



Effects of Some Stress Modulators on Nodulation, Grain Filling Rate and Yield of Rain-fed lentil (*Lens culinaris* L.)

Raouf Seyed Sharifi^{1*}, Hamed Narimani²

Received: 22 November 2022 Accepted: 07 February 2023

1- Prof., Dept. of Plant Production and Genetic, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2- PhD Student, Dept. of Plant Production and Genetic, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh, Iran.

*Corresponding Author Email: raouf_ssharifi@yahoo.com

Abstract

Background and Objective: the aim of this study was to investigate the effects of some stress modulators on nodulation, grain filling rate and yield of rainfed lentil.

Materials & Methods: an experiment as factorial was conducted based on randomized complete block design with three replications in a farm of near the research farm of faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohagheghi Ardabil in 2022. The first factor application of bio-organic fertilizers in four levels (no application of bio-organic fertilizers as control, application of mycorrhiza, vermicompost, both application of mycorrhiza and vermicompost), and the second factor nano particle foliar application in four levels (foliar application with water as control, application of nano silicon oxide, nano iron oxide, both application of nano silicon-iron oxide) were included.

Results: The results showed that both application of vermicompost and mycorrhiza increased chlorophyll index, relative water content, protein yield in hehtar, iron and protein contents of grains (20.6 and 24.6% respectively) in comparison with no application of vermicompost and mycorrhiza. Similar results were observed in application of nano iron-silicon oxide. So, both application of nano iron-silicon oxide increased chlorophyll index, relative water content, protein yield in hehtar, iron and protein content of grains (29.1 and 37.7% respectively) in comparison with no application of nano silicon-iron oxide. Application of vermicompost and mycorrhiza with nano iron-silicon oxide increased number of active nodules per plant, number of grain per pod, number of pod per plant, number of lateral branches, nodule weight, quantum yield and grain yield (72%) in comparison with no application of mycorrhiza and vermicompost and nano iron-silicon oxide.

Conclusion: It seems that foliar application nano iron-silicon oxide and application mycorrhiza and vermicompost can be recommendable as suitable method for improving yield of lentil under rain fed conditions.

Keywords: Iron, Mycorrhiza, Silicon, Vermicompost, Water Limitation



تأثیر برخی تعدیل کننده‌های تنش بر گره‌زایی، سرعت پر شدن دانه و عملکرد عدس دیم

رئوف سیدشرفی^{۱*}، حامد نریمانی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸

۱- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
 ۲- دانشجوی دکتری رشته فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
 *مسئول مکاتبه: raouf_ssharifi@yahoo.com

چکیده

هدف: هدف این آزمایش، ارزیابی اثرات برخی تعدیل کننده‌های تنش بر گره‌زایی، سرعت پر شدن دانه و عملکرد عدس دیم بود.

مواد و روش‌ها: آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه‌ای نزدیک مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۱۴۰۱ اجرا شد. فاکتور اول کاربرد کودهای زیستی و آلی در چهار سطح (عدم مصرف به عنوان شاهد، کاربرد ورمی‌کمپوست، مایکوریزا، کاربرد توام ورمی‌کمپوست و مایکوریزا)، و فاکتور دوم محلول‌پاشی نانو ذرات در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به-عنوان شاهد، کاربرد نانو اکسیدسیلیکون، نانو اکسید آهن، کاربرد توام نانو اکسید سیلیکون و آهن) شامل می‌شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که کاربرد توام ورمی‌کمپوست و مایکوریزا شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب، عملکرد پروتئین در هکتار، محتوای آهن و پروتئین دانه (به ترتیب ۲۰/۶ و ۲۴/۶ درصد) را در مقایسه با عدم کاربرد آنها افزایش داد. نتایج مشابهی نیز در کاربرد نانو اکسید آهن و سیلیکون مشاهده شد. طوری که کاربرد توام نانو اکسید آهن و سیلیکون شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب، عملکرد پروتئین در هکتار، محتوای پروتئین و آهن دانه (به ترتیب ۲۹/۱ و ۳۷/۷ درصد) را در مقایسه با عدم کاربرد آنها افزایش داد. کاربرد ورمی‌کمپوست و مایکوریزا با نانو اکسید آهن و سیلیکون تعداد گره فعال در بوته، دانه در نیام، نیام در بوته، تعداد شاخه جانبی، وزن گره، عملکرد کوانتومی و عملکرد دانه (۷۲ درصد) را نسبت به عدم کاربرد کمپوست و مایکوریزا با نانو اکسید آهن و سیلیکون افزایش داد.

نتیجه گیری: به نظر می‌رسد محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و سیلیکون و کاربرد کودهای زیستی و آلی می‌توانند به عنوان یک روش مناسب برای بهبود عملکرد عدس تحت شرایط دیم قابل توصیه باشند.

واژه های کلیدی: آهن، مایکوریزا، ورمی‌کمپوست، سیلیکون، محدودیت آبی

مقدمه

اسیدهای آمینه ضروری و ۲۸/۵ درصد پروتئین، کاهش شیوع آفات، بیماری و علف‌های هرز در تناوب با دیگر گیاهان زراعی، برخورداری از مقادیر بالای آهن و فیبرهای محلول در کمک به رفع کم خونی و کاهش نیاز

عدس (*Lens culinaris Medik*) به دلیل توانایی تثبیت زیستی نیتروژن، امکان کشت در اراضی کم بازده، قابلیت نگهداری بالای بذر، برخورداری از اکثر

و همکاران ۲۰۱۲) و می‌تواند جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی در بلند مدت باشد. سمیران و همکاران (۲۰۱۰) افزایش معنی‌دار عملکرد لوبیا و ذرت را در کاربرد مقادیر مناسب از کود کمپوست، به افزایش مواد مغذی به‌ویژه نیتروژن موجود در این کود نسبت دادند. نتایج یک بررسی نشان داد که کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست در شرایط تنش آبی، تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی را افزایش داد (نجان و همکاران ۲۰۱۶). در پژوهشی دیگر کاربرد ورمی‌کمپوست سبب افزایش ۸۷ درصدی تعداد نیام در بوته و تعداد دانه در نیام لوبیا چیتی رقم صدی شد (بلوچی و همکاران ۲۰۱۶).

سیلیکون دومین عنصر فراوان بعد از اکسیژن در خاک، گرچه به‌عنوان عنصر ضروری تلقی نشده و گیاهان قادرند چرخه زندگی خود را بدون این عنصر نیز کامل کنند ولی استفاده از آن ضمن افزایش فتوسنتز و شاخص کلروفیل (هادی و همکاران ۲۰۱۶)، حفظ آب در بافت‌های گیاهی و کاهش تلفات بیش از حد آب توسط تعرق (رومر و اراندا و همکاران ۲۰۰۶)، موجب افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی می‌شود (لیانگ و همکاران ۲۰۰۷). طالع احمد و حداد (۲۰۱۱) گزارش کردند که در شرایط محدودیت آبی، کاربرد سیلیکون موجب افزایش معنی‌دار عملکرد گندم شد. کاربرد سیلیکون در ذرت تحت تنش خشکی، با کاهش میزان تعرق و جلوگیری از هدررفت آب، منجر به بهبود عملکرد شد (گائو و همکاران ۲۰۰۶). نظری و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی اثر مایکوریزا، ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون بر تربیتکاله تحت شدت‌های مختلف تنش خشکی، افزایش ۵۹/۵۲ درصدی عملکرد دانه را در شرایط آبیاری کامل با کاربرد توام ورمی‌کمپوست، مایکوریزا و نانوسیلیکون نسبت به محدودیت شدید آبی و عدم کاربرد کودهای آلی، زیستی و نانوسیلیکون گزارش کردند.

کمبود آهن در خاک‌های آهکی، شنی و فرسایش یافته مناطق خشک و نیمه خشک، ضمن کاهش گره‌زایی عدس (توگای و همکاران ۲۰۱۵)، به دلیل عدم مصرف کودهای حاوی عناصر ریز مغذی و کودهای آلی شیوع بیشتری دارد (ولچ و همکاران ۱۹۹۹). این عنصر جز آنزیم نیتروژناز، لگ هموگلوبین و فردوکسین است.

به انسولین در افراد دیابتی، موجب شده است که از اهمیت خاصی در بین حبوبات برخوردار باشد (ساکر و کومار ۲۰۱۱).

اختصاص بخش عمده‌ای از اراضی کم بازده و برخوردار از مواد آلی کم در مناطق خشک و نیمه خشک کشور به کشت عدس و محدودیت آبی ناشی از کاهش مقدار و توزیع نامناسب بارندگی در طول دوره‌ی رشدی، از علل اصلی کاهش عملکرد این گیاه محسوب می‌شود (پیرزاد و همکاران ۲۰۱۶). در این راستا کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش نظیر مایکوریزا با افزایش سطح جذب و گسترش منطقه نفوذ ریشه از طریق هیف‌های مایکوریزایی به مناطقی از خاک که ریشه قادر به حضور در آن مناطق نیست، موجب افزایش انتقال و سطح تبادلات مواد غذایی معدنی و آب با ترکیب‌های محلول خاک، افزایش نسبت تعرق و هدایت هیدرولیکی خاک، و تغییر در تعادل هورمون‌های گیاهی می‌شود (ال کراکی و همکاران ۲۰۰۴). همچنین همزیستی با قارچ مایکوریزا با افزایش جذب عناصر غذایی نظیر نیتروژن و فسفر به خصوص در خاک‌هایی که محدودیت فسفر دارند، منجر به تحریک گره‌زایی و افزایش تثبیت زیستی نیتروژن شده، ضمن کاهش اثر سوء ناشی از کمبود عناصر غذایی، برگشت‌پذیری پس از تنش را افزایش می‌دهند (لطیف و چونگ ۲۰۱۱). کپائو و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی اثر قارچ مایکوریزا آربوسکولار بر مقاومت به خشکی خود در شرایط کمبود رطوبت خاک، دریافتند که همزیستی مایکوریزایی به طور قابل ملاحظه‌ای موجب بهبود محتوای کلروفیل و شدت فتوسنتز گیاه شد. علیخانی و همکاران (۲۰۱۷) اظهار داشتند که کاربرد مایکوریزا تحت تنش کم آبی، خصوصیات رشدی و جذب بیشتر عناصر در عدس را افزایش داد.

