Archive of SID

نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد نهم، شماره چهارم، زمستان ۹۵
۱۹۹-۱۷۹
http://ejcp.gau.ac.ir

تأثیر غلظت‌های مختلف نانوکودهای کلسیم و مولیبدن بر رشد و گره‌زایی گیاه نخود سیاه (*Cicer arietinum* L.)

الهام عزیزی[1*]، آتنا میربلوک[2] و آسیه بهداد[3]

[1]دانشیار گروه زراعت، دانشگاه پیام‌نور، ایران، [2]دانشجوی دکتری شیمی و حاصلخیزی خاک، دانشگاه ارومیه و مدرس مدعو دانشگاه پیام‌نور، ایران، [3]دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهی و مدرس مدعو دانشگاه پیام‌نور، ایران

تاریخ دریافت: ۹٤/٦/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: استفاده از نانوکودها به‌عنوان یک راهکار مؤثر در افزایش قابلیت دسترسی عناصر برای گیاهان اخیراً بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با به‌کارگیری نانوکودها، زمان و سرعت رهاسازی عناصر با نیاز غذایی گیاه مطابق و هماهنگ می‌شود، بنابراین گیاه قادر به جذب بیش‌ترین مقدار مواد غذایی بوده و در نتیجه ضمن کاهش آبشویی عناصر، عملکرد محصول نیز افزایش می‌یابد. بر این اساس، هدف از این پژوهش، بررسی پاسخ‌های رشدی گیاه نخود در مراحل مختلف رشد و نمو تحت تیمار با کودهای نانو کلسیم و مولیبدن بود.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی تأثیر نانوکود مولیبدن و کلسیم بر پارامترهای رشد و گره‌زایی گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه پیام‌نور مرکز مشهد در سال ۱۳۹۲ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل مولیبدن در سه سطح ۰، ۲ و ٤ پی‌پی‌ام و کلسیم در چهار سطح ۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بود که به فرم نانواکسیدهای قابل‌جذب توسط گیاه، تهیه شدند. صفات مورد بررسی شامل ارتفاع گیاه، طول ریشه، سطح برگ، وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه، تعداد و اندازه گره‌های تثبیت‌کننده زیستی نیتروژن و مقدار کلسیم و مولیبدن موجود در گیاه بودند.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که اثر سطوح مختلف کلسیم بر ارتفاع گیاه، تعداد گره تثبیت نیتروژن، وزن خشک ساقه، سطح برگ و کلسیم و مولیبدن موجود در گیاهان از نظر آماری معنی‌دار بود. پارامترهای رشد گیاه نخود در سطوح مختلف کلسیم نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار یافت. بیش‌ترین ارتفاع بوته (سانتی‌متر) در

* مسئول مکاتبه: azizi40760@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

غلظت ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کلسیم مشاهده شد. بیش‌ترین مقدار وزن خشک اندام‌های هوایی (۰/٦ گرم در بوته)، سطح برگ (١٤ سانتی‌مترمربع در بوته) و تعداد گره تثبیت زیستی نیتروژن (۲۷ گره در بوته) در تیمار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کلسیم و کم‌ترین مقدار این پارامترها در شاهد مشاهده شد. اثر تیمارهای مختلف کلسیم بر اندازه گره معنی‌دار نبود. اعمال سطوح مختلف نانواکسید مولیبدن فقط بر خصوصیات سطح برگ و کلسیم گیاه، تأثیر معنی‌داری داشت. سطوح مختلف مولیبدن نانو بر سطح برگ، تأثیر کاهشی معنی‌داری نسبت به شاهد داشت. جذب کلسیم نیز در غلظت‌های ۲ و ٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم مولیبدن در گیاه افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت. اثر متقابل کلسیم و مولیبدن فقط بر کلسیم و مولیبدن موجود در گیاه نخود سیاه تأثیر معنی‌داری داشت. بیش‌ترین مقدار کلسیم گیاه در تیمار تلفیقی ٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم مولیبدن و عدم اعمال نانواکسید کلسیم مشاهده شد. بیش‌ترین مقدار مولیبدن موجود در گیاه نیز به تیمار تلفیقی ٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم مولیبدن و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کلسیم تعلق داشت که اختلاف آماری معنی‌داری با تیمارهای ۰ و ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم مولیبدن در شرایط اعمال ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کلسیم نداشت. افزایش واکنش خاک از طریق کربنات یا اکسیدکلسیم، یک راه مؤثر در افزایش تعداد گره در لگوم‌ها می‌باشد. همچنین، تغییر واکنش دسترسی عناصر غذایی را نیز تحت‌تأثیر قرار می‌دهد به‌طوری‌که جذب بعضی از عناصر نظیر مولیبدن تسهیل می‌گردد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی، نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد هم‌زمان نانوکودهای کلسیم و مولیبدن می‌تواند اثر قابل‌توجهی بر خصوصیات رشدی نخود سیاه داشته باشد. این امر بیانگر آن است که کاربرد نانوتکنولوژی از طریق افزایش کارآیی جذب و مصرف عناصر غذایی و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی دارای پتانسیل بالایی بهبود تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اندازه گره، تثبیت زیستی نیتروژن، سطح برگ، وزن خشک

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی ضروری برای رشد گیاه و از عوامل اساسی محدودکننده تولید محصولات کشاورزی است (٣٤). بسیاری از مطالعات نشان داده است که کاهش دسترسی به نیتروژن، عملکرد کوانتومی انتقال الکترون و حداکثر کارایی فتوسیستم II (PSII) را کاسته و باعث تخریب فتوسیستم ٢ می‌شود (٨). یکی از روش‌های افزایش نیتروژن معدنی در خاک، تثبیت زیستی نیتروژن می‌باشد. تثبیت زیستی نیتروژن، فرآیندی است که در آن، نیتروژن مولکولی به‌وسیله باکتری‌های همزیست به آمونیاک تبدیل می‌شود. این فرآیند در رفع نیاز غذایی گیاه و جایگزینی آن با کود شیمیایی نیتروژن از اهمیت خاصی برخوردار است. تثبیت نیتروژن در تیره بقولات (Fabaceae) با تشکیل گره آغاز می‌شود و سویه‌های اختصاصی باکتری ریزوبیوم در داخل سلول‌های پوست این گیاهان به‌صورت همزیست زندگی می‌کنند (١١). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که گیاهان لگوم با نقش مهم در توازن بیولوژیکی نیتروژن منجر به افزایش جذب عناصر غذایی دیگر مثل پتاسیم و فسفر نیز می‌شوند. همچنین به‌دلیل تولید فیتوهورمون‌ها در شرایط حضور باکتری‌های ریزوبیوم در خاک، رشد قارچ‌های بیماری‌زا نیز کاهش می‌یابد (٧). در گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن، تفاوت در میزان نیتروژن تثبیت‌شده به واسطه چندین عامل از جمله سویه ریزوبیوم موجود در خاک، گره‌های موجود در ریشه، مواد غذایی خاک و شرایط اقلیمی منطقه ایجاد می‌گردد (٣٦). همچنین، باکتری‌های خاک از قبیل جنس‌های آزو ریزوبیوم و برادی ریزوبیوم با گیاهان خانواده بقولات در گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن ارتباط متقابل دارند (٢٧).

مقادیر متفاوت عناصر معدنی می‌توانند با تأثیر بر تعاملات همزیستی مثل تشکیل گره‌ها، توسعه و عملکرد گره‌ها و رشد گیاه میزبان بر تثبیت نیتروژن در لگوم‌ها تأثیر بگذارند (٣٤). طبق گزارش اوهارا (٢٠٠١) کمبود ٤ عنصر کلسیم، فسفر، آهن و مولیبدن، محدودیت معنی‌داری بر باروری لگوم‌ها و گره‌زایی آن‌ها در خاک‌های کشاورزی ایجاد می‌کند (٢٦). ریزوبیوم‌ها معمولاً به غلظت کلی ٠/٥ میلی‌مولار کلسیم و منگنز احتیاج دارند. زمانی که میزان کلسیم و منگنز به‌ترتیب کم‌تر از ٠/٠٢٥ میلی‌مولار و ٠/١ میکرومولار شود اثرات قابل‌توجهی ناشی از کمبود هر یون ظاهر می‌گردد. نقش خاص مولیبدن نیز در تشکیل گره به‌طور گسترده مطالعه شده است، به‌طوری‌که ١٥-١٠ پی‌پی‌ام مولیبدن برای تثبیت نیتروژن ضروری می‌باشد (١١). در گیاهان غیرتثبیت‌کننده، این عنصر در متابولیسم و جذب نیتروژن نقش ایفا می‌کند (١٧).

