در مرحله هشت تا ۱۱ برگی به‌همراه گل‌دهی را می‌توان جهت افزایش توأمان عملکرد دانه و غلظت روی آن در خاک‌های آهکی پیشنهاد نمود.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تهیه شده از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان

Table 1- Some physical and chemical properties of soil prepared from zero to 30 cm depth of Zanjan University research farm

هدایت الکتریکی Electric conductivity	اسیدیته (pH)	ماده آلی Organic matter	مقدار آهک Calcareous content	منگنز قابل جذب Absorbable manganese	آهن قابل جذب Absorbable iron	مس قابل جذب Absorbable copper	روی قابل جذب Absorbable zinc	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus	نیتروژن قابل جذب Total nitrogen	شنSand	سیلت Silt	رس Clay	بافت خاک Soil texture
(dS/m)	Percentage درصد			(Milligrams per kilograms) میلی‌گرم بر کیلوگرم					Percentage درصد		Percentage درصد			
1.04	7.68	0.67	15.2	0.38	2.1	0.5	0.45	156	8.4	0.15	54	29	17	Loamy-sandy

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی سولفات روی بر پارامترهای مورد مطالعه در لوبیا چیتی.

Table 2- Analysis of variance of studied traits of pinto bean plant with zinc sulfate foliar application

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS				
		تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	تعداد دانه در غلاف Grain number per pod	تعداد دانه در بوته Number of grain per plant	وزن صددانه 100-Grain weight	عملکرد بیولوژیک Biomass yield
بلوک Block	2	0. 8852^{ns}	0. 0311^{ns}	13.5625^{ns}	10. 7495^{ns}	4353335. 10^{ns}
غلظت سولفات‌روی Concentration of zinc sulfate	3	5.5728*	0.3155*	205.6076*	66.1156*	7784534.71*
مرحله رشد Growth stage	2	5.7252*	0.3386*	233.5525*	67.9307*	10774104.91*
غلظت سولفات‌روی × مرحله رشد Concentration of zinc sulfate × Growth stage	6	0.8567^{ns}	0.0509^{ns}	34.5343^{ns}	9.6597^{ns}	275206.03^{ns}
اشتباه Error	22	1.5510	0.0860	59.8276	18.0648	2380613.6
ضریب تغییرات C.V. (%)		11.60	8.60	20.86	11.56	14.23

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد را نشان می‌دهند.

ns, * and **: show nonsignificant, significant at the probability level of five percent and one percent, respectively.

ادامه جدول ۲

Table 2- Continued

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS			
		عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	غلظت روی دانه Grain zinc concentration	غلظت آهن دانه Grain iron concentration
بلوک Block	2	176778.817^{ns}	10.9738^{ns}	0.5659^{ns}	970.8991*
غلظت سولفات‌روی Concentration of zinc sulfate	3	1147123.889*	0.1603^{ns}	138.6489**	16.1391^{ns}
مرحله رشد Growth stage	2	1479284.740*	0.5525^{ns}	105.1337**	66.8034^{ns}
غلظت سولفات‌روی × مرحله رشد Concentration of zinc sulfate × Growth stage	6	153776.516^{ns}	3.5530^{ns}	18.8910**	151.2251^{ns}
اشتباه Error	22	296034.64	11.1046	0.8254	245.1799
ضریب تغییرات C.V. (%)		13.50	8.93	2.38	21.89

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد را نشان می‌دهند.

ns, * and **: show nonsignificant, significant at the probability level of five percent and one percent, respectively.

جدول ۳- مقایسات میانگین اثرات ساده صفات مورد اندازه‌گیری تحت شرایط آزمایش

Table 3- Comparisons of the mean of simple effects of measured traits under experimental conditions

تیمار Treatments		تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	تعداد دانه در غلاف Grain number per pod	تعداد دانه در بوته Number of grain per plant	وزن صددانه 100-Grain weight (g)	عملکرد بیولوژیک Biomass yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)	غلظت آهن دانه Grain iron concentration (mg.kg^{-1})
مراحل رشدی Growth stag	۸ تا ۱۱برگی + گلدهی eight to 11-leaf along with flowering	11.53a	3.60a	42.16a	39.52a	11916.1a	4425.2a	37.11a	72.91a
	گلدهی flowering	10.35b	3.31b	34.66b	35.50b	10469.2b	3909.6b	37.54a	68.79a
	تشکیل‌غلاف pod formation	10.31b	3.30b	34.39b	35.31b	10132.7b	3754.5b	37.30a	72.84a
غلظت‌های کودی Fertilizer concentration	صفر zero	9.63b	3.14b	30.42b	32.98b	9470.4b	3503.8b	37.27a	72.40a
	۱در هزار one per thousand	11.50a	3.59a	41.81a	39.41a	11541.9a	4297.6a	37.52a	69.66a
	۲در هزار two per thousand	10.92a	3.45a	38.10ab	37.41a	11224.2a	4177.4a	37.26a	72.59a
	۴در هزار four per thousand	10.88a	3.44a	37.96ab	37.31a	11120.8a	4140.2a	37.23a	71.39a

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

The means that have common letters, do not differ significantly at the level of five percent probability

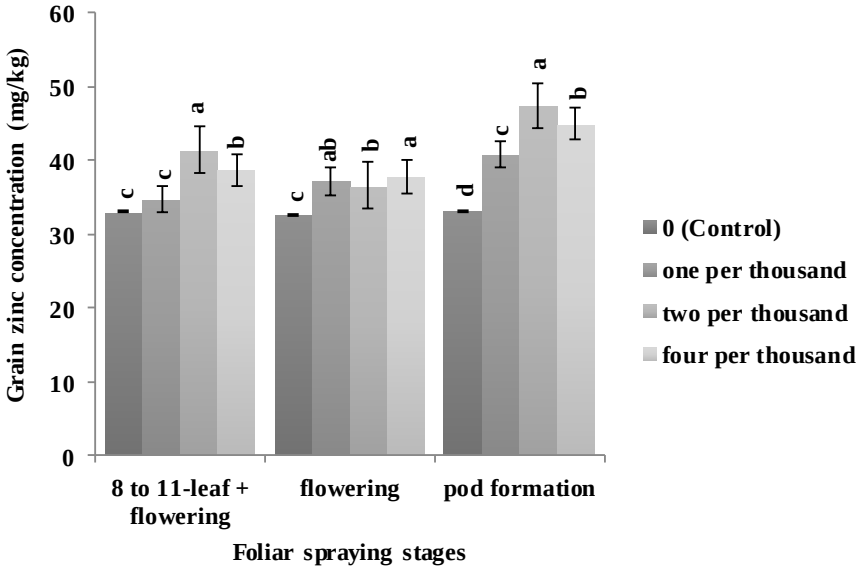
جدول ۴- تجزیه واریانس شکست اثرات متقابل دوگانه سطوح در مراحل برای صفت غلظت روی دانه

Table 4- Analysis of variance of dissociation dual mutual effects of levels in stages for trait zinc concentration in grain

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)		
		مرحله یک در غلظت‌های مختلف روی Stage one in different zinc concentrations	مرحله دو در غلظت‌های مختلف روی Stage two in different zinc concentrations	مرحله سه در غلظت‌های مختلف روی Stage three in different zinc concentrations
تکرار (Rep)	2	0.8672^{ns}	0.1785^{ns}	0.7244^{ns}
تیمار (treatment)	3	43.2934**	16.1828**	116.9547**
اشتباه آزمایش (Error)	6	1.4212	0.1539	1.0501
ضریب تغییرات (%) C.V.		3.22	1.09	2.46

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد را نشان می‌دهند.

ns, * and **: show nonsignificant, significant at the probability level of five percent and one percent, respectively.



شکل ۱- اثر کاربرد برگی سولفات روی در مراحل مختلف رشدی با غلظت‌های متفاوت بر غلظت روی دانه

Figure 1- Interaction effect of zinc sulfate leaf application levels and stages on grain zinc concentration of pinto bean Sadri Cultivar