کاربرد کودهای آلی نظیر ورمی‌کمپوست در خاک‌های فقیر و کم بازده، علاوه بر فراهمی عناصر غذایی و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک (مانند قارچ مایکوریزا و میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات) (آرانکون و همکاران ۲۰۰۴)، موجب اسفنجی شدن ساختمان خاک، افزایش درصد خلل و فرج، کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک، افزایش ماده آلی و درصد کل آب قابل دسترس در خاک شده (احمدآبادی

و نانو اکسید آهن و سیلیکون بر گره‌زایی، عملکرد و اجزای پر شدن دانه عدس دیم بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه‌ای نزدیک مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل کاربرد کودهای زیستی و آلی در چهار سطح (عدم مصرف به عنوان شاهد، کاربرد ورمی‌کمپوست، مایکوریزا، کاربرد توام ورمی‌کمپوست و مایکوریزا)، نانو ذرات در سه سطح (محلول پاشی با آب به عنوان شاهد، کاربرد ۸۰ میلی-گرم در لیتر نانوسیلیکون، کاربرد ۰/۸ گرم در لیتر نانو اکسید آهن، کاربرد توام نانوسیلیکون و آهن) بودند. نانو اکسید آهن از تجهیزات آزمایشگاهی و شیمیایی جهان کیمیای ارومیه، نانوسیلیکون (SiO₂-Nano) محصول شرکت Nanomaterial US Research بود و از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه شد و مشخصات آنها در جدول ۱ آورده شده است. نتایج حاصل از تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۲ و شرایط اقلیمی منطقه مورد کشت در طول دوره رشدی عدس در جدول ۳ آورده شده است.

یکی از راه‌های تأمین سریع آهن مورد نیاز گیاهان و جلوگیری از تثبیت آن در خاک، محلول پاشی است. در این راستا عرضه کود به شکل نانوذرات به دلیل سرعت جذب و انتقال بیشتر در مقایسه با شکل متداول و مرسوم آنها، می‌تواند اثرگذاری بیشتر این ذرات را توجیه نماید (مونیکا و کریمنین ۲۰۰۹). صالحی و طهماسبی (۲۰۰۸) برتری ذرات نانو را به حلالیت بیشتر، سبک و کوچک بودن و شانس برخورد بیشتر این ذرات با گیاه نسبت دادند. بررسی‌ها نشان داده است که نانو اکسید آهن در مقایسه با آهن معمولی، از تاثیر معنی‌داری در افزایش آهن گیاه برخوردار است (مظاهری‌نیا و همکاران ۲۰۱۰). داداش‌زاده و سیدشرفی (۲۰۱۷) گزارش کردند که استفاده توأم مایکوریزا و محلول پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید آهن در شرایط آبیاری کامل از بیشترین سرعت، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه در مقایسه با عدم کاربرد آنها برخوردار بود.

سه‌م بیش از ۹۴ درصدی زراعت عدس تحت شرایط دیم در کشور (ماج ۲۰۱۵) و کمبود نزولات به خصوص در سال‌های اخیر، ضرورت استفاده از روش‌هایی را که موجب تعدیل بخشی از اثرات ناشی از محدودیت آبی و بهبود عملکرد عدس دیم می‌شود، امری اجتناب ناپذیر می‌سازد. از این‌رو هدف این مطالعه، بررسی تاثیر برخی تعدیل کننده‌های تنش نظیر کودهای زیستی و آلی

جدول ۱- مشخصات نانو اکسید آهن و نانوسیلیکون

نوع نانوذرات	وزن (g)	خلوص (%)	میانگین اندازه ذرات (nm)	سطح ویژه ذرات	رنگ
نانو اکسید آهن	۱	۹۹	<۳۰	>۳۰ m ² .g ⁻¹	پودری قرمز
نانوسیلیکون	۰/۰۵	۹۹	۳۰-۲۰	>۳۰ m ² .g ⁻¹	پودری سفید

جدول ۲- تجزیه برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک نمونه برداری	کربنات کلسیم	pH	درصد اشباع	رس	لوم	شن	بافت آلی	کربن نیتروژن کل	فسفر	پتاسیم
صفر تا ۴۰ (cm)	%		%	%	لومی	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg
۱۸/۵	۷/۵	۴۵	۶/۳	۶۲	۳۱/۷	۰/۱۸	۰/۰۴	۱۱/۳	۲۱۴	

جدول ۳- مشخصات آب و هوایی محل اجرای آزمایش در طول دوره رشدی عدس در سال ۱۴۰۱
(ماخذ: اداره هواشناسی اردبیل)

ماه‌های رشدی عدس					
پارامترهای اقلیمی	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد
بارندگی (mm)	۲/۲	۶/۶	۹/۳	۱۱/۶	۱۳/۲
میانگین حداقل دما (° C)	۲/۲	۶/۶	۹/۳	۱۱/۶	۱۳/۲
میانگین حداکثر دما (° C)	۱۴/۶	۱۷/۹	۲۵/۳	۲۶/۲	۲۵/۹
جمع ساعات آفتابی	۱۷۶/۳	۱۶۰/۶	۲۸۷/۵	۳۴۶	۲۶۷/۷
متوسط رطوبت نسبی (%)	۶۴	۷۶	۶۵	۶۳	۶۸

قارچ *Glomus mosseae* تهیه شده از شرکت زیست فناوری توران، به مقدار ۲۰ گرم در هر متر مربع خاک (۲۰۰ کیلوگرم در هر هکتار) بر اساس توصیه شرکت سازنده استفاده شد. مقدار ورمی‌کمپوست مصرفی در این آزمایش شش تن در هکتار در نظر گرفته شد که از شرکت گیلدا خریداری و مشخصات فیزیکوشیمیایی آن در جدول ۴ آورده شده است.

کاشت در بیست و یکم فروردین ماه به صورت دستی در مزرعه‌ای که دو سال قبل از اجرای آزمایش به آیش و کشت جو اختصاص داده شده بود در عمق ۳-۴ سانتی‌متری انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل شش ردیف سه متری با فاصله بین ردیفی ۲۵ سانتی-متر و تراکم کاشت ۸۰ کیلوگرم بذر در هکتار بود. این مقدار بذر، تراکم توصیه شده برای عدس رقم بیله‌سوار می‌باشد که رقم غالب و مورد کشت در منطقه است. از

جدول ۴- نتایج تجزیه کود ورمی کمپوست

مشخصه	Cd	Pb	Zn	Cu	Mn	Fe	EC dS.m ⁻¹
مقادیر	۱	۱۹	۱۱۰	۲۰	۲۷۵	۵۰۰۰	۱/۱۲
مشخصه	Mg	Ca	K	P	N	OC	pH
مقادیر	۰/۹۵	۲/۷۳	۰/۴	۰/۴	۱/۵۵	۳۲/۹	۷/۶۴

انجام شد. کود خاصی در طول اجرای آزمایش استفاده نشد. به منظور تعیین اثر تیمارها بر وزن گره، تعداد گره‌های فعال و غیرفعال، در مجموع چهار گلدان در خطوط اصلی هر واحد آزمایشی (یک گلدان در هر خط اصلی کاشت)، با قطر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری قبل از کاشت و هم سطح با دیگر خطوط کاشت قرار داده شده و با همان خاک مزرعه پر شدند. تراکم کاشت در این گلدان‌ها مانند دیگر ردیف‌های کاشت مزرعه در نظر گرفته شدند. در مرحله گلدهی، بوته‌های هر گلدان به همراه ریشه به طور کامل جدا شده و پس از شستشوی ریشه‌ها، گره‌ها با پنس از ریشه جدا و تعداد آن‌ها تعیین شد. وزن خشک گره‌ها نیز پس از قرارگیری در آون به

از باکتری مخصوص عدس یعنی ریزوبیوم لگومینوزاروم *Rhizobium leguminosarum* برای تلقیح بذر استفاده شد. محلول‌پاشی با نانوآکسید آهن و سیلیکون در دو مرحله از رشد (طی رشد رویشی و اوایل گلدهی به ترتیب معادل با کد GSV4 (باز شدن دومین برگ دو برگچه‌ای) و GSR1 (اولین مرحله از رشد زایشی) بر اساس مقیاس ارسکین و همکاران (۱۹۹۰) استفاده شد. برای حل بهتر، ابتدا نانو آکسید آهن و سیلیکون در آب دی‌یونیزه قرار داده شدند و با استفاده از لرزش و ارتعاشات دستگاه اولتراسونیک (۱۰۰ وات و ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۳۰ دقیقه) این مواد پخش شده و محلول گردید (پراساد و همکاران ۲۰۱۲). کنترل علف‌های هرز در طول دوره رشد به روش دستی

به دو مرحله تفکیک می‌کند: مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t_0 که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله ($t < t_0$) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد. با برازش این مدل بر کلیه داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) به دست آمده و سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه یک قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه شد. برای تعیین دوره موثر پر شدن دانه از رابطه زیر استفاده شد (الیس و پیتافلیهو ۱۹۹۲).

$$EFP = MGW / GFR \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه EFP دوره موثر پر شدن دانه (روز)، MGW حداکثر وزن دانه (میلی‌گرم) و GFR سرعت پر شدن دانه (میلی‌گرم در روز) است.

