

The response of green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to plant growth-promoting bacteria, plant density and weed competition: focusing on the characteristics of photosynthetic and non-photosynthetic pigments and yield

Mehdi Yosefpour¹, Arastoo Abbasian^{1*}, Rahmat Abbasi¹, Seyed Jaber Hosseini¹

¹Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran, Iran, Email: arastoo_744@yahoo.com

²Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran, Iran, Email: jbrhosseini@gmail.com

³Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran, Iran, Email: abbasi@sanru.ac.ir

⁴Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran, Iran, Email: jaberhosseini@yahoo.com

Article type:	Abstract
Research article	The current study examined the impacts of weeding treatments, Rhizobium japonicum inoculation, and plant density on the yield and physiological traits of green bean plants under field conditions during the 2021 crop year. The experiment was designed as a factorial using a randomized complete block design with three replications. The experimental treatments included three levels of plant density (16, 20, and 24 plants per square meter), the inoculation of growth-promoting bacteria (with and without inoculation), and weeding (with and without weeding). The traits measured in this experiment include chlorophyll a, b, and total chlorophyll, carotenoids, the a/b ratio, the total chlorophyll to carotenoid ratio, and pod fresh weight. The results of analysis of variance showed that the triple interaction was significant for the traits chlorophyll a, b, and total, the ratio of total chlorophyll to carotenoids, leaf phosphorus and leaf potassium. The treatment of non-weeding + density of 20 plants per square meter + bacterial inoculation (13.59 µg/ml) had the highest amount of total chlorophyll. The highest amount of carotenoid was related to 24 plants per square meter density + non-inoculation (2.60 µg/ml), while the lowest amount of carotenoid was observed in 16 plants per square meter density + non-inoculation (0.87 µg/ml). The highest amount of leaf phosphorus content (0.49 mg/g dry weight) was observed in weeding + 24 plants per square meter density non-inoculation treatment. The highest amount of leaf potassium (0.84 mg/g dry weight) was related to the treatment of non-weeding + 24 plants per square meter density + non-inoculation. The highest amount of leaf nitrogen (1.65 mg/g dry weight) was obtained by the treatment of non-inoculation + density of 20 plants per square meter. The treatment with bacterial inoculation + density of 24 plants per square meter had the highest amount of pod fresh weight (9.38 tons per hectare), while the lowest value (4.24 tons per hectare) was observed in the non-inoculation + density of 16 plants per square meter treatment. Also, interaction between weeding and plant density showed that the weeding + 24 plants per square meter density had the highest pod fresh weight (8.36 tons per hectare). The optimal density for green bean plants to achieve the highest yield is 24 plants per square meter, and inoculation with growth-promoting bacteria.

Article history

Received: 08.02.2023

Revised: 15.05.2023

Accepted: 27.05.2023

Published: 23.09.2025

Keywords

Legumes

Weed

Phosphorus

Carotenoid

Chlorophyll

nitrogen

Cite this article as: Yosefpour, M., Abbasian, A., Abbasi, R., Hosseini, S.J. (2025). The response of green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to plant growth-promoting bacteria, plant density and weed competition: focusing on the characteristics of photosynthetic and non-photosynthetic pigments and yield. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 79: 52-71.



©The author(s)

Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch



<https://doi.org/10.71890/IPER.2025.984425>

واکنش لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.) به باکتری‌های محرک رشد گیاهی، تراکم بوته و رقابت با علف‌های هرز: با تمرکز بر خصوصیات رنگدانه‌های فتوسنتزی و غیرفتوسنتزی و عملکرد

مهدی یوسف‌پور^۱، ارسطو عباسیان^{۲*}، رحمت عباسی^۳، سید جابر حسینی^۴

^۱گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران، رایانامه: arastoo_744@yahoo.com

^۲گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران، رایانامه: jbrhosseini@gmail.com

^۳گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران، رایانامه: abbasi@sanru.ac.ir

^۴گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران، رایانامه: jaberhosseini@yahoo.com

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

پژوهش حاضر به منظور بررسی اثرات تیمارهای وجین، تلقیح باکتری ریزوبیوم ژاپنیکوم و تراکم بر خصوصیات عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه لوبیا سبز در شرایط مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۴۰۰ انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل میزان تراکم (۱۶، ۲۰ و ۲۴ بوته در متر مربع)، تلقیح باکتری محرک رشد (تلقیح و عدم تلقیح) و وجین (وجین و عدم وجین) بود. صفات اندازه‌گیری شده در این آزمایش شامل کلروفیل a، b و کل، کاروتنوئیدها، a/b، نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئیدها و وزن تر غلاف بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش سه گانه برای صفات کلروفیل a، b و کل، نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئیدها، فسفر برگ و پتاسیم برگ معنی دار بود. تیمار عدم وجین+تراکم ۲۰ بوته در متر مربع+تلقیح باکتری (۱۳/۵۹ میکروگرم بر میلی‌لیتر) دارای بیشترین میزان کلروفیل کل بود. بیشترین میزان ترکیبات کاروتنوئیدی مربوط به تیمار تراکم ۲۴ بوته در متر مربع+عدم تلقیح باکتری (۲/۶۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) بود، در صورتی که کمترین مقدار کاروتنوئیدها در تیمار تراکم ۱۶ بوته در متر مربع+عدم تلقیح باکتری (۰/۸۷ میکروگرم بر میلی‌لیتر) مشاهده شد. بیشترین مقدار فسفر برگ مربوط به تیمار وجین+تراکم ۲۴ بوته در متر مربع+عدم تلقیح باکتری (۰/۴۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) بود. بیشترین میزان پتاسیم برگ نیز به تیمار عدم وجین+تراکم ۲۴ بوته در متر مربع+عدم تلقیح باکتری (۰/۸۴ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) تعلق داشت. بیشترین میزان نیتروژن برگ مربوط به تیمار عدم تلقیح+تراکم ۲۰ بوته در متر مربع (۱/۶۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) بود. تیمار تلقیح باکتری+تراکم ۲۴ بوته در متر مربع (۹/۳۸ تن در هکتار) بیشترین میزان وزن تر غلاف را دارا بود، در صورتی که کمترین مقدار وزن تر غلاف در تیمار عدم تلقیح باکتری+تراکم ۱۶ بوته در متر مربع (۴/۲۴ تن در هکتار) مشاهده شد. همچنین در برهمکنش وجین × تراکم مشاهده شد که تیمار وجین+تراکم ۲۴ بوته در متر مربع (۸/۳۶ تن در هکتار) دارای بیشترین میزان وزن تر غلاف بود. تراکم مطلوب برای گیاه لوبیا سبز جهت حصول بالاترین میزان عملکرد تراکم ۲۴ بوته در متر مربع و تلقیح باکتری‌های محرک رشد می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۶

تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

واژه‌های کلیدی:

حبوبات

علف هرز

فسفر

کاروتنوئید

کلروفیل

نیتروژن

استناد: یوسف‌پور، مهدی؛ عباسیان، ارسطو؛ عباسی، رحمت؛ حسینی، سیدجابر. (۱۴۰۴). واکنش لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.) به باکتری‌های محرک رشد گیاهی، تراکم بوته و رقابت با علف‌های هرز: با تمرکز بر خصوصیات رنگدانه‌های فتوسنتزی و غیرفتوسنتزی و عملکرد. فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۷۹: ۷۱-۵۲.



<https://doi.org/10.71890/IPER.2025.984425>

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان

© نویسندگان.



مقدمه

حبوبات پس از غلات مهم‌ترین منبع غذایی بشر و لوبیا نیز یکی از مهم‌ترین حبوبات جهان محسوب می‌شود. لوبیا یکی از منابع مهم پروتئین و تولید انرژی برای انسان می‌باشد (Pražak et al., 2020). لوبیا سبز با نام علمی (*Phaseolus vulgaris* L.) گیاهی علفی، یک‌ساله و بالارونده از خانواده بقولات (Papilionaceae) و منشأ آن قسمت‌های گرم آمریکای جنوبی می‌باشد (Saleh et al., 2018).

به‌منظور به دست آوردن عملکرد بالا و کیفیت مطلوب، تعیین فاصله کاشت مناسب می‌تواند یک ویژگی مهم در برنامه‌های زراعی باشد. عملکرد دانه حاصل رقابت برون و درون بوته‌ای برای عوامل محیطی رشد است و حداکثر عملکرد در واحد سطح هنگامی حاصل می‌شود که این رقابت‌ها به حداقل رسیده و گیاه بتواند از عوامل رشد موجود حداکثر استفاده را به نماید (Zhang et al., 2020). فاصله ردیف باریک نسبت به فاصله ردیف‌های کاشت عریض‌تر در شرایط مطلوب، موجب افزایش محصول و شاخص برداشت می‌شود (Zhang et al., 2019). افزایش جمعیت گیاهی میزان تجمع وزن خشک اندام‌های هوایی در واحد سطح و عملکرد دانه را افزایش می‌دهد، دلیل این امر افزایش شاخص سطح برگ و در نتیجه جذب تشعشع خورشیدی بیشتر و افزایش سرعت رشد محصول می‌باشد (Perez et al., 2019).

یکی از زمینه‌های مؤثر کاربرد میکروبها در کشاورزی، تولید کودهای زیستی ریزوبیومی است که با تثبیت نیتروژن مولکولی، رشد بهینه گیاهان زراعی را تأمین نموده و مشکلات زیست محیطی و جنبه‌های منفی کشاورزی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی را برطرف می‌سازد (Bhat et al., 2020). امروزه استفاده از میکروارگانیسم‌هایی مانند قارچ‌ها و

باکتری‌ها (کودهای بیولوژیک) به‌منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش عملکرد، مسئله مهمی در جهت حرکت به سمت کشاورزی پایدار می‌باشد. مطالعات پژوهشگران نشان داد که گروهی از میکروارگانیسم‌ها در ریزوسفر وجود دارند که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم سبب افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شوند که ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) نامیده می‌شوند (Ha-Tran et al., 2021). ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاهان از مهم‌ترین کودهای زیستی بوده و با محلول‌کردن و افزایش فراهمی زیستی عناصر معدنی با تثبیت زیستی نیتروژن و محلول‌کردن فسفر و پتاسیم، و با کاهش یا پیشگیری از اثرات زیان‌آور بیماری‌زایی میکروارگانیسم‌های دیگر از طریق تولید انواع آنتی‌بیوتیک و سیدروفورها سبب افزایش رشد گیاهان شده و عملکرد اقتصادی گیاهان زراعی را بهبود می‌بخشند (Meena et al., 2020). یافته‌های محققان نشان می‌دهد که کاربرد باکتری‌های محرک رشد علاوه بر فراهمی عناصر غذایی از تشدید تنش اسمزی که در اثر افزودن کودهای شیمیایی به زمین‌های شور اتفاق می‌افتد جلوگیری به‌عمل می‌آورند (Bhat et al., 2020). این در حالی است که استفاده از کودهای شیمیایی در اکوسیستم‌های زراعی نه تنها باعث تخریب ساختار فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک می‌شوند بلکه کیفیت محصولات تولید شده را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Pahalvi et al., 2021).