کلسیم یکی از عناصر پرمصرف است که به‌عنوان فاکتور محدودکننده مهم در تثبیت نیتروژن، گره‌زایی را در گونه‌های لگوم رشد کرده در خاک‌های اسیدی افزایش می‌دهد. بر این اساس، مطالعات

www.SID.ir

Archive of SID

نشان داد که کمبود کلسیم، تثبیت نیتروژن را در گره‌های شبدر (*Trifolium subterraneum*)، سویا (*Glycine max*)، یونجه (*Medicago Sativa*) کاهش داد (۳٤).

استفاده از نانوکودها منجر به افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، به حداقل رساندن اثرات منفی ناشی از مصرف بیش از حد کود و کاهش تعداد دفعات کاربرد کود می‌شود. با به‌کارگیری نانوکودها، زمان و سرعت رهاسازی عناصر با نیاز غذایی گیاه مطابق و هماهنگ می‌شود، بنابراین گیاه قادر به جذب بیش‌ترین مقدار مواد غذایی بوده و در نتیجه ضمن کاهش آبشویی عناصر، عملکرد محصول نیز افزایش می‌یابد (۱۰ و ۲۲). لیو و همکاران (۲۰۰۵) در طی پژوهش در رابطه با پاسخ بادام‌زمینی به کربنات‌کلسیم نشان دادند که کربنات‌کلسیم در مقایسه با هیومیک اسید منجر به انشعاب‌دهی بیش‌تری در بادام‌زمینی شد. همچنین افزایش سطح و تعداد برگ، وزن خشک و پروتئین این گیاه در سطوح پایین کربنات‌کلسیم افزایش یافت (۱۹). در آزمایش دیگری با بررسی اثر کود کامل بر گره‌زایی ریشه‌ها در گیاه ماش مشخص شد که کاربرد کود کامل، راندمان تثبیت نیتروژن را از طریق کاهش تولید گره و فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز کاهش داد (۲۵). جعفردوخت و همکاران (۲۰۱۵) اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف روی و منگنز را بر خصوصیات کمی و کیفی ماش بررسی نمودند و گزارش کردند که بیش‌ترین عملکرد از تیمار آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی حاصل شد. همچنین تیمار محلول‌پاشی توأمان عناصر کم‌مصرف، سبب افزایش درصد کربوهیدرات، روی و منگنز و کاهش جذب فسفر شد (۱۲). محلوجی و همکاران (۲۰۱٤) با بررسی اثر محلول‌پاشی کود روی (مصرف نانواکسید روی، کلات روی، مخلوط و عدم محلول‌پاشی) بر ژنوتیپ‌های مختلف جو بیان نمودند که شرایط عدم محلول‌پاشی، حداقل سرعت جوانه‌زنی و حداکثر میزان دی‌اکسیدکربن زیرروزنه‌ای را نشان داد. همچنین بیش‌ترین و کم‌ترین هدایت روزنه‌ای به‌ترتیب در تیمارهای کودی نانوروی و کلات روی مشاهده شد (۲۱). طهماسبی و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی اثر نانوکود نقره و کود زیستی نیتروکسین بر عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی نشان دادند که بالاترین قطر، تعداد و متوسط وزن غده‌ها در بوته و عملکرد غده‌های سیب‌زمینی در تیمار تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن عرف منطقه، ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکود نقره و اعمال نیتروکسین حاصل شد (۳۳). شاه و بلوزروا (۲۰۰۹) در پژوهشی روی اثر نانوذرات سیلیس، پالادیوم، طلا و مس بر جامعه میکروبی خاک و جوانه‌زنی بذر کاهو (*Lactuca sativa* L.) نشان دادند که نانوذرات فلزی تأثیر معنی‌داری بر جامعه میکروبی خاک و رشد گیاهچه‌های کاهو داشتند و باعث افزایش نسبت اندام هوایی به ریشه در کاهو شدند (۲۹).

www.SID.ir

Archive of SID

نخود سیاه (*Cicer arietinum* L.) گیاهی یک‌ساله از تیره بقولات است که در دامنه وسیعی از شرایط آب و هوایی از نواحی نیمه‌گرمسیری شبه‌قاره هند و شمال‌شرقی استرالیا تا مناطق مدیترانه‌ای غرب آسیا، شمال آفریقا، جنوب و جنوب‌غربی اروپا کشت می‌شود (١٨). علاوه بر اهمیت این گیاه به‌عنوان یک منبع مهم غذایی برای تغذیه انسان و دام، این گیاه در مدیریت حاصلخیزی به‌ویژه در مناطق خشک کمک می‌کند. با وجود این‌که نخود سومین لگوم دانه‌ای است که به‌صورت گسترده‌ای در جهان کشت می‌شود، پژوهش‌های روی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن آن نسبتاً کم انجام شده است (١١). نژادهای خاصی از باکتری ریزوبیوم (*Rhizobium ciceri*) سبب تشکیل گره‌های باکتریایی در نخود و تعداد معدودی از گونه‌های خویشاوند وحشی می‌شوند. در شرایط مناسب مزرعه، غده‌های متورم صورتی رنگ را می‌توان ١٥-١٠ روز پس ازکشت نخود روی ریشه گیاهچه‌ها مشاهده کرد (٢). با توجه به اهمیت دو عنصر کلسیم (عنصر پرمصرف) و مولیبدن (عنصر کم‌مصرف) در رشد گیاه و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن خانواده بقولات، هدف از این پژوهش، بررسی پاسخ‌های رشدی گیاه نخود سیاه در مراحل مختلف رشد و نمو به تیمارهای کودی نانوکلسیم و مولیبدن در شرایط همزیستی با باکتری ریزوبیوم بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر نانوکود مولیبدن و کلسیم بر پارامترهای رشد و گره‌زایی گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) در حضور باکتری‌های مزوریزوبیوم تلقیح‌شده به ریشه در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه پیام‌نور مرکز مشهد در سال ١٣٩٢ انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف عناصر مولیبدن و کلسیم بود که به فرم نانواکسیدهای قابل‌جذب توسط گیاه، تهیه شدند. عناصر ذکر شده به‌ترتیب در سه سطح ٠، ٢ و ٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای مولیبدن و چهار سطح ٠، ١٠٠، ٢٠٠ و ٣٠٠ کیلوگرم در هکتار برای کلسیم (به‌ترتیب معادل ٠، ٠/٠٦، ٠/١٣ و ٠/٢٠ میلی‌گرم در هر گلدان) به‌صورت محلول‌های کودی آماده و پس از استقرار گیاه، طی سه مرتبه به فاصله ١٥ روز به همراه آب آبیاری به خاک گلدان‌ها اضافه شدند. بذر نخود رقم کاکا (mcc441) از پژوهشکده علوم گیاهی مشهد تهیه و پس از آماده‌سازی مایع تلقیح باکتری مزوریزوبیوم به‌میزان یک گرم پودر باکتری در ١٠٠٠ سی‌سی آب مقطر، بذور به‌مدت یک ساعت در آن خیسانده شدند (٣٢). به‌منظور کشت در شرایط گلخانه‌ای، میزان ٢ کیلوگرم خاک با ویژگی‌های ذکر شده در جدول (١) در گلدان‌های پلاستیکی ریخته شد و تعداد ١٠ عدد بذر تلقیح‌شده در هر گلدان قرار گرفت و آبیاری به‌طور مرتب با حفظ رطوبت ظرفیت مزرعه در گلدان‌ها انجام شد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک قبل از شروع آزمایش.

Table 1. Soil physical and chemical characteristics before experiment start.

بافت خاک Soil texture	میزان عناصر غذایی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Nutrient level ($mg.kg^{-1}$)			هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH
	پتاسیم قابل‌دسترس Available Potassium	فسفر قابل‌دسترس Available Phosphorous	نیتروژن کل Total N		
لوم سیلتی Silty loam	118	7.1	298	1.14	7.75

اندازه‌گیری پارامترهای رشد: گیاهچه‌های نخود طی ٤ مرحله به فاصله‌های ۲۰ روزه از زمان سبزشدن، برداشت شدند. سپس بخش هوایی و ریشه گیاهچه‌های نخود در آون با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و وزن خشک آن‌ها محاسبه گردید. هر یک از این بخش‌ها در پاکت‌های کاغذی جداگانه قرار داده شدند و به آزمایشگاه منتقل گردیدند. در آزمایشگاه گره‌های ریشه ابتدا جدا و تعداد آن‌ها شمارش و سپس قطر آن‌ها با کمک میکروسکوپ نوری الیمپوس مدل C21F تعیین شدند. طول ریشه و اندام هوایی به کمک خط‌کش و سطح برگ در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مدل DELTA-T انجام شد.

اندازه‌گیری میزان عناصر در گیاه و خاک: جهت تعیین غلظت مولیبدن و کلسیم در بافت‌های گیاهی، اندام‌های هوایی و ریشه‌ها آسیاب و از الک ۵ میلی‌متری عبور داده شد و سپس در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد سوزانده شدند. ۲ گرم از نمونه‌های خاکستر شده با استفاده از اسید نیتریک و اسید پرکلریک هضم و سپس مقدار مولیبدن با دستگاه جذب اتمی و کلسیم به روش کمپلکسومتری در نمونه‌های گیاهی اندازه‌گیری شد. میزان کلسیم در عصاره اشباع خاک و مولیبدن نیز در در خاک عصاره‌گیری شده با DTPA هم به روش‌های ذکر شده اندازه‌گیری شدند (٦).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر نانواکسیدهای کلسیم و مولیبدن بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی نخود در جدول (۲) نشان داده شده است. اثر سطوح مختلف کلسیم بر ارتفاع ساقه در سطح احتمال ۵ درصد، تعداد گره تثبیت نیتروژن، وزن خشک ساقه، سطح برگ و کلسیم و مولیبدن موجود در گیاه در سطح احتمال یک درصد از نظر آماری معنی‌دار بود. خصوصیات طول و وزن خشک ریشه گیاه نخود سیاه، تحت‌تأثیر تیمار کلسیم قرار نگرفت. اعمال سطوح مختلف نانواکسید مولیبدن فقط بر خصوصیات سطح برگ در سطح احتمال ۵ درصد و کلسیم گیاه در سطح احتمال ۱

www.SID.ir

Archive of SID

درصد تأثیر معنی‌داری داشت و پارامترهای دیگر، تحت‌تأثیر این تیمار قرار نگرفتند. همچنین اثر متقابل کلسیم و مولیبدن فقط بر کلسیم در سطح احتمال ۵ درصد و مولیبدن موجود در گیاه نخود سیاه در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر معنی‌داری داشت.

مقایسه میانگین‌های برخی صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی نخود سیاه در جدول ۳ نشان داده شده است. صفات ارتفاع بوته، وزن خشک اندام‌های هوایی، سطح برگ و تعداد گره‌های تثبیت‌کننده بیولوژیکی نیتروژن در گیاه نخود در سطوح مختلف کلسیم نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار یافت. بیش‌ترین ارتفاع بوته (سانتی‌متر) در غلظت ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کلسیم مشاهده شد ولی با افزایش غلظت کلسیم در ۲۰۰ و ۳۰۰ (کیلوگرم در هکتار)، ارتفاع بوته نخود کاهش یافت. این روند برای وزن خشک اندام هوایی و سطح برگ مشاهده نشد. با افزایش مقدار کلسیم در واحد سطح از صفر تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، وزن خشک اندام‌های هوایی و سطح برگ روند افزایشی نشان داد، به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار وزن خشک اندام‌های هوایی (۰/٦گرم در بوته) و سطح برگ (١٤ سانتی‌مترمربع در بوته) در تیمار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کلسیم و کم‌ترین مقدار این پارامترها در شاهد مشاهده شد (جدول ۳). با توجه به اهمیت کلسیم به‌عنوان یک عنصر ضروری ماکرو برای گیاه و همچنین نقش اصولی آن در فرایند تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در لگوم‌ها، افزایش عملکرد با افزایش سطح کلسیم در خاک برای گیاه نخود طبیعی است (۳ و ١٦).

هارتلی و همکاران (٢٠٠٤) افزایش عملکرد گونه گون یک‌ساله (*Serradella ornithopus*) را در حضور سطوح مختلف کلسیم در خاک گزارش کردند و بیان کردند که با فراهمی کلسیم برای گیاه تعداد و اندازه گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن افزایش می‌یابد. این امر منجر به تثبیت نیتروژن بیش‌تر و در نتیجه بالا رفتن وزن خشک گیاه و در نهایت عملکرد محصول می‌گردد (١٤). با مشاهده افزایش وزن خشک و سطح برگ گیاه نخود سیاه در تیمار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کلسیم، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که افزایش غلظت کلسیم تأثیر مثبت بر گره‌زایی نخود و تثبیت نیتروژن داشته است، هر چند که اثر رقابتی کلسیم با عناصری چون پتاسیم و منیزیم را نباید نادیده گرفت. از طرف دیگر، شاید دلیل عدم تأثیر کلسیم در افزایش عملکرد در غلظت‌های کم‌تر کلسیم در خاک (۱۰۰ و۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، فعالیت و حلالیت بالای کلسیم به فرم نانو باشد که منجر به جذب بیش‌تر آن در سطح ذرات رس و مواد آلی و در نتیجه خارج شدن آن از دسترس گیاه شده باشد (۱۹). نتایج برائر و همکاران (۲۰۰۲) نیز نشان داد که افزایش کلسیم، منجر به رشد بیش‌تر ریشه در لگوم‌ها و در نتیجه جذب بیش‌تر عناصر غذایی توسط گیاه شد (۵). سیمباژان و دیوک (۱۹۸۷) برای بهبود گره‌زایی و افزایش عملکرد در لگوم‌ها از تیمار آهک به همراه مولیبدن استفاده کردند و توانایی این تیمار را در بهبود تغذیه گیاه به‌دلیل فراهمی نیتروژن (از طریق ریزوبیوم) و کلسیم و منیزیم (از آهک) دانستند (۳۰).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- تجزیه واریانس نانوکودهای کلسیم و مولیبدن بر برخی خصوصیات کمی و کیفی نخود سیاه.