در هر کرت شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (SPAD-502 مینولتای ژاپن) به‌طور تصادفی روی چهار برگ توسعه یافته در مرحله گلدهی معادل با کد GSR_2 مراحل نموی عدس بر اساس مقیاس ارسکین و همکاران (۱۹۹۰) اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب بین ساعت ۱۲-۱۰ روز، از هر کرت پنج برگ توسعه یافته در مرحله گلدهی (معادل با کد GSR_2 مراحل نموی عدس) به‌طور تصادفی انتخاب و بعد از قرار دادن در فویل‌های آلومینیومی، داخل کیسه‌های پلاستیکی و روی یخ قرار داده و خیلی سریع به آزمایشگاه منتقل و با استفاده از روش چلاه و همکاران (۲۰۱۱) و به شرح زیر اندازه‌گیری شد.

$$RWC (\%) = [(FW-DW)/(TW-DW)] \times 100 \quad (\text{رابطه ۳})$$

chlorophyll fluorometer; Optic Science-OS-) (30 USA از هر واحد آزمایشی به‌طور تصادفی چهار برگ (در فاصله زمانی ساعت ۸-۱۰ صبح) در مرحله گلدهی معادل با کد GSR_2 مراحل نموی عدس انتخاب و

مدت ۴۸ ساعت در دمای 5 ± 7.0 اندازه‌گیری شد (نامور و همکاران ۲۰۱۱). معیار تشخیص گره‌های موثر از غیر موثر بر این اساس بود که در برش گره‌ها، گره‌های موثر به رنگ صورتی یا قرمز گوهی و به تعداد کم‌تر ولی درشت‌تر از گره‌های غیر موثر بوده و بر روی محور اصلی ریشه قرار می‌گیرند در حالی‌که گره‌های غیر موثر به رنگی غیر از رنگ صورتی یا قرمز گوهی بوده و از اندازه کوچکتر برخوردار بوده و بر روی ریشه‌های فرعی قرار دارند (سیدشریفی و قلی نژاد ۲۰۲۱).

به‌منظور تعیین مولفه‌های پر شدن دانه، تعدادی بوته مشابه و یکنواخت در خطوط اصلی هر واحد آزمایشی قبل از گلدهی مشخص و علامت گذاری شد. دو هفته بعد از گلدهی در فواصل زمانی هر چهار روز یک‌بار و در هر مرحله از نمونه برداری سه بوته مشابه و به ظاهر یکنواخت (از بوته‌هایی که قبلاً در خطوط اصلی هر واحد آزمایشی مشخص شده بود) انتخاب و پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا دانه‌ها جدا شده و سپس وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد شد (رونابینی و همکاران ۲۰۰۴). برای برآورد، تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی دو تکه‌ای براساس رویه DUD و دستورالعمل $Proc Nlin$ نرم افزار SAS به صورت زیر استفاده شد.

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < t_0 \\ a + bt & t > t_0 \end{cases} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه GW وزن دانه، t زمان، b سرعت پر شدن دانه، t_0 پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدأ است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را

RWC = درصد محتوای نسبی آب برگ، FW = وزن تر برگ، DW = وزن خشک برگ و TW = وزن آماس یافته یا به حالت تورم برگ است. عملکرد کوانتومی با استفاده از دستگاه

آهن و سیلیکون نیز از افزایش ۳۶/۳ درصدی شاخص کلروفیل در مقایسه با عدم کاربرد آنها برخوردار بود. به نظر می‌رسد محدودیت آبی ناشی از کاهش نزولات در مراحل حساس رشدی نظیر مرحله گلدهی و افزایش دمای حداقل و حداکثر با گذشت زمان در مراحل حساسی از طول دوره رشدی (جدول ۳) به کاهش فاکتورهای لازم جهت سنتز کلروفیل و اختلال در انتقال الکترون در فتوسیستم II منجر می‌شود، در چنین شرایطی الکترون اضافی ناشی از فتولیز آب، با تولید اکسیژن فعال و خسارت به غشاء سلولی از طریق پراکسیداسیون چربی و پروتئین‌ها، می‌تواند به کاهش کلروفیل منجر شود (سیمووا استویلووا ۲۰۰۸). ولی افزایش ۱۵/۲ درصدی محتوای نسبی آب برگ‌ها (جدول ۶) در کاربرد ورمی کمپوست با مایکوریزا، وجود مقادیر بالایی از عناصری مانند آهن، نیتروژن و منیزیوم در ورمی کمپوست مورد استفاده (جدول ۴)، نقشی که محلول‌پاشی آهن در افزایش مقادیر آهن (به-عنوان جز اصلی ساختار کلروفیل) و همچنین قرارگیری سیلیکون در آپوپلاسم دیواره‌های خارجی سلول‌های اپیدرمی، استحکام برگ و تأخیر در پیری برگ دارد، از جمله مواردی هستند که به نظر می‌رسد در افزایش محتوای کلروفیل موثر بوده است (آل آقابری و همکاران ۲۰۰۴). نتایج مشابهی نیز مبنی بر اینکه کاربرد ورمی کمپوست در شرایط محدودیت آبی، به دلیل بهبود جذب فسفر و نیتروژن و افزایش محتوای نسبی آب موجب افزایش محتوای کلروفیل برگ کلزا شد توسط دیگر محققان گزارش شده است (مام‌نبی و همکاران ۲۰۲۰). نظری و همکاران (۲۰۲۲) افزایش شاخص کلروفیل به واسطه کاربرد توام ورمی کمپوست و قارچ مایکوریزا در شرایط محدودیت آبی را، به افزایش جذب نیتروژن، بهبود محتوای نسبی آب برگ و عملکرد کوانتومی برگ تریتیکاله نسبت دادند.

مقایسه میانگین برهمکنش فاکتورهای آزمایشی نشان داد که بالاترین عملکرد کوانتومی (۰/۷۷۶) در کاربرد توام نانوآکسید آهن و سیلیکون و کودهای زیستی و الی بدست آمد که از افزایش ۳۷/۱ درصدی در مقایسه

بعد از ۳۰ دقیقه تاریکی توسط کلیپس یا گیره‌های مخصوص، عملکرد کوانتومی اندازه‌گیری شد (سیدشرفی و قلی‌نژاد ۲۰۲۱). قبل از برداشت برای برآورد تعداد نیام در بوته و تعداد دانه در نیام، از خطوط اصلی هر واحد آزمایشی با رعایت اثر حاشیه-ای، هشت بوته به‌طور تصادفی برداشت و میانگین داده‌های حاصل به عنوان ارزش این صفات در تجزیه واریانس استفاده شد. عملکرد دانه با برداشت از سطحی معادل نیم متر مربع از خطوط اصلی هر واحد آزمایشی بعد از حذف اثر حاشیه‌ای برآورد شد. محتوای نیتروژن دانه به روش کج‌دال تعیین و با ضرب در ضریب مربوطه، درصد پروتئین دانه تعیین شد. عملکرد پروتئین از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد پروتئین تعیین شد (سیدشرفی و قلی‌نژاد ۲۰۲۱). برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم افزارهای SAS ver 9.1 و Excel استفاده شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی کودهای زیستی و آلی، نانوآکسید آهن و سیلیکون بر شاخص کلروفیل، تعداد گره غیرفعال، محتوای آهن و پروتئین دانه، عملکرد پروتئین در سطح احتمال یک درصد و بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). برهمکنش توام کاربرد کودهای زیستی و آلی و نانوآکسید آهن و سیلیکون بر تعداد گره فعال، وزن گره، عملکرد کوانتومی، مولفه‌های پر شدن دانه (اعم از سرعت، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه) در سطح احتمال یک درصد ولی بر عملکرد دانه، تعداد دانه در نیام، تعداد نیام در بوته و تعداد شاخه جانبی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۵).

شاخص کلروفیل و عملکرد کوانتومی: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که شاخص کلروفیل در کاربرد توام ورمی کمپوست و مایکوریزا از افزایش ۲۳/۸ درصدی در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و آلی برخوردار بود (جدول ۶). کاربرد توام نانوآکسید

تسهیل جذب عناصری مانند نیتروژن و منیزیم (به عنوان عناصر اصلی در ساختار مولکول کلروفیل) و تعدیل محدودیت آبی ناشی از شرایط دیم، موجب افزایش عملکرد کوانتومی می‌شود. در این زمینه افتاده فدافن و همکاران (۲۰۱۷) اظهار داشتند که کاربرد ورمی‌کمپوست از طریق بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک و کمک به جذب بیشتر عناصر غذایی، ضمن افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، موجب افزایش عملکرد کوانتومی شد. مهربان جوبانی و همکاران (۲۰۱۹) دلیل افزایش عملکرد کوانتومی برنج در کاربرد نانوسیلیکون را، به بهبود رشد و افزایش محتوای نسبی آب برگ نسبت دادند.

با عدم کاربرد نانواکسید آهن و سیلیکون و کودهای زیستی برخوردار بود (جدول ۷). به نظر می‌رسد کاهش محتوای نسبی آب برگ در حالت عدم محلول‌پاشی و عدم کاربرد کودهای زیستی و آلی (جدول ۶)، و همچنین افزایش دما و محدودیت آبی ناشی از کاهش نزولات در شرایط رشدی گیاه (جدول ۳)، می‌تواند مانع انتقال الکترون در فتوسیستم II شده و در نهایت منجر به کاهش عملکرد کوانتومی و کارایی فتوسنتزی شود (یورداو و همکاران ۲۰۰۳)، ولی در چنین شرایطی کاربرد ورمی‌کمپوست به دلیل برخورداری از مقادیر بالایی از عناصر غذایی (جدول ۴) و نقش مایکوریزا به دلیل ایجاد رابطه همزیستی با گیاه و کمک به جذب آب و برخی عناصر مانند فسفر که به عنوان عنصر کلیدی در انتقال انرژی طی فرآیند فتوسنتز مطرح است و یا

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تاثیر تغییر کفند های تنش بر گرذایی، عملکرد کمی و کیفی، اجزای پر شدن دانه و برخی صفات عدس بیم