حضور علف‌های هرز در مزارع یکی از بزرگ‌ترین مشکلات در کشاورزی محسوب می‌شود. اگرچه از حدود ۳۵۰۰۰۰ گونه‌ی گیاهی موجود در سراسر جهان تنها ۲۵۰ گونه مزاحم بوده و علف هرز نامیده می‌شوند، ولی این واقعیت مانع اهمیت نسبی بسیاری از دیگر گونه‌ها در شرایط محیطی نمی‌شود (Sims et

عملکرد گیاه لوبیا سبز را بهبود بخشد؟

مواد و روش ها

محل اجرای آزمایش و خصوصیات خاک مزرعه:

به منظور بررسی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد رقم محلی گیاه لوبیا سبز، آزمایشی در شهرستان نکاء (طول جغرافیایی ۳۶ درجه و ۶۶ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۵ متر از سطح دریا) و در سال زراعی ۱۴۰۰ به صورت فاکتوریل، در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی و با چهار تکرار اجرا شد. عملیات تهیه زمین در مرداد ماه و کاشت در اوایل شهریور ماه انجام شد. قبل از کاشت جهت مشخص شدن خصوصیات فیزیکو-شیمیایی خاک از لایه زراعی خاک (عمق صفر الی ۳۰ سانتی متری از سطح خاک) محل پژوهش (سه نمونه ترکیبی از نقاط مختلف مزرعه) نمونه برداری صورت گرفت و قبل از کاشت با توجه به نتایج تجزیه شیمیایی خاک، کودهای مورد نیاز به خاک افزوده شد (جدول ۱). کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به میزان ۲۵ کیلوگرم در هکتار از منابع اوره، سوپرفسفات تربیل و سولفات پتاسیم با توجه به نتایج آزمون خاک به طور یکنواخت در تمامی کرت های آزمایش مصرف شدند.

(al., 2018). علف های هرز در استفاده از مواد مورد نیاز برای رشد گیاه، با گیاهان زراعی شدیداً رقابت می کنند. با توجه به اینکه تمام گیاهان سبز برای رشد و نمو به آب، مواد غذایی و نور نیاز دارند، بنابراین سایه افکنی، مصرف مواد غذایی و آب به وسیله ی علف هرز موجب می شود که برای رشد گیاه زراعی کمبود به وجود آید. علف های هرز علاوه بر رقابت با گیاه زراعی، در جذب مواد غذایی، اشغال خاک و ایجاد مزاحمت در عملیات کاشت، داشت و برداشت موجب کاهش کیفیت و کمیت محصول زراعی می گردند (Roslim et al., 2021). به همین دلیل در سرتاسر جهان کنترل علف های هرز یکی از اهداف اساسی مدیریت تولید گیاهان زراعی محسوب می شود (Roslim et al., 2021). رقابت پدیده ای است که متاثر از عوامل مختلف محیطی، بیولوژیکی و مجاورتی می باشد. عوامل مجاورتی شامل تراکم گیاهی، آرایش فضایی و نسبت گونه ای تک بوته ها است (Little et al., 2021).

با توجه به اهمیت کشت و کار لوبیا سبز در مناطق شمالی کشور و به ویژه استان مازندران، سوال اصلی تحقیق این است که آیا برهم کنش سطوح مختلف تراکم گیاهی و کاربرد باکتری های محرک رشد در شرایط رقابت با علف هرز می تواند خصوصیات رنگدانه های فتوسنتزی و غیرفتوسنتزی و همچنین

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مربوط به خاک های مزرعه ی پژوهشی جهت کشت گیاه لوبیا سبز

خصوصیات	نیتروژن (درصد)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم)	ماده آلی (درصد)	اسیدیته	برمن (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس)	درصد شن	درصد ر	درصد سیلت
	۰/۲۳	۱۴	۲۳۷	۲/۲۱	۷/۲۳	۱/۳۲		۱۳	۴۳	۴۴

روش کج‌دال (Bremner, 1996) با انجام سه مرحله هضم، تقطیر و تیتراسیون با استفاده از دستگاه کجل‌تک (Foss 2300 Kjeltac Analyzer)، غلظت فسفر به روش رنگ‌سنجی (Jones et al., 1991) (رنگ زرد واناتات مولیدات) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۶۰ نانومتر (Analytik Jena, Spekol 1300, Germany) و غلظت پتاسیم به روش شعله‌سنجی (Waling, 1989) با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (Jenway PFP7, Sherwood Scientific, Cambridge, United Kingdom) به دست آمد.

اندازه‌گیری رنگدانه‌های کلروفیل و کاروتنوئید: به منظور سنجش میزان کلروفیل و کاروتنوئیدها از روش Lichtenthaler در سال ۱۹۸۷ استفاده شد. برای استخراج این رنگیزه‌ها ۰/۲ گرم از نمونه برگ (در مرحله گلدهی) در استون ۸۰ درصد سائیده شد. پس از صاف کردن به وسیله کاغذ صافی، جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲ و ۴۷۰ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتر (Analytik Jena, Spekol 1300, Germany) خوانده شد. نحوه محاسبه رنگدانه‌های فتوستتزی و غیرفتوستتزی در جدول ۲ نشان داده شد.

تیمارهای مورد مطالعه: در این آزمایش، سه عامل مورد مطالعه قرار گرفت. عامل اول تراکم در سه سطح (۱۶، ۲۰ و ۲۴ بوته لوبیا سبز در متر مربع)، عامل دوم باکتری ریزوبیوم ژاپنیکوم (تلقیح و عدم تلقیح بذر با باکتری) و عامل سوم مهار علف‌های هرز (وجین و عدم وجین) بودند. **عملیات کاشت، داشت و برداشت:** بذرها را قبل از کاشت به مدت ۲۴ ساعت خیسانده و نیمی از آن‌ها دو ساعت قبل از کاشت با محلول حاوی آب، شکر و ریزوبیوم تلقیح و نیم دیگر با آب پرایمینگ شدند. ابعاد هر کرت ۳×۲ متر، فاصله بین کرت‌ها از یکدیگر ۰/۵ و فاصله بین بلوک‌ها ۱/۵ متر بود. در هر بلوک ۱۲ کرت و در هر کرت ۴ ردیف کشت در نظر گرفته شد و تیمار تراکم بر روی ردیف‌ها اعمال شد. باکتری ریزوبیوم ژاپنیکوم از شرکت توسعه کشت دانه‌های روغنی شهرستان نکا تهیه شد. عملیات کاشت و داشت مطابق عرف منطقه صورت گرفت. نمونه‌برداری در انتهای فصل رشد با حذف اثرات حاشیه‌ای از مساحت یک متر مربع انجام شد. عملکرد غلاف با استفاده از ترازوی دیجیتال دقیق مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

اندازه‌گیری عناصر غذایی برگ: برای اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی برگ گیاه لوبیا سبز، پس از نمونه‌گیری و آسیاب کردن آن‌ها، غلظت نیتروژن به

جدول ۲: محاسبه رنگدانه‌های فتوستتزی و غیرفتوستتزی موجود در برگ گیاه لوبیا سبز

فرمول‌ها	نوع رنگدانه
$\text{Chl a } (\mu\text{g/ml}) = 16.72A_{665.2} - 9.16A_{652.4}$	کلروفیل a
$\text{Chl b } (\mu\text{g/ml}) = 36.92A_{652.4} - 15.28A_{665.2}$	کلروفیل b
$[\text{Chls a+b}] (\mu\text{g/ml}) = 24.93A_{652.4} + 1.44A_{665.2}$	کلروفیل کل
$C_{(x+c)} (\mu\text{g/ml}) = (1000A_{470} - 1.63\text{Chla} - 104.96\text{Chl b})/221$	کاروتنوئیدها

(۹/۱) استفاده گردید. علاوه بر این برای رسم نمودارها از نرم‌افزار صفحه‌گستر (Excel) استفاده شد. جهت مقایسه

تجزیه و تحلیل آماری: برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از این پژوهش از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه

بین تیمارهای مورد مطالعه از روش آماری حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید. اعداد موجود در جداول مقایسه میانگین و شکل ها به صورت میانگین $\pm SE$ نشان داده شدند.

