

مقاله پژوهشی

بررسی کاربرد گوگرد و کودهای زیستی بر شاخص‌های رشدی، روند جذب و کارایی مصرف نور نخود (*Cicer arietinum* L.)

جعفر نباتی^{۱*}، احمد نظامی^۲، افسانه یوسفی^۳، احسان اسکوئیانی^۴ و آرمین اسکوئیانی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۹

نباتی، ج.، نظامی، ا.، یوسفی، ا.، اسکوئیانی، ا.، و اسکوئیانی، آ.، ۱۴۰۰. بررسی کاربرد گوگرد و کودهای زیستی بر شاخص‌های رشدی، روند جذب و کارایی مصرف نور نخود (*Cicer arietinum* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۴): ۷۲۳-۷۳۸.

چکیده

در گیاهان زراعی شاخص سطح برگ، روند جذب و کارایی مصرف نور از جمله مهم‌ترین خصوصیات اکوفیزیولوژیکی محسوب می‌شوند که در ارزیابی میزان نور جذب شده، تولید ماده خشک مؤثر است. این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به صورت بلوک کامل تصادفی، با ۱۰ تیمار شامل: ۱- گوگرد پاستیلی (Spa)، ۲- گوگرد پودری (Spow)، ۳- Spa + باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد (SOB)، ۴- SOB + باکتری‌های آزادی تثبیت‌کننده نیتروژن (NFB) + باکتری‌های حل‌کننده فسفات (PSB) + باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (KSB)، ۵- Spow + SOB، ۶- Spow + SOB + NFB + PSB + KSB، ۷- Spow + SOB + NFB + PSB + KSB، ۸- SOB + NFB + PSB + KSB، ۹- SOB، ۱۰- شاهد در سه تکرار اجرا شد. صفات و ویژگی‌هایی از قبیل شاخص سطح برگ، ماده خشک تجمعی، مقدار نور جذب شده و کارایی مصرف نور اندازه‌گیری شد. قبل از کشت، تیمارهای گوگرد به مقدار ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و باکتری‌ها به مقدار پنج لیتر در هکتار در کرت‌های موردنظر به خاک اضافه شدند. نتایج نشان داد بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار Spa + SOB + NFB + PSB + KSB به دست آمد که نسبت به شاهد ۲۹ درصد برتری داشت. همچنین بیشترین ماده خشک تجمعی و سرعت رشد محصول در تیمار Spow + SOB + NFB + PSB + KSB بود که نسبت به شاهد ۳۱ و ۱۴ درصد افزایش داشت. حداکثر تابش جذب شده متناسب با زمان وقوع بیشترین شاخص سطح برگ نخود بود، پس از آن به دلیل کاهش شاخص سطح برگ تا انتهای دوره رشد کسر تابش جذب شده نور روند کاهشی در پیش گرفت. همچنین بیش‌ترین کارایی مصرف نور در تیمار Spa + SOB + NFB + PSB + KSB بود ($R^2=0.91^{**}$) که نسبت به شاهد ۱۸ درصد برتری داشت. به‌طور کلی، نتایج نشان داد شاخص سطح برگ بالاتر سبب استفاده مؤثرتر از نور تابیده به کانوپی و جذب شده توسط برگ‌های نخود در نتیجه افزایش کارایی مصرف نور و ماده خشک گردید.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد، باکتری‌های آزادی تثبیت‌کننده نیتروژن، شاخص سطح برگ، ماده خشک تجمعی

مقدمه

شناخت چگونگی و مدیریت تأثیر عوامل اکولوژیکی بر تولید گیاهان به این عوامل، از مهم‌ترین لوازم دستیابی به پایداری در سیستم‌های تولیدی کشاورزی به شمار می‌روند. از سوی دیگر، استفاده از گیاهان زراعی کارآمد در بهره‌برداری از منابع به‌ویژه تشعشع خورشیدی از مهم‌ترین راهکارها جهت نیل به هدف فوق می‌باشد.

- ۱- استادیار گروه بقولات، پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
- ۲- استادیار گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
- ۳- دانشجوی دکتری آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
- ۴- استادیار پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران، شعبه مشهد، ایران.
- ۵- دانشجوی دکتری فیزیولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

شده و همچنین به دلیل شکستن چرخه زندگی آفات و بیماری‌های غلات ناشی از نظام‌های تک‌کشتی حائز اهمیت است (et al., 2019). Vanlauwea). از عوامل مؤثر در کاهش عملکرد این گیاه تغذیه نامناسب در طول فصل رشد است.

گوگرد یکی از عناصر غذایی پرمصرف و ضروری است، این عنصر به‌عنوان یک ماده اصلاحی برای کاهش pH خاک کاربرد دارد. اسیدیته خنثی تا قلیایی خاک‌ها، باعث عدم انحلال عناصر غذایی موجود در خاک، برای استفاده گیاه می‌شود و در نتیجه، استفاده از باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد، ضمن تأمین عناصر غذایی گیاه به گوگرد، با اسیدی کردن محیط، به افزایش و فراهمی سایر عناصر غذایی و در نتیجه، باعث بهبود رشد گیاه می‌شود (Hussain et al., 2014). از آنجا که اکسایش گوگرد فرآیندی عمدتاً زیستی محسوب می‌شود، تحقق این شرط مستلزم وجود جمعیت بالایی از ریز جانداران اکسیدکننده گوگرد است که باکتری‌های جنس تیوباسیلوس از مؤثرترین انواع آن‌ها هستند (Ravichandra et al., 2007). امروزه اصطلاح 'PGPR' در معنای وسیع‌تری به کار می‌رود و برای برخی از باکتری‌های ریزوسفری که تأثیر مشخصی در افزایش رشد گیاه نشان داده‌اند مانند *آزوسپیریوم*، *نیتروژنوباکترها*، باکتری‌های پتاسیمی، فسفو باکتری‌ها، *سودوموناس*، *آگروباکتریوم*، *ریزوبیوم* و *کلبسیلا* نیز به کار می‌رود (Ruzzi & Aroca, 2015)، باکتری‌های جنس *نیتروژنوباکتر* و *آزوسپیریوم* از مهم‌ترین باکتری‌های محرک رشد گیاه هستند که علاوه بر تثبیت زیستی نیتروژن، با تولید مقادیر قابل ملاحظه هورمون‌های تحریک‌کننده رشد، به‌ویژه انواع اکسین، جیبرلین و سیتوکسین رشد و عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Shaharouna et al., 2006). نتایج بررسی بر ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth.) نشان داد، تیمار استفاده از کود تلفیقی زیستی توانست سطح برگ بیشتری را تولید کند، که افزایش در شاخص سطح برگ سبب افزایش در سرعت رشد محصول و سرعت آسمیلاسیون خالص گردید (Kamaei et al., 2015). تحقیقات نشان داده است که استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث افزایش جوانه‌زنی، جذب عناصر، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه، گره‌بندی، ماده خشک گیاه زراعی می‌شود (Prajapati, 2016). نتایج تحقیقات نشان داد کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفر و گوگرد در گیاه سویا (*Glycine max* L.) تأثیر