میانگین مربعات												
منابع تغییر	د.ف.ا	د.ف.ب	د.ف.ج	د.ف.د	د.ف.ه	د.ف.و	د.ف.ز	د.ف.ح	د.ف.ط	د.ف.ی	د.ف.ق	د.ف.ک
د.ف.ا	د.ف.ب	د.ف.ج	د.ف.د	د.ف.ه	د.ف.و	د.ف.ز	د.ف.ح	د.ف.ط	د.ف.ی	د.ف.ق	د.ف.ک	د.ف.ک
تکرار	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
کود زمستی و آبی	۱۲۴/۳۴۰۰	۷۷/۷۰۰	۱۴/۲۰۰	-۹-۰۷۰۰	۲۸۵۷۳۰۰	-۰/۰۲۴۲۰۰	۲۷۵۷۳۰۰	۲۷/۲۰۰	۲۲/۲۰۰	۲۳۷۷۳۰۰	-۰/۱۲۳۰۰	۸۷۸/۹۰۰
نشان اکسید	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
کود زمستی	۱۱۰۰۰۰۰/۸۰۰	۱۰۰۷۸۲۰۰	۱۵۷۳۰۰	۵۵۷۳۰۰	۱/۸۷۸۱-۳۰۰	۴۷۷۲۰۰	۲/۵۷۰۰	۴۸۰۳۰۰	۱۲۹۶۲۰۰	-۰/۰۰۵۲۰۰	۵۴۷۳۰۰	۱۷۰۷۵۰۰
نشان اکسید x کود زمستی	۱۷۵۷/۵۳*	۱۱۷۷/۴	-۰/۰۰۵۵*	-۰/۱۹۴*	۸۵۷۸۱-۳۰۰	۷/۰۰۰۰	-۰/۲۴۲*	۱۷۲	۲۲/۸۹	-۰/۰۰۷۸۰۰	۱۹۸۹	-۰/۰۸۵
خطای آزمایشی	۵۴۸/۲۶	۱۸۴/۸۶	-۰/۰۰۷۵	-۰/۱۱۹	۱۸۴۸۱-۳۰	-۰/۳۴۴	-۰/۱۲۱	-۰/۲۶۸	۲۲/۸۳	-۰/۰۰۰۸۱	۱۹۸۱	-۰/۰۱۲
خطای آزمایشی	۲/۶۱	۸۴۳	۲/۹۲	۴/۳۱	۲/۸۵	۷/۵۴	۵/۹۲	۴/۲۶	۷/۷	۲/۹۶	۶/۱۶	۲/۸۶
خطای آزمایشی	۲/۶۱	۸۴۳	۲/۹۲	۴/۳۱	۲/۸۵	۷/۵۴	۵/۹۲	۴/۲۶	۷/۷	۲/۹۶	۶/۱۶	۲/۸۶
خطای آزمایشی	۲/۶۱	۸۴۳	۲/۹۲	۴/۳۱	۲/۸۵	۷/۵۴	۵/۹۲	۴/۲۶	۷/۷	۲/۹۶	۶/۱۶	۲/۸۶

د.ف.ا و د.ف.ب بهترین تغییر منفی دار و منفی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر نانوآکسید آهن و سیلیکون، کودهای زیستی و آلی بر برخی صفات عدس

محتوای نسبی آب (%)	عملکرد پروتئین (kg.ha ⁻¹)	محتوای پروتئین دانه (%)	محتوای آهن دانه (mg.kg ⁻¹)	تعداد گره غیر فعال	شاخص کلروفیل	سطوح فاکتورها	فاکتورهای مورد بررسی
۶۴/۸۱c	۱۰۷/۸۱c	۱۷/۰۹c	۶۷/۵۶c	۴/۱۳a	۳۳/۵۶d	شاهد	
۷۱/۰۵b	۱۲۱/۱۴b	۱۸/۳۵b	۷۵/۵۳b	۳/۱۲b	۳۷/۴c	ورمی کمپوست	کودهای زیستی و آلی
۷۲/۵۸ab	۱۲۵/۷۲ b	۱۸/۶۳b	۷۷/۴۶ab	۳/۱۹b	۳۸/۸۹b	مایکوریزا	
۷۴/۶۶a	۱۵۲/۰۷۸a	۲۱/۰۳a	۸۱/۵۱a	۱/۴۸c	۴۱/۵۸a	ورمی کمپوست و مایکوریزا	
۳/۶۴	۸/۸	۰/۷۱	۴/۸۴	۰/۳۰۸	۱/۲۷	LSD	
۶۷/۸۳b	۹۳/۰۹d	۱۶/۱۹d	۶۱/۷c	۳/۸۳a	۳۱/۳۹d	شاهد	
۷۰/۹۸ab	۱۱۵/۵۱c	۱۸/۴۲c	۷۳/۵۷b	۳/۳۳b	۳۶/۹۳c	سیلیکون	نانوآکسید آهن و سیلیکون
۷۱/۸۵a	۱۳۵/۹۹b	۱۹/۵۷b	۸۱/۷۶a	۲/۵۹c	۴۰/۳۱b	آهن	
۷۲/۷۳a	۱۶۲/۱۴a	۲۰/۹۱a	۸۵/۰۲a	۲/۱۷d	۴۲/۸a	آهن و سیلیکون	
۳/۶	۸/۹	۰/۷۴	۴/۸	۰/۳۱۸	۱/۳	LSD	

میانگین های با حروف غیر مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری با هم ندارند.

محتوای نسبی آب برگ

این صفت تحت تاثیر کودهای زیستی و آلی در سطح احتمال یک درصد و نانوآکسید آهن و سیلیکون در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد (جدول ۵). در بین سطوح کودهای زیستی و آلی بیشترین محتوای نسبی آب (۷۴/۶۶ درصد) در کاربرد توام مایکوریزا و ورمی کمپوست و کمترین مقدار آن (۶۴/۸۱ درصد) در عدم کاربرد کودهای زیستی و آلی بدست آمد (جدول ۶). نتایج مشابهی نیز در کاربرد نانوآکسید آهن و سیلیکون در مقایسه با عدم کاربرد آنها بدست آمد، طوری که کاربرد توام نانوآکسید آهن و سیلیکون از افزایش ۵/۶ درصدی محتوای نسبی آب در مقایسه با عدم کاربرد آنها برخوردار بود (جدول ۶). به بیانی دیگر اگرچه محدودیت آبی ناشی از شرایط دیم می تواند منجر به کاهش محتوای نسبی آب برگ شود، ولی به نظر می رسد حضور ورمی کمپوست به دلیل امکان نگهداری بیشتر آب در خاک و نانو سیلیکون با افزایش

غلظت سیلیکون داخل سلول، رسوب در اپیدرم سلولها و همچنین در بخش بالایی کوتیکول برگ، کمک به حفظ ساختار سلولی و کاهش نشت مواد موجب کاهش خروج آب از برگها و افزایش محتوای نسبی آب و تحمل بهتر گیاه به شرایط تنش شود (اوستان و همکاران ۲۰۱۹). برخی محققین معتقدند که سیلیکون با رسوب در زیر لایه کوتیکولی (با ضخامت ۰/۱ میکرومتر) برگ و تشکیل لایه دوگانه کوتیکول-سیلیس و در نتیجه افزایش ضخامت لایه کوتیکولی و موم آن، موجب کاهش تعرق از سطح برگ و پوست گیاهی می-شود، و نتیجه این عمل افزایش محتوای نسبی آب، توسعه برگی و افزایش تولید ماده خشک است (اعتصامی و جیونگ ۲۰۱۸). نتایج مشابهی نیز توسط سارا و همکاران (۲۰۲۱)، گوداس و موفتاح (۲۰۱۵) مبنی بر افزایش محتوای نسبی آب برگ لوبیا و باقلا به واسطه محلول پاشی با سیلیکون گزارش شده است.

جدول ۷- مقایسه میانگین برهمکنش نانواکسید آهن و سیلیکون با کودهای زیستی و آلی بر برخی صفات عدس

ترکیب تیماری	تعداد گره فعال	عملکرد دانه (kg.ha ⁻¹)	تعداد دانه در نیام	تعداد نیام در بوته	وزن گره (mg)	تعداد شاخه جانبی	عملکرد کوانتومی
B1N1	۴/۸۱۱	۴۵۷/۷۴k	۰/۹۷m	۳/۶۳ m	۲/۰۴j	۲/۷۱j	۰/۵۶۶d
B1N2	۵/۷۴kj	۵۲۱/۷۵j	۱/۱۹ijk	۴/۶۲l	۳/۲hi	۳/۶۲i	۰/۶۸۶c
B1N3	۷/۷۴gh	۶۳۲/۴۵fg	۱/۲۹ghf	۵/۷ji	۳/۲۹ghi	۴/۲۹efgh	۰/۷۰۳bc
B1N4	۸/۵۶f	۷۱۱/۶۶cd	۱/۴۱cdb	۷/۲۴cde	۳/۴۴defg	۴/۸abcde	۰/۷۰۶bc
B2N1	۵/۲۸kl	۵۳۲/۵۷j	۱/۰۹l	۴/۹۸ kl	۳/۱۶i	۳/۷۵hi	۰/۶۹۶bc
B2N2	۵/۹۸j	۵۹۱/۱۳hi	۱/۱۵kil	۵/۵۱ijk	۳/۲۲fghi	۴ghi	۰/۷bc
B2N3	۷/۵h	۶۶۱/۶۴ef	۱/۳۲efg	۶/۵۱fgh	۳/۳۷fgh	۴/۴۸defg	۰/۷۰۳bc
B2N4	۹/۹۷d	۷۵۴/۸۵ab	۱/۴۷ab	۷/۵bcd	۳/۵۶bc	۴/۹۴abcd	۰/۷۰۶bc
B3N1	۶/۶۸i	۵۵۹/۰۲ji	۱/۱۳kl	۵/۳۱kj	۳/۲۱ hi	۳/۹۵ghi	۰/۷۳۳abc
B3N2	۸/۲۱fg	۶۱۵/۷۵gh	۱/۲۲ ijh	۵/۹۸hi	۳/۳۸efgh	۴/۱۴ghif	۰/۷۴ab
B3N3	۹/۲۶e	۶۶۶/۸۴fe	۱/۳۵def	۶/۸۱efg	۳/۴۷cdef	۴/۶۲cdef	۰/۷۴ ab
B3N4	۱۰/۷۹c	۷۶۲/۴۱ab	۱/۴۸ab	۷/۶۷bc	۳/۵۶bcd	۵/۰۶abc	۰/۷۴۳ab
B4N1	۱۱/۷۳b	۵۷۴/۳۹i	۱/۲۵ghi	۶/۲۸gh	۳/۴۱defg	۴/۶۷bcdef	۰/۷۵۶a
B4N2	۱۲/۰۸b	۶۹۱/۹۸de	۱/۳۸cde	۷/۰۴def	۳/۵۵ bcde	۵/۱۸abc	۰/۷۶۶ a
B4N3	۱۲/۳۲b	۷۳۶/۳۴bc	۱/۴۴abc	۸/۰۲ab	۳/۷۱b	۵/۲۲ab	۰/۷۷۶a
B4N4	۱۳/۱۴a	۷۹۰/۶۹a	۱/۵۱a	۸/۳۱a	۳/۹۶a	۵/۳۶a	۰/۷۷۶a
LSD 5%	۰/۶۶۵	۳۸/۶۹	۰/۰۸۴	۰/۵۷۵	۰/۱۷۷	۰/۵۸۱	۰/۰۴۷۵

میانگین های با حروف غیر مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری با هم ندارند

B1, B2, B3 و B4 به ترتیب عدم کاربرد کود زیستی و آلی به عنوان شاهد، کاربرد ورمی کمپوست، مایکوریزا، کاربرد توام مایکوریزا و ورمی کمپوست N1, N2, N3 و N4 به ترتیب عدم کاربرد نانواکسید آهن و سیلیکون به عنوان شاهد، کاربرد نانواکسید سیلیکون، نانواکسید آهن، کاربرد توام نانواکسید آهن و سیلیکون

مایکوریزا و ورمی کمپوست برخوردار بود (جدول ۶). کاربرد توام نانواکسید آهن و سیلیکون نیز در مقایسه با عدم کاربرد آنها از کاهش ۷۶ درصدی تعداد گره غیر فعال برخوردار بود (جدول ۶).

افزایش تعداد و وزن گره در کاربرد سیلیکون ممکن است با اثر مفید این عنصر در تحریک ژن گره زایی و افزایش محتوای ایزوفلاونوئیدها مرتبط باشد (چانگ و همکاران ۲۰۲۰). گزارش شده است که ایزوفلاونوئیدهای آزاد شده توسط ریشه، به عنوان جذب کننده های شیمیایی ریزوبیوم عمل کرده و با تنظیم بیان ژن های گره زایی (نلواوندو و داکورا ۲۰۰۶؛ اکارت ۱۹۹۹)، نقش اساسی را در مراحل مختلف فرآیند گره زایی ایفا می کنند. از طرفی به دلیل نقشی که عناصر کم مصرف مانند آهن در سنتز کلروفیل دارد (گوس و

وزن گره، تعداد گره فعال و غیر فعال: تعداد گره فعال و وزن گره تحت تاثیر کودهای زیستی و نانواکسید در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. اثرات اصلی نانواکسید آهن و سیلیکون و همچنین کودهای زیستی و آلی بر تعداد گره غیر فعال در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۵). بالاترین تعداد گره فعال و وزن گره (به ترتیب ۱۳/۱۴ گره در بوته و ۳/۹۶ میلی گرم در بوته) در کاربرد توام نانواکسید آهن و سیلیکون و کودهای زیستی و آلی بدست آمد که از افزایش به ترتیب ۱۷۷ و ۹۴ درصدی در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و آلی و نانواکسید آهن و سیلیکون برخوردار بود (جدول ۷). تعداد گره غیر فعال در عدم کاربرد کودهای زیستی و آلی از افزایش ۱/۷ برابری در مقایسه با کاربرد توام

جانسون ۲۰۰۰)، موجب می‌شود که فعالیت فتوسنتزی و سهم فتوآسیمیلیات‌های اختصاص یافته به ریشه‌ها بیشتر شده و در نهایت تعداد و وزن گره در ریشه افزایش یابد. از آنجایی که مناسب‌ترین مرحله رشدی برای ارزیابی تعداد و وزن گره‌ها مرحله گلدهی است (سیدشریفی و قلی‌نژاد ۲۰۲۱)، و از طرفی با گذشت زمان در طول دوره رشدی گیاه افزایش دما و طول ساعات روز به همراه کاهش نزولات در این مرحله حساس از دوره رشدی (جدول ۳) اثرات ناشی از محدودیت در جذب آب و عناصر غذایی را افزایش می‌دهد که بر تشکیل گره اثر منفی دارد، ولی کاربرد مایکوریزا با کمک به افزایش جذب آب و عناصر غذایی، و ورمی‌کمپوست به دلیل وجود مقادیر بالای از عناصر به خصوص کود فسفره موجود در آن که برای تشکیل گره توسط ریزوبیوم‌ها نیاز شدیدی به فسفر وجود دارد، ضمن کمک به بهبود رشد و کاهش اثرات ناشی از محدودیت آبی، در افزایش گره‌زایی موثر است. به بیانی دیگر بخشی از فایده مهم کودهای زیستی و آلی (نظیر مایکوریزا و ورمی‌کمپوست) در این همزیستی با ریزوبیوم، فراهم کردن فسفر است. زیرا گره‌ها معمولاً دو تا سه برابر ریشه، به فسفر نیاز دارند (بیانچیوتو و همکاران ۲۰۰۰). علاوه بر فسفر، جذب عناصری از قبیل کلسیم، مولیبدن، مس و روی نیز به وسیله مایکوریزا ممکن است تسهیل یابد ضمن آنکه ورمی‌کمپوست مورد استفاده در این بررسی (جدول ۴) حاوی مقادیر قابل توجهی از این عناصر است؛ از این رو با کاربرد مایکوریزا و ورمی‌کمپوست، تعداد و وزن گره افزایش یافت (جدول ۷).

تعداد شاخه جانبی: این صفت تحت اثر ترکیب تیماری هر دو فاکتور مورد بررسی در آزمایش در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). کاربرد توام کودهای زیستی و آلی و نانوآکسید آهن و سیلیکون از افزایش ۹۷ درصدی تعداد شاخه جانبی در مقایسه با عدم کاربرد آنها برخوردار بود (جدول ۷). بخشی از افزایش تعداد شاخه جانبی در کاربرد ورمی‌کمپوست می‌تواند ناشی از سهولت دسترسی گیاه به

مقادیر بالایی از عناصر غذایی به خصوص آهن و نیتروژن موجود در این کود مرتبط باشد (جدول ۴) که ضمن کمک به جذب بیشتر عناصر غذایی و افزایش شاخص کلروفیل (جدول ۶) و عملکرد کوانتومی (جدول ۷)، در نهایت از طریق افزایش میزان فتوسنتز و تولید ماده خشک بیشتر، منجر به افزایش تعداد شاخه جانبی می‌شود. همچنین به نظر می‌رسد محدودیت آبی ناشی از کاهش نزولات در طول دوره رشدی گیاه (جدول ۳) با کاهش آماس سلولی و محتوای نسبی آب برگ (جدول ۶)، رشد و تقسیم سلول‌ها را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه تعداد شاخه‌های جانبی کاهش پیدا می‌کند. همچنین به نظر می‌رسد کاربرد مایکوریزا با انتشار میسلیوم‌های مرتبط با بافت‌های درونی ریشه در خاک اطراف ریشه و تشکیل یک سیستم جذب اضافی به صورت مکمل بر سیستم ریشه‌ای گیاه، امکان بهره‌گیری از رطوبت و مواد غذایی را در حجم بیشتری از خاک که ریشه‌های تغذیه کننده به آن دسترسی ندارند، ممکن ساخته و همین امر می‌تواند موجب افزایش رشد در قسمت‌های مختلف گیاه از جمله افزایش تعداد شاخه‌های جانبی شود.

تعداد دانه در نیام و نیام در بوته: اثر ترکیب تیماری نانوآکسید آهن و سیلیکون و کودهای زیستی و آلی بر تعداد دانه در نیام و تعداد نیام در بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). بیشترین مقادیر این صفات در کاربرد توام نانوآکسید آهن و سیلیکون با مایکوریزا و ورمی‌کمپوست بدست آمد (جدول ۷) که از افزایش به ترتیب ۵۵/۶ و ۱۲۸ درصدی در مقایسه با عدم کاربرد آنها برخوردار بود. یکی از دلایل افزایش تعداد نیام در بوته در حالت کاربرد مایکوریزا و ورمی‌کمپوست و نانوآکسید آهن و سیلیکون می‌تواند ناشی از تاثیر این عوامل بر افزایش ۹۷ درصدی تعداد شاخه جانبی در هر بوته باشد (جدول ۷). از آنجایی که نیام‌ها در بوته علاوه بر شاخه‌های اصلی بر روی شاخه یا ساقه‌های جانبی نیز قرار می‌گیرند، بدیهی است که با کاهش تعداد شاخه جانبی در هر بوته، به تبع آن تعداد نیام در بوته نیز کاهش می‌یابد. بخش دیگری از کاهش تعداد دانه در نیام

محتوای پروتئین دانه و عملکرد پروتئین در هکتار: این دو صفات تحت تاثیر اثر ترکیب تیماری نانوآکسید آهن و سیلیکون و کودهای زیستی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۵). کاربرد ورمی‌کمپوست و مایکوریزا محتوای پروتئین دانه و عملکرد پروتئین دانه را در مقایسه با عدم کاربرد آنها به ترتیب ۲۴/۶ و ۴۱ درصد افزایش داد. همچنین کاربرد نانوآکسید آهن و سیلیکون محتوای پروتئین و عملکرد پروتئین در هکتار را به ترتیب ۲۹/۱ و ۷۴/۱ درصد در مقایسه با عدم کاربرد آنها افزایش داد (جدول ۶). در این راستا مایسین و همکاران (۲۰۱۰) افزایش محتوای پروتئین در کاربرد ورمی‌کمپوست را، به نقش این ماده در تامین مقادیر قابل توجهی از عناصر پیش‌نیاز برای تولید پروتئین نسبت دادند. ساجدی و همکاران (۱۳۸۹) بیان کردند که قارچ مایکوریزا در شرایط محدودیت آبی به دلیل بهبود روابط آبی گیاه و افزایش فشار تورگر، و همچنین با افزایش سطح جذب ریشه از طریق انتشار میسلیم‌های خارجی به منافذ ریز خاک که امکان ورود ریشه‌های موئین برای جذب آب وجود ندارد، آب و عناصر غذایی را جذب و به گیاه منتقل می‌کند، که در نهایت با افزایش میزان نیتروژن، موجب بهبود محتوای پروتئین می‌شود. افزایش محتوای پروتئینی در کاربرد سیلیکون احتمالاً باسنتر پروتئین‌های جدید و یا افزایش سطح پروتئین‌های مرتبط با تحمل به تنش و یا با نقش این عنصر در مقابله با تنش اکسیداتیو در ارتباط باشد (گونگ و همکاران ۲۰۰۸). دانائی و عبدوسی (۲۰۲۱) افزایش محتوای پروتئین با کاربرد نانوسیلیکون را به بهبود جذب بیشتر عناصر از خاک نسبت دادند.

مولفه های پر شدن دانه: بررسی روند تغییرات پر شدن دانه نشان داد که ابتدا وزن دانه به صورت خطی افزایش یافته و به حداکثر خود رسید. پس از این مرحله وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبوده و بصورت یک خط افقی در آمد (شکل ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که سرعت پر شدن دانه در محلول-پاشی توام نانوآکسید آهن و سیلیکون و کاربرد مایکوریزا و ورمی‌کمپوست، از افزایش ۳۱ درصدی

میتواند ناشی از کاهش نزولات در طول دوره رشدی باشد (جدول ۳) که منجر به عدم تامین مواد فتوسنتزی لازم برای رشد و تکامل بذر می‌شود (بوش و همکاران ۲۰۱۹). برخی محققان کاهش تعداد دانه در شرایط محدودیت آبی در مرحله گلدهی و مدت کوتاهی پس از آن را، به عقیم شدن دانه‌های گرده و اختلال در گرده افشانی نسبت دادند. بخشی از افزایش تعداد دانه در نیام در حالت کاربرد کودهای زیستی و آلی و نانوآکسید آهن و سیلیکون می‌تواند ناشی از اثر این عوامل در بهبود شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب (جدول ۶) و عملکرد کوانتومی (جدول ۷) باشد.

محتوای آهن دانه: اثرات اصلی نانوآکسید آهن و سیلیکون، کودهای زیستی و آلی بر محتوای آهن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). کاربرد توام مایکوریزا و ورمی‌کمپوست محتوای آهن دانه را در مقایسه با عدم کاربرد آنها ۲۰/۶ درصد افزایش داد (جدول ۶). همچنین کاربرد توام نانوآکسید آهن و سیلیکون محتوای آهن دانه را ۳۷/۷ درصد در مقایسه با سطح شاهد افزایش داد (جدول ۶). البته اختلاف آماری معنی‌داری بین کاربرد نانوآکسید آهن با کاربرد توام نانوآکسید آهن و سیلیکون در محتوای آهن دانه وجود نداشت هر چند که محتوای آهن دانه در کاربرد توام نانوآکسید آهن و سیلیکون بیشتر از کاربرد نانوآکسید آهن بود (جدول ۷). در این بررسی به نظر می‌رسد pH بالای خاک تحت کشت (جدول ۲) و کمی نزولات در طول دوران رشدی گیاه (جدول ۳) از جمله مواردی هستند که موجب شده است قابلیت دسترسی گیاه به آهن از طریق ریشه کاهش یابد. از آنجایی که آهن در ترکیب لگ هموگلوبین و واکنش‌های مربوط به تثبیت نیتروژن شرکت دارد. به نظر می‌رسد مقادیر بالای آهن موجود در ورمی‌کمپوست مورد استفاده (جدول ۴) و حضور قارچ‌های مایکوریزا از طریق ترشح انواعی از سیدروفورها و کلاته کردن آهن (کاریس و همکاران ۱۹۹۸) از جمله عواملی هستند که موجب می‌شوند جذب و انتقال آهن در گیاه از جمله محتوای آهن دانه، افزایش یابد.

سرعت و میزان مواد فتوسنتزی در اندام‌های فتوسنتز کننده شده، در نهایت منجر به افزایش مولفه‌های پر شدن دانه می‌شود. جهانگیری‌نیا و همکاران (۲۰۱۶) اظهار داشتند که کاربرد ورمی‌کمپوست با افزایش قابلیت جذب آب و دسترسی به عناصر غذایی توسط گیاه، موجب افزایش شاخص سبزی‌نگی و سطح برگ، طولانی کردن دوره انتقال مواد فتوسنتزی به دانه، افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه و در نهایت عملکرد دانه سویا شد.

عملکرد دانه

این صفت تحت تاثیر نانوآکسید آهن و سیلیکون، کودهای زیستی و آلی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). کاربرد توام کودهای زیستی و آلی و نانوآکسید آهن و سیلیکون، عملکرد دانه را ۷۲ درصد در مقایسه با عدم کاربرد آنها افزایش داد (جدول ۷). بخشی از افزایش عملکرد در این ترکیبات تیماری را می‌توان به افزایش ۵۲/۷ و ۳۰/۵ درصدی طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه نسبت داد (جدول ۸). زیرا دوره پر شدن دانه یک جزء تعیین کننده‌ی و مرحله اصلی تشکیل عملکرد است. طولانی بودن این دوره امکان انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر از مبدأ به مقصد و در نتیجه افزایش عملکرد دانه را فراهم می‌سازد. بخش دیگری از افزایش عملکرد می‌تواند ناشی از افزایش ۵۵/۶ درصدی تعداد دانه در نیام، ۱۲۸ درصدی تعداد نیام در بوته، افزایش ۹۷ درصدی تعداد شاخه جانبی در هر بوته، افزایش ۱۷۷ درصدی تعداد گره فعال، ۹۴ درصدی وزن گره (جدول ۷) و کاهش ۷۶ درصدی تعداد گره غیر فعال (جدول ۶) در مقایسه با عدم کاربرد آنها نسبت داد.

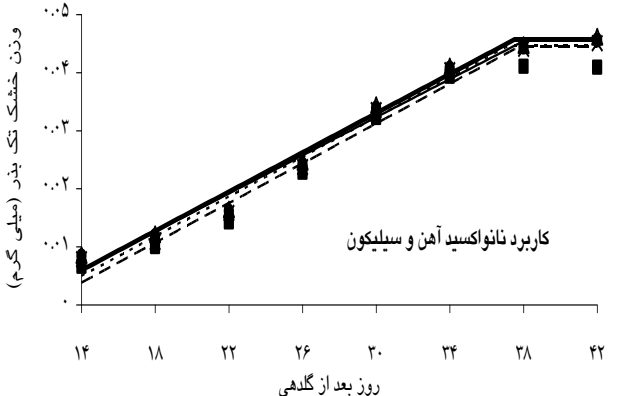
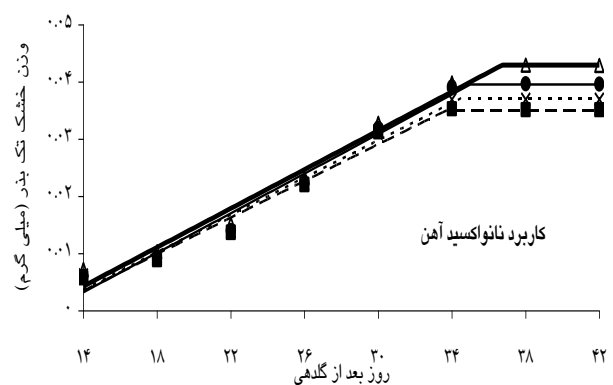
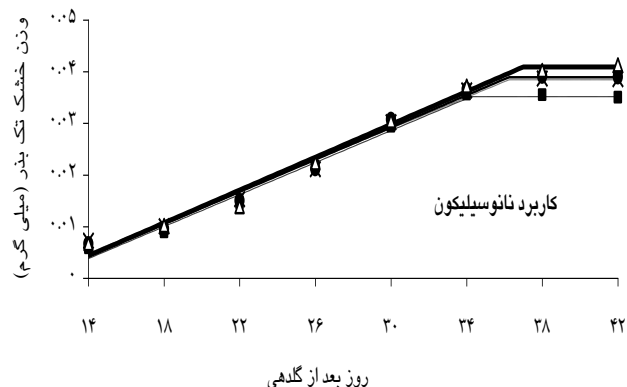
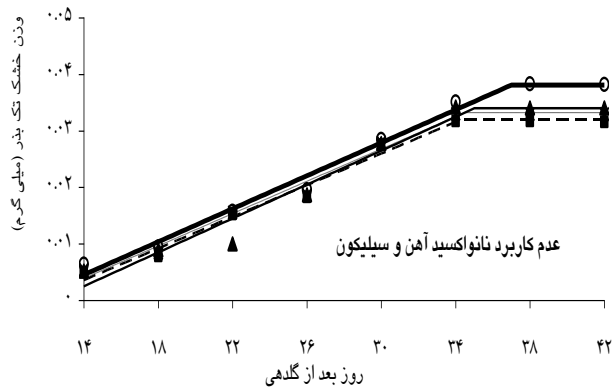
نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و آلی و نانوآکسید آهن و سیلیکون برخوردار بود (جدول ۸). روند مشابهی نیز در طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه بدست آمد. طوری که در کاربرد توام کودهای زیستی و آلی و محلول‌پاشی نانوآکسید آهن و سیلیکون دوره موثر پر شدن دانه و طول دوره پر شدن دانه به ترتیب از افزایش ۵۲/۷ و ۳۰/۵ درصدی در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوآکسید آهن و سیلیکون برخوردار بودند (جدول ۸). بخشی از کاهش طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه می‌تواند با کاهش نزولات و افزایش دمای محیط در مرحله رسیدگی در ارتباط باشد (جدول ۳). طوری که بررسی پارامترهای جوی ثبت شده در طول دوره پر شدن دانه نیز نشان می‌دهد علاوه بر کاهش نزولات، دمای هوا نیز در این دوره از رشد گیاه، بالا بوده است که اثرات ناشی از محدودیت آبی را تشدید می‌کند. در این راستا بیان شده است که در طی مرحله پر شدن دانه، محدودیت آبی اگر با دمای بالا همراه باشد می‌تواند موجب تسریع پیری و کاهش دوره پر شدن دانه شود (پاک نژاد و همکاران ۲۰۱۰). به نظر می‌رسد که مقادیر بالای نیتروژن موجود در ورمی‌کمپوست مورد استفاده (جدول ۴) ضمن افزایش شاخص کلروفیل (جدول ۶)، موجب افزایش میزان آسیمیلیاسیون و نقل و انتقال مواد به دانه شده و با افزایش سرعت پر شدن دانه (جدول ۸)، امکان تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه را نیز فراهم ساخته‌اند. در این راستا تسونو و همکاران (۱۹۹۴) علت افزایش مولفه‌های پر شدن دانه در بوته‌هایی که از مقادیر بالای نیتروژن در طول دوره رشدی به خصوص دوره پر شدن برخوردار بودند را، به بالا نگهداشتن کلروفیل برگ و تاخیر در پیری برگ نسبت دادند که ضمن افزایش