References منابع مورد استفاده

- Adeli, S., and M. Rafiee. 2017. Influence of different levels of zinc and iron sulfate on quantitative and qualitative characteristics of soybean L17 cultivar. *Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology*. 4(2): 49-66. (In Persian).
- Alloway, B.J. 2003. Zinc in soil and crop nutrition. International Zinc Association, 114p.
- Banks, L.W. 2004. Effect of timing of foliar zinc fertilizer on yield component of soybeans. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry.* 22: 116. 226-231.
- Broughton, W.J., G. Hernandez, M. Blair, S. Beebe, P. Gepts, and J. Vanderleyden. 2003. Beans *(Phaseolus spp.)* model food legumes. *Plant and Soil*. 252: 55-128.
- Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification?. *Plant and Soil*. 302: 1-17.
- Cakmak, I., C. Prom-u-thai, L.R.G. Guilherme, A. Rashid, K.H.A. Hora, E. Yazici, M. Savasli, Y. Kalayci, P. Tutus, M. Phuphong, F.A.D. Rizwan, G.S. Martins, L. Dinali, and L. Ozturk. 2017. Iodine biofortification of wheat, rice and maize through fertilizer strategy. *Plant and Soil*. 418: 319-335.
- Dadkhah, N., A. Ebadi, G. Parmoon, E. Gholipoori, and S. Jahanbakhsh. 2014. Effect of spraying zinc on photosynthetic pigments and grain yield of chickpea under level different irrigation, *Iranian Journal of Dryland Agriculture*. 3(2): 141-160. (InPersian).
- El-Gizawy, N.Kh.B., and S.A.S. Mehasen. 2009. Response of faba bean to Bio-mineral phosphorus fertilizers and foliar application with zinc. *World Application Science Journal*. 6: 1359-1365.
- Esfandiari, E.A., S. Shahabivand, and A. Javadi. 2016. Physiology of environmental stresses in plants (non-biological). Maragheh University Press.(InPersian).
- Esfandiari, E., and M. Abdoli. 2017 .Improvement of agronomic and qualitative characters of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) genotypes by application of zinc sulfate under zinc deficiency stress. *Journal of Crop Ecophysiology*. 11(3): 619-636. (In Persian).
- Gonzalez, D., A. Obrador, and J.M. Alvarez. 2007. Behavior of zinc from six organic fertilizers applied to a navy bean crop grown in a calcareous soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55(17): 7084-7092.
- Jamshidi, M., A.R. Danesh-Shahraki, and S.M. Hashemi-Jazi. 2016. Effect of foliar application of manganese and zinc on grain yield and yield components of Red Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in drought conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*. 7(2): 164-174. (In Persian).
- Kavian-Athar, N., and M.A. Aboutalebian. 2020. Quantitative and qualitative reaction of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to phosphorous and zinc sulfate application method under different rates of nitrogen starter fertilizer. Iranian *Journal of Field Crop Science*. 51(3): 17-32. (In Persian).
- Kazemi-Poshtmasari, H., M.A. Bahmanyar, H. Pirdashti, and M.A. Ahmadi-Shad. 2008. Effects of Zn rates and application forms on protein and some micronutrients

accumulation in common bean *(Phaseolus vulgaris* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 11: 1042-1046.

- Khoshgoftarmanesh, A.H., and H. Arabzadeghan. 2007. Evaluation of plant nutritional status and optimal fertilizer management. Isfahan: Isfahan University of Technology Publications. (In Persian).
- Kordi, S., M. Mirsafari, Z. Tahmasebi, Gh. Shahkarami, L. Gerami, A.A. Taghizadeh, and F. Ghanbari. 2016. Effect of foliar application of zinc on yield, grain and straw protein of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water deficit stress in Ilam weather conditions. *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)*. 111: 115-124. (In Persian).
- Malakouti, M.J., A. Malakouti, A.I. Majid, A. Bybordi, A. Salari, and A. Fallahi. 2009. Comparison between wheat enrichment in the farm with flour fortification in the factory in promoting society's health level. *Journal of Food Science and Technology*. 6(2): 117-130. (In Persian).
- Malakouti, M.J. 2010. Why our agricultural products facing zinc deficiency? Proceedings of the 7th International Symposium on Trace Elements in Human: New Perspectives. Trace Elements and Electrolytes, 27: 176-177. (In Persian).
- Malakouti, M.J. 2011. Towards improving the quality of consumed breads in Iran. *Journal of Food Science and Technology*. 8(31): 11-21. (In Persian).
- Maralian, H., R. Didar-Taleshmikail, K. Shahbazi, and M. Torabi-Giglou. 2008. Study of the effects of foliar application of Fe and Zn on wheat quality and quantity properties. *Agricultural Research Journal*. 8(4)4: 47-60. (In Persian).
- Murgia, I., L. De-Gara, and M. Grusak. 2013. Biofortification: How can we exploit plant science and biotechnology to reduce micronutrient deficiencies? *Frontiers in Plant Science*. 4: 1-3.
- 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.
- Oftadeh-Vajari, M., M. Majidian, Gh.R. Mohsen-Abadi, and M. Rabiee. 2013. Effect of zinc and iron application on agronomic characteristics of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in climatic conditions of Rasht city. Fifth National Conference on Iran Beans. June 26. Mashhad, Iran. (In Persian).
- Pahlavan, M.R. 2006. The study of effects of Zn, Fe and Mn on quantity and quality of grain wheat. In: Proceeding of 18th World Congress of Soil Science. Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- Pandey, N., G.C. Pathak, and C.P. Sharma. 2006. Zinc is critically required for pollen function and fertilization in lentil. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 20: 89-96.
- Passerini, A., C. Andreini, S. Menchetti, A. Rosato, and P. Frasconi. 2007. Predicting zinc binding at the proteome level. *BMC Bioinformatics.* 8: 1-13.
- Saeedi-Abu Ishaqi, A., and A. Yadavi. 2015. Effects of irrigation levels and foliar application with iron and zinc on quantitative and qualitative traits of red bean (*Phaseolous vulgaris* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*. 6(1): 54-65.(In Persian).

