

اثر کودهای زیستی و اسید سالیسیک بر روند تغییرات شاخص‌های فیزیولوژیک رشد دو رقم

نخود در شرایط دیم

- فردین مؤمنی^۱، علیرضا ابدالی مشهدی^{۲*}، عطااله سیادت^۳، بابک پاکدامن سردرود^۴ و مختار قبادی^۵
 ۱، ۲ و ۳) گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران.
 ۴) گروه گیاهپزشکی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران.
 ۵) گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: alirezaabdali@asnrukh.ac.ir

این مقاله برگرفته از رساله دکتری می‌باشد.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۸

چکیده

نخود یکی از حبوبات مهم با ارزش غذایی و دامنه سازگاری بالا است که توانایی تثبیت بیولوژیک نیتروژن اتمسفر را دارد. در این پژوهش اثر اسید سالیسیلیک و کودهای زیستی بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد در دو رقم نخود مورد بررسی گرفت. ایسیتورهای مانند اسید سالیسیلیک می‌توانند شدت تنش خشکی در برخی از گیاهان را کاهش دهند. از سوی دیگر، کودهای زیستی با تأمین بخشی از نیاز تغذیه‌ای گیاهان می‌توانند باعث کاهش مصرف کودهای شیمیایی گردیده و از هزینه تولید و آلودگی محیط زیست بکاهند. این آزمایش به صورت دو ساله در سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ در دانشگاه رازی کرمانشاه و تحت شرایط دیم اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل ارقام نخود (رقم بیونج و رقم آزاد)، محلول پاشی اسید سالیسیلیک (عدم کاربرد، کاربرد غلظت‌های نیم و یک میلی‌مولار) و کود زیستی شامل عدم کاربرد، (Biosulfur bacteria، Biosuperphosphate bacteria (Pseudomonas + Enterobacter) و Mycorrhizal fungus (*Rhizophagus* و *Rhizobium bacterium (Mesorhizobium ciceri)*، *Thiobacillus spp.*) *irregularis*) با CFU (Colony Forming Unit)=108 بود. برای ارزیابی اثر فاکتورهای آزمایش بر روند رشد گیاه نخود از شاخص‌های سرعت رشد محصول (CGR)، سرعت رشد نسبی (RGR)، سرعت جذب خالص (NAR) و سطح برگ (LAI) استفاده گردید. بیشترین ماده خشک کل (TDM)، LAI، CGR، RGR و NAR در غلظت نیم میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و رقم بیونج مشاهده گردید. بالاترین TDM، LAI، CGR و NAR در کودهای زیستی *Mesorhizobium ciceri* و *Rhizophagus irregularis* مشاهده شد. در کود زیستی *Mesorhizobium ciceri* بالاترین TDM، LAI، CGR و NAR نسبت به شاهد به ترتیب در سال اول ۴۱، ۹، ۷۲ و ۳۹ درصد و در سال دوم ۳۹، ۵، ۶۱ و ۴ درصد بالاتر بود. کودهای زیستی اثر اندکی بر RGR داشتند. روند تغییرات NAR تحت تاثیر فاکتورهای ارقام، اسید سالیسیلیک و کودهای زیستی در سال‌های اول و دوم آزمایش بسیار متفاوت بود. در کل در میان سطوح فاکتورهای آزمایش، رقم بیونج، غلظت نیم میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و کود زیستی *Mesorhizobium ciceri* بالاترین شاخص‌های رشد را داشتند.

واژه‌های کلیدی: بیوسوپرفسفات، ریزوبیوم، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و میکوریزا.

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از حبوبات بسیار مغذی است که دارای کربوهیدرات‌های قابل هضم (۴۰ تا ۶۰ درصد)، پروتئین (۱۵ تا ۲۲ درصد)، چربی‌های ضروری (۴ تا ۸ درصد) و طیف وسیعی از مواد معدنی و ویتامین‌ها است (Madurapperumage *et al.*, 2021). این گیاه یکی از حبوبات فصل خنک است که در سطح وسیعی از مناطق خشک و نیمه خشک جهان که اغلب دارای شرایط اقلیمی نامناسب هستند رشد می‌کند (Richards *et al.*, 2022). در زراعت دیم رشد و عملکرد گیاه به شدت تحت تاثیر انواع تنش‌ها به‌ویژه تنش خشکی است. استفاده از عوامل زیستی محرک رشد و همچنین استفاده از ایسیتورها مانند اسید سالیسیلیک می‌تواند به رشد گیاه و تحمل تنش‌ها کمک نماید. استفاده از مقدار مناسب اسید سالیسیلیک را می‌توان به عنوان یک راهبرد عملی و ساده برای افزایش کیفیت عملکرد دانه در مناطق خشک و نیمه خشک در نظر گرفت (Estaji & Niknam, 2020). کاربرد اسید سالیسیلیک باعث بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک و نیز افزایش تحمل به تنش شوری در لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) شد (El-Taher *et al.*, 2021). در نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث کاهش اثرات نامطلوب شوری با حفظ فعالیت‌های فیزیولوژیک و متابولیک شد (Naz *et al.*, 2022). استفاده از اسید سالیسیلیک می‌تواند باعث بهبود رشد، عملکرد و ترکیبات زیست فعال در گونه‌های مختلف گیاهی شود. برای مثال در گیاه زردچوبه (*Curcuma longa* L.) محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث افزایش قابل توجه در عملکرد و محتوای کورکومینوئید (curcuminoid) را در مقایسه با تیمار شاهد شد (El Sherif *et al.*, 2022). در گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) کاربرد اسید سالیسیلیک رنگدانه‌های فتوسنتزی، تبادل گاز، املاح سازگار، متابولیت‌های ثانویه، سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، تنظیم پروفایل اسیدهای چرب لیپید غشاء، سازگاری و تحمل به تنش خشکی را بهبود بخشید و رشد خرفه و تولید زیست توده را افزایش داد (Saheri *et al.*, 2020). در گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث کاهش آسیب اکسیداتیو، افزایش راندمان فتوسنتزی و تولید میوه شد (Aires *et al.*, 2022). از سوی دیگر کاربرد میکروارگانیزم‌ها به‌عنوان کود زیستی می‌تواند بر رشد و نمو گیاهان تأثیر بگذارد. در آزمایشی باکتری‌های محرک رشد (PGPB) در تحت تنش‌های خشکی و کروم کارایی فتوسیستم دو (PSII) را در ذرت (*Zea mays*) بهبود دادند (Vishnupradeep *et al.*, 2022). گزارش شده است که نخودهای تیمار شده با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه (PGPR) و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی (PGRs) به‌طور قابل توجهی محتوای کلروفیل، پروتئین و قند را در شرایط فاریاب و تنش خشکی افزایش دادند (Khan *et al.*, 2019). کود میکروبی نوعی کود زیستی غنی از مواد مغذی و سازگار با محیط زیست

است که از باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) تهیه می‌شود. کودهای میکروبی می‌توانند دینامیک مواد مغذی خاک را تنظیم کرده و با بهبود تغییرات جامعه میکروبی خاک، چرخه مواد مغذی خاک را ارتقاء دهند. این فرآیند به بازیابی اکوسیستم خاک کمک می‌کند، که به نوبه خود جذب مواد مغذی را افزایش می‌دهد، رشد محصول را تنظیم می‌کند و مقاومت محصول را در برابر تنش‌های زنده و غیرزیستی افزایش می‌دهد (Wang et al., 2024). در برنج (*Oryza sativa* L.) دادن کود بیولوژیک باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی، حداکثر تعداد پنجه، تعداد پنجه مولد، تعداد دانه در خوشه و وزن دانه خشک نسبت به تیمار شاهد شد (Effendi AR et al., 2024). در گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) و در شرایط دیم بیشترین عملکرد دانه، عملکرد کاه، تعداد دانه در خوشه، تعداد خوشه در متر مربع و وزن هزاردانه مربوط به تیمار کود زیستی (ازتوباکتر + مایکوریزا) بود (عبدی و همکاران، ۱۴۰۳). در لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculate* L.) پرایمینگ زیستی با باکتری‌های محرک رشد گیاه، به دلیل هزینه‌های کمتر، درآمد خالص بالاتر، پایدار و مقرون به صرفه در مقایسه با کود مصنوعی داشت (Ceritoglu et al., 2024). از سوی دیگر، هیبریدها و یا ارقام مختلف یک گونه گیاهی ممکن است واکنش‌های متفاوت به تیمار یکسان نشان دهند. در آزمایشی تنوع قابل توجهی در واکنش به رژیم‌های رطوبتی در بین ۲۸ رقم نخود مشاهده شد (Korbu et al., 2022). شاخص‌های فیزیولوژیک رشد مانند سرعت رشد محصول (CGR^1)، سرعت جذب خالص (NAR^2)، شاخص سطح برگ (LAI^3)، ماده خشک کل (TDM^4) و سرعت رشد نسبی (RGR^5) می‌توانند به شناخت نقش و سهم فرآیندهای مختلف فیزیولوژیک در رشد گیاه کمک کند. گزارش شده است که شاخص‌های فیزیولوژیک رشد در آفتابگردان، به‌طور معنی‌داری تأثیر کوددهی قرار گرفتند (Bola Adelabu et al., 2021). در ایران، استان‌های کرمانشاه، لرستان و کردستان به ترتیب رتبه‌های نخست تا سوم سطح زیر کشت نخود را به خود اختصاص داده‌اند. در استان کرمانشاه، میانگین سطح زیر کشت نخود در شهرستان‌های کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب، کرد غرب و سنقر به ترتیب ۳۲۳۰۷، ۱۸۰۷۶، ۱۵۰۶۹ و ۱۲۰۱۲ هکتار گزارش شده است. در شهرستان کرمانشاه متغیر بارش موثرترین شاخص بر عملکرد نخود بوده است (مومن پور و همکاران، ۱۴۰۱) هدف این آزمایش، بررسی اثر اسید سالیسیلیک و کودهای زیستی بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد نخود تحت شرایط دیم بود.

