علوم و تحقیقات بذر ایران
سال دوازدهم/ شماره دوم/ ۱۴۰۴ (۴۹ - ۳۳)
مقاله پژوهشی
DOI: 10.22124/jms.2025.9385

نقش سوش‌های *رایزوبیوم* و پرایمینگ زیستی بذر بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.)

سیده حمیده ملکوتی[۱]، سید محمدرضا احتشامی*[۲]، حسین بشارتی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۵

چکیده

به منظور بررسی نقش سوش‌های *رایزوبیوم* و پرایمینگ زیستی بذر بر صفات جوانه‌زنی ورشد گیاهچه گوار در شرایط آزمایشگاهی، مطالعه‌ای به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه فیزیولوژی و زیست‌فناوری بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان اجرا شد. عوامل مورد مطالعه شامل ۱۲ تیمار بدون پرایمینگ (No_P) + بدون تلقیح (No_I)، No_P + تلقیح با *Mesorhizobium siceri* (M.s)، No_P + تلقیح با *Bradyrhizobium japonicum* (B.j)، No_P + تلقیح با *Rhizobium leguminosorum* (R.l)، پرایمینگ با *Bacillus subtilis* (B.s)+ No_I، پرایمینگ با B.s + تلقیح با M.s، پرایمینگ با B.s+ تلقیح با B.j، پرایمینگ B.s + تلقیح با R.l، پرایمینگ با *Pseudomonas fluorescent* (P.f) + No_I ، پرایمینگ با P.f + تلقیح با M.s، پرایمینگ با P.f + تلقیح با B.j، پرایمینگ با P.f + تلقیح با R.l بود. نتایج نشان داد پرایمینگ با P.f+ تلقیح با R.l به طور قابل توجهی بیشتر شاخص‌های مورد نظر از جمله، درصد، متوسط زمان لازم و انرژی جوانه‌زنی، شاخص وزنی بنیه گیاهچه، محتوای آب بافتی و... را در مقایسه با شاهد افزایش داد که نشان دهنده رابطه هم‌زیستی مثبت بین گوار و این باکتری‌ها می‌باشد و به علت تأثیر بر افزایش جذب آب، افزایش سرعت واکنش‌های شیمیایی مربوط به جوانه‌زنی، استفاده از ذخایر بذر در طول جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه رخ داده است. بنابراین متابولیت‌های اولیه لازم برای جوانه‌زنی بذر و رشد بیشتر سریع‌تر تأمین شده و به طور بالقوه می‌تواند در طرح‌های مزرعه‌ای منجر به بهبود عملکرد شود.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های تحریک کننده رشد، پرایمینگ زیستی، کود زیستی، نیتروژن

۱- دانشجوی دکترای تخصصی اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. shmalakooti1@gmail.com
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. smrehteshami@guilan.ac.ir
۳- استاد پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. besharati1350@yahoo.com
*نویسنده مسئول: smrehteshami@guilan.ac.ir

مقدمه

گوار یا لوبیای خوشه‌ای با نام علمی (*Cyamopsis tetragonoloba* L.)، گیاهی یکساله و تابستانه از خانواده بقولات است که تحمل بالایی به خشکی دارد و متحمل به شرایط خشک و شور می‌باشد (Avola *et al*., 2020, Garica *et al*., 2023). بنابراین می‌توان از این گیاه به عنوان یک محصول جایگزین با پتانسیل بالقوه در دشت‌های کم آب (به ویژه برای کاربرد صنعتی و علوفه دام) استفاده نمود. هم‌چنین گوار منبع ارزشمندی از پروتئین برای تغذیه انسان و حیوانات است (Chamani *et al*., 2018). علاوه بر این، گوار نسبت به آفات و حشرات و هم‌چنین بیماری‌ها از مقاومت خوبی برخوردار بوده و با توجه به وابستگی کم آن به مصرف کود، محصولی نسبتاً کم هزینه و پایدار برای تولید می‌باشد. زیرا تثبیت کننده نیتروژن بوده و به حفظ سلامت خاک، کاهش نیاز به کودهای نیتروژنی در کشت محصولات بعدی، بهبود باروری خاک و استفاده به عنوان کود سبز مفید است و می‌توان آن را به طور مؤثر با محصولات غیر حبوبات یا سایر علوفه‌ها کشت نمود. اهمیت اقتصادی این گیاه به تولید متمایز علوفه، اعم از علوفه سبز یا خشک نسبت داده می‌شود (Durgesh., 2015). با وجود اهمیت این گیاه، کشت گوار با چالش‌های متعددی از جمله استقرار ضعیف گیاهچه، آسیب پذیری در برابر بیماری‌ها و آفات و عملکرد ناپایدار مواجه است.

این چالش‌ها به ویژه در خاک‌هایی که کمبود مواد مغذی در آن‌ها می‌تواند به طور قابل توجهی رشد و نمو گیاه را مختل کند، برجسته‌تر هستند و نیاز به رویکردهای نوآورانه برای افزایش عملکرد بذر و قدرت گیاهچه را ایجاد می‌نمایند. استقرار گیاهچه‌های قوی و به حداکثر رساندن عملکرد محصول بسیار مهم است. در روش‌های سنتی کاربرد فراوان کودها و سموم شیمیایی پوشش دهنده چالش‌ها و مشکلات ناشی از کمبود مواد غذایی، کاهش عملکرد و اثرات ناشی از تنش‌های محیطی می‌باشد. با توجه به آسیب‌های شدید زیست محیطی و ایجاد مخاطرات انسانی شدید در اثر کاربرد این مواد، لزوم جایگزینی روش‌های پایدار و همسو با سلامت زیستی ضروری بوده و کاربرد کودهای زیستی یکی از این راهکارها در راستای تحقق اصول کشاورزی پایدار است. کودهای زیستی حاوی تعداد مناسبی از یک یا چند ریزجاندار مفید (باکتری، قارچ و...) و یا متابولیت‌های حاصل از فعالیت آن‌ها می‌باشند که وقتی به صورت پرایمینگ یا تلقیح بذر، در سطح گیاهان و یا در خاک به کار می‌روند، ریزوسفر داخل گیاهان را کلونیزه کرده و رشد و عملکرد آن‌ها را به وسیله افزایش تأمین یا فراهمی مواد غذایی اولیه ارتقاء می‌دهند، که باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد (PGPR) از انواع آن‌ها هستند (Khosravi, 2022؛ Rouhi and Khadem moghadam, 2022).

پرایمینگ بذر شامل جذب آب به صورت کنترل شده توسط بذرها برای شروع فرآیندهای متابولیکی بدون ظهور ریشه‌چه و به دنبال آن خشک شدن تا رطوبت نزدیک به رطوبت اولیه است. این تیمار قبل از کاشت، با افزایش فعالیت‌های متابولیکی قبل از جوانه‌زنی، ترمیم غشا، فعال-سازی آنزیم و به کارگیری ذخایر بذر، عملکرد جوانه‌زنی را، به ویژه در شرایط نامطلوب، افزایش می‌دهد. در میان روش-های مختلف پرایمینگ، پرایمینگ زیستی به دلیل مزایای دوگانه در تقویت فیزیولوژیکی بذر و تلقیح باکتریایی، به عنوان یک راهکار سودمند مطرح است (Mahmood and Kataoka, 2018). از جمله مزایای این روش می‌توان به افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی، بهبود بنیه گیاهچه و کاهش وابستگی به نهاده‌های مصنوعی اشاره نمود. هم‌چنین تثبیت سریع، یکنواختی و استقرار گیاه زراعی بر روی سطح خاک را به دنبال دارد و از این رو محصول از نظر کمی و کیفی بهبود می‌یابد (Nazar rostami and Mozafferi, 2018). این مزایا پرایمینگ زیستی را به عنوان ابزای پایدار برای بهبود استقرار و بهره‌وری محصول در سیستم‌های مختلف کشاورزی قرار می‌دهد. اثرات سودمند پرایمینگ بذر در بسیاری از گیاهان زراعی نظیر گندم (*Triticumaestivum*)، چغندرقند (*Beta vulgaris*)، ذرت (*Zea mays*)، سویا و آفتابگردان (*Helianthus annuus*) به اثبات رسیده است (Najafipar *et al*., 2008). محققان گزارش نمودند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد به صورت تیمار پوششی روی بذر تا حدی شاخص‌های جوانه‌زنی ذرت را افزایش داد (Saadat and Ehteshami, 2016).

Pseudomonas spp پرکاربردترین باکتری‌های محرک رشد گیاه با توانایی انحلال فسفر محسوب می‌شود (Nazif, 2017). این باکتری‌ها از روش‌های گوناگون مانند افزایش پتانسیل ریشه، تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش رهاسازی عناصر غذایی، تولید آنزیم ACC دِآمیناز، تثبیت زیستی و انحلال ترکیب‌های نامحلول فسفر و روی، افزایش

جذب عناصر غذایی را سبب شده و تحمل گیاهان را نسبت به تنش‌های محیطی (شوری، خشکی و سرما) افزایش می‌دهند و با تأثیر بر بهبود جوانه‌زنی و صفات رشد گیاهچه سبب اثر گذاری بر یکنواختی سبز شدن در مزرعه و نهایتاً حصول عملکرد بالاتر می‌شوند (Suarez *et al*., 2015). پرایمینگ بذر با P.f در سویا، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، تعداد غلاف در بوته، دانه در غلاف، وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیکی را بهبود داد (Mehri, 2015). هم‌چنین پرایمینگ با P.f در چغندرقند نیز تأثیر به سزایی در افزایش درصد جوانه‌زنی و رشد ریشه‌چه داشت و شاخص بنیه بذر را ارتقاء داد (Bahramian *et al*., 2017).

Bacillus subtilis نیز انواع دیگری از PGPRها است که به روش‌های مختلف سبب افزایش دسترسی به مواد مغذی، تغییر هموستازی تنظیم کننده‌های رشد گیاه و کمک به کلونیزاسیون ریشه می‌شود. درباره تأثیر *Bacillus*ها در دسترسی به عناصر غذایی این نکته قابل ذکر است که نیتروژن، آهن و فسفر از جمله عناصری هستند که در خاک برای گیاه غیر قابل دسترس می‌باشد و این رایزوباکتری‌ها از طریق بهبود کلونیزاسیون ریشه، سبب جذب نیتروژن، تولید اسیدهای آلی و محلول کردن فسفر به جهت جذب این عنصر و تسهیل حرکت آهن از طریق اسیدی شدن ریزوسفر برای بهبود جذب آهن در گیاهان، می‌شوند.

هم‌چنین تقسیم سلولی و رشد را از طریق تولید مواد تنظیم کننده رشد و یا با القای تولید آن‌ها در گیاهان از طریق ترکیبات ترشح شده، تقویت می‌نمایند (Blak *et al*., 2021). پرایمینگ زیستی با B.s و هیدروپرایمینگ اثرات مثبتی بر جوانه‌زنی بذر، طول ریشه‌چه و رشد گیاه در گونه‌های مختلف از جمله گوار دارد (Singh *et al*., 2016). پرایمینگ بذر با سویه‌های B.s مزایای قابل توجهی برای رشد حبوبات و تحمل تنش نشان داده است. مطالعات، بهبود جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و نمو گیاهان را در حبوبات مختلف از جمله لوبیا معمولی (*Phaseolus vulgaris*)، بادام زمینی (*Arachis hypogaea*) و نخود (*Cicer arietinum*) نشان داده‌اند (Lastochkina *et al*., 2021; Patel *et al*., 2024). هم‌چنین کاربرد B.s در پرایمینگ بذر برنج (*Oryza sativa*) سبب افزایش قابل توجه ظهور، قدرت گیاهچه و عملکرد شد (Javed et al., 2021). پرایمینگ بذر کینوآ (*Chenopodium quinoa*) با B.s نیز میزان سرعت سبز شدن را افزایش داد (Hajizadeh *et al*., 2022).

تحقیقات در مورد ارتباط هم‌زیستی گوار- رایزوبیا در مقایسه با سایر حبوبات نسبتاً محدود است. مطالعات سایرین نشان داد که اگرچه گوار می‌تواند با سویه‌های مختلف رایزوبیومی روابط هم‌زیستی برقرار کند، اما اثر بخشی این ارتباطات به طور قابل توجهی متفاوت است و بر اهمیت شناسایی ترکیبات بهینه گیاه- باکتری برای به حداکثر رساندن تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و افزایش رشد گیاه تأکید می‌کند (Gupta *et al*., 2021, Rehman *et al*., 2020). باکتری‌های رایزوبیومی *Rhizobium legominosarum* (R.l)، *Bradyrhizobium japonicum* (B.j) و *Mesorhizobium siceri* (M.s) هرسه توان تثبیت هم‌زیستی نیتروژن را دارا می‌باشند. باکتری‌های هم‌زیست (با بقولات) تثبیت کننده نیتروژن لوبیا (R.l) قادر به تأمین ۷۰ درصد از نیاز لوبیا به نیتروژن بوده و مطالعه نتایج پژوهش‌های انجام شده بیانگر آن است که تلقیح ارقام لوبیا با *رایزوبیوم*های مناسب می‌تواند بخش قابل توجهی از نیتروژن مورد نیاز گیاه را تأمین نموده و در بهبود صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه آن مؤثر واقع شود. برای کشت سویا (*Glycine max*)، نیز، تلقیح بذور با باکتری B.j توصیه شده است و برای این منظور پس از دستیابی به سویه‌های مؤثر هم‌زیست سویا، کود *رایزوبیومی* مناسب تهیه و مورد استفاده قرار می‌گیرد. B.jها نقش مهمی را در بهبود رشد و عملکرد چندین گونه مختلف گوار دارند (El-Sawah *et al*., 2021). M.s گونه‌ای از *رایزوبیوم*هاست که هم‌زیست با نخود بوده و کم‌تر مطالعه شده اما برای تلقیح حبوبات گزینه امیدوار کننده‌ای می‌باشد و توانایی قابل توجهی در ایجاد روابط هم‌زیستی با میزبان-های مختلف حبوبات نشان داده است (Liu *et al*., 2019). *رایزوبیوم*ها علاوه بر تثبیت نیتروژن در بقولات، در تولید سایر مولکول‌های مؤثر در افزایش رشد گیاهان از جمله اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها، اسید آبسیزیک، سیدروفورها و ویتامین‌ها نقش دارند (Piroli Beiranvand *et al*., 2003). کاربرد *رایزوبیوم* در حبوبات مختلف از جمله لوبیا قرمز، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و درصد جوانه‌زنی بذور شد (Dadivar *et al*., 2018).

پیش‌تیمار بذور موجب حذف ناهمگنی جوانه‌زنی و استقرار اولیه بهتر گیاه می‌شود. این موضوع سبب تفاوت در

وزن خشک و در نهایت عملکرد گیاهان خواهد شد. با توجه به این‌که امنیت غذایی یکی از چالش‌های بزرگ جوامع انسانی به سبب افزایش جمعیت جهان می‌باشد و در بسیاری از گیاهان، مرحله جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه جزء حساس‌ترین مراحل رشدی گیاه محسوب می‌شود، بدین جهت برای افزایش عملکرد گیاهان، پرایمینگ و تلقیح باکتریایی بذر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Jamshidian and Talat, 2023). این پژوهش با هدف ارزیابی اثرات پرایمینگ زیستی بذر با B.s و P.f و تلقیح بذر با سویه‌های رایزوبیوم R.l، B.j و M.s بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گوار و تعیین ترکیب بهینه تیمارهای باکتریایی برای به حداکثر رساندن شاخص‌های مورد سنجش انجام شده است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی نقش سوش‌های *رایزوبیوم* و پرایمینگ زیستی بذر بر صفات بذری و رشد گیاهچه گوار در شرایط آزمایشگاهی طرحی به صورت کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه فیزیولوژی و زیست فناوری بذر دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان اجرا شد. بذرهای مورد استفاده از توده محلی پاکستانی بودند. کلیه بذرها ابتدا با محلول هیپوکلرید سدیم (NaOH) یک درصد به مدت ۳ دقیقه ضد عفونی و سپس ۲ تا ۳ بار با آب مقطر شسته شدند. باکتری‌های مورد استفاده از بخش بیولوژی مؤسسه خاک و آب کشور تأمین گردید. بذرهای مربوط به تیمارهای پرایمینگ زیستی (پرایمینگ با *Bacillus subtilis* (B.s) + بدون تلقیح (No_I)، پرایمینگ با B.s + تلقیح با *Mesorhizobium siceri* (M.s)، پرایمینگ با B.s + تلقیح با *Bradyrhizobium japonicum* (B.j)، پرایمینگ با B.s + تلقیح با *Rhizobium leguminosorum* (R.l)، پرایمینگ با *Pseudomonas fluorescent* (P.f) + No_I، پرایمینگ P.f + تلقیح با M.s، پرایمینگ P.f + تلقیح با B.j ، پرایمینگ P.f + تلقیح با R.l)، به مدت هفت ساعت در مایه باکتری غوطه‌ور و نهایتاً به منظور بازگشت به وزن اولیه در معرض جریان هوای آزاد در سایه قرار داده شدند. سپس بذرهای مربوط به تیمارهای تلقیحی (بدون پرایمینگ (No_P) + تلقیح با M.s، + No_P + تلقیح با B.j، No_P + تلقیح با R.l، پرایمینگ با B.s + تلقیح با M.s، پرایمینگ با B.s + تلقیح با B.j، پرایمینگ با B.s + تلقیح بذر با R.l، پرایمینگ با P.f + تلقیح با M.s، پرایمینگ با P.f + تلقیح با B.j، پرایمینگ با P.f + تلقیح با R.l)، با باکتری‌های ذکر شده تلقیح شده (به اندازه‌ای که بذرها آغشته شوند) و به مدت ۴۵ دقیقه به صورت جداگانه روی ورقه آلومینیومی در جریان هوای آزاد و در سایه قرار گرفتند تا رطوبت سطحی آن‌ها خشک شود. خشک شدن بذرها در معرض هوای آزاد به باکتری‌های محرک رشد گیاه اجازه می‌دهد تا ابتدا روی سطح بذر مستقر شوند و به طور بالقوه شرایط مطلوبی را برای اثر گذاری‌های بعدی ایجاد کنند. سپس اقدام به اجرای آزمایشات مختلف برای اندازه-گیری صفات بذری شد.

۲۵ عدد بذر ضدعفونی و تیمار شده شده (برای هر تکرار) در ۳ تکرار در پتری‌دیش با قطر ۲۵ سانتی‌متر بر روی کاغذ صافی واتمن که به مقدار کافی مرطوب شده بودند، قرار گرفتند و به درون انکوباتور با دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۷ روز منتقل شدند. شمارش بذور جوانه‌زده هر ۲۴ ساعت تا زمانی‌که دیگر افزایشی در تعداد بذور جوانه‌زده مشاهده نشد (به مدت ۷ روز) انجام گرفت. به هنگام شمارش، بذوری جوانه‌زده تلقی شدند که طول ریشه‌چه آن‌ها حدود ۲ میلی‌متر بود. در پایان روز هشتم درصد جوانه‌زنی، متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و سرعت رشد گیاهچه طبق فرمول‌های زیر محاسبه شدند (ISTA, 2016).

رابطه (۱)
$$\text{درصد جوانه‌زنی} = \frac{\text{تعداد کل بذور جوانه زده در روز آخر}}{۲۵} \times ۱۰۰$$

رابطه (۲)
$$MGT = \frac{\sum Dn}{\sum n}$$

در این رابطه، MGT: متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی، D: تعداد روزها بعد از شروع جوانه‌زنی، N: تعداد بذرهای جوانه زده در روز D

تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر ظرف پتری طی روزهای آزمایش شمارش گردید و سرعت جوانه‌زنی با استفاده از رابطه زیر به‌دست آمد (Ellis and Roberts, 1980):

رابطه (۳)
$$\overline{R} = \frac{\sum n}{D}$$

که در آن؛ $\overline{R}$ میانگین سرعت جوانه‌زنی، n تعداد بذرهای جوانه زده در هر شمارش و D روزهای سپری شده از شروع آزمایش است (رابطه ۴).

رابطه (۴) $$\text{سرعت رشد گیاهچه} = \frac{\text{وزن خشک گیاهچه های طبیعی}(g)}{(\text{تعداد بذر غیر زنده} + \text{تعداد گیاهچه غیر طبیعی}) - \text{تعداد بذر}}$$

رابطه (۵) $$\text{انرژی جوانه‌زنی} = \frac{\text{تعداد بذرهای جوانه زده در روز چهارم}}{\text{تعداد کل بذرهای آزمون شده}} \times ۱۰۰$$

رابطه (۶) شاخص طولی بنیه گیاهچه =(طول ریشه‌چه + طول ساقه‌چه) × درصد جوانه‌زنی نهایی

رابطه (۷) $$\text{محتوای آب بافتی گیاهچه} = \frac{(\text{وزن خشک گیاهچه} - \text{وزن تر گیاهچه})}{\text{وزن تر گیاهچه}} \times ۱۰۰ = \text{TWC}$$

رابطه (۸) $$\text{محتوای نسبی آب گیاهچه} = \text{RWC} = \frac{\text{وزن خشک گیاهچه} - \text{وزن تر گیاهچه}}{\text{وزن خشک گیاهچه} - \text{وزن آماس گیاهچه}}$$

رابطه (۹) $$\text{میزان ذخایر تحرک یافته} = \frac{\text{وزن خشک گیاهچه } (g)}{\text{میزان استفاده از ذخایر بذر } (g)} \times ۱۰۰$$

رابطه (۱۰) $$\text{کارائی تبدیل ذخایر انتقال‌یافته} = \frac{\text{وزن خشک ریشه چه}(g) - \text{وزن خشک ساقه چه}(g)}{\text{وزن ذخایر مصرف شده بذر}} \times ۱۰۰$$

به منظور اندازه‌گیری انرژی جوانه‌زنی ۲۵ بذر برای هر تیمار و هر تکرار، در پتری‌دیش برای مدت چهار روز در انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در آزمایشگاه بذر قرار گرفت و صفت مورد نظر بر اساس رابطه (۵) اندازه‌گیری شد (ISTA, 2016).

برای اندازه‌گیری طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه تعداد ۱۰ گیاهچه در روز هشتم از هر ظرف پتری به‌طور تصادفی انتخاب، بعد از اندازه‌گیری طول گیاهچه، ریشه‌چه و ساقه-چه جداسازی شده و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه با خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری شد. میانگین اعداد به‌دست آمده، به‌عنوان مقدار متوسط صفات ذکر شده لحاظ گردید. شاخص طولی بنیه گیاهچه نیز با استفاده از رابطه (۶) محاسبه شد.

به منظور اندازه‌گیری اوزان تر ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه، در روز هشتم، تعداد ۱۰ گیاهچه به‌طور تصادفی از هر ظرف پتری انتخاب شد و از ترازوی دقیق دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم استفاده گردید و میانگین اعداد به-دست آمده به‌عنوان متوسط وزن تر در نظر گرفته شدند. برای اوزان خشک نیز همین گیاهچه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و مجدد توزین شدند. به منظور انجام آزمون بنیه بذر (آزمون سرما) تعداد ۱۰۰ عدد بذر از هر تیمار درون حوله‌های کاغذی مرطوب که به صورت آکاردئونی تا خورده بودند به مدت هفت روز در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد در تاریکی قرار گرفتند. بعد از تیمار سرما، بذرها به شرایط مساعد رشدی، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت چهار تا هفت روز منتقل شده و در این شرایط درصد جوانه‌زنی ارزیابی گردید (ISTA, 2016). از ۲۵ بذری که از هر تیمار آزمایشی برای جوانه‌زنی در شرایط استاندارد قرار داده شدند نمونه‌های پنج تایی انتخاب شده و محتوای آب بافتی گیاهچه و محتوای نسبی آب گیاهچه بر اساس فرمول محاسبه گردید. میانگین مقادیر حاصل به عنوان صفات مذکور لحاظ گردید (ISTA, 2016).

به منظور محاسبه درصد ذخایر تحرک یافته در بذر (کارایی استفاده از ذخایر بذر) و کارایی تبدیل ذخایر انتقال یافته در بذر تعداد پنج نمونه از هر پتری دیش به طور تصادفی انتخاب شد و میانگین مقادیر حاصل بر اساس رابطه (۱۰) به عنوان صفت مذکور لحاظ گردید.

در رابطه «۱۰» وزن ذخایر مصرفی بذر از تفاضل وزن پوسته بذر بعد از خشک شدن از وزن اولیه بذر بدست آمد. تجزیه و تحلیل آماری نیز شامل تجزیه واریانس طرح آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. جهت تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SAS نسخه ۹,۴ [SAS, 1996] استفاده گردید. مقایسه میانگین داده‌ها به دلیل نیاز به دقت بیشتر (به دلیل کم‌تر بودن خطای نوع اول)، بدست آوردن نتایج صحیح و مورد نظر بودن مقایسه دو به دوی تیمارها با یکدیگر، با استفاده از آزمون توکی انجام گرفت. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمار توأم پرایمینگ و تلقیح در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). جدول مقایسه میانگین نیز نشان داد تمامی تیمارها به جز تیمار شاهد (بدون تلقیح/ بدون پرایمینگ) درصد جوانه‌زنی

بالاتری داشتند و تیمار شاهد کم‌ترین درصد جوانه‌زنی را داشت (جدول ۶).

سرعت جوانه‌زنی: مطالعه جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای توأم تلقیح و پرایمینگ روی بذور بسیار معنی‌دار بود (جدول ۱). و جدول مقایسه میانگین نشان داد که تیمار پرایمینگ با P.f+ تلقیح با B.j با میانگین ۴۱ بالاترین و تیمار شاهد (بدون تلقیح/ بدون پرایم) با ۱۵/۲۷ پایین‌ترین سطح را داشتند (جدول ۶).

متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی: جدول تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر این بود که اثر تیمارهای توأم تلقیح و پرایمینگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). جدول مقایسه میانگین اثرات توأم نشان داد که تیمارهای پرایمینگ با P.f+ تلقیح با R.l با میانگین ۱/۷۶ و تیمار پرایمینگ با B.s+ تلقیح R.l با میانگین ۱/۷۴ بالاترین و تیمار شاهد (No_I +No_P) با ۱/۲۲پایین‌ترین میانگین را داشتند (جدول ۶)

سرعت رشد گیاهچه: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که کاربرد تیمارهای توأم پرایمینگ و تلقیح بر سرعت رشد گیاهچه اثر معنی-داری در سطح احتمال یک درصد داشتند. بررسی مقایسه میانگین اثر تیمارهای توأم نشان داد که تیمار پرایمینگ با P.f+ تلقیح با R.l با میانگین ۰/۰۴ بالاترین و تیمار شاهد (بدون پرایمینگ/ بدون تلقیح) با عدد ۰ پایین‌ترین میانگین را به خود اختصاص دادند (جدول ۶).

انرژی جوانه‌زنی: اثر کاربرد توأم تلقیح و پرایمینگ نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). هم‌چنین جدول مقایسه میانگین داده‌های مربوط به اثر توأم تیمارهای پرایمینگ و تلقیح نشان داد تیمارهای پرایمینگ با P.f+ تلقیح با R.l با ۸/۶۶ ٪ بالاترین میزان انرژی جوانه-زنی را داشتند (جدول ۶).

طول ساقه‌چه: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمار توأم پرایمینگ و تلقیح در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بررسی مقایسه میانگین اثر تیمارهای توأم نیز نشان داد تیمار پرایمینگ با P.f+ تلقیح با R.l با ۹/۴ سانتی‌متر بیش‌ترین و تیمار شاهد (No_I +No_P) با ۳/۳۳ سانتی‌متر کم‌ترین میزان را داشتند (جدول ۶).

طول ریشه‌چه: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر پرایمینگ و تلقیح با باکتری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مطالعه مقایسه میانگین داده‌های مربوط به تیمارهای پرایمینگ بیانگر این بود که پرایمینگ بذور با P.f با میانگین ۴/۴ سانتی‌متر بالاترین میانگین را داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نیز بیان داشت که تلقیح بذور با R.l با میانگین ۴/۹۳ سانتی‌متر بیش‌ترین طول ریشه‌چه را به خود اختصاص داد و بقیه تیمارهای تلقیحی با میانگین کم‌تر با هم در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۵).

طول گیاهچه: بررسی تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای توأم پرایمینگ و تلقیح در سطح احتمال یک درصد بر صفت مورد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین مربوط به تیمارهای توأم پرایمینگ و تلقیح نشان داد که تیمار پرایمینگ با P.f+ تلقیح با R.l با ۱۵/۲ سانتی-متر بالاترین و تیمار شاهد (No_I +No_P) با ۵/۹۶ پایین-ترین طول گیاهچه را داشتند (جدول ۵).

شاخص طولی بنیه گیاهچه: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای توأم پرایمینگ و تلقیح بر شاخص طولی بنیه گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول۱).

در بررسی مقایسه میانگین اثر تیمارهای توأم مشاهده شد که تیمار پرایمینگ با P.f+ تلقیح با R.l با ۱۵۱۰ بیش-ترین و تیمار شاهد (No_I +No_P) با ۸۷۳/۶۶ کم‌ترین سطح را داشتند (جدول ۶).

وزن تر ساقه‌چه: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای توأم پرایمینگ و تلقیح بر وزن تر ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). جدول مقایسه میانگین اثرات توأم نیز بیانگر این بود که تیمار پرایمینگ با B.s+ تلقیح با M.s با ۴/۴۳ گرم بیش-ترین و تیمار شاهد (No_I +No_P) با ۰/۸۶ گرم کم‌ترین وزن تر ساقه‌چه را داشتند (جدول ۶).

وزن تر ریشه‌چه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثر تیمارهای تلقیحی و تیمارهای پرایمینگ بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. مشاهده شد که پرایمینگ بذور با باکتری B.s و پرایمینگ با P.f هر دو با ۰/۴۰ گرم در یک

گروه آماری بوده و نسبت به تیمار No_P با ۰/۳۲ گرم سطح بالاتری داشتند (جدول ۴). بررسی جدول مقایسه میانگین داده‌ها برای تیمارهای تلقیحی نیز بیان داشت که کاربرد باکتری M.s با ۴۴/۸۶ گرم بیش‌ترین و تیمار No_I با ۰/۲۱ گرم کم‌ترین وزن تر ریشه‌چه را داشتند (جدول ۵).

وزن تر گیاهچه: جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد کاربرد تیمارهای توأم پرایمینگ و تلقیح اثر بسیار معنی‌داری بر وزن تر گیاهچه داشت (جدول ۱). جدول مقایسه میانگین اثرات توأم نشان داد که تیمار پرایمینگ با B.s+ تلقیح با M.s با ۴/۸۲ گرم بیش‌ترین و تیمار شاهد (No_I +No_P) با ۱/۰۶ گرم کم‌ترین وزن تر گیاهچه را داشتند (جدول ۶).

وزن خشک ساقه‌چه: اثر تیمارهای توأم پرایمینگ و تلقیح بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات توأم تلقیح و پرایمینگ نیز نشان داد که تیمار پرایمینگ با B.s+ تلقیح با M.s با ۰/۳۷ گرم و تیمار پرایمینگ با P.f+ تلقیح با R.l با ۰/۳۶ گرم در یک گروه آماری بوده و بالاترین و تیمار شاهد (No_I +No_P) با ۰/۱۸ گرم پایین‌ترین میانگین را داشتند (جدول ۶).

وزن خشک ریشه‌چه: کاربرد تلقیح و کاربرد پرایمینگ هرکدام به تنهایی اثر بسیار معنی‌داری بر وزن خشک ریشه-چه داشتند (جدول ۱). مطالعه مقایسه میانگین تیمارهای پرایمینگ نیز نشان داد که کاربرد P.f با ۰/۰۳ گرم بیش-ترین و تیمار No_P با ۰/۰۱ گرم کم‌ترین تأثیر بر وزن خشک ریشه‌چه داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌های مربوط به تیمارهای تلقیحی نشان داد که کلیه تیمارهای تلقیح با M.s و تلقیح با R.l هر دو با ۰/۰۳ گرم تأثیر مثبتی بر وزن خشک ریشه‌چه داشته و در یک گروه آماری قرار گرفتند. هم‌چنین تیمار شاهد (No_I +No_P) با ۰/۰۱ گرم کم‌ترین میزان را در این صفت نشان داد (جدول ۵).

وزن خشک گیاهچه: جدول تجزیه واریانس داده ها نشان داد اثر تیمارهای توأم پرایمینگ و تلقیح در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). جدول مقایسه میانگین اثرات توأم مشخص نمود که تیمار پرایمینگ با B.s+ تلقیح با R.l با ۰/۴۲ گرم بالاترین و تیمار شاهد (No_I +No_P) با ۰/۱۸ گرم پایین‌ترین میانگین را داشتند (جدول ۶).

شاخص وزنی بنیه گیاهچه: کاربرد تیمارهای توأم پرایمینگ و تلقیح بر شاخص وزنی بینه گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات توأم نیز بیانگر این بود که تیمار پرایمینگ با P.f+ تلقیح با R.l با ۷/۷۶ ٪ بیش‌ترین میانگین را داشت (جدول ۶).

آزمون بنیه بذر (آزمون سرما): نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای پرایمینگ و تلقیح بر صفت مورد نظر در سطح احتمال یک درصد معنی-دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات توأم نیز تیمار پرایمینگ با B.s+ تلقیح با M.s و تلقیح با B.j را در بالاترین سطح نشان داد (جدول ۶).

محتوای آب بافتی گیاهچه: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر تیمارهای توأم پرایمینگ و تلقیح بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بررسی اثر تیمارهای توأم نیز بیانگر این بود که تیمار پرایمینگ با P.f+ تلقیح با R.l با ۸۴/۱۳ ٪ بالاترین میانگین را داشت. تیمار شاهد (No_I +No_P) نیز با ۵۴/۴۲ ٪ کم‌ترین میانگین را نشان داد (جدول ۶).

محتوای نسبی آب گیاهچه: نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) بیانگر آن بود که اثر تیمارهای پرایمینگ بر صفت مورد نظر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمارهای پرایمینگ با باکتری در یک گروه آماری قرار داشته و نسبت به تیمار No_P در سطح بالاتری بودند (جدول ۴).

درصد ذخایر انتقال یافته در بذر (کارایی استفاده از ذخایر بذر): با تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش مشاهده شد که اثر تلقیح با باکتری و اثر پرایمینگ بذور در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۲). تیمار پرایمینگ با P.f با ۸۸/۷۱ ٪ و تیمار پرایمینگ با B.s با ۸۸/۲۱ ٪ در یک گروه آماری قرار گرفته و تیمار No_P با ۸۷/۵۴ ٪ کم‌ترین میانگین را داشت (جدول ۴). جدول مقایسه میانگین داده‌های مربوط به تیمارهای تلقیحی بیانگر این بود که کلیه تیمارهای تلقیحی نسبت به تیمار No_I دارای سطح بالاتری بوده و در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۵).

کارایی تبدیل ذخایر انتقال‌یافته در بذر: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر تیمارهای توأم پرایمینگ و تلقیح بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. جدول مقایسه میانگین

مربوط به اثرات توأم نشان داد تیمار پرایمینگ با B.s+ تلقیح با R.l با ۴۲/۷۳ بیش‌ترین سطح را داشت (جدول ۶).

این مطالعه به طور کلی نشان می‌دهد که تکنیک‌های ترکیبی پرایمینگ و تلقیح باکتریایی می‌توانند به طور مؤثر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه را در گوار بهبود بخشد. نتایج تحقیق حاضر بیانگر این بود که به طور کلی در صفات مورد مطالعه اثر تیمارهای توأم تلقیح باکتریایی و پرایمینگ زیستی نسبت به شاهد معنی‌دار شد. از آن‌جایی که پرایمینگ، بذر را برای شروع جوانه‌زنی آماده می‌کند، متابولیسم ذخایر بذر در مقایسه با ذخایر بدون پرایم سریع‌تر بوده و افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در تنفس و کاتابولیسم نشاسته، پروتئین‌ها و لیپیدها منجر به حرکت سریع‌تر محصولات جانبی کوچک‌تر به سمت گیاه‌چه در حال رشد می‌شوند.

اثرات پرایمینگ روی جوانه‌زنی بذر گونه‌های مختلف گیاهی به القای ساز و کارهای بیوشیمیایی ترمیم و بازسازی سلول نسبت داده می‌شود. فعالیت‌های متابولیکی شامل سنتز اسیدهای آلی نوکلئیک، پروتئین‌ها، سنتز و فعال-سازی آنزیم‌های کاتالیز کننده و انتقال مواد غذایی از جمله این ساز و کارها محسوب می‌شوند (Giuseppe *et al*., 2012). جوانه‌زنی بذور، رشد جنین و تشکیل ریشه‌چه و ساقه‌چه را نتیجه می‌دهد که در این راستا باید متابولیت‌های اولیه لازم برای ایجاد آن‌ها از اندوخته بذر تأمین گردد. طبق قوانین بیوشیمیایی غلظت سوبسترا سرعت واکنش را افزایش می‌دهد که بر این اساس هرچه میزان تأمین سوبستراهای اولیه لازم برای تشکیل اندام‌های ساختاری گیاهچه بیشتر باشد، ضمن افزایش سرعت جوانه‌زنی، میزان رشد ساقه‌چه، ریشه‌چه، وزن تر و خشک گیاهچه افزایش می‌یابد (Abdul-Jaleel *et al*., 2007). به دنبال پرایمینگ زیستی بذور با P.f، سرعت جوانه‌زنی و به دنبال آن سرعت بیرون زدگی ریشه‌چه و طویل شدن هیپوکوتیل افزایش یافت که با نتایج محققین دیگر در این زمینه همسو می‌باشد و به نظر می‌رسد این نتیجه حاصل تغییرات متابولیکی در بذر بوده باشد.

طبق بررسی‌های سایرین کاربرد P.f باعث تجزیه ترکیبات ذخیره‌ای در بذرها و فعال شدن آن‌ها می‌گردد که این موضوع به فعال شدن آنزیم‌های هیدرولیتیک ناشی از فعالیت جیبرلین‌ها نسبت داده می‌شود. از طرفی همانگونه که ذکر شد کاربرد P.f سطوح بالایی از فیتوهورمون‌ها، به ویژه اسید ایندول استیک را تولید میکند که نقش حیاتی در جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه داشته و طویل شدن و تقسیم سلولی را تحریک می‌کند (Weller, 2022). هم-چنین P.f در مقایسه با سایر باکتری‌های محرک رشد، قابلیت و توان بیشتری برای حضور در اطراف بذر و ریزوسفر گیاهچه داشته و با تراکم بالاتر خود سبب انتقال مؤثرتر مواد محرک رشد در مراحل اولیه بحرانی استقرار گیاهچه می-شود (Ghazy and El-Nahrawy,2021). نتایج یکی از تحقیقات نشان داد که P.f اغلب عملکرد بهتری در افزایش جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه در مقایسه با سایر باکتری‌های محرک رشد نشان می‌دهد که احتمالاً به دلیل توان بیشتر آن برای هم‌زیستی با گیاه گوار می‌باشد (Weller, 2022). در پژوهش دیگری که اثرات پرایمینگ بذر با P.f را بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه گوار در شرایط کنترل شده بررسی شد، بیان گردید که افزایش قابل توجه درصد جوانه-زنی، سرعت جوانه‌زنی و قدرت گیاهچه در مقایسه با شاهدهای تیمار نشده مشاهده شد.

تجزیه و تحلیل‌های بیوشیمیایی در پژوهش دیگری، افزایش فعالیت آنزیم‌های کلیدی دخیل در جوانه‌زنی بذر، از جمله آلفا آمیلاز و دهیدروژناز را نشان داد که بیانگر این است که P.f از طریق تعدیل متابولیسم بذر، جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد (Kumar et al., 2022). با توجه به حصول نتایج بهتر در صفات مربوط به جوانه‌زنی و رشد گیاهچه پس از اعمال پرایمینگ بذر با P.f به نظر می‌رسد که تغییرات متابولیکی ذکر شده در بذر و گیاهچه رخ داده باشد.

مطالعات هم‌چنین نشان داده‌اند که در اثر پرایمینگ با باکتری‌های محرک رشد درصد جوانه‌زنی افزایش یافته و میانگین زمان جوانه‌زنی در بذرهای پرایم شده در مقایسه با شاهدهای تیمار نشده کاهش یافته است. پرایمینگ فرآیندهای بیوشیمیایی مانند ترمیم DNA و فعالیت آنتی اکسیدانی را افزایش می‌دهد، در حالی که آندوسپرم بذر را نیز تضعیف می‌کند تا خروج ریشه‌چه را تسهیل کند (Gholami *et al*., 2009). محققان گزارش کردند که باکتری P.f آنزیم آمینوسیکلوپروپان -۱-کربوکسیلات دآمیناز (ACC) تولید می‌کند که بلافاصله آمینوسیکلوپروپان -۱- کربوکسیلات را به پیش ماده اتیلن برای ساخت آمونیاک و آلفاکتوبوتیرات تجزیه می‌کند. کاهش غلظت آمینوسیکلوپروپان -۱- کربوکسیلات درون گیاه سبب کاهش مقدار اتیلن در گیاه و تبدیل آن به منابع

نیتروژن و به دنبال آن سبب کاهش اثر بازدارندگی اتیلن بر طویل شدن ریشه می‌گردد و جوانه‌زنی را بهبود می‌بخشد. هم‌چنین باکتری‌های محرک رشد سبب تولید بیش‌تر هورمون جیبرلین می‌شود که سبب بهبود و افزایش جوانه-زنی می‌گردند (Ehteshami and Poorebrahimi,2016). جیبرلین با فعال کردن برخی آنزیم‌ها مانند آمیلاز که در سوخت و ساز نشاسته دخالت دارند، جوانه‌زنی را بهبود می‌دهد. از طرفی آنزیم آلفا آمیلاز از آنزیم‌های حیاتی در متابولیسم کربوهیدرات‌ها در فرآیند جوانه‌زنی است که فعالیت آن سبب شکستن پلیمر نشاسته می‌شود. این آنزیم نقش مهمی را در جوانه‌زنی و تجزیه نشاسته به قندهای ساده بر عهده دارد . فعالیت آنزیمی بیشتر در بذرهای در حال جوانه‌زنی ممکن است به عنوان محرکی برای جوانه‌زنی سریع و نیروی ابتدایی جوانه‌زنی به کار رفته و سبب بهبود آن شود (Abdul-Jaleel *et al*., 2007) که به نظر می‌رسد کاربرد باکتری‌های محرک رشد در این پژوهش، از طریق تأثیر بر فعالیت این آنزیم و افزایش آن سبب بهبود جوانه‌زنی و شاخص‌های رشد گیاهچه گوار شده باشند.

هم‌چنین با سنتز بهتر هورمون‌هایی مثل اکسین باعث افزایش بنیه، انرژی و استقرار بهتر گیاهچه می‌شوند که با توجه به کاربرد باکتری‌های محرک رشد و بهبود صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه به نظر می‌رسد تغییرات هورمونی و آنزیمی ذکر شده نیز در بذر رخ داده باشد. این ریزجانداران می‌توانند از طریق فراهم کردن بهتر و سریع‌تر عناصر و نیز سرعت بخشیدن به فعالیت‌های متابولیکی بذر، باعث افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی و نیز افزایش رشد در مراحل اولیه رشد رویشی شوند.

باکتری‌های محرک رشد قادرند با افزایش سرعت جوانه‌زنی، افزایش طول و وزن ریشه‌چه، تسریع در طویل شدن ریشه و استقرار گیاه منجر به بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان شوند. مطالعات، اثرات مثبت گونه‌های B.s بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه لوبیا معمولی را نشان داده‌اند (Arsalan and Bulute, 2023). افزایش سرعت جوانه-زنی، بهبود رشد گیاهچه و عملکرد توسط این باکتری‌ها در گیاهان مهمی هم‌چون جو (*Hordeum vulgare*)، گندم گزارش شده است.

محققان نشان دادند که تلقیح بذرهای جو با باکتری‌های تحریک کننده رشد گیاه موجب افزایش طول و وزن ریشه-چه و ساقه‌چه جو می‌گردد (Ghorbanpour and Hatami,2014). هم‌چنین افزایش وزن تر و خشک گیاهچه ذرت در اثر تلقیح بذر با باکتری‌های جنس P.f نیز گزارش شده است (Khanizadeh *et al*., 2019). در یک مطالعه دیگر که بر روی کلزا (*Brassica napus*) انجام گرفت مشخص شد که گونه‌های P.f و *سودوموناس پوتیدا* منجر به افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌شوند. هم-چنین اعلام گردید که بیوپرایمینگ بذور کلزا با باکتری B.s نیز پارامترهای جوانه‌زنی و تحمل شوری را بهبود بخشید. نتایج مطالعه‌ای بر روی گوار نشان داد که اثرات پرایمینگ بذر با B.s بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در شرایط عادی و تنش، سبب افزایش قابل توجهی در شاخص‌های جوانه‌زنی و عملکرد گیاهچه شد (Weller, 2022).

تلقیح باکتریایی با باکتری‌های محرک رشد و به ویژه *رایزوبیوم*ها با تولید هورمون‌های تحریک کننده رشد نظیر اکسین و اسید جیبرلیک باعث افزایش در تعداد و طول سلول‌های گیاهی می‌شود که نهایتاً منجر به افزایش طول و وزن ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه در تیمارهای تلقیحی می-شود. باکتری‌های محرک رشد با تغییر در ساختار سامانه ریشه‌ای سبب بهبود جذب عناصر غذایی، تخصیص کربوهیدرات‌ها به ریشه، کاهش فعالیت پراکسیداز ریشه و سنتز پروتئین‌های جدید شده و در نتیجه افزایش در رشد ریشه را منجر می‌شوند. مکانیسم‌های پشت این بهبودها نیز ممکن است شامل تضعیف آندوسپرم و تنظیم پتانسیل آب بذر باشد. هم‌چنین پرایمینگ و تلقیح باکتریایی می‌تواند جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه را در محصولات مختلف، از جمله گوار، به طور قابل توجهی افزایش دهد. P.f سرعت جوانه‌زنی را در گونه گوار با بذر ریز بهبود بخشید (Kumar *et al*., 2014). تلقیح و پرایمینگ با رایزوباکتری‌های محرک رشد، از جمله گونه‌های *Providencia* و *Bacillus*، بر سرعت جوانه‌زنی و قدرت گیاهچه تأثیر گذاشت (Ajinde *et al*., 2023). یک مطالعه جامع در مورد اثرات تلقیح R.l بر رشد و بهره‌وری گیاهان انجام شد و نشان داد که این باکتری به عنوان یکی از مؤثرترین باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن برای محصولات حبوبات، از جمله گوار، بوده و باعث کاهش وابستگی به کودهای نیتروژنی شیمیایی شد (Kumari *et al*., 2020). افزایش

جدول۱- تجزیه واریانس ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه گوار تحت تأثیر تیمارهای تلقیح و پرایمینگ زیستی

Table 1- Analysis of variance of seed germination characteristics and guar seedling growth under the influence of inoculation and biological priming treatments

منابع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (Mean Squares)											
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)	انرژی جوانه‌زنی Germination energy (%)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate (seed day^{-1})	متوسط زمان لازم براي جوانه‌زني Mean time for germination (day seed^{-1})	طول ریشه‌چه Radicle length (cm)	طول ساقه‌چه Plumule length (cm)	طول گیاهچه Seedling length (cm)	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight (g)	وزن خشک ساقه‌چه Plumule dry weight (g)	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (g)	وزن تر ریشه‌چه Radicle fresh weight (g)	وزن تر ساقه‌چه Plumule fresh weight (g)	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight (g)
تکرار (r)	2	1/777^{ns}	0/002^{ns}	5/81^{ns}	0/035*	0/36^{ns}	0/51^{ns}	4/04^{ns}	0/000001^{ns}	0/00003^{ns}	0/0003^{ns}	0/0014^{ns}	0/18*	0/153^{ns}
تلقیح(Inoculation)	3	3/555^{ns}	0/0004^{ns}	8/39^{ns}	0/181**	6/341**	8/68**	17/89**	0/0006**	0/007**	0/0136**	0/086**	4/26**	5/427**
پرایمینگ(Priming)	2	3/111^{ns}	0/002**	1148/62**	0/049*	4/53**	6/46**	13/26**	0/0009**	0/030**	0/042**	0/025**	8/37**	8/534**
تلقیح × پرایمینگ (P×I)	6	4/888*	0/001**	29/74**	0/044**	0/33^{ns}	8/48**	15/13**	0/00002^{ns}	0/002**	0/004**	0/005^{ns}	0/41**	0/360**
خطای آزمایش(Error)	22	1/77	0/0002	4/68	0/007	0/40	0/85	1/85	0/00001	0/0004	0/001	0/002	0/03	0/050
ضریب تغییرات (C.V%)	-	1/339	8/22	8/81	9/47	16/91	13/28	12/79	13/95	7/13	10/39	15/11	6/74	6/92

*، ** و ns: به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار

*, ** significant at P=5 and P=1 levels of probability respectively, ns: not significant

جدول ۲- تجزیه واریانس ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه گوار تحت تأثیر تیمارهای تلقیح و پرایمینگ زیستی

Table 2. Analysis of variance of seed germination characteristics and guar seedling growth under the influence of inoculation and biological priming treatments

منابع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (Mean Squares)							
		شاخص طولی بنیه گیاهچه Length index of seedling vigor (%	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Weight index of seedling vigor (%)	آزمون بنیه سرما Cold resistance test	محتوای آب بافتی گیاهچه Seedling tissue water (%) content	محتوای نسبی آب بافتی Relative tissue water content (%)	سرعت رشد گیاهچه Seedling growth rate	درصد ذخایر انتقال یافته در بذر Percentage of transferred reserves in seed (%)	کارایی تبدیل ذخایر انتقال یافته در بذر Efficiency of conversion of transferred reserves into seeds (%)
تکرار (r)	2	22120/750^{ns}	2/64^{ns}	2/250^{ns}	1/640^{ns}	13/012^{ns}	0/068 ^{ns}	0/778^{ns}	1/019^{ns}
تلقیح (Inoculation)	3	271721/87**	145/05**	6/740**	41/777**	5/539^{ns}	11/272**	2/684**	465/050**
پرایمینگ (Priming)	2	169540/58**	452/68**	62/583**	24/845**	71/355**	14/307**	4/164**	267/857**
تلقیح × پرایمینگ (P×I)	6	110091/32**	41/92**	5/990**	5/645**	7/406^{ns}	15/863**	0/539^{ns}	65/935**
خطای آزمایش (Error)	22	15412/56	9/82	1/371	0/838	9/495	0/287	0/362	1/905
ضریب تغییرات (درصد)(C.V%)	-	11/59	9/60	4/۳91	1/026	3/359	8/262	۶/83	2/031

*، ** و ns: به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار

*, ** significant at P=5 and P=1 levels of probability respectively, ns: not significant

جدول ۳- مقایسه میانگین ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گوار تحت تأثیر پرایمینگ زیستی بذر

Table 3. Comparison of average germination and seedling growth characteristics of guar under the influence of biological seed priming

تیمارهای پرایمینگ Priming treatments	صفات: انرژی جوانه زنی Germination energy (%)	سرعت جوانه زنی Germination rate (seed day$^{1)}$	سرعت رشد گیاهچه Seedling growth rate	متوسط زمان لازم برای جوانه زنی Mean time for germination (day seed^{-1})	طول ریشه چه Radicle length (cm)	طول ساقه چه Plumule length (cm)	طول گیاهچه Seedling length (cm)	شاخص وزن بنیه گیاهچه Weight index of seedling vigor (%)	شاخص طولی بنیه گیاهچه Length index of seedling vigor (%)	آزمون بنیه سرما Cold resistance test
باسیلوس (B.s)	0/03 a	33/62 a	0/61 b	1/54 a	3/70 b	7/65 a	11/28 a	36/93 a	1135 a	1/83 b
سودوموناس (P.f)	0/03 a	35/83 a	2/13 a	1/53 a	4/40 a	7/06 ab	11/23 a	35/39 a	1143 a	5/25 a
بدون پرایمینگ (No)	0/01 b	18/23 b	0/01 c	1/43 b	3/18 b	6/19 b	9/43 b	25/61 b	933/4 b	0/91 b

B.s: Bacillus subtilis, P.f: Pseudomonas fluorescent, No: no priming

جدول ۴- مقایسه میانگین ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تحت تأثیر پرایمینگ زیستی بذر گوار

Table 4. Comparison of average germination and seedling growth characteristics under the influence of biological priming of guar seeds

پرایمینگ Priming	صفات: وزن تر ساقه چه Plumule fresh weight (g)	وزن تر ریشه چه Radicle fresh weight (g)	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight (g)	وزن خشک ساقه چه Plumule dry weight (g)	وزن خشک ریشه چه Radicle dry weight (g)	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (g)	محتوای آب بافتی گیاهچه Seedling tissue water content (%)	محتوای نسبی آب بافتی Relative tissue water content (%)	درصد ذخایر انتقال یافته Percentage of transferred reserves in seed (%)	کارایی تبدیل ذخایر انتقال یافته Efficiency of conversion of transferred reserves into seeds (%)
باسیلوس (B.s)	3/63 a	0/40 a	3/95 a	0/33 a	0/02 b	0/36 a	90/61 a	93/03 a	88/21 a	68/88 b
سودوموناس (P.f)	3/03 b	0/40 a	3/44 b	0/32 a	0/03 a	0/35 a	89/34 b	93/24 a	88/71 a	72/15 a
بدون پرایمینگ (No)	1/98 c	0/32 b	2/30 c	0/24 b	0/01 c	0/26 b	87/73 c	88/92 b	87/54 b	62/84 c

B.s: Bacillus subtilis, P.f: Pseudomonas fluorescent, No: no priming

جدول ۵- مقایسه میانگین ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تحت تأثیر تلقیح باکتریایی بر صفات بذر گوار

Table 5. Comparison of average germination and seedling growth characteristics under the influence of bacterial inoculation on guar seed traits

درصد ذخایر انتقال یافته Percentage of transferred reserves in seed (%)	کارایی تبدیل ذخایر انتقال یافته Efficiency of conversion of transferred reserves into seeds (%)	آزمون بنیه سرما Cold resistance test	محتوای آب بافتی گیاهچه Seedling tissue water content (%)	سرعت رشد گیاهچه Seedling growth rate	شاخص طولی بنیه گیاهچه Length index of seedling (%) vigor	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Weight index of seedling (%) vigor	طول گیاهچه Seedling length (cm)	طول ساقه چه Plumule length (cm)	طول ریشه چه Radicle length (cm)	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (g)	وزن خشک ریشه چه Radicle dry weight (g)	وزن خشک ساقه چه Plumule dry weight (g)	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight (g)	وزن تر ریشه چه Radicle fresh weight (g)	وزن تر ساقه چه Plumule fresh weight (g)	متوسط زمان لازم برای جوانه زنی Mean time for germination (day seed^{-1})	تلقیح Inoculation
88/63 a	69/14 b	2/66 ab	90/38 a	2/24 a	995/56 bc	32/34 b	9/95 b	6/75 ab	3/2 b	0/32 a	0/02 b	0/30 a	3/50 a	0/35 b	3/14 b	1/47 b	B.j
88/10 a	65/64 c	2/11 b	89/96 a	2/34 a	1150 b	34/37 ab	10/07 b	7/74 a	3/81 b	0/34 a	0/03 a	0/31 a	3/56 a	44/86 a	3/11 b	1/47 b	M.s
88/48 a	77/11 a	3/88 a	90/55 a	2/59 a	1266/67 a	36/63 a	12/75 a	7/71 a	4/93 a	0/36 a	0/03 a	0/32 a	3/79 a	0/39 ab	3/39 a	1/65 a	R.l
87/41 b	59/93 d	2 b	86/01 b	0/31 b	870/11 c	27/23 c	9/8 b	5/66 b	3/11 b	0/27 b	0/01 c	0/25 b	2/08 b	0/21 c	1/86 c	1/30 c	No

B.j: Brady rhizobium japonicum, M.s: Mesorhizobium siceri, Rl: Rhizobium leguminosorum, No: no inoculation

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل پرایمینگ زیستی × تلقیح باکتریایی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گوار

Table 6. Comparison of the average interaction effects of biological priming × bacterial inoculation on germination and growth characteristics of guar seedling

کارایی تبدیل ذخایر انتقال یافته Efficiency of conversion of transferred reserves into seeds (%)	محتوای آب بافتی گیاهچه Seedling tissue water content (%)	آزمون بنیه سرما Cold resistance test	انرژی جوانه زنی Germination energy (%)	سرعت رشد گیاهچه Seedling growth rate	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Weight index of seedling vigor (%)	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (g)	وزن خشک ساقه چه Plumule dry weight (g)	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight (g)	وزن تر ساقه چه Plumule fresh weight (g)	شاخص طولی بنیه گیاهچه Length index of seedling vigor (%)	طول گیاهچه Seedling length (cm)	طول ساقه چه Plumule length (cm)	سرعت جوانه زنی Germination rate (seed day^{-1})	متوسط زمان لازم برای جوانه زنی Mean time for germination (day seed^{-1})	درصد جوانه زنی Germination percentage (%)	تلقیح×پرایمینگ Inoculation×Priming	
35/06 c	70/71 d	91/50 a	4/66 c	0/01 bc	0/88 b	0/35 d	0/32 c	4/13 b	3/79 b	96/33 dc	9/63 cd	6/73 d	19/44 e	1/57 c	100 a	B.j	
4/36 b	68/13 e	91/61 a	4/66 c	0/05 a	0/08 b	0/40 b	0/37 a	4/82 a	4/43 a	1213/33 b	11/83 c	8/43 b	20/33 d	1/70 b	100 a	M.s	B.s
42/73 a	71/03 d	90/72 a	4/66 c	0/02 b	1/01 b	0/42 a	0/36 b	4/26 b	3/91 b	1136/66 bc	11/36 c	6/63 d	20/66 d	1/74 a	100 a	R.l	
29/56 de	65/64 f	88/58 d	3 d	0/02 b	0/01 c	0/34 d	0/31 c	2/61 de	2/37 ef	1226/67 b	12/26 b	8/8 b	21/94 f	1/57 c	100 a	No	
31/7 e	73/41 c	90/78 a	4/41 c	0/02 b	1/01 b	0/31 cde	0/30 e	3/63 c	3/24 c	1046/66 c	10/46 d	6/43 d	41 a	1/61 c	100 a	B.j	
35/32 c	71/32 d	89/35 c	5 b	0/05 a	1/00 b	0/36 c	0/32 d	3/39 c	2/83 d	1206/66 b	8/1 de	6/43 d	32/66 b	1/71 b	98/66 ab	M.s	P.f
40/3 b	84/13 a	90/26 b	8/66 a	0/04 b	7/76 a	0/40 b	0/36 a	4/15 b	3/69 b	1510 a	15/2 a	9/4 a	33/33 b	1/76 a	100 a	R.l	
35/26 c	71/34 d	89/35 c	4/33 c	0 c	0/01 c	0/34 d	0/31 c	2/57 de	2/35 ef	810 d	11/16 c	4/86 e	40/33 a	1/48 d	100 a	No	
30/26 de	63/28 g	88/84 e	1/33 e	0/01 bc	0/38 bc	0/31 cde	0/28 f	2/73 de	2/40 ef	976/66 dc	9/76 cd	7/1 c	19/11 e	1/48 d	100 a	B.j	
27/43 e	57/46 h	88/90 c	2/33 cd	0 c	0/31 bc	0/27 e	0/24 g	2/47 e	2/07 f	1030 c	10/3 d	7/23 c	16/61 ef	1/33 de	100 a	M.s	No
29/88 e	59/74 h	86/95 e	0/66 ef	0 c	0/37 bc	0/27 e	0/25 g	2/95 d	2/57 e	1153/33 bc	11/7 c	7/1 c	18/05 ef	1/48 d	100 a	R.l	
17/85 f	54/42 i	82/52 f	0.33 f	0 c	0/01 c	0/18 f	0/18 h	1/06 f	0/86 g	873/66 e	5/96 e	3/33 f	15/27 f	1/22 e	96 b	No	

B.s: Bacillus subtilis, P.f: Pseudomonas fluorescent, No: no priming

B.j: Brady rhizobium japonicum, M.s: Mesorhizobium siceri, R.l: Rhizobium leguminosorum, No: no inoculation

قابل توجه شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه پس از تلقیح با *رایزوبیوم*ها، به ویژه R.l، بیانگر مزایای ارتباطی رایزوبیومی فراتر از تثبیت نیتروژن بوده و با تحقیقات قبلی که اثرات رشدی رایزوبیا را بر روی گیاهچه‌های حبوبات نشان می‌دهند، همسو است (Mir *et al*., 2021). عملکرد برتر R.l در مقایسه با سایر سویه‌های *رایزوبیوم*، نشان دهنده درجه بالاتری از سازگاری با گوار است که ممکن است به تولید مؤثرتر هورمون‌های گیاهی مربوط باشد (Aung *et al*., 2020). افزایش مشاهده شده در کارایی انتقال ذخایر بذر پس از تلقیح *رایزوبیوم* نشان دهنده استفاده مؤثرتر از ذخایر بذر در طول جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه است (Rehman *et al*., 2020). این افزایش بازدهی متابولیکی احتمالاً در بهبود بنیه گیاهچه مشاهده شده در تیمارهای تلقیحی با رایزوبیوم نقش داشته است.

مهم‌ترین یافته این مطالعه، اثر هم‌افزایی قابل توجه مشاهده شده در تیمار تلفیقی پرایمینگ با P.f + تلقیح با R.l بود. این ترکیب به طور مداوم تقریباً در غالب شاخص‌های ارزیابی شده، از سایر تیمارها بهتر عمل کرد. چندین ساز و کار ممکن است زمینه‌ساز این تعاملات هم‌افزایی باشند. پرایمینگ زیستی با P.f احتمالاً جوانه‌زنی بذر و توسعه اولیه ریشه را افزایش داده و امکان اثر گذاری بیشتر R.l را فراهم می‌کند و از سویی R.l امکان انتقال مؤثر متابولیت-های باکتریایی مفید برای رشد گیاهچه را فراهم می‌نماید (Raghu *et al*.,2021). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که اثرات ترکیبی پرایمینگ باکتریایی و تلقیح رایزوبیومی بر حبوبات، اثرات هم‌افزایی قابل توجهی را بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه دارد (Sharma *et al*., 2021) که همسو با نتیجه پژوهش حاضر می‌باشد. مطالعات دیگری نیز نشان دادند که پرایمینگ و تلقیح باکتریایی به صورت توأم می‌تواند روشی مؤثر برای بهبود جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه در گوار و سایر محصولات گیاهی باشد. تلقیح هم‌زمان *Pseudomonas fluorescens*، *Trichoderma asperellum* و *Rhizobium* sp. در بذور نخود و لوبیا قرمز که با روش بیوپرایمینگ تیمار شده بودند، در مقایسه با بذرهای تکی یا شاهدهای غیر بیوپرایم شده، سرعت جوانه‌زنی بالاتر و رشد بهتر گیاه را نتیجه داد (Yadav *et al*., 2013).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد باکتری‌های محرک رشدی به ویژه تیمارهای تلفیقی، قبل از کاشت، سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی شد که به نظر می‌رسد به دلیل تحریک هورمون‌های محرک رشدی، تخصیص بیش‌تر کربوهیدرات‌ها، افزایش میزان ذخایر تحرک یافته در بذر و کارایی انتقال آن‌ها رخ داد. این افزایش در سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه سبب افزایش طول ساقه‌چه، ریشه‌چه و گیاهچه شده و به دنبال آن افزایش وزن تر و خشک نیز حاصل شد. هم‌چنین محتوای آب بافتی بذور تیمار شده نسبت به شاهد بالاتر بود که نشان از اثر گذاری مثبت باکتری‌های محرک رشد می‌باشد. هم-چنین مشخص گردید که اعمال تیمارهای تلفیقی تلقیح باکتریایی و پرایمینگ زیستی به صورت واضح نسبت به کاربرد هر کدام به تنهایی مؤثرتر بوده و کارایی بیش‌تری را حاصل می‌کنند. هر چند که تیمارهای فقط تلقیح یا فقط پرایمینگ زیستی هم نسبت به تیمار فاقد تلقیح و فاقد پرایمینگ مؤثرتر بودند و در سطوح بالاتری قرار گرفتند. مجموعاً تیمار پرایمینگ با P.f+ تلقیح با R.l نتیجه بهتری در بیشتر صفات نشان داد این موضوع بیانگر اثر بخش‌تر بودن کاربرد این باکتری‌ها به صورت تلفیقی می‌باشد.

تشکر و قدرانی:

بدینوسیله از مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور به دلیل تأمین اولیه بذر، مؤسسه خاک و آب کشور به دلیل تأمین باکتری‌های مورداستفاده و آزمایشگاه فیزیولوژی و زیست فناوری بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان به جهت همکاری علمی در این تحقیق قدردانی می‌شود.

منابع

Abdul-Jaleel, C. Manivannan, P. Sankar, B. Kishorekumar, A. Gopi, R. Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. 2007. *Pseudomonas flurescence* enhance biomass yield and ajmalicine production in *Catharanthus roseus* under water deficit stress. Colloid Surface Biology, 60: 7 - 11. Doi: 10.1016/j.colsurfb.2007.05.012. **(Journal)**

Ajinde, A. O., Ogunnusi, T. O., Iyanda, O. J., and Akpor, O. B. 2023. Evaluation of Germination and Seedling Growth of Plant Seeds Primed with Cultures of Providencia Sp. and *Bacillus* Cereus under Varying Conditions. The Open Agriculture Journal, 17(1). Doi: 10.22092/JMPB.2022.353488.1327 **(Journal)**

Arslan, M., and Bulut, S. 2023. The effects of *Bacillus* ssp. on germination and seedling growth of common bean (*Phaseolus vulgaris*). Current Trends in Natural Sciences, 12(23), 160-166. Doi: 10.47068/ctns. 2023.v12i23.017. **(Journal)**

Aung, T.M. and Oo, P.P. 2020. Isolation and characterization of *Rhizobium* from root nodules of *Arachis hypogaea* L. (Groundnut). the Myanmar academy of arts and science. 18*:*197-210. **(Journal)**

Bahramian, F., Abbasi Soraki, A., Jamali Zavareh, A., and Sharifzadeh, F. 2017. The effect of seed biopriming on germination and seedling growth of different sugar beet cultivars. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 6(2):241-255. **(In Persian)(Journal)**

Blak, C., Christensen, M.N., and Kovacs, A. 2021. Molecular aspects of plant growth promotion and protection by *Bacillus subtilis*. Journal of Molecular Plant-Microb Interaction, 34(1): 5-25. Doi:10.1094/MPMI-08-20-0225-CR **(Journal)**

Chamani, F., Tohidinejad, A.A., and Maheji, M. 2018. Effect of drought stress and salicylic acid on some morphophysiological and agronomic traits of guar. Quarterly Scientific Research Journal of Crop Plant Physiology - Islamic Azad University, Ahvaz Branch, 10(40): 18p. **(In Persian) (Journal)**

Dadivar, M., Khodshenas, M.A., and Ghadbiklo, J. 2018. The effect of inoculation with Rhizobium bacterial strains and nitrogen levels on quantitative and qualitative characteristics and nitrogen content of white bean cultivars under the climatic conditions of Markazi Province. Journal of Iranian Legume Research, 9(1): 165-176. **(In Persian)(Journal)**

Durgesh, K.R. 2015. Trends and economic dynamics of guar in India, Working Paper. Indian Council for Research on International Economic Relations, New Delhi, 41p. **(Book)**

Ehteshami, S.M.R. and Pourabrahimi, M. 2016. The effect of different strains of *Pseudomonas fluorescence* on germination and seedling growth of two barley cultivars. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 2(2), pp. 197-206. Doi:org/10.22092/ijsst.2023.363046.1496. **(in Persian) (Journal)**

El-Sawah, A.M., El-Keblawy, A., Fathi Ismail Ali, D., Ibrahim, H.M., El-Sheikh., N.A., Sharma, A., Shalicky, M., Xiong, Y.C., and Sheteiwy, M.S. 2021. Correction: El-Sawah et al. Arbuscular mycorhizal fungi anf plant growth-promoting rhizobacteria enhance soil key enzymes, plant growth, seed yield, and qualitative attributes of guar. Journal of Agriculture, 11. **(Journal)**

Ghazy, N. and El-Nahrawy, S. 2021. Siderophore production by Bacillus subtilis MF497446 and *Pseudomonas koreensis* MG209738 and their efficacy in controlling *Cephalosporium maydis* in maize plant. Archives of Microbiology. 203(3): .1195-1209. **(Journal)**

Gholami, A., Shahsavani, S. and Nezarat, S. 2009. The Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. World Academic Sciense Engineering and Technology, 19-24. Doi:1307-6892/14657. **(Journal)**

Ghorbanpour, M., and Hatami, M. 2014. Biopriming of Salvia officinalis seed with growth promoting *rhizobacteria* affects invigoration and germination indices. Journal of Biological and Environmental Sciences, 8(22). **(Journal)**

Giuseppe D.G and Barbanti L. 2012 Treatment conditions and biochemical processes influencing seed priming effectiveness, Ital. Italian Journal Agriculture, 7: e25. **(Journal)**

Gupta, R. and Yadav, R.K. 2021. Impact of chemical food preservatives on human health. Palarch's Journal of Archaeology of Egypt/egyptology, 18(15):811-818. **(Journal)**

Hajizadeh, Z., Balochi, H.R., Salehi, A., Moradi, A., and Rezaei, R. 2014. Studying the effect of biopriming and seed coating on seed germination indices and quinoa seedling growth under cadmium stress. Journal of Plant Production, 45(2): 215-228. **(In Persian)(Journal)**

International Seed Testing Association (ISTA). 2016. International Rules for Seed Testing, Bassersdorf, Switzerland.

Jamshidian, Z., and Talaat, F. 2012. Investigation of morphophysiological characteristics of coriander (*Coriandrum sativa* L.) under the influence of seed priming. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plant Research, 39(1):138-151. **(In Persian)(Journal)**

Javed, T., Afzal, I., and Mauro, R.P. 2021. Seed coating in direct seeded rice: An innovative and sustainable management under submerged condition. Sustainability, 13(4): 1-13. Doi:10.3390/su13042190. **(Journal)**

Khosravi, E. 2014. Biofertilizers: Promotion, recommendations and methods of use in agricultural products. Quarterly Scientific Research Journal of Science Promotion, 13(22). **(In Persian)(Journal)**

Kumar, A. R. U. N., Kharb, R. P. S., Mishra, P. K., Kumari, M. A. L. A., and Dahake, A. B. 2014. Studies on effect of priming treatments on germination and seedling establishment and their correlation in guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). Forage Research, 40(2), 71-76. **(Journal)**

Kumar, R., Swapnil, P., Meena, M., Selpair, S. and Yadav, B.G. 2022. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Approaches to alleviate abiotic stresses for enhancement of growth and development of medicinal plants. Sustainability. 14(23):15514. Doi:10.3390/su142315514. **(Journal)**

Kumari, S., Yadav, D. and Sharma, S.K. 2020. Cu (II) Schiff base complex grafted guar gum: Catalyst for benzophenone derivatives synthesis. Applied Catalysis A: General. 601:117529. Doi: 10.1016/j.apcata.2020.117529. **(Journal)**

Lastochkina, O, Oksana Lastochkina, O., Aliniaeifard, A., Garshina, D., Garipova, S., Pusenkova, L., Allagulova, C., Fedorova, K., Baymiev, A., Koryakov, L., Sobhani, M.H. 2021. Seed priming with endophytic *Bacillus subtilis* strain-specifically improves growth of *Phaseolus vulgaris* plants under normal and salinity conditions and exerts anti-stress effect through induced lignin deposition in roots and decreased oxidative and osmotic damages. Plant Physiology. 263, 153462. **(Journal)**

Liu, Z., Chen, W., Jiao, S., Wang, X., Fan, M., Wang, E. and Wei, G. 2019. New insight into the evolution of symbiotic genes in black locust-associated rhizobia. Genome Biology and Evolution. 11(7):1736-1750. Doi:org/10.1093/gbe/evz116 **(Journal)**

Mahmood, A. and Kataoka, R. 2018. Potential of biopriming in enhancing crop productivity and stress tolerance. In Advances in seed priming. 127-145. Doi:10.1080/09583157.2010.537311. **(Journal)**

Mehri, S. 2015. Effect of seed priming on yield and yield components of soybean. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 15(3), 399-403. **(Journal)**

Mir, M.I., Kumar, B.K., Gopalakrishnan, S., Vadlamudi, S. and Hameeda, B. 2021. Characterization of rhizobia isolated from leguminous plants and their impact on the growth of ICCV 2 variety of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Heliyon. 7(11). **(Journal)**

Najafipar, A., Ayouzi, A., Habibi, F., Pouryousef, A.H., and Taher, M. 2008. Seed priming and its effect on inducing drought stress tolerance in wheat cultivars. Journal of Research in Agricultural Sciences, 1(2): 81-92. **(In Persian)(Journal)**

Nazar Rostami, A., and Mozaffari, A. 2008. Investigation of the effect of humic acid and different methods of seed biopriming on morphophysiological characteristics of wheat under rainfed conditions and supplementary irrigation. Iranian Scientific and Research Journal of Agriculture and Plant Breeding, 14(3):89-100. **(In Persian)(Journal)**

Nazif, F. 2008. Effect of combined use of organic and biological fertilizers with phosphate fertilizer on seed germination, seedling growth, quantitative and qualitative yield of soybean cultivar Saland in Dezful region. Master's thesis, 119 p. **(In Persian)(Journal)**

Patel, S., Bhattacharya, C., Pandhi, N. 2023. Screening of *Bacillus* sp. (OQ654027) Mediated Seed Bio-Priming Enhance Plant-Growth-Promotion for Sustainable Crop Production of Groundnut and Chickpea. Current Agriculture Research Journal. 11 (3). Doi:10.9.150.37:8080/dspace//handle/atmiyauni/2003 **(Journal)**

Piroli Beiranvand, N., Saleh Rastin, N., Afrideh, H., and Saqib, N.A. 2003. Study of the ability of some strains of rhizobium bradybacteria in providing nitrogen to soybean cultivars. Journal of Agricultural Sciences of Iran, 34(1):97-104. **(In Persian)(Journal)**

Raghu, S., Baite, M.S., Yadav, M.K., Prabhukarthikeyan, S.R., Keerthana, U. and Pati, P. 2021. Biotic Stress Management by Microbial Interactions in Soils. Microbiological Activity for Soil and Plant Health Management. 315-329. Doi:/10.1007/978-981-16-2922-8_13. **(Journal)**

Rehman, A., Shahbaz, M., Farooq, U. and Amin, M., 2020. Impact of hydrocolloids on physicochemical and sensory attributes of goat milk yoghurt. Agricultural Sciences. 2(2):1-8. Doi:/10.56520/asj.v2i2.47. **(Journal)**

Roohi Klarloo, T., and Khadem Moghadam Igdeloo, N. 1401. The effect of triple superphosphate application, biofertilizer containing *Azotobacter* and *mycorrhizal* fungi on corn growth and nutrition. Journal of Soil Fertility, 1(1): 55-70. **(In Persian)(Journal)**

Saadat, F., and Ehteshami, S.M.R. 2016. Studying the effect of seed coating with growth-promoting bacteria and micronutrients on corn germination indices. Iranian Journal of Seed Science and Research, 3(3). Pages 81-94. **(Journal)**

Sharma, S., Datta, S., Chatterjee, S., Dutta, M., Samanta, J., Vairale, M.G., Gupta, R., Veer, V. and Dwivedi, S.K. 2021. Isolation and characterization of a lytic bacteriophage against *Pseudomonas aeruginosa*. Scientific Reports. 11(1):19393. Doi:org/10.1038/s41598-021-98457-z. **(Journal)**

Singh, V., Upadhyay, R.S., Sarma, B.K., Singh, H.B. 2016. *Trichoderma asperellum* spore dose depended modulation of plant growth in vegetable crops. Microbiological research. 193, 74-86. **(Journal)**

Singla, Sudhir, Kulbhushan Grover, Sangamesh V. Angadi, Sultan H. Begna, Brian Schutte, and Dawn Van Leeuwen. 2016. Growth and yield of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) genotypes under different planting dates in the semi-arid Southern High Plains. American Journal of Plant Sciences, 7(8): 1246-1258. **(Journal)**

Suarez, C., Cardinalea, M., Rateringa, S., Steffensb, D., Jungb, S., Zapata, A M., Rita, M., Plauma, G., and Schnella, S. 2015. Plant growth-promoting effects of *Hartmannibacter diazotrophicus* on summer barley (*Hordeum vulgare* L.) under salt stress. Applied Soil Ecology, (95): 23-30. **(Journal)**

Thakur, M., Tiwari, S., Sunita, S., Kataria, Anand, A. 2022. Recent advances in seed priming strategies for enhancing planting value of vegetable seeds. Scientia Horticulturae. 305, 111355. Doi: org/10.1016/j.scienta.2022.111355. **(Journal)**

Weller, D.M., LeTourneau, M. and Yang, M. 2022. Classification, Discovery, and Microbial Basis of Disease-Suppressive Soils. *Good Microbes in Medicine.* Food Production, Biotechnology, Bioremediation, and Agriculture.457-465. **(Journal)**

Yadav, S. K., Dave, A., Sarkar, A., Singh, H. B., and Sarma, B. K. 2013. Co-inoculated biopriming with Trichoderma, *Pseudomonas* and *Rhizobium* improves crop growth in *Cicer arietinum* and *Phaseolus vulgaris*. International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology, 6(2), 255-259. **(Journal)**

The role of *Rhizobium* strains and seed biological priming on germination and seedling growth characteristics of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.)

Seyedeh Hamideh Malakouti[1], Seyed MohammadReza Ehteshami[2*], Hosein Besharati[3]

Received: July 21, 2025 Accepted: August 27, 2025

Abstract

In order to investigate the role of *Rhizobium* strains and biological seed priming on germination and seedling growth traits of guar under laboratory conditions, a factorial study based on a completely randomized design with 3 replications was conducted in 2023 in the Seed Physiology and Biotechnology Laboratory of the Faculty of Agriculture, University of Guilan. The studied factors included 12 treatments: no priming (NoP) + no inoculation (NoI), NoP + inoculation with *Mesorhizobium siceri* (M.s), NoP + inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* (B.j), NoP + inoculation with *Rhizobium leguminosorum* (R.l), priming with *Bacillus subtilis* (B.s) + NoI, priming with B.s + inoculation with M.s, priming with B.s + inoculation with B.j, priming with B.s + inoculation with R.l, priming with *Pseudomonas fluorescent* (P.f) + NoI, priming with P.f + inoculation with M.s, priming with P.f + inoculation with B.j, priming with P.f + inoculation with R.l. The results showed that priming with P.f+ inoculation with R.l significantly increased most of the desired indicators, including percentage, average time required and germination energy, seedling vigor weight index, tissue water content, etc. compared to the control, which indicates a positive symbiotic relationship between guar and these bacteria and is due to the effect on increasing water absorption, increasing the speed of chemical reactions related to germination, use of seed reserves during germination and early seedling growth. Therefore, the primary metabolites required for seed germination and further growth are provided more quickly and can potentially lead to improved yield in field designs.

Keywords: Growth-promoting bacteria; Biological priming; Biofertilizer; Nitrogen

How to cite this article
Malakouti, S. H., Ehteshami, S. M. R. and Besharati, H. 2025 The role of *Rhizobium* strains and seed biological priming on germination and seedling growth characteristics of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). Iranian Journal of Seed Science and Research, 12(2): 33-49. (In Persian) **(Journal)**
DOI: 10.22124/jms.2025.9385

COPYRIGHTS
Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research
The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

1. Ph.D. Student, Crop Ecology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. shmalakooti1@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. smrehteshami@guilan.ac.ir
3. Research Professor Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. besharati1350@yahoo.com
*Corresponding author: smrehteshami@guilan.ac.ir