Table 2. Variance analysis of nano calcium and molybdenum fertilizers on some qualitative and quantitative traits of black chickpea.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares								
		ارتفاع بوته Plant height	طول ریشه Root length	وزن خشک اندام‌های هوایی Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	سطح برگ Leaf area	تعداد گره در گیاه Number of nodules per plant	قطر گره Nodule Diameter	مقدار کلسیم گیاه Amount of calcium in Plant	مقدار مولیبدن گیاه Amount of Molybdenum in Plant
کلسیم Calcium	3	64.03*	10.94^{ns}	0.16**	0.03^{ns}	107.95**	553.06**	1.26^{ns}	556690.95**	51.19**
مولیبدن Molybdenum	2	11.80^{ns}	6.03^{ns}	0.02^{ns}	0.01^{ns}	73.73*	56.69^{ns}	0.23^{ns}	44327.20**	0.92^{ns}
کلسیم*مولیبدن Ca*Mo	6	30.09^{ns}	6.38^{ns}	0.02^{ns}	0.03^{ns}	11.00^{ns}	14.95^{ns}	0.67^{ns}	27819.77*	6.65**
خطا Error	24	21.23	6.38	0.04	0.02	22.46	61.22	0.48	8725.05	0.96

** معنی دار در سطح احتمال یک درصد، * معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و ^{ns} غیرمعنی دار.

** Significant at α=0.01 probability level, * Significant at α=0.05 probability level and ^{ns} No significant.

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به جدول (۳)، تعداد گره در سطوح مختلف کلسیم نسبت به شاهد روند افزایشی داشت، به‌طوری‌که تیمار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کلسیم (معادل با ۰/۲۰ میلی‌گرم کلسیم در هر گلدان)، بیش‌ترین تعداد گره ثبیت بیولوژیکی نیتروژن را نشان داد. اثر تیمارهای مختلف کلسیم بر قطر گره معنی‌دار نبود. کلسیم یک عنصر ضروری پرمصرف برای گیاهان بوده که در تشکیل گره در لگوم‌ها ضروری است. مطالعات نشان داده است که کمبود کلسیم، تثبیت نیتروژن را در گره‌ها مختل می‌سازد. باناس و همکاران (۳) نشان دادند که در گیاه شبدر زیرزمینی (*Trifolium subterraneum* L.)، کمبود کلسیم میزان تثبیت نیتروژن را پنجاه درصد کاهش داد، اسمیت و همکاران (۱۹۹۲) همچنین ذکر کردند که کمبود کلسیم علاوه بر کاهش تعداد گره، تراکم ریشه‌های مویین را نیز به‌طور معنی‌داری کم کرد (۳۱). مطالعات کمی در مورد تأثیر نانوکلسیم در گره‌زایی بقولات در دسترس است. نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش غلظت کلسیم نانو تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، گره‌زایی نخود سیاه را نزدیک به سه برابر نسبت به شاهد افزایش داد. با توجه به این‌که فعالیت و پتانسیل نانوذرات بسیار بیش‌تر از فرم معمول آن‌ها می‌باشد، احتمالاً کاربرد کلسیم به فرم نانو منجر به افزایش جذب آن توسط گیاه و در نتیجه افزایش شدت تولید گره شده است. مطالعه دیگر انجام شده توسط لوکرسیا و همکاران (۱۹۸۷) همچنین افزایش تعداد و وزن گره‌ها را در گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) در اثر کاربرد کلسیم در خاک نشان داد (۲۰). این نتایج توسط هارتلی و همکاران (۲۰۰٤) نیز گزارش شده است (١٤).

جدول ۳- اثر سطوح مختلف کلسیم بر برخی خصوصیات فیزیومورفولوژیکی گیاه نخود در ابتدای مرحله گلدهی.

Table 3. The effect of different levels of calcium on some physio-morphological traits of chickpea at the flowering stage.

کلسیم (کیلوگرم در هکتار) Calcium ($kg.ha^{-1}$)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	وزن خشک اندام‌های هوایی (گرم در بوته) Shoot dry weight ($g.plant^{-1}$)	سطح برگ (سانتی‌مترمربع در بوته) Leaf area ($cm^2.plant^{-1}$)	تعداد گره در گیاه Number of nodules per plant
0	27.06^{b}	0.25^{b}	5.51^{b}	8.22^{b}
100	33.57^{a}	0.41^{ab}	9.72^{ab}	14.89^{b}
200	30.78^{ab}	0.41^{ab}	9.50^{ab}	14.67^{b}
300	30.49^{ab}	0.58^{a}	13.99^{a}	27.00^{a}
LSD	4.48	0.19	4.61	7.61

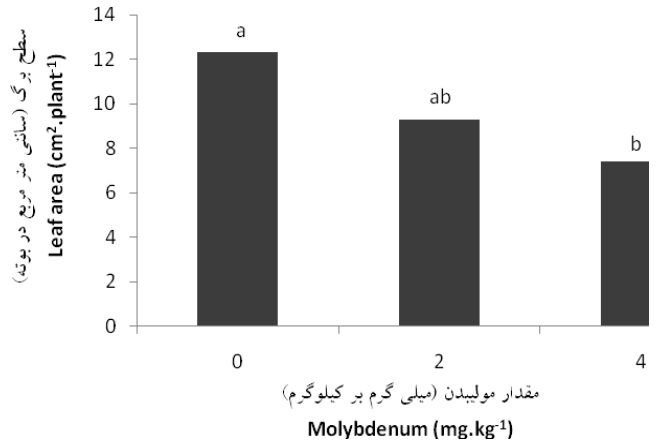
* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

* Means with the similar letters in the each column are not significantly different at P<0.05.

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی نتایج مقایسه میانگین‌های سطح برگ گیاه نخود سیاه، تحت‌تأثیر مقادیر مختلف مولیبدن نشان داد که با افزایش غلظت مولیبدن در خاک، این صفت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین و کم‌ترین سطح برگ به‌ترتیب در شاهد و ٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم مولیبدن مشاهده شد. بررسی اثر سطوح مختلف مولیبدن بر میزان جذب کلسیم توسط گیاه نیز نشان داد که جذب کلسیم در غلظت‌های ۲ و ٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم مولیبدن در گیاه افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت (شکل ۱).



شکل ۱- اثر سطوح مختلف مولیبدن بر سطح برگ گیاه نخود در مرحله گلدهی.

Figure 1. The effect of different levels of molybdenum on leaf area of chickpea at flowering stage.

* میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

*** Means with the similar letters n are not significantly different at P<0.05.**

مولیبدن از عناصر ضروری است که در لگوم‌هایی مثل لوبیا و نخود دو نقش مهم دارد، اولاً گیاه از مولیبدن برای تجزیه نیترات جذب شده از خاک استفاده می‌کند و ثانیاً مولیبدن در تثبیت نیتروژن موجود در اتمسفر به‌وسیله باکتری‌های موجود در ریشه گیاهان نقش دارد. این عنصر، یک ترکیب کلیدی برای فرایند تثبیت و اثر روی رشد گیاه است (۱۵). لگوم‌ها تمایل به حفظ غلظت مولیبدن در گره‌ها را دارند، مخصوصاً لوبیا و سویا که تمایل به بهبود گره‌ها و دانه را نسبت به دیگر بافت‌ها دارا می‌باشند (۱۳). وقتی مولیبدن به فرم نانو با قابلیت دسترسی بالاتر به خاک اضافه می‌شود جذب توسط

www.SID.ir

Archive of SID

گیاه بیش‌تر شده و آبشویی نیز کم‌تر صورت می‌گیرد، چرا که این مولیبدن فعال با مواد آلی باند شده و به مرور در دسترس گیاه قرار داده می‌شود. البته باید توجه داشت که با وجود نقش مولیبدن در لگوم‌ها و حساسیت آن‌ها به کمبود مولیبدن، از طرفی زیادی مولیبدن نیز تأثیر منفی روی گیاه دارد و منجر به کاهش بیومس، کاهش عملکرد دانه و کاهش کیفیت تولید می‌شود (٢٤).

اثر متقابل نانوکودهای کلسیم و مولیبدن فقط بر دو پارامتر کلسیم و مولیبدن موجود در گیاه از نظر آماری معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که شاهد، بیش‌ترین میزان جذب کلسیم توسط گیاه نخود را دارا بود و با افزایش غلظت کلسیم تا ١٠٠ کیلوگرم در هکتار در خاک میزان جذب کلسیم در گیاه کاهش معنی‌داری یافت اما با افزایش بیش‌تر غلظت کلسیم، تغییر معنی‌داری در این صفت مشاهده نشد (جدول ٤). شاید دلیل این امر، آن است که در شرایط افزایش غلظت کلسیم موجود در خاک، رقابت یونی رخ داده و با توجه به غالبیت کلسیم در محیط، جذب سطحی کلسیم توسط کلوئیدهای خاک افزایش و مقدار در دسترس آن برای گیاه در محلول خاک کاهش یافته است. از ویژگی‌های خاص عنصر کلسیم این است که اگر به مقدار زیاد در خاک وجود داشته باشد جذب آن توسط گیاه کم می‌شود (٢٠). با افزایش غلظت کلسیم در خاک این عنصر در روی ذرات رس و مواد آلی که بار منفی زیادی دارند نشسته و جذب ویژه کلسیم اتفاق می‌افتد، در نتیجه کلسیم کم‌تر وارد فاز محلول می‌شود و به دنبال آن قابلیت جذب آن توسط گیاه کم می‌گردد. سالاردینی (١٩٧٩) از دیگر دلایل کاهش جذب کلسیم را به‌دلیل حضور کلسیم در کنار کربنات مربوطه دانسته و بیان کردند که به‌دلیل حلالیت کم کربنات‌کلسیم، کلسیم کم‌تر می‌تواند در فاز محلول به‌منظور جذب توسط گیاه آزاد گردد (٢٨).