¹ - Crop Growth Rate
² - Net Assimilation Rate
³ - Leaf Area Index
⁴ - Total Dry Matter
⁵ - Relative Growth Rate

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت دو ساله در سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه رازی کرمانشاه (در غرب ایران) اجرا شد. موقعیت جغرافیایی و آب و هوایی در جدول ۱، برخی از پارامترهای هواشناسی از زمان کاشت تا برداشت در جدول ۲ و خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱: ویژگی‌های جغرافیایی و آب و هوایی کرمانشاه

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	میانگین بارندگی (میلی‌متر)	اقلیم	میانگین دمای بیشینه سالانه میانگین دمای کمینه سالانه (سلسیوس)	میانگین دمای کمینه سالانه (سلسیوس)
۴۷° ۳' ۵۴" E	۳۴° ۱۸' ۵۱" N	۱۳۱۹	۴۵۰-۴۸۰	(Csa) مدیترانه‌ای	۲۲/۶	۵/۹۰

جدول ۲: برخی از ویژگی‌های آب و هوایی از زمان کاشت تا برداشت

سال	تاریخ کاشت	دوره رشد (روز)	پارامترهای هواشناسی	ماه			کل	میانگین ماهانه
				اسفند	فروردین	اردیبهشت خرداد		
۱۳۹۵	۲۹ اسفند	۹۵	بارندگی (میلی‌متر)	۴۹/۷	۱۳۴/۵	۲۲/۴	۰	۲۰/۶
			میانگین دمای کمینه (سلسیوس)	۵/۸۰	۶/۵	۹/۵۰	۱۱/۶	۳۳/۴
۱۳۹۶	۱۷ اسفند	۱۱۵	میانگین دمای بیشینه (سلسیوس)	۱۳/۳	۱۷/۳	۲۶/۶	۳۲/۸	۹۰/۰
			بارندگی (میلی‌متر)	۲/۰۱	۶۳/۶	۱۶/۸	۶/۱۱	۲۳/۹
۱۳۹۶	۱۷ اسفند	۱۱۵	میانگین دمای کمینه (سلسیوس)	۳/۲۵	۶/۵۷	۹/۰۲	۱۲/۵	۴۷/۰
			میانگین دمای بیشینه (سلسیوس)	۱۸/۸	۲۱/۸	۲۱/۴	۳۱/۷	۱۳۲

جدول ۳: برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

سال	عمق خاک رس لای (سانتی‌متر)	شن خنثی شونده آلی	کل مواد کربن	نیترژن گوگرد	فسفر	پتاسیم	منگنز	آهن	روی	مس	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	pH				
													(درصد)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۱۳۹۵	۳۰-۶۰	۶۰	۳۴	۶	۳۰	۰/۹	۰/۰۸	۰/۰۳	۱۰/۴	۴۳۰	۶/۸	۶/۱	۰/۴۱	۱/۰۴	۱/۱	۷/۶
	۳۰-۶۰	۵۶	۳۵	۹	۳۴	۰/۶	۰/۰۶	۰/۰۲	۸	۳۹۰	۴/۶	۵	۰/۱۴	۰/۷۵	۱/۳	۷/۶
۱۳۹۶	۳۰-۶۰	۵۸	۳۳	۹	۲۹	۱/۱	۰/۱	۰/۰۳	۹/۹	۴۰۶	۷/۱	۶/۴	۰/۵	۰/۸۸	۱	۷/۶
	۳۰-۶۰	۵۳	۳۶	۱۱	۳۲	۰/۷	۰/۰۶	۰/۰۲	۸/۶	۳۷۶	۴/۸	۵/۲	۰/۲۳	۰/۷۱	۱/۱	۷/۸

آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل رقم

بیونینج (رقم محلی به‌عنوان شاهد که نسبت به بیماری برق‌زدگی نخود (Chickpea Ascochyta Blight) حساس

می‌باشد) و رقم آزاد (اصلاح شده، متحمل به بیماری برق‌زدگی نخود)، سه سطح محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (عدم

کاربرد، مصرف نیم و یک میلی‌مولار) و کود زیستی (شاهد، biosuperphosphate bacteria + *Pseudomonas*

(Enterobacter)، *(Thiobacillus spp.)*، *Rhizobium bacterium*، *(Mesorhizobium ciceri)* و

(Rhizophagus irregularis) mycorrhizal fungus با 10^8 CFU (Colony Forming Unit) در نظر گرفته شد.

مساحت هر واحد آزمایشی شش متر مربع (چهار متر طول و یک و نیم متر عرض) و تراکم مورد استفاده ۴۰ بوته در متر-

مربع با فاصله‌ی بین ردیف ۲۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین واحدهای آزمایشی نیم متر و فاصله بین دو تکرار سه و نیم متر در نظر گرفته شد. با توجه به آزمایش خاک، در هنگام کاشت بذر، ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل بکار برده شد. اعمال تیمارهای کود زیستی هنگام کشت بذر انجام شد. باکتری بیوسولفور (*Thiobacillus spp.*)، با $CFU=10^8$ به ازای هر میلی‌گرم بود که به میزان شش کیلوگرم در هکتار به همراه ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بنتونیت‌دار ۹۰ درصد و کود دامی پوسیده به روش شیاری در زیر و کنار بذر به کار گرفته شد. قارچ میکوریزا (*Rhizophagus irregularis*) به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و اختلاط با خاک منطقه گسترش ریشه مصرف شد. باکتری ریزوبیوم (*Mesorhizobium ciceri*) به روش پاششی با زادمایه باکتری ریزوبیوم به میزان هفت گرم زادمایه که هر گرم آن 10^7 عدد باکتری زنده و فعال بود به‌وسیله محلول چسباننده (صمغ عربی)، تلقیح و بلافاصله بعد از خشک شدن سطح بذور، به سرعت اقدام به کشت گردید (El-Sawah et al., 2021). کود مایع بیوسوپرفسفات (*Pseudomonas + Enterobacter*) تهیه شده از شرکت فن‌آوری زیستی مهر آسیا با $CFU=10^8$ به ازای هر میلی‌لیتر، به‌روش پاششی روی بذور ارقام نخود پاشیده و بعد از خشک شدن سطح بذور، به کشت آن‌ها اقدام شد. همچنین به منظور تلقیح، به ازای هر ۶۰ کیلوگرم بذر مقدار یک لیتر زادمایه استفاده شد. آنگاه به‌روش ردیفی نسبت به کاشت ارقام نخود تهیه شده از مرکز تحقیقات دیم سرارود کرمانشاه اقدام گردید. تاریخ کشت در سال اول ۱۳۹۵/۱۲/۲۹ و در سال دوم ۹۶/۱۲/۱۸ بود. همچنین حدود دو هفته قبل از گل‌دهی (در سال اول ۶۰ روز پس از کاشت و در سال دوم ۷۳ روز پس از کاشت) نسبت به اعمال تیمارهای محلول‌پاشی برگ‌های نخود با اسید سالیسیلیک در سه سطح عدم مصرف (شاهد)، نیم و یک میلی‌مولار (با توجه به اینکه جرم مولی اسید سالیسیلیک برابر ۱۳۸/۱۲ گرم بر لیتر) به‌ترتیب ۶۹/۰۶ و ۱۳۸/۱۲ میلی‌گرم اسید سالیسیلیک (Merck KGaA, Germany) در یک لیتر آب اقدام و به‌مدت ۲۰ روز متوالی ادامه یافت. برای اندازه‌گیری عملکرد ماده خشک کل، در سال اول و دوم به ترتیب، ۹۵ و ۱۱۵ روز پس از کاشت، بوته‌های موجود در دو ردیف میانی هر کرت با حذف حاشیه‌ها کف‌بُر و برداشت شد و پس از خشک کردن آن‌ها در آون با دمای ۷۲ به مدت ۴۸ ساعت، توسط ترازوی دیجیتالی توزین گردیدند. ۳۵ روز بعد از کاشت، به‌منظور اندازه‌گیری شاخص‌های رشد و از جمله تعیین مقدار روز درجه رشد (GDD=Growing Degree Days)، شش بار در فواصل ۱۰ روزه، نمونه‌برداری از کرت‌ها (هر بار سه بوته)، انجام گرفت. پس از جدا کردن قسمت‌های بوته (برگ و ساقه) از یکدیگر، سطح برگ آن‌ها با استفاده از دستگاه Leaf Area Meter مدل (Win Area-Ut.11) تعیین شد. سپس برگ و ساقه را در پاکت‌های جداگانه گذاشته و پاکت‌ها در آون با دمای حدود ۷۲ درجه‌ی سلسیوس تا زمان ثبات وزن خشک نگهداری

شدند. برای تعیین و اندازه‌گیری درجه روز رشد، بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی فرودگاه اشرفی اصفهانی کرمانشاه، مقادیر واحد حرارتی با مقیاس درجه-روز رشد که فرمول آن از رابطه ۱ محاسبه شد (Charalampopoulos, 2021).

$$\text{GDD} = \sum \left\{ \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right\} - T_{\text{base}} \quad \text{رابطه ۱:}$$

T_{\max} = بیشینه دمای روزانه هوا

T_{\min} = کمینه دمای روزانه هوا

T_{base} = دمای پایه برای نخود زراعی ۴/۲ درجه‌ی سلسیوس در نظر گرفته شد (گنجعلی و همکاران، ۱۳۹۰).

سرعت رشد نسبی (RGR = Relative Growth Rate) بیان کننده وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن خشک اولیه در یک فاصله زمانی معین است. واحد RGR گرم بر گرم در زمان است و با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (Van Echelpoel *et al.*, 2016).

$$\text{RGR} = \ln W_2 - \ln W_1 / T \quad \text{رابطه ۲}$$

W_1 = وزن اولیه

W_2 = وزن نهایی

T = فاصله زمانی

سرعت رشد محصول (CGR = Crop Growth Rate) که بر حسب گرم بر متر مربع زمین در روز بیان می‌شود، یک متغیر فیزیولوژیک است که نشان‌دهنده مقدار ماده خشک انباشته شده در واحد سطح در واحد زمان است (Amanullah *et al.*, 2021).

به منظور محاسبه سرعت رشد محصول از رابطه ۳ استفاده شد (Raza *et al.*, 2021).

$$\text{CGR} = \text{TDM}_2 - \text{TDM}_1 / T_2 - T_1 \quad \text{رابطه ۳:}$$

T_1 زمان اولین نمونه برداری و T_2 زمان دومین نمونه‌گیری است. TDM_1 و TDM_2 به ترتیب ماده خشک کل در اولین و دومین زمان نمونه برداری است.

شاخص سطح برگ (LAI=Leaf Area Index) نسبت کل سطح یک طرف برگ‌ها به سطح زمین است (Sarkar *et al.*, 2021).

فرمول آن به صورت رابطه ۴ است (Mahmoodi *et al.*, 2020).