نتایج

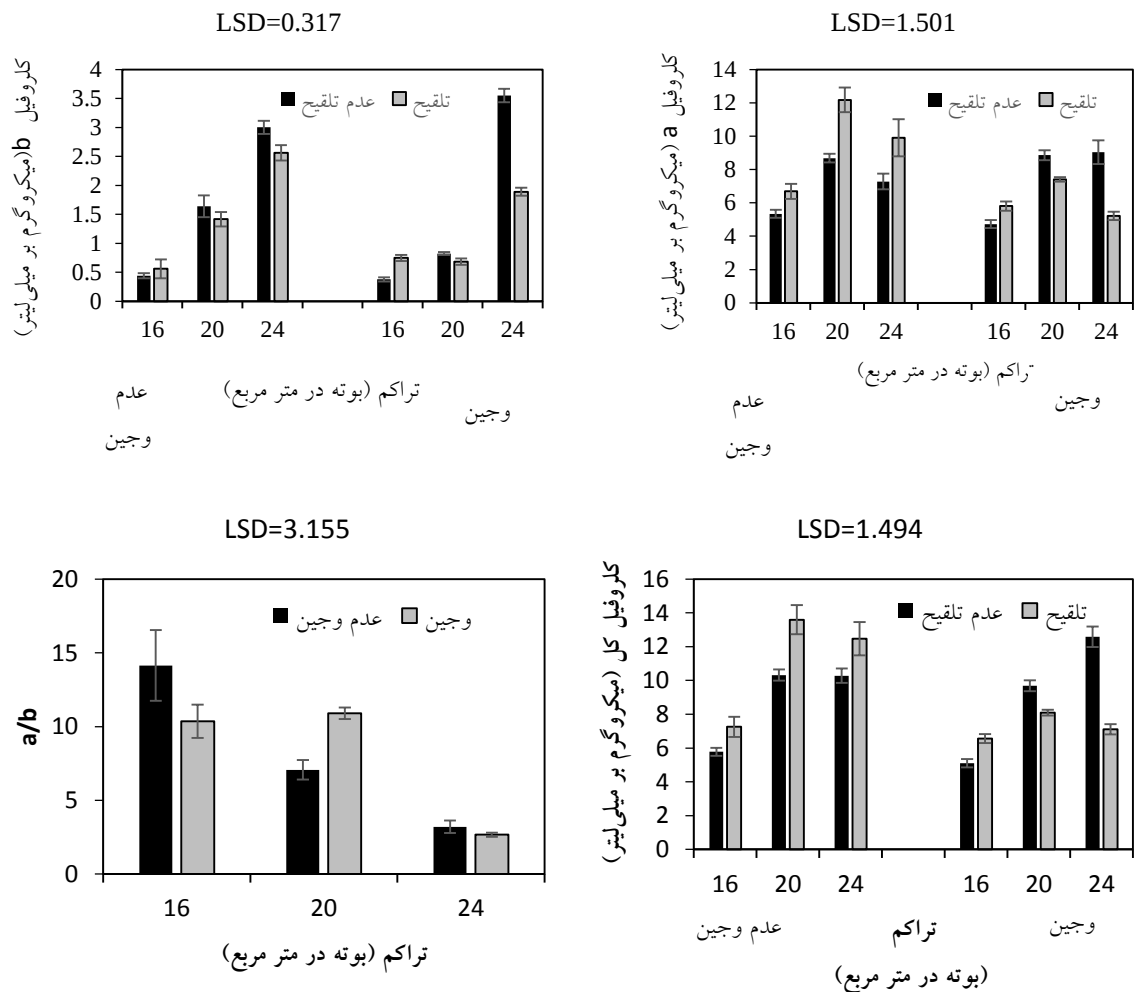
کلروفیل a: بر پایه نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثرات ساده وجین و تراکم برای صفت کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد معنی دار بودند (جدول ۳). همچنین اثر برهمکنش وجین $\times$ تلقیح باکتری (در سطح احتمال یک درصد) و تلقیح باکتری $\times$ تراکم (در سطح احتمال پنج درصد) برای صفت کلروفیل a معنی دار بود. مقایسه میانگین برهمکنش سه گانه وجین

$\times$ تراکم $\times$ تلقیح باکتری مربوط به صفت کلروفیل a در گیاه لوبیا سبز در شکل ۱ نشان داده شد. بر پایه ی نتایج حاصل از برهمکنش سه گانه وجین $\times$ تراکم $\times$ تلقیح باکتری مشاهده شد که در شرایط عدم وجین، تلقیح باکتری موجب افزایش کلروفیل a در سطوح مختلف تراکم شد. برهمکنش سه گانه نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a مربوط به تیمار عدم وجین+تراکم ۲۰ بوته در متر مربع+تلقیح باکتری (۱۲/۱۸ میکروگرم بر میلی لیتر) بود، اما کمترین مقدار کلروفیل a در تیمار وجین+عدم تلقیح باکتری+تراکم ۱۶ بوته در متر مربع (۴/۷۲ میکروگرم بر میلی لیتر) مشاهده شد.

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس مربوط به صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، a/b، کاروتنوئید و نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید در گیاه لوبیا سبز تحت تیمارهای وجین، تلقیح باکتری و تراکم

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	a/b	کاروتنوئید	نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید
تکرار	۳	۰/۵۸۴ ^{ns}	۰/۰۰۸ ^{ns}	۰/۶۹۳ ^{ns}	۸/۱۴۱ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۷۸ ^{ns}
وجین (A)	۱	۲۷/۰۳۵ ^{**}	۰/۷۹۸ ^{**}	۳۷/۱۲۳ ^{**}	۰/۳۰۹ ^{ns}	۳/۷۱۵ ^{**}	۹/۳۲۰ ^{**}
تلقیح باکتری (B)	۱	۳/۶۰۴ ^{ns}	۱/۳۰۰ ^{**}	۰/۵۷۵ ^{ns}	۳/۷۸۵ ^{ns}	۰/۰۳۱ ^{ns}	۰/۴۳۷ ^{ns}
تراکم (C)	۲	۵۳/۹۱۷ ^{**}	۲۱/۰۸۳ ^{**}	۱۰۰/۹۰۶ ^{**}	۳۵۷/۵۶۲ ^{**}	۷/۵۹۴ ^{**}	۱۴/۳۱۰ ^{**}
A $\times$ B	۱	۴۵/۴۲۲ ^{**}	۰/۲۶۱ [*]	۵۲/۵۶۹ ^{**}	۵۰/۹۸۰ [*]	۰/۷۶۶ ^{**}	۰/۲۵۷ ^{ns}
A $\times$ C	۲	۲/۳۸۷ ^{ns}	۰/۸۲۰ ^{**}	۵/۸۴۷ ^{**}	۵۸/۶۸۴ ^{**}	۰/۰۰۶ ^{ns}	۶/۴۱۴ ^{**}
B $\times$ C	۲	۳/۹۷۱ [*]	۱/۷۴۹ ^{**}	۱۰/۸۵۱ ^{**}	۷/۰۶۱ ^{ns}	۰/۶۵۳ ^{**}	۱/۱۱۰ ^{ns}
A $\times$ B $\times$ C	۲	۱۰/۳۳۸ ^{**}	۰/۶۴۹ ^{**}	۱۴/۹۰۰ ^{**}	۱۲/۳۸۵ ^{ns}	۰/۰۴۹ ^{ns}	۶/۵۹۹ ^{**}
خطای آزمایشی	۳۳	۱/۰۸۹	۰/۰۴۹	۱/۰۷۹	۹/۶۲۳	۰/۰۳۹	۰/۸۸۶
ضریب تغییرات (%)	-	۱۳/۷۳	۱۴/۹۶	۱۱/۴۵	۱۸/۵۰	۱۰/۷۲	۱۷/۷۶

ns، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم معنی داری، معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد.



شکل ۱: نمودار مقایسه میانگین برهمکنش سه گانه وجین × تراکم × تلقیح باکتری مربوط به صفت کلروفیل a در گیاه لوبیا سبز

یک درصد معنی‌دار بود. بر اساس نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین برهمکنش سه گانه وجین × تراکم × تلقیح باکتری مشاهده شد که تیمار وجین+تراکم ۲۴ بوتۀ در متر مربع+عدم تلقیح (۳/۵۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر) دارای بیشترین میزان کلروفیل b بود، در صورتی که کمترین مقدار کلروفیل b مربوط به تیمار وجین+تراکم ۱۶ بوتۀ در متر مربع+عدم تلقیح باکتری (۰/۳۷ میکروگرم بر میلی‌لیتر) بود.

کلروفیل b: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده‌ی وجین، تلقیح باکتری و تراکم برای صفت کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). برهمکنش وجین × تلقیح باکتری برای صفت کلروفیل b در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. صفت کلروفیل b تحت تاثیر برهمکنش وجین × تراکم، تلقیح باکتری × تراکم و وجین × تلقیح باکتری × تراکم قرار گرفت و در سطح احتمال

جدول ۴: نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده و جین، تلقیح باکتری و تراکم بوته مربوط به صفات کلروفیل a، b، کل، کاروتنوئید، a/b و نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید

تیمار	سطوح	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئیدها	a/b	کاروتنوئید/کلروفیل کل
وجین	عدم وجین	۸/۳۵(±۰/۵۲) ^a	۱/۶۰(±۰/۲۰) ^a	۹/۹۵(±۰/۶۱) ^a	۲/۱۱(±۰/۱۳) ^a	۸/۱۴(±۱/۲۴) ^a	۴/۸۶(±۰/۲۰) ^b
وجین	وجین	۶/۸۴(±۰/۳۸) ^b	۱/۳۵(±۰/۲۳) ^b	۸/۱۹(±۰/۵۲) ^b	۱/۵۵(±۰/۱۳) ^b	۷/۹۸(±۰/۸۷) ^a	۵/۷۴(±۰/۳۴) ^a
تلقیح باکتری	عدم تلقیح	۷/۳۲(±۰/۳۹) ^a	۱/۶۴(±۰/۲۶) ^a	۸/۹۶(±۰/۵۷) ^a	۱/۸۶(±۰/۱۶) ^a	۷/۷۸(±۰/۹۷) ^a	۵/۲۰(±۰/۲۲) ^a
تلقیح باکتری	تلقیح	۷/۸۷(±۰/۵۵) ^a	۱/۳۱(±۰/۱۶) ^b	۹/۱۸(±۰/۶۲) ^a	۱/۸۱(±۰/۱۳) ^a	۸/۳۴(±۱/۱۶) ^a	۵/۳۹(±۰/۳۵) ^a
تراکم	۱۶ (بوته در متر مربع)	۵/۶۴(±۰/۲۳) ^c	۰/۵۳(±۰/۰۵) ^c	۶/۱۷(±۰/۲۷) ^b	۱/۰۷(±۰/۱۰) ^c	۱۲/۲۵(±۱/۳۷) ^a	۶/۲۹(±۰/۴۶) ^a
۲۰		۹/۲۸(±۰/۴۹) ^a	۱/۱۴(±۰/۱۲) ^b	۱۰/۴۲(±۰/۵۶) ^a	۲/۰۱(±۰/۰۹) ^b	۸/۹۸(±۰/۶۲) ^b	۵/۲۰(±۰/۱۸) ^b
۲۴		۷/۸۶(±۰/۵۶) ^b	۲/۷۵(±۰/۱۶) ^a	۱۰/۶۱(±۰/۶۴) ^a	۲/۴۱(±۰/۱۱) ^a	۲/۹۳(±۰/۲۳) ^c	۴/۴۰(±۰/۲۰) ^c

نتایج موجود در جدول نشان دهنده میانگین $\pm$ خطای معیار می باشد. میانگین های موجود در هر ستون که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) از نظر آماری اختلاف معنی داری با هم ندارند.