جدول ۸- مقایسه میانگین تاثیر نانو اکسید آهن و سیلیکون، کودهای زیستی و آلی بر مراحل نمونه برداری و مولفه های پر شدن دانه عدس

طول دوره پر شدن دانه (d)	دوره موثر پر شدن دانه (d)	سرعت پرشدن دانه (mg.d ⁻¹)										ترکیب تیماری
		۴۲	۴۸	۳۴	۳۰	۲۶	۲۲	۱۸	۱۴	مراحل نمونه برداری پر شدن دانه (روزهای بعد از کاشی)		
۲۹/۱۶۶g	۲۰/۲۳j	۰/۰۰۱۳gh	۰/۰۰۲۱vi	۰/۰۰۲۱ak	۰/۰۰۲۱ei	۰/۰۰۲۷sk	۰/۰۰۱۷۳j	۰/۰۰۱۵۳cd	۰/۰۰۷۷۲ h	۰/۰۰۰۵i	B1N1	
۲۵/۹۹ef	۲۳/۷vi	۰/۰۰۱۴۸g	۰/۰۰۳۱hi	۰/۰۰۳۱kj	۰/۰۰۳۱h	۰/۰۰۲۷۹kj	۰/۰۰۱۸۶ji	۰/۰۰۱۵۵cd	۰/۰۰۸۴۲g	۰/۰۰۰۵h	B1N2	
۲۶/۲۷ cfd	۲۳/۹۹i	۰/۰۰۱۵۶ cf	۰/۰۰۲۳۲gh	۰/۰۰۲۳۳ji	۰/۰۰۳۲ g	۰/۰۰۲۷۸kj	۰/۰۰۱۸۷j	۰/۰۰۱۰۰ h	۰/۰۰۹۰۳cf	۰/۰۰۰۵۱hi	B1N3	
۲۸/۵۶abc	۲۷/۲۷g	۰/۰۰۱۵۱fg	۰/۰۰۲۸۲ef	۰/۰۰۲۸۳fg	۰/۰۰۲۵۲gf	۰/۰۰۲۸۵j	۰/۰۰۱۹۶ei	۰/۰۰۱۵۸ bc	۰/۰۰۰۹۳d	۰/۰۰۰۶۲de	B1N4	
۲۵/۵۷f	۲۳/۹۵i	۰/۰۰۱۵۵ef	۰/۰۰۲۵۱g	۰/۰۰۲۵۵h	۰/۰۰۲۵۸ef	۰/۰۰۲۹۹i	۰/۰۰۲۱۷gh	۰/۰۰۱۴۶ef	۰/۰۰۰۸۹f	۰/۰۰۰۵۹۱fg	B2N1	
۲۷/۴۳bcd	۲۶/۴۳gh	۰/۰۰۱۵۷ef	۰/۰۰۲۸۶e	۰/۰۰۲۸۸ef	۰/۰۰۲۶۵de	۰/۰۰۳۰۳h	۰/۰۰۲۱۱h	۰/۰۰۱۵۳ dc	۰/۰۰۱۰۰ c	۰/۰۰۰۷۳c	B2N2	
۲۷/۶۷bcd	۲۷/۰۲g	۰/۰۰۱۶۲de	۰/۰۰۲۹۱e	۰/۰۰۲۹۲ef	۰/۰۰۳۶۴de	۰/۰۰۳۰۸gh	۰/۰۰۲۱۲h	۰/۰۰۱۵۰de	۰/۰۰۰۹۵d	۰/۰۰۰۶۷۲d	B2N3	
۲۸/۵۶ cde	۲۷/۸۷ddefg	۰/۰۰۱۶۹acd	۰/۰۰۲۱۵c	۰/۰۰۲۰۴cd	۰/۰۰۲۷۳ d	۰/۰۰۳۰۳h	۰/۰۰۲۳۲efg	۰/۰۰۱۳۸g	۰/۰۰۱۰۲c	۰/۰۰۰۶۷۲ d	B2N4	
۳۷/۱۸ bcd	۲۶/۹۷hi	۰/۰۰۱۷۷a	۰/۰۰۲۵۲g	۰/۰۰۲۵۵hi	۰/۰۰۲۵۴f	۰/۰۰۲۱۴fg	۰/۰۰۲۲۰g	۰/۰۰۱۳۷g	۰/۰۰۰۸۹f	۰/۰۰۰۵۵g	B3N1	
۳۷/۳۳ab	۲۷/۳۶efg	۰/۰۰۱۷۷a	۰/۰۰۳۷۱f	۰/۰۰۳۷۷g	۰/۰۰۳۷۱d	۰/۰۰۲۱۶fg	۰/۰۰۲۱۶ef	۰/۰۰۱۳۹g	۰/۰۰۰۹۵۳d	۰/۰۰۰۶۲۲ef	B3N2	
۳۸/۴۳ab	۲۸/۹۱cdef	۰/۰۰۱۷۷bc	۰/۰۰۳۹۱۷de	۰/۰۰۳۹۸cde	۰/۰۰۳۹۱c	۰/۰۰۳۲۳ef	۰/۰۰۲۲۳cd	۰/۰۰۱۳۰g	۰/۰۰۰۹۴۳de	۰/۰۰۰۶۰fg	B3N3	
۲۹/۷۱a	۲۹/۳۲bcd	۰/۰۰۱۷۷ab	۰/۰۰۴۳b	۰/۰۰۴۳۱b	۰/۰۰۳۹۹bc	۰/۰۰۳۲۹cd	۰/۰۰۲۳۲cd	۰/۰۰۱۰۵hi	۰/۰۰۱۰۳۳c	۰/۰۰۰۷۲۲ c	B3N4	
۲۵/۰۸f	۲۹/۱۳bcde	۰/۰۰۱۶۶cd	۰/۰۰۴۱cd	۰/۰۰۴۱۱c	۰/۰۰۳۹۵c	۰/۰۰۳۳۲de	۰/۰۰۲۲۸de	۰/۰۰۱۲۲fg	۰/۰۰۱۰۰۳c	۰/۰۰۰۶۶d	B4N1	
۲۵/۸۶ef	۲۹/۷۴ abc	۰/۰۰۱۶۴bc	۰/۰۰۴۵۱a	۰/۰۰۴۳۲ab	۰/۰۰۴۰۵ab	۰/۰۰۳۲۳bc	۰/۰۰۲۲۸bc	۰/۰۰۱۵۸cb	۰/۰۰۱۰۸b	۰/۰۰۰۷۷۲ b	B4N2	
۲۶/۵۲ def	۳۰/۸ab	۰/۰۰۱۷۹۹a	۰/۰۰۴۵۷a	۰/۰۰۴۴۵ab	۰/۰۰۴۰۸ab	۰/۰۰۳۳۹ab	۰/۰۰۲۲۳ab	۰/۰۰۱۶۲ ab	۰/۰۰۱۱۹a	۰/۰۰۰۸۳۳a	B4N3	
۲۸/۰۸ bc	۳۱/۲a	۰/۰۰۱۷۷a	۰/۰۰۴۶۲a	۰/۰۰۴۳۸a	۰/۰۰۴۱۱a	۰/۰۰۳۳۵a	۰/۰۰۲۳۶a	۰/۰۰۱۶۴a	۰/۰۰۱۲۲a	۰/۰۰۰۸۶۲a	B4N4	
۱/۳۳۸	۱/۸۶۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۳	LSD 5%	

میانگین های با حروف غیر مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری با هم در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

B1, B2, B3, B4 به ترتیب عدم کاربرد کود زیستی و آلی به عنوان شاهد، کاربرد ورمی کمپوست، مایکوزیوا، کاربرد توام مایکوزیوا ورمی کمپوست N1, N2, N3, N4 به ترتیب عدم کاربرد نانو اکسید آهن و سیلیکون به عنوان شاهد، کاربرد نانو اکسید سیلیکون، نانو اکسید آهن، کاربرد توام نانو اکسید آهن و سیلیکون



- مقادیر مشاهده شده (عدم کاربرد کودهای زیستی و آلی)
- - - □ مقادیر مشاهده شده (کاربرد ورمی کمپوست)
- مقادیر برآزش شده (کاربرد مایکوریزا)
- ◇— مقادیر مشاهده شده (کاربرد مایکوریزا و ورمی کمپوست)
- مقادیر برآزش شده (عدم کاربرد کودهای زیستی و آلی)
- - - × مقادیر مشاهده شده (کاربرد ورمی کمپوست)
- ▲— مقادیر مشاهده شده (کاربرد مایکوریزا)
- ◇— مقادیر مشاهده شده (کاربرد مایکوریزا و ورمی کمپوست)

شکل ۱- اثر تعدیل کننده‌های تنش بر روند پر شدن دانه عدس دیم

نتیجه‌گیری

محلول‌پاشی نانوآکسید آهن و سیلیکون و کاربرد قارچ مایکوریزا و ورمی کمپوست با افزایش اجزای عملکردی (همچون تعداد دانه در نیام و تعداد نیام در بوته)، عملکرد کوانتومی، شاخص کلروفیل، تعداد و وزن گره‌های فعال و کاهش تعداد گره‌های غیر فعال، موجب افزایش عملکرد دانه عدس تحت شرایط دیم گردید. همچنین این ترکیب تیماری با بهبود جذب عناصر موجب افزایش محتوای آهن و عملکرد کمی و کیفی عدس شد. بر اساس نتایج این آزمایش، به نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و آلی و محلول‌پاشی با

نانوآکسید آهن و سیلیکون روشی مناسب برای بهبود عملکرد عدس تحت شرایط دیم باشد.

سپاسگزاری

این پژوهش برگرفته از بخشی از طرح مصوب دانشگاه محقق اردبیلی است که نویسندگان بر خود واجب می‌دانند مراتب سپاس و قدردانی خود را از همکاری و مساعدت یکایک همکاران ارجمند در دانشگاه و دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اعلام دارند.

