

The effect of Beef blood powder and Protein Hydrolyzing Bacteria on the morphophysiological traits of basil (*Ocimum basilicum*) plants

Behrouz Esmailpour^{1*} , Zahra Mahdavi², Fatemeh Mahmoudi³, Rasul Azarmi⁴

Received: 16 October, 2025

Accepted: 04 May, 2026

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

2-Ph.D Graduate of Agronomy, Dept. of Horticulture, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3-Ph.D Graduate of Agronomy, Dept. of Agricultural Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

4-Assoc. Prof., Dept. of Horticulture, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

*Corresponding Author Email: Esmailpour@uma.ac.ir

Abstract:

Background and Objective: Due to the negative effects of chemical fertilizer, the need to use healthier solutions for agricultural production seems essential. Therefore, managing industrial slaughterhouse waste as a rich source of nutrients and amino acids has been one of the main concerns of researchers in recent decades. In this regard, a study was conducted to evaluate the growth of basil plant under the conditions of using blood powder from slaughterhouses and the effects of microorganisms on improving the availability of nutrients and amino acids in blood powder.

Materials and Methods: This experiment was conducted as a factorial in a completely randomized design with three replications in the greenhouse of Mohaghegh Ardabili University in the winter of 2024 as pot culture. The experimental treatments included blood powder at four levels (0, 2, 4 and 6 g/kg) and the second factor was the inoculation of protein hydrolyzing bacteria and growth stimulants in three treatments (control, *Bacillus licheniformis* bacteria, *Bacillus subtilis* bacteria).

Results: Blood powder at 6 g/kg caused a 25.9% increase in plant height, an increase (59.85, 65%) in root fresh weight and root dry weight, respectively, compared to the treatment without blood powder. Inoculation with *Licheniformis* bacteria increased the fresh dry weight of the shoot by (27.97, 35.53%) in the treatment with 6 g/kg blood powder. The highest number of leaves (27.7) and the highest root length (17.95 cm) were obtained at a blood powder concentration of 6 g/kg along with inoculation with *bacillus licheniformis* bacteria. Also, at a blood powder concentration of 6 g/kg, inoculation with *bacillus licheniformis* bacteria caused an 18% increase in leaf area compared to the treatment without inoculation with hydrolyzing bacteria. Also, at a concentration of 6 g/kg of blood powder, inoculation with *bacillus licheniformis* bacteria caused an increase of 23.46, 32.48, 16.83 and 25.71% of chlorophyll, b, a carotenoid and total chlorophyll compared to the absence of inoculation with hydrolyzing bacteria. The highest amount of total phenol (22.41 mg/g) was obtained at a concentration of 6 g/kg of blood powder along with inoculation with *bacillus licheniformis* bacteria.

Conclusion: According to the results obtained from the research, inoculation with protein hydrolyzing bacteria causes better decomposition of blood powder in the soil. Therefore, it increases the growth of basil plants and improves the physiological indicators of basil plants.

Keywords: Bacteria, Blood Powder, Plant Height, Photosynthetic Pigments, Stomatal Conductance



This is an open-access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

Copyright@ 2026 Behrouz Esmailpour Email: Esmailpour@uma.ac.ir



<https://doi.org/10.22034/saps.2026.69687.3416>

تأثیر کاربرد پودر خون گاو و باکتری هیدرولیز کننده پروتئین بروی ژگی های مورفوفیزیولوژیکی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*)

بهرز اسماعیل پور^{۱*}، زهرا مهدوی^۲، فاطمه محمودی^۳، رسول آذر می^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۴	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۴
--------------------------	-------------------------

- ۱- استاد، گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، شهر اردبیل، ایران
- ۲- دانش آموخته دکتری، گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، شهر اردبیل، ایران
- ۳- دانش آموخته دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، شهر اردبیل، ایران
- ۴- مرتبه علمی دانشیار، گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، شهر اردبیل، ایران.

چکیده:

مقدمه و اهداف: به دلیل اثرات منفی کودهای شیمیایی، لزوم استفاده از راهکارهای سالم تر برای تولید محصولات کشاورزی ضروری به نظر می رسد. از این رو برای مدیریت پسماندهای کشتارگاه های صنعتی به عنوان منبع غنی از عناصر غذایی و آمینواسیدها یکی از دغدغه های اصلی محققان در دهه های اخیر است. در این راستا، پژوهشی برای ارزیابی رشد گیاه ریحان در شرایط استفاده از پودر خون حاصل از کشتارگاه و اثرات میکروارگانیسم بر بهبود دسترسی عناصر غذایی و آمینواسیدهای موجود در پودر خون انجام شد.

مواد و روشها: این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه دانشگاه محقق اردبیلی در زمستان سال ۱۴۰۳ به صورت کشت گلدانی انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل پودر خون در چهار سطح (۰، ۲، ۴ و ۶ گرم در کیلوگرم) بود و عامل دوم تلقیح باکتری های هیدرولیز کننده پروتئین و محرک رشد در سه تیمار (شاهد، باکتری باسیلوس لیکنی فورمیس، باکتری باسیلوس سوبتلیس) بود.

یافته ها: پودر خون ۶ گرم بر کیلوگرم باعث افزایش ۲۵/۹ درصد ارتفاع بوته، افزایش (۵۹/۸۵، ۶۵ درصد) به ترتیب در وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه نسبت به تیمار بدون کاربرد پودر خون شد. تلقیح باکتری لیکنی فورمیس باعث افزایش وزن تر خشک اندام هوایی به ترتیب (۲۷/۹۷، ۳۵/۵۳ درصد) در تیمار ۶ گرم بر کیلوگرم پودر خون شد. بیشترین تعداد برگ (۲۷/۷ عدد) و بالاترین طول ریشه (۱۷/۹۵ سانتی متر) در غلظت پودر خون ۶ گرم بر کیلوگرم به همراه تلقیح باکتری باسیلوس لیکنی فورمیس بدست آمد. همچنین در غلظت ۶ گرم بر کیلوگرم پودر خون تلقیح با باکتری باسیلوس لیکنی- فورمیس باعث افزایش ۱۸ درصدی سطح برگ نسبت به عدم تلقیح باکتری هیدرولیز کننده شد. همچنین در غلظت ۶ گرم بر کیلوگرم پودر خون تلقیح با باکتری باسیلوس لیکنی فورمیس باعث افزایش به ترتیب ۲۳/۴۶، ۳۲/۴۸، ۱۶/۸۳ و ۲۵/۷۱ درصدی کلروفیل a، b، کارتنوئید و کلروفیل کل نسبت به عدم تلقیح باکتری هیدرولیز کننده شد. بیشترین مقدار فنول کل (۲۲/۴۱ میلی گرم بر گرم) در غلظت پودر خون ۶ گرم بر کیلوگرم به همراه تلقیح باکتری باسیلوس لیکنی فورمیس بدست آمد.

نتیجه گیری: با توجه به نتایج به دست آمده از تحقیق، تلقیح باکتری هیدرولیز کننده پروتئین باعث تجزیه بهتر پودر خون در خاک می گردد. بنابراین رشد گیاه ریحان را افزایش داده باعث بهبود شاخص های فیزیولوژیکی گیاه ریحان می شود. واژه های کلیدی: ارتفاع بوته، باکتری، پودر خون، رنگیزه های فتوسنتزی، هدایت روزنه ای

مقدمه

گیاه ریحان با نام علمی *Ocimum basilicum* L. گیاهی یک ساله است که عموماً به عنوان طعم‌دهنده غذا مورد استفاده قرار می‌گیرد به دلیل داشتن مقادیر زیادی روغن‌های ضروری و ترکیبات فنلی، به ویژه اسید رزمارینیک، دارای خواص آرایشی و دارویی ارزشمند است. در جنس *Ocimum* بیش از ۳۰ گونه گیاهی و درختچه‌ای وجود دارد. این تیره بومی آسیا، آمریکای مرکزی و جنوبی و آفریقا است (امینیان و همکاران ۲۰۲۲) در حال حاضر، به طور گسترده‌ای در هند، ایتالی، مصر، ایران، ژاپن، چین و ترکیه کشت می‌شود (فیکادواجتا ۲۰۲۱). اجزای فرار غالب ریحان لینالول، متیل چاویکول، اوژنول، برگاموتن و متیل سینامات است. از این گیاه برای درمان روماتیسم، کلسترول بالا، فشار خون بالا، سردرد و سکتة مغزی و همچنین به عنوان یک داروی ضد کرم استفاده می‌کنند (عزیزه و همکاران ۲۰۲۳). رایج‌ترین گونه‌های کشت شده در جهان عبارتند از: *O. basilicum*، *O. gratissimum*، *O. americanum*، *O. tenuiflorum*، *O. citriodorum* و *O. minimum*. بهترین گزینه برای افزودن مواد مغذی به خاک و افزایش حاصلخیزی خاک و رشد گیاه، کود است. کشاورزان به دلیل افزایش تقاضا و محدودیت زمین‌های قابل کشت، به طور فزاینده‌ای از کودهای شیمیایی برای افزایش بازده کشاورزی استفاده می‌کنند. استفاده مداوم از کودهای شیمیایی به ویژگی‌های خاک آسیب می‌رساند و حاصلخیزی خاک را کاهش می‌دهد همچنین استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی باعث از بین رفتن مواد مغذی، آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی، اسیدیته یا بازی بودن خاک، کاهش جمعیت میکروبی و افزایش آسیب‌پذیری در برابر حشرات مضر می‌شود. از سوی دیگر، کود آلی باعث بهبود حاصلخیزی خاک، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، ظرفیت نگهداری آب، pH خاک، نسبت قارچ به باکتری خاک، فعالیت آنزیم خاک و بازده محصول می‌شود (سارکر و همکاران ۲۰۲۳). ضایعات گوشت در مقایسه با سایر ضایعات مواد غذایی، بیشترین تأثیر کلی زیست‌محیطی را در انتشار گازهای گلخانه‌ای ایجاد

می‌کند. فرآورده‌های فرعی گوشت مانند اندام‌ها، خون و استخوان معمولاً به دلیل عدم علاقه مصرف‌کننده یا ترجیح ذائقه، بلااستفاده یا دور ریخته می‌شوند. پودرهای غذایی از نظر تاریخی پایدار هستند و حمل و نقل و نگهداری آنها راحت است. فعالیت آبی و رطوبت کم (>۰.۴)، از رشد میکروبی در پودرهای غذایی جلوگیری می‌کند و بنابراین پودرها را به محصولی نسبتاً پایدار با ماندگاری طولانی تبدیل می‌کند. پودرهای غذایی، مواد تشکیل دهنده چند منظوره با کاربرد آسان هستند و توسعه پودر خون با استفاده از فرآورده‌های جانبی گوشت، ضایعات گوشت را کاهش می‌دهد (لانگ و موهن ۲۰۲۱). هدف کشتارگاه‌ها بهینه‌سازی بازیابی قطعات گوشتی خوراکی برای مصرف انسان است، اما عملیات کشتار مقدار زیادی زباله از مواد آلی غنی از پروتئین و مواد معدنی تولید می‌کند. خون یکی از فراوان‌ترین محصولات جانبی کشتارگاه‌ها است. خون تازه تا ۱۸٪ پروتئین دارد. پودر خون می‌تواند تا ۸۰٪ پروتئین خام و به طور متوسط ۱۳٪ نیتروژن، ۱٪ فسفر، ۰.۶٪ پتاسیم، ۰.۲٪ آهن، ۱۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم منیزیم و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کلسیم داشته باشد (غلامی و همکاران ۲۰۲۳). به همین ترتیب، پودر خون، مواد مغذی موجود در گیاه را افزایش داده و خواص فیزیکی و بیولوژیکی خاک را بهبود می‌بخشد به علت عناصر غذایی موجود در پودر خون فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک افزایش یافته و علاوه بر تبدیل پودر خون به ماده هیومیکی، موجب تبدیل سایر مواد آلی خاک نیز به مواد هیومیکی می‌گردد (ممتاز و همکاران ۲۰۲۱). پودر خون با ارائه منبع نیتروژن به همراه قابلیت نگه داشتن آهن متصل به ترکیبات پورفیرین، آن را به گزینه مناسبی برای استفاده به عنوان کود آهن در کشاورزی ارگانیک تبدیل می‌کند. پودر خون انکوبه شده در خاک به مدت یک سال، نیتروژن کل و معدنی، قابلیت دسترسی به آهن و درجه هوموسی شدن ماده آلی خاک را افزایش می‌دهد (غلامی و همکاران ۲۰۲۳). نیتروژن از اجزای اساسی آمینواسیدها، واحدهای سازنده پروتئین‌ها، و اسیدهای نوکلئیک (DNA و RNA) و پروتوپلاسم (ماده زنده درون سلول) است، و بدین جهت نقش مهمی در تمام بافت‌های زنده گیاه ایفا می‌کند. نیتروژن موجب افزایش رشد پیا