کلروفیل کل: بر پایه نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده وجین و تراکم برای صفت کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کلیه ی برهمکنش های دوگانه و برهمکنش سه گانه برای صفت کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین برهمکنش سه گانه وجین $\times$ تراکم $\times$ تلقیح باکتری نشان داد که تیمار عدم وجین+تراکم ۲۰ بوته در متر مربع+تلقیح باکتری (۱۳/۵۹ میکروگرم بر میلی لیتر) دارای بیشترین میزان کلروفیل کل بود که با تیمارهای عدم وجین+۲۴ بوته در متر مربع+تلقیح باکتری (۱۲/۴۶ میکروگرم بر میلی لیتر) و وجین+تراکم ۲۴ بوته در متر مربع+عدم تلقیح باکتری (۱۲/۵۹ میکروگرم بر میلی لیتر) از نظر آماری اختلاف معنی داری نداشت (شکل ۱). از سویی دیگر برهمکنش سه گانه نشان داد که کمترین مقدار کلروفیل کل مربوط به تیمار وجین+تراکم ۱۶ بوته در متر

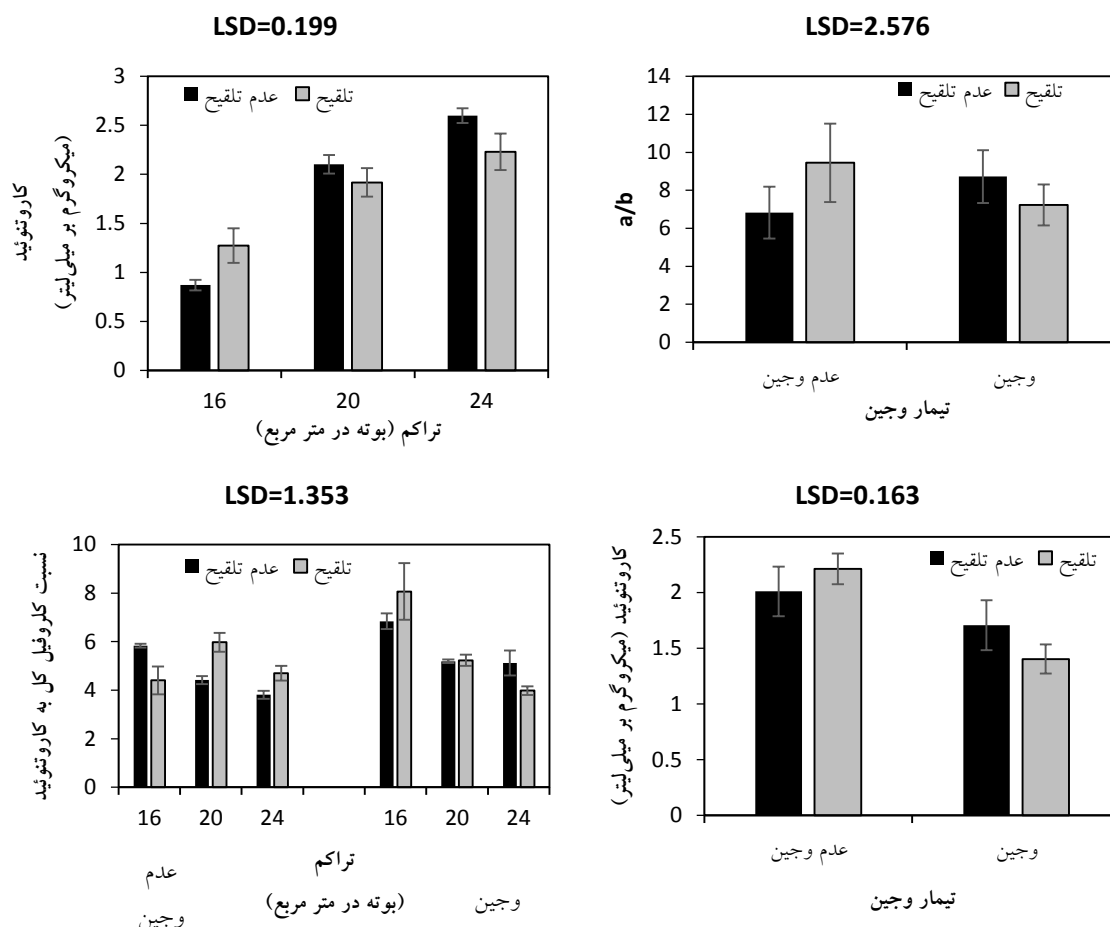
مربع+عدم تلقیح باکتری (۵/۱۰ میکروگرم بر میلی لیتر) بود.
نسبت کلروفیل a به b: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در بین تمامی اثرات ساده ی مورد مطالعه، صفت نسبت کلروفیل a به b فقط تحت تاثیر اثر ساده تراکم قرار گرفت و در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). همچنین برهمکنش وجین $\times$ تلقیح باکتری (در سطح احتمال پنج درصد) و وجین $\times$ تراکم (در سطح احتمال یک درصد) برای صفت نسبت کلروفیل a به b معنی دار بود. بر اساس مقایسه میانگین برهمکنش وجین $\times$ تراکم، بیشترین میزان نسبت کلروفیل a به b در تیمار عدم وجین+تراکم ۱۶ بوته در متر مربع (۱۴/۱۴) مشاهده شد، در صورتی که کمترین مقدار نسبت کلروفیل a به b در تیمار تراکم ۲۴ بوته در متر مربع+وجین (۲/۶۶) مشاهده شد که با تیمار تراکم ۲۴ بوته در متر مربع+عدم وجین (۳/۲۰) از نظر آماری اختلاف معنی دار نداشت (شکل ۱). مقایسه میانگین برهمکنش وجین $\times$ تلقیح باکتری

تلقیح باکتری (۰/۸۷ میکروگرم بر میلی‌لیتر) مشاهده شد (شکل ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش وجین × تلقیح باکتری، بیشترین میزان کاروتنوئیدها مربوط به تیمار عدم وجین+تلقیح باکتری (۲/۲۱ میکروگرم بر میلی‌لیتر) بود که با تیمار عدم وجین+عدم تلقیح باکتری (۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر) از نظر آماری اختلاف معنی‌دار نداشت، در مقابل کمترین مقدار کاروتنوئیدها در تیمار وجین+تلقیح باکتری (۱/۴۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) مشاهده شد (شکل ۲).

نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئیدها: بر اساس نتایج به دست آمده از جدول تجزیه واریانس، اثر ساده وجین و تراکم برای صفت نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئیدها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین برهمکنش وجین × تراکم برای صفت نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئیدها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که صفت نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئیدها تحت تاثیر برهمکنش سه‌گانه وجین × تلقیح باکتری × تراکم قرار گرفت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین برهمکنش سه‌گانه وجین × تراکم × تلقیح باکتری نشان داد که تیمار تراکم ۱۶ بوته در متر مربع+وجین+تلقیح باکتری (۸/۰۶) بیشترین میزان نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئیدها را دارا بود که با تیمار وجین+تراکم ۱۶ بوته در متر مربع+عدم تلقیح باکتری (۶/۸۴) از نظر آماری اختلاف معنی‌دار نداشت، در صورتی که کمترین مقدار نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئیدها در تیمار عدم وجین+عدم تلقیح+تراکم ۲۴ بوته در متر مربع (۳/۸۱) مشاهده شد (شکل ۱).

نشان داد که بیشترین میزان نسبت کلروفیل a به b مربوط به تیمار عدم وجین+تلقیح باکتری (۹/۴۴) بود، در صورتی که کمترین مقدار نسبت کلروفیل a به b مربوط به تیمار عدم وجین+عدم تلقیح (۶/۸۲) بود (شکل ۲). مقایسه میانگین اثر ساده‌ی نسبت کلروفیل a به b نشان داد که با افزایش تراکم از میزان نسبت کلروفیل a به b کاسته شد (جدول ۴). بیشترین میزان نسبت کلروفیل a به b مربوط به تراکم ۱۶ بوته در متر مربع (۱۲/۲۵) بود، در حالی که کمترین مقدار آن در تیمار ۲۴ بوته در متر مربع (۲/۹۳) مشاهده شد (جدول ۴).

کاروتنوئیدها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده‌ی وجین و تراکم برای صفت کاروتنوئیدها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین اثر برهمکنش وجین × تلقیح باکتری و تلقیح باکتری × تراکم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین اثر ساده نشان داد که میزان کاروتنوئیدها در تیمار وجین (۱/۵۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر) به میزان ۳۶ درصد در مقایسه با تیمار عدم وجین (۲/۱۱ میکروگرم بر میلی‌لیتر) کاهش یافت (جدول ۴). همچنین اثر ساده‌ی تراکم نشان داد که با افزایش تراکم بر میزان کاروتنوئیدها افزوده شد، به طوری که در تراکم ۲۴ بوته در متر مربع بیشترین میزان کاروتنوئیدها (۲/۴۱ میکروگرم بر میلی‌لیتر) به دست آمد که در مقایسه با تراکم ۱۶ بوته در متر مربع (۱/۰۷ میکروگرم بر میلی‌لیتر) به میزان ۱۲۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). مقایسه میانگین برهمکنش تلقیح باکتری × تراکم نشان داد که بیشترین میزان کاروتنوئید مربوط به تیمار تراکم ۲۴ بوته در متر مربع+عدم تلقیح باکتری (۲/۶۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) بود، در صورتی که کمترین مقدار کاروتنوئید در تیمار تراکم ۱۶ بوته در متر مربع+عدم



شکل ۲: نمودار مقایسه میانگین برهمکنش تلقیح باکتری × تراکم مربوط به صفت کاروتنوئیدی در گیاه لوبیا سبز

عناصر غذایی برگ

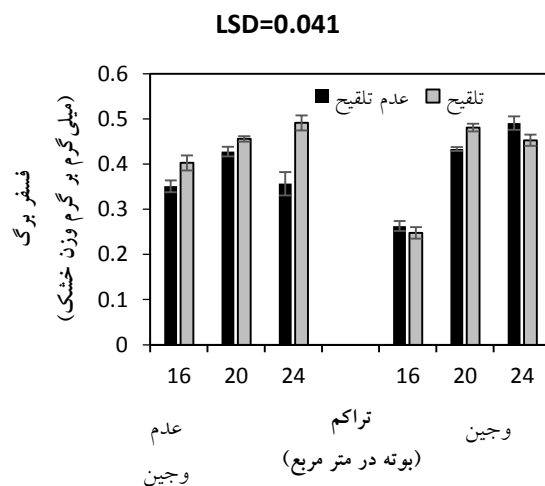
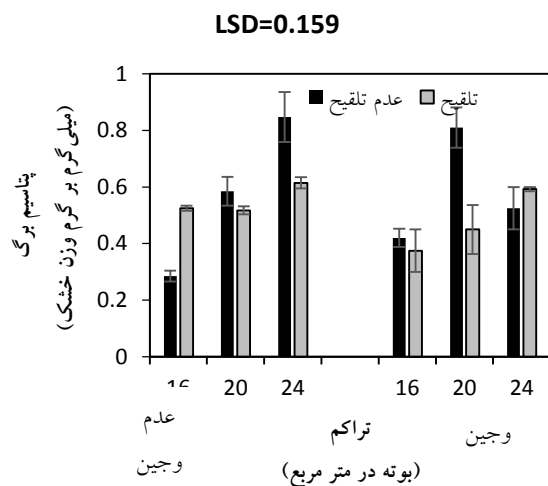
فسفر برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده وجین (در سطح احتمال پنج درصد)، تلقیح باکتری (در سطح احتمال یک درصد) و تراکم (در سطح احتمال یک درصد) برای صفت فسفر برگ معنی دار بود (جدول ۵). همچنین صفت فسفر برگ تحت تاثیر برهمکنش وجین × تلقیح باکتری، وجین × تراکم و وجین × تلقیح باکتری × تراکم قرار گرفت و در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سه گانه وجین × تراکم × تلقیح باکتری مشاهده شد که بیشترین مقدار فسفر برگ مربوط به تیمار وجین+تراکم ۲۴ بوته در متر مربع+عدم تلقیح باکتری (۰/۴۹ میلی گرم