رابطه ۴: $LAI = (LA_2 + LA_1)$

$$/2 \times (1/GA)$$

LA_2 = سطح برگ ثانویه (سانتی متر مربع)

LA_1 = سطح برگ اولیه (سانتی متر مربع)

GA = سطح زمین اشغال شده توسط گیاه (سانتی متر مربع)

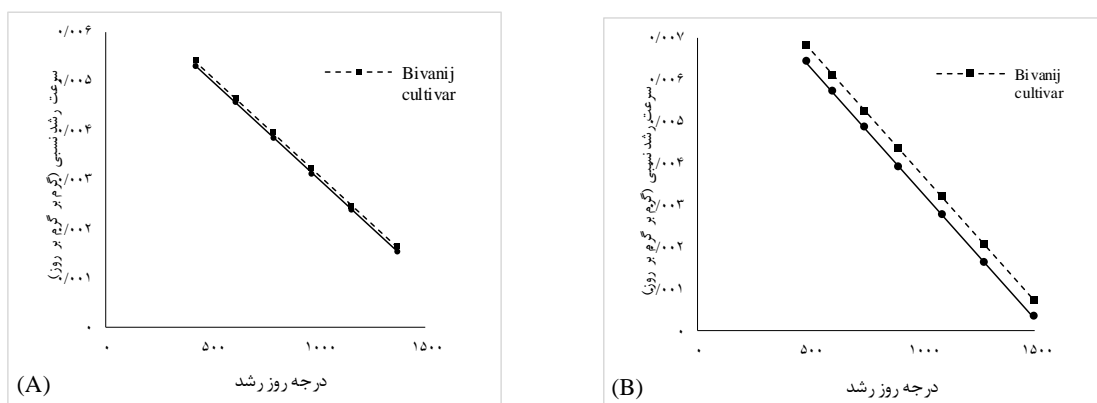
سرعت جذب خالص (NAR = Net Assimilation Rate) سرعت تجمع ماده خشک در واحد سطح برگ در زمان معین به صورت گرم در متر مربع در روز بیان می‌گردد. برای محاسبه NAR از ررابطه ۵ (تقسیم CGR به LAI) استفاده می‌شود (Asadi *et al.*, 2019).

رابطه ۵: $NAR = CGR/LAI$

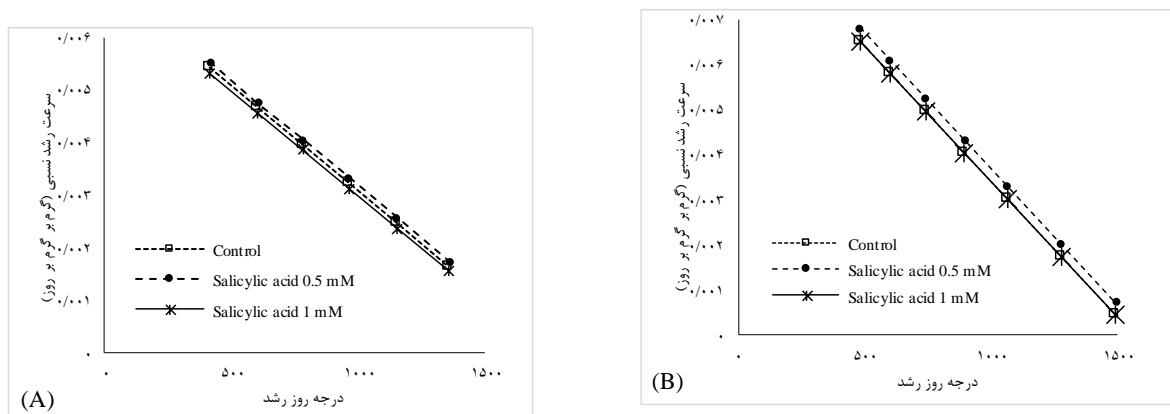
نتایج و بحث

سرعت رشد نسبی

سرعت رشد نسبی در کلیه تیمارها با افزایش سن گیاه، کاهش یافت (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). بر طبق گزارش‌های متعدد، RGR در طی اولین روزهای رشد مقادیر بالاتری را نشان می‌دهد ولی به تدریج دچار روندی کاهشی می‌شود. در ابتدای رشد، برگ‌های گیاه جوان هستند و ظرفیت و کارایی فتوسنتزی بالایی دارند. با افزایش سن گیاه، سایه‌اندازی برگ‌ها و پیری برگ‌ها و همراه با افزایش تلفات تنفسی، کارایی فتوسنتزی برگ‌ها و NAR کاهش می‌یابد و در پی آن RGR روندی نزولی پیدا می‌کند. عوامل متعددی مانند گونه یا واریته و همچنین تغییرات در شرایط آب و هوایی می‌توانند بر مقادیر RGR تأثیر بگذارند (Lopes *et al.*, 2011). نتایج نشان داد که سرعت رشد نسبی ارقام نخود در سال اول در کل دوره رشد تقریباً مساوی بوده است اما در سال دوم رقم بیونج در ۴۸۱ GDD با میانگین ۰/۰۰۶۸ گرم بر گرم GDD نسبت به رقم آزاد هفت درصد از سرعت رشد نسبی بیشتری برخوردار بود. (شکل ۱). منحنی تغییرات سرعت رشد نسبی نسبت به GDD نشان داد که در همه GDDها با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک تا نیم میلی‌مولار بر میزان آن افزوده شد. به طوری که در سال اول بالاترین میزان سرعت رشد نسبی در ۴۱۶ GDD به غلظت نیم میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد در حالی که کم‌ترین آن مربوط به غلظت یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک با ۱۳۶۳ GDD بود. در سال دوم بین سطح یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در این سال محلول پاشی نیم میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در ۴۸۱ GDD، بالاترین میزان سرعت رشد نسبی را به خود اختصاص داد (شکل ۲).

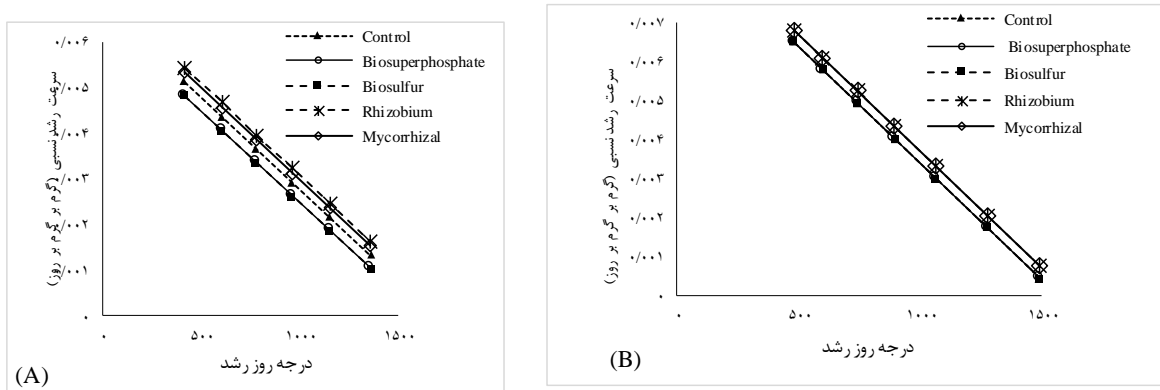


شکل ۱: تغییرات سرعت رشد نسبی در ارقام در سال‌های (A) ۱۳۹۵ و (B) ۱۳۹۶



شکل ۲: تغییرات سرعت رشد نسبی در سطوح اسید سالیسیلیک در سال‌های (A) ۱۳۹۵ و (B) ۱۳۹۶

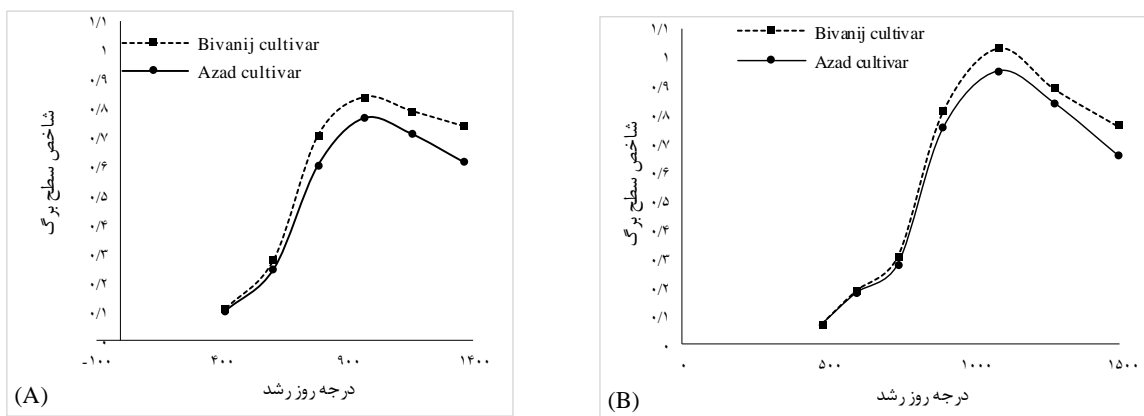
در آزمایشی بر روی گوجه فرنگی کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش RGR شد (Meena *et al.*, 2018). منحنی تغییرات سرعت رشد نسبی نسبت به GDD در ارتباط با کاربرد کود زیستی نشان داد که استفاده از کود زیستی اثر مثبتی بر سرعت رشد نسبی داشت. به‌گونه‌ای که در سال اول، بالاترین میزان سرعت رشد نسبی با میانگین ۰/۰۰۵۴ گرم بر گرم با کاربرد GDD با کاربرد باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریز در ۴۱۶ GDD و در سال دوم، با میانگین ۰/۰۰۶۸ گرم بر گرم با کاربرد قارچ میکوریز در ۴۸۱ GDD مشاهده شد. در سال اول و دوم به ترتیب کم‌ترین میزان سرعت رشد نسبی به باکتری بیوسولفور در ۱۳۶۳ و ۱۴۹۳ GDD اختصاص یافت (شکل ۶). در آزمایشی تلقیح باکتریایی برخی درختچه‌های خانواده لگومینوز باعث افزایش RGR گردید (Miguez-Montero *et al.*, 2020).



شکل ۳: تغییرات سرعت رشد نسبی در سطوح کودهای زیستی در سال‌های ۱۳۹۵ (A) و ۱۳۹۶ (B)

شاخص سطح برگ

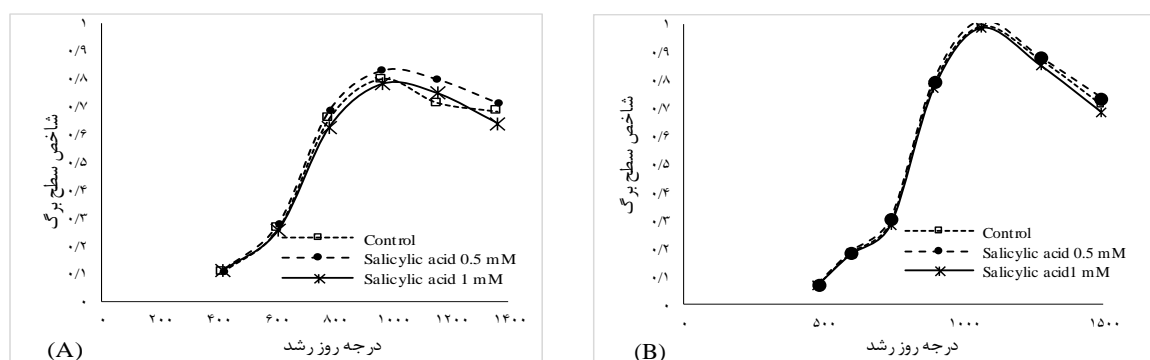
شاخص سطح برگ (LAI) یک شاخص بیوفیزیکی گیاهی مهم است که اطلاعات گسترده‌ای در مورد رفتار پویای تولیدی یک اکوسیستم و ارتباط آن با اقلیم، توپوگرافی و اثرات ادافیک ارائه می‌دهد (Andalibi *et al.*, 2021). شاخص سطح برگ می‌تواند به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تولید ماده خشک و در نتیجه عملکرد دانه باشد. در هر دو سال و در هر دو رقم، کاربرد اسید سالیسیلیک و کود زیستی، باعث افزایش طول دوره رشد و دریافت بیشتر GDD گردید. LAI ابتدا روند افزایشی و سپس روند کاهشی را نشان داد (شکل ۴).