از طریق تجمع پروتوپلاسم و پروتئین‌ها می‌شود که بر تقسیم سلولی و همچنین فعالیت‌های مریستمی تأثیر می‌گذارند (ممتاز و همکاران ۲۰۲۱). منیزیم موجود در پودر خون یک عنصر ساختاری مولکول کلروفیل است. بیش از ۳۰۰ آنزیم را فعال می‌کند و به تثبیت ساختارهای زیر سلولی خاص (اندامک‌ها) مانند ریبوزوم‌ها کمک می‌کند. این عنصر در فتوسنتز گیاه، انتقال کربوهیدرات، سنتز اسید نوکلئیک و پروتئین نقش دارد (چن و همکاران ۲۰۱۸). آهن موجود در پودر خون به صورت کلات می‌باشد که جذب آن را آسان تر می‌کند این عنصر موجب افزایش محتوای کلروفیل و عملکرد فتوسنتز، سرعت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در گیاهان می‌گردد. علاوه بر این، آهن همچنین جزء مهمی از NR و نیتريت ردوکتاز است و بدین ترتیب در جذب و استفاده از نیتروژن گیاه نقش دارد (کایا و همکاران ۲۰۲۰). مشخص شده است که تأثیر پودر خون برای تولید پیاز از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی در بنگلادش مفید است (ممتاز و همکاران ۲۰۲۱). روش‌های متداول برای از بین بردن آلودگی‌های پودر خون ۱- استفاده از درجه حرارت ۷۰ تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ الی ۶ ساعت است. این دما برای از بین بردن باکتری‌های رایج مانند اشرشیاکلی، سالمونلا و لیستریا کافی است ۲- دمای دمای ۸۰-۹۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵-۳۰ دقیقه ۳- پاشش خون مایع در محفظه‌ای با دمای ۱۵۰-۲۰۰ درجه سانتیگراد، این فرآیند سریع، همزمان با خشک کردن، باکتری‌ها را نیز نابود می‌کند. سرانجام پودر خون تولید شده تحت آزمایشات میکروبیولوژیکی و کنترل کیفیت قرار می‌گیرد. حد مجاز میکروارگانیسم‌ها توسط دستورالعمل‌های اتحادیه اروپا یا سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) تعیین شده است (کوکیر و همکاران ۲۰۱۳). از سوی دیگر از روش‌های افزایش عملکرد محصول بدون استفاده از کودهای شیمیایی کاربرد کودهای زیستی می‌باشد. کودهای زیستی میکروارگانیسم‌هایی هستند که با افزایش تأمین مواد مغذی برای گیاه میزبان هنگام استفاده از بذر، گیاهان یا خاک، از رشد گیاهان پشتیبانی می‌کنند. آن‌ها در ریزوسفر یا درون گیاهان کلونیزه می‌شوند (دنیل و همکاران ۲۰۲۲). در ریزوسفر، ریشه‌های گیاهان تعدادی ترشحات تولید می‌کنند که به عنوان جاذب میکروب‌ها عمل می‌کنند و در نهایت خواص فیزیکی و شیمیایی خاک

اطراف را بهبود می‌بخشند. از سوی دیگر، این ترشحات عملکرد و ساختار جوامع میکروبی نزدیک ریشه‌های گیاه را حفظ می‌کنند. گیاهان و باکتری‌ها برای کاهش تنش‌های غیرزیستی، انجمن‌های همزیستی تشکیل می‌دهند. کودهای زیستی می‌توانند با تثبیت نیتروژن جوی، تولید سیدروفورها، تولید فیتوهورمون‌ها (اکسین‌ها، جیبرلین‌ها، سیتوکینین‌ها)، حل کردن فسفر (P) یا سنتز آنزیم‌های کاهش‌دهنده تنش، به رشد گیاهان کمک کند. علاوه بر این، برخی باکتری‌ها با اصلاح سیستم‌های دفاعی گیاه، دسترسی به مواد مغذی ضروری را بهبود می‌بخشند، پیشرفت ریشه را بهبود می‌بخشند و آسیب ناشی از تنش را کاهش می‌دهند. علاوه بر این، باکتری-های محرک رشد به طور غیرمستقیم با ایجاد مقاومت سیستمیک القایی، اعمال اثرآنتی‌بیوز و به طور بالقوه بهبود محتوای متابولیت‌های سلول‌های گیاهی به همزیست‌های گیاهی کمک می‌کند (ساعد و همکاران ۲۰۲۱). کودهای زیستی علاوه بر دسته بندی به عنوان محرک رشد گیاه می‌توانند به عنوان هیدرولیز کننده پروتئین، مواد آلی و سایر ترکیبات موجود در خاک نیز وارد عمل شوند. گونه‌های باکتری باسیلوس سوبتیلیس و لیکنی فورمیس می‌تواند پروتئین‌های محلول را به پپتیدها (به عنوان مثال، پپتیدهای آنتی‌اکسیدان) و اسیدهای آمینه آزاد هیدرولیز کند و نیتروژن غیر پروتئینی را به پروتئین باکتریایی و پروتئین محلول تبدیل کند، ترکیب اسید آمینه را متعادل کند، حلالیت نیتروژن را افزایش دهد و خاصیت عملکردی پروتئین‌ها را بهبود بخشد (وانگ و همکاران ۲۰۲۲ و کابالرو و همکاران ۲۰۲۲). سیستم پروتئاز باسیلوس سوبتیلیس پروتئولیز گسترده و بیش از حدی را نشان می‌دهد و به طور مداوم پپتیدهای کوچک و اسیدهای آمینه آزاد را به آمین‌های بیوژنیک تبدیل می‌کند (گائو و همکاران ۲۰۲۴). روش‌های آنزیمی آنزیم‌های هیدرولیتیک مانند آلکالاز، کیموتریپسین، پاپائین، پپسین، پلاسمین و تریپسین ترجیح داده می‌شوند. آنزیم‌های پروتئولیتیک خالص گران هستند، بنابراین میکروارگانیسم‌هایی که قادر به تولید این آنزیم‌ها هستند، می‌توانند مستقیماً به عنوان بیوکاتالیز در تهیه هیدرولیزات پروتئین از مواد پروتئینی نیز استفاده شوند (تیو سوزو همکاران ۲۰۲۱). گونه‌های باسیلوس مخصوصاً باسیلوس لیکنی فورمیس

همچنین تولیدکنندگان مؤثر آمیلازها، زایلانازها، لیپازها، فسفاتازها و پروتئاز هستند (نی و همکاران ۲۰۲۴). در پودر خون، مواد مغذی عمدتاً به شکل آلی هستند و اطلاعات مربوط به مکانیسم‌های اصلی و زمان آزادسازی مواد مغذی مختلف هنوز کم است. امروزه استفاده از کودهای زیستی محرک رشد گیاه رواج پیدا کرده است. مطالعات نشان داده است که این میکروارگانیسم‌ها به واسطه تولید آنزیم‌های مختلف دارای اثرات هیدرولیزکنندگی می‌باشند. به دلیل اینکه مطالعات کمی در مورد اثر هیدرولیزکنندگی این میکروارگانیسم‌ها روی پودر خون وجود دارد بنابراین مطالعه حاضر برای بررسی اثر متقابل میکروارگانیسم‌ها با پودر خون در رشد گیاه ریحان انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این طرح پژوهشی در قالب طرح کاملاً تصادفی و به صورت فاکتوریل در سه تکرار در گلخانه دانشگاه محقق اردبیلی در زمستان سال ۱۴۰۳ به صورت کشت گلدانی انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل پودر خون در چهار سطح (۰، ۲، ۴ و ۶ گرم در کیلوگرم) بود و عامل دوم تلقیح باکتری‌های هیدرولیزکننده پروتئین و محرک رشد در سه تیمار (شاهد، باکتری باسیلوس لیکنی فورمیس، باکتری باسیلوس سوبتلیس) بود. پودرخون از کشتارگاه صنعتی مشهد خریداری گردید و در غلظت‌های تعیین شده به وسیله دست یا ۱۰ کیلوگرم خاک مخلوط شده و در گلدان‌های مورد نظر ریخته شد و سپس با آب به گونه‌ای که کل را خاک را خیس کند ولی از زیر گلدان نشستی نداشته باشد آبیاری شدند (حدود یک لیتر آب مقطر). خاک گلدان حاوی پودر خون حدود ۱۰ روز در

دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد با شدت نور ۲۵۰ میکرومول فوتون بر مترمربع در ثانیه، نگهداری گردید. پس از گذشت ۲ روز از آبیاری اول خاک زیر رو گشته و حدود ۲ روز بعد وقتی خاک رطوبت خود را از دست داد با ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به گونه‌ای که کل خاک را مرطوب کند، آبیاری شد. و بعد از آن برای کشت بذر ریحان به گلخانه انتقال داده شدند. باکتری‌های مورد نظر از موسسه کلکسیون قارچ‌ها و باکتری‌های صنعتی ایران به صورت قرص تهیه گردید سپس این قرص‌ها بعد از رقیق‌سازی با نرمال‌سالین یک‌درصد در پلیت‌های حاوی محیط کشت باکتری جامد کشت گردید، تا تک کلونی بدست آید. سپس این تک کلونی در محیط کشت مایع تلقیح گردید و در شیکر انکوباتور به مدت ۷۲ ساعت انکوبه گردید. تعداد هر دو باکتری با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در 10^{-8} تنظیم گشت. بذر ریحان شیرین (Sweet Basil)، رقم بومی شهر ری از شرکت دشت سبز خریداری گردید. در هر گلدان حدود ۲۰ عدد بذر ریحان کاشته شد و از بین بذرهای رشد کرده حدود پنج عدد گیاه ریحان باقی مانده و بقیه تنک شدند و در گلخانه با دمای ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۵ تا ۷۰ درصد قرار داده شدند و پس از مرحله دو برگی پنج میلی‌لیتر و به تعداد دو مرتبه با باکتری‌های *Bacillus subtilis* و *Bacillus licheniformis* در فاصله زمانی ۱۰ روز در داخل خاک با استفاده از سرنگ تلقیح گردید. خاک مورد استفاده از مزرعه دانشگاه محقق اردبیلی تهیه و بافت خاک، میزان ماده آلی، اسیدیته، هدایت الکتریکی، عناصر موجود در خاک و میزان آهک موجود در نمونه خاک اندازه‌گیری شد، نتایج آنالیز آن در جدول زیر ذکر شده است:

جدول ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک

شن	سیلت	رس	فسفر	کلسیم	نیتروژن	آهن	بافت	ماده آلی	آهک	اسیدیته	هدایت الکتریکی
(%)	(%)	(%)	mg L^{-1}	mg L^{-1}	(mg kg^{-1})	$(\mu\text{g g}^{-1})$	خاک	(%)	(%)		(mS cm^{-1})
۴۰	۳۰	۳۰	۰/۰۲۶	۱۰۳/۵	۰/۱۲	۱/۳۲	لوم	۰/۹۶۷	۸/۶۷	۷/۱	۳/۴

رسی

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی پودر خون اندازه‌گیری شده

اسیدیته	پروتئین خام (%)	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	آهن
		(g g^{-1})	$(\mu\text{g g}^{-1})$	$(\mu\text{g g}^{-1})$	$(\mu\text{g g}^{-1})$
۶	۳۹/۵۶	۵۵۰	۸۰۰۰	۴۳۰۰	۱۲۵۰

با گذشت حدود ۴۰ روز پس از کشت، صفات ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی و طول ریشه به عنوان صفات مورفولوژیکی ثبت شد. سطح برگ با دستگاه Pamwin (PAM 2500) تعیین شد. برای بدست آوردن ماده خشک ریشه و اندام هوایی، گیاه در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت در دستگاه آون قرارداده شد. شاخص هدایت روزنه‌ای و مقاومت روزنه‌ای در ساعت ۹ تا ۱۱ صبح با استفاده از دستگاه پرومتر و میانگین آن از حدود شش برگ بالغ از هر گلدان بدست آمد. اندازه‌گیری محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a, b, کل و کارتنوئیدها طبق

روش (آرنون ۱۹۴۹) اندازه‌گیری شد. بدین منظور ۱/۰ گرم بافت تازه برگ با استون (۸۰ درصد) همگن شد سپس در ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردیده و بعد از ته نشینی ماده گیاه، محلول رویی به عنوان عصاره گیاهی بدست آمد. از این عصاره برای بدست آوردن رنگیزه‌های فتوسنتزی در طول موج-های ۴۷۰، ۶۴۶/۸ و ۶۶۳/۲ نانومتر استفاده شد. از استون ۸۰ درصد به عنوان محلول بلانک استفاده شد. میزان جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه Hitachi U-V (2910، توکیو، ژاپن)، ثبت گردید.

$$\begin{aligned} \text{Chl a} &= [(19.3 \times A_{663.2} - 0.86 \times A_{646.8})] V/100W & (\text{رابطه ۱}) \\ \text{Chl b} &= [(19.3 \times A_{646.8} - 3.6 \times A_{663.2})] V/100W & (\text{رابطه ۲}) \\ \text{Carotenoids} &= [100(A_{470}) - 3.27(\text{mg chl b})] /227 & (\text{رابطه ۳}) \\ \text{ChlTotal} &= \text{Chl a} + \text{Chl b} & (\text{رابطه ۴}) \end{aligned}$$

که در آن V حجم عصاره و W وزن ماده تازه است. برای اندازه‌گیری محتوای فنول کل تقریباً ۰/۱ گرم از وزن تازه اندام هوایی گیاهی در ۲ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد همگن شد. و در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ سانتریفیوژ گردید. محلول رویی از رسوبات گیاهی جدا شده و به عنوان عصاره گیاهی برداشت گردید. سپس به ۵۰۰ میکرولیتر عصاره گیاهی، ۵۰۰ میکرولیتر اتانول (۹۶ درصد) اضافه گردید و با اتانول به حجم ۲/۵ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس به این مخلوط ۲۵۰ میکرولیتر معرف فولین ۱۰ درصد و ۵۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۵ درصد اضافه شد و بعد از قرار دادن به مدت یک ساعت تاریکی در دمای اتاق، جذب در طول موج ۷۲۵ نانومتر قرائت شد. نمودار استاندارد با استفاده از گالیک اسید رسم گردید، و نتایج به صورت میلی‌گرم معادل اسیدگالیک در هر گرم وزن تازه بیان شد (زو و همکاران ۲۰۱۰). برای اندازه‌گیری عناصر غذایی ابتدا نمونه‌های اندام گیاهی بعد از شستشو با آب دیونیزه در دمای ۷۰ درجه داخل آون خشک شده و سپس توسط آسیاب پودر شده و در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴ ساعت

خاکستر شدند. سپس توسط اسید هیدروکلریک دو نرمال هضم شد و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. غلظت آهن و نیتروژن با ابزار جذب اتمی اندازه‌گیری شد (همدا و همکاران ۱۹۹۴). اندازه‌گیری فسفر به روش (کالریمتری) رنگ آبی با اسید اسکوربیک و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۸۸۰ نانومتر صورت پذیرفت (اتون و همکاران ۱۹۹۵). داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 تجزیه تحلیل شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

با توجه به جدول تجزیه واریانس حاصل از تاثیر تیمارهای پودر خون و باکتری هیدرولیز کننده پروتئین نشان داد که تاثیر پودر خون بر صفات ارتفاع بوته، وزن تر و خشک بوته، تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه، طول ریشه، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تاثیر تلقیح باکتری هیدرولیز کننده پروتئین بر

و خشک بوته، سطح برگ و وزن تر اندام‌هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برای صفات تعداد برگ و طول ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و برای صفات ارتفاع بوته و وزن تر و خشک ریشه تاثیر معنی‌دار نداشت (جدول ۳).

صفات ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، تعداد برگ، سطح برگ، وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده و برای صفات طول ریشه، وزن تر ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود ولی برای صفات وزن تر گیاه معنی‌دار نبود. اثر متقابل پودر خون و باکتری هیدرولیزکننده پروتئین بر صفات وزن تر

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس کاربرد پودر خون و باکتری هیدرولیزکننده پروتئین بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه ریحان

میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	وزن تر گیاه	وزن خشک	تعداد برگ
پودرخون	۳	۱۶۲/۸**	۷۰۵/۶۳**	۱۹/۷۹**	۲۰۳/۷۸**
باکتری هیدرولیزکننده پروتئین	۲	۷۶/۳۵**	۱۴۲/۷۸ ^{ns}	۳/۶۹**	۱۱۶/۵**
پودر خون × باکتری هیدرولیزکننده پروتئین	۶	۲/۹ ^{ns}	۱۶/۸۵**	۰/۷**	۶/۵۶*
اشتباه آزمایشی	۲۲	۹/۲۲	۱/۱۱	۰/۰۵۵	۱/۹
ضریب تغییرات (%)		۱۳/۳۵	۵/۴	۸/۳۸	۷/۹۹
					۵/۱۲

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

ادامه جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس کاربرد پودر خون و باکتری هیدرولیزکننده پروتئین بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه ریحان

میانگین مربعات				
منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	طول ریشه
پودر خون	۳	۵۶/۱۲**	۱/۲۹**	۱۸۱/۱**
باکتری هیدرولیزکننده پروتئین	۲	۳/۸۶*	۰/۱۱**	۷/۰۷*
پودرخون × باکتری هیدرولیزکننده	۶	۰/۸۸ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۳/۹۳*
اشتباه آزمایشی	۲۲	۰/۹۴	۰/۰۲	۱/۲۸
ضریب تغییرات (%)		۱۴/۱۷	۱۲/۹۶	۹/۸۲

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

ارتفاع گیاه

بنا به جدول مقایسه میانگین پودر خون ۶ گرم بر کیلوگرم باعث افزایش ۳۵/۹ درصد ارتفاع بوته نسبت به تیمار بدون کاربرد پودر خون شد. تلقیح باکتری باسیلوس لیکنی‌فورمیس باعث افزایش ارتفاع بوته (۱۹/۸۷ درصد) نسبت به تیمار شاهد شد. مطابق نتایج، افزایش غلظت پودر خون از ۰ به ۶ گرم بر کیلوگرم باعث افزایش ۵۶/۱۲ درصد تعداد برگ شد. بیشترین تعداد برگ (۲۷/۷ عدد) در غلظت پودر خون ۶ گرم بر کیلوگرم به همراه تلقیح باکتری باسیلوس لیکنی‌فورمیس

بدست آمد همچنین در غلظت ۴ گرم بر کیلوگرم پودر خون تلقیح با باکتری باسیلوس لیکنی‌فورمیس باعث افزایش ۲۲/۲۲ درصدی تعداد برگ نسبت به عدم تلقیح باکتری هیدرولیزکننده شد (جدول ۵). باکتری‌های گونه‌ی باسیلوس توانایی تثبیت نیتروژن را دارند، باکتری‌های آزاد تثبیت‌کننده نیتروژن می‌توانند بی‌هوازی اجباری، بی‌هوازی اختیاری یا هوازی اجباری باشند که در محیط‌های مختلف با غلظت‌های مختلف اکسیژن مولکولی یافت می‌شوند. گونه‌های باسیلوس بی‌هوازی اختیاری هستند و در شرایط بدون اکسیژن مثلاً در منافذ

طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه

تیمار پودر خون ۶ گرم بر کیلوگرم باعث افزایش (۵۹/۸۵، ۶۵ درصد) به ترتیب در وزن تر ریشه و وزن خشک ریشه شد. کاربرد باکتری هیدرولیزکننده پروتئین باسیلوس لیکنی فورمیس باعث افزایش (۱۴/۴۳، ۱۱/۷۶ درصد) وزن تر ریشه نسبت شاهد و تلقیح با باکتری باسیلوس سوبتلیس شد. همچنین باکتری باسیلوس لیکنی فورمیس باعث افزایش (۱۷/۵۹، ۱۲/۹۶ درصد) وزن خشک ریشه نسبت شاهد و تلقیح با باکتری باسیلوس سوبتلیس گردید (جدول ۴). مطابق نتایج، افزایش غلظت پودر خون از صفر به ۶ گرم بر کیلوگرم باعث افزایش ۵۳/۰۱ درصد طول ریشه شد. بالاترین طول ریشه (۱۷/۹۵ سانتی متر) در غلظت پودر خون ۶ گرم بر کیلوگرم به همراه تلقیح باکتری باسیلوس لیکنی فورمیس بدست آمد همچنین کمترین مقدار طول ریشه (۵/۶ سانتی متر) در تیمار شاهد پودر خون به همراه تلقیح با باکتری باسیلوس لیکنی فورمیس بدست آمد که با باکتری باسیلوس سوبتلیس و بدون تلقیح باکتری در این سطح پودر خون تفاوت معنی داری نداشت (جدول ۵).

