"نشریه علوم و فناوری بذر ایران"
جلد یازدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱
(ص ۱۳۰-۱۱۷)
مقاله پژوهشی

Iranian Journal of
Seed Science and Technology
Vol.: 11, No.: 1, Spring 2022
(pp: 117-130)
DOI: 10.22092/ijsst.2021.353181.1379
Research Article

بررسی اثر باکتری‌های محرک رشد در تحریک جوانه‌زنی و بهبود مولفه‌های رشدی بذر گیاهان باغی و زراعی

زهرا رضالو[1]، سمیرا شهبازی[2*]، حامد عسکری[3]

۱، ۲ و ۳. پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۶)

چکیده

یکی از روش‌های پیش‌جوانه‌زنی (پرایمینگ)، بیوپرایمینگ[1] با باکتری‌های محرک رشد به‌منظور افزایش جوانه‌زنی بذر و تحریک رشد گیاهچه است. در این پژوهش، اثرات مختلف پرتو گاما بر باکتری‌ها به عنوان موتانت، باکتری‌های پرتوندیده (وحشی) و شاهد و سپس تاثیر آن‌ها بر جوانه‌زنی و صفات رویشی بذور بررسی گردید. بذور منتخب شامل حبوبات، غلات و گیاهان باغی بودند. آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار انجام شدند. نتایج نشان داد که جوانه‌زنی در بذور، واکنش مثبت به باکتری‌ها داشتند؛ اما بذر لوبیا، واکنش‌های متفاوتی نسبت به تیمارها داشت. واکنش بذور مختلف به باکتری‌های موتانت و وحشی متفاوت بود. نخود جوانه‌زنی صد درصدی با باکتری‌های محرک رشد به دست آورد. سویاُ، کتان، ماش، گندم و کاهو افزایش جوانه‌زنی بالاتری نسبت به شاهد داشتند. در دیگر صفات رویشی اندازه‌گیری‌شده نسبت به شاهد، در اثر باکتری‌ها، به‌ویژه باکتری‌های موتانت مشاهده شد. اما به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که تمام بذور در بیشتر صفات نسبت به شاهد افزایش داشته و واکنش مثبت نشان دادند.

کلمات کلیدی: بیوپرایمینگ، باکتری، جوانه‌زنی و گاما

Effect of growth promoting bacteria on improvement of seed germination indices and seedling growth of horticultural and field crops

Z. Rezaloo[1], S. Shahbazi[2], H. Askari[3]

1, 2, 3. Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Atomic Energy Organization of Iran (AEOI), Alborz, Iran.
(Received: Oct. 11, 2021 – Accepted: Jan. 26, 2022)

Abstract

One of the methods of priming is biopriming with growth promoting bacteria to increase seed germination and stimulate seedling growth. In this study, different effects of gamma ray on bacteria as mutants, irradiated (wild type) and control bacteria and then their effect on germination and vegetative traits of seeds were investigated. Seeds were selected from the legumes, cereal and garden plants. Experiments were conducted in a completely randomized design with 3 replications. The results showed that germination in the seeds had a positive reaction to the bacteria. But bean seeds had different responses to treatments. Reaction of different seeds to mutant and wild bacteria was different. Chickpeas achieved 100% germination with growth-promoting bacteria. Soybeans, flax, mung bean, wheat and lettuce had higher germination rates than controls. In the other measured vegetative traits, the bacteria showed different responses to the bacteria compared to the control and should be carefully studied for their use. But in general it can be said that all seeds increased in most of the traits compared to control and showed a positive reaction.

Key Word: Biopriming, bacteria, Germination, gamma

* Email: samira.shahbazi.aeoi@gmail.com
[1] biopriming

مقدمه

امروزه در نظام‌های کشاورزی پایدار و ارگانیک، یکی از شیوه‌های بیولوژیکی برای افزایش کمی و کیفی تولید، استفاده بالقوه از میکروارگانیزم‌های مفید خاکزی است که می‌تواند با روش‌های مختلف موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه شوند. از جمله این موجودات می‌توان به باکتری‌های محرک رشد گیاه[1] اشاره کرد. این گروه از باکتری‌ها در منطقه اطراف ریشه (ریزوسفر)، از طریق مکانیسم‌های مختلفی موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شوند (Alikhani & Rastin, 2001). این باکتری‌ها به‌طور طبیعی در خاک‌ها وجود دارند ولی تعداد و تراکم آن‌ها در خاک پایین است؛ بنابراین تلقیح بذرهای گیاهان با این باکتری‌ها می‌تواند جمعیت آن‌ها را به حد مطلوب رسانده و در نتیجه منجر به بروز اثر مفید آن‌ها در خاک گردند (Cakmakci *et al*., 2007).

به همین لحاظ مدیریت جمعیت میکروارگانیسم‌ها در ریزوسفر به سوی استفاده بهینه از باکتری‌های محرک رشد گیاه پیش می‌رود (Turan *et al*., 2006). بررسی محققان نشان می‌دهد این باکتری‌ها دارای رابطه همیاری با گیاه میزبان می‌باشد ((Zaidi and Mohammad, (2006)؛ Vessey (2003)؛ Sturz and Christie (2003).

پیش‌جوانه‌زنی (پرایمینگ) بذر تکنیکی است که در طی آن اجازه داده می‌شود بذرها مقداری آب جذب کنند به‌طوری که مراحل اولیه جوانه‌زنی انجام شود اما ریشه‌چه خارج نشود (Barsa *et al*., 2005). بیوپرایمینگ به‌عنوان یکی از روش‌های پرایمینگ با ادغام دو جنبه زیستی (تلقیح بذر با موجودات زنده مفید) و فیزیولوژیکی (آبنوشی بذر) باعث بهبود کیفیت بذر می‌شود (Reddy, 2013). موثرترین، متداول‌ترین و اقتصادی‌ترین روش کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه تلقیح بذر می‌باشد (Rocha *et al*., 2019; Rivas-Franco *et al*., 2019).

ترویج کشاورزی پایدار با کاهش تدریجی استفاده از مواد شیمیایی مصنوعی و استفاده بیشتر از مواد مشتق شده از ضایعات زیستی (Fascella *et al*., 2015 and 2018) و همچنین پتانسیل بیولوژیکی و ژنتیکی گیاهان زراعی و میکروارگانیسم‌ها یک استراتژی موثر برای مبارزه با زوال سریع محیط زیست در حین اطمینان از بهره‌وری بیشتر کشاورزی و سلامت بهتر خاک است (Liu *et al*., 2016). مکانیزم‌هایی که به وسیله آنها باکتری‌ها (PGPR) موجب بهبود رشد در شرایط تنش می‌شوند عبارتند از بهبود جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه، توسعه سیستم ریشه و جلوگیری از ریزش اندام هوایی، افزایش گره‌زایی و تثبیت زیستی نیتروژن مولکولی است (Renaut *et al*., 2004). جستجوی جایگزین‌های سازگار با محیط زیست برای کاهش اثرات مضر مواد شیمیایی سمی منجر به کشف و استفاده کودهای زیستی و سایر محصولات مبتنی بر میکروب‌ها شد (Akinnuoye-Adelabu *et al*., 2019; Arancon *et al*., 2019; Mishra *et al*., 2017).

در تحقیقی بر روی بذر ذرت گزارش شد که تلقیح بذرها با سویه‌های باکتری سودوموناس (*Pseudomonas fluorescens*) باعث افزایش درصد جوانه‌زنی و بنیه بذر و تلقیح با باکتری آزوسپیریلیوم (*Azospirillium lipoferum*) اثر مثبت بر طول و وزن گیاهچه داشته است (Noumavo *et al*, 2013). افزایش طول گیاهچه و وزن خشک گیاهچه، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه گیاهچه در تلقیح بذرهای ذرت با باکتری باسیلوس (*Bacillus sp.*) نیز گزارش شده است (Rudolph *et al*., 2015).

افزایش ارتفاع بوته در اثر باکتری‌های محرک رشد توسط دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Abbaszadeh *et al*., 2014; Borham *et al*., 2017). در مطالعه دیگری در کلزا مشخص شد که تیمارهای باکتریایی سودوموناس پوتیدا و سودوموناس فلورسنس منجر به افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌شوند

[1] Plant Growth Promoting Rhizobacteria

(Glick, 1998). این قارچ‌ها از گونه‌های فعال موجود در ریزوسفر گیاهان هستند که قادرند با توسعه ریشه روی آن رشد نموده (Chang *et al*., 1986) و با کنترل فلور میکروبی خاک در ناحیه ریزوسفر گیاهان به افزایش رشد آن‌ها کمک کنند (Baker, 1998). افزایش مقدار ماده خشک در اندام هوایی گیاه در حضور قارچ‌های میکوریز نسبت به شاهد می‌تواند به‌دلیل افزایش جذب عناصر و یا بهبود جذب آب در این گیاهان باشد (Roydel *et al*., 2021).

با توجه به اهمیت روز افزون استفاده از کودهای بیولوژیک در راستای رسیدن به کشاورزی پایدار، هدف از مطالعه حاضر، بررسی تاثیر بایوپرایمینگ با سویه‌های موفق باکتری‌های بومی ایران بر مؤلفه‌های رویشی و مورفولوژیکی گیاهچه‌های حاصل از بعضی بذور نام برده بوده است. همچنین بررسی امکان افزایش کارایی گونه باسیلوس *Bacillus subtilis* با استفاده از القای جهش با روش پرتوتابی با پرتوی گاما و عدم بروز تاثیرات نامطلوب در اثر استفاده از موتانت‌ها بر روی مولفه‌های جوانه‌زنی هدف فرعی این تحقیق بوده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تاثیر باکتری‌های محرک رشد بر مولفه‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های بذور، آزمایشی در آزمایشگاه پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای البرز (پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملا تصادفی با سه تکرار و تعداد بذور در هر تکرار ۵۰ عدد انجام شد. هر فاکتور شامل شاهد و ۸ سویه از باکتری‌های محرک رشد بودند. آزمون هر بذر به صورت جدا از سایر بذور در این پژوهش به شرح زیر انجام گرفت. فاکتورهای مورد بررسی شامل بذور لوبیا (*Phseolus vulgaris Pinto group*) (رقم تلاش)، نخود (*Cicer arietinum*) (رقم بیوه نیج)، سویا (*Glycine max*) (رقم ویلیامز)، ماش سبز (*Vigna radiata L*) (رقم NM9)، گندم (*Triticum aestivum L*) (رقم پیشتاز)، کتان (*Linum usitatissimum*) رقم لیندا (Linda) و کاهو پیچ بلند آمریکایی (*Lactuca sativa*) بودند. پرایمینگ بذور با باکتری‌های محرک رشد شامل دو گونه آزوسپیریلیوم (*Azospirillium lipoferum*) و (*Azospirillium brasilense*)، سه گونه سودوموناس (*Pseudomonas putida*)، (*Pseudomonas aeruginosa*) و ((P169) *fluorescens Pseudomonas*) دریافت شده از دانشگاه آزاد واحد کرج و یک گونه باکتری باسیلوس (*Bacillus subtilis utb1*) و دو موتانت حاصل از پرتوتابی این گونه باکتریایی با کدهای m600 و m419 دریافت شده از کلکسیون پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای بودند. عدم تلقیح با باکتری به‌عنوان شاهد بود.

جهت تلقیح بذور با باکتری‌ها، ابتدا بذرها در هیپوکلریت‌سدیم ۳ درصد به‌مدت ۳ دقیقه ضدعفونی سطحی شدند. بعد ۳ مرتبه با آب مقطر استریل شستشو گردیدند تا اثر هیپوکلریت‌سدیم حذف شود. سپس به محلول حاوی باکتری منتقل گردید و در شیکر (۸۰ دور در دقیقه) به‌مدت دو ساعت قرار گرفتند تا نفوذ باکتری به داخل و پوست دانه امکان‌پذیر گردد. بذرها از مرکز تحقیقات کشاورزی هسته‌ای تهیه شدند و سپس به روش ایستا[1] آزمون جوانه‌زنی انجام شد (ISTA, 2010). نیاز دمایی و مدت نگهداری با توجه به پروتکل‌های توصیه شده توسط ایستا بوده و بعد از اتمام مدت زمان جوانه‌زنی صفات مربوط به رشد گیاهچه اندازه‌گیری شد. در هنگام شمارش، بذرهایی که طول ریشه‌چه آن‌ها حداقل دو میلی‌متر بود جوانه‌زده تلقی شدند. در پایان آزمایش از هر پتری‌دیش ۱۰ گیاهچه به تصادف انتخاب و طول و وزن تر و خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. صفت ارزیابی‌شده شامل درصد جوانه‌زنی (رابطه ۱) طول ساقه‌چه و ریشه‌چه وزن تر و خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه و شاخص‌های بنیه گیاهچه (شاخص ویگور VI:

[1] ISTA: The International Seed Testing Association

شاخص طولی بنیه گیاهچه) (رابطه ۲)

رابطه ۱ (Reddy and Khan, 2001):

$$\text{درصد جوانه زنی} = \frac{\text{تعداد بذرهای جوانه زده}}{\text{تعداد کل بذرها}} \times ۱۰۰$$

رابطه ۲ (Reddy and Khan, 2001):

$$VI = \frac{\%GR \times SL}{100}$$

VI: شاخص بنیه گیاهچه، GR: درصد جوانه‌زنی، SL: طول گیاهچه.

برای اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌های گیاهی به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. داده‌های به‌دست آمده از آزمایش هر گونه به صورت جداگانه با استفاده از نرم‌افزار SPSS تجزیه شدند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. همچنین ترسیم نمودارها با نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

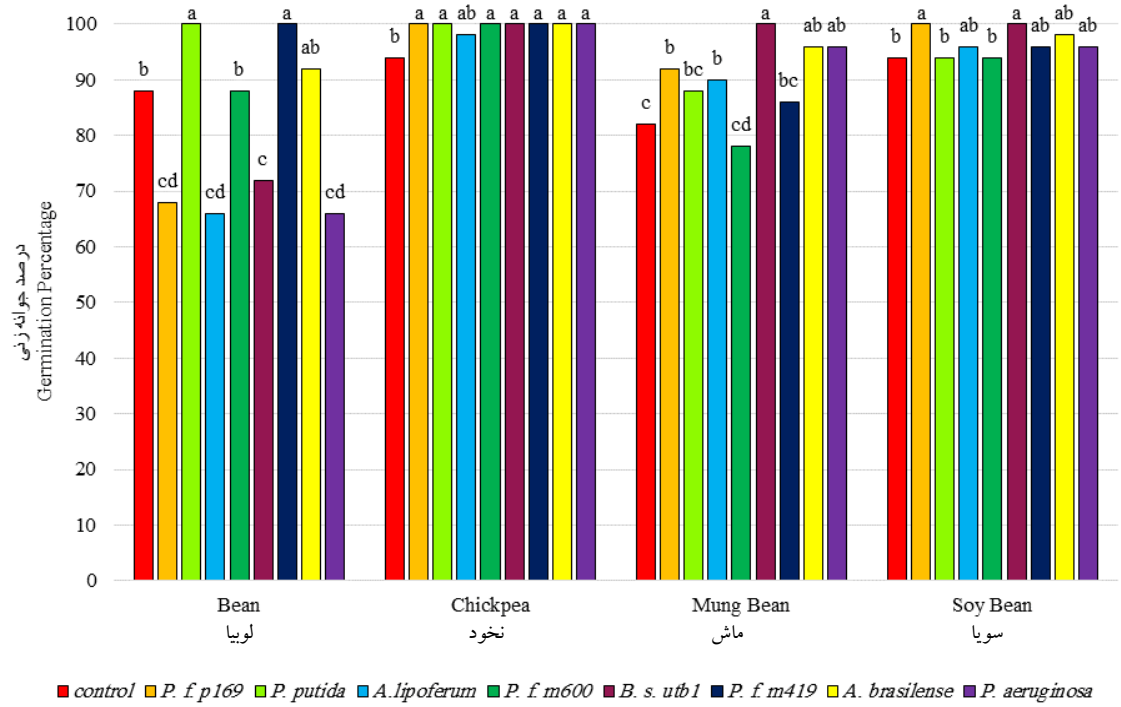
تاثیر باکتری‌ها بر ویژگی‌های مرتبط با بنیه گیاهچه‌های حبوبات

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و بنیه گیاهچه‌های حبوبات در جدول ۱ ارائه شده است. تمام مولفه‌های رشدی مورد بررسی در بذور لوبیا اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ داشتند. همان‌طور که مشاهده می‌شود کلیه شاخص‌ها به‌جز وزن تر و خشک ساقه در گیاهچه نخود در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری را نشان دادند که تاثیر مستقیم باکتری‌ها را بر ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاهچه‌ها به اثبات می‌رساند. اثر پیش‌تیماری باکتریایی بر صفات درصد جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه معنی‌دار گزارش شده است (Moradian *et al.*, 2016). نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و درصد جوانه‌زنی گیاهچه‌های نخود (جدول ۱) نشان داد، از بین ویژگی‌های مورفولوژیکی مورد بررسی، صفات طول ساقه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) تحت تاثیر تیمارهای باکتری‌ها قرار گرفتند. همچنین اثر باکتری‌ها بر طول ریشه‌چه و وزن تر ریشه‌چه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و درصد جوانه‌زنی گیاهچه‌های ماش (جدول ۱) نشان داد، تمام صفات مورد بررسی به‌صورت معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) تحت تاثیر باکتری‌ها قرار گرفتند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر صفات مورفولوژیکی و درصد جوانه‌زنی گیاهچه‌های سویا (جدول ۱) نشان داد، از بین صفات مورفولوژیک مورد بررسی، صفات درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و وزن تر و خشک ساقه‌چه به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) تحت تاثیر تیمارهای باکتری‌های مختلف وحشی و موتانت قرار گرفتند. همچنین اثر تیمارها بر طول ریشه‌چه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. صفات وزن تر و خشک ریشه‌چه تحت تاثیر قرار نگرفتند.

تاثیر باکتری‌های محرک رشد موتانت و وحشی بر قابلیت جوانه‌زنی بذور

در حبوبات واکنش بذور مختلف به باکتری‌های مختلف متفاوت بود و در گونه‌ها و موتانت‌های باکتری نیز واکنش‌های متفاوتی مشاهده شد. در تیمار شاهد لوبیا، نتیجه جوانه‌زنی کمتر از ۹۰٪ نشان داد و بیشترین میزان جوانه‌زنی برای تیمار با باکتری *P. putida* (100%) و موتانت m419 (100%) مشاهده شد. باکتری‌های *A. lipoferum*، *P. aeruginosa* و موتانت P169 جوانه‌زنی کمتر از ۷۰٪ داشتند (شکل ۱). در حالی‌که درصد جوانه‌زنی در بذر نخود (شاهد) ۹۴٪ بود و این گیاه با تیمارهای باکتری‌های محرک رشد ۱۰۰٪ جوانه‌زنی

نشان دادند (شکل ۱). بذر ماش نیز به تیمارهای باکتری وحشی و موتانت واکنش مثبت نشان داد و میانگین درصد جوانه‌زنی در ماش نشان داد تلقیح با باکتری موتانت utb1 منجر به جوانه‌زنی ۱۰۰٪ شد و تیمار شاهد از تیمارهای باکتری جوانه‌زنی کمتری را داشته است. تلقیح با باکتری موتانت m600 با ۷۸٪ جوانه‌زنی کمترین میزان جوانه‌زنی را داشت و تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ با شاهد نداشت (شکل ۱). بذر سویا در تلقیح با باکتری‌ها واکنش‌های مختلفی نشان دادند. در تیمارهای *A. brasilense*، *P. aeruginosa*، *A. lipoferum* و موتانت‌های P169، utb1 و m419 بیشترین میزان جوانه‌زنی را داشتند (۱۰۰٪ تا ۹۶٪) و تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ با شاهد نداشت (شکل ۱). باکتری *P. Fluorescence* از مهمترین اعضای جامعه ریز جانداران ریزوسفری به‌شمار رفته و اثر مثبت ناشی از تلقیح آن بر رشد گیاه به اثبات رسیده است (Sharma, 2003).



شکل ۱- درصد جوانه‌زنی حبوبات تیمار شده با باکتری‌های محرک رشد

Figure 1- germination percentage of legumes treated with growth-promoting bacteria

در بذر گندم تیمار با باکتری موتانت باسیلوس utb1 بالاترین درصد جوانه‌زنی (۱۰۰٪) مشاهده شد. با توجه به قوه نامیه بالای بذر گندم مورد استفاده در این تحقیق، می‌توان این باکتری را برای سبز شدن یکنواخت بذر گندم که از کیفیت قابل‌قبولی برخوردار باشند توصیه نمود. درصد جوانه‌زنی در شاهد و تیمار باکتری موتانت m600 به‌ترتیب ۷۸٪ و ۸۲٪ کمترین میزان جوانه‌زنی را داشتند (شکل ۲). بذر کاهو در تلقیح با باکتری‌های محرک رشد، واکنش‌های مشابهی داشتند. میانگین درصد جوانه‌زنی در تیمارهای موتانت p169، m600، utb1 و *A. brasilense* (۱۰۰٪) مشاهده شد. شاهد و *P. putida* با ۹۴٪ جوانه‌زنی کمترین میزان جوانه‌زنی را نشان دادند (شکل ۲). میانگین‌های درصد جوانه‌زنی بذر کتان در واکنش با باکتری‌های مختلف نیز بسیار متفاوت بود.

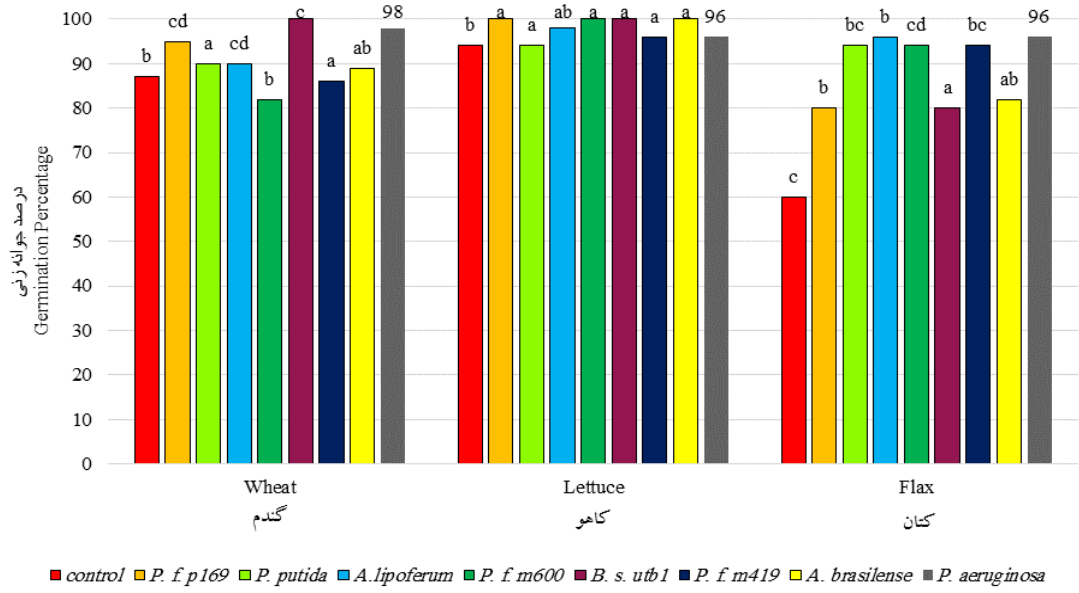
باکتری‌های *P. aeruginosa* و *A. lipoferum* (۹۶٪) و *P. putida* و utb1 (۹۴٪) بیشترین میزان جوانه‌زنی را داشتند. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با مطالعات منتشر شده توسط بخیت و همکاران (Bakhit *et al.*, 2016) که اظهار داشتند تلقیح بذر کتان با باکتری *P. fluorescens* موجب افزایش دو برابر نسبت به عدم تلقیح شد مناسبت داشت. شاهد با ۶۰٪ کمترین جوانه‌زنی را در بین دیگر تیمارها نشان داد (شکل ۲). همچنین مشخص گردید که کاربرد مایه تلقیح باکتری‌های محرک رشد سبب بیشترین افزایش در قابلیت جوانه‌زنی بذر و ویژگی‌های مرتبط با بنیه گیاهچه ذرت شد (Hamidi *et al.*, 2021).

الف: لوبیا

بررسی مقایسه میانگین تحت تیمار باکتری‌های محرک رشد در جدول ۲ نشان داد که طول ساقه در نمونه شاهد کمترین مقدار در بین تیمارها بود و حداکثر طول ساقه به تیمار باکتری *A. brasilense* تعلق داشت. طول ریشه نیز در تیمارهای باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش طول ریشه نیز شد. طول ساقه و ریشه در بذور لوبیا در مقایسه با شاهد در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند. باکتری‌های محرک رشد وزن تر ساقه و ریشه را تحت تاثیر قرار داده و موجب بهبودی آن شدند. وزن تر و خشک ساقه با باکتری *P. aeruginosa* به ترتیب ۴۸,۵۰ و ۱۶,۹۷ حداکثر وزن را در بین دیگر تیمارها نشان داد. وزن تر و خشک ریشه (به ترتیب ۱۲,۵۰ و ۲,۵۸) نیز در تیمار *A. lipoferum* افزایش یافته و تفاوت معنی‌داری با دیگر تیمارها داشت.

ب: نخود

مقایسه میانگین اثر تیماری پرایمینگ بذر نخود با باکتری‌های محرک رشد (جدول ۲) حاکی از آن است که بیشترین طول ساقه و ریشه در تیمار با باکتری موتانت m600 حاصل شده است. وزن تر و خشک ساقه با تیمار باکتری *P. putida* در بیشترین حالت بودند. وزن تر و خشک ریشه در تیمار موتانت m600 با حداکثر وزن ارزیابی شد. شاخص بنیه‌ای گیاهچه در تیمارهای باکتری‌های محرک رشد در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌داری نشان دادند. در تمام مولفه‌های ارزیابی‌شده شاهد در کمترین میزان قرار گرفت و تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد. باکتری‌های محرک رشد در این پژوهش باعث افزایش مولفه‌های رشدی ارزیابی شده بذر نخود شدند.



شکل ۲- درصد جوانه‌زنی تیمار شده با باکتری‌های محرک رشد

Figure 2- germination percentage treated with growth-promoting bacteria

جدول ۱- تجزیه واریانس قابلیت جوانه‌زنی و ویژگی‌های مرتبط با بنیه گیاهچه‌های حبوبات

Table 1- Variation analysis of germination capability and characteristics related to the vigor of legume seedlings

بذر seed	منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	درصد جوانه‌زنی Germination Percentage	طول Length		وزن تر fresh weight		وزن خشک dry weight		شاخص ویگور vigor index
				ساقه‌چه plumule	ریشه‌چه radicle	ساقه‌چه plumule	ریشه‌چه radicle	ساقه‌چه plumule	ریشه‌چه radicle	
لوبیا Bean	تیمار treatment	8	633.72 **	50.01**	32.38**	238.69 **	17.20**	61.20**	2.60 **	17522.94 **
	خطا error	18	76.87	4.65	1.18	9.49	1.75	5.1	0.5	800.60
	ضریب تغییرات c.v ٪		10.93	16.71	3.42	3.7	5.67	5.34	6.47	12.48
نخود Chickpea	تیمار treatment	8	27.60 ns	4.32 **	5.12 *	19.74 ns	9.11 *	9.08 ns	3.26 **	22.11**
	خطا error	18	8.8	0.65	1.04	6.92	2.16	3.36	0.27	2.59
	ضریب تغییرات c.v ٪		3.05	8.76	12.22	17.31	21.77	24.7	22.2	9.83
ماش Mung bean	تیمار treatment	8	413.16 **	56.74**	67.28**	3.42 **	1.28 **	0.06**	0.006**	23857.86**
	خطا error	18	45.16	0.79	0.57	0.04	0.01	0.007	0.0001	236.77
	ضریب تغییرات c.v ٪		7.54	7.92	6.65	5.81	10.1	11.15	8.23	7.73
سویا Soy bean	تیمار treatment	8	339.01**	15.12**	8.37 *	15.64**	2.07 ns	5.87**	1.31ns	5316.01**
	خطا error	18	21.47	1.15	1.73	1.71	0.91	0.16	0.14	80.11
	ضریب تغییرات c.v ٪		7.69	4.86	4.08	7.45	2.41	5.69	4.04	11.32

** ، * و ns به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم اختلاف معنی داری می باشد.

**, * and ns, respectively, indicate significance at the probability level of 1 and 5 percent and no significant difference.

ج: ماش

مقایسه میانگین‌های مولفه‌های رشدی در بذر ماش (جدول ۲) نشان داد، طول ساقه و ریشه در تیمار با باکتری *A. lipoferum* تحت تاثیر قرار گرفته و افزایش یافتند. طول ساقه در شاهد (بدون تلقیح با باکتری) کمترین ارتفاع را داشت. وزن تر و خشک ساقه در تیمارهای *A. brasilense* و *P. aeruginosa* افزایش یافته و تفاوت معنی‌داری با دیگر تیمارها نشان دادند. وزن تر و خشک ریشه در تیمار با باکتری *A. lipoferum* حداکثر و شاهد کمترین وزن را نشان داد. بالاترین شاخص بنیه‌ای گیاهچه نیز در تیمار با باکتری *A. lipoferum* ارزیابی شد.

د: سویا

در مقایسه میانگین‌های ارزیابی‌شده سویا (جدول ۲) مشاهده شد، تیمار باکتری موتانت p169 در تمام مولفه-های رشدی اندازه‌گیری شده حداکثر میزان را نشان داد. شاهد در مقایسه با تیمارهای باکتری‌های محرک رشد تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و کمترین میزان را نشان داد. متوسط زمان جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی در بذرهای پرایم‌شده کلزا، گندم، نخود، سویا، یونجه، ذرت، سورگوم، هندوانه، برنج، کاهو و لوبیا به‌طور معنی‌داری بهبود یافت، که این امر حکایت از تسریع جوانه‌زنی و افزایش بنیه بذر در اثر کاربرد تیمارهای پیش از کاشت دارد (Duman, 2006; Barsa *et al*., 2005).

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در تیمار باکتری‌های موتانت و وحشی در بذر حبوبات

Table 2- Comparison of the mean traits studied in the treatment of mutant and wild bacteria in legume seeds

بذر seed	تیمار treatment	طول Length		وزن تر fresh weight		وزن خشک dry weight		شاخص ویگور vigor index
		ساقه‌چه plumule	ریشه‌چه radicle	ساقه‌چه plumule	ساقه‌چه Plumule	ریشه‌چه radicle	ساقه‌چه plumule	
لوبیا Bean	control	12.0 e	11.10 efg	28.11 h	4.22 f	8.74 c	2.79 b	20.48 d
	p169	14.90 bcd	11.70 def	39.08 c	9.88 c	7.55 cd	3.76 ab	18.09 de
	P. putida	15.30 bcd	12.60 cdef	46.91 ab	11.20 ab	15.38 a	1.66 e	27.90 bc
	A. lipoferum	12.60 d	12.90 cde	30.67 f	12.50 a	4.64 de	2.58 c	16.80 e
	m600	14.00 cd	17.30 a	39.09 c	10.01 b	7.56 cd	3.53 a	27.62 bc
	utb1	14.300 bcd	11.70 def	28.84 g	10.07 b	12.81 ab	3.18 ab	18.41 de
	m419	17.40 abc	15.80 ab	35.13 e	9.14 d	3.60 ef	3.69 a	33.20 a
	A. brasilense	19.90 a	14.40 bc	38.06 d	6.52 ef	6.53 cde	2.14 d	31.53 ab
	P. aeruginosa	18.00 ab	13.40 cd	48.50 a	7.44 e	16.97 a	2.57 c	20.15 d
نخود Chickpea	control	8.50 d	8.30 f	13.11 e	6.72 g	9.79 c	4.72 c	15.73 f
	p169	11.30 bc	11.20 cd	34.08 bc	10.88 c	8.14 c	5.36 ab	22.50 abcd
	P. putida	12.00 ab	11.40 cd	41.91 a	12.00 ab	10.38 ab	3.60 e	23.40 ab
	A. lipoferum	11.90 ab	12.90 ab	30.67 c	13.67 a	7.36 c	4.55 c	24.30 a
	m600	13.30 a	11.00 cde	34.09 bc	12.08 c	6.74 d	5.59 a	24.30 a
	utb1	11.60 ab	10.10 de	28.84 d	12.17 bc	11.86 a	5.86 ab	21.70 abcde
	m419	11.20 bc	11.00 cde	35.13 bc	11.10 d	4.64 e	5.96 a	22.20 abcde
	A. brasilense	11.40 abc	11.90 bc	38.06 ab	8.52 ef	6.53 d	4.19 d	23.30 abc
	P. aeruginosa	11.10 bc	13.40 a	33.50 bc	9.54 e	4.26 de	4.96 c	24.50 a
ماش Mung bean	control	10.00 e	8.40 f	3.04 cd	0.58 e	0.78 bc	0.05 d	15.24 e
	p169	15.10 bc	14.50 bcd	3.88 bc	1.44 cd	0.66 d	0.11 abc	27.23 bc
	P. putida	14.50 c	13.60 cde	3.85 bc	1.44 cd	0.70 cd	0.11 abc	24.68 d
	A. lipoferum	17.00 a	17.50 a	3.92 b	2.33 a	0.55 e	0.13 ab	31.06 a
	m600	5.15 f	5.40 g	2.17 e	0.19 f	0.79 abc	0.009 e	8.25 f
	utb1	13.10 cd	14.80 bc	4.61 a	1.65 c	0.80 ab	0.14 a	27.9 b
	m419	16.10 ab	17.10 a	3.38 d	1.37 d	0.58 e	0.11 abc	28.55 b
	A. brasilense	12.80 d	14.10 bcd	4.66 a	2.02 c	0.85 a	0.12 abc	25.82 cd
	P. aeruginosa	15.20 bc	15.30 b	4.64 a	1.45 d	0.85 a	0.11 abc	29.28 ab
سویا Soy bean	control	11.80 c	7.00 e	8.45 f	0.38 g	2.05 bcd	0.06 g	1.82 ef
	p169	17.20 a	10.50 a	13.83 a	1.91 a	2.85 a	0.13 a	4.18 a
	P. putida	14.60 abc	8.70 bcde	12.07 c	1.55 abc	2.58 abc	0.09 c	3.02 bc
	A. lipoferum	15.20 ab	8.10 cde	11.76 d	1.53 abc	2.52 abc	0.12 a	3.02 bc
	m600	15.30 ab	9.50 abcd	13.19 ab	1.63 ab	2.03 bcd	0.10 b	3.47 b
	utb1	12.90 bc	7.90 de	11.80 d	1.46 bcd	2.20 abcd	0.08 d	2.54 de
	m419	14.20 abc	8.40 bcde	10.68 de	1.18 cde	2.32 abcd	0.07 fg	2.70 cd
	A. brasilense	15.30 ab	9.70 abc	9.13 f	1.08 ef	2.64 ab	0.08 de	2.88 bcd
	P. aeruginosa	15.40 ab	10.10 ab	11.51 d	1.14 def	1.93 cd	0.08 ef	3.32 bc

ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

Means followed by the same letter in the columns are not different (P < 0,05).

تاثیر باکتری‌ها بر ویژگی‌های مرتبط با بنیه گیاهچه‌های گندم، کاهو و کتان

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، بنیه‌ای و درصد جوانه‌زنی گیاهچه‌های گندم، کاهو و کتان حاصل از بذور تلقیح‌شده با باکتری‌های وحشی و موتانت در بیشتر شاخص‌های مورد اندازه‌گیری در سطح ۱٪ معنی‌دار شده است و واکنش گیاهان مختلف در این گروه با یکدیگر متفاوت بوده است (جدول ۳). نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و درصد جوانه‌زنی گیاهچه‌های گندم (جدول ۳) نشان داد، از بین ویژگی‌های مورفولوژیکی مورد بررسی، صفات درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، وزن تر ساقه‌چه، وزن تر ریشه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف معنی‌دار بودند و فقط صفت وزن خشک ریشه‌چه در سطح احتمال پنج درصد تحت تاثیر تیمارهای باکتری قرار گرفت. از بین شاخص‌های مورفولوژیکی در گیاهچه‌های کاهو، کلیه شاخص‌های مورد بررسی صفات درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه و وزن تر ساقه‌چه و ریشه‌چه به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) تحت تاثیر تیمارهای باکتری‌های موتانت و وحشی قرار گرفتند، اما صفت وزن خشک ساقه‌چه تحت تاثیر باکتری‌ها قرار نگرفت (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس قابلیت جوانه‌زنی و ویژگی‌های مرتبط با بنیه گیاهچه‌های گندم، کاهو و کتان

Table 3- Variation analysis of germination capability and characteristics related to the vigor of wheat, lettuce and flax seedlings

بذر seed	منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	درصد جوانه‌زنی Germination Percentage	طول Length		وزن تر fresh weight		وزن خشک dry weight		شاخص ویگور vigor index
				ساقه‌چه plumule	ریشه‌چه radicle	ساقه‌چه plumule	ساقه‌چه plumule	ریشه‌چه radicle	ساقه‌چه plumule	
گندم Wheat	تیمار treatment	8	317.19**	53.97 **	61.29 **	4.48 **	2.36 **	0.06 **	0.005	23857.86**
	خطا error	18	48.13	0.59	0.74	0.05	0.02	0.008	0.001	236.77
	ضریب تغییرات c.v ٪		7.93	8.01	7.74	6.83	10.12	7.02	15.82	8.49
کاهو Lettuce	تیمار treatment	8	282.00**	0.04 **	1.53 **	0.003 **	0.006 **	0.002 ns	0.002 **	4.41 **
	خطا error	18	11.2	0.045	0.065	0.001	0.002	0.001	0.001	0.19
	ضریب تغییرات c.v ٪		4.64	3.72	6.34	15.27	22.36	22.58	6.2	5.82
کتان Flax	تیمار treatment	8	285.1**	12.71 **	4.61 **	0.05 ns	0.005 ns	0.002 *	0.0004 *	60.95 **
	خطا error	18	10.1	0.53	0.15	0.0159	0.003	0.0003	0.0002	0.72
	ضریب تغییرات c.v ٪		4.1	8.22	5.89	6.58	8.9	8.2	10.2	3.72

** ، * و ns به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم اختلاف معنی داری می باشد.

**, * and ns, respectively, indicate significance at the probability level of 1 and 5 percent and no significant difference.

تجزیه واریانس داده‌های به‌دست آمده از بذر کتان تیمار شده با باکتری‌ها نشان داد که صفات درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و بنیه گیاهچه در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری با دیگر صفات داشتند. وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه در گیاهچه‌های کتان در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شدند. صفت وزن خشک در گیاهچه‌های کتان تحت تاثیر تیمارها قرار نگرفتند (جدول ۳). باکتری‌های محرک رشد با تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه از جمله اکسین به‌طور مستقیم سبب افزایش رشد ساقه شده و با تولید سیتوکینین بر آنزیم‌های لیپاز و پروتئاز اثر منفی گذاشته و مانع تجزیه پروتئین در محیط داخلی سلول شده که به این وسیله باعث تقسیم سلولی گشته و از این طریق به‌طور غیرمستقیم در افزایش قطر طوقه موثر واقع می‌شوند (Mohammad Varzi *et al*., 2011; Nubakht *et al*., 2021).

الف: گندم

مقایسه میانگین بیوپرایمینگ بذر گندم با باکتری‌های موتانت و وحشی اغلب تیمارها طول ساقه‌چه و ریشه‌چه بالاتری نسبت به تیمار پرایم‌نشده نشان داد، به‌طوری که باکتری *A. lipoferum* طول ساقه‌چه و ریشه‌چه را به‌ترتیب ۱,۷ و ۲ برابر افزایش داد. در بین تیمارها باکتری موتانت m600 موجب کاهش صفات ارزیابی شد. به‌جز تیمار باکتری موتانت m600 بقیه تیمارهای باکتری موجب افزایش صفات ارزیابی شده نسبت به شاهد شد. وزن خشک ساقه در تیمارهای *A. brasilense* و *P. aeruginosa* نسبت به شاهد ۳۱,۷۷٪ افزایش داشت. تیمار تلقیح بذر گندم با باکتری موتانت utb1 نسبت به شاهد ۲,۸ برابر ارزیابی شد (جدول ۴). در پژوهشی که یزدانی و پیردشتی (Yazdani and Pirdashti, 2011) انجام دادند، نشان داده شد که باکتری‌های *Pseudononas putida*، *Azospirillum brasilens* و *Bacillus lentus* بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های گندم اثرات مطلوب داشتند. ساریخانی و همکاران (Sarikhani *et al*., 2019) افزایش معناداری در وزن تر و خشک کل در گیاه ذرت در اثر تلقیح با برخی کودهای میکروبی فسفاته را گزارش کردند.

ب: کاهو

مقایسه میانگین‌های به‌دست آمده از آنالیز داده‌های کاهو (جدول ۴) نشان داد، تیمار بدون تلقیح با باکتری‌های محرک رشد از دیگر تیمارها کمتر بود و با تیمارهای دیگر در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری داشت. باکتری موتانت p169 موجب افزایش تمام صفات مورد ارزیابی در سطح احتمال ۵ درصد شد. دیگر باکتری‌های مورد استفاده (موتانت و وحشی) نسبت به شاهد افزایش داشتند و در گروه بندی دانکن تفاوت نشان دادند. کاربرد کودهای زیستی (باکتری‌های محرک رشد) موجب افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی و تعداد برگ کاهو گردید (Sansamma and Pillai, 2000).

ج: کتان

مقایسه میانگین‌های به‌دست آمده از آزمایش جوانه‌زنی بذر کتان (جدول ۴) تفاوت زیادی در بین باکتری‌ها نشان داد، به‌طوری که تیمار شاهد از دیگر تیمارها کمتر بود و در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با دیگر تیمارها نشان دادند. حداکثر طول ساقه در تیمارهای p169 و *A. lipoferum* و طول ریشه در تیمارهای *P. aeruginosa* و p169 مشاهده شد. تلقیح بذر کتان با باکتری موتانت utb1 موجب افزایش ۱,۶ برابر وزن تر و ۲,۹ برابر وزن خشک ساقه و ۲,۷ برابر وزن تر و ۴,۷ برابری وزن خشک ریشه نسبت به تیمار عدم تلقیح شد. شاخص بنیه گیاهچه که رابطه مستقیمی با درصد جوانه‌زنی دارد در تیمار p169 نسبت به تیمار شاهد ۱۹۰٪ افزایش نشان داد. افزایش بنیه طولی گیاهچه‌های کتان در حالت تلقیح با باکتری *P. fluorescens* گزارش شده است (Bakhit *et al*., 2016).

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در تیمار باکتری‌های موتانت و وحشی در بذر گندم، کاهو و کتان

Table 4- Comparison of the average traits studied in the treatment of mutant and wild bacteria in wheat, lettuce and flaxseed

بذر seed	تیمار treatment	طول Length		وزن تر fresh weight		وزن خشک dry weight		شاخص ویگور vigor index
		ساقه‌چه plumule	ریشه‌چه radicle	ساقه‌چه plumule	Radicle	plumule	ساقه‌چه plumule	
گندم Wheat	control	10.00 e	8.40 f	3.04 de	0.58 f	0.58 c	0.05 d	15.25 f
	p169	15.10 bc	14.50 cd	3.88 bc	1.44 de	0.66 c	0.11 abc	27.23 bcd
	P. putida	14.50 c	13.60 de	3.85 bc	1.44 de	0.70 bc	0.11 abc	24.69 de
	A. lipoferum	17.00 a	17.50 a	3.92 b	2.33 a	0.79 ab	0.13 ab	31.07 a
	m600	5.15 f	5.40 g	2.17 f	0.19 g	0.55 c	0.009 e	8.25 f
	utb1	13.10 d	14.80 bc	4.61 a	1.65 c	0.80 ab	0.14 a	27.90 bc
	m419	16.10 ab	17.10 a	3.38 d	1.37 e	0.78 ab	0.11 abc	28.56 b
	A. brasilense	12.80 d	14.10 bc	4.66 a	2.02 b	0.85 a	0.12 abc	25.82 cde
	P. aeruginosa	15.20 bc	15.30 b	4.64 a	1.45 d	0.85 a	0.11 abc	29.28 ab
کاهو Lettuce	control	11.80 c	7.00 e	8.45 g	0.38 f	2.05 d	0.06 f	1.82 gh
	p169	17.20 a	10.50 a	13.83 a	1.91 a	2.85 a	0.13 a	4.18 a
	P. putida	14.60 abc	8.70 bc	12.07 c	1.55 ab	2.58 abc	0.09 bc	3.02 bcd
	A. lipoferum	15.20 ab	8.10 d	11.76 cd	1.53 ab	2.52 abc	0.12 a	3.02 bcd
	m600	15.30 ab	9.50 abc	13.19 ab	1.63 ab	2.03 d	0.10 b	3.47 b
	utb1	12.90 bc	7.90 d	11.80 cd	1.46abc	2.20 abcd	0.08 cd	2.54 defg
	m419	14.20 abc	8.40 bcd	10.68 ef	1.18 d	2.32 abcd	0.07 ef	2.70 cdef
	A. brasilense	15.30 ab	9.70 ab	9.13 g	1.08 e	2.64 ab	0.08 cd	2.88 bcde
	P. aeruginosa	15.40 ab	10.10 ab	11.51 cde	1.14 de	1.93 d	0.08 de	3.32 bc
کتان Flax	control	11.80 ef	4.10 e	4.53 c	0.90 fg	0.58 e	0.15 b	1.02 g
	p169	17.10 a	10.50 a	6.83 a	1.91bcd	0.85 e	0.18 b	2.96 a
	P. putida	14.60 bcd	8.70 bc	7.07 a	2.05abc	1.69 a	0.57 a	2.30 bcd
	A. lipoferum	17.20 a	8.10 abcd	7.26 a	2.03abc	1.02 cd	0.29 b	2.64 ab
	m600	14.10 bcd	9.50 abc	6.69 a	1.63cde	0.93 de	0.13 b	2.28 bcd
	utb1	12.90 de	7.90 bcd	7.30 a	2.46 a	1.70 a	0.58 a	1.98 def
	m419	14.20 bcd	8.40 abcd	7.18 a	1.18 f	1.32 ab	0.73 a	2.21 cde
	A. brasilense	15.30 abc	9.70 ab	5.63 b	2.08abc	1.14 c	0.27 b	2.34 bcd
	P. aeruginosa	15.40 ab	10.10 a	6.51 a	2.14 ab	1.03 cd	0.25 b	2.55 abc

ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

Means followed by the same letter in the columns are not different (P < 0,05).

نتیجه‌گیری کلی

به‌نظر می‌رسد استفاده از روش بیوپرایمینگ بذور با باکتری‌های محرک رشد، برای بهبود مؤلفه‌های رشدی گیاه‌چه و جوانه‌زنی در گیاهان مطلوب است. باکتری‌های محرک رشد با در اختیار گذاشتن مواد مورد نیاز گیاهچه‌ها، افزایش ریشه‌های جانبی، درصد جوانه‌زنی، وزن تر و خشک را بالا می‌برند. علاوه بر این نباید از نظر دور داشت که تلقیح بذور گیاهی با عوامل بیولوژیکی مانند باکتری‌ها، که دامنه وسیعی از عوامل خاکزاد (قارچی و باکتریایی) را کنترل می‌کند و بر اساس مطالعات مختلف در افزایش مقاومت گیاه بر استرس‌های بیولوژیک و محیطی نقش چشم‌گیری دارد، روش مناسبی است و نتایج این مطالعه حاکی از آن است که القای جهش با پرتو گاما و انتخاب موتانت‌های مناسب، می‌تواند در کاستن از عکس‌العمل‌های اولیه برخی گیاهان به حضور باکتری‌ها در نیچ اکولوژیک ریشه‌چه و افزایش کارایی‌های مثبت این باکتری‌ها موثر بوده و به‌عنوان تکنیکی راهگشا قابل توصیه باشد. استفاده از باکتری‌های محرک رشد به عنوان پیش تیمار باعث بهبود ویژگی‌های زراعی گیاهان شد. چون توان باکتری در توسعه اندام هوایی و بهبود شرایط تغذیه‌ای اندام هوایی بیشتر از ریشه اهمیت دارد، لذا تیمارهای باکتریایی در تمام پارامترهای اندازه‌گیری شده در مقایسه با تیمار شاهد نتیجه مناسب‌تری به‌دست دادند. با این تفاوت که برخی از زادمایه‌های اثرگذاری بهتری داشتند. به هر حال، تفاوت گیاهان در عکس‌العمل به وجود باکتری‌های محرک رشد، نشان می‌دهد پیش از توصیه این عامل بیولوژیک، باید کنش‌های متقابل گونه‌های مختلف این قارچ را هر گیاه (و حتی هر واریته و رقم) به‌طور مستقل بررسی و سپس استفاده نمود.

منابع

Reference

Abbaszadeh Dahaji, P., H. Asadi Rahmani, K. Khavazi, A. A. Soltani Tolarod, A. R. Akhgar, and M. Omidvari. 2014. Plant growth promoting Fluorescent Pseudomonads effects on growth and development of canola. Soil Manage. Sustain. Prod. 4(1): 201- 217. (In Persian)

Akinnuoye-Adelabu, D. B., S. Steenhuisen, and E. Bredenhand. 2019. Improving pea quality with vermicompost tea and aqueous biochar: Prospects for sustainable farming in Southern Africa. S. Afr. J. Bot. 123: 278–285.

Alikhani, H., and S. Rastin. 2001. The Need for Mass Production of Biological fertilizers To Stimulate the Growth of PGPR in Order to Achieve Sustainable Agriculture. Collection of Articles on the Necessity of Industrial Production of biological fertilizers in the country, Agric Edu Pub, Karaj.

Arancon, N. Q., J. D. Owens, and C. Converse. 2019. The effects of vermicompost tea on the growth and yield of lettuce and tomato in a non-circulating hydroponics system. J. Plant Nutr. 42: 2447–2458.

Baker, R. 1988. Trichoderma sp. As plant-growth Stimulants. Critical Rev. in Biotechnol. 7: 97-196.

Bakhit, M., A. Moradi, and M. Abdullahi. 2016. The effect of bio-priming with Trichoderma and Pseudomonas on germination and some biochemical characteristics of decayed flax seeds of Nomen cultivar. Plant Proc. Function. 6: 46-59. (In Persian, with English Abstract)

Barsa, S. M. A., M. Farooq, R. Tabassum, and N. Ahmad. 2005. Physiological and Biologycal aspects of seed vigor enhancements in fine rice (oryza sativa L.) Seed Sci. Technol. 33: 623-628.

Basra, S. M., A. M. Ashraf, N. Iqbal, A. Khaliq, and R. Ahmad. 2004. Physiological and biochemical aspects of pre- sowing heat stress on cotton seed. Seed Sci. Technol. 32: 765- 774.

Borham A., E. Belal, M. Metwaly, and S. h. El-Gremy. 2017. Phosphate Solubilization by Enterobacter cloacae and its Impact on Growth and Yield of Wheat Plants. Sustain. Agric. Sci. 43(2):89-103.

Cakmakci, R. I., M. F. Donmez, and U. Erdogan. 2007. The effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on barely seedling growth, nutrient uptake, some soil properties, and bacterial counts. Turk. J. Agric, 31: 189-199.

Chang, Y.C., R. Baker, O. Kleifeld, and I. Chet. 2007. Increased growth of plants in the presence of the biological control agents Tricoderma harzianum. Plant Dis. 70: 145-148.

Duman, I. 2006. Effects of seed priming whit PEG and K3Po4 on germination and seedling growth in Lettuce. Pak. J. Biol. Sci. 9(5): 923-928.

Fascella, G., E. Montoneri, and M. Francavilla. 2018. Biowaste versus fossil sourced auxiliaries for plant cultivation: The Lantana case study. J. Clean. Prod. 185: 322–330.

Fascella, G., E. Montoneri, M. Ginepro, and M. Francavilla. 2015. Effect of urban biowaste derived soluble substances on growth, photosynthesis and ornamental value of Euphorbia × lomi. Sci. Hortic. 197: 90–98.

Glick, B. R. 1998. A model for the lowering of plant ethylene concentration by PGPR. J. Theorical Biol. 190: 63-68.

Hamidi, A., A. Asgharzadeh, A. Ahmadi, S. Akbari Vala, and R. Choukan. 2021. Effect of Plant Growth Promoting Bacteria (PGPB) and Mycorrhizae Fungi on three Maize (Zea mays L.) Hybrids Some Seed Germination and Seedling Vigour Trait. J. agri. Sci. Sustain. Prod. 31(3): 149-167. doi: 10.22034/saps.2021.13700 (In Persian)

ISTA. 2010. International Rules for Seed Testing. Seed Sci. Technol. 13: 299–520.

Liu, J., K. Ma, P. Ciais, and S. Polasky. 2016. Reducing human nitrogen use for food production. Sci. Rep. 6: 30104.

Mishra, S., K. H. Wang, B. S. Sipes, and M. Tian. 2017. Suppression of root-knot nematode by vermicompost tea prepared from different curing ages of vermicompost. Plant Dis. 101: 734–737.

Mohammad Varzi, R., D. Habibi, S. Wazan, and A. R. Pakzi. 2011. Effect of growth stimulant bacteria and nitrogen fertilizer on yield and yield components of sunflowers. 12 page. Fifth Natl. Conf. on New Ideas in Agric., Islamic Azad University of Khorasgan Branch (Isfahan). Faculty of Agric. 27- 28 February. (In Persian)

Moradian, Z., F. Azadbakht, A. Omidi., and R. Bazmakani. 2016. The effect of growth-promoting bacteria and Trichoderma on germination of Balango under salinity stress. J. Seed Res.6: 28-45. (In Persian, with English Abstract)

Noumavo, A. P., E.Kochoni, Y.O. Didagbé, A. Adjanohoun, M. Allagbé, and R. Sikirou. 2013. Effect of different plant growth promoting rhizobacteria on maize seed germination and seedling development. Am. J. Plant Sci. 4: 1013–1021. doi: 10.4236/ajps.2013.45125

Nubakht, S., M. R. Sarikhani, N., Najafi. 2021. Effect of Enterobacter cloaca solid derivatives on canola seed and oil yield. Agric. Knowl. Sustain. Prod. 31(1): 103-123. (In Persian)

Reddy, P. P. 2012. Recent advances in crop protection. Springer, New Delhi.

Reddy, Y. T. N. and M. M. Khan. 2001. Effect of osmopriming on germination, seedling growth and vigour of khirni (Mimusops hexandra) seeds. Seed Res. 29: 24-27.

Renaut, J. S. Lutts, L. Hoffmann, and J. F. Hausman. 2004. Responses of poplar to chilling temperature: proteomics and physiological aspects. Plant Biol. 6: 81 – 90.

Rivas-Francoa F., J. G. Hamptona, M. E. Morán-Diezc, J. Narcisoa, M. Rostás, P. Wessmand, T. A. Jacksone, and T. R. Glare. 2019. Effect of coating maize seed with entomopathogenic fungi on plant growth and resistance against Fusarium graminearum and Costelytra giveni. Biocontrol Sci. Technol. 29(9): 1-25.

Rocha I., I. Duarte, Y. Ma, P. Souza-Alonso, A. Látr, M. Vosátka, H. Freitas, and R. S. Oliveira. 2019. Seed Coating with Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Improved Field Production of Chickpea. Agron. 9(471): 1-11

Roydel, Z., M. Barin, M. H. Rasouli Sedghiani, and M. Khezri. 2021. Isolation and Identification of PGP Rhizobacteria from Saline Soils and Their Effect on Nutrients Uptake in Wheat under Salinity Stress. Soil and Plant Interactions. 11(4): 81-100. (In Persian)

Rudolph, N., N. Labuschagne, and T. A. S. Aveling. 2015. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on seed germination and seedling growth of maize. Seed Sci. Technol. 43: 1-12.

Sansamma, G. and G. R. Pillai. 2000. Effect of vermicompost on yield and economics of guinea grass (Panicum maximum) grown as an intercrop in coconut (Cocos nucifera) gardens. Indian J. Agron. 45(4): 693-697.

Sarikhani M. R., N. Ali Asgharzad, and B. Khooshroo. 2019. Fectiveness study of phosphate solubilizing bacteria in the formulation of phosphatic microbial fertilizers on Corn. Soil and Water Res. 49 (1):71-81. (In Persian).

Sharma, A.K. 2003. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Updesh Purohit for Agrobios, India.

Sturz, A. V. and B. R. Christie. 2003. The management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. Soil Tillage Res. 72: 107-123

Turan, M., N. Ataoglu and F. Sahin. 2006. Evaluation of the capacity of phosphate solubilizing bacteria and fungi on different forms of phosphorus in liquid culture. Sustain. Agric. 28: 99-108.

Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. Plant and Soil. 255: 271- 586.

Yazdani, M., and H. Pirdashti. 2011. Effect of growth-promoting rhizobacteria on germination and seedling growth of wheat (Triticum aestivum L.) under salinity conditions. Appl. Agric. Res. 24(3): 24-30. (In Persian, with English Abstract)

Zaidi, A., and S. Mohammad. 2006. Co-inoculation effects of phosphate solubilizing micro organisms and Glomus fasciculatum on green gram-bradyrhizobium symbiosis. Agric. Sci. 30: 223 -230.