مقدار و چگونگی تثبیت انرژی نورانی در گیاهان، از مهم‌ترین شاخص‌های آگروکوفیزیولوژیکی تعیین‌کننده رشد و عملکرد گیاهان می‌باشد که در اکوسیستم‌های زراعی تحت تأثیر نوع و چگونگی مدیریت اعمال شده قرار می‌گیرد (Jahan et al., 2012). کسری از تشعشع فعال فتوسنتزی که توسط گیاه جذب می‌شود بسیار وابسته به شاخص سطح برگ و آرایش برگ‌ها در کانوپی بوده که اهمیت آرایش برگ‌ها در کانوپی، بیشتر از میزان شاخص سطح برگ می‌باشد (Zhang et al., 2008). افزایش شاخص سطح برگ امکان جذب بیشتر نور را فراهم می‌آورد و در گیاهانی که برگ‌ها آرایش عمودی‌تری دارند، تشعشع موجود به میزان مؤثرتری جذب گیاه می‌شوند و چنین آرایشی اجازه می‌دهد تا مقادیر بیشتری نور به لایه‌های پایین‌تر کانوپی رسیده و فتوسنتز برگ‌های پایین کانوپی در بالاتر از نقطه جبرانی حفظ شود (Awal et al., 2006). کارایی استفاده از نور بیانگر مقدار ماده خشک تولید شده به ازای هر واحد نور جذب شده است و واحد آن گرم ماده خشک تولید شده بر مگا ژول تشعشع جذب شده می‌باشد. تولید ماده خشک در گیاه یک ارتباط خطی با میزان تشعشع جذب شده توسط گیاه دارد که شیب این ارتباط بیانگر کارایی مصرف نور می‌باشد (Kukul & Irmak, 2020). قبلاً اعتقاد بر این بود که کارایی مصرف نور ثابت و بیشتر از طریق ژنتیکی کنترل می‌شود، اما عوامل محیطی و عملیات مدیریتی نظیر تراکم و فواصل بوته‌ها، مدیریت کود، رقم، تغییرات آب و هوایی و حاصلخیزی خاک به‌ویژه نیتروژن قابل‌دسترس به سبب نقش ویژه‌ای که در فتوسنتز دارد، این عامل را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Rosati et al., 2003). بررسی‌ها نشان داد که عوامل محیطی و عملیات مدیریتی نظیر تاریخ کاشت و فراهمی منابعی نظیر نیتروژن می‌تواند کارایی مصرف نور نخود را تحت تأثیر دهد (Doaei et al., 2020). همچنین بر اساس گزارش‌ها انجام شده، میزان کارایی مصرف نور نخود بین ۱/۸۵ تا ۳/۷ تحت شرایط مختلف متغیر است (Soltani, 2009; Tesfaye et al., 2006). نخود (*Cicer arietinum* L.) زراعی با سطح زیر کشت ۱۴/۶ میلیون هکتار در جهان و متوسط عملکرد ۱۰۲۳ کیلوگرم در هکتار و با پروتئین ۳۱/۵-۱۲/۵ درصد سومین گیاه مهم از گروه حبوبات به شمار می‌آید (FAO, 2019). کشت حبوبات و به‌خصوص نخود به‌دلیل ویژگی‌های مهمی از جمله، منابع پروتئینی شناخته شده، تثبیت نیتروژن اتمسفری در خاک موجب باروری خاک برای زراعت‌های بعدی (عمدتاً غلات)

حل‌کننده پتاسیم (Spa+SOB+NFB+PSB+KSB)، ۵- گوگرد پودری به همراه باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد (Spo+SOB)، ۶- گوگرد پودری به همراه باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد، باکتری‌های آزادی تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (Spo+SOB+NFB+PSB+KSB)، ۷- باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد، باکتری‌های آزادی تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (SOB+NFB+PSB+KSB)، ۸- باکتری‌های آزادی تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (NFB+PSB+KSB)، ۹- باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد (SOB) و ۱۰- شاهد (بدون باکتری و گوگرد) بود. طبق استانداردهای موجود مقدار واحد کلونی ریزموجود در هر گرم کود زیستی ۱۰^۷ واحد بود. کودهای زیستی از شرکت خوشه‌پروران زیست‌فناور تهیه شدند. تلقیح بذور در روز کاشت در زیر سایه و مکانی خشک و خنک انجام شد. ابتدا بذرها در ظرفی خشک قرار داده شدند و سپس مایع کود زیستی سطح بذرها کاملاً پوشانده شد. بذرها موجود در هر ظرف تا رسیدن رطوبت موجود در ظرف‌ها به مدت ۱۵ الی ۲۰ دقیقه نگهداری و سپس به کرت‌های اختصاصی انتقال یافت و بلافاصله کشت شدند. تیمارهای باکتریایی به مقدار پنج لیتر در هکتار با توجه به اندازه کرت‌های موردنظر اعمال شد. طی سه مرحله از تیمارهای باکتریایی استفاده شد (در زمان کاشت به صورت بذرمال کردن بذور، همراه با دومین آبیاری و قبل از مرحله گل‌دهی).

مشتی بر میزان جذب عناصری همچون نیتروژن و فسفر توسط گیاه داشت که در نهایت، منجر به افزایش ماده خشک گیاه شد (Soltani et al., 2010). کودهای زیستی از طریق سنتز هورمون‌های محرک رشد، موجب افزایش جوانه‌زنی، بذر، ریشه‌زایی و گسترش ریشه می‌شوند و رشد کل گیاه را از طریق تقسیم سلولی، افزایش نفوذپذیری غشای سلول‌های گیاه و در نتیجه، افزایش مواد غذایی فراهم می‌کنند؛ بنابراین استفاده آن‌ها به عنوان کودهای زیستی برای بهبود کشاورزی، نکته تمرکز بسیاری از مطالعات اخیر بوده است (Hasanabadi et al., 2016). هدف از این پژوهش، بررسی میزان کارایی انواع گوگرد و کودهای زیستی در بهبود شاخص‌های رشدی، روند جذب و کارایی مصرف نور در نخود بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار روی نخود رقم سارال در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شرق مشهد (عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی) و ۹۸۵ متر ارتفاع از سطح دریا در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل: ۱- گوگرد پاستیلی (Spa)، ۲- گوگرد پودری (Spo)، ۳- گوگرد پاستیلی به همراه باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد (Spa + SOB)، ۴- گوگرد پاستیلی به همراه باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد، باکتری‌های آزادی تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و باکتری‌های

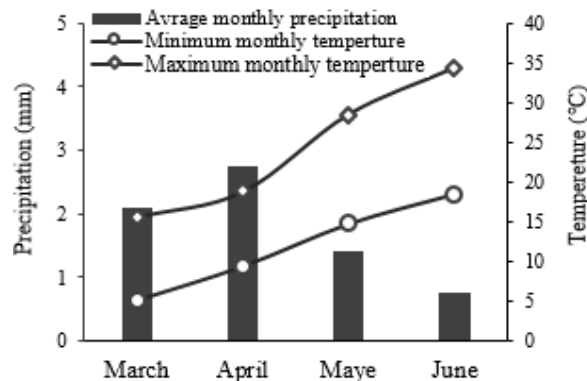
جدول ۱- ترکیبات باکتریایی کودهای زیستی مورد استفاده در این مطالعه

Table 2- The bacterial content of biofertilizer used in this study

کودهای زیستی Biofertilizer			
باکتری‌های آزادی نیتروژن Free-living nitrogen-fixing	باکتری‌های حل‌کننده فسفات Phosphate solubilizing bacteria	باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم Potassium solubilizing bacteria	باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد Sulfur oxidizing bacterit
<i>Bacillus subtilis</i> NCBI Accession No. MT102419	<i>Paenibacillus polymyxa</i> NCBI Accession No. MT102424	<i>Enterobacter hormaechi</i> NCBI Accession No. MT102420	<i>Bacillus subtilis</i> NCBI Accession No. MK968145
<i>Enterobacter cloacae</i> NCBI Accession No. MT102416	<i>Bacillus pumilus</i> NCBI Accession No. MT102425	<i>Enterobacter</i> sp. NCBI Accession No. MT102421	<i>Paraburkholderia fungorum</i> NCBI Accession No. MK968146
<i>Bacillus cereus</i> NCBI Accession No. MT102418	-	-	<i>Paenibacillus</i> sp. NCBI Accession No. MT102427

پشته‌ای انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت، آبیاری دوم پنج روز پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به صورت هفتگی تا پایان فصل رشد انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز در طی فصل رشد سه بار به صورت دستی صورت گرفت. مشخصات آب و هوایی (دمای متوسط و میزان بارندگی در طول فصل رشد نخود به ترتیب ۱۷ درجه سانتی‌گراد و ۲۱۲ میلی‌متر بود) محل آزمایش در شکل ۱ آورده شد.

قبل از کاشت، عملیات آماده‌سازی زمین و خاک‌ورزی انجام شد. تاریخ کاشت نیمه اول اسفندماه ۱۳۹۷ بود، هر کرت شامل شش ردیف با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بود و فاصله کرت‌ها و بلوک‌ها از یکدیگر یک و نیم متر در نظر گرفته شد. فاصله بوته‌ها روی ردیف هفت سانتی‌متر با تراکم ۳۰ بوته در مترمربع کشت شد. قبل از کشت، تیمارهای گوگرد به مقدار ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار در کرت‌های موردنظر به خاک اضافه شدند. در این آزمایش، آبیاری به روش جوی و



شکل ۱- مشخصات آب و هوایی محل انجام آزمایش
Fig. 1- Weather characteristics of the experimental field

حداکثر شاخص سطح برگ را دارد. معادله سیگموئیدی (معادله ۲) به داده‌های وزن خشک تجمعی برازش گردید و با مشتق‌گیری از معادله ذکر شده معادله سرعت رشد محصول CGR (معادله ۳) به دست آمده و مؤلفه مذکور در تیمارهای مختلف برآورد گردید (Steinmaus & Norris, 2002; Ngouajio et al., 2001).

$$TDM = a / (1 + \exp(-\frac{x-x_0}{b})) \quad \text{معادله (۲)}$$

$$CGR = \frac{TDM}{b(1 - \frac{TDM}{a})} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در این معادلات، TDM: تجمع ماده خشک در زمان، a: حداکثر تجمع ماده خشک، b: شیب افزایش ماده خشک x_0 : زمانی است که گیاه بیشترین افزایش ماده خشک را دارد و CGR: سرعت رشد گیاه می‌باشد (Zaefarian et al., 2009; Ozoni Davaji, 2008).

با معلوم بودن مقادیر CGR و LAI سرعت فتوسنتز خالص

به‌منظور تعیین شاخص‌های رشدی گیاه، نمونه‌برداری ۳۵ روز پس از کاشت به صورت تخریبی شروع و هر ۱۵ روز یک‌بار تا ۱۰۰ روز پس از کاشت به صورت تصادفی و با حذف اثرات حاشیه‌ای از سه بوته ادامه پیدا کرد. سطح برگ با دستگاه Leaf Area Meter (مدل Delta-T، کشور انگلستان) جهت تعیین شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شدند، سپس نمونه‌ها جهت تعیین وزن خشک به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه قرار گرفتند.

معادله سه پارامتره گاوس (معادله ۱) به داده‌های شاخص سطح برگ (LAI) برازش گردید و سطح برگ گیاه در طول دوره رشد برآورد شد (Steinmaus & Norris, 2002).

$$x(t) = a \times \exp\left(-0.5 \times \left(\frac{x-x_0}{b}\right)^2\right) \quad \text{معادله (۱)}$$

که در این معادله، t: زمان برحسب روز، x(t): شاخص سطح برگ برآورد شده، a: حداکثر شاخص سطح برگ در طول دوره رشد، b: زمانی است که پس از این دوره شاخص سطح برگ به‌طور نمایی افزایش می‌یابد و x_0 : زمانی است که گیاه

Spa+SOB و Spo+SOB نسبت به کاربرد جداگانه تیمار Spa و Spo به ترتیب ۱۲ و ۷ درصد برتری داشت. می‌توان نتیجه گرفت در این بررسی اهمیت مصرف گوگرد بیشتر از سایر تیمارهای کودی بود (شکل ۲). در بررسی تأثیر مقادیر مختلف گوگرد و مایه تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس بر ماده خشک، میزان کلروفیل و جذب آهن بر بخش هوایی در سویا (*Glycine max L.*) نتایج نشان داد، افزایش سطوح گوگرد و تلقیح تیوباسیلوس باعث کاهش pH خاک شده و در نتیجه، جذب عناصر غذایی افزایش یافت و این امر باعث افزایش شاخص‌های رشدی گیاه گردید. نتایج نشان داد، اثر کاربرد کود گوگرد و تلقیح با کود زیستی بیوسولفور حاوی تیوباسیلوس و اثر متقابل آن‌ها باعث افزایش شاخص‌های رشدی می‌شوند (Paul & Savithru, 2003). باکتری‌های محرک رشد سبب انحلال عناصر ضروری در خاک، ایجاد مقاومت گیاه میزبان به عوامل بیماری‌زا، جذب مواد غذایی بهتر و در نتیجه، افزایش رشد و عملکرد گیاه را در پی دارند (Shen et al., 2016). کاربرد کودهای زیستی در نخود (*Cicer arietinum L.*) در مقایسه با شاهد، منجر به افزایش قابل توجه بیشتر شاخص‌های رشد از جمله حداکثر شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، ماده خشک کل و عملکرد دانه به ترتیب به میزان ۲۷/۴۴، ۱۳/۸۲، ۸/۱۵ و ۲۹/۴۶ درصد گردید (Aboutalebian & Elahi, 2016). شاخص سطح برگ تأثیر به‌سزایی در فتوسنتز و جذب تابش فعال فتوسنتزی دارد، به‌طوری‌که نور جذب شده توسط کانوپی تابعی از شاخص سطح برگ است (Weiss et al., 2004).

ماده خشک تجمعی: ماده خشک (شکل ۳) به‌میزان تابش فعال فتوسنتزی جذب شده در محصول و تبدیل آن به زیست‌توده بستگی دارد (Edreira et al., 2020). تغییرات ماده خشک در ابتدای رشد روند افزایشی داشت و این روند تا حدود ۹۰ روز پس از کاشت ادامه یافت و پس از این، روند ثابت به خود گرفت (شکل ۳). بیشترین روند تجمع ماده خشک در سطوح مختلف کودی نشان داد که ماده خشک تحت تأثیر کاربرد ترکیبی تیمار (Spo+SOB+NFB+PSB+KSB) و (Spa+SOB+NFB+PSB+KSB) قرار گرفت که نسبت به شاهد ۳۱ و ۲۷ درصد ماده خشک بیشتری داشت.

NAR ($\text{g.m}^{-2} \text{ leaf.day}^{-1}$) محاسبه شد (معادله ۴).

$$NAR = \frac{CSR}{LAI} \quad \text{معادله (۴)}$$

برای محاسبه کارایی مصرف نور ابتدا لازم بود که مقادیر شاخص برگ روزانه (LAI) و همچنین تشعشعات جذب شده روزانه برآورد شود. بدین منظور برآورد مقادیر شاخص برگ روزانه از طریق برآورد معادله ۱ به‌دست آمد (Steinmaus & Norris, 2002).

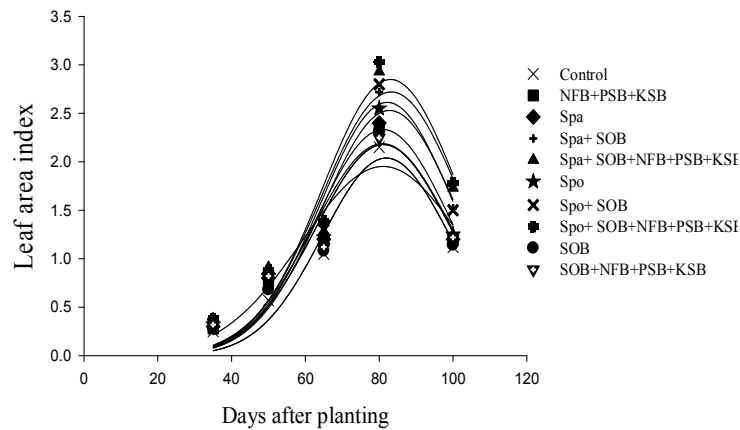
میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی مشهد به‌روش ارائه شده توسط خوادریان و فان لار (Goudriaan & Van Laar, 1993)، برآورد شد. سپس این مقادیر بر اساس تعداد ساعات آفتابی استخراج شده از داده‌های ایستگاه هواشناسی اصلاح و نور جذب شده روزانه محاسبه گردید (معادله ۵).

$$PAR_a = I_0 \times 0.5 \times (1 - P) \times (1 - \exp(-K \times LAI))$$

که در این معادله، PAR_a: نور جذب شده توسط کانوپی (مگاژول بر مترمربع)، I₀: نور رسیده به بالای کانوپی (مگاژول بر مترمربع)، P: ضریب انعکاس نور، K: ضریب خاموشی نور و LAI: شاخص سطح برگ می‌باشد (Nassiri Mahallati, 2008). مقدار ضریب خاموشی نور طبق منابع ۰/۶۷ در نظر گرفته شد (Rahemi et al., 2008). در نهایت، کارایی مصرف نور از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک و میزان تشعشع جذب شده تجمعی محاسبه گردید (Peter, 2010). به‌منظور برآورد روابط موردنظر و رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel، SlideWrite 7.02 و Sigmaplot 11.0 استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ: اثر سطوح مختلف کودهای زیستی بر روند تغییرات شاخص سطح برگ نخود در طول فصل رشد نشان داد که در کلیه تیمارها در ابتدای فصل، رشد کند و تدریجی داشت و با تولید برگ‌های بیش‌تر توسط گیاه روند افزایشی یافت (شکل ۲). حداکثر شاخص سطح برگ در ۸۰ روز پس از کاشت هم‌زمان با مرحله گل‌دهی به‌دست آمد. حداکثر شاخص سطح برگ تحت تأثیر تیمار (Spo+SOB+NFB+PSB+KSB) و (Spa+SOB+NFB+PSB+KSB) قرار گرفت که نسبت به عدم کاربرد این کودها ۲۶ و ۲۹ درصد افزایش داشت. کاربرد توأم تیمار