بعد از نیتروژن فسفر اهمیت ویژه‌ای در رشد ریشه برخوردار است. باکتری‌های تجزیه کننده با تثبیت نیتروژن موجود در پودر خون موجب افزایش جذب نیتروژن می‌شود. همچنین این باکتری‌ها با تولید اسیدهای آلی موجب آزادسازی اشکال متصل فسفات پودر خون می‌شود (کور و همکاران ۲۰۲۰). از طرفی بالا بودن میزان آهن به ویژه آهن Fe^{2+} در پودرخون با افزایش سنتز هورمون اکسین موجب افزایش رشد ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی می‌شود (محصولی و همکاران ۲۰۱۹). آمینواسید تریپتوفان پیش‌ساز اکسین (ایندول-۳-استیک اسید، IAA) است که از طریق تنظیم معماری ریشه و طول شدن سلول، نقش اساسی در ریختزایی گیاه و سازگاری با تنش دارد (لی و همکاران ۲۰۲۵). آرژنین به عنوان یک مولکول اصلی ذخیره نیتروژن عمل می‌کند و پیش‌ساز پلی‌آمین‌ها و اکسید نیتریک (NO) است که هر دو در سیگنالینگ تنش، تقسیم سلولی و فرآیندهای رشدی نقش دارند (وینتر و همکاران ۲۰۱۵). کاربرد پودر خون موجب افزایش رشد و وزن تر

ریز خاک و مناطق ریزوسفر ریشه که مقدار اکسیژن کم است می‌توانند تثبیت نیتروژن انجام دهند. اکسیژن مولکولی می‌تواند نیتروژن را مهار کرده و تثبیت نیتروژن مولکولی را سرکوب کند. باکتری‌های هوازی تثبیت‌کننده نیتروژن می‌توانند با استفاده از ساختارهایی مانند هتروسیست‌ها، که در آن‌ها غلظت اکسیژن پایین نگه داشته می‌شود، از اثرات بالقوه منفی اکسیژن مولکولی جلوگیری کنند و موجب تثبیت نیتروژن مولکولی اتمسفر گردند (تیموفوا و همکاران ۲۰۲۳). همچنین این باکتری‌ها مواد آلی نیتروژن‌دار را از طریق آمونیفیکاسیون را به آمونیاک و سپس نیترات و آمونیوم تبدیل می‌کنند. این مرحله باعث می‌شود که نیتروژن به چرخه بازگرد (سینگ و همکاران ۲۰۲۰). نیتروژن موجود در پودرخون بر اثر تجزیه باکتری در قالب نیترات و آمونیوم از طریق ریشه جذب شده و به نقاط رشدی گیاه منتقل می‌گردد و با افزایش فتوسنتز و سنتز نشاسته در برگ، تولید اسیدهای آمینه برای سنتز پروتئین را افزایش داده و در نتیجه تقسیم و رشد سلولی و ارتفاع گیاه را افزایش می‌دهد (کلومبو و همکاران، ۲۰۱۴). علاوه بر این، باکتری‌های هیدرولیز کننده پروتئین با تولید آنزیم پروتئاز، باعث تجزیه پروتئین های پودر خون می‌گردد. اسیدهای آمینه تولید شده نقش مهمی در متابولیسم نیتروژن در گیاهان دارند. نیتروژن، یک ماده مغذی ضروری، از طریق فرآیندهایی مانند ترکیب آمونیوم در گلوتامین و گلوتامات به اسیدهای آمینه تبدیل می‌شود. سپس این اسیدهای آمینه به عنوان اهداکنندگان نیتروژن برای سنتز سایر اسیدهای آمینه و ترکیبات نیتروژنی عمل می‌کنند. این جذب و توزیع مجدد نیتروژن برای رشد، بهره‌وری و سازگاری گیاه با شرایط محیطی و همچنین افزایش رشد و به ویژه ارتفاع بوته استفاده می‌شود (کولا و همکاران ۲۰۱۷) پودرخون باعث افزایش رشد، تعداد برگ و ارتفاع گیاه انگور شده است (تسارین و همکاران ۲۰۱۳). تلقیح با باکتری لیکنی فورمیس موجب افزایش تعداد برگ و ارتفاع گیاه در گل داوودی شده است (زو و همکاران ۲۰۱۷).

و خشک ریشه در گیاه کاهو و گوجه فرنگی شده است (نجاری و همکاران ۲۰۱۸). کاربرد باکتری باسیلوس لیکنی فورمیس موجب افزایش وزن تر و خشک ریشه و طول ریشه در گیاه سیب زمینی شده است (لیو و همکاران ۲۰۲۲).

وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی

با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۵)، تیمار پودرخون در غلظت ۶ گرم بر کیلوگرم باعث افزایش (۶۸/۰۸ درصد) وزن تر اندام هوایی نسبت به تیمار بدون کاربرد پودر خون شد. تلقیح باکتری لیکنی فورمیس باعث افزایش وزن تر اندام هوایی به ترتیب (۲۸/۷۱، ۲۷/۹۷ درصد) در تیمار ۴ و ۶ گرم بر کیلوگرم پودر خون شد. با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۵)، تیمار پودر خون در غلظت ۶ گرم بر کیلوگرم باعث افزایش (۷۱/۹۸ درصد) وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار بدون کاربرد پودر خون شد. تلقیح باکتری لیکنی فورمیس باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی به ترتیب (۱۷/۸۵، ۳۵/۵۳ درصد) در تیمار ۴ و ۶ گرم بر کیلوگرم پودر خون شد (جدول ۵). بالا بودن میزان آهن به ویژه آهن Fe^{2+} در پودرخون با افزایش میزان کلروفیل و فتوسنتز باعث افزایش میزان تولید قند و سایر ترکیبات اسمزی نظیر پرولین شده، همچنین با افزایش سنتز هورمون اکسین موجب افزایش رشد ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی می‌شود و با افزایش فعالیت ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز باعث تثبیت کربن می‌گردد در نتیجه موجب افزایش وزن تر و خشک گیاه می‌شود (محصلی و همکاران ۲۰۱۹). پرولین به عنوان یک محافظ اسمزی شناخته شده است. این ماده ساختارهای زیرسلولی را تثبیت کرده و تعادل ردوکس را حفظ می‌کند (حیدرزاده و همکاران ۲۰۲۵). تجزیه پروتئین‌های موجود در پودرخون توسط باکتری تجزیه کننده پروتئین موجب تولید امینواسید آزاد و کل می‌گردد. امینواسید اسپارژین و گلوتامین (Asp)، علاوه بر تشکیل پروتئین‌ها و بسیاری از آنزیم‌ها، بیوسنتز چندین مولکول زیستی مورد نیاز برای رشد و مقاومت گیاه، مانند نوکلئوتیدها، نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید (NAD)، اسیدهای آلی،

اسیدهای آمینه و متابولیت‌های مشتق شده از آن‌ها را باعث می‌شود. اسید آمینه اسپارژینک اسید و گلوتامین همراه با اسپارژین حامل‌های رایج نیتروژن هستند که به دلیل نقش اصلی‌شان در بازیافت، ذخیره و انتقال و جذب نیتروژن مورد توجه قرار گرفته‌اند (هان و همکاران ۲۰۲۱). کاربرد پودر خون موجب افزایش وزن تر و خشک گیاه ذرت و بادرنبویه شده است (قربانزاده و همکاران ۲۰۰۹، محصلی و فرید ۲۰۱۹). تلقیح باکتری گونه‌ی باسیلوس موجب افزایش ارتفاع گیاه گوجه فرنگی شده است (دنونس و همکاران ۲۰۲۳). تلقیح با باکتری باسیلوس سوبتلیس موجب افزایش وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی در گیاه لوبیا شده است (دلیم و همکاران ۲۰۱۹).

سطح برگ

مطابق نتایج، افزایش غلظت پودر خون از ۰ به ۶ گرم بر کیلوگرم باعث افزایش ۶۰/۶ درصد سطح برگ شد. در غلظت ۴ گرم بر کیلوگرم پودر خون تلقیح با باکتری باسیلوس لیکنی فورمیس باعث افزایش ۱۳/۷۳ درصدی سطح برگ نسبت به عدم تلقیح باکتری هیدرولیز کننده شد همچنین در غلظت ۶ گرم بر کیلوگرم پودر خون تلقیح با باکتری باسیلوس لیکنی فورمیس باعث افزایش ۱۸ درصدی سطح برگ نسبت به عدم تلقیح باکتری هیدرولیز کننده شد (جدول ۵).

نقش مهم باکتری‌های گونه‌ی باسیلوس (باکتری‌های حل‌کننده فسفر (P)) در گیاهان تأیید شد. این نقش منجر به بهبود ویژگی‌های خاک و ویژگی‌های رشد گیاه از طریق اسیدهای آلی ترشح شده از این باکتری‌ها شد که با کاهش اسیدیته در ریزوسفر، آزادسازی اشکال متصل فسفات از پودرخون را تسهیل می‌کنند (کور و همکاران ۲۰۲۰). فرآیند حل فسفات به C-P لیاز، فسفاتازهای غیر اختصاصی و فیتازها بستگی دارد، آنزیم‌هایی که از طریق تشکیل اسیدهای آلی مانند اگزالات، استات، سوکسینات، گلیکولات و سترات عمل می‌کنند (یاداو و همکاران ۲۰۱۵) فسفر یکی از اجزای ضروری اسیدهای نوکلئیک، غشاهای سلولی و آنزیم‌ها است. برای فرآیندهای سلولی متنوع مانند فتوسنتز، متابولیسم کربوهیدرات، تولید انرژی، هموستاز ردوکس

و سیگنالینگ مورد نیاز است. فسفر به عنوان فعال کننده بیش از ۶۰ آنزیم در گیاهان عمل می‌کند، محتوای آب را تنظیم می‌کند و در نتیجه موجب افزایش سطح برگ و گیاه می‌گردد (کلومبو و همکاران، ۲۰۱۴). کاربرد پودر خون با افزایش دسترسی گیاه به فسفر باعث افزایش سطح برگ در گیاه اسفناج شده است (نمادودزی و همکاران ۲۰۱۷). تلقیح با باکتری لیکنی فورمیس موجب افزایش سطح برگ در گیاه گل داوودی شده است (زو و همکاران ۲۰۱۷).

جدول ۴: نتایج تجزیه واریانس کاربرد پودر خون و باکتری هیدرولیز کننده پروتئین بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه ریحان

تیمارها	ارتفاع بوته (cm)	وزن تر ریشه (g)	وزن خشک ریشه (g)
۰	۱۷/۵۵ ^c	۳/۷۷ ^d	۰/۴۹ ^d
۲	۲۱/۳۳ ^b	۵/۹۴ ^c	۰/۹۲ ^c
۴	۲۴/۶۶ ^{ab}	۸/۲۴ ^b	۱/۰۷ ^b
۶	۲۷/۴ ^a	۹/۳۹ ^a	۱/۴ ^a
شاهد	۲۰ ^b	۶/۴ ^b	۰/۸۹ ^b
باسیلوس سوبتلیس	۲۳/۲۵ ^{ab}	۶/۶ ^b	۰/۹۴ ^b
باسیلوس لیکنی فورمیس	۲۴/۹۶ ^a	۷/۴۸ ^a	۱/۰۸ ^a

حروف مشترک در هر ستون نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد

جدول ۵: مقایسه میانگین اثرات متقابل کاربرد پودر خون و باکتری هیدرولیز کننده پروتئین بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه ریحان