با افزایش سطح مولیبدن در شرایط عدم اعمال کلسیم، میزان کلسیم موجود در گیاه روند افزایشی نشان داد، اما در سطوح بالاتر کلسیم، این روند تغییرات افزایشی کلسیم گیاه با افزایش مولیبدن مشاهده نشد. بیش‌ترین مقدار کلسیم گیاه در تیمار تلفیقی ٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم مولیبدن و عدم اعمال نانواکسیدکلسیم مشاهده شد. کم‌ترین مقدار این پارامتر نیز به تیمار تلفیقی ٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم مولیبدن و ١٠٠ کیلوگرم در هکتار کلسیم تعلق داشت که اختلاف آماری معنی‌داری با تیمارهای تلفیقی ٠ و ٢ میلی‌گرم بر کیلوگرم مولیبدن در شرایط اعمال ١٠٠ کیلوگرم در هکتار کلسیم، ٠ و ٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم مولیبدن در شرایط اعمال ٢٠٠ کیلوگرم در هکتار کلسیم و ٠ و ٢ میلی‌گرم بر کیلوگرم مولیبدن در شرایط اعمال ٣٠٠ کیلوگرم در هکتار کلسیم نداشت (جدول ٤). در کل فراهم

www.SID.ir

Archive of SID

بودن یک یون تحت‌تأثیر سایر یون‌های موجود در محلول قرار می‌گیرد. افزایش بعضی یون‌ها در محلول خاک منجر به کاهش جذب برخی دیگر شده که این پدیده اثر رقابتی نام دارد. با افزایش غلظت کلسیم در محلول خاک در ابتدا جذب این یون به‌دلیل اثر غلظت، افزایش می‌یابد ولی با بیش‌تر شدن غلظت در محلول خاک و به دنبال آن جذب بیش‌تر کلسیم توسط گیاه در تیمارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کلسیم، جذب عناصری چون پتاسیم و منیزم به‌دلیل رقابت با کلسیم کم شده و این اثر منجر به کاهش عملکرد گیاه می‌شود (٤).

همان‌طور که در جدول (٤) مشاهده می‌شود، میزان جذب مولیبدن نانو توسط گیاه، تحت‌تأثیر سطوح مختلف کلسیم متفاوت بود. در سطوح بالاتر نانواکسید کلسیم (۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار)، با افزایش سطح نانواکسید مولیبدن، مولیبدن موجود در گیاه، روند افزایشی نشان داد. بیش‌ترین مقدار این پارامتر به تیمار تلفیقی ٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم مولیبدن و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کلسیم تعلق داشت که اختلاف آماری معنی‌داری با تیمارهای ۰ و ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم مولیبدن در شرایط اعمال ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کلسیم نداشت. در بیش‌تر خاک‌ها مولیبدن در فرم‌های غیرقابل دسترس برای گیاه وجود دارد که با افزایش آهک و دولومیت می‌توان حلالیت مولیبدن را بالا برد. تأثیر آهک روی قابلیت دسترسی مولیبدن آهسته بوده و ممکن است تا جبران کمبود مولیبدن چندین ماه طول بکشد، ولی استفاده از فرم‌های نانو ترکیبات کلسیم به‌دلیل حلالیت و تحرک بالاتر ممکن است این روند را تسریع نماید (۱۳). با توجه به این‌که کلسیم به فرم کربنات کلسیم نانو به خاک اضافه شد، حلالیت و در نتیجه قابلیت دسترسی آن در خاک بیش‌تر می شود که یکی از نتایج آن افزایش pH خاک می‌باشد که منجر به بالا رفتن قابلیت جذب مولیبدن توسط گیاه می‌گردد، زیرا مولیبدن در pH های قلیایی، بیش‌تر به فرم قابل دسترس در می‌آید. الکساندرا و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که در حضور کربنات کلسیم، جذب مولیبدن توسط گیاه شبدر قرمز افزایش یافت که دلیل آن افزایش pH و از طرفی گستردگی ریشه‌ها ذکر شد. نامبردگان بیان نمودند که در خاکی با pH بالا، ممانعت از جذب مولیبدات روی سطح رس‌ها اتفاق افتاد که این امر توضیحی بر دلیل افزایش جذب مولیبدن با گیاه به هنگام استفاده از کربنات‌کلسیم در خاک‌ها بود (۱). کانونتری و همکاران (۱۹۸۵) گزارش کردند که اثر ریزوبیوم در حضور آهک و مولیبدن بسیار بیش‌تر از عدم حضور آن‌ها در شبدر بود که این امر منجر به افزایش رشد اندام هوایی و ریشه در گیاه شد (۹).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- اثر متقابل نانوکودهای کلسیم و مولیبدن بر میزان کلسیم و مولیبدن موجود در گیاه نخود سیاه در مرحله گلدهی.

Table 4. The interaction effect of nano- calcium and molybdenum fertilizers on the amount of plant calcium and molybdenum in chickpea at the flowering stage.

کلسیم (کیلوگرم در هکتار) Calcium ($kg.ha^{-1}$)	مولیبدن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Molybdenum ($mg.kg^{-1}$)	مقدار کلسیم گیاه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Amount of calcium in Plant ($mg.kg^{-1}$)	مقدار مولیبدن گیاه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Amount of molybdenum in Plant ($mg.kg^{-1}$)
0	0	685.8 c	8.105 abc
	2	846.1 b	6.420 a-d
	4	1005 a	6.637 a-d
100	0	312.2 ef	3.795 cd
	2	379.9 def	4.970 a-d
	4	257.2 f	2.607 d
200	0	324.6 def	4.233 bcd
	2	432.7 de	6.130 a-d
	4	290.6 ef	8.460 abc
300	0	299 ef	9.467 a
	2	397.1 def	9.160 ab
	4	474.9 d	10.110 a
LSD		157.4	5.22

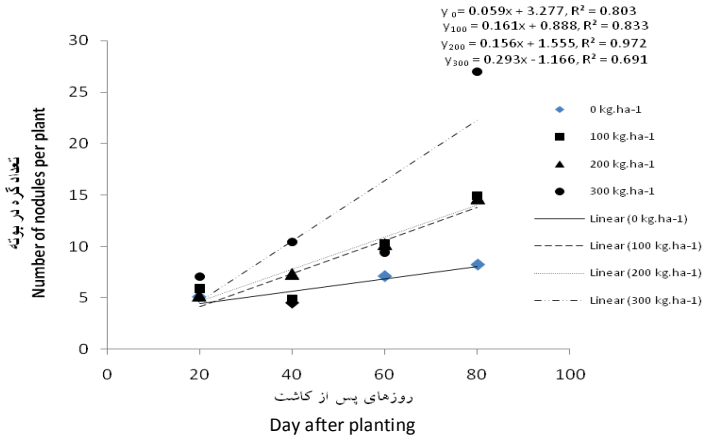
* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

* Means with the similar letters in the each column are not significantly different at $P<0.05$.