- Sheykhbagloo, N., A.A. Hassanzadeh Ghorttapeh, M. Baghestani, and B. Zand. 2009. Study the effect of zinc foliar application on the quanttative and qualitative yield of grain corn under water stress. *Electronic Journal of Crop Production.* 2: 59-73. (In Persian).
- Shu, N., T. Zhou, and S. Hovmller. 2008. Prediction of zinc-binding sites in proteins from sequence. *BMC Bioinformatics*. 24: 775-782.
- Soheili-movahhed, S., M.A. Esmaeili, F. Jabbari, and A. Fouladi. 2017. Evaluation of yield and yield components of some pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes under late season water deficit conditions. *Journal of Agroecology*. 9(2): 433-444. (In Persian).
- Teixeira, I.R., A. Borem, and G.A.A. Araujo. 2004. Manganese and zinc leaf application on common bean grown on a cerrado soil. *Scientia Agricola* (*Piracicaba, Braz.*). 61(1): 77-81.
- Togay, N., V. Ciftei, and Y. Togay. 2004. The effect of zinc fertilization on yield and some yield components of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Asian Journal of Plant Science*. 3: 701-704.
- Tolay, I., and N. Gulmezoglu. 2004. Effect of manganese and zinc foliar application on common bean. *Plant Soil Environment*. 42: 314 -322.
- Welch, R.M. 2001. Impact of mineral nutrients in plants on human nutrition on a worldwide scale. *Plant Nutrition*. 92: 284-285.

Research Article DOI:

The Effect of Applying Different Amounts of Zinc Sulfate in the Growth Stages of Pinto Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) on Yield and Fe and Zn Concentration Grain

Sajjad Bayat [1*], Ezatollah Esfandiari [2], Ismail Karimi [3], and Ali Akbar Asadi[4]

Received: january 2023, Revised: 24 February 2023, Accepted: 8 February 2024

Abstract

In order to study the effects of foliar application zinc sulfate on yield, yield components and iron and zinc concentration grain pinto bean an experiment was implemented in field conditions. Experimental factors include zinc sulfate foliar spraying concentration at four levels (zero, one, two and four per thousand) and foliar spraying time at three levels; flowering, pod formation and eight to 11-leaf along with flowering were. The results showed that the application of zinc sulfate had a significant effect on the traits of the number of pods per plant, the number of grain per pod, the number of grain per plant, the weight of one hundred grain, biomass yield, grain yield, and zinc concentration in seeds. But its effect on harvest index traits and seed iron concentration was not significant. The highest grain yield was produced with foliar application of zinc sulfate concentration one per thousand and eight to 11 leaf stage along with flowering, and compared to the control treatment, the grain yield was It increased by 22.7 percent. The highest concentration of zinc in the grain was obtained by applying level tow per thousand zinc sulfate in the pod formation stage and compared to the control treatment, increased the concentration of zinc in the grain by 42.9 percent. The Spraying zinc sulfate at the stages of eight to 11-leaf + flowering, with a concentration of one per thousand, was more suitable than other stages for simultaneously improving quantitative yield and increasing grain zinc content.

Key words: Calcareous soil, Leaf application, Sadri cultivar, Zinc deficiency.

1 Ph.D. Student in Crop Physiology, Faculty of Agriculture, Maragheh University, Maragheh, Iran.
2- Professor, Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Agriculture, Maragheh University, Maragheh, Iran.
3- Assistant Professor, Soil Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, Maragheh University, Maragheh, Iran.
4- Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center of Zanjan Province, Zanjan, Iran.
**Corresponding Authors: esfandiari@maragheh.ac.ir*