پودر خون (g kg ⁻¹)	باکتری هیدرولیز کننده پروتئین	وزن تر اندام هوایی (g)	وزن خشک اندام هوایی (g)	تعداد برگ	سطح برگ (cm ²)	طول ریشه (cm)
۰	شاهد	۷/۷ ^h	۰/۹۳ ^f	۸/۱۶ ^f	۱۰/۰۱ ^g	۷/۳۳ ^{fg}
	باسیلوس سوبتلیس	۱۱/۳ ⁱ	۱/۱۳ ^f	۱۱/۶۶ ^e	۱۰/۰۵ ^g	۶ ^g
	باسیلوس لیکنی فورمیس	۱۰/۷ ^j	۱/۰۶ ^f	۱۴/۱۶ ^d	۱۰/۲۳ ^g	۵/۶ ^{fg}
۲	شاهد	۱۱/۴۷ ⁱ	۱/۲۴ ^f	۱۳/۱۶ ^{de}	۱۳/۸۴ ^f	۷/۹۶ ^f
	باسیلوس سوبتلیس	۱۴/۵۷ ^f	۲/۵۵ ^f	۱۸/۱۶ ^c	۱۵/۹۶ ^e	۱۰/۲ ^e
	باسیلوس لیکنی فورمیس	۱۸/۳۶ ^e	۲/۹ ^{df}	۱۸ ^c	۱۷/۰۳ ^e	۱۰/۶۳ ^e
۴	شاهد	۲۰/۶ ^d	۳/۲۲ ^{cd}	۱۵/۲۶ ^d	۱۹/۶ ^d	۱۲/۲ ^{de}
	باسیلوس سوبتلیس	۲۰/۴ ^d	۳/۱۸ ^{cd}	۲۰/۱۶ ^{bc}	۱۹/۲ ^d	۱۳/۶۳ ^{cd}
	باسیلوس لیکنی فورمیس	۲۸/۹ ^b	۳/۹۲ ^b	۱۹/۶۳ ^c	۲۲/۷۲ ^c	۱۴/۹۶ ^{cd}
۶	شاهد	۲۴/۱۳ ^c	۳/۳۲ ^c	۱۸/۶ ^c	۲۵/۴۱ ^b	۱۵/۶ ^{bc}
	باسیلوس سوبتلیس	۳۱/۸۶ ^a	۴/۹ ^a	۲۲/۱۶ ^b	۲۵/۸ ^b	۱۶/۶۱ ^{ab}
	باسیلوس لیکنی فورمیس	۳۳/۵ ^a	۵/۱۵ ^a	۲۷/۷ ^a	۳۰/۹۹ ^a	۱۷/۹۵ ^a

حروف مشترک در هر ستون نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد

فنول کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تاثیر تلقیح باکتری هیدرولیز کننده پروتئین بر صفات مقاومت روزنه‌ای، هدایت روزنه‌ای، کلروفیل a، کلروفیل کل، کارتنوئید، فنول کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده و برای صفت کلروفیل b در سطح احتمال پنج

سوبتلیس (B) و باسیلوس لیکنی فورمیس (C) با توجه به جدول تجزیه واریانس حاصل از تاثیر تیمارهای پودر خون و باکتری هیدرولیز کننده پروتئین نشان داد که تاثیر پودر خون بر مقاومت روزنه‌ای، هدایت روزنه‌ای، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید،

کارتونوئید در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۶).

درصد معنی‌دار بود اثر متقابل پودر خون و باکتری هیدرولیز کننده پروتئین بر هدایت روزنه‌ای، کلروفیل a، کلروفیل کل، فنول کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برای صفات مقاومت روزنه‌ای، کلروفیل b،



شکل ۱. تصاویر گیاه ریحان در تیمار ۶ گرم بر کیلو گرم پودر خون و به ترتیب از راست به چپ تیمار شاهد (A)، باسیلوس

جدول ۶: نتایج تجزیه واریانس کاربرد پودر خون و باکتری هیدرولیز کننده پروتئین بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه ریحان

میانگین مربعات								
منابع تغییر	درجه آزادی	مقاومت روزنه ای	هدایت روزنه ای	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتونوئید	فنول کل
پودر خون	۳	۰/۰۵۳**	۱۲۴۲/۶۹**	۴/۹۷**	۰/۶۵**	۹۱/۹۸**	۰/۷۲**	۳۱۴/۷۵**
باکتری هیدرولیز کننده	۲	۰/۰۰۲**	۱۷۲/۰۵**	۰/۵۶**	۰/۰۳۵*	۰/۸۸**	۰/۰۶**	۳۷/۲**
پودر خون × باکتری	۶	۰/۰۰۱*	۸۲/۱۴**	۰/۱۷۳**	۰/۰۲۵*	۰/۲۹**	۰/۰۰۴*	۷/۰۵**
اشتباه آزمایشی	۲۲	۰/۰۰۰۰۷	۳/۰۵	۰/۰۴۲	۰/۰۰۹۵	۰/۰۵	۰/۰۰۱۲	۰/۶۸
ضریب تغییرات (%)		۷/۷۷	۱۱/۶	۱۰/۸۸	۱۶/۵۲	۹/۵۴	۵/۷۲	۷/۴۷

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

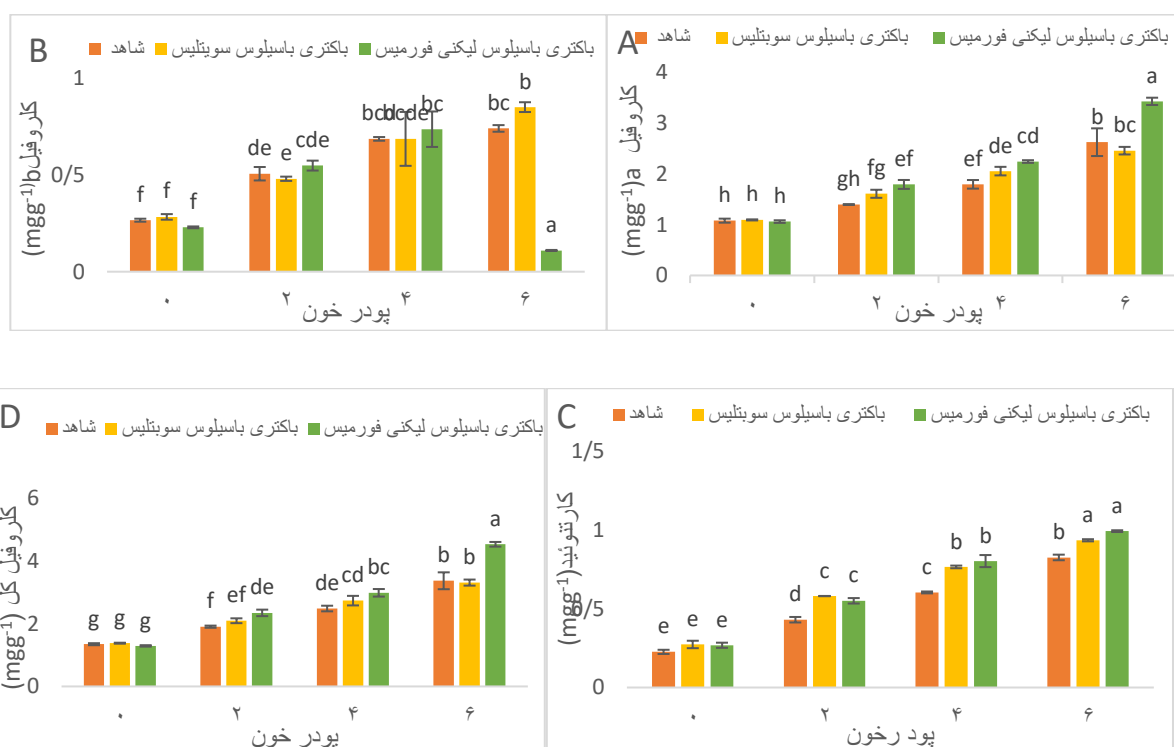
رنگیزه‌های فتوسنتزی

مطابق نتایج، افزایش غلظت پودر خون از ۰ به ۶ گرم بر کیلوگرم باعث افزایش ۵۸/۸۸ درصد کلروفیل a شد. در غلظت ۴ گرم بر کیلوگرم پودر خون تلقیح با باکتری باسیلوس لیکنی‌فورمیس باعث افزایش ۲۰/۰۲ درصدی کلروفیل a نسبت به عدم تلقیح باکتری هیدرولیز کننده شد همچنین در غلظت ۶ گرم بر کیلوگرم پودر خون تلقیح با باکتری باسیلوس لیکنی‌فورمیس باعث افزایش ۲۳/۴۶ درصدی کلروفیل a نسبت به عدم تلقیح باکتری هیدرولیز کننده شد (شکل ۲ A). تیمار پودر خون در غلظت ۶ گرم

بر کیلوگرم باعث افزایش (۶۴/۰۵ درصد) کلروفیل b نسبت به تیمار بدون کاربرد پودر خون شد. تلقیح باکتری لیکنی‌فورمیس باعث افزایش کلروفیل b به ترتیب (۶/۷۹، ۳۲/۴۸ درصد) در تیمار ۴ و ۶ گرم بر کیلوگرم پودر خون شد (شکل ۲ B). همچنین تیمار بالاترین غلظت پودر خون موجب افزایش ۷۲/۶ درصدی در رنگیزه کارتونوئید نسبت به تیمار شاهد شد. در غلظت ۴ گرم بر کیلوگرم پودر خون تلقیح با باکتری باسیلوس لیکنی-فورمیس باعث افزایش ۲۴/۸۱ درصدی کارتونوئید نسبت به عدم تلقیح باکتری هیدرولیز کننده شد همچنین در

آمد. همچنین کم‌ترین مقدار کلروفیل کل (۱۲/۹) میلی‌گرم بر گرم) در تیمار شاهد پودر خون به همراه تلقیح با باکتری باسیلوس لیکنی فورمیس بدست آمد که با باکتری باسیلوس سوبتلیس و بدون تلقیح باکتری در این سطح پودر خون تفاوت معنی داری نداشت. به عبارتی دیگر تلقیح باکتری لیکنی فورمیس باعث افزایش کلروفیل کل به ترتیب (۱۶/۷۸، ۲۵/۷۱ درصد) در تیمار ۴ و ۶ گرم بر کیلوگرم پودر خون شد (شکل ۲ D).

غلظت ۶ گرم بر کیلوگرم پودر خون تلقیح با باکتری باسیلوس لیکنی فورمیس باعث افزایش ۱۶/۸۳ درصدی کارتنوئید نسبت به عدم تلقیح باکتری هیدرولیز کننده شد (شکل ۲ C). مطابق نتایج، افزایش غلظت پودر خون از ۰ به ۶ گرم بر کیلوگرم باعث افزایش ۶۰/۰۲ درصد کلروفیل کل شد. بیشترین مقدار کلروفیل کل (۴۵/۲۳ میلی‌گرم بر گرم) در غلظت پودر خون ۶ گرم بر کیلوگرم به همراه تلقیح باکتری باسیلوس لیکنی فورمیس بدست



شکل ۲. مقایسه میانگین اثرات متقابل پودر خون و باکتری هیدرو لز کننده پروتئین بر صفات کلروفیل a (A) کلروفیل b (B)، کارتنوئید (C) کلروفیل کل (D) گیاه ریحان

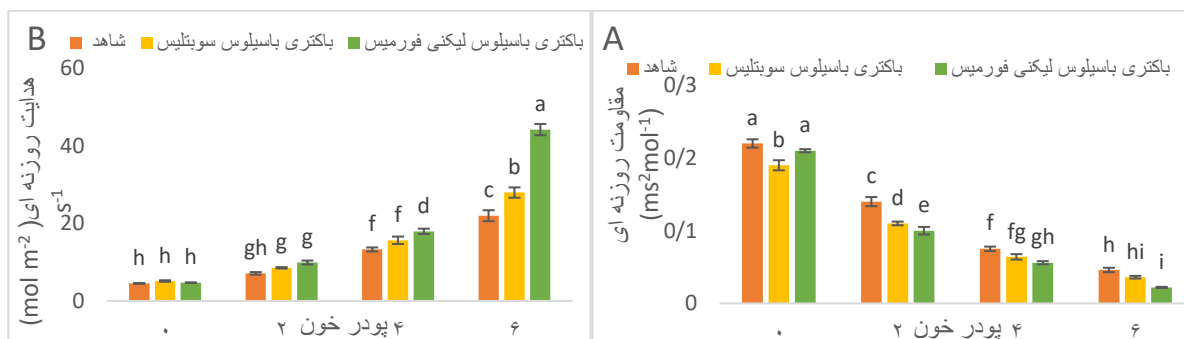
حروف مشترک در هر ستون نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد

عناصر غذایی خاک توسط گیاه می‌گردد (یونتا و همکاران ۲۰۱۳) و در دسترس بودن آهن و روی را در ریزوسفر افزایش داده و همچنین نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهند (کور و همکاران ۲۰۲۰). یکی از ترکیبات مهم مرتبط با نقش باکتری‌های باسیلوس به عنوان کودهای زیستی، تولید سیدروفورها هستند. سیدروفورها ترکیبات آلی با وزن مولکولی کم هستند که توسط این میکروب‌ها تولید می‌شوند و قادر به کلات کردن آهن هستند. این کلات‌های آهن توسط

آهن برای سنتز کلروفیل و حفظ ساختار و عملکرد کلروپلاست مورد نیاز است. آهن عموماً به مقدار بیشتری در خاک وجود دارد، اما فراهمی زیستی آن در محیط‌های هوازی و با اسیدیته خنثی محدود می‌شود (کولومبو و همکاران، ۲۰۱۴). در خاک‌های هوازی، آهن عمدتاً به شکل Fe^{+3} با حلالیت بسیار کم یافت می‌شود که نیاز آهن گیاه را برآورده نمی‌کند (کومار و همکاران ۲۰۲۱). پودر خون دارای مقداری زیادی آهن است که باعث کاهش اسیدیته خاک شده و در نتیجه باعث بهبود حلالیت و جذب

۲۰۱۹). اثرات موثر آسپارتیک اسید در دانه‌های جوانه‌زده، اندام‌های رویشی و اندام‌های پیرگیاه اربایدوپسیس مورد مطالعه قرار گرفته است (گایو فیکون و همکاران ۲۰۱۶). این اسید آمینه به عنوان یک پیش‌ساز حیاتی مسیر آسپاراتات اکسیداز در سنتز نیکوتین آمید آدنین دی‌نوکلئوتید (NAD)، برای تشکیل کلروفیل عمل می‌کند (هان و همکاران ۲۰۲۱). اسیدهای آمینه همچنین در سنتز پروتئین‌های گیاهی نقش دارند و از طریق افزایش غلظت کلروفیل و بهبود فتوسنتز، رشد گیاه را بهبود می‌بخشند (مبینی و همکاران ۲۰۱۴). اثرات مثبت استفاده از پودر خون در پیاز ثابت شده است (مبینی و همکاران ۲۰۱۴). سرین و گلیسین در تنفس نوری و متابولیسم فولات نقش دارند و گردش اسید آمینه را به کارایی فتوسنتز و متابولیسم تک کربنی مرتبط می‌کنند (حیدرزاده و همکاران ۲۰۲۵). کاربرد پودرخون موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه خیار و فلفل شده است (نجاری و همکاران ۲۰۱۸).

پروتئین‌های گیرنده خاص (IROMPS) شناسایی شده و توسط پرمنازهای مربوطه به سلول منتقل می‌شوند (علی و همکاران ۲۰۱۳). در نتیجه غلظت آهن ریزوسفری را افزایش داده و فراهمی زیستی آهن را در خاک افزایش می‌دهند (ورما و همکاران ۲۰۱۶). گونه‌های باسیلوس حل‌کننده پتاسیم هستند که پتاسیم با تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها موجب افزایش فتوسنتز و رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌گردد (رجاوت و همکاران ۲۰۲۰). اثر مثبت تلقیح گونه‌های باسیوس در افزایش رشد و رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاه گندم ثابت شده است (میران ساری و اسمیت ۲۰۱۳). کاربرد باکتری باسیلوس سوبتلیس موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه لوبیا شده است (دلیم و همکاران ۲۰۱۹). افزایش کلروفیل با مصرف پودر خون به علت سنتز پروتئین، بیوسنتز کلروفیل a، افزایش فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتایون ردوکتاز و کاهش اکسیژن فعال و در نتیجه کاهش از بین رفتن کلروفیل می‌باشد (محصلی و فرد



شکل ۳. مقایسه میانگین اثرات متقابل پودر خون و باکتری هیدرولیزکننده پروتئین بر صفات مقاومت روزنه‌ای (A) هدایت روزنه‌ای (B) گیاه ریحان

حروف مشترک در هر ستون نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

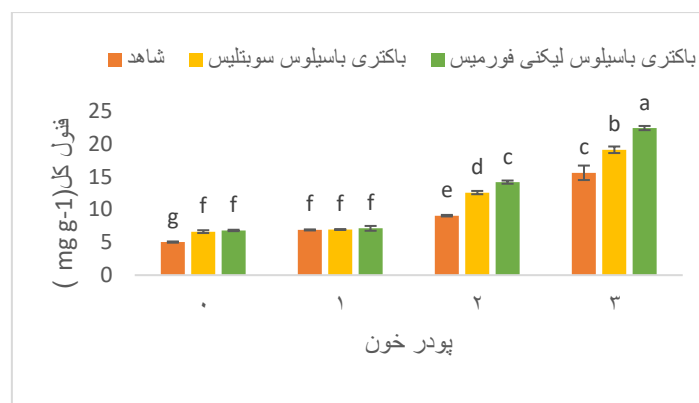
افزایش ۵۰/۲۷ درصدی هدایت روزنه‌ای نسبت به عدم تلقیح باکتری هیدرولیزکننده شد (شکل ۳ B). در مورد صفت مقاومت روزنه‌ای نیز تیمار پودر خون در غلظت ۶ گرم بر کیلوگرم باعث کاهش (۷۹/۰۹ درصد) نسبت به تیمار بدون کاربرد پودر خون شد. تلقیح باکتری لیکنی-فورمیس باعث کاهش مقاومت روزنه‌ای به ترتیب (۲۵/۳۳، ۵۲/۱۷ درصد) در تیمار ۴ و ۶ گرم بر کیلوگرم پودر خون شد. به عبارت دیگر کم‌ترین و بیشترین میزان

هدایت روزنه‌ای و مقاومت روزنه‌ای

تیمار بالاترین غلظت پودر خون موجب افزایش ۷۹/۴۵ درصدی در هدایت روزنه‌ای نسبت به تیمار شاهد شد. در غلظت ۴ گرم بر کیلوگرم پودر خون تلقیح با باکتری باسیلوس لیکنی‌فورمیس باعث افزایش ۲۶/۰۴ درصدی هدایت روزنه‌ای نسبت به عدم تلقیح باکتری هیدرولیزکننده شد. همچنین در غلظت ۶ گرم بر کیلوگرم پودر خون تلقیح با باکتری باسیلوس لیکنی‌فورمیس باعث

روزنه‌ای می‌گردد (محصلی و فرید ۲۰۱۹). کاربرد پودر خون باعث افزایش میزان پتاسیم خاک و افزایش جذب این عنصر در گیاه خیار شده است (نجاری و قاسمی ۲۰۱۸). گونه‌های باسیلوس موجب بیان ژن تولید کننده ACC-دآمیناز می‌شود، آنزیمی که جذب مواد مغذی اصلی مانند N، P و K را افزایش می‌دهد و در نتیجه رشد گیاه را تحت شرایط مختلف محیطی ارتقا می‌دهد (شارما و همکاران ۲۰۱۹). محلول‌پاشی با گونه‌های باسیلوس باعث افزایش القای هدایت روزنه‌ای و کاهش مقاومت روزنه‌ای در سرو خمره‌ای شده است (رولی و همکاران ۲۰۱۵).

مقاومت روزنه‌ای به ترتیب (۰/۲۲ / میلی ثانیه بر مول) در تیمار ۶ گرم بر کیلوگرم پودر خون و باکتری لیکنی-فورمیس بدست آمد و بیشترین میزان (۰/۲۲ میلی ثانیه بر مول) در تیمار شاهد باکتری و پودر خون بدست آمد که تفاوت معنی داری با تلقیح باکتری لیکنی فورمیس نداشته است (شکل ۳ A). پودر خون علاوه بر داشتن عنصر نیتروژن و آهن دارای عنصر پتاسیم نیز می‌باشد. افزایش جذب پتاسیم موجب افزایش پتانسیل اسمزی سلول‌های نگهبان روزنه و در نتیجه افزایش جذب آب به درون سلول‌ها گشته و در نتیجه موجب باز شدن روزنه‌ها و افزایش هدایت روزنه‌ای و کاهش مقاومت



شکل ۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل پودر خون و باکتری هیدرولیز کننده پروتئین بر صفات فنول کل گیاه ریحان حروف مشترک در هر ستون نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد

فنول

اسید موجود در پودر خون در بیوسنتز برخی اسیدهای آمینه دیگر مانند آرژنین (Arg) و اسیدهای آمینه آروماتیک (تیروزین (Tyr) و فنیل‌آلانین (Phe))، به ترتیب از طریق مسیرهای آسپارتات-آرژنینو سوکسینات سنتاز و آسپارتات-پیری فئات آمینوترانسفراز، نقش دارد (دلا توره و همکاران ۲۰۱۴). علاوه بر این، اسیدهای آمینه (گلوتامین، آسپارژین و فنیل‌آلانین) به عنوان پیش‌ساز طیف وسیعی از متابولیت‌های ثانویه گیاهی، از جمله فنول‌ها، آلکالوئیدها و فیتوالکسین‌ها عمل می‌کنند که در دفاع و سیگنال‌دهی گیاه نقش دارند. فنیل‌آلانین نه تنها در بیوسنتز پروتئین استفاده می‌شود، بلکه به مسیر فنیل‌پروپانوید نیز وارد می‌شود تا لیگنین، فلاونوئیدها و اسید سالیسیلیک را تولید کند. ترکیباتی که برای یکپارچگی ساختاری و سیگنال‌دهی دفاعی بسیار مهم

مطابق نتایج، افزایش غلظت پودر خون از ۰ به ۶ گرم بر کیلوگرم باعث افزایش ۶۷/۶۷ درصد فنول کل شد. بیشترین مقدار فنول کل (۲۲/۴۱ میلی‌گرم بر گرم) در غلظت پودر خون ۶ گرم بر کیلوگرم به همراه تلقیح باکتری باسیلوس لیکنی فورمیس بدست آمد. همچنین کم‌ترین مقدار فنول کل (۵/۰۴ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار شاهد پودر خون و بدون تلقیح با باکتری بدست آمد. در این صفت تلقیح باکتری لیکنی فورمیس باعث افزایش فنول کل به ترتیب (۰/۳۶، ۳۰/۴۳ درصد) در تیمار ۴ و ۶ گرم بر کیلوگرم پودر خون شد (شکل ۴).

باکتری‌های هیدرولیز کننده پروتئین با هیدرولیز پروتئین‌های موجود در پودر خون باعث آزاد سازی اسید آمینه‌های مختلف می‌گردد. اسید آمینه آسپارتیک

هستند (حیدرزاده و همکاران ۲۰۲۵). کاربرد باکتری لیکنی فورمیس موجب افزایش تولید فنول کل در گیاه گوجه فرنگی وحشی شده است (کارتیکا و همکاران ۲۰۲۲).

با توجه به جدول تجزیه واریانس حاصل از تاثیر تیمارهای پودر خون نشان داد که تاثیر پودر خون بر میزان آهن، نیتروژن و فسفر اندام هوایی در سطح احتمال

یک درصد معنی دار بود. بنا به این جدول اثر مستقل باکتری هیدرولیز کننده پروتئین بر میزان آهن و نیتروژن اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد و میزان فسفر در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بوده است. اثر متقابل پودر خون و باکتری هیدرولیز کننده پروتئین بر میزان آهن، نیتروژن و فسفر اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۷).