شکل ۴: تغییرات شاخص سطح برگ در ارقام در سال‌های ۱۳۹۵ (A) و ۱۳۹۶ (B)

در سال اول، بالاترین میزان LAI در رقم بیونج با میانگین ۰/۸۴ از ۹۶۶ GDD بدست آمد که نسبت به بیشترین شاخص LAI در رقم Azad در همین GDD ۸ درصد بیشتر بود. در سال دوم، بالاترین میزان LAI در رقم بیونج با میانگین ۱/۰۴ در ۱۰۸۵ GDD (۷۵ روز پس از کاشت) حاصل شد که نسبت به بیشترین میزان این شاخص در رقم آزاد در همین GDD ۸ درصد بالاتر بود. در آزمایشی اختلاف میان شاخص سطح برگ شش رقم نخود معنی‌دار شد

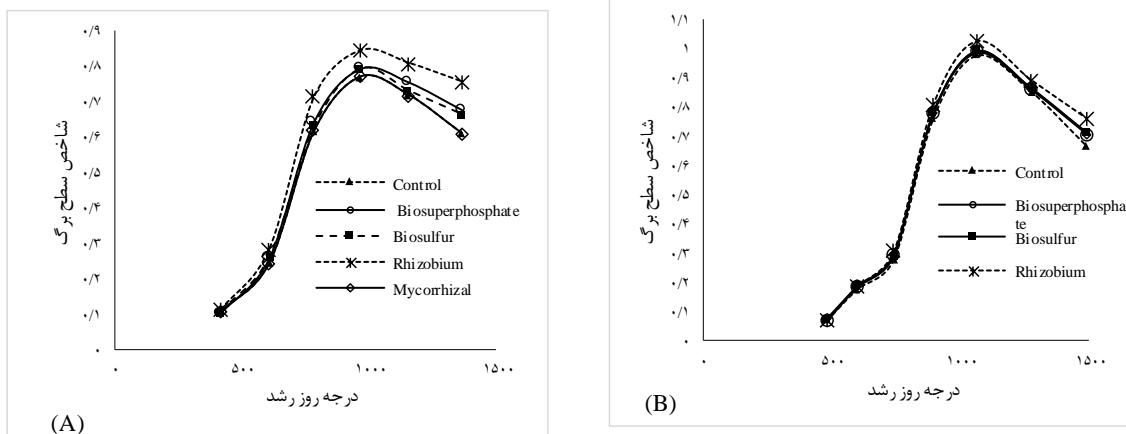
(Douh *et al.*, 2021). با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک میزان شاخص سطح برگ ابتدا روند افزایشی و سپس روند کاهشی داشت. بالاترین میزان شاخص سطح برگ در سال اول و دوم، به ترتیب با میانگین ۰/۹۹ و ۰/۸۳ در ۹۶۶ و ۱۰۶۵ GDD با محلول پاشی نیم میلی مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد. در حالی که کمترین میزان آن در سال اول و دوم، به ترتیب با میانگین ۰/۱۰ و ۰/۰۷ در ۴۱۶ و ۴۸۱ GDD در سطح یک میلی مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد (شکل ۵). در آزمایشی افزایش شاخص سطح برگ در نخود تحت تاثیر کاربرد اسید سالیسیلیک گزارش شده است (Khan *et al.*, 2018). منحنی تغییرات میزان شاخص سطح برگ تحت تاثیر کود زیستی نشان داد که در سال اول تا GDD ۷۸۳ (۵۵ روز پس از کاشت) و در سال دوم تا GDD ۸۹۵ (۶۵ روز پس از کاشت) بین کودهای زیستی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. بالاترین میزان شاخص سطح برگ در سال اول و دوم، به ترتیب با میانگین ۰/۷۷ و ۱/۰۳ در ۹۶۶ و ۱۰۶۵ GDD (۶۵ و ۷۵ روز پس از کاشت) به باکتری ریزوبیوم اختصاص یافت (شکل ۶).



شکل ۵: تغییرات شاخص سطح برگ در سطوح اسید سالیسیلیک در سال‌های (A) ۱۳۹۵ و (B) ۱۳۹۶

بسیاری از میکروارگانیسم‌ها مواد محرک رشد گیاه را در ناحیه ریزوسفر ترشح می‌کنند که می‌تواند رشد گیاه را افزایش دهد. برخی از میکروارگانیسم‌ها همچنین به سرکوب میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا کمک کرده و بیماری را سرکوب و یا به حداقل می‌رسانند. همچنین برخی از میکروارگانیسم‌ها نیز از طریق مکانیسم‌های مختلف، تحمل به تنش را ایجاد می‌کنند (Maitra *et al.*, 2022). کاربرد مخلوطی از کودهای زیستی (*Bradyrhizobium sp.*, *Bacillus subtilis*, and *arbuscular mycorrhizal fungi*) در گیاه گوار باعث افزایش شاخص سطح برگ نسبت به شاهد در هر دو سال آزمایش شد (El-Sawah *et al.*, 2021). در آزمایشی دو ساله بر روی باقلا نشان داده شد که تلقیح باکتریایی اثر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ نداشت ولی باکتری *Rhizobium leguminosarum* به طور قابل توجهی زمان رسیدن به شاخص سطح برگ حداکثر (LAI_{max}) را نسبت به شاهد افزایش داد، اما کاربرد ترکیبی *R. leguminosarum* با

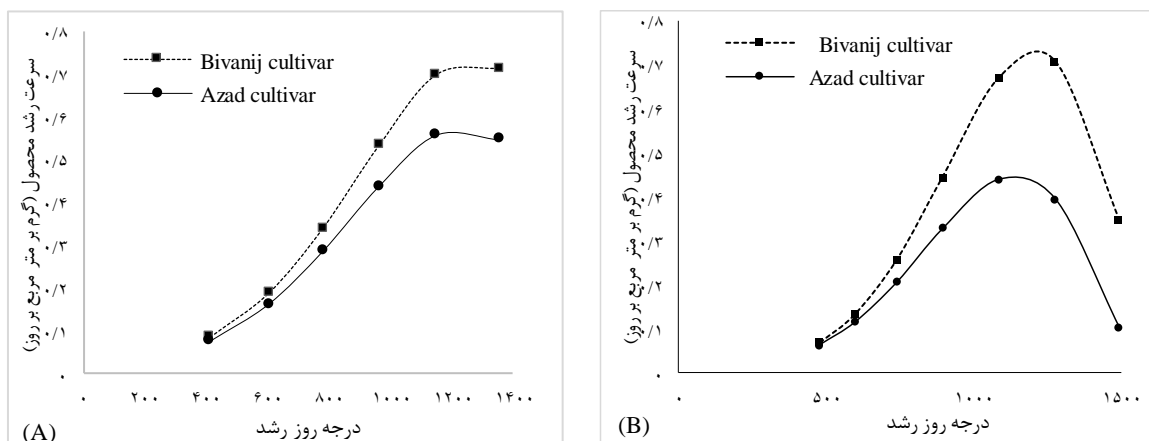
Pseudomonas fluorescens به طور قابل توجهی اثر ریزوبیوم در افزایش زمان رسیدن LAI_{max} را کاهش داد. *P. fluorescens* با کاهش روزهای رسیدن به LAI_{max} از طریق تولید سریع تر کانوپی و رسیدن به سطح برگ مطلوب (در تعداد روزهای کمتر) باعث تولید سریع تر گیاه شد (Vahdatpour et al., 2021).



شکل ۶: تغییرات شاخص سطح برگ در سطوح کودهای زیستی در سال‌های ۱۳۹۵ (A) و ۱۳۹۶ (B)

سرعت رشد محصول

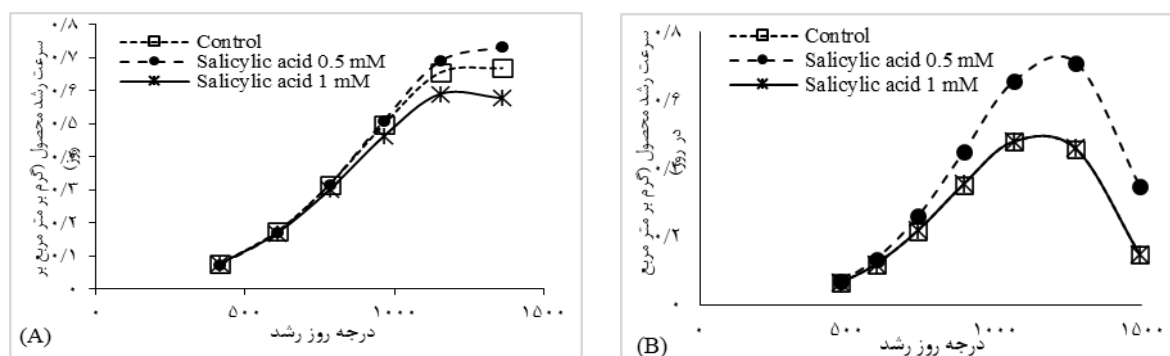
سرعت رشد محصول (CGR) با افزایش GDD بالا رفت و پس از رسیدن به حداکثر، کاهش یافت (شکل ۷).