شکل ۲- اثر تیمارهای کودی بر روند تغییرات شاخص سطح برگ در نخود در طول فصل رشد

Fig. 2- Effect of fertilizer treatment on leaf area index of chickpea during growth season

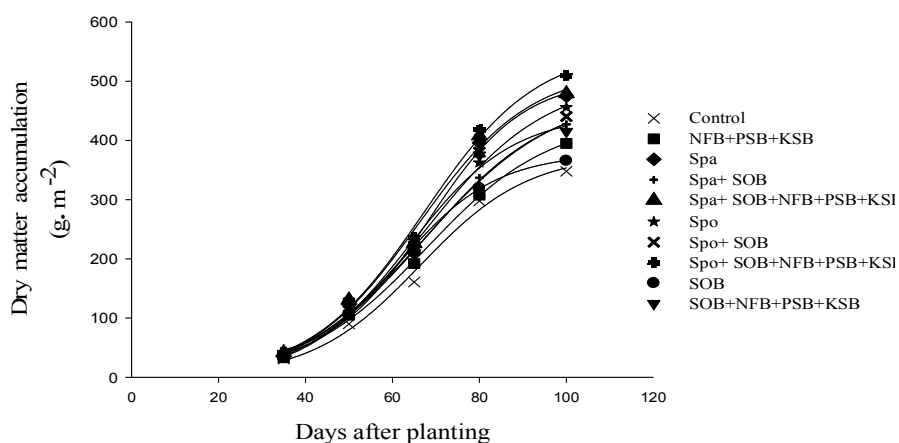
Control: شاهد، Spa: گوگرد پاستیلی، Spo: گوگرد پودری، SOB: باکتری اکسیدکننده گوگرد، KSB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NFB: باکتری‌های آزادی تثبیت‌کننده نیتروژن، PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفر
Spa: Pastel sulfur, Spo: Powdered sulfur, SOB: Sulfur oxidizing bacterit, NFB: Free-living nitrogen-fixing bacteria, KSB: Potassium solubilizing bacteria, PSB: Phosphate solubilizing bacteria

(2010). همچنین استفاده از کودهای زیستی سبب بهبود جذب نیتروژن و فسفر و افزایش درصد جوانه‌زنی، ارتفاع، تعداد گره و ماده خشک در لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) گردید (De Souza et al., 2016). در این تحقیق، تغییرات در الگوی ماده خشک (شکل ۳) مطابق با روند جذب تابش بود (شکل ۶).

سرعت رشد محصول: اثر سطوح مختلف کودی بر روند تغییرات سرعت رشد محصول در طول فصل رشد نشان داد که بیشترین سرعت رشد محصول در تیمار NFB+PSB+KSB (Spa+SOB+NFB+PSB+KSB) به دست آمد که نسبت به شاهد ۱۴ درصد برتری داشت (شکل ۴). همچنین تیمار Spa و تیمارها داشتند، در مقابل تیمار NFB+PSB+KSB کمترین سرعت رشد محصول را داشت (شکل ۴).

استفاده از کودهای زیستی و تولید هورمون‌های محرک رشد به‌ویژه اکسین باعث افزایش جذب در واحد سطح شده و در حضور مقادیر مناسبی از کودهای شیمیایی باعث تشدید این اثرات می‌شوند که این امر در نهایت، موجب افزایش رشد محصول می‌شود. در ادامه فصل رشد، روند سرعت رشد محصول به دلیل کاهش شاخص سطح برگ و زرد شدن برگ‌ها کاهشی است.

در مقابل، تیمارهای SOB و NFB+PSB+KSB بعد از شاهد کمترین مقدار ماده خشک را به خود اختصاص دادند (شکل ۳). به نظر می‌رسد قبل از گل‌دهی که گیاه نخود دارای رشد کند است، تفاوت‌چندانی بین تیمارها قابل مشاهده نیست، اما پس از مرحله گل‌دهی که گیاه رشد سریع را آغاز می‌کند، تفاوت تیمارها به لحاظ تولید ماده خشک واضح‌تر می‌شود. همچنین در تیمار (Spo+SOB+NFB+PSB+KSB) در مرحله گل‌دهی بیشترین ماده خشک نسبت به سایر تیمارها حاصل شد که نسبت به شاهد ۲۹ درصد برتری داشت. تیمارهای ترکیبی به دلیل اثرات هم‌افزایی متقابل باکتری‌ها (نیتروژنوباکتر، باسیلوس، سودوموناس و تیوباسیلوس) تثبیت زیستی نیتروژن، افزایش حلالیت فسفات غیر متحرک و کاهش pH خاک و تولید انواع هورمون‌ها و مواد محرک رشد نظیر (سیتوکینین، اکسین، بیوتین و اسید پنتوتنیک)، جذب عناصر غذایی را تحریک می‌کنند و با تأثیر روی فرایندهای فتوسنتزی سبب بهبود شاخص‌های رشدی و در نتیجه، ماده خشک نخود گردید (Doaie et al., 2020). نتایج تحقیقات نشان داد کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفر و اکسیدکننده گوگرد در گیاه سویا تأثیر مثبتی بر میزان جذب عناصری همچون نیتروژن و فسفر توسط گیاه داشت که در نهایت، منجر به افزایش ماده خشک گیاه شد (Soltani et al.,

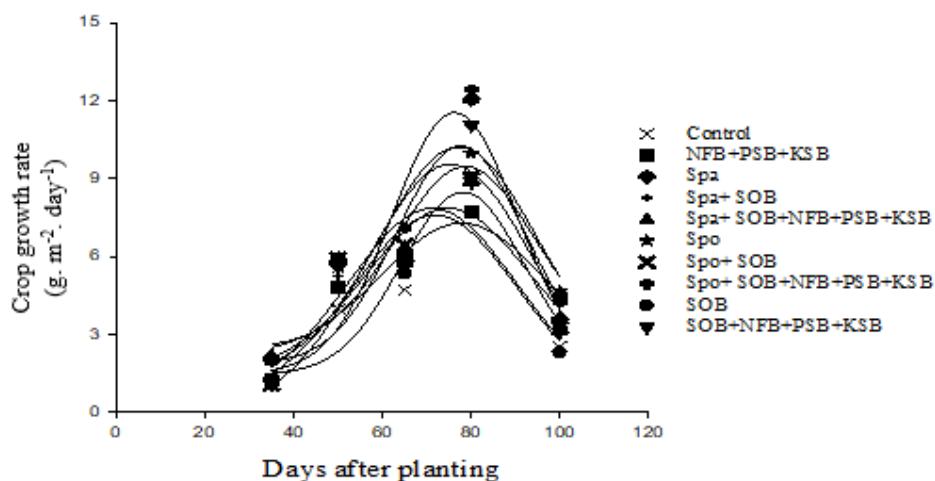


شکل ۳- اثر تیمارهای کودی بر روند تغییرات میزان ماده خشک تجمعی در نخود در طول فصل رشد

Fig. 3- Effect of fertilizer treatment on dry matter accumulation of chickpea during growth season

Control: شاهد، Spa: گوگرد پاستیلی، Spo: گوگرد پودری، SOB: باکتری اکسیدکننده گوگرد، KSB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NFB: باکتری‌های آزادی تثبیت‌کننده نیتروژن، PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفر

Spa: Pastel sulfur, Spo: Powdered sulfur, SOB: Sulfur oxidizing bacterit, NFB: Free-living nitrogen-fixing bacteria, KSB: Potassium solubilizing bacteria, PSB: Phosphate solubilizing bacteria



شکل ۴- اثر تیمارهای کودی بر روند تغییرات سرعت رشد محصول در نخود در طول فصل رشد

Fig. 4- Effect of fertilizer treatment on crop growrate rate of chickpea during growth season.