وزن خشک) بود که با تیمارهای عدم وجین+تراکم ۲۴ بوته در متر مربع+تلقیح باکتری (۰/۴۹ میلی گرم بر گرم وزن خشک) و وجین+تراکم ۲۰ بوته در متر مربع+تلقیح باکتری (۰/۴۸ میلی گرم بر گرم وزن خشک) از نظر آماری اختلاف معنی دار نداشت (شکل ۳). در مقابل برهمکنش سه گانه نشان داد که کمترین مقدار فسفر برگ مربوط به تیمار وجین+تراکم ۱۶ بوته در متر مربع+تلقیح باکتری (۰/۲۴ میلی گرم بر گرم وزن خشک) بود که با تیمار وجین+تراکم ۱۶ بوته در متر مربع+عدم تلقیح باکتری (۰/۲۶ میلی گرم بر گرم وزن خشک) در یک سطح آماری قرار داشت (شکل ۳).

جدول ۵: نتایج تجزیه واریانس مربوط به صفات فسفر، نیتروژن و پتاسیم برگ در گیاه لوبیا سبز تحت تیمارهای وجین، تلقیح باکتری و تراکم

منابع تغییرات	درجه آزادی	فسفر برگ	پتاسیم برگ	نیتروژن برگ	وزن تر غلاف
تکرار	۳	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۱۱ ^{ns}	۰/۱۷۹ ^{ns}	۱/۷۲۲*
وجین (A)	۱	۰/۰۰۵*	۰/۰۱۴ ^{ns}	۰/۵۶۸*	۲۹/۷۳۷**
تلقیح باکتری (B)	۱	۰/۰۱۴**	۰/۰۵۳*	۰/۲۰۳ ^{ns}	۴۱/۶۲۶**
تراکم (C)	۲	۰/۰۹۴**	۰/۲۶۲**	۲/۶۴۸**	۴۸/۳۷۷**
A × B	۱	۰/۰۱۶**	۰/۰۲۶ ^{ns}	۰/۲۲۱ ^{ns}	۲/۲۳۳ ^{ns}
A × C	۲	۰/۰۳۲**	۰/۰۶۵*	۰/۰۷۶ ^{ns}	۳/۳۸۲*
B × C	۲	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۹۸**	۰/۴۴۶*	۳/۱۴۱*
A × B × C	۲	۰/۰۰۹**	۰/۱۱۶**	۰/۰۸۳ ^{ns}	۱/۹۰۰ ^{ns}
خطای آزمایشی	۳۳	۰/۰۰۱	۰/۰۱۲	۰/۱۰۲	۰/۶۵۳
ضریب تغییرات (%)	-	۸/۵۳	۲۰/۳۱	۱۹/۷۸	۱۲/۲۸

^{ns}، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.



شکل ۳: نمودار مقایسه میانگین برهمکنش سه‌گانه وجین × تراکم × تلقیح باکتری مربوط به صفات فسفر و پتاسیم برگ در گیاه لوبیا سبز

واریانس برهمکنش تلقیح باکتری × تراکم و وجین × تلقیح باکتری × تراکم برای صفت پتاسیم برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین برهمکنش سه‌گانه وجین × تراکم × تلقیح باکتری نشان داد که بیشترین میزان پتاسیم برگ مربوط به تیمار عدم وجین+تراکم ۲۴ بوته در متر مربع+عدم تلقیح باکتری (۰/۸۴ میلی گرم بر گرم وزن خشک) بود

پتاسیم برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که از بین اثرات ساده‌ی مورد مطالعه، اثر ساده‌ی تراکم (در سطح احتمال یک درصد) و تلقیح باکتری (در سطح احتمال پنج درصد) برای صفت پتاسیم برگ معنی‌دار بود (جدول ۵). همچنین صفت پتاسیم برگ تحت تاثیر برهمکنش وجین × تراکم قرار گرفت و در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بر اساس نتایج تجزیه

که با تیمار وجین+تراکم ۲۰ بوته در متر مربع+عدم تلقیح باکتری (۰/۸۱ میلی گرم بر گرم وزن خشک) در یک سطح آماری قرار داشت (شکل ۳). بر اساس نتایج برهمکنش سه گانه کمترین مقدار پتاسیم برگ

مربوط به تیمار عدم وجین+تراکم ۱۶ بوته در متر مربع+عدم تلقیح باکتری (۰/۲۸ میلی گرم بر گرم وزن خشک) بود.

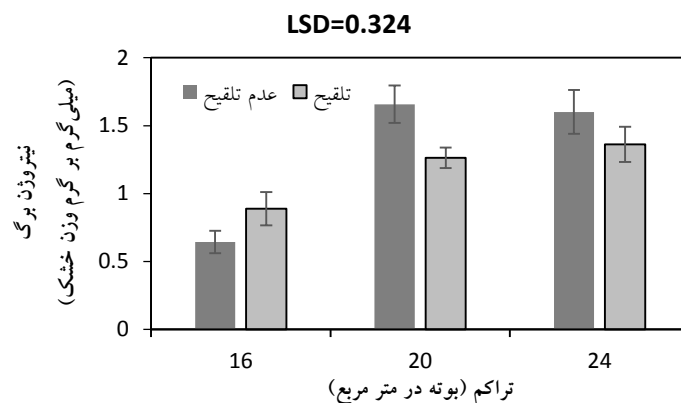
جدول ۶: نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده‌ی وجین، تلقیح باکتری و تراکم بوته مربوط به صفات نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ

تیمار	سطوح	نیتروژن	پتاسیم	فسفر
		(میلی گرم بر گرم وزن خشک)		
وجین	عدم وجین	۱/۳۴(±۰/۱۱) ^a	۰/۵۶(±۰/۰۴) ^a	۰/۴۱(±۰/۰۱) ^a
	وجین	۱/۱۳(±۰/۰۹) ^b	۰/۵۳(±۰/۰۴) ^a	۰/۳۹(±۰/۰۲) ^b
تلقیح باکتری	عدم تلقیح	۱/۳۰(±۰/۱۲) ^a	۰/۵۸(±۰/۰۵) ^a	۰/۳۹(±۰/۰۲) ^b
	تلقیح	۱/۱۷(±۰/۰۷) ^a	۰/۵۱(±۰/۰۲) ^b	۰/۴۲(±۰/۰۲) ^a
تراکم (بوته در متر مربع)	۱۶	۰/۷۷(±۰/۰۸) ^b	۰/۴۰(±۰/۰۳) ^b	۰/۳۲(±۰/۰۲) ^b
	۲۰	۱/۴۶(±۰/۰۹) ^a	۰/۵۹(±۰/۰۴) ^a	۰/۴۵(±۰/۰۱) ^a
	۲۴	۱/۴۸(±۰/۱۰) ^a	۰/۶۵(±۰/۰۴) ^a	۰/۴۵(±۰/۰۲) ^a

نتایج موجود در جدول نشان دهنده‌ی میانگین±خطای معیار می‌باشد. میانگین‌های موجود در هر ستون که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

به ترتیب به میزان ۱/۴۸ و ۱/۴۶ میلی گرم بر گرم وزن خشک بود (جدول ۶). مقایسه میانگین برهمکنش تلقیح باکتری × تراکم نشان داد که بیشترین میزان نیتروژن برگ مربوط به تیمار عدم تلقیح+تراکم ۲۰ بوته در متر مربع (۱/۶۵ میلی گرم بر گرم وزن خشک) بود که با تیمار عدم تلقیح باکتری+تراکم ۲۴ بوته در متر مربع (۱/۶۰ میلی گرم بر گرم وزن خشک) در یک سطح آماری قرار دارد (شکل ۴). در مقابل کمترین مقدار نیتروژن برگ در برهمکنش تلقیح باکتری × تراکم مربوط به تیمار عدم تلقیح باکتری+تراکم ۱۶ بوته در متر مربع (۰/۶۴ میلی گرم بر گرم وزن خشک) بود.