شکل ۷: تغییرات سرعت رشد محصول در ارقام در سال‌های ۱۳۹۵ (A) و ۱۳۹۶ (B)

بالاترین میزان سرعت رشد محصول در سال اول، با میانگین 0.71 گرم در مترمربع در رقم بیونج در GDD ۱۳۶۳ (۸۵ روز پس از کاشت) و در رقم آزاد با میانگین 0.55 گرم در مترمربع در GDD ۱۱۵۵ (۷۵ روز پس از کاشت) مشاهده شد. زیاد شدن سرعت رشد محصول در طول فصل رشد به افزایش تعداد و سطح برگ‌ها و افزایش ساقه‌ها نسبت داده شده است. در سال دوم نیز مشابه سال اول، بالاترین میزان سرعت رشد محصول با میانگین 0.7 گرم در مترمربع در GDD

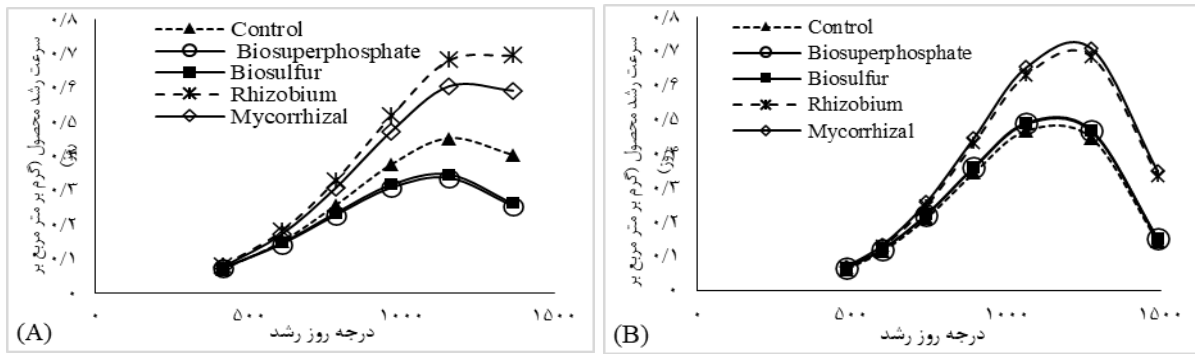
رقم بیونج در GDD ۱۲۷۷ (۸۵ روز پس از کاشت) و در رقم آزاد با میانگین ۰/۴۴ گرم در مترمربع در ۱۰۸۵ GDD (۷۵ روز پس از کاشت) مشاهده شد. بالاتر بودن سرعت رشد محصول در رقم بیونج نسبت به رقم آزاد شاید به دلیل شاخص سطح برگ پایین‌تر در مراحل اولیه رشد و به دنبال آن درصد پایین جذب نور توسط پوشش گیاهی و یا حساسیت به تنش سرما در مراحل اولیه رشد در رقم آزاد باشد. در آزمایشی میزان CGR در میان ارقام مختلف ماش (*Vigna radiate*) متفاوت بود (Ahmad et al., 2021). CGR تاثیر سطوح مختلف اسید سالیسیلیک ابتدا روند افزایشی و سپس روند کاهشی را نشان داد. در ابتدای دوره رشد به دلیل کم بودن سطح فتوسنتزی و تولید کمتر مواد فتوسنتزی بود و سپس با افزایش کانوبی گیاه و همزمان با رسیدن گیاه به حداکثر شاخص سطح برگ، CGR نیز به حداکثر رسید. در سال اول، تفاوت چندانی تا GDD ۷۸۳ (۵۵ روز پس از کاشت) از نظر CGR وجود نداشت ولی تقریباً با دریافت GDD ۱۳۶۳ (۸۵ روز پس از کاشت) با غلظت نیم میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، CGR با میانگین ۰/۷۳ گرم در مترمربع به حداکثر رسید. در سال دوم، بالاترین CGR با میانگین ۰/۷۱ گرم در مترمربع در غلظت نیم میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، با دریافت GDD ۱۲۷۷ (۸۵ روز پس از کاشت) بدست آمد. در این سال روند تغییرات شاهد و یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشابه بود (شکل ۸).



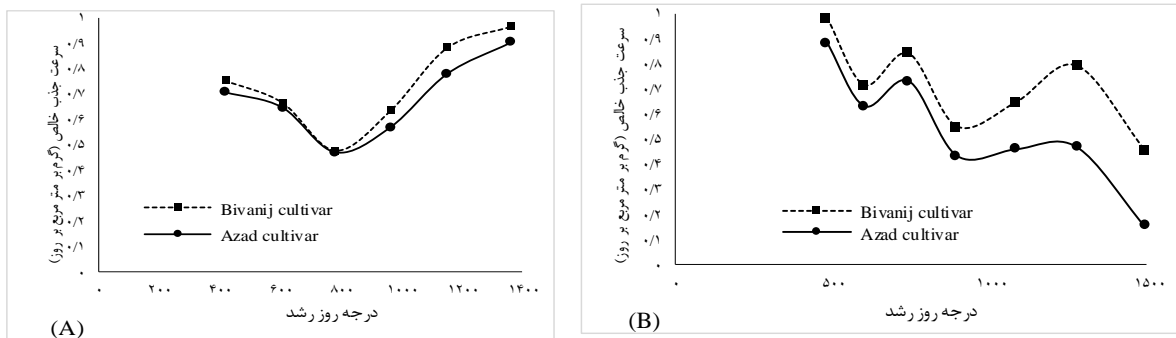
شکل ۸: تغییرات سرعت رشد محصول در سطوح اسید سالیسیلیک در سال‌های (A) ۱۳۹۵ و (B) ۱۳۹۶

محلول پاشی اسید سالیسیلیک در گندم باعث افزایش CGR گردید (Choudhary et al., 2021). در سال اول، بالاترین میزان CGR با میانگین ۰/۶۹ گرم در مترمربع با کاربرد باکتری ریزوبیوم و دریافت GDD ۱۳۶۳ بدست آمد در حالی که کم‌ترین آن در همین GDD در باکتری بیوسوپرفسفات مشاهده شد. در سال دوم اجرای آزمایش، بالاترین میزان CGR با میانگین ۰/۷ گرم در مترمربع در GDD به قارچ میکوریز و باکتری ریزوبیوم در GDD ۱۲۷۷ ثبت گردید و کم‌ترین میزان CGR با میانگین ۰/۳۴ گرم در مترمربع در تیمار شاهد و باکتری بیوسولفور مشاهده شد. (شکل ۹). در آزمایشی تلقیح گیاه سویا با کودهای زیستی بیان ژن‌های دخیل در بیوسنتز لیپید و پروتئین را القا نمود و برعکس بیان ژن‌های دخیل در تجزیه لیپید و پروتئین را کاهش داد که در نتیجه محتوای لیپید و پروتئین گیاه افزایش یافت. همچنین تلقیح منفرد یا

همزمان گیاه با کودهای زیستی اثر مثبت بر سطوح ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و محافظت کننده اسمزی مانند فنل، فلاونوئید، گلیسین بتائین و فعالیت گلوکوتایون-S-ترانسفراز (GST) در شرایط خشکسالی داشت (Sheteiwy *et al.*, 2021). تلقیح باکتریایی در گندم باعث افزایش CGR در گیاه شد (Din *et al.*, 2021).



شکل ۹: تغییرات سرعت رشد محصول در سطوح کودهای زیستی در سال‌های ۱۳۹۵ (A) و ۱۳۹۶ (B)



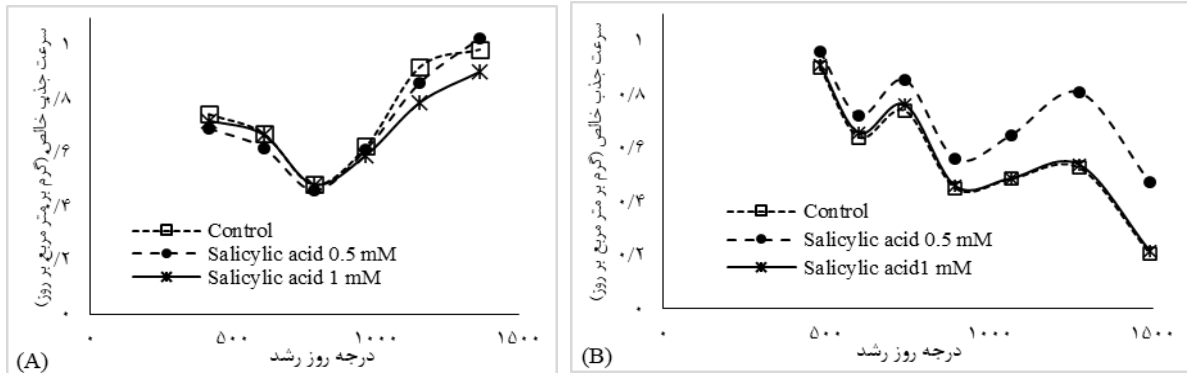
شکل ۱۰: تغییرات سرعت جذب خالص در ارقام در سال‌های ۱۳۹۵ (A) و ۱۳۹۶ (B)

سرعت جذب خالص

منحنی تغییرات NAR تحت تاثیر ارقام نشان داد که در سال اول، با افزایش GDD میزان NAR ابتدا روند کاهشی و سپس روند افزایشی پیدا کرد. میزان NAR در رقم بیونج در ۱۳۶۳ GDD (۸۵ روز پس از کاشت) با میانگین ۰/۹۶ گرم در مترمربع سطح برگ، شش درصد نسبت به رقم Azad بیشتر بود. در سال دوم، بیشترین میزان NAR در هر دو رقم در ۴۸۱ GDD (۳۵ روز پس از کاشت) با میانگین ۰/۹۸ گرم در مترمربع سطح برگ حاصل شد. سپس NAR تا ۸۹۵ GDD (۶۵ روز پس از کاشت) روند کاهشی و بعد تا ۱۴۹۳ GDD روندی ثابت را نشان داد (شکل ۱۰). در رقم بیونج شیب کاهش NAR ملایم‌تر بود که احتمالاً این موضوع به شاخص سطح برگ بالاتر، ویژگی‌های مورفولوژیک و توزیع هندسی مناسب‌تر برگ‌های این رقم مربوط می‌شود. در آزمایشی مقدار NAR در نخود در شرایط شاهد ۰/۷۷ گرم در متر