Control: شاهد، Spa: گوگرد پاستیلی، Spo: گوگرد پودری، SOB: باکتری اکسیدکننده گوگرد، KSB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NFB: باکتری‌های آزادی تثبیت‌کننده نیتروژن، PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفر

Spa: Pastel sulfur, Spo: Powdered sulfur, SOB: Sulfur oxidizing bacterit, NFB: Free-living nitrogen-fixing bacteria, KSB: Potassium solubilizing bacteria, PSB: Phosphate solubilizing bacteria

زمان گیاه به‌جای تولید بیشتر مواد به انتقال مواد ساخته‌شده می‌پردازد (Dadrasi et al., 2012). در بررسی تأثیر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد در پاسخ به کود زیستی در لوبیا، نتایج حاکی از آن بود که تجمع

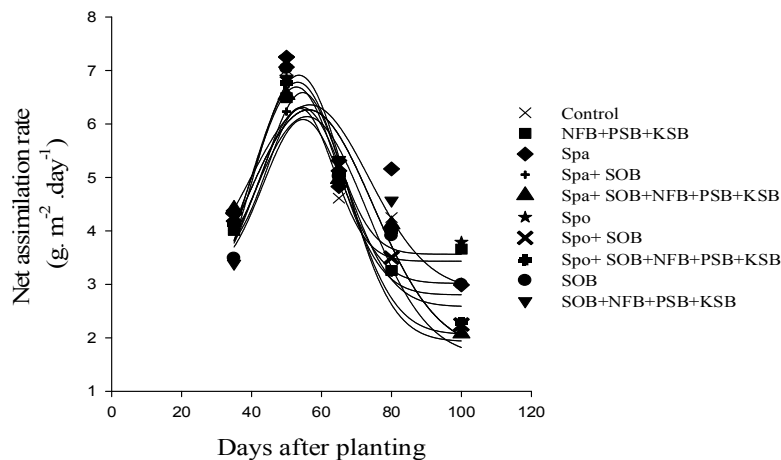
تحقیقات نشان می‌دهد شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول نخود با گذشت زمان تا مرحله تشکیل غلاف (۷۰-۸۰ روز پس از کاشت) افزایش یافته و پس از آن کاهش می‌یابد، زیرا در این

حداقل رقابت نوری و سایه‌اندازی، میزان فتوسنتز خالص در حداکثر مقدار است (شکل ۵). حدود ۵۰ روز پس از کاشت، تیمار Spa و (Spo+SOB+NFB+PSB+KSB) از سرعت فتوسنتز خالص بالاتری برخوردار بود که علت آن احتمالاً توزیع مناسب‌تر پوشش گیاهی و به دنبال آن دریافت بهتر تشعشع توسط کانوپی گیاهی است.

ماده خشک تحت تأثیر تیمارهای کود زیستی قرار گرفت، به طوری که سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص گیاه در این تیمار مشاهده شد (Nazeri et al., 2012).

سرعت آسیمیلاسیون خالص: منحنی تغییرات سرعت

فتوسنتز خالص نسبت به روزهای پس از کاشت برای تیمارهای مختلف کودی حاکی از آن است که در مراحل اولیه رشد، به دلیل



شکل ۵- اثر تیمارهای کودی بر سرعت آسیمیلاسیون خالص در نخود در طول فصل رشد

Fig. 5- Effect of fertilizer treatment on Net assimilation rate of chickpea during growth season

Control: شاهد، Spa: گوگرد پاستیلی، Spo: گوگرد پودری، SOB: باکتری اکسیدکننده گوگرد، KSB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NFB: باکتری‌های آزادی تثبیت‌کننده نیتروژن، PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفر

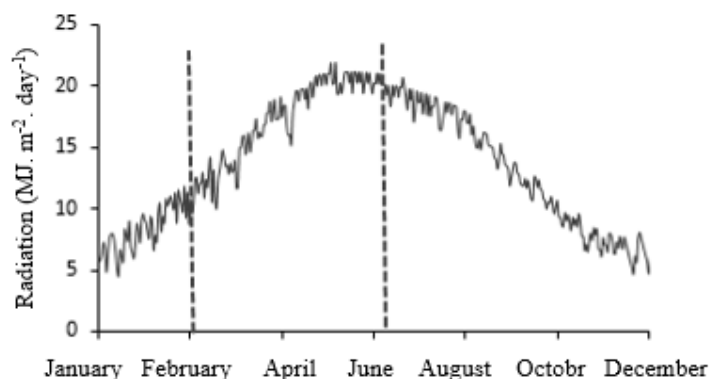
Spa: Pastel sulfur, Spo: Powdered sulfur, SOB: Sulfur oxidizing bacterit, NFB: Free-living nitrogen-fixing bacteria, KSB: Potassium solubilizing bacteria, PSB: Phosphate solubilizing bacteria

سطح برگ بیشتر از سه باشد ۹۰ درصد تابش توسط کانوپی جذب می‌شود (Sarlikioti et al., 2011). با توجه به نقش باکتری‌های محرک رشد در بهبود رشد رویشی، با افزایش شاخص سطح برگ، جذب تشعشع افزایش یافته است. این نتایج با یافته‌های مطابق همان‌طور که مشاهده می‌شود هم‌زمان با شروع مرحله گل‌دهی و کمی پس‌از آن بیشترین جذب تشعشع در تیمارها قابل مشاهده است (Jahan et al., 2013). به طوری که بیشترین میزان جذب تشعشع در طول فصل رشد گیاه در تیمار (Spo+SOB+NFB+PSB+KSB) بود که نسبت به شاهد ۱۶ درصد برتری داشت. بر اساس نتایج آزمایش، اثر کاربرد ترکیبی این کودها از لحاظ میزان تأثیر بر جذب تشعشع توسط گیاه، نسبت به اثرات دیگر تیمارهای آزمایشی برتری داشت.

روند جذب نور: در شکل‌های ۶ و ۷ تغییرات تابش رسیده به

بالای کانوپی در طی روزهای سال و تابش جذب شده توسط کانوپی نخود نشان داده شده است.

در نیمه اول دوره رشد نخود رویشی نوسانات تشعشعی بیشتر و در انتهای دوره رشد و هم‌زمان با حداکثر تابش رسیده به کانوپی، حداکثر شاخص سطح برگ تولید شد (شکل ۲ و ۶). متناسب با افزایش شاخص سطح برگ کسر تابش جذب شده توسط کانوپی به تدریج افزایش یافت. به طوری که بیشترین کسر تشعشع جذب شده توسط کانوپی نخود برای تمام تیمارهای کودی در حدود ۸۰ روز پس از کاشت متناسب با زمان وقوع بیشترین شاخص سطح برگ بود، سپس به دلیل کاهش شاخص سطح برگ تا انتهای دوره رشد کسر تابش جذب شده روند نزولی در پیش گرفت (شکل ۷). زمانی که شاخص



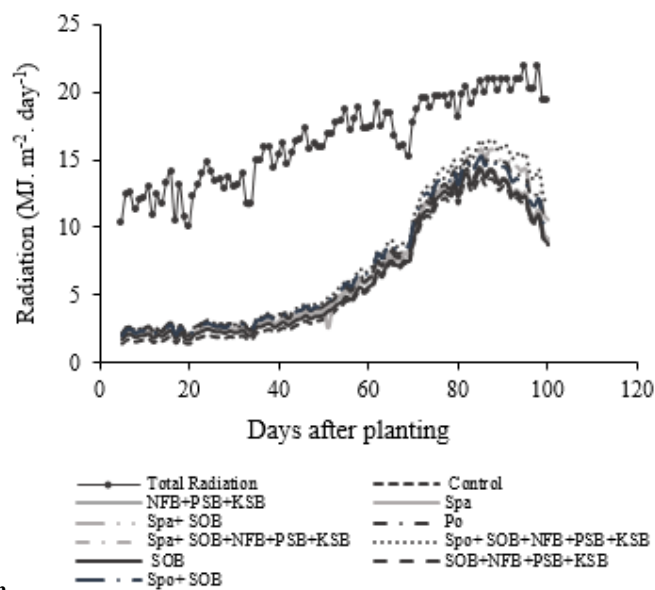
شکل ۶- کل تشعشع رسیده به سطح زمین در طول سال

محدوده بین دو خط نقطه‌چین، دوره رشد نخود را نشان می‌دهد

Fig. 6- The total radiation reached the earth's surface during the year

محدوده بین دو خط نقطه‌چین، دوره رشد نخود را نشان می‌دهد.

The range between the two points show the period of chickpea



growth.

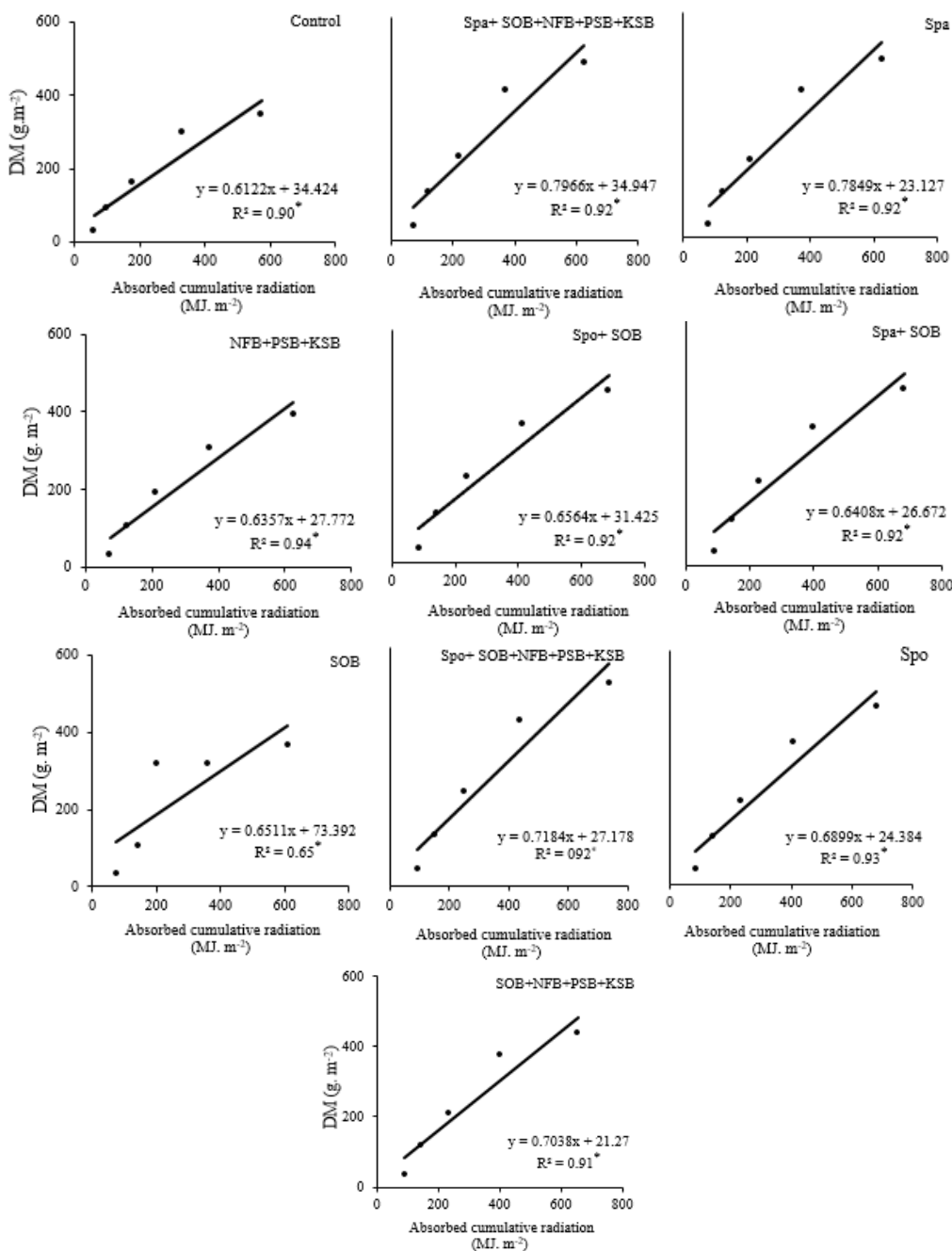
شکل ۷- میزان تشعشع کل و تشعشع جذب شده (I_{abs}) نخود در طی فصل رشد

Fig. 7- Total radiation and absorbed radiation (I_{abs}) of chickpea during growth season

Control: شاهد، S pa: گوگرد پاستیلی، S pow: گوگرد پودری، SSB: باکتری اکسید کننده گوگرد، KSB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NFB: باکتری‌های آزادزی

تثبیت کننده نیتروژن، PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفر

S pa: Pastel sulfur, S pow: Powdered sulfur, SOB: Sulfur oxidizing bacterit, NFB: Free-living nitrogen-fixing bacteria
KSB: Potassium solubilizing bacteria, PSB: Phosphate solubilizing bacteria



شکل ۸- تجمع ماده خشک در نخود به‌عنوان تابعی از تشعشع جمعی جذب شده تحت تأثیر تیمارهای مختلف

Fig. 8- The accumulation of dry matter in chickpea is a function of absorbed cumulative radiation under the influence of different treatments

شیب خط رگرسیونی برابر با کارایی مصرف نور است.

The regression slope is equal to radiation use efficiency.

Control: شاهد، Spa: گوگرد پاستیلی، Spo: گوگرد پودری، SOB: باکتری اکسید کننده گوگرد، KSB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NFB: باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفر.

Spa: Pastel sulfur, Spo: Powdered sulfur, SOB: Sulfur solubilizing bacterit, NFB: Free-living nitrogen-fixing bacteria, KSB: Potassium solubilizing bacteria, PSB: Phosphate solubilizing bacteria.

روی توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه ثابت شده است که سبب جذب آسان‌تر و سریع‌تر عناصر غذایی و آب از خاک به‌عنوان عامل اصلی افزایش رشد در اندام‌های هوایی گیاه میزبان می‌شود (Egamberdiyera, 2002). نتایج نشان داد کارایی مصرف نور کنجد (*Sesamum indicum* L.) در نتیجه کاربرد بیوسولفور و نیتروکسین به‌اندازه ۴۶ درصد بیشتر از شاهد بود، نتایج نشان داد که استفاده از کودهای زیستی به‌ویژه نیتروکسین، می‌تواند سبب افزایش کارایی مصرف نور و روند جذب نور توسط برگ‌های کنجد گردد (Jahan, 2012). نتایج بررسی کودهای زیستی بر چغندرقد (*Beta vulgaris* L.) نشان داد مقدار کارایی مصرف نور همانند میزان تشعشع جذب شده، در تیمارهایی که در آن‌ها کود زیستی به‌کار رفته است، بیشتر از تیمارهای فاقد کود زیستی بود که این امر ممکن است به‌دلیل بسته شدن سریع‌تر کانوپی در اثر این تیمارها باشد. نتایج بررسی‌ها نشان داد استفاده از کود زیستی سبب افزایش شاخص سطح برگ گندم (*Triticum aestivum* L.) از ۱۴ به ۵۴ درصد شد، این تأثیر مثبت بر شاخص سطح برگ سبب افزایش در کارایی و جذب نور در کانوپی گندم از ۲/۶ تا ۱۱۱ درصد گردید (Vejdani Aram, 2018). البته مطالعات مختلف نشان می‌دهد که کارایی مصرف نور ممکن است تحت تأثیر عواملی نظیر ترکیب بیوشیمیایی دانه در مرحله پر شدن آن، انتقال مجدد نیتروژن، ژنوتیپ گیاهی، شرایط اقلیمی و محیطی، مدیریت زراعی که تمام آن‌ها بر ظرفیت فتوسنتزی گیاه اثرگذار هستند، قرار گیرد (Soltani & Hoogenboom, 2007). به نظر می‌رسد که ترکیب هم‌زمان کودهای زیستی با کود گوگرد، بستر باعث بالا رفتن شاخص سطح برگ و در نتیجه، افزایش میزان کارایی مصرف نور در گیاه نخود شد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار Spa+SSB+NFB+PSB+KSB به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۲۹ درصد برتری داشت. همچنین بیشترین ماده خشک تجمعی و سرعت رشد محصول در تیمار Spow+SSB+NFB+PSB+KSB بود که نسبت به شاهد ۳۱ و ۱۴ درصد افزایش داشت. حداکثر تابش جذب شده متناسب با زمان وقوع بیشترین شاخص سطح برگ نخود بود، پس از آن به‌دلیل کاهش شاخص سطح برگ تا انتهای دوره رشد

کارایی مصرف نور: در این تحقیق با استفاده از مدل رگرسیون خطی ساده، رابطه بین ماده خشک تجمعی گیاه در مقابل، تشعشع دریافت شده تجمعی بر اساس تشعشع فعال فتوسنتزی برآزش شد و شیب خط حاصله به‌عنوان کارایی مصرف نور بیان گردید (Edreira et al., 2020). رابطه خطی بین ماده خشک تجمعی و تشعشع دریافت شده تجمعی وجود داشت که شیب این خط کارایی مصرف نور را نشان داد (Sinclair & Horie, 1989)، که میانگین آن در طول فصل رشد از ۰/۶۱ تا ۰/۷۹ گرم بر مگاژول در تیمارهای مختلف متغیر بود (شکل ۸). در پژوهش حاضر تیمارهای مختلف، باعث ایجاد نوساناتی در کارایی مصرف نور شدند، به‌طوری‌که بیش‌ترین کارایی مصرف نور نخود در نتیجه، کاربرد (Spa+SOB+NFB+PSB+KSB) با مقدار ۰/۷۹ ($R^2=0.91^{**}$) گرم بر مگاژول تابش فعال فتوسنتزی بود که نسبت به شاهد ۱۸ درصد افزایش داشت. در میان سایر تیمارهای آزمایشی تیمار (Spa+SOB+NFB+PSB+KSB) 0.91** و تیمار ترکیب (Spa+SOB+NFB+PSB+KSB) ($R^2=0.92^{**}$) سبب افزایش ۱۶ و ۱۰ درصدی نسبت به شاهد شد و برتری نسبی نسبت به تیمارهای دیگر داشت (شکل ۲). می‌توان این‌گونه بیان کرد که توزیع و آرایش مناسب و یکنواخت برگ‌ها در کل تاج پوشش گیاهی گیاه سبب شد تا حداقل سایه‌اندازی برگ‌ها روی هم و حداکثر نفوذ نور به درون تاج پوشش گیاهی حادث شود و در نتیجه، بهره‌وری مناسب از نور خورشید موجب حصول RUE بالاتری در گیاه گردید.

کود گوگرد به‌دلیل توانایی اکسید شدن و تولید اسید سولفوریک، اسیدیته خاک را حداقل در مقیاس کوچک اطراف ذرات خود به‌ویژه در منطقه ریزوسفر کاهش می‌دهد، در نتیجه، سبب انحلال ترکیب‌های غذایی نامحلول و آزاد شدن عناصر ضروری می‌شود (Chaghazardi, 2013). بهبود نقش مثبت گوگرد با مصرف توأم کودهای زیستی در تحقیقات مختلفی مورد تأکید قرار گرفته است، دلیل این امر آن است که در خاک‌های آهکی معمولاً تعداد باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد بسیار کم است و کاربرد کودهای زیستی شرایط مطلوبی برای رشد و تکثیر باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد را فراهم نموده و موجب افزایش اکسیداسیون زیستی گوگرد می‌شود (Salvagiotti, 2006). در اغلب تحقیقات توانایی سویه‌های PGPR در تولید هورمون‌های گیاهی و افزایش رشد

سطح برگ بالاتر سبب استفاده مؤثرتر از نور تابیده به کانوپی و جذب شده توسط برگ‌های نخود در نتیجه، افزایش کارایی مصرف نور و ماده خشک گردید.

کسر تابش جذب شده نور روند کاهشی در پیش‌گرفت. همچنین بیش‌ترین کارایی مصرف نور در تیمار Spa+SSB+NFB+PSB+KSB بود ($R^2=0.91^{**}$) که نسبت به شاهد ۱۸ درصد برتری داشت. به‌طور کلی، نتایج نشان داد شاخص

References

- Aboutalebian, M.A., and Elahi, M., 2016. Evaluation of changes in some physiological indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) affected by on-farm seed priming and bio-fertilizers at different phosphorus levels. *Crop Production and Processing Isfahan University of Technology* 6(20): 25-39. (In Persian with English Summary)
- Awal, M.A., Koshi, H., and Ikeda, T., 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. *Agriculture, Forest and Meteorology* 139: 74-83.
- Chaghazardi, H.R., Mohammadi, G., and Beheshti Ale-Agha, A., 2013. Effects of different amounts of sulfur and manure on soil acidity and plant traits of corn hybrid KSC 704. *Field Crop Research* 11(1): 162-170. (In Persian with English Summary)
- Dadrasi, V., Aboutalebian, M.A., Ahmadvand, G., Mousavi, S.S., and Seyedi, M., 2012. Effect of on-farm seed priming and irrigation interval on the growth indices of two corn cultivars (*Zea mays* L.). *Agriculture Science* 5(7): 64-75. (In Persian with English Summary)
- De Sousa, E.B.M., Bassani, V.B.L., Sperotto, R., and Granada, G.E., 2016. Inoculation of new rhizobial isolates improve nutrient uptake and growth of bean (*Phaseolus vulgaris*) and arugula (*Eruca sativa*). *Life Science Food* 24(3): 258-273.
- Doaei, F., Nakhzari Moghaddam, A., Rahemi Karizaki, A. and Aldaghi, M., 2020. The effect of nutritional management on phenological stages, radiation use efficiency and seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under influence of planting date 11(1): 49-61. (In Persian with English Summary)
- Edreira, E., Mourtzinis, S., Azzari, G., Andradea, J., Conley, S., Lobelle, D., Spechta, J., and Grassinia, P., 2020. From sunlight to seed: Assessing limits to solar radiation capture and conversion in agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology* 280: 423-435.
- Egamberdiyeva, D., Juraeva, D., Gafurova, L., and Hoflich, G., 2002. Promotion of plant growth of maize by plant growth-promoting bacteria in different temperatures and soils. 25th Annals of Southern Conservation Tillage Conference, Auburn, AL, USA, 24-26 June 239-244.
- FAO., 2019. Crop Production. Global Market Analysis. <http://www.faostat.Fao.org.Foodoutlook.com>.
- Goudriaan, J., and Van Laar, H.H., 1993. Modelling Potential Crop Growth Processes. Kluwer Academic Press pp, 236.
- Hassanabadi, T., Ardakani, M., Rajali, F., and Pak Nejad, F., 2016. Effect of nitrogen fixation and solubilizing phosphate inoculation on yield and nitrogen uptake indices of barley (*Hordeum vulgare* L.) under different levels of nitrogen. *Agriculture and Plant Breeding* 8(3): 213-227. (In Persian with English Summary)
- Hussain, S.A., Ahmad, K., Arif-un-Nisa Naqvi, T.K., Ahmed, M., Nafees, M.H., and Abass, Q., 2014. The colossal influence of biological fertilization on medicinal and aromatic plants. *Biodiversity and Environmental Sciences* 5(5): 299-314.
- Jahan, M., Amiri, B., and Ehyae. R., 2012. Radiation absorption and use efficiency of sesame as affected by biofertilizers in a low input cropping system. *Field Crops Research* 10(2): 435-447. (In Persian with English Summary)
- Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., Amiri, M.B., and Ehyayi, H.R., 2013. Radiation absorption and use efficiency of sesame as affected by biofertilizers inoculation in a low input cropping system. *Industrial Crops and Products* 43: 606-661.
- Kamaei, R., Jahan, M., and Parsa, M., 2015. Effects of biological, chemical and organic fertilizers on some physiological indices of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) under greenhouse conditions. *Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center* 7(2): 87-96 (In Persian with English Summary)
- Kukul, M., and Irmak, S., 2020. Light interactions, use and efficiency in row crop canopies under optimal growth conditions. *Agricultural and Forest Meteorology* 284: 896-919.