نیتروژن برگ: بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس مشاهده شد که اثرات ساده‌ی وجین (در سطح احتمال پنج درصد) و تراکم (در سطح احتمال یک درصد) برای صفت نیتروژن برگ معنی‌دار بود (جدول ۵). همچنین برهمکنش تلقیح باکتری × تراکم برای صفت نیتروژن برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. نتایج اثر ساده نشان داد که تیمار وجین در مقایسه با تیمار عدم وجین موجب کاهش ۱۸ درصدی نیتروژن برگ شد (جدول ۶). نتایج اثر ساده‌ی تراکم نشان داد که کمترین مقدار نیتروژن برگ مربوط به تراکم ۱۶ بوته در متر مربع (۰/۷۷ میلی گرم بر گرم وزن خشک) بود، اما بیشترین مقدار نیتروژن برگ مربوط به تیمارهای ۲۴ و ۲۰ بوته در متر مربع



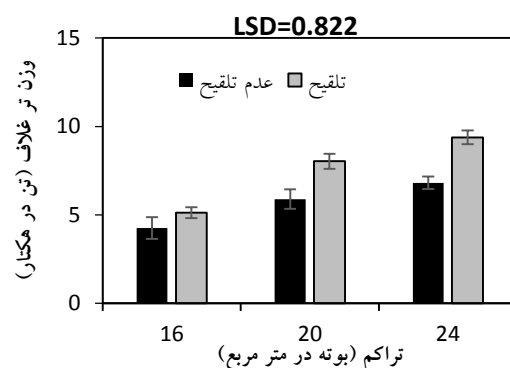
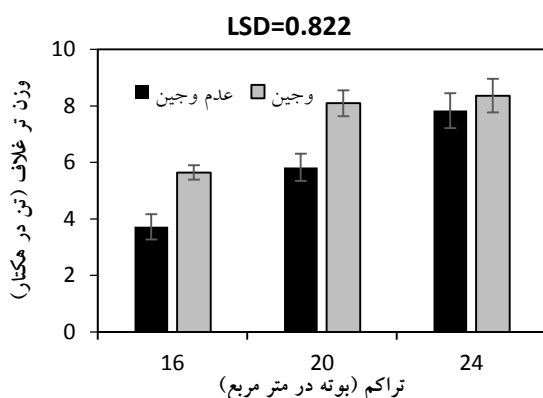
شکل ۴: نمودار مقایسه میانگین برهمکنش تلقیح باکتری × تراکم بوته مربوط به صفت نیروژن برگ در گیاه لوبیا سبز

جدول ۷: نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده و جین، تلقیح باکتری و تراکم بوته مربوط به صفت وزن تر غلاف

وزن تر غلاف (تن در هکتار)	سطوح	تیمار
۵/۷۹(±۰/۴۵) ^b	عدم وجین	وجین
۷/۳۷(±۰/۳۶) ^a	وجین	
۵/۶۵(±۰/۳۶) ^b	عدم تلقیح	تلقیح باکتری
۷/۵۱(±۰/۴۳) ^a	تلقیح	
۴/۶۸(±۰/۳۵) ^c	۱۶	تراکم (بوته در متر مربع)
۶/۹۶(±۰/۴۴) ^b	۲۰	
۸/۱۰(±۰/۴۲) ^a	۲۴	

اختلاف معنی دار (LSD) از نظر آماری اختلاف معنی داری با هم ندارند.

نتایج موجود در جدول نشان دهنده میانگین $\pm$ خطای معیار می باشد. میانگین های موجود در هر ستون که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل



شکل ۵: نمودار مقایسه میانگین برهمکنش وجین × تراکم مربوط به صفت تعداد غلاف در گیاه لوبیا سبز

وزن تر غلاف: بر پایه نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده‌ی وجین، تلقیح باکتری و تراکم برای صفت وزن تر غلاف در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). همچنین صفت وزن تر غلاف تحت تاثیر برهمکنش وجین $\times$ تراکم و تلقیح باکتری $\times$ تراکم قرار گرفت و در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه‌ی میانگین اثر ساده نشان داد که بیشترین میزان وزن تر غلاف در تیمار وجین (۷/۳۷ تن در هکتار) به دست آمد که در مقایسه با تیمار عدم وجین ۲۷ درصد افزایش نشان داد (جدول ۷). همچنین نتایج اثر ساده نشان داد که تلقیح باکتری موجب افزایش وزن تر غلاف شده است، به طوری که تیمار تلقیح باکتری موجب افزایش ۳۳ درصدی در مقایسه با تیمار عدم تلقیح باکتری شده است (جدول ۷). در بین تراکم‌های مختلف مورد مطالعه مبتنی بر نتایج اثر ساده مشاهده شد که تراکم ۲۴ بوته در متر مربع بیشترین میزان وزن تر غلاف (۸/۱۰ تن در هکتار) را دارا بود، در صورتی که کمترین مقدار وزن تر غلاف در تراکم ۱۶ بوته در متر مربع (۴/۶۸ تن در هکتار) به دست آمد. مقایسه میانگین برهمکنش تلقیح باکتری $\times$ تراکم نشان داد که تیمار تلقیح باکتری+تراکم ۲۴ بوته در متر مربع (۹/۳۸ تن در هکتار) بیشترین میزان وزن تر غلاف را دارا بود، در صورتی که کمترین مقدار وزن تر غلاف در تیمار عدم تلقیح باکتری+تراکم ۱۶ بوته در متر مربع (۴/۲۴ تن در هکتار) مشاهده شد (شکل ۵). بر اساس نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین برهمکنش وجین $\times$ تراکم مشاهده شد که تیمار وجین+تراکم ۲۴ بوته در متر مربع (۸/۳۶ تن در هکتار) دارای بیشترین میزان وزن تر غلاف بود و با تیمارهای عدم وجین+تراکم ۲۴ بوته در متر مربع (۷/۸۳ تن در هکتار) و وجین+تراکم ۲۰ بوته در متر مربع (۸/۰۹ تن در هکتار) در یک سطح آماری قرار داشت. در مقابل بر

اساس نتایج برهمکنش وجین $\times$ تراکم، کمترین مقدار وزن تر غلاف در تیمار عدم وجین+تراکم ۱۶ بوته در متر مربع (۳/۷۱ تن در هکتار) به دست آمد (شکل ۵).

بحث

عملکرد گیاهان حاصل فعالیت‌های بخش‌های مختلف گیاه در طی دوره‌ی رشد بوده و به عوامل گوناگونی از جمله نحوه‌ی استفاده از نور خورشید، آب، مواد غذایی موجود در خاک و سایر عوامل بستگی دارد (Smith et al., 2018). دستیابی به تولید مطلوب و عملکرد بالا در گیاه لوبیا سبز، نیازمند انطباق دوره‌های رشد رویشی و زایشی گیاه با شرایط آب هوایی مساعد و افزایش کارایی استفاده از عوامل تولید به واسطه‌ی تراکم مطلوب می‌باشد. محققان اکوفیزیولوژی گیاهی تراکم‌های کاشت مطلوب در لوبیا را یک عامل کلیدی مهم برای رسیدن به بیشینه‌ی عملکرد می‌دانند. تراکم کاشت متناسب با تغییر عواملی مانند تاریخ کاشت، شرایط اقلیمی، تفاوت منطقه، ارقام و نوع خاک فرق می‌کند (Carciochi et al., 2019).

به طور کلی بر اساس نتایج آزمایش حاضر تلقیح باکتری موجب افزایش میزان فسفر برگ در تراکم‌های مختلف در شرایط عدم وجین شده است اما در شرایط حذف علف‌های هرز تنها در تراکم ۲۰ بوته در متر مربع تلقیح باکتری موجب افزایش فسفر برگ شده است. Hafez و همکاران (۲۰۲۱) طی مطالعه‌ای نشان دادند که جذب عناصر غذایی تحت تاثیر فعالیت باکتری‌های محرک رشد در گیاه باقلا افزایش می‌یابد که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد.

تلقیح باکتری در تراکم ۱۶ بوته در متر مربع در شرایط عدم وجین موجب افزایش جذب پتاسیم شده است، در صورتی‌که در سایر تیمارها تلقیح باکتری موجب کاهش جذب پتاسیم شده است. از آنجایی که

(Junior et al., 2021). همچنین تلقیح باکتری موجب افزایش کلروفیل a شده است. باکتری‌های محرک رشد به دلیل نقشی که در روابط هورمونی و جذب آب و عناصر غذایی دارند، یکی از عوامل کلیدی هستند که سنتز کلروفیل را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Khan et al., 2018). محققان افزایش میزان کلروفیل a را تحت تیمار تلقیح باکتری در گیاهان لوبیا (Kumari et al., 2018)، فلفل (ALKahtani et al., 2020)، باقلا (Mansour et al., 2021) و سویا (Abulfaraj & Jalal, 2021) گزارش نمودند. همچنین نتایج آزمایش حاضر نشان داد که رقابت با علف‌های هرز موجب افزایش کلروفیل در گیاه لوبیا سبز شده است که با نتایج Raheem و همکاران (۲۰۱۹) در گیاه گندم مطابقت دارد.

در آزمایش حاضر میزان کلروفیل b تحت تاثیر افزایش تراکم بیشتر شد و با تلقیح باکتری کاهش یافته است. همچنین در تراکم‌های بالاتر میزان کلروفیل b بیشتر بود. عملکرد این رنگدانه‌ها، جذب انرژی نور برای فرآیند فتوسنتز است (Talebzadeh & Valeo, 2022). رنگدانه‌های دیگری مانند کاروتنوئیدها نیز در کلروپلاست‌ها وجود دارند و به عنوان رنگدانه‌های کمکی عمل می‌کنند و انرژی خورشید را به دام می‌اندازند و آن را به کلروفیل منتقل می‌کنند (Sandmann, 2021). تحت شرایط تنش غیرزیستی مختلف، گیاهان تمایل دارند تا مولکول‌های کلروفیل b بیشتری را در هسته بیرونی مجتمع‌های آنتن (به ویژه LHCII که با PSII مرتبط است) ترکیب کنند تا با کارایی فتوشیمیایی محدود مقابله کنند و این ممکن است نسبت کلروفیل a به b را تغییر دهد (Agathokleous et al., 2020). به نظر می‌رسد در آزمایش حاضر در شرایط تلقیح، گیاه لوبیا سبز از رشد مناسب‌تری برخوردار است و نیازی به افزایش کلروفیل b ندارد. تعدادی از محققان به نقش کلروفیل

میزان پتاسیم ریشه و ساقه در این آزمایش مورد اندازه‌گیری قرار نگرفت، بیان دلیل قانع‌کننده دور از دسترس می‌باشد. به نظر می‌رسد که تاثیر منفی تلقیح باکتری بر جذب پتاسیم برگ در برخی تیمارها به دلیل انباشت این عنصر در ریشه و ساقه باشد، به طوری که با فعالیت باکتری‌ها عناصر بیشتری وارد گیاه شده اما به دلایل خاصی به برگ منتقل نشده است. اگرچه برای پی بردن به علت قطعی چنین نتیجه‌ی متناقضی اندازه‌گیری عناصر موجود در ریشه و ساقه ضروری به نظر می‌رسد. در این زمینه پژوهش‌های مختلف نشان داد که جذب عنصر پتاسیم تحت تاثیر تراکم، وجین و تلقیح باکتری قرار گرفته است (Etesami & Adl, 2020; Bhat et al., 2020; Kalyanasundaram et al., 2021; Poornima et al., 2018; Khan et al., 2017).

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که نیتروژن برگ تحت تاثیر تلقیح باکتری در تراکم ۱۶ بوته در متر مربع افزایش یافت. در این زمینه پژوهش‌های محققان در گیاهان گندم (Pagnani et al., 2020)، سیب‌زمینی (Liu et al., 2022) و گوجه (Yuan et al., 2021) نشان داد که تلقیح باکتری موجب افزایش نیتروژن برگ می‌شود که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد. علت کاهش نیتروژن برگ در تراکم‌های ۲۰ و ۲۴ بوته در متر مربع ممکن است به دلیل تجمع عنصر نیتروژن در ریشه و ساقه باشد، اگرچه برای اثبات این تئوری شواهد اندازه‌گیری شده وجود ندارد.