جدول ۷: نتایج تجزیه واریانس کاربرد پودر خون و باکتری هیدرولیز کننده پروتئین بر عناصر آهن، نیتروژن و فسفر اندام هوایی گیاه ریحان

میانگین مربعات				
منابع تغییر	درجه آزادی	آهن اندام هوایی	فسفر اندام هوایی	نیتروژن اندام هوایی
پودر خون	۳	۸۷۵۶/۹۶**	۰/۴۵**	۹/۶۸**
باکتری هیدرولیز کننده پروتئین	۲	۵۷۱/۵۲**	۰/۰۱۲*	۲/۲۶**
پودر خون × باکتری هیدرولیز	۶	۱۵۰/۷۱**	۰/۰۲**	۰/۶۱**
اشتباه آزمایشی	۲۲	۳۳/۶۷	۰/۰۳	۰/۰۵
ضریب تغییرات (%)		۷/۹۲	۱۴/۸۵	۹/۶۲

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.

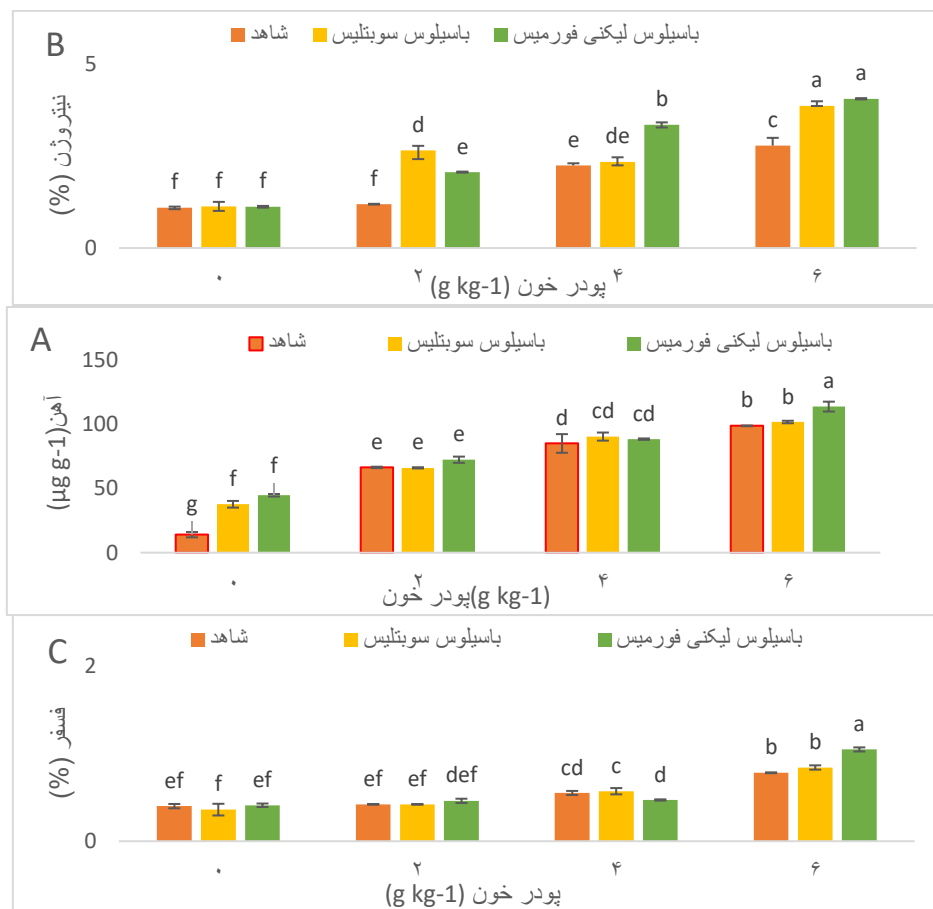
میزان عناصر آهن، نیتروژن و فسفر اندام هوایی

مطابق نتایج، افزایش غلظت پودر خون از ۰ به ۶ گرم بر کیلوگرم باعث افزایش عناصر آهن، نیتروژن و فسفر اندام هوایی ریحان به ترتیب (۸۵/۸۱، ۶۰/۷۹، ۴۸/۷۱ درصد) شد. بیشترین مقدار فسفر، نیتروژن و آهن به ترتیب ۱۰/۴۶ درصد، ۴/۰۳ درصد و ۱۱۳/۶۷ میکروگرم بر گرم) در غلظت پودر خون ۶ گرم بر کیلوگرم به همراه تلقیح باکتری باسیلوس لیکنی فورمیس بدست آمد. کم ترین مقدار فسفر (۰/۳۶ درصد) در تیمار بدون پودر خون و باکتری باسیلوس سوبتلیس بدست آمد. همچنین کمترین مقدار نیتروژن و آهن به ترتیب (۱/۰۹ درصد و ۱۴ میکروگرم بر گرم) در تیمار شاهد پودر خون و بدون تلقیح با باکتری بدست آمد (شکل ۵). مقدار زیاد آهن به ویژه آهن قابل جذب (Fe^{2+}) در پودر خون موجب افزایش دسترسی آهن در ریزوسفر ریشه می شود (کور و همکاران ۲۰۲۰). همچنین باکتری های باسیلوس، موجب تولید سیدروفورها با توانایی کلات کنندگی آهن موجود در خاک و پودر خون می گردند. این کلات های آهن

توسط پروتئین های گیرنده خاص (IROMPs) در ریشه گیاه شناسایی شده و جذب گیاه می گردد (علی و همکاران ۲۰۱۳). کاربرد پودر خون در انگور موجب افزایش مقدار آهن گیاه شده است (تسارین و همکاران ۲۰۱۳). باکتری های باسیلوس موجب افزایش میزان آهن در گیاه برنج شده است (عبدالمعین و همکاران ۲۰۲۱). کاربرد پودر خون در خاک می تواند فراهمی فسفر را به دلیل انحلال فسفر و با جلوگیری از جذب و رسوب فسفر روی کلسیت توسط اسیدهای آلی آزاد شده در طول تجزیه مواد آلی و تشکیل کمپلکس کاتیون های چند ظرفیتی افزایش دهد (صافیان و همکاران ۲۰۲۰). باکتری های باسیلوس با افزایش آنزیم های فسفاتاز و فیتاز و همچنین تولید اسید های آلی باعث آزاد سازی اشکال متصل فسفات از پودرخون و خاک شده و در نتیجه میزان جذب فسفر را افزایش می دهد (کور و همکاران ۲۰۲۰). کاربرد پودرخون موجب افزایش دسترسی گیاه به فسفر در گیاه اسفناج شده است (نمادودزی و همکاران ۲۰۱۷). تلقیح با باکتری باسیلوس لیکنی فورمیس موجب

نیتروژن یعنی آمونیوم و نیترات می‌گردند (کاراباسا و همکاران ۲۰۱۸). کاربرد پودر خون موجب افزایش نیتروژن در گیاه بادرنجبویه شده است (محصلی و فرید ۲۰۱۹). تلقیح با باکتری باسیلوس لیکنی فورمیس موجب افزایش جذب آمونیوم و نیترات در گیاه کینوا شده است (مهدی و همکاران ۲۰۲۰).

افزایش جذب فسفر در گیاه کینوا شده است (اسلام و همکاران ۲۰۱۵). کاربرد پودر خون با افزایش فعالیت باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن خاک و همچنین باکتری‌های باسیلوس هیدرو لیز کننده پروتئین و کاهش بخش پروتئینی غنی از نیتروژن و نیتریفیکاسیون آمونیاک توضیح داد که باعث افزایش فرم قابل جذب



شکل ۵. مقایسه میانگین اثرات متقابل پودر خون و باکتری هیدرولیز کننده پروتئین بر میزان آهن (A)، نیتروژن (B) و فسفر اندام هوایی (C).

حروف مشترک در هر ستون نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

آنالیز همبستگی

همبستگی مثبت ($p < 0.05$) دارد صفت مقاومت روزنه‌ای با کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و محتوای کارتنوئید، هدایت روزنه‌ای، ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام-هوایی، وزن تر و خشک ریشه، سطح برگ و تعداد برگ همبستگی منفی ($p < 0.05$) دارند (جدول ۸).

همبستگی پیرسون بین رنگدانه‌های مختلف فتوسنتزی و هدایت روزنه‌ای و مقاومت روزنه‌ای، بر ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام‌هوایی، وزن تر و خشک ریشه، سطح برگ و تعداد برگ در پژوهش حاضر انجام شد. کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و محتوای کارتنوئید و هدایت روزنه‌ای با ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام-هوایی، وزن تر و خشک ریشه، سطح برگ و تعداد برگ

- Arnon, D. 1949. Copper enzymes in isolation chloroplast phenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1–15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Azizah N S, Irawan B, Kusmoro J, Safriansyah W, Farabi K, Oktavia D, Doni F and Miranti M. 2023. Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.)—A Review of Its Botany, Phytochemistry, Pharmacological Activities, and Biotechnological Development. *Plants*. 12(24), 4148. <https://doi.org/10.3390/plants12244148>
- Caballero P, Macias-Benitez S, Moya A, Rodriguez-Morgado B, Martin L, Tejada M, Castano A, and Parrado Rubio J. 2022. Biochemical and Microbiological Soil Effects of a Biostimulant Based on *Bacillus licheniformis*-Fermented Sludge. *Agronomy*, 12(8): 1743. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081743>
- Carabassa V, Ortiz O and Alcaniz JM. 2018. Sewage sludge as an organic amendment for quarry restoration: Effects on soil and vegetation. *Land Degradation & Development*, (29):2568–2574. <https://ddd.uab.cat/record/203558>.
- Chen Z.C, Pen WT, Li J and Liao H. 2018. Functional dissection and transport mechanism of magnesium in plants. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, (74): 142–152. <https://doi.org/10.1016/j.semedb.2017.08.005>
- Colla G, Hoagland L, Ruzzi M, Cardarelli M, Bonini P, Canaguier R and Rouphael Y. 2017. Biostimulant Action of Protein Hydrolysates: Unraveling Their Effects on Plant Physiology and Microbiome. *Frontiers in Plant Science*. 8:2202. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02202>
- Colombo, C., Palumbo, G., He, J. Z., Pinton, R., and Cesco, S. 2014. Review on iron availability in soil: interaction of Fe minerals, plants, and microbes. *J. Soils Sediments* 14, 538–548. doi: 10.1007/s11368-013-0814-z.
- Daniel AL, Fadaka AO, Gokul A, Bakare OO, Aina O, Fisher S, Burt AF, Mavumengwana V, Keyster M and Klein A. 2022. Biofertilizer: The Future of Food Security and Food Safety". *Microorganisms*, 10(6):1220 10. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10061220>.
- de la Torre F, Canas RA, Pascual MB, Avila C and Canovas FM. 2014. Plastidic aspartate aminotransferases and the biosynthesis of essential amino acids in plants. *Journal of Experimental Botany*, 65: 5527–5534. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru240>.
- de Lima BC, Moro AL, Santos ACP, Bonifacio A, Araujo ASF and de Araujo FF 2019. *Bacillus subtilis* ameliorates water stress tolerance in maize and common bean. *Journal of Plant Interactions*. 14(1):432–439. <https://doi.org/10.1080/17429145.2019.1645896>
- de O Nunes PS, de Medeiros FHV, de Oliveira TS, de Almeida Zago J and Bettiol W. 2023. *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* promote tomato growth. *Brazilian Journal of Microbiology*, 54: 397–406. <https://doi.org/10.1007/s42770-022-00874-3>
- Eaton AD, Clesceri LS and Greenberg AE. 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th Edition, American Public Health Association, Washington, D.C.
- Fikadu Egata D. 2021. Benefit and use of Sweet Basil (*Ocimum Basilicum* L.) In Ethiopia: -A Review. *J. Nutrition and Food Processing*, 4(5). <https://doi.org/10.31579/2637-8914/057>.
- Gao Y, Hu M, Meng W, Wen W, Zhang P, Fan B, Wang F and Li SH. 2024. Study on the quality of soybean proteins fermented by *Bacillus subtilis* BSNK-5: Insights into nutritional, functional, safety, and flavor properties. *Food Chemistry*, 443: 138523. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138523>.
- Gaufichon L, Rothstein SJ and Suzuki A. 2016. Asparagine Metabolic Pathways in *Arabidopsis*. *Plant and Cell Physiology*, 57: 675–689. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcv184>.
- Gholami M, Sharifi Z and Renella G, 2023. Agro-environmental assessment of recycling abattoir blood meal powder as an organic fertilizer using soil quality index and hazard quotient. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 75-91. <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2023.1963320.1506>

- Ghorbanzadeh N, Haghnia GH, Lakzian A, and Fotovat A. 2009. Phosphorus availability in a soil amended with bone meal. IR, Journal of Soil Reserch. Journal of Soil & Water Science, 23(1): 69-77. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijsr.2009.126657>.
- Hamada AM and EL-Enany AE. 1994. Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. Show more images. Plant Biology, (36): 75-81. <https://doi.org/10.1007/BF02921273>
- Han M, Zhang C, Suglo P, Sun S, Wang M and Su T. 2021. L-Aspartate: An Essential Metabolite for Plant Growth and Stress Acclimation. *Molecules*, 26: 1887. <https://doi.org/10.3390/molecules26071887>
- Heidarzadeh A. 2025. Role of amino acids in plant growth, development, and stress responses: a comprehensive review. *Discover Plants*, 2: 237 (2025). <https://doi.org/10.1007/s44372-025-00322-0>
- Islam F, Yasmeen T, Ali S, Ali B, Farooq MA and Gill RA. 2015. Priming-induced antioxidative responses in two wheat cultivars under saline stress. *Acta Physiologiae Plantarum - Springer Link*, (37): 153 <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1897-5>.
- Karthika S, Remya M, Varghese SH, Dhanraj ND, Sali S, Rebello SH and Jose, SM. 2022. *Bacillus tequilensis* PKDN31 and *Bacillus licheniformis* PKDL10 –As double headed swords to combat *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* induced tomato wilt. *Microbial Pathogenesis*, 172: 105784. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2022.105784>
- Kaya C, Ashraf M, Alyemeni MN and Ahmad P. 2020. Nitrate reductase rather than nitric oxide synthase activity is involved in 24-epibrassinolide-induced nitric oxide synthesis to improve tolerance to iron deficiency in strawberry (*Fragaria × annassa*) by up-regulating the ascorbate-glutathione cycle. *Plant Physiology Biochemistry*, (151): 486–499 <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.04.002>.
- Kour D, Rana KL, Kaur T, Sheikh I, Yadav AN and Kumar V. 2020. Microbe-mediated alleviation of drought stress and acquisition of phosphorus in great millet (*Sorghum bicolor* L.) by drought-adaptive and phosphorus-solubilizing microbes. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology Journal*. 23: 101501. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101501>
- Kukier E, Goldsztejn M, Grenda T Kwiatek K and Bocian L. 2012. Microbiological quality of feed materials used between 2009 and 2012 in Poland. *Bull Vet Inst Pulawy*, 57: 535-543, 2013. <https://doi.org/10.2478/BVIP-2013-0093>.
- Kumar S, Kumar S and Mohapatra T. 2021. Interaction Between Macro- and Micro-Nutrients in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 12:665583. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.665583>.
- Li Z, Qin L, Wang D, Cui T, Liang Y, Zang S, Sun T, Zhao W, Wu Q and Que Y. 2025. Protein post-translational modification in plants: regulation and beyond. *Horticultural Plant Journal*, <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2025.02.003>.
- Liu J, Zhang J, Zhu M, Wan H, Chen Z, Yang N, Duan J, Wei Z, Hu T 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. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051031>
- Long JM and Mohan A. 2021. Development of meat powder from beef byproduct as value-added food ingredient. *LWT*, 146: 11460. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111460>.
- Mahdi I, Fahsi N, Hafidi M, Allaoui A and Biskri L. 2020. Plant Growth Enhancement using Rhizospheric Halotolerant Phosphate Solubilizing Bacterium *Bacillus licheniformis* QA1 and *Enterobacter asburiae* QF11 Isolated from *Chenopodium quinoa* Willd. *Microorganisms*, 8(6): 948. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8060948>
- Miransari M and Smith D. 2009. Alleviating salt stress on soybean (*Glycine max* L. (Merr.))-*Bradyrhizobium japonicum* symbiosis, using signal molecule genistein. *European Journal of Soil Biology*. 45: 146–152. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.11.002>.

- Mobini M, Khoshgoftarmanesh AH. and Ghasemi S. 2014. The effect of partial replacement of nitrate with arginine, histidine, and a mixture of amino acids extracted from blood powder on yield and nitrate accumulation in onion bulb. *Scientia Horticulturae*, 176: 232-237. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.07.014>.
- Mohasseli V, and Farbood F. 2019. The possibility of replacing blood powder instead of Fe EDDHA consumption in *Melissa Officinalis* L. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17(3): 457-465. <https://doi.org/10.22067/gsc.v18i3.86519> (In Persian)
- Momtaz N, Parvin A, Hossain MK, Saha B, Moniruzzaman M, Kibria A, Sarker MAM and Munshi JL. 2021. Blood meal organic fertilizer application on onion yield. *Bangladesh Journal of Scientific & Industrial Research (JSIR)*, 56(2): 87-94. <https://doi.org/10.3329/bjsir.v56i2.54315>
- Najjari F and Ghasemi S. 2018. Changes in chemical properties of sawdust and blood powder mixture during vermicomposting and the effects on the growth and chemical composition of cucumber. *Scientia Horticulturae*, 232 (2018): 250–255. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.018>
- Nemadodzi LE, Araya H, Nkomo M, Ngezimana W and Mudau NF. 2017. Nitrogen, phosphorus, and potassium effects on the physiology and biomass yield of baby spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 40(14): 2033-2044. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1346121>
- Ni SH, Wu Y, Zhu N, Leng F and Wang Y. 2024. *Bacillus licheniformis* YB06: A Rhizosphere–Genome-Wide Analysis and Plant Growth-Promoting Analysis of a Plant Growth-Promoting Rhizobacterium Isolated from *Codonopsis pilosula*. *Microorganisms*, 12: 1861. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12091861>.
- Rajawat MVS, Singh R, Singh D, Yadav AN, Singh S and Kumar M. 2020. Spatial distribution and identification of bacteria in stressed environments capable to weather potassium aluminosilicate mineral. *Brazilian Journal of Microbiology*, 51: 751–764. <https://doi.org/10.1007/s42770-019-00210-2>.
- Rolli E, Marasco R and Vigani G. 2015. Improved plant resistance to drought is promoted by the root-associated microbiome as a water stress-dependent trait. *Environmental Microbiology*, 17: 316–331. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12439>.
- Saeed Q, Xiukang W, Haider FU, Kucerik J, Mumtaz M Z, Holatko J, Naseem M, Kintl A, Ejaz M, Naveed M, Brtnicky M, and Mustafa A. 2021. Rhizosphere Bacteria in Plant Growth Promotion, Biocontrol, and Bioremediation of Contaminated Sites: A Comprehensive Review of Effects and Mechanisms. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(19): 10529. <https://doi.org/10.3390/ijms221910529>
- Safian M, Motaghian H, Hosseinpour A. 2020. Effects of sugarcane residue biochar and P fertilizer on P availability and its fractions in a calcareous clay loam soil. *Biochar*, 2(3): 357-367. <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00050-6>
- Sarkar, K, Sarkhel R, Halder, G Mandal DD, Rathinam NK and Mandal T, 2023. Bio-organic fertilizer production from industrial waste and insightful analysis on release kinetics. *Journal of Environmental Management*, 325, 116378. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116378>
- Sharma A, Shahzad B and Kumar V. 2019. Phytohormones regulate accumulation of osmolytes under abiotic stress. *Biomolecules and Therapeutics*, 9: 285. <https://doi.org/10.3390/biom9070285>.
- Singh A, Kumar R, Yadav AN, Mishra S, Sachan S and Sachan S.G. 2020. Tiny microbes, big yields: Microorganisms for enhancing food crop production sustainable development. In *Trends of Microbial Biotechnology for Sustainable Agriculture and Biomedicine Systems: Diversity and Functional Perspectives*. Publisher: Elsevier
- Tessarini P, Yunta F, Ingrosso EA, Covarrubias J A and Rombola AD. 2013. Improvement of grapevine iron nutrition by a bovine blood-derived compound. *Acta Horticulturae*. 13: 984-992. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.984.40>.

- Timofeeva A M, Galyamova MR and. Sedykh S E. 2023. Plant Growth-Promoting Soil Bacteria: Nitrogen Fixation, Phosphate Solubilization, Siderophore Production, and Other Biological Activities. *Plants*, 12(24): 4074. <https://doi.org/10.3390/plants12244074>.
- Tuysuz E, Ozkan H, Arslan NP, Adiguzel A, Baltaci MO and Taskin M. 2021. Bioconversion of waste sheep wool to microbial peptone by *Bacillus licheniformis* EY2. *Biofuels*, *Bioprod. Bioref*, 15: 1372-1384. <https://doi.org/10.1002/bbb.2232>.
- Verma P, Yadav AN, Khannam KS, Kumar S, Saxena AK and Suman A. 2016. Molecular diversity and multifarious plant growth promoting attributes of *Bacilli* associated with wheat (*Triticum aestivum* L.) rhizosphere from six diverse agro-ecological zones of India. *Journal of Basic Microbiology*, 56: 44–58. <https://doi.org/10.1002/jobm.201500459>.
- Wang Q, Ou EL, Wang PC, Chen Y, Wang ZY, Wang ZW, Fang XW and Zhang JL. 2022. *Bacillus amyloliquefaciens* GB03 augmented tall fescue growth by regulating phytohormone and nutrient homeostasis under nitrogen deficiency. *Frontiers in Plant Science*, 13: 979883. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.979883>.
- Winter G, Todd CD, Trovato M, Forlani G and Funck D. 2015. Physiological implications of arginine metabolism in plants. . *Frontiers in Plant Science*. 6: 534. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00534>
- Xu C, Zhang Y, Cao L and Lu J. 2010. Phenolic compounds and antioxidant properties of different grape cultivars grown in China. *Food Chemistry*. 119: 1557–1565. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.042>
- Yadav AN, Sharma D, Gulati S, Singh S, Dey R and Pal KK. 2015. Haloarchaea endowed with phosphorus solubilization attribute implicated in phosphorus cycle. *Scientific Reports*. 5: 12293. <https://doi.org/10.1038/srep12293>.
- Yunta F, Foggia M and Bellido-Díaz V. 2013. Blood meal-based compound. Good choice as iron fertilizer for organic farming. *Agriculture Food Chemistry* 61: 3995–4003. <https://doi.org/10.1021/jf305563b>.
- Zhou C, Zhu L, Xie Y, Li F, Xiao X, Ma Z and Wang J. 2017. *Bacillus licheniformis* SA03 confers increased saline-alkaline tolerance in chrysanthemum plants by induction of abscisic acid accumulation. *Frontiers in Plant Science*, (8):1143. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01143>.