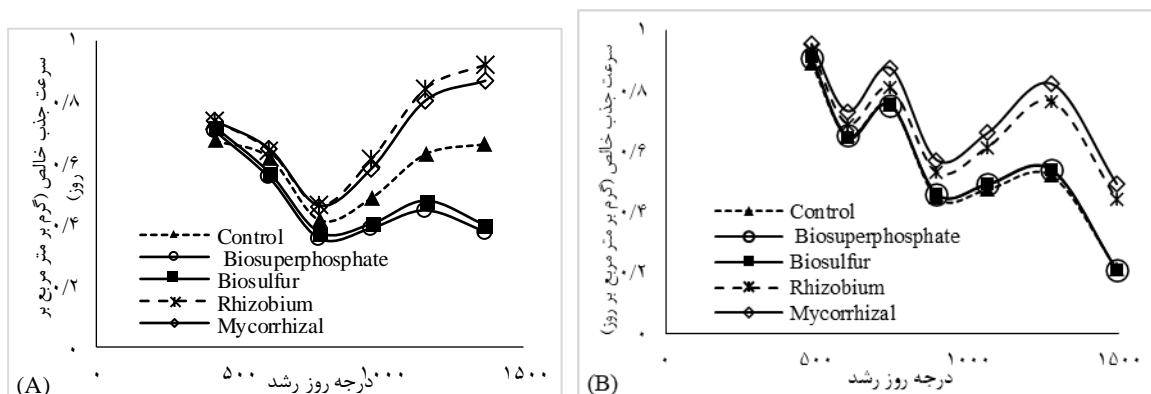
مربع سطح برگ گزارش شد (Qadir *et al.*, 2020). در آزمایش دیگری میزان NAR در میان واریته‌های نخود تفاوت معنی‌دار داشت و با افزایش تعداد روزهای بعد از کاشت (از ۳۰ تا ۹۰ روز) از میزان NAR کاسته شد (Choudhary *et al.*, 2020). گزارش‌های متعدد مبنی بر کاهش NAR همزمان با افزایش سن گیاه وجود دارد. با بالا رفتن سن گیاه میزان سایه‌اندازی برگ‌ها بر روی یکدیگر افزایش یافته، در نتیجه میزان NAR کاهش می‌یابد. رفتار دو رقم بیونج و آزاد در هر دو سال اجرای آزمایش تقریباً یکسان بود ولی روند NAR در دو سال اجرای آزمایش متفاوت بود (شکل ۱۰). در سال اول (شکل ۱۰ A) بر خلاف بسیاری از گزارش‌ها که NAR از ابتدا تا پایان دوره زندگی گیاه روندی نزولی دارد در این آزمایش بعد از کاهش میزان NAR در مراحل اولیه رشد، میزان NAR روندی افزایشی نشان داد و بیشتر از میزان NAR در ابتدای رشد شد. در سال دوم (شکل ۱۰ B) نیز بعد از کاهش ابتدایی NAR روند افزایشی و کاهشی NAR مشاهده گردید. اختلاف روند NAR در دو سال آزمایش شاید به علت تفاوت شرایط آب و هوایی در دو سال اجرای آزمایش (پراکنش و میزان بارندگی، دما) تفاوت فراهمی عناصر غذایی خاک در طول دوره رشد، انواع تنش‌های محیطی و سایر عوامل باشد. در هر دو سال اجرای آزمایش بعد از کاهش تدریجی NAR افزایش NAR مشاهده گردید. شیوه‌های کشاورزی، واریته‌های گیاهی، انواع عادات رشد ممکن است بر میزان NAR تأثیر بگذارد (Gama *et al.*, 2020). در آزمایشی افزایش میزان کود نیتروژن باعث افزایش میزان NAR در *Megathyrus maximus* شد (Lopes *et al.*, 2011). این احتمال وجود دارد که با کاربرد اسید سالیسیلیک از شدت تنش‌ها به‌ویژه تنش خشکی کاسته شده باشد و همزمان با فعال شدن گره‌های همزیست تثبیت کننده نیتروژن و نیز با افزایش تدریجی جمعیت باکتری‌های محرک رشد، فراهمی عناصری مانند نیتروژن برای برگ‌ها افزایش یافته و با کاهش یا برطرف شدن تنش عناصر غذایی، میزان NAR بعد از کاهش ابتدای رشد، افزایش یابد. منحنی تغییرات NAR تحت تاثیر سطوح اسید سالیسیلیک روندی مشابه روند دو رقم بیونج و آزاد در هر دو سال اجرای آزمایش داشت (شکل ۱۱). در سال دوم غلظت نیم میلی‌مولار اسید سالیسیلیک دارای بیشترین میزان NAR بود. محلول‌پاشی برگی ذرت (Afzal *et al.*, 2022) و نیز پرایمینگ بذر ذرت (Iqbal *et al.*, 2020) با اسید سالیسیلیک باعث شد میزان NAR ۶۰ روز بعد از کاشت نسبت به ۴۵ روز بعد از کاشت افزایش یابد. منحنی تغییرات NAR تحت تاثیر سطوح کودهای زیستی روندی مشابه روند دو رقم نخود و سطوح اسید سالیسیلیک در هر دو سال اجرای آزمایش داشت (شکل ۱۲). در گیاهان خانواده لگومینوز که به صورت همزیستی با باکتری‌ها تثبیت بیولوژیک نیتروژن را انجام می‌دهند در مراحل اولیه جوانه‌زنی ممکن است ذخایر لپه‌ها تهی گردد در حالی که هنوز گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در ریشه‌ها تشکیل و یا به‌طور مؤثر فعال نشده باشند در نتیجه گیاهچه با تنش کمبود نیتروژن مواجه خواهد شد، از سوی دیگر در هنگام کاشت بذر در خاک، جمعیت باکتری‌های محرک رشد که بذرها با آن‌ها تلقیح

شده‌اند در خاک بسیار اندک است و نیاز به زمان است تا جمعیت آن‌ها در خاک به اندازه‌ای افزایش یابد که بتوانند در فراهم کردن عناصر غذایی مانند نیتروژن برای گیاه اثر گذار باشند.



شکل ۱۱: تغییرات سرعت جذب خالص در سطوح اسید سالیسیلیک در سال‌های (A) ۱۳۹۵ و (B) ۱۳۹۶

از سوی دیگر احتمال دارد باکتری‌هایی که بذرها با آن‌ها تلقیح شده‌اند در حین تکثیر در خاک برای جذب عناصر غذایی مورد نیازشان با خود گیاه به رقابت بپردازند و گیاه را دچار تنش غذایی نمایند که منجر به کاهش NAR گردد. بنا براین در زمانی که جمعیت باکتری‌های تلقیح شده به اندازه کافی افزایش یابد این باکتری‌ها می‌توانند در فراهمی عناصر غذایی برای گیاه اثر مثبت داشته باشند و از تنش گیاه کاسته و در نتیجه باعث بالا رفتن NAR در گیاه شوند. در سال اول و دوم بالاترین NAR از کاربرد ریزوبیوم و میکوریز به دست آمد (شکل ۱۲).



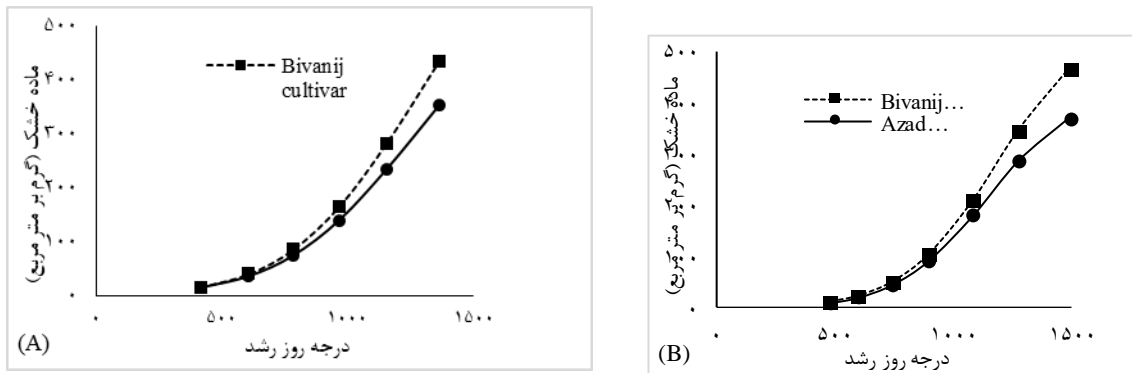
شکل ۱۲: تغییرات سرعت جذب خالص در سطوح کودهای زیستی در سال‌های (A) ۱۳۹۵ و (B) ۱۳۹۶

در آزمایشی بر روی گندم بالاترین NAR از کاربرد ریزوبیوم بدست آمد (Din et al., 2021). منحنی تغییرات NAR تحت تاثیر سطوح کودهای زیستی روندی مشابه روند دو رقم نخود و سطوح اسید سالیسیلیک در هر دو سال اجرای

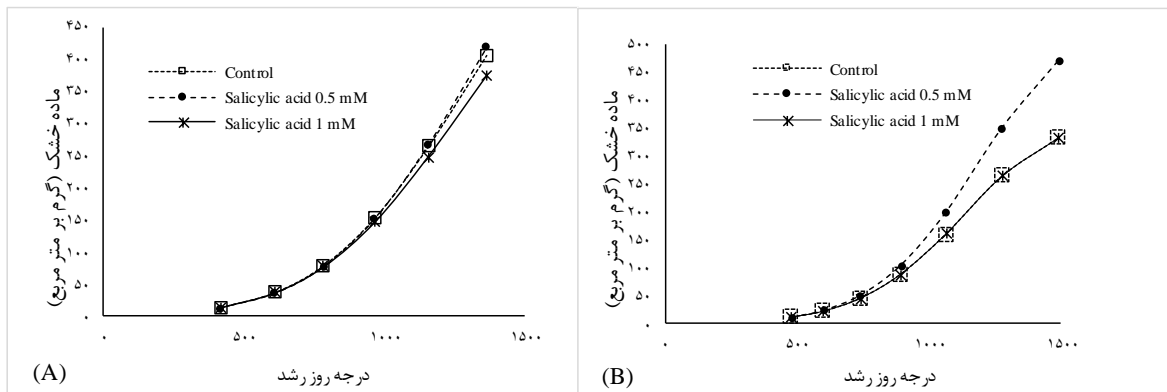
آزمایش داشت (شکل ۱۲). در سال اول و دوم بالاترین NAR از کاربرد ریزوبیوم و میکوریز به دست آمد. در آزمایشی بر روی گندم بالاترین NAR از کاربرد ریزوبیوم بدست آمد (Din et al., 2021).