در آزمایش حاضر با افزایش تراکم، میزان کلروفیل a افزایش یافت. به نظر می‌رسد با افزایش تراکم میزان سایه‌اندازی بیشتر شده و برگ‌ها بر میزان کلروفیل a خود می‌افزایند تا با شرایط جدید به وجود آمده سازگاری پیدا کنند. محققان بیان کردند که کاهش نور موجب افزایش میزان سنتز کلروفیل a در گیاهان می‌شود که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد

b و کاروتنوئید به عنوان رنگدانه‌های فتوسنتزی کمکی اشاره کردند و نشان دادند که رنگدانه‌های کمکی می‌تواند نقش موثری در عملکرد دستگاه فتوسنتزی در شرایط مواجهه گیاهان با تغییرات محیطی داشته باشد (Rahnesan et al., 2018).

در این آزمایش با افزایش تراکم، کلروفیل کل افزایش یافت. از سویی دیگر در شرایط عدم وجین میزان کلروفیل کل در مقایسه با شرایط وجین بیشتر بود. محققان نشان دادند که با تراکم زیاد نور کمتری به برگ‌ها اختصاص می‌یابد و به همین دلیل گیاهان میزان کلروفیل کل را افزایش می‌دهند تا جبران خسارت وارده صورت گیرد (Ghiassy-Oskoei et al., 2018) که با نتایج آزمایش ما مطابقت دارد. همچنین به نظر می‌رسد در شرایط عدم وجین به دلیل رقابت با علف‌های هرز گیاهان از مکانیسم افزایش کلروفیل کل برای غلبه بر علف‌های هرز و پیروزی در رقابت استفاده می‌کنند (Raheem et al., 2019).

در آزمایش حاضر با افزایش تراکم میزان صفت a/b کاهش یافت. همچنین وجین در تراکم ۲۰ بوته در متر مربع موجب افزایش a/b شد. تیمار تلقیح باکتری موجب افزایش a/b در شرایط عدم وجین شد که با نتایج Tirry و همکاران (۲۰۲۱) در گیاه یونجه مطابقت دارد. از سویی دیگر Tung و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که افزایش تراکم موجب کاهش میزان a/b در گیاه پنبه شده است که با نتایج آزمایش ما مطابقت دارد. همچنین تلقیح باکتری در شرایط رقابت با علف هرز موجب افزایش میزان a/b شده است.

میزان کاروتنوئیدها در اثر افزایش تراکم بیشتر شد که با نتایج Niu و همکاران (۲۰۲۰) در گیاه ذرت مطابقت دارد. همچنین نتایج نشان داد که در تراکم کم (۱۶ بوته در متر مربع) تلقیح باکتری توانست میزان کاروتنوئید را افزایش دهد. به نظر می‌رسد در تراکم

زیاد دریافت تشعشع خورشید توسط برگ‌ها کاهش می‌یابد و به همین دلیل نیاز به محافظت نوری در شرایط وجود تنش نوری ضروری به نظر می‌رسد. محققین نشان دادند که کاروتنوئیدها غالباً نقش عمده‌ای در حفاظت نوری دارند (Sandmann, 2021). کاروتنوئیدها جزء آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی محسوب می‌شوند. این ترکیبات از طریق فروکش کردن سریع وضعیت برانگیخته کلروفیل، محافظت نوری را انجام می‌دهند. وضعیت برانگیخته کاروتنوئید، فاقد انرژی لازم برای تشکیل رادیکال‌های اکسیژن فعال است و بنابراین ضمن از دست دادن انرژی به صورت گرما، به حالت اصلی بر می‌گردد. کاروتنوئیدها به عنوان یک بازدارنده رقابتی برای تشکیل رادیکال‌های اکسیژن فعال عمل می‌کنند (Hashimoto et al., 2016; Collini, 2019; Maoka, 2020; Uarrota et al., 2018).

برهمکنش تلقیح باکتری x تراکم بوته نشان داد که افزایش تراکم و تلقیح باکتری موجب افزایش وزن تر غلاف شده است. طبیعتاً با افزایش تراکم در متر مربع تعداد غلاف‌های حاصل از گیاهان نیز افزایش می‌یابد که این عامل موجب افزایش وزن تر غلاف می‌گردد. همچنین تلقیح باکتری به دلیل تاثیر بر جذب آب و عناصر غذایی و تولید ترکیب‌های مفید برای رشد ریشه می‌تواند موجب افزایش عملکرد تر غلاف گردد. تعدادی از محققان نشان دادند که تلقیح باکتری محرک رشد موجب افزایش عملکرد در گیاهان لوبیا سبز (Rezaei-Chiyaneh et al., 2020)، باقلا (Bechtaoui et al., 2020)، کلزا (Valetti et al., 2018) و سویا (Jabborova et al., 2021) شده است. همچنین تاثیر افزایش تراکم در افزایش عملکرد گیاهان ذرت (Assefa et al., 2018)، لوبیا (Bobos et al., 2019) و سویا (Carciochi et al., 2019) به اثبات رسیده است. بر اساس نتایج آزمایش حاضر در شرایط

کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید تحت تاثیر تیمار وجین کاهش یافتند، اما نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید افزایش یافت. علاوه بر این کلروفیل کل و کاروتنوئید در تراکم‌های بالا افزایش یافتند، اما نسبت کلروفیل a به b و نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئیدها در تراکم‌های بالا کاهش یافت. میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ در تراکم‌های بالا افزایش یافت، اما نیتروژن و فسفر برگ در شرایط وجین کاهش یافتند. همچنین تلقیح باکتری موجب افزایش فسفر برگ شد. وزن تر غلاف با افزایش تراکم بیشتر شد و بالاترین مقدار آن (۹/۳۸ تن در هکتار) در تیمار ۲۴ بوته در متر مربع و تلقیح باکتری به دست آمد. بنابراین به نظر می‌رسد تراکم مطلوب برای گیاه لوبیا سبز جهت حصول بالاترین میزان عملکرد تراکم ۲۴ بوته در متر مربع و تلقیح باکتری‌های محرک رشد می‌باشد.

وجین و حذف علف‌های هرز نیز عملکرد تر غلاف افزایش پیدا کرد. به نظر می‌رسد حذف علف‌های هرز موجب می‌شود که منابع غذایی و آب بیشتری در اختیار گیاهان لوبیا سبز قرار گیرد و به همین دلیل موجب افزایش عملکرد غلاف تر شده است. در این زمینه پژوهش‌های مختلف نشان داده است که حذف علف‌های هرز و کاهش رقابت موجب افزایش عملکرد در گیاهان لوبیا (Oveisi et al., 2021)، باقلا (Daba & Sharma, 2018) و کلزا (Asaduzzaman et al., 2020) شده است.

نتیجه‌گیری نهایی

بررسی تاثیر تراکم و باکتری‌های محرک رشد در شرایط رقابت با علف‌های هرز بر خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد وزن تر گیاه لوبیا سبز از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مطالعه بر اساس کلیه صفات اندازه‌گیری شده مشخص شد که

References

- Abulfaraj, A.A. and Jalal, R.S. (2021). Use of plant growth-promoting bacteria to enhance salinity stress in soybean (*Glycine max* L.) plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 28(7): 3823-3834.
- Agathokleous, E., Feng, Z., and Peñuelas, J. (2020). Chlorophyll hormesis: are chlorophylls major components of stress biology in higher plants?. *Science of The Total Environment*, 726: 138637.
- ALKahtani, M.D., Attia, K.A., Hafez, Y.M., Khan, N., Eid, A.M., Ali, M.A. and Abdelaal, K. A. (2020). Chlorophyll fluorescence parameters and antioxidant defense system can display salt tolerance of salt acclimated sweet pepper plants treated with chitosan and plant growth promoting rhizobacteria. *Agronomy*. 10(8): 1180.
- Asaduzzaman, M., Pratley, J.E., Lockett, D., Lemerle, D. and Wu, H. (2020). Weed management in canola (*Brassica napus* L): A review of current constraints and future strategies for Australia. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 66(4): 427-444.
- Assefa, Y., Carter, P., Hinds, M., Bhalla, G., Schon, R., Jeschke, M. and Ciampitti, I. A. (2018). Analysis of long term study indicates both agronomic optimal plant density and increase maize yield per plant contributed to yield gain. *Scientific Reports*. 8(1): 1-11.
- Bechtaoui, N., Raklami, A., Benidire, L., Tahiri, A.I., Göttfert, M. and Oufdou, K. (2020). Effects of PGPR co-inoculation on growth, phosphorus nutrition and phosphatase/phytase activities of faba bean under different phosphorus availability conditions. *Polish Journal of Environmental Studies*. 29(2): 1557-1565.
- Bremner, J. M. (1996). Nitrogen Total. *Methods of Soil Analysis*. Leonard Hill, London.
- Bhat, M.A., Kumar, V., Bhat, M.A., Wani, I.A., Dar, F.L., Farooq, I. and Jan, A. T. (2020). Mechanistic insights of the interaction of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) with plant roots toward enhancing plant productivity by alleviating salinity stress. *Frontiers in Microbiology*. 11: 1952.