تأثیر سطوح مختلف کلسیم بر روند تغییرات تعداد گره در گیاه نخود سیاه در طی زمان در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، سطح ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و شاهد به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین شیب تغییرات تعداد گره در طی زمان بودند و روند خطی افزایشی نشان دادند.

www.SID.ir

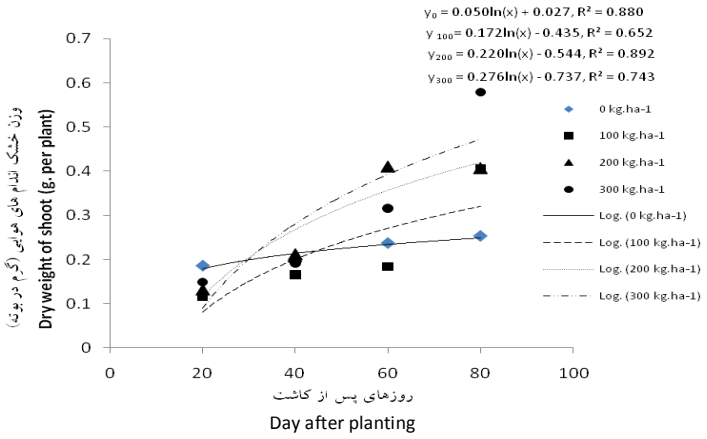
Archive of SID



شکل ۲- روند تغییرات تعداد گره در شرایط اعمال سطوح مختلف کلسیم در طی زمان.

Figure 2. The trend of number of nodules under the application of different levels of calcium during time.

وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی در همه سطوح کلسیم مورد بررسی در طی زمان، روند افزایشی معنی‌داری نشان دادند. بیش‌ترین شیب تغییرات وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه در طی زمان در سطح ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کلسیم مشاهده شد. کم‌ترین شیب تغییرات این دو پارامتر نیز در شاهد حاصل گردید (شکل‌های ۳ و ٤).

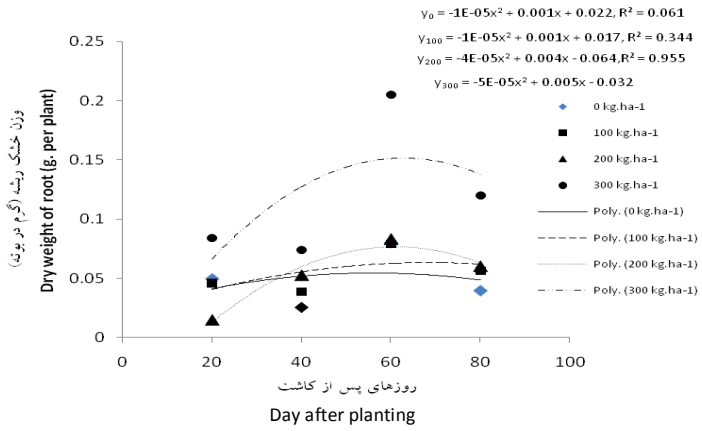


شکل ۳- روند تغییرات وزن خشک اندام‌های هوایی در شرایط اعمال سطوح مختلف کلسیم در طی زمان.

Figure 3. The trend of shoot dry weight under the application of different levels of calcium during time.

www.SID.ir

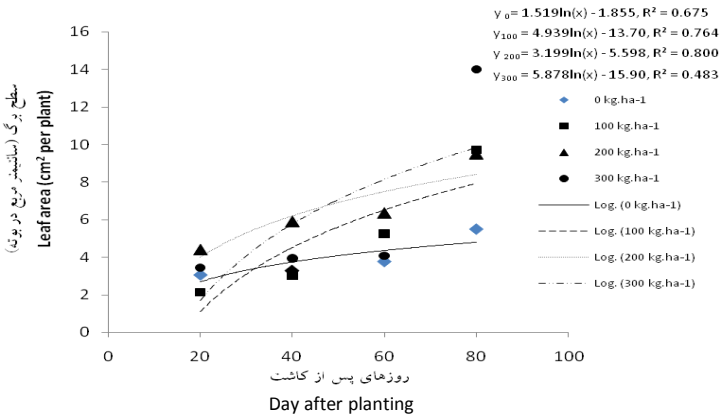
Archive of SID



شکل ٤- روند تغییرات وزن خشک ریشه در شرایط اعمال سطوح مختلف کلسیم در طی زمان.

Figure 4. The trend of root dry weight under the application of different levels of calcium during time.

همان‌گونه که در شکل (٥) مشاهده می‌شود، تغییرات سطح برگ گیاه نخود سیاه در طی زمان در همه سطوح کلسیم مورد بررسی، روند افزایشی غیرخطی معنی‌داری نشان داد. بیش‌ترین واکنش افزایشی سطح برگ در تیمار ٣٠٠ کیلوگرم در هکتار کلسیم به‌دست آمد و تیمار ١٠٠ کیلوگرم در هکتار کلسیم، رتبه دوم را از نظر این صفت به خود اختصاص داد. شاهد (عدم اعمال نانواکسیدکلسیم) دارای کم‌ترین شیب تغییرات سطح برگ در طی زمان بود.



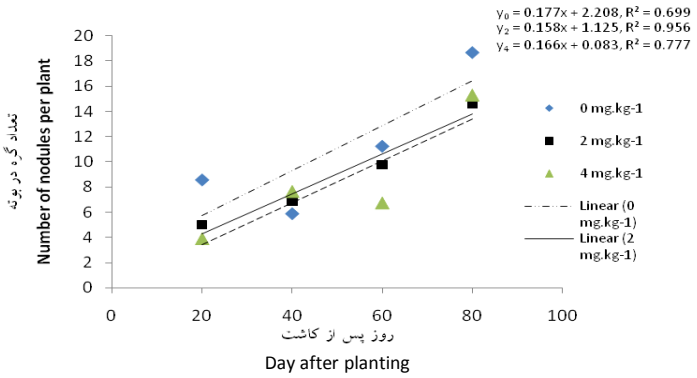
شکل ٥- روند تغییرات سطح برگ در شرایط اعمال سطوح مختلف کلسیم در طی زمان.

Figure 5. The trend of leaf area under the application of different levels of calcium during time.

www.SID.ir

Archive of SID

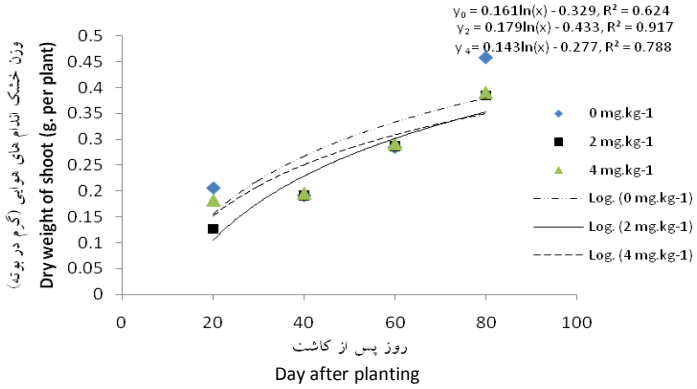
در همه سطوح مولیبدن، تعداد گره در بوته در طی زمان، روند افزایشی خطی معنی‌داری نشان داد. بیش‌ترین تعداد گره در بوته در کل مراحل نمونه‌برداری در شرایط عدم اعمال مولیبدن حاصل شد و کم‌ترین مقدار این صفت نیز به سطح ٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم مولیبدن حاصل شد (شکل ٦).



شکل ٦- روند تغییرات تعداد گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در شرایط اعمال سطوح مختلف مولیبدن در طی زمان.

Figure 6. The trend of number of nodules under the application of different levels of molybdenum during time.

در سطوح مختلف مولیبدن، وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه در طی زمان، روند افزایشی غیرخطی معنی‌داری را نشان دادند. در همه مراحل نمونه‌برداری، بیش‌ترین وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه به‌ترتیب در شاهد (عدم اعمال مولیبدن) و تیمار ٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم مولیبدن مشاهده شد (شکل‌های ٧ و ٨).