تجمع ماده خشک کل

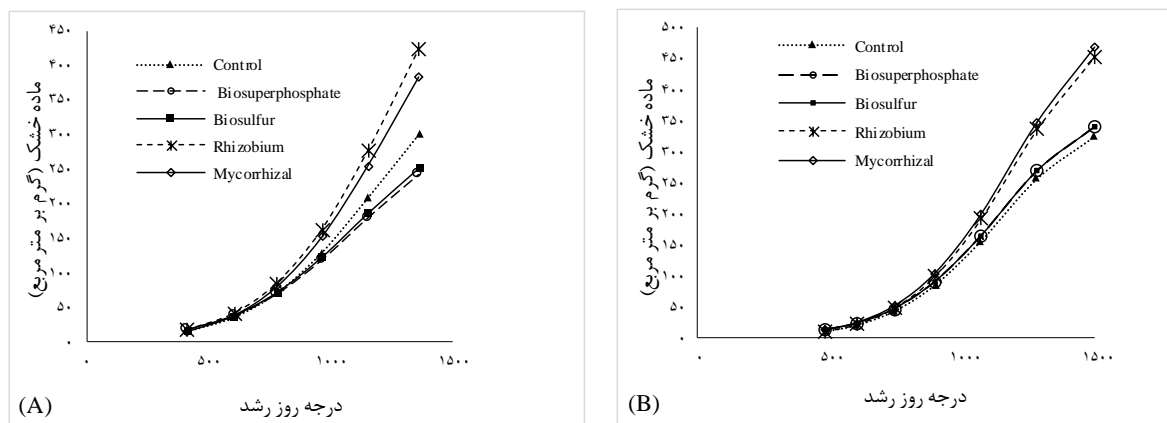
روند افزایش ماده خشک (Total Dry Matter) در هر دو رقم و در هر دو سال تقریباً مشابه بود (شکل ۱۳). در سال اول تا حدود GDD ۶۰۷ (روز پس از کاشت) و در سال دوم تا GDD ۵۹۹ (۴۵ روز پس از کاشت) روند کُند تجمع ماده خشک در هر دو رقم نخود مشاهده شد. کُند بودن روند افزایش ماده خشک در ابتدای فصل رشد احتمالاً به دلیل پایین بودن دما و کم بودن سطح فتوسنتزی بوده است. سپس، در سال اول از حدود GDD ۱۳۶۳ (۸۵ روز پس از کاشت) و در سال دوم از حدود GDD ۱۴۹۳ (۹۵ روز پس از کاشت) روند سریع تجمع ماده خشک مشاهده گردید. تا اواسط دوره رشد، میزان ماده خشک تولید شده در هر دو رقم بیونیچ و رقم آزاد تقریباً یکسان بود اما از این مرحله به بعد، رقم بیونیچ توانست ماده خشک بیشتری تولید نماید. بالاترین میزان ماده خشک رقم بیونیچ در سال اول GDD ۱۳۶۳ با میانگین ۴۳۳ گرم در متر مربع و در سال دوم با GDD ۱۴۹۳ با میانگین ۴۶۸ گرم در متر مربع مشاهده شد (شکل ۱). سطوح اسید سالیسیلیک در سال اول اثر یکسانی بر افزایش ماده خشک داشتند ولی در سال دوم تفاوت میان سطوح اسید سالیسیلیک آشکار شد (شکل ۱۴). تفاوت میان سطوح اسید سالیسیلیک در سال دوم شاید به این باشد که در سال دوم میزان و پراکنش بارندگی نسبت به سال اول بهتر بود (جدول ۲). حداکثر میزان ماده خشک در هر دو سال اول و دوم در غلظت نیم میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و به ترتیب با GDD ۱۳۶۳ (با میانگین ۴۱۸ گرم در مترمربع) و GDD ۱۴۹۳ (با میانگین ۴۷۰ گرم در مترمربع) به دست آمد. مطالعات متعدد نشان داده است که در تعداد زیادی از گیاهان، اسید سالیسیلیک به محافظت از مکانیسم‌های فتوسنتزی در هنگام تنش‌های مختلف مانند تنش خشکی و شوری کمک می‌کند (Abdelaal et al., 2021). در آزمایشی کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش ماده خشک کل در گیاه *Salvia hispanica* L. تحت شرایط تنش رطوبتی شد (Costa et al., 2022). در سال اول، بالاترین میزان ماده خشک مربوط به باکتری ریزوبیوم با GDD ۱۳۶۳ با میانگین ۴۲۲ گرم در متر مربع بود که نسبت به کم‌ترین میزان ماده خشک در همین GDD (باکتری بیوسوپرفسفات) به میزان ۴۳ درصد ماده خشک را افزایش داد (شکل ۱۵). در سال دوم بالاترین میزان ماده خشک مربوط به قارچ میکوریز با GDD ۱۴۹۳، با میانگین ۴۶۹ گرم در مترمربع مشاهده شد که با باکتری ریزوبیوم در همین GDD اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱۵). افزایش ماده خشک کل در نخود بر اثر تلقیح باکتری ممکن است به علت اثر مثبت آن‌ها بر تولید فیتوهورمون‌ها، مواد مغذی و نیز افزایش فعالیت فتوسنتزی باشد (Almeida et al., 2020).



شکل ۱۳: تغییرات ماده خشک در ارقام در سال‌های (A) ۱۳۹۵ و (B) ۱۳۹۶



شکل ۱۴: تغییرات ماده خشک در سطوح اسید سالیسیلیک در سال‌های (A) ۱۳۹۵ و (B) ۱۳۹۶



شکل ۱۵: تغییرات ماده خشک در سطوح کودهای زیستی در سال‌های (A) ۱۳۹۵ و (B) ۱۳۹۶

نتیجه‌گیری

در این آزمایش تفاوت شرایط آب و هوایی در دو سال اجرای آزمایش باعث بهبود شاخص‌های رشد در سال دوم آزمایش بر روند شاخص‌های رشد گردید. استفاده از اسید سالیسیلیک و کودهای زیستی توانست به بهبود وضعیت شاخص‌های رشد در نخود کمک کند. از میان دو رقم بکار رفته در آزمایش، رقم محلی بیونج در اکثریت شاخص‌های رشد

بر رقم آزاد برتری داشت. همچنین غلظت نیم میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و کود زیستی *Rhizobium bacterium* بالاترین شاخص‌های رشد را داشتند.

منابع

عبدی، ص.، امیدواری، ش. و احمدی، م. ۱۴۰۳. اثر کودهای زیستی بر رشد و عملکرد سه رقم جو دیم (*Hordeum vulgare* L.) مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۴(۱)، ۱۳۱-۱۴۵.
<https://doi.org/10.22069/ejsms.2024.21217.209410.22069/ejsms.2024.21217.2094>

گنجعلی، ع.، پارسا، م. و امیری ده‌احمدی، س. ۱۳۹۰. برآورد درجه حرارت‌های کاردینال و زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی و سبز شدن ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.). پژوهش‌های حبوبات ایران، ۲(۲).
<https://doi.org/10.22067/ijpr.v2i2.19070>

مومن پور، س.، مقبل، م.، بازگیر، س.، عبدالهی کاکرودی، ع.، محمدی، ح. و حسینی، س. ۱۴۰۱. مدل سازی آماری-جغرافیایی برآورد عملکرد نخود دیم در مناطق کشت عمده آن در استان کرمانشاه. زراعت دیم ایران، ۱۱(۲)، ۱۹۱-۲۱۴.
<https://doi.org/10.22092/idaj.2023.359139.377>

Abdelaal, K., AlKahtani, M., Attia, K., Hafez, Y., Kiraly, L. and Kunstler, A. 2021. The role of plant growth-promoting bacteria in alleviating the adverse effects of drought on plants. *Biology* 10, 520. <https://doi.org/10.3390/biology10060520>.

Afzal, I., Imran, S., Javed, T., Tahir, A., Kamran, M., Shakeel, Q., Shakeel, Q., Mehmood, K., Ali, H.A. and Siddqui, M.H. 2022 Alleviation of temperature stress in maize by integration of foliar applied growth promoting substances and sowing dates. *PLoS ONE* 17(1): e0260916. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260916>

Ahmad, M., Chattha, M.U., Khan, I., Chattha, M.B., Anjum, F.H., Afzal, S., Faran, M., Hussain, F., Aslam, M.T., Jabbar, A., Bazmi, M.S.A., Mehmood, M. and Hassan, M.U. 2021. Effect of different sowing dates and cultivars on growth and productivity of mungbean crop. *Journal of Innovative Sciences*, 7(1): 190-198. <https://dx.doi.org/10.17582/journal.jis/2021/7.1.190.198>

Aires, E. S., Ferraz, A.K.L., Carvalho, B.L., Teixeira, F.P., Rodrigues, J.D. and Ono, E.O. 2022. Foliar application of salicylic acid intensifies antioxidant system and photosynthetic efficiency in tomato plants. *Bragantia*, 81, e1522. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210320>

Almeida, S.L.D., Morais, M.A.D. S., Albuquerque, J.R.T.D., Barros J., Aurelio P., Simoes, A.D.N. and Fonseca, K.S. 2019. Phenology of *Calotropis procera* (Ait.) W.T. Aiton accessions based on morphophysiological characteristics. *Revista Caatinga*, 32 (2):543-551. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n227rc>

Almeida Neta, M.N., Pegoraro, R.F., Sampaio, R.A., Alves da Costa, C., Fernandes, L.A. and Ferreira, J.M. 2020. Does inoculation with *Rhizobium tropici* and nitrogen fertilization increase chickpea production? *Agricultural Sciences*, 44:e016520, <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044016520>

Amanullah, J., Khalid, S., Khalil, F. Soliman Elshikh, M., Alwahibi, M.S., Alkahtani, J., Imranuddin and Imran 2021. Growth and dry matter partitioning response in cereal-legume

intercropping under full and limited irrigation regimes. *Scientific Reports*, 11, 12585. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92022-4>

Andalibi, L., Ghorbani, A., Moameri, M., Hazbavi, Z., Nothdurft, A., Jafari, R. and Dadjou, F. 2021. Leaf area index variations in ecoregions of Ardabil province, Iran. *Remote Sensing*, 13(15):2879. <https://doi.org/10.3390/rs13152879>

Asadi, S., Abadi, H.R.M.D.C., Asgari, A. and Zadeh, P.S. 2019. The effect of different irrigation periods on growth indicators of some weed species. *Applied Ecology and Environmental Research* 17(5):10929-10940. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1705_1092910940

Bola Adelabu, D., Bredenhand, E., Van der Merwe, S., and Franke, A. 2021. Soil fertilization synergistically enhances the impact of pollination services in increasing seed yield of sunflower under dryland conditions. *The Journal of Agricultural Science*, 159(3-4), 258-271. <https://doi.org/10.1017/S0021859621000514>

Ceritoglu, M., Erman, M., Cig, F., Ucar, O., Soysal, S., Erden, Z., and Can Toprak, C. 2024. Bio-priming treatment with PGPB strains in cowpea production increases grain yield and net income. *Research in Agricultural Sciences*, 55(2), 79-88. <https://doi.org/10.17097/agricultureatauni.1418425>

Charalampopoulos I. 2021. Agrometeorological conditions and agroclimatic trends for the maize and wheat cops in the Balkan region. *atmosphere*. 12(6):671. <https://doi.org/10.3390/atmos12060671>

Choudhary, R.N., Mevada, K.D., Singh, S. and Suther, K.J. 2021. Growth and growth indices of durum wheat as influenced by seed soaking and foliar spray of stress mitigating bio-regulators under conserved soil moisture condition. *The Pharma Innovation Journal*, 10(5): 1328-1333. <https://doi.org/10.22271/tpi.2021.v10.i5q.6406>

Choudhary, A., Shekhawat, P.S., Kumar, S. and Pareek, B. 2020. Performance of chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties to seed rate and nipping in arid irrigated western plain zone. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 9(8): 3895-3903. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.908.448>

Costa, A.A., Paiva, E.P., Torres, S.B., Souza Neta, M.L., Pereira, K.T.O., Leite, M.S., Sa, F.V.S. and Benedito, C.P. 2022. Osmoprotection in *Salvia hispanica* L. seeds under water stress attenuators. *Brazilian Journal of Biology*, 82, e233547. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.233547>

Din, I., Khan, H., Khan, N.A. and Khil, A. 2021. Inoculation of nitrogen fixing bacteria in conjugation with integrated nitrogen sources induced changes in phenology, growth, nitrogen assimilation and productivity of wheat crop. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 20(7): 459-466. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.05.008>

Douh, B., Mguidiche, A., Jar Allah al-Marri, M., Moussa, M. and Rjeb, H. 2021 Assessment of deficit irrigation impact on agronomic parameters and water use efficiency of six chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under mediterranean semi-arid climate. *Italian Journal of Agrometeorology*, (2): 29-42. <https://doi.org/10.36253/ijam-1261>

Effendi AR, A., Ariani, E., and Yudiandani, Y. 2024. The effect of biological fertilizers and inorganic fertilizers on upland rice plants (*Oryza sativa* L.) growth and production. *Jurnal Agronomi Tanaman Tropika*, 6 (2). <https://doi.org/10.36378/juatika.v6i2.3597>

Estaji, A. and Niknam, F. 2020. Foliar salicylic acid spraying effect' on growth, seed oil content, and physiology of drought-stressed *Silybum marianum* L. plant, *Agricultural Water Management*, 234,106116. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106116>.