منابع مورد استفاده

- Ahmad Abadi Z, Ghajar Sepanlou M and Rahimi Alashti S. 2012. Effect of vermicompost on physical and chemical properties of soil. *Journal of Water and Soil Science. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 15(58), 125-137.
- AL-Aghabary K, Zhujun Z and Qinhu S. 2004. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plant under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 27(12): 2101-2115.
- Alikhani HA, Abolfazli B and Rejali F. 2017. Effects of water stress and mycorrhizal fungi *Rhizophagus intraradices* and *Funneliformis mosseae* on growth characteristics and absorption of some nutrients in lentils. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 7(3), 37-53. (In Persian)
- Al-Karaki G, McMichael B and Zak J. 2004. Field response of wheat to Arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza*, 14, 263-269.
- Arancon NQ, Edwards CA, Bierman P, Welch C and Metzger JD. 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. *Bioresource Technology*, 93, 145-153.
- Avestan S, Ghasemnezhad M, Esfahani M and Byrt CS. 2019. Application of nano-silicon dioxide improves salt stress tolerance in strawberry plants. *Agronomy*, 9(5), p.246.
- Baluchi HR, Amini F, Movahedi Dehnovi M, Atarzadeh M. 2016. The effect of different organic beds on the growth and yield components of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under heavy metal stress. *Journal of Agricultural science and Sustainable Production*, 26(2), 57-72. (In Persian).
- Bianciotto V, Andreotti S, Balestrini R, Bonfante P and Perotto, S 2001. Extracellular polysaccharides are involved in the attachment of *Azospirillum brasilense* and *Rhizobium leguminosarum* to arbuscular mycorrhizal structures. *European Journal of Histochemistry*. 45: 39-49.
- Caris C, Hordt W, Hawkins HJ, Romhel V and Eckhard G. 1998. Studies of iron transport by AM hyphae from soil to peanut and sorghum plants. *Mycorrhiza*. 8: 35-39.
- Chelah MKB, Nordin MNB, Musliania MI, Khanif YM and Jahan MS. 2011. Composting increases BRIS soil health and sustains rice production on BRIS soil. *Scienceasia*, 37, 291-295.
- Dadashzadeh S and Seyed Sharifi R. 2017. Effects of irrigation withholding, bio fertilizers and foliar application of iron on yield and some morphophysiological traits in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Crop Physiology Journal*, 9(36), 5-25. (In Persian).
- Danaee E and Abdossi V. 2021. Effects of silicon and nano-silicon on some morpho-physiological and phytochemical traits of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(1):98-112. (In Persian).
- Eckardt NA. 2006. The role of flavonoids in root nodule development and auxin transport in *Medicago truncatula*. *The Plant Cell* 18 (7): 1539-1540.
- Ellis RH and Pieta-Filho C. 1992. The development of seed quality spring and winter cultivars of barley and wheat. *Seed Science Research*, 2, 19-25.
- Erskine W, Muehlbauer FJ and Short RW. 1990. Stages of Development in Lentil. *Experimental Agriculture*, 26(3), 297-302.
- Etesami H and Jeong B.R. 2018. Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 147:881-896.
- Gao X, Zou C, Wang L and Zhang F. 2006. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. *Journal of Plant Nutrition*, 29, 1637-1647.

- Gong HJ, Chen KM and Zhao ZG. 2008. Effects of silicon on defense of wheat against oxidative stress under drought at different developmental stages. *Biologia Plantarum*, 52: 592-596.
- Goos RJ and Johnson BE. 2000. A comparison of three methods for reducing iron-deficiency chlorosis in soybean. *Agronomy Journal*. 92: 1135-1139.
- Hadi H, Seyed Sharifi R and Namvar A. 2016. *Phytoprotectants and Abiotic Stresses*. Urmia University Press. Urmia.
- Jahangiri nia E, Syyadat SA, Koochakzadeh A, Sayyahfar M and Moradi Telavat MR. 2016. The effect of vermicompost and mycorrhizal inoculation on grain yield and some physiological characteristics of soybean (*Glycine max* L.) under water stress condition. *Journal of Agroecology*, 8(4): 583-597. (In Persian)..
- Latef AA and Chaoxing H. 2011. Effect of Arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. *Scientia Horticulture*, 127, 228-233.
- Liang Y, Sun W, Zhu Y and Christie P. 2007. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants- a review. *Environmental Pollution*, 147: 422-428.
- Mamnabi SS, Nasrollahzadeh K, Ghassemi-Golezani, Raei Y (2020). Improving yield-related physiological characteristics of spring rapeseed by integrated fertilizer management under water deficit conditions. *Saudi Journal of Biology Science*, 27(3): 797-804. (In Persian).
- Mazaherinia S, Astaraei AR, Fotovat A and Monshi A. 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe , Mn , Zn and Cu concentrations in wheat plant. *World Applied Sciences Journal*, 7(1), 36- 40.
- Mehraban Joubani P, Barzegar A, Barzegar Golchini B, Ramezani Sayyad A and Abdolzadeh, A. 2019. Comparison of effects of iron excess and application of silicon on fluorescence of chlorophyll in shoot and developmental changes in root of rice seedlings. *Iranian Journal of Plant Biology*, 11(3): 17-32. (In Persian).
- Ministry of Agriculture Jihad (MAJ). 2015. Statistical yearbook of agriculture, Volume I: Field crops 2012-13. Retrieved January 4, 2016, from <http://www.maj.ir/Portal/Home/Default.aspx?>
- Monica RC and Cremonini R. 2009. Nanoparticles and higher plants. *Caryologia. International Journal of Cytology, Cytosystematics and Cytogenetics*, 62(2), 161-165.
- Mycin TR, Lenin M, Selvakumar G and Thangadurai R .2010. Growth and nutrient content variation of groundnut *Arachis hypogaea* L. under vermicompost application. *Journal of Experimental Science*, 1(8): 12-16.
- Najarian D, Ghonudi F, Masoud Sinaki J and Valaei G. 2016. Effect of water stress and vermicompost fertilizer on yield and yield components of cowpea (*Vhigna unguiculata* L.). *Journal of Crop Physiology*, 8(29), 59-72. (In Persian).
- Namvar A, Seyed Sharifi R, Sedghi M, Khandan T and Eskandarpour B. 2011. Study on the effects of organic and inorganic nitrogen fertilizer on yield, yield components, and nodulation state of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(9), 1097-1109.
- Nazari Zh, Seyed Sharifi R and Narimani H. 2022. Effect of Mycorrhiza, vermicompost and Nano silicon on agronomic and physiological traits of triticale under different intensities of drought stress. *Crop Production Journal*, 14 (4), 21-46.
- Nelwamondo A and Dakora FD.1999. Silicon promotes nodule formation and nodule function in symbiotic cowpea (*Vigna unguiculata*). *The New Phytologist* 142 (3): 463-467.
- Paknezhad, F., Majid Hervan, A., Nourmohammadi, A., Sayyadat, A., and Wazan, S. 2010. Evaluation of the effect of drought stress on effective traits on the accumulation of materials in grain of different wheat cultivars. *Agricultural Science* 13: 149-137. (In Persian).

- Pirzad A, Mazlomi Mamyandi M and Jalilian J. 2017. Effect of varying end-season rainfall, supplemental irrigation and mycorrhizal symbiosis on the yield and quality (forage and grain) of rainfed lentil. *Applied Research in Field Crops*. 30 (2),
- Prasad TN, Sudhakar P, Sreenivasulu Y, Latha P, Munaswamy V, Raja Reddy K, Sreepasad TS and Sajanlal PR. 2012. Effect of nanoscale zinc-oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition*. 35, 905-927.
- Qados A and Moftah AE. 2015. Influence of silicon and nano-silicon on germination, Growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress conditions. *American Journal of Experimental Agriculture* 5: 509-524.
- Qiao G, Wen XP, Yu LF and Jil XB. 2011. The enhancement of drought tolerance for pigeon pea inoculated by arbuscular mycorrhizae fungi. *Plant Soil Environment*. 57, 541-546.
- Romero-Aranda MR, Jurado O and Cuartero J .2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Plant Physiology*, 163, 847-855
- Ronanini D, Savin R and Hal AJ. 2004. Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. *Field Crop Research*, 83, 79-90.
- Salehi M. and Tamaskoni, F. 2008. Effect nano oxide at seed treatment on germination and seedling growth of wheat under salinity. *Seed Science and Technology*, 2, 204-209.
- Samiran R, Kusum A, Biman KD and Ayanadar A. 2010. Effect of organic amendments of soil on growth and productivity of three common crops viz. *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris* and *Abelmoschus esculentus*. *Applied Soil Ecology*, 45, 78-84.
- Sarah MS, Prado RDM, Júnior JPDS, Texeira GCM, Duarte JCDS and Medeiros RLSD. 2021. Silicon supplied via foliar application and root to attenuate potassium deficiency in common bean plants. *Scientific Reports* 11: 190-196.
- Sarker A and Kumar S. 2011. Lentils in production and food systems in west Asia and Africa. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria. *Grain Legume*, 57, 46-48.
- SeyedSharifi R and Gholinezhad E. 2021. Evaluation Agronomic and Morphophysiological Traits of Crop Plants. University of Mohaghrgh Ardabili press. Ardabil. Iran. 400 pp (In Persian).
- Simova-Stoilova L, Demirevska K, Petrova T, Tsenov N and Feller U. 2008. Antioxidative protection in wheat varieties under severe recoverable drought at seedling stage. *Plant Soil Environment*, 54: 529-536.
- Tale Ahmad S and Haddad R. 2011. Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. *Journal of Genetics and Plant Breeding*, 47(1), 17-27.
- Togay N, Togay Y, Erman M and Çig F. 2015. Effect of Fe (iron) and Mo (molybdenum) application on the yield and yield parameters of lentil (*Lens culinaris* Medic.). *Legume Research*, 38 (3), 389-393.
- Toscano S, Trivellini A, Cocetta G, Bulgari R, Francini A, Romano D and Ferrante A. 2019. Effect of preharvest abiotic stresses on the accumulation of bioactive compounds in horticultural produce. *Frontiers in Plant Science* 10: 1-17.
- Welch RM, Allaway WH, House WA and Kabota J. 1991. Geographic distribution of trace element problem. PP. 31-57. In: *Micronutrients in Agriculture*. 2nd ed. Ed: J. J. Mortvedt et al. Soil Science. Society of American. Madison, WI.
- Yordanov I, Velikova V and Tsonev T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 187-206.