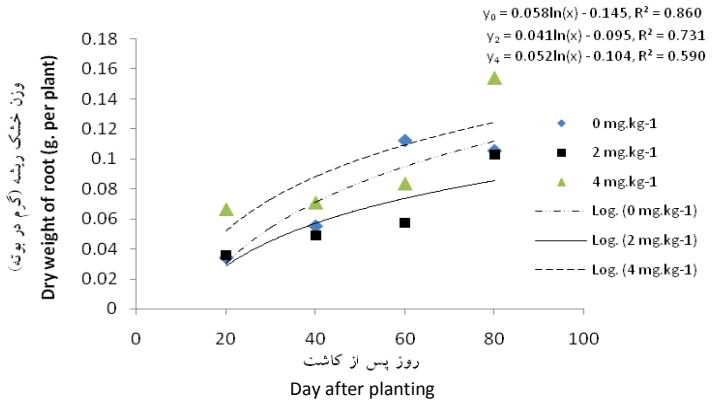


شکل ٧- روند تغییرات وزن خشک اندام‌های هوایی در شرایط اعمال سطوح مختلف مولیبدن در طی زمان.

Figure 7. The trend of shoot dry weight under the application of different levels of molybdenum during time.

www.SID.ir

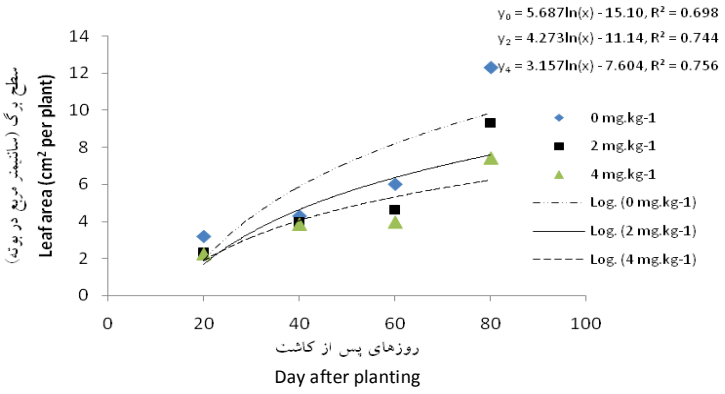
Archive of SID



شکل ٨- روند تغییرات وزن خشک ریشه در شرایط اعمال سطوح مختلف مولیبدن در طی زمان.

Figure 8. The trend of root dry weight under the application of different levels of molybdenum during time.

نتایج بیانگر آن بود که اعمال مولیبدن اثر ممانعت‌کنندگی بر سطح برگ داشت، به‌طوری‌که در همه مراحل نمونه‌برداری بیش‌ترین سطح برگ در بوته به شرایط عدم اعمال مولیبدن اختصاص داشت. کم‌ترین شیب خط افزایش سطح برگ در طی زمان نیز در تیمار ٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم مولیبدن حاصل شد (شکل ٩).



شکل ٩- روند تغییرات سطح برگ در شرایط اعمال سطوح مختلف مولیبدن در طی زمان.

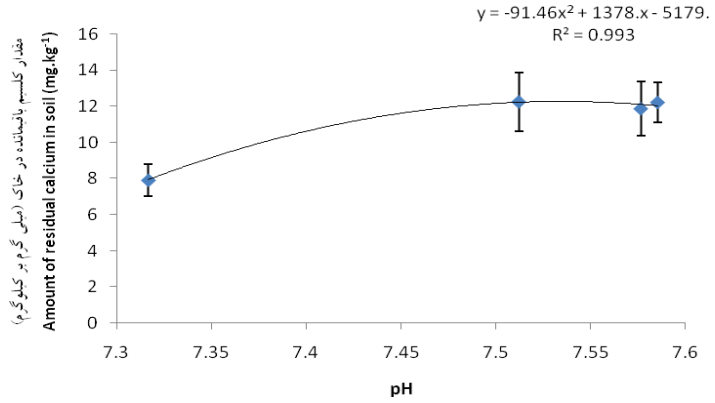
Figure 9. The trend of leaf area under the application of different levels of molybdenum during time.

www.SID.ir

Archive of SID

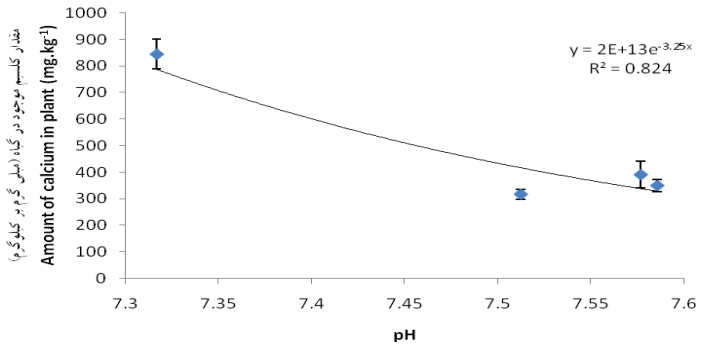
همان‌گونه که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، رابطه رگرسیونی مثبت و معنی‌داری بین مقدار کلسیم باقی‌مانده در خاک و pH عصاره اشباع خاک مشاهده شد، به‌طوری‌که با افزایش pH خاک، مقدار کلسیم موجود در خاک در زمان برداشت افزایش یافت. کلسیم به‌عنوان یک کاتیون بازی مطرح بوده که با افزایش pH عصاره اشباع خاک، حلالیت بیش‌تری می‌یابد.

همچنین بررسی نتایج، رابطه رگرسیونی نزولی و معنی‌داری را بین pH و مقدار کسیم موجود در گیاه نشان داد (شکل ۱۱).



شکل ۱۰- رابطه رگرسیونی بین pH و مقدار کلسیم باقی‌مانده در خاک.

Figure 10. The regression relationship between pH and amount of calcium in the soil.



شکل ۱۱- رابطه رگرسیونی بین pH خاک و مقدار کلسیم موجود در گیاه.

Figure 11. The regression relationship between pH and amount of calcium in the plant.

www.SID.ir

Archive of SID

در خاک‌های اسیدی، ممانعت از گره‌زایی یک فاکتور محدودکننده مهم در فرایند تثبیت بیولوژیکی نیتروژن است در نتیجه افزایش pH خاک از طریق کربنات یا اکسیدکلسیم، یک راه مؤثر در افزایش تعداد گره در لگوم‌ها می‌باشد (٣٤). همچنین تغییر pH، دسترسی عناصر غذایی را نیز تحت‌تأثیر قرار می‌دهد به‌طوری‌که جذب بعضی از عناصر نظیر مولیبدن تسهیل می‌گردد. لازم به ذکر است که وقتی مولیبدن به فرم نانو با قابلیت دسترسی بالاتر به خاک اضافه می‌شود جذب توسط گیاه بیش‌تر شده و آبشویی نیز کم‌تر صورت می‌گیرد، چرا که این مولیبدن فعال با مواد آلی باند شده و به مرور در دسترس گیاه قرار داده می‌شود (٢٣).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست آمده از پژوهش نشان داد که بیش‌ترین مقدار وزن خشک اندام‌های هوایی، سطح برگ و تعداد گره تثبیت زیستی نیتروژن در تیمار ٣٠٠ کیلوگرم در هکتار کلسیم و کم‌ترین مقدار این صفات در شاهد مشاهده شد. سطوح مختلف نانومولیبدن فقط بر سطح برگ و جذب کلسیم توسط گیاه تأثیر کاهشی معنی‌داری نسبت به شاهد داشت.

به‌طورکلی، چنین استنباط می‌شود که کاربرد توأمان نانوکودهای کلسیم و مولیبدن می‌تواند بر جذب عناصر غذایی توسط گیاه مؤثر باشد، به‌طوری‌که اثر متقابل کلسیم و مولیبدن بر کلسیم و مولیبدن موجود در گیاه نخود سیاه تأثیر معنی‌داری داشت. بیش‌ترین مقدار کلسیم گیاه در تیمار تلفیقی ٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم مولیبدن و عدم اعمال نانواکسیدکلسیم مشاهده شد. بیش‌ترین مقدار مولیبدن موجود در گیاه نیز به تیمار تلفیقی ٤ میلی‌گرم بر گیلوگرم مولیبدن و ٣٠٠ کیلوگرم در هکتار کلسیم تعلق داشت.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پژوهشی است که با حمایت مالی دانشگاه پیام‌نور انجام شده است.