- Nassiri Mahallati, M., 2008. Crop Production Ecology. In: A. Koocheki, and M. Khajeh Hosseini, (Eds.). Modern Agronomy: Jehade Daneshgahi Mashhad Publications, Mashhad, Iran. pp. 362-387.
- Nazeri, P., Kashani, A., Kavazi, K., Aedakani, M., and Mirakhori, M., 2012. Effect of use microbial zinc granulated phosphorous bio fertilizer on growth indices of bean. *Agronomy and Plant Breeding* 8(42): 1-16. (In Persian with English Summery)
- Ngouajio, M., McGiffen, J.M.E., and Hembree, K.J., 2001. Tolerance of tomato cultivar to velvet leaf interference. *Weed Science* 49(4): 91-98.
- Ozoni Davaji, A., Esfahani, M., Sami Zadeh, H., and Rabiei, M., 2008. Effect of planting pattern and plant density on growth indices and radiation use efficiency of apetalous flowers and petalled rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Crop Science* 9(2): 382-400 (In Persian with English Summery)
- Paul, I.K., and Savithru, K., 2003. Effect of biofertilizers vs perfected chemical fertilization for sesame grown in summer rice fallow. *Tropical Agriculture* 41(3): 47-49.
- Peter, F., 2010. Radiation use efficiency in spring barley under drought: A crosstalk between survival strategy and canopy structure. *Central Eropean Agriculture* 11(1): 83-92.
- Prajapati, K., 2016. Impact of potassium solubilizing bacteria on growth and yield of mung bean *Vigna radiata*. *Applied Research* 6(2): 2949-55.
- Rahemi Karizaki, A., Soltani, A., Purreza, J., and Zainali, E., 2007. Estimation of extinction coefficeint and radiation use efficiency in field-grown chickpea. *Agricultural Sciences and Natural Resources* 14: 211-221. (In Persian with English Summery)
- Ravichandra, P., Gopal, M.A., Gangagni, R.M., Ramakrishna, V., and Annapurna Jetty, Y., 2007. Isolation of *Thiobacillus* sp. from aerobic sludge of distillery and dairy effluent treatment plants and its sulfide oxidation activity at different concentrations. *Environmental Biology* 28(4): 819-823.
- Rezaei Chiyaneh, E., Pirzad, A., and Farjami, A., 2015. Effect of nitrogen, phosphorus and sulfur supplier bacteria on seed yield and essential oil of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Agriculture Science and Sustainable Production* 24(4): 71-83. (In Persian with English Summery)
- Rosati, A., and Duong, T.M., 2003. Estimating photosynthetic radiation use efficiency using incident light and photosynthesis of individual leaves. *Annals of Botany* 91: 869-87.
- Ruzzi, M., and Aroca, R., 2015. Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae* 196: 124-134.
- Salvagiotti, F., 2006. Sulfur and nitrogen deficiency reduces radiation interception, biomass production and grain yield in wheat. The 18th World Congress of Soil Science, July 9-15, 2006 - Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- Sarlikioti, V., Meinen, E., and Marcelis, L.F., 2011. Crop reflectance as a tool for the online monitoring of LAI and PAR interception in two different greenhouse crops. *Biosystems Engineering* 108: 114-120.
- Shaharoon, B., Arshad, M., Zahir, A., and Khalid, A., 2006. Performance of *Pseudomonas* spp. containing acc-deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. *Journal of Soil Biology and Biochemistry* 38(9): 2971-2975.
- Shen, H., Xinhua, Y., He, X., Liu, Y., Chen, Y., Tang, J., and Guo, T., 2016. Complex inoculant of N₂-fixing, P and K solubilizing bacteria from a purple soil improves the growth of kiwifruit (*Actinidia chinensis*) plantlets. *Frontiers in Microbiology* 7: 128-136.
- Sinclair, T.R., and Horie, T., 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: Review. *Crop Science* 29: 90-98.
- Soltani, A., Khavazi, K., Asadi Rahmani, H., Omidvari, M., Abaszadeh, P., and Mirhoseyni, H., 2010. Plant growth promoting characteristics in some flavo *bacterium* spp. isolated from soils of Iran. *Agricultural Science* 2(4): 106-115.
- Soltani, A., and Hoogenboom, G., 2007. Assessing crop management options with crop simulation models based on generated weather data. *Field Crops Research* 103: 198-207.
- Soltani, A., Robertson, M.J., Rahemi-Karizaki, A., Poorreza, J., and Zarei, H., 2006. Modelling biomass accumulation and partitioning in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Agronomy and Crop Science* 192: 379-389.
- Steinmaus, S.J., and Norris, R.F., 2002. Growth analysis and canopy architecture of velvetleaf grown under light conditions representative of irrigated mediterranean-type agroecosystems. *Weed Science* 50(2): 42-53.

- Tesfaye, K., Walker, S., and Tsubo, M., 2006. Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. *Agronomy* 25: 60-70.
- Vanlauwea, B., Hungriab, M., Kanampua, F., Gillerc, K.E., 2019. The role of legumes in the sustainable intensification of African smallholder agriculture: Lessons learnt and challenges for the future. *Ecosystems and Environment* 284: 1-13.
- Vejdani Aram, S., Ahmadvand, G., and Hajinia, S., 2018. The effect of biological and chemical phosphorus fertilizers on radiation use efficiency, P concentration and yield of wheat cultivar (*Pishgam*). *Crop Ecophysiology* 46(2): 171-190. (In Persian with English Summary)
- Weiss, M., Baret, F., Smith, G.J., Jonckheere, I., and Coppin, P., 2004. Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination: Part II. Estimation of LAI, errors and sampling. *Agricultural and Forest Meteorology* 121: 37-53.
- Zaefarian, F., Aghaalikhani, M., Rahimian Mashadi, H., Zand, E., and Rezvani, M., 2009. Yield and growth indices of corn/soybean intercrops under simultaneous competition of redroot pigweed and jimsonweed. *Weed Science* 5(2): 107-125. (In Persian with English Summary)
- Zhang, L., Vander, W., Bastiaans, L., Zhang, S., Li, B., and Spiertz, J. H., 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. *Field Crops Research* 107: 29-42.



Application of Sulfur and Biofertilizers on Growth Indices, Radiation Absorption, and Use Efficiency of Chickpea (*Cicer arietinum* L.)

J. Nabati^{1*}, A. Nezami², A. Yousefi³, E. Oskoueian⁴ and A. Oskoueian⁵

Submitted: 03-10-2020

Accepted: 06-09-2021

Nabati, J., Nezami, A., Yousefi, A., Oskoueian, E., and Oskoueian, A., 2022. Application of sulfur and biofertilizers on growth indices, radiation absorption, and use efficiency of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of Agroecology 13(4):723-738.

Introduction

Leaf area index, radiation absorption and radiation use efficiency are important ecophysiological characteristics, which is useful in assessing the amount of light absorbed for dry matter production. Understanding how and managing the effects of ecological factors on plant reproduction is essential for achieving sustainability in agricultural production systems. On the other hand, the use of efficient crops in utilization of resources, especially solar radiation, is one of the fundamental approaches towards achieving this goal. The purpose of this study was to investigate the effect of sulfur and biofertilizers applications on growth indices, radiation absorption and use efficiency of chickpea.

Materials and Methods

In order to determine the growth indices, radiation absorption, and radiation use efficiency (RUE) of chickpea, a field experiment was conducted in 2019 at the Agricultural Research Station of Ferdowsi University of Mashhad based on a completely randomized block design with ten treatments and three replications. The experimental treatments including: 1-Spa, 2-Spo, 3-Spa+SOB, 4-Spa+SOB+NFB+PSB+KSB, 5-Spo+SOB, 6-Spo+SOB+NFB+PSB+KSB, 7-SOB+NFB+PSB+KSB, 8- NFB+PSB+KSB, 9-SOB and 10-Control. Sampling was started 20 days after planting by taking six destructive samples. The plant was sampled two weekly intervals to determine the growth parameters of chickpea including leaf area index (LAI), dry matter accumulation (DM), crop growth rate (CGR) and radiation use efficiency (RUE). For calculations of radiation use efficiency, it was necessary to estimate daily LAI and daily absorbed, the RUE was calculated based on g MJ⁻¹ through the slope of a linear regression between total dry weight accumulations (g m⁻²), and cumulative absorbed the total daily solar radiation.

Results and Discussion

The results showed that the highest leaf area index was obtained in Spa + SOB + NFB + PSB + KSB and Spo + SOB + NFB + PSB + KSB treatment which was 29 and 26 % more than control, respectively. The application of pa + SOB and Spo + SOB treatment, which increased 12 and 7 % compared to control, respectively. In this study, sulfur was more important than other fertilizer treatments. The highest dry matter accumulation was obtained in Spo + SOB + NFB + PSB + KSB and Spa + SOB + NFB + PSB + KSB treatment

1- Assistant Professor, Department of Legume Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

2- Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

3- Ph.D. Student in Agroecology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

4- Assistant Professor, Mashhad Branch, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII). Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.

5- Ph.D. Student in Crop Physiology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

* Corresponding author: jafarnabati@um.ac.ir

Doi:10.22067/agry.2021.20318.0

which was 31 and 27% more than control. SOB and NFB + PSB + KSB treatments had the lowest amount of dry matter after control. The results showed that the highest crop growth rate observed in Spo + SOB + NFB + PSB + KSB treatment, which increased by 14% compared to control. The maximum absorbed radiation coincided with the highest leaf area index of chickpea. Then, Due to the decrease in leaf area index until the end of the growth period, the absorbed fraction of light absorbed a decreasing trend. The estimated RUE levels in different treatments were significantly different ($P \leq 0.01$). The highest radiation use efficiency was in Spa + SOB + NFB + PSB + KSB treatment ($R^2 = 0.91^{**}$) which was 18% more than control. Also, increasing leaf area can increase the plant's photosynthetic potential and increase dry matter, at finally to increased RUE.

Conclusion:

The results showed that treatments (Spo + SOB + NFB + PSB + KSB) and (Spa + SOB + NFB + PSB + KSB) with higher leaf area index resulted in more efficient use of canopy light absorbed by chickpea leaves as a result of increased radiation and dry matter efficiency. High slope radiation use efficiency indicates the high efficiency of a plant using sunlight and converting it to dry matter. Giving attention to a more frequent application of biological fertilizers could be considered as an essential agro-ecological approach, which results in healthier soil and water resources.

Keywords: Crop growth rate, Dry matter accumulation, Free-living nitrogen-fixing, Leaf area index, Sulfur solubilizing bacteria.