El-Sawah, A.M., El-Keblawy, A., Ali D.F.I., Ibrahim, H.M., El-Sheikh, M.A., Sharma, A., Alhaj Hamoud, Y., Shaghaleh, H., Brestic, M., Skalicky, M., Xiong, Y.C. and Sheteiwy, M.S. 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria enhance soil key enzymes, plant growth, seed yield, and qualitative attributes of guar. *Agriculture*, 11(3):194. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030194>

El Sherif, F., Alkuwayti, M.A. and Khattab, S. 2022. Foliar spraying of salicylic acid enhances growth, yield, and curcuminoid biosynthesis gene expression as well as curcuminoid accumulation in *curcuma longa*. *Horticulturae*, 8(5):417. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050417>

El-Taher, A. M., Abd El-Raouf, H. S., Osman, N. A., Azoz, S. N., Omar, M. A., Elkelish, A., and Abd El-Hady, M. 2021. Effect of salt stress and foliar application of salicylic acid on morphological, biochemical, anatomical, and productivity characteristics of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) plants. *Plants (Basel, Switzerland)*, 11(1), 115. <https://doi.org/10.3390/plants11010115>

Gama, D.R. da S., Ferreira, K.M., Souza, V., Yuri, J.E. and Mesquita, A.C. 2020. Physiological indexes of mini tomato cultivars grown in a protected environment. *Bioscience Journal*, 36(5):1507–1517. <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n5a2020-40011>

Iqbal, H., Yaning, C., Rehman, H., Waqas, M., Ahmed, Z., Raza, S. T., and Shareef, M. 2020. Improving heat stress tolerance in late planted spring maize by using different exogenous elicitors. *Chilean journal of agricultural research*, 80(1), 30-40. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392020000100030>

Khan, N., Bano, A. and Zandi, P. 2018 Effects of exogenously applied plant growth regulators in combination with PGPR on the physiology and root growth of chickpea (*Cicer arietinum*) and their role in drought tolerance, *Journal of Plant Interactions*, 13(1): 239-247, <https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1471527>

Korbu, L., Fikre, A., Tesfaye, K., Funga, A., Bekele, D. and Ojiewo, C.O. 2022. Response of chickpea to varying moisture stress conditions in Ethiopia. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 5(1), e20234. <https://doi.org/10.1002/agg2.20234>

Khan, N., Bano, A., Rahman, M.A. Guo, J., Kang, Z. and Babar, M.A. 2019. Comparative physiological and metabolic analysis reveals a complex mechanism involved in drought tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) induced by PGPR and PGRs. *Scientific Reports*, 9, 2097. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38702-8>

Lopes, M.N., Pompeu, R.C.F.F., Candido, M.J.D., Lacerda, C.F., Silva, R.G. and Fernandes, F.R.B. 2011 Growth index in massai grass under different levels of nitrogen fertilization. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 40(12): 2666-2672. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011001200008>.

Madurapperumage, A., Tang, L., Thavarajah, P., Bridges, W., Shipe, E., Vandemark, G. and Thavarajah, D. 2021. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) as a source of essential fatty acids – A

Biofortification Approach. *Frontiers in Plant Science*. 12:734980. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.734980>

Mahmoodi, B., Moballeghi, M., Eftekhari, A. and Neshaiie-Mogadam, M. 2020. Effects of foliar application of liquid fertilizer on agronomical and physiological traits of rice (*Oryza sativa* L.). *Acta Agrobotanica*, 73(3), 7332. <https://doi.org/10.5586/aa.7332>

Maitra, S., Brestic, M., Bhadra, P., Shankar, T., Praharaj, S., Palai, J.B., Shah, M.M.R., Berek, V., Ondrisik, P., Skalický, M. and Hossain, A. 2022. Bioinoculants natural biological resources for sustainable plant production. *Microorganisms*, 10, 51. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010051>

Meena, Y.K., Khurana, D.S., Kaur, N., and Singh, K. 2018. Towards enhanced low temperature stress tolerance in tomato: An approach. *Journal of Environmental Biology*, 39(1):529-535. <http://doi.org/10.22438/jeb/39/4/MRN-590>

Miguez-Montero, M.A., Valentine, A. and Perez-Fernandez, M.A. 2020. Regulatory effect of phosphorus and nitrogen on nodulation and plant performance of leguminous shrubs, *AoB Plants*, 12(1), plz047. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plz047>

Naz, S., Bilal, A., Saddiq, B., Ejaz, S., Ali, S., Ain Haider, S.T., Sardar, H., Nasir, B., Ahmad, I., Tiwari, R.K., Lal, M.K., Shakoor, A., Alyemeni, M.N., Mushtaq, N., and Altaf, M.A. 2022. Foliar application of salicylic acid improved growth, yield, quality and photosynthesis of pea (*Pisum sativum* L.) by improving antioxidant defense mechanism under saline conditions. *Sustainability*. 14(21):14180. <https://doi.org/10.3390/su142114180>

Qadir, S., Khan, A. and Salam, I.U. 2020. Biomass yield and growth allometry of some crops growing under weed stress. *Biodiversitas*, 21(12): 5621-5629. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211218>

Raza M.A., Gul, H., Yang, F., Ahmed, M. and Yang, W. 2021. Growth rate, dry matter accumulation, and partitioning in soybean (*Glycine max* L.) in response to defoliation under high-rainfall conditions. *Plants*, 10(8):1497. <https://doi.org/10.3390/plants10081497>

Richards, M.F., Maphosa, L. and Preston, A.L. (2022). Impact of sowing time on chickpea (*Cicer arietinum* L.) biomass accumulation and yield. *Agronomy*, 12, 160. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010160>

Saheri, F., Barzin, G., Pishkar, L., Mashhadi Akbar Boojar, M. and Babaekhou, L. 2020. Foliar spray of salicylic acid induces physiological and biochemical changes in purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress. *Biologia*, 75, 2189–2200. <https://doi.org/10.2478/s11756-020-00571-2>

Sarkar, S., Cazenave, A.B., Oakes, J., McCall, D., Thomason, W. Abbott, L. and Balota, M. 2021. Aerial high-throughput phenotyping of peanut leaf area index and lateral growth. *Scientific Reports*, 11, 21661 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00936-w>

Sheteiwy, S.S., Elgawad, H.A., Xiong, Y.C., Macovei, A., Brestic, M., Skalický, M., Shaghaleh, H., Hamoud, Y.A and El-Sawah, A.E. 2021. Inoculation with *Bacillus amyloliquefaciens* and mycorrhiza confers tolerance to drought stress and improve seed yield and quality of soybean plant. *Physiologia Plantarum*, 172(4):2153-2169. <https://doi.org/10.1111/ppl.13454>

Vahdatpour, F., Aroiee, H., Hemmati, K., Kamkar, B. and Sheikh, F. 2021. Leaf area index, dry Matter accumulation and allocation trends in *Vicia faba* L. affected by inoculation with rhizobium and pseudomonas. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23(4):903-914. <http://jast.modares.ac.ir/article-23-36073-en.html>

Van Echelpoel, W., Boets, P. and Goethals, P.L.M. 2016 Functional response (FR) and relative growth rate (RGR) do not show the known invasiveness of *Lemna minuta* (Kunth). *PLOS ONE* 11(11): e0166132. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166132>

Vishnupradeep, R., Benedict Bruno, L., Taj, Z., Karthik, C., Challabathula, D., Tripti, Kumar, A., Freitas, H. and Rajkumar, M. 2022. Plant growth promoting bacteria improve growth and phytostabilization potential of *Zea mays* under chromium and drought stress by altering photosynthetic and antioxidant responses. *Environmental Technology & Innovation*, 25, 102154. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102154>

Wang T, Xu J, Chen J, Liu P, Hou X, Yang L, Zhang L. 2024. Progress in microbial fertilizer regulation of crop growth and soil remediation research. *Plants*, 13(3):346. <https://doi.org/10.3390/plants13030346>

The effect of biofertilizers and salicylic acid on the changes in the physiological growth indices of two chickpea cultivars under rainfed conditions

F. Momeni¹, A. Abdali-Mashhadi^{2*}, S. Syadat³, B. Pakdaman-Sardorood⁴ and M. Ghobadi⁵

1, 2 & 3) Department of Production and Plant Genetics Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran.

4) Department of Plant Protection, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran.

5) Department of Production and Plant Genetics Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

Corresponding author*: alirezaabdali@asnrukh.ac.ir

This article is taken from a doctoral dissertation.

Received date: 2023.01.08

Accepted date: 2023.04.26

Abstract

Chickpea is one of the important pulses with high nutritional value and adaptability, which has the ability to biologically fix atmospheric nitrogen. In this study, the effect of salicylic acid and biofertilizers on the physiological indicators of growth in two chickpea cultivars was investigated. Elicitors such as salicylic acid can reduce the severity of drought stress in some plants. On the other hand, biofertilizers can reduce the consumption of chemical fertilizers and reduce the cost of production and environmental pollution by providing a part of the nutritional needs of plants. This experiment was carried out for two years in 2017 and 2018 at Razi University of Kermanshah under rainfed conditions. The experiment was conducted as a factorial based on a randomized complete block design with three replications. The factors included chickpea cultivars (Bivanij and Azad cultivars), salicylic acid foliar spraying (no application, application of 0.5 and one millimolar concentrations) and biological fertilizer (control, Biosuperphosphate bacteria (*Pseudomonas* + *Enterobacter*), Biosulfur bacteria (*Thiobacillus* spp.), Rhizobium bacterium (*Mesorhizobium ciceri*) and Mycorrhizal fungus (*Rhizophagus irregularis*) with CFU (Colony Forming Unit)=10⁸). The CGR (Crop Growth Rate), RGR (Relative Growth Rate), NAR (Net Assimilation Rate) and LAI (Leaf Area Index) indices were used to evaluate the effect of experimental factors on chickpea plant growth. The highest TDM, LAI, CGR, RGR and NAR were observed in 0.5 millimolar concentration of salicylic acid and Bivanij variety. The highest TDM, LAI, CGR and NAR were observed in *Mesorhizobium ciceri* and *Rhizophagus irregularis* biofertilizers. In *Mesorhizobium ciceri* biofertilizer, the highest TDM, LAI, CGR, and NAR were 41, 9, 72, and 39% higher in the first year and 39, 5, 61, and 4% higher in the second year than the control, respectively. Biofertilizers had little effect on RGR. The trend of NAR changes under the effect of cultivar factors, salicylic acid and biofertilizers was very different in the first and second years of the experiment. In general, among the experimental factors levels, the cultivar Bivanij, the 0.5 millimolar concentration of salicylic acid and the *Mesorhizobium ciceri* biofertilizer had the highest growth indices.

Key words: Biosuperphosphate, Rhizobium, CGR, LAI and Mycorrhizal.