منابع

1.Alexandra, E.R., Mora, M.D.L., Ghiselini, V., Demanet, R., and Gallard, F. 2010. Phosphorus- molybdenum relationship in soil and red clover (*Trifolium pratense* L.) on an acid andisol. J. Soil Sci. Plant Nutr., 10: 1. 78-91.
2.Bagheri, A.R., Nezami, A., Ganjali, A., and Parsa, M. 2007. Agronomy and Breeding of Chickpea. University Jihad Press. 444p. (In Persian)
3.Banath, C.L., Greenwood, E.A.N., and Loneragan, J.F. 1966. Effects of calcium deficiency on symbiotic nitrogen fixation. Plant Physiol., 4l: 760-763.

www.SID.ir

Archive of SID

4.Bohn, H.L., McNeal, B., and O'Connor, G.A. 2001. Soil Chemistry. 3rd ed. Wiley Interscience, New York. 382p.
5.Brauer, D., Ritchey, D., and Belesky, D. 2002. Effects of lime and calcium on root development and nodulation of clovers. Crop Sci., 42: 1640-1646.
6.Bremner, J.M., and Mulvany, R.L. 1982. Methods of Soil Analysis (Ed. Page, A.L.), American Society of Agronomy, Medison, WI, USA.
7.Chabot, R., and Antoun, H. 1996. Growth promotion of maize and lettuce by phosphate solubility *Rhizobium leguminossrum* biovar phaseoli. Plant Soil., 148: 311-321.
8.Congming, L., and Zhang, J. 2000. Photosynthetic CO_2 assimilation chlorophyll fluorescence and photoihibiton as affected by nitrogen deficiency in maize plants. Plant Sci., 151: 2. 135-143.
9.Coventry, D.R., Hirth, J.R., Rceves, T.C., and Jones, H.R. 1985. Development of populations of *Rhizobium trifolii* and nodulation of subterranean clover following the cropping phase in crop-pasture rotation in southeastern Australia. Soil Biol. Biochem., 17: 17-22.
10.Derosa, M.R., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R., and Sultan, Y. 2010. Nanotechnology in fertilizers. Nat. Nanotechnol., 5: 91-92.
11.FAO. 1984. Legume inoculants and their use, Food and Agriculture organization of the United Nations, Rome, Pp: 1-63.
12.Jafar Dokht, R., Mosavi Nik, S.M., Mehraban, A., and Basiri, M. 2015. Effect of water stress and foliar micronutrient application on physiological characteristics and nutrient uptake in mung bean. Electron. J. Crop Prod., 8: 1. 121-141.
13.Gurley, W.H., and Giddens, J. 1969. Factors affecting uptake, yield response, and carryover of molybdenum in soybean seed. Agron. J., 61: 7-9.
14.Hartley, E., Greg-Gemell, L., and Herridge, F.D. 2004. Lime pelleting inoculation serradella (*Ornithopus* spp.) increases nodulation and yield. Soil Biol. Biochem., 36: 1289-1294.
15.Kaiser, N.B., Gridler, K.L., Ngaire, B.J., Phillips, T., and Tyerman, S.D. 2005. The role of molybdenum in agricultural plant Production. Ann. Bot., 96: 745-754.
16.Khoshgoftarmanesh, A.H. 2007. Principles of Plant Nutrition. Esfahan University of Technology. 462p.
17.Kijne, J.W., Smit, G., Diaz, C.L., and Lugtenberg, B.J.J. 1988. Lectin-enhanced accumulation of manganese-limited *Rhizobium leguminosarum* cells on pea root hair tips. J. Bacteriol., 170: 2994-3000.
18.Leport, L., Turner, N.C., Davies, S.L., and Siddique, K.H.M. 2006. Variation in pod production and abortion among chickpea cultivars under terminal drought. Eur. J. Agron., 24: 236-246.
19.Liu, X.M., Zhang, F.D., Zhang, S.Q., He, X.S., Fang, R., Feng, Z., and Wang, Y. 2005. Responses of peanut to nano-calcium carbonate. Plant Nutr. Fert. Sci., 11: 3-9.
20.Lucrecia, M., Ramos, G., and Boddey, R.M. 1987. Yield and nodulation of *Phaseolus Vulgaris* and the competitivity of an introduced *Rhizobium* strain: Effects of lime, mulch and repeated cropping. Soil Biol. Biochem., 19: 171-177.

www.SID.ir

Archive of SID

21.Mahlooji, M., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., Sabzaliyan, M.R., and Kamali, M.R. 2014. Effect of water salinity and nano and chelated zinc foliar application on photosynthesis parameters of barley genotypes. Elec. J. Crop Prod., 7: 4. 41-60.
22.Naderi, M.R., and Danesh-Shahraki, A.R. 2013. Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. Intl. J. Agri. Crop Sci., 5: 19. 2229-2232.
23.Nair, R., Varghese, S.H., Nair, B.G., Maekawa, T., Yoshida, Y., and Kumar, S.D. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Sci., 179: 154-163.
24.Nautiyal , N., and Chatterjee, C. 2004. Molybdenum Stress-Induced Changes in Growth and Yield of Chickpea. J. Plant Nutr., 27: 1. 173-181.
25.Nursu'aidah, B.H. 2014. Effects of fertilizer on root nodulation, chlorophyll content and nitrate reductase activity in long bean and mung bean. Master's thesis, University of Malaya. Available at: www.studentsrepo.um.edu.
26.O'Hara, G.W. 2001. Nutritional constraints on root nodule bacteria affecting symbiotic nitrogen fixation: a review, Aust. J. Exp. Agric., 41: 417-433.
27.Saikia, S.P., and Jain, V. 2007. Biological nitrogen fixation with non legumes: An achievable target or a dogma? Curr. Sci., 92: 3. 317-322.
28.Salardini, A.A. 1979. Soil Fertility. University Publication Center of Tehran. 440p.
29.Shah, V., and Blozerova, I. 2009. Influence of metal nanoparticles on the soil microbial community and germination of lettuce seeds. Water Air Soil Pollut., 97: 143-148.
30.Simbajon, E.C., and Du que, C.M. 1987. Nodulation, N-fixation and yield of peanut (*Arachis hypogaea* L.) as influenced by inoculation and nitrogen fertilization on limed and unlimed strongly acid tropical soil. J. Agric. Food Nutr., 9: 132-157.
31.Smit, G., Swart, S., Lugtenberg, B.J.J., and Kijne, J.W. 1992. Molecular mechanisms of attachment of Rhizobiu bacteria to plant roots. J. Mol. Biol., 6: 2897-2903.
32.Somasegaran, P., and Hoben, H.J. 1994. Hand book for Rhizobia,Methods in Legume Rhizobium Technology, New York. Spring-Verlag. 198p.
33.Tahmasbi, D., Zarghami, R., Azghandi, A.V., and Chaichi, M. 2011. Effects of nanosilver and nitroxin biofertilizer on yield and yield components of potato minitubers. Int. J. Agr. Biol., 13: 6. 986-990.
34.Weisany, W., Raei, Y., and Haji Allahverdipoor, K. 2013. Role of some of mineral nutrients in biological nitrogen fixation. Bull. Env. Pharmacol. Life Sci., 2: 4. 77-84.
35.Xia, L., Zhiwei, S., Lei, J., Lei, H., Chenggang, R., Man, W., and Chuanen, L., 2011. High/Low nitrogen adapted hybrid of rice cultivars and their physiological responses. Afr. J. Biotechnol., 10: 19. 3731-3738.
36.Zahran, H.H. 1999. Rhizobium-Legume Symbiosis and Nitrogen Fixation under Severe Conditions and in an Arid Climate. Microbiol. Mol. Biol. Rev., 63: 4. 968-989.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir