



محور مقاله: حاصلخیزی خاک، تغذیه گیاه و کشت گلخانه‌ای

اثر سیلیسیم و باکتری های حل کننده فسفات بر افزایش کارایی مصرف فسفر

لیلا رضاخانی^{۱*}، بابک متشرع زاده^۲، محمدمهدی طهرانی^۳، حسن اعتصامی^۴، حسین میرسیدحسینی^۵

^۱ دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

^{۲،۵} دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

^۳ استادیار بخش تحقیقات شیمی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، موسسه تحقیقات خاک و آب

^۴ استادیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

چکیده

کمبود فسفر یکی از مشکلات عمده خاک‌های کشاورزی در تولید محصول در جهان است. درباره نقش موثر مصرف سیلیسیم و باکتری‌های حل کننده فسفات در رفع تنش کمبود فسفر و بهبود کارایی مصرف فسفر در گیاه گندم که یکی از مهم‌ترین محصولات در جهان است، شناخت کمی وجود دارد. لذا هدف از این تحقیق، بررسی اثرات تنه‌ها و ترکیبی تیمارهای سیلیسیم با سطوح (صفر، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم در کیلوگرم از منبع اسیدسیلیسیک) و باکتری‌های حل کننده فسفات (عدم تلقیح باکتری، باسیلوس و سودوموناس) بر جذب فسفر توسط گیاه گندم در شرایط حضور فسفر محلول و فسفر نامحلول (به‌عنوان تیمار سوم) در قالب طرح کاملاً تصادفی و به‌صورت فاکتوریل در کشت گلخانه‌ای (بستر کشت بدون خاک) بود. نتایج نشان داد که کاربرد سیلیسیم در شرایط حضور فسفر محلول و فسفر نامحلول، کارایی مصرف فسفر را افزایش داد. باکتری‌های سودوموناس و باسیلوس نقش قابل توجهی در بیوماس اندام هوایی و ریشه گندم و جذب فسفر در شرایط حضور فسفر محلول و فسفر نامحلول داشتند که این اثر در باکتری سودوموناس نسبت به باکتری باسیلوس بیشتر بود. کاربرد سطح ۶۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم در کیلوگرم به همراه باکتری سودوموناس، غلظت فسفر اندام هوایی گندم را در شرایط حضور فسفر نامحلول (خاک فسفات) تا رنج (۰/۳٪ >) افزایش داد. این نتایج درباره قابلیت دسترسی فسفر با کاربرد ترکیبی سیلیسیم، باکتری‌های حل کننده فسفات و خاک فسفات، می‌تواند در مدیریت بهتر کوددهی فسفر، کمک شایانی کند.

کلمات کلیدی: سیلیسیم، سودوموناس، باسیلوس، فسفر قابل دسترس

مقدمه

مهم‌ترین عامل مرتبط با تولید محصول، تغذیه صحیح گیاهان است که نقش قابل ملاحظه‌ای در افزایش عملکرد دارد. عناصر مفید، نقش مهمی در رشد برخی گونه‌های گیاهی داشته و اثرات مثبتی در رشد و نمو گیاهان، تحت شرایط بروز تنش‌ها دارند. در این بین اثرهای مفید سیلیسیم بر رشد، عملکرد و تحمل برخی از گیاهان در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی اثبات شده است (Ahmad et al., 2011). تغذیه بهینه سیلیسیم با افزایش رشد و توسعه حجمی و وزنی ریشه‌ها می‌تواند منجر به افزایش سطح کل جذب کننده عناصر شود (Sonobe et al., 2011). سیلیسیم باعث افزایش تحرک فسفر در خاک می‌شود، چنان‌که اثر مفید سیلیسیم در گونه‌های مختلف گرامینه مانند گندم، برنج، ذرت، جو و گیاهان علوفه‌ای در دو محیط خاکی و آبکشت در تنش کمبود فسفر گزارش شده است (Abro et al., 2009). سیلیسیم به‌عنوان یکی از سازوکارهای افزایش ظرفیت آنتی-اکسیداتیو گیاه شناخته شده است (Liang et al., 2005). سیلیسیم با افزایش فعالیت سوپراکسیددسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز (Foyer and Noctor, 2005) منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیداتیو گیاه و در نهایت کاهش خسارت‌های ناشی از تنش‌های محیطی را سبب می‌شود (Shi et al., 2013). تنش کمبود فسفر یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محدودکننده تولید محصول در نیمی از خاک‌های کشاورزی جهان است (Lynch, 2011). مکانیزم‌هایی که به وسیله آن‌ها سیلیسیم (تنظیم ژن‌های انتقال دهنده برای جذب فسفر معدنی و افزایش ترشحات ملات و سیترات) (Kostic et al., 2017) و باکتری‌های حل کننده فسفات (تولید اسیدهای آلی و کاهش pH خاک) (Sharma et al., 2013) می‌توانند دسترسی فسفر را برای گیاهان افزایش دهند، تا حدی شناخته شده‌اند. استفاده از سیلیسیم و باکتری‌های حل کننده فسفات راهکاری جهت افزایش حلالیت منابع فسفات با حلالیت کم و بهبود کارایی مصرف فسفر شناخته شده است (Etesami, 2018). لذا این تحقیق به منظور بررسی روابط برهمکنش سیلیسیم و باکتری‌های حل کننده فسفات بر فراهمی فسفر قابل جذب گیاه گندم در حضور فسفر محلول و فسفر نامحلول (خاک فسفات)، انجام گرفت.

* ایمیل نویسنده مسئول: leila.rezakhani@yahoo.com

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه فاکتور شامل چهار سطح سیلیسیم (Si) (صفر، ۱۵۰، ۳۰۰، ۶۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم در کیلوگرم از منبع اسیدسیلیسیک)، سه سطح باکتری (B) (عدم تلقیح باکتری (B0)، باسیلوس (B1) و سودوموناس (B2)) و دو منبع فسفر (P) (فسفرمحلول و خاک فسفات) در سه تکرار با کشت گندم در گلخانه موسسه تحقیقات خاک و آب کرج در سال ۱۳۹۵، اجرا شد. جهت کشت و استقرار گیاه، از پرلیت استفاده شد. بذر گندم رقم سیروان بعد از ضدعفونی و انجام تست جوانه زنی، درون گلدان‌ها کاشته شد. باکتری *Bacillus simplex* UT1 و باکتری *Pseudomonas sp. FA1* به‌عنوان باکتری‌های محرک رشد گیاه (جدا شده از ریزