



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



ارزیابی توانایی آزادسازی پتاسیم از منابع نامحلول توسط باکتری‌های جدا شده از خاک شالیزار

محدثه نظری^۱، نرگس صدیقی^۱، فاطمه فاضلی^۲، محمدباقر فرهنگي^{۳*}، نسرین قربان‌زاده^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
 - ۲- دانشجوی سابق کارشناسی گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
 - ۳- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
 - ۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
- * پست الکترونیکی نویسنده مسئول مقاله (m.farhangi@guilan.ac.ir)

چکیده

مقدار پتاسیم کل در خاک‌ها حدود ۲ درصد است که بیشتر به شکل غیرقابل دسترس در کانی‌های سیلیکاتی می‌باشد. باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم می‌توانند این کانی‌ها را تخریب کرده و پتاسیم آن را آزاد کنند. این پژوهش با هدف جداسازی باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم از خاک شالیزار و بررسی توانایی آنها در آزادسازی پتاسیم از مسکوویت انجام شد. نمونه‌برداری خاک از محوطه دانشگاه گیلان انجام و باکتری‌ها در محیط الکساندروف کشت شدند. چهار سویه متمایز A تا D باکتری که توان رشد در محیط الکساندروف را داشتند جدا شدند و پس از تکثیر به خاک شالیزار مایه‌زنی شدند. غلظت پتاسیم محلول و تبدالی در خاک‌ها به مدت یک ماه بررسی شد. سویه D بیشترین مقدار پتاسیم محلول (mg g^{-1}) را در محیط مایع الکساندروف تولید کرد و در محیط جامد نیز بزرگ‌ترین قطر هاله انحلال پتاسیم را داشت. در خاک شالیزار، تاثیر مایه‌زنی سویه‌های منتخب معنی‌دار نبود اما تاثیر زمان معنی‌دار شد ($p < 0.05$). بیشترین مقدار پتاسیم محلول و تبدالی ($124/5 \text{ mg kg}^{-1}$) در هفته سوم مشاهده شد. نتایج نشان داد که باکتری‌های بومی خاک شالیزار، به‌ویژه سویه D، توانایی بالایی در آزادسازی پتاسیم از کانی مسکوویت دارند و می‌توانند به بهبود حاصلخیزی خاک‌ها کمک کنند.

واژگان کلیدی: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، مسکوویت، پتاسیم محلول و تبدالی



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



مقدمه

پتاسیم از نظر تغذیه‌ای سومین عنصر ضروری برای رشد گیاهان بوده و به‌ویژه در افزایش عملکرد و کیفیت محصول و همچنین مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی مفید است (Torabian et al., 2021). مقدار پتاسیم کل در خاک‌ها بیش از ۲ درصد گزارش شده است که بیشتر در فرم غیرقابل دسترس (در کانی-های سیلیکاتی مانند میکا و فلدسپار) است و بخش‌های در دسترس یا فراهم آن که می‌تواند به طور مستقیم توسط گیاهان جذب شود، تنها ۲-۱ درصد از پتاسیم کل موجود در خاک را تشکیل می‌دهد. بنابراین درباره پتاسیم پارادوکس کمبود و فراوانی مطرح است (Sharma et al., 2016). در کشاورزی سنتی معمولاً برای افزایش پتاسیم مورد نیاز گیاهان از کودهای شیمیایی بهره‌گیری می‌شود. استفاده از کودهای شیمیایی به یک‌باره سبب افزایش غلظت پتاسیم در محلول خاک می‌شوند. اگرچه گیاهان از این افزایش غلظت بهره می‌برند اما بخش قابل توجهی از پتاسیم کودها آب‌شویی شده و از محیط خاک خارج می‌شود (Jalali et al., 2008). بنابراین، با هر بار کوددهی بخشی از منابع غذایی هدر می‌روند. از سوی دیگر، برخی ریزجانداران خاکزی مانند باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (KSB)^۱ شکل غیرقابل دسترس پتاسیم را به شکل قابل دسترس تبدیل می‌کنند. از این رو، آنها پتانسیل مناسبی در مدیریت پتاسیم خاک و کاهش استفاده از کودهای شیمیایی مبتنی بر پتاسیم دارند (Babar et al., 2024). هنگامی که ریزجانداران حل‌کننده پتاسیم به عنوان مایه تلقیح به خاک افزوده می‌شوند، جذب پتاسیم توسط گیاهان افزایش یافته که در نتیجه سبب افزایش عملکرد گیاهان می‌شود (Tallapragada and Matthew, 2021).

باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم موجود در خاک می‌توانند از کانی‌های سیلیکاتی مانند بیوتیت، فلدسپار، ایلیت، مسکوویت، ارتوکلاز و میکا پتاسیم آزاد نموده و آن را در محلول خاک وارد کنند (Basak et al., 2022). بیشترین باکتری‌های آزادکننده پتاسیم در خاک ریزوسفری از شاخه *Proteobacteria Firmicutes* و *Actinobacteria* هستند (Bright et al., 2022).

درج در و همکاران (۱۳۹۳) با هدف بررسی توانایی آزادسازی پتاسیم در محیط کشت الکساندروف، باکتری‌هایی را از ریزوسفر گیاهان مختلف جداسازی کردند و ۵ جدایه با توانایی بالا در انحلال پتاسیم را گزارش نمودند. بررسی‌های تکمیلی نشان داد که جدایه‌ها از ۳ جنس *Bacillus*، *Paenibacillus* و *Pseudomonas* بودند که توانستند ۹۵۰ تا ۱۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در محیط مایع و در خاک ۵۲۵ تا ۵۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم آزاد نمایند. بنابراین با توجه به این که پتاسیم عنصر غذایی اصلی مورد نیاز برای تمام گیاهان است و پژوهش‌های اندکی درباره خاک‌های شالیزار در این راستا انجام شده است، این پژوهش با هدف بررسی توانایی باکتری‌های جدا شده از شالیزار در رهاسازی پتاسیم در شرایط آزمایشگاهی انجام شد تا بتوان در آینده از آن‌ها به عنوان یک رویکرد مکمل و یا جایگزین قابل اعتماد کودهای شیمیایی برای سیستم‌های کشت گیاهان استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

برای جداسازی باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، از خاک شالیزار (با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۳۷° و ۶۵°۴۹) دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان نمونه‌برداری شد. نمونه خاک به آزمایشگاه منتقل شد و پس از تهیه سری رقت،

¹ Potassium Solubilizing Bacteria



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



کشت باکتری‌ها مستقیماً در محیط کشت جامد الکساندروف سترون انجام گرفت. اجزای محیط شامل: مسکوویت ۲ گرم، کربنات کلسیم ۰/۲ گرم، کلرید سدیم ۰/۲ گرم، کلرید آهن سه ظرفیتی ۰/۰۹ گرم، سولفات آمونیوم ۱ گرم، دی‌سدیم فسفات ۲ گرم، سولفات منیزیم ۰/۵ گرم، ساکارز ۵ گرم و آگار ۲۰ گرم (در لیتر) در pH ۷ بود.

پس از رشد باکتری‌ها به مدت یک هفته در دمای ۲۷ درجه سلسیوس، ۴ سویه متمایز از نمونه مربوط به شالیزار با توجه به ویژگی‌های ریخت‌شناسی شناسایی و کشت خطی از آنها در محیط نوترینت آگار انجام شد (صفری سنجانی و همکاران، ۱۳۸۹). همه کلنی‌های پدید آمده در این گام در بهره‌گیری از مسکوویت به عنوان منبع کانی پتاسیم توانمند بودند.

در گام دوم، توان انحلال پتاسیم سویه‌ها در محیط کشت جامد الکساندروف به روش کشت سوزنی بررسی شد. سویه‌های متمایز در ۴ تکرار در پتری‌ها با فاصله از هم مایه‌زنی شدند و توان انحلال کانی به روش اندازه‌گیری قطر هاله و کلنی پس از یک هفته بررسی شد.

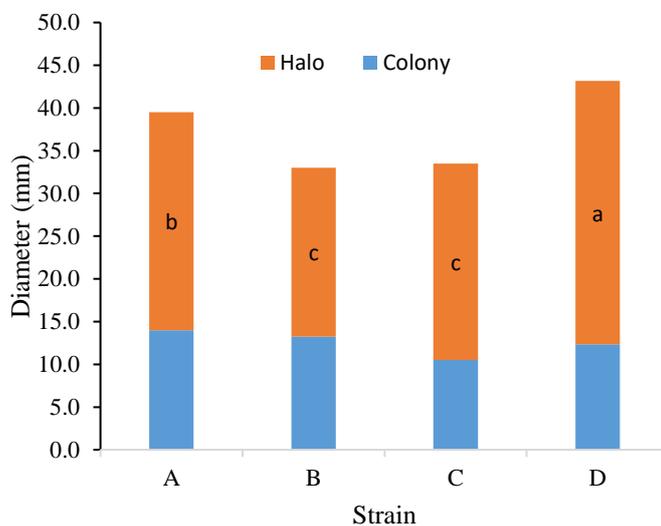
در گام سوم، برای بررسی کمی انحلال پتاسیم، ۵۰۰ میکرولیتر از سوسپانسیون تازه هر یک از سویه‌ها به ۵۰ میلی‌لیتر محیط کشت الکساندروف مایع (دارای همه اجزا محیط جامد بجز آگار) افزوده شد. نمونه‌ها به مدت یک هفته در انکوباتور شیکردار (۷۰ دور در دقیقه و دمای ۳۰ درجه سلسیوس) انکوباسیون شدند. پس از این مدت، سوسپانسیون باکتری به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شد (۵۰۰۰ دور در دقیقه) و غلظت پتاسیم محلول با دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (Estefan et al., 2013).

در گام چهارم، سه سویه که بیشترین مقدار حل‌کنندگی پتاسیم را داشتند، به یک خاک شالیزار با مقدار پتاسیم محلول و تبدالی اندک مایه‌زنی شدند و غلظت پتاسیم محلول و تبدالی خاک در پایان هر هفته (به مدت یک ماه) اندازه‌گیری شد. خاک پس از برداشت گیاه برنج، نمونه‌برداری و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. برای تهیه مایه تلقیح باکتریایی ابتدا سویه‌ها در محیط نوترینت براث تکثیر (دمای ۲۷ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت) شدند. سپس یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون سویه‌ها به هر ۱۰۰ گرم خاک، مایه‌زنی شد و خاک‌ها به مدت یک ماه در دمای آزمایشگاه و رطوبت مناسب (۷۰ درصد ظرفیت زراعی) نگهداری شدند. در پایان هر هفته به مدت یک ماه انکوباسیون، پتاسیم قابل دسترس خاک به روش استات آمونیوم استخراج و با دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (Estefan et al., 2013). آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شدند و آنالیز آماری داده‌ها در گام دوم و سوم به صورت طرح کاملاً تصادفی و در گام چهارم به صورت طرح اسپلیت-پلات در زمان در نرم‌افزار SAS انجام شد. برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون LSD بهره‌گیری شد.

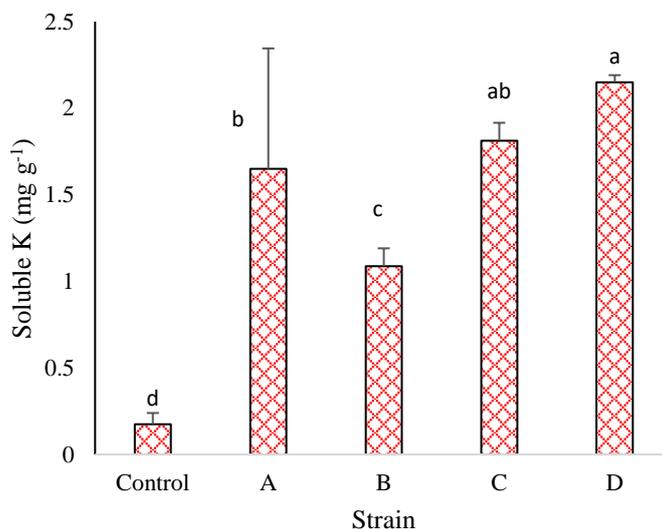
نتایج و بحث

چهار سویه متمایز A، B، C و D از خاک شالیزار در محیط الکساندروف، تشکیل کلنی دادند. کلنی‌های A نامنظم، فرورفته و به شکل باسیل بود و در رنگ آمیزی گرم، گرم-منفی تشخیص داده شد. کلنی‌های B، گرد با حاشیه کامل و

محدب بودند، شکل یاخته آنها کوکسی و گرم-مثبت بود. کلنی C، گرد با حاشیه کامل و محدب، به فرم باسیل‌های کوچک و گرم-منفی بود. کلنی‌های D، گرد و برآمده با حاشیه کامل به صورت باسیل و گرم-مثبت بودند. کلنی‌های D با تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) نسبت به سایر سویه‌ها، بالاترین قطر هاله را پدید آوردند و پس از آن به ترتیب سویه‌های A، C و B قرار گرفتند (شکل ۱). در محیط مایع، سویه D بدون تفاوت معنی‌دار با C بیشترین پتاسیم محلول را ایجاد کرد و کمترین انحلال پتاسیم مربوط به سویه B بود (شکل ۲).

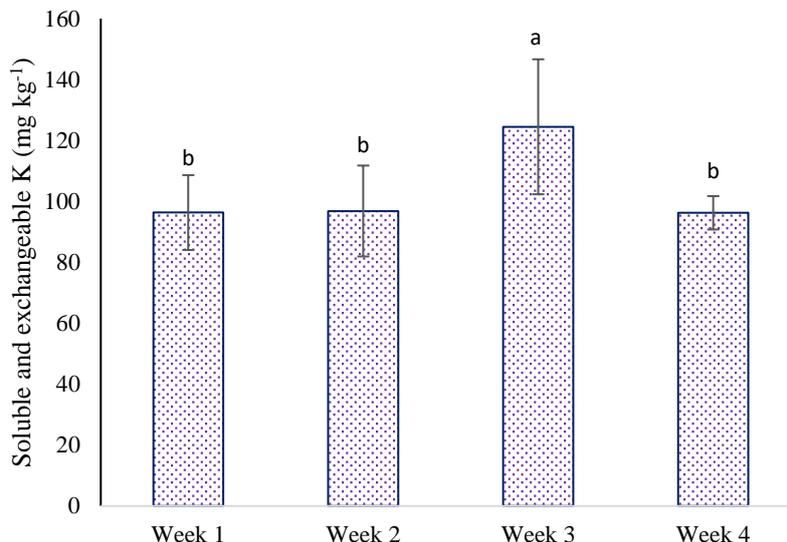


شکل ۱- قطر کلنی و هاله انحلال پتاسیم در محیط الکساندروف. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار هستند ($p < 0.05$).



شکل ۲- انحلال پتاسیم در محیط مایع الکساندروف. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی دار ($p < 0/05$) و نوارهای خطا انحراف معیار هستند.

خاک استفاده شده در این بخش دارای بافت رسی (به ترتیب دارای ۵۸/۴ و ۴۰ درصد رس و سیلت)، کربن آلی ۱/۴ درصد، پی اچ ۶/۶۶ و هدایت الکتریکی ۰/۳۶ دسی‌زیمنس بر متر بود. غلظت پتاسیم محلول و تبادل اولیه خاک به ترتیب ۲/۰۳ و ۱۴/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. در مایه‌زنی به خاک، اثر سویه‌ها (سویه B مایه‌زنی نشد) بر آزادسازی پتاسیم معنی‌دار نشد اما اثر زمان معنی‌دار بود ($p < 0/05$) و در هفته سوم نمونه‌برداری، بالاترین غلظت پتاسیم فراهم با تفاوت معنی‌دار نسبت به زمان‌های دیگر ($p < 0/05$) در محیط خاک مشاهده شد (شکل ۳).



شکل ۳- مقدار پتاسیم محلول و تبدالی در خاک. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) و نوارهای خطا انحراف معیار هستند.

میکروارگانیزم‌ها توان آزادسازی پتاسیم از کانی‌های سیلیکاتی مانند بیوتیت، فلدسپار، ایلیت، مسکوویت، ارتوکلاز، میکروکلین، ورمی کولیت، گلوکونیت، فلوگوپیت، آلفان، زئولیت و میکا را دارند (درج‌در و همکاران، ۱۳۹۳). گزارش شده که آنها می‌توانند پتاسیم کمتری از مسکوویت نسبت به بیوتیت آزاد کنند که این امر را می‌توان به فاکتورهای مختلفی مانند ماهیت کانی‌های پتاسیم‌دار که شامل ساختار بلوری، ترکیب شیمیایی کانی، درجه تخلیه و تغییر بار لایه‌ای کانی، نسبت داد. بیوتیت از نوع تری اکتاهدرال بوده اما مسکوویت دی اکتاهدرال است (مدنی و همکاران، ۱۳۹۵). ضمن اینکه موقعیت هیدروکسیل نسبت به ورقه‌های سیلیکات در مسکوویت مایل بوده و فاصله بین پروتون و پتاسیم بیشتر است، بنابراین کمتر دفع می‌شود. علاوه بر این، ابعاد ورقه‌های اکتاهدرال در مسکوویت کوچک‌تر از بیوتیت است، در نتیجه پتاسیم در مسکوویت با نیروی بیشتری نگهداری می‌شود (Huang and Song, 1988). محمدزاده و همکاران (۱۴۰۰) با هدف جداسازی باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم از ریزوسفر گیاهان مختلف، ۱۵ سویه را در محیط الکساندروف با بیوتیت جداسازی کردند و مشاهده شد که بیشترین آزادسازی پتاسیم (۱۶/۴ میلی‌گرم در لیتر) مربوط به جدایه B11 به عنوان جدایه برتر (دارای ۹۹/۳۷ درصد شباهت با *Paenibacillus stellifer*) پس از ۲۱ روز انکوباسیون بود. بخشنده و همکاران (۱۴۰۳) با هدف بررسی تأثیر باکتری‌های *Rahnella aquatilis* و *Burkholderia cepacia* بر جذب عناصر پتاسیم و روی در برنج مشاهده کردند که جذب جداگانه و ترکیبی باکتری‌ها سبب افزایش مقدار پتاسیم دانه (از ۶ تا ۴/۱۴ درصد) شد. ساریخانی (۱۳۹۴) توانایی هفت سویه باکتری *Pseudomonas putida* P13، *P. putida* Tabriz، *Bacillus* و *Pantoea agglomerans* P5، *Azotobacter* sp.، *P. fluorescens* CHA0، *P. fluorescens* Tabriz، *megaterium* JK3 در رهاسازی پتاسیم از موسکوویت و بیوتیت در حضور منابع فسفر را ارزیابی کرد و دریافت که استفاده از منبع فسفر نامحلول (تری کلسیم فسفات) به طور معنی‌داری پتاسیم آزادشده در محیط را افزایش داد (۶۶)



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



درصد) و پتاسیم آزاد شده از بیوتیت بیشتر از موسکوویت بود. در میان باکتری‌های بررسی شده، *P. putida* P13 بیشترین مقدار پتاسیم در حضور منابع فسفر نامحلول ($8/25 \text{ mg/g}$) و محلول (دی سدیم فسفات) ($4/87 \text{ mg/g}$) را آزاد کرد.

نتیجه‌گیری

از میان ۴ سویه باکتریایی جدا شده از خاک شالیزار، سویه D بالاترین توانایی در آزادسازی پتاسیم از کانی مسکوویت در محیط جامد و مایع الکساندروف را داشت. بنابراین این سویه برای بررسی بیشتر در پژوهش‌های آینده توصیه می‌شود.

فهرست منابع

- ۱) بخشنده، ا.، پیردشتی، ه.، قلی‌تبار فرامرزی، ف.، ژولیده رودپشتی، ط.، زعفریان، ف. (۱۴۰۳). بهبود رشد، عملکرد و جذب عناصر پتاسیم و روی در برنج (*Oryza sativa* L.) تحت تأثیر باکتری‌های افزایشنده رشد در سطوح مطلوب و کاهش یافته کودهای شیمیایی. به زراعی کشاورزی. 26(2), 275-291.
- ۲) درج در، ج.، یزدان‌ستاد، س.، ارزانش، م.، آجودانی فر، ه. (۱۳۹۳). غربالگری سویه های بومی باکتری های حل کننده پتاسیم و بررسی توانایی جدایه ها در آزادسازی پتاسیم قابل جذب. دنیای میکروب ها، ۷(۳) (پیاپی ۲۰-۲۶۴-۲۵۲).
- ۳) ساریخانی، م. (۱۳۹۴). افزایش رهاسازی پتاسیم از کانی های پتاسیم دار در حضور فسفات نامحلول توسط باکتری ها. زیست شناسی میکروارگانیزم ها، ۴(۱۶)، ۸۷-۹۶.
- ۴) صفری سنجانی، ع. ا.، شریفی، ز.، صفری سنجانی، م. (۱۳۸۹). روش های آزمایشگاهی در میکروبیولوژی، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، کتابنامه ص ۵۲۶-۵۳۷.
- ۵) محمدرزاده، ا.، لکزیان، ا.، کریمی، ع.، حسینی، س. (۱۴۰۰). جداسازی و شناسایی باکتری های حل کننده پتاسیم از ریزوسفر گیاهان مختلف منطقه نیشابور و تعیین پتانسیل آنها برای افزایش رشد و نمو ذرت. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۱(۲)، ۴۹-۶۹.
- ۶) مدنی، ا.، ساریخانی، م.، اوستان، ش. (۱۳۹۵). اثر مایه زنی باکتریهای آزادکننده پتاسیم در تأمین پتاسیم گوجه فرنگی در بستر شن- موسکوویت و شناسایی جدایه های کارآمد. دانش آب و خاک 26، (شماره ۱) بخش ۱، ۲۷۱-۲۵۹.
- 7) Babar, S., Baloch, A., Qasim, M., Wang, J., Wang, X., Li, Y., Khalid, S., and Jiang, C. (2024). Unearthing the soil-bacteria nexus to enhance potassium bioavailability for global sustainable agriculture: A mechanistic preview. *Microbiological Research*. 288: 127885.
- 8) Basak, B.B., Maity, A., Ray, P., Biswas, D.R. and Roy, S. (2022). Potassium supply in agriculture through biological potassium fertilizer: A promising and sustainable option for developing countries. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 68(1): 101-114.
- 9) Bright, J.P., Baby, A.S., Thankappan, S., George, A.S., Maheshwari, H.S., Nataraj, R., Judson, S. and Binodh, A.K. (2022). Potassium releasing bacteria for unlocking soil potassium-a way forward for judicious use of chemical fertilizers. *International Journal of Plant & Soil Science*, 34(19), pp.49-61.
- 10) Estefan, G., Sommer, R., & Ryan, J. (2013). *Methods of soil, plant, and water analysis: a manual for the West Asia and North Africa region*.



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



- 11) Huang, P.M., and Song, S.K. (1988). Dynamic of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. *Soil Science Society of America Journal*, 52: 383 -390.
- 12) Jalali, M., & Kolahchi, Z. (2008). Ability of sorption-desorption experiments to predict potassium leaching from calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(5), 785-794.
- 13) Sharma, A., Shankhdhar, D. and Shankhdhar, S.C. (2016). Potassium-solubilizing microorganisms: mechanism and their role in potassium solubilization and uptake. *Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture*, pp.203-219.
- 14) Tallapragada, P., and Matthew, T. (2021). Potassium solubilizing microorganisms (KSM) a very promising biofertilizers. In *Agriculturally important microorganisms* (pp. 153-174). CRC Press.
- 15) Torabian, S., Farhangi-Abriz, S., Qin, R., Noulas, C., Sathuvalli, V., Charlton, B., and Loka, D.A. (2021). Potassium: A vital macronutrient in potato production—A review. *Agronomy*, 11(3), p.543.

Assessment of the ability to release potassium from insoluble sources by bacteria isolated from paddy soil

Mohadeseh Nazari¹, Narges Sedighi¹, Fatemeh Fazeli², Mohammad Bagher Farhangi³, Nasrin Ghorbanzadeh⁴¹ Former B.Sc. student, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran² M.Sc. student, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran³ Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran⁴ Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

* Corresponding author's email: m.farhangi@guilan.ac.ir

Abstract

The total potassium (K) content in soils is approximately 2%, predominantly in an insoluble form within silicate minerals. Potassium-solubilizing bacteria (KSB) have the capacity to degrade these minerals and liberate available K. This research aimed to isolate KSB from paddy field soil and evaluate their ability to solubilize K from muscovite mineral. Soil samples were collected from the Guilan University campus, and the bacteria were cultured in an Aleksandrow agar medium. Four distinct strains, labeled A to D, were isolated from paddy field bacteria capable of growth in Aleksandrow medium. These strains were inoculated into paddy field soil, and the concentrations of solution and exchangeable potassium were monitored over a period of one month. Strain D produced the highest concentration of soluble potassium (2.15 mg g⁻¹) in liquid Aleksandrow medium and exhibited the largest halo of potassium solubilization on Aleksandrow agar medium. In paddy soil, the effect of inoculation with the selected strains was not statistically significant; however, the effect of incubation time was significant ($p < 0.05$), with the highest levels of soluble and exchangeable potassium (124.5 mg kg⁻¹) observed in the third week. The findings indicate that native bacteria from paddy soil, particularly strain D, possess a considerable capacity to solubilize potassium from muscovite mineral, suggesting their potential to improve soil fertility.

Keywords: Potassium-solubilizing bacteria, Muscovite, Soluble and exchangeable potassium