- Bobos, I., Fedosy, I., Zavadska, O., Tonha, O. and Olt, J. (2019). Optimization of plant densities of dolichos (*dolichos lablab* L. var. lignosus) bean in the Right-bank of Forest-steppe of Ukraine. *Agronomy Research*. 17(6): 2195-2202.
- Carciochi, W.D., Schwalbert, R., Andrade, F.H., Corassa, G.M., Carter, P., Gaspar, A.P. and Ciampitti, I. A. (2019). Soybean seed yield response to plant density by yield environment in North America. *Agronomy Journal*, 111(4): 1923-1932.
- Collini, E. (2019). Carotenoids in photosynthesis: the revenge of the “accessory” pigments. *Chemistry*. 5(3): 494-495.
- Daba, N.A. and Sharma, J. (2018). Assessment of integrated weed management practices on weed dynamics, yield components and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) in Eastern Ethiopia. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(5): 570-580.
- Etesami, H. and Adl, S. M. (2020). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and their action mechanisms in availability of nutrients to plants. *Phyto-Microbiome in Stress Regulation*. 147-203.
- Gerhards, R., Andujar Sanchez, D., Hamouz, P., Peteinatos, G.G., Christensen, S. and Fernandez-Quintanilla, C. (2022). Advances in site-specific weed management in agriculture-A review. *Weed Research*. 62(2): 123-133.
- Ghiassy-Oskoei, M., AghaAlikhani, M., Sefidkon, F., Mokhtassi-Bidgoli, A. and Ayyari, M. (2018). Blessed thistle agronomic and phytochemical response to nitrogen and plant density. *Industrial Crops and Products*. 122: 566-573.
- Hafez, E.M., Osman, H.S., El-Razek, U.A.A., Elbagory, M., Omara, A.E.D., Eid, M.A. and Gawayed, S.M. (2021). Foliar-applied potassium silicate coupled with plant growth-promoting rhizobacteria improves growth, physiology, nutrient uptake and productivity of faba bean (*Vicia faba* L.) irrigated with saline water in salt-affected soil. *Plants*. 10(5): 894.
- Hashimoto, H., Uragami, C. and Cogdell, R. J. (2016). Carotenoids and photosynthesis. *Carotenoids in Nature*. 111-139.
- Ha-Tran, D.M., Nguyen, T.T.M., Hung, S.H., Huang, E. and Huang, C.C. (2021). Roles of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in stimulating salinity stress defense in plants: A review. *International Journal of Molecular Sciences*. 22(6): 3154.
- Jabborova, D., Kannepalli, A., Davranov, K., Narimanov, A., Enakiev, Y., Syed, A. and Gafur, A. (2021). Co-inoculation of rhizobacteria promotes growth, yield, and nutrient contents in soybean and improves soil enzymes and nutrients under drought conditions. *Scientific Reports*. 11(1): 1-9.
- Jones, J.R., Wolf, J. B. and Mills, H. A. (1991). *Plant Analysis: A Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide*. Micro and Macro Publishing Inc. Athens, Georgia.
- Junior, C.A.S., D'Amico-Damião, V. and Carvalho, R. F. (2021). Phytochrome type B family: The abiotic stress responses signaller in plants. *Annals of Applied Biology*. 178(2): 135-148.
- Kalyanasundaram, G.T., Syed, N. and Subburamu, K. (2021). Recent developments in plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for sustainable agriculture. *Recent Developments in Applied Microbiology and Biochemistry*. 2: 181-192.
- Khan, A., Wang, L., Ali, S., Tung, S.A., Hafeez, A. and Yang, G. (2017). Optimal planting density and sowing date can improve cotton yield by maintaining reproductive organ biomass and enhancing potassium uptake. *Field Crops Research*. 214: 164-174.
- Khan, N., Bano, A., Shahid, M.A., Nasim, W. and Babar, A. (2018). Interaction between PGPR and PGR for water conservation and plant growth attributes under drought condition. *Biologia*. 73(11): 1083-1098.
- Kumari, P., Meena, M., Gupta, P., Dubey, M.K., Nath, G. and Upadhyay, R. S. (2018). Plant growth promoting rhizobacteria and their biopriming for growth promotion in mung bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek). *Biocatalysis and agricultural biotechnology*. 16: 163-171.
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in Enzymology*. 148: 350-382.

- Little, N.G., DiTommaso, A., Westbrook, A.S., Ketterings, Q.M. and Mohler, C.L. (2021). Effects of fertility amendments on weed growth and weed-crop competition: a review. *Weed Science*. 69(2): 132-146.
- Liu, J., Zhang, J., Zhu, M., Wan, H., Chen, Z., Yang, N. and Liu, F. (2022). Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) Strain *Bacillus licheniformis* with Biochar Amendment on Potato Growth and Water Use Efficiency under Reduced Irrigation Regime. *Agronomy*. 12(5): 1031.
- Mansour, E., Mahgoub, H.A., Mahgoub, S.A., El-Sobky, E.S.E., Abdul-Hamid, M.I., Kamara, M.M. and Desoky, E.S.M. (2021). Enhancement of drought tolerance in diverse *Vicia faba* cultivars by inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria under newly reclaimed soil conditions. *Scientific Reports*. 11(1): 1-20.
- Maoka, T. (2020). Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of natural Medicines*. 74(1): 1-16.
- Meena, M., Swapnil, P., Divyanshu, K., Kumar, S., Tripathi, Y.N., Zehra, A. and Upadhyay, R.S. (2020). PGPR-mediated induction of systemic resistance and physiochemical alterations in plants against the pathogens: Current perspectives. *Journal of Basic Microbiology*. 60(10): 828-861.
- Niu, L., Yan, Y., Hou, P., Bai, W., Zhao, R., Wang, Y., and Zhou, W. (2020). Influence of plastic film mulching and planting density on yield, leaf anatomy, and root characteristics of maize on the Loess Plateau. *The Crop Journal*. 8(4): 548-564.
- Oveisi, M., Kaleibar, B.P., Mashhadi, H.R., Müller-Schärer, H., Bagheri, A., Amani, M., and Masoumi, D. (2021). Bean cultivar mixture allows reduced herbicide dose while maintaining high yield: A step towards more eco-friendly weed management. *European Journal of Agronomy*. 122: 126173.
- Pagnani, G., Galieni, A., Stagnari, F., Pellegrini, M., Del Gallo, M. and Pisante, M. (2020). Open field inoculation with PGPR as a strategy to manage fertilization of ancient Triticum genotypes. *Biology and Fertility of Soils*. 56(1): 111-124.
- Pahalvi, H.N., Rafiya, L., Rashid, S., Nisar, B. and Kamili, A. N. (2021). Chemical fertilizers and their impact on soil health. In *Microbiota and Biofertilizers*. 2:1-20.
- Perez, R.P., Fournier, C., Cabrera-Bosquet, L., Artzet, S., Pradal, C., Brichet, N. and Tardieu, F. (2019). Changes in the vertical distribution of leaf area enhanced light interception efficiency in maize over generations of selection. *Plant, Cell and Environment*. 42(7): 2105-2119.
- Poornima, S., Lakshmi, Y.S., Prakash, T.R. and Srinivas, A. (2018). Weed management through early post-emergence herbicides to improve productivity and nutrient uptake in greengram. *Indian Journal of Weed Science*. 50(1): 82-84.
- Prażak, R., Świącilo, A., Krzepiło, A., Michałek, S. and Arczewska, M. (2020). Impact of Ag nanoparticles on seed germination and seedling growth of green beans in normal and chill temperatures. *Agriculture*. 10(8): 312.
- Raheem Lahmod, N., Talib Alkooranee, J., Gatea Alshammary, A.A. and Rodrigo-Comino, J. (2019). Effect of wheat straw as a cover crop on the chlorophyll, seed, and oilseed yield of *Trigonella foenum graecum* L under water deficiency and weed competition. *Plants*. 8(11): 503.
- Rahneshan, Z., Nasibi, F., Lakehal, A., and Bellini, C. (2018). Unravelling salt stress responses in two pistachio (*Pistacia vera* L.) genotypes. *Acta physiologiae plantarum*. 40(9): 1-13.
- Rezaei-Chiyaneh, E., Amirnia, R., Machiani, M.A., Javanmard, A., Maggi, F., and Morshedloo, M.R. (2020). Intercropping fennel (*Foeniculum vulgare* L.) with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by PGPR inoculation: A strategy for improving yield, essential oil and fatty acid composition. *Scientia Horticulturae*. 261: 108951.
- Roslim, M.H.M., Juraimi, A.S., Che'Ya, N.N., Sulaiman, N., Manaf, M.N.H.A., Ramli, Z., and Motmainna, M. (2021). Using remote sensing and an unmanned aerial system for weed management in agricultural crops: A review. *Agronomy*. 11(9): 1809.
- Saleh, S., Liu, G., Liu, M., Ji, Y., He, H., and Gruda, N. (2018). Effect of irrigation on growth, yield, and chemical composition of two green bean cultivars. *Horticulturae*. 4(1): 3.

- Sandmann, G. (2021). Diversity and origin of carotenoid biosynthesis: Its history of coevolution towards plant photosynthesis. *New Phytologist*. 232(2): 479-493.
- Sims, B., Corsi, S., Gbehounou, G., Kienzle, J., Taguchi, M. and Friedrich, T. (2018). Sustainable weed management for conservation agriculture: Options for smallholder farmers. *Agriculture*. 8(8): 118.
- Smith, M.R., Rao, I.M. and Merchant, A. (2018). Source-sink relationships in crop plants and their influence on yield development and nutritional quality. *Frontiers in Plant Science*. 9: 1889.
- Talebzadeh, F. and Valeo, C. (2022). Evaluating the Effects of Environmental Stress on Leaf Chlorophyll Content as an Index for Tree Health. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1006(1): 012007.
- Tirry, N., Kouchou, A., El Omari, B., Ferioun, M. and El Ghachtouli, N. (2021). Improved chromium tolerance of *Medicago sativa* by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 19(1): 1-14.
- Tung, S.A., Huang, Y., Ali, S., Hafeez, A., Shah, A.N., Song, X. and Yang, G. (2018). Mepiquat chloride application does not favor leaf photosynthesis and carbohydrate metabolism as well as lint yield in late-planted cotton at high plant density. *Field Crops Research*. 221: 108-118.
- Uarrotta, V.G., Stefen, D.L.V., Leolato, L.S., Gindri, D.M. and Nerling, D. (2018). Revisiting carotenoids and their role in plant stress responses: from biosynthesis to plant signaling mechanisms during stress. In book: *In Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plants*. 207-232.
- Waling, I., Vark, W. V., Houba, V. J. G. and Vanderlee, J. J. (1989). Soil and Plant Analysis, A series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University, Netherland. 168p.
- Valetti, L., Iriarte, L. and Fabra, A. (2018). Growth promotion of rapeseed (*Brassica napus*) associated with the inoculation of phosphate solubilizing bacteria. *Applied Soil Ecology*. 132: 1-10.
- Yuan, W.A.N.G., Wenqing, L.I., Binghai, D.U. and Hanhao, L.I. (2021). Effect of biochar applied with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on soil microbial community composition and nitrogen utilization in tomato. *Pedosphere*. 31(6): 872-881.
- Zhang, D., Sun, Z., Feng, L., Bai, W., Yang, N., Zhang, Z. and Zhang, L. (2020). Maize plant density affects yield, growth and source-sink relationship of crops in maize/peanut intercropping. *Field Crops Research*. 257: 107926.
- Zhang, G., Shen, D., Ming, B., Xie, R., Jin, X., Liu, C. and Li, S. (2019). Using irrigation intervals to optimize water-use efficiency and maize yield in Xinjiang, northwest China. *The Crop Journal*. 7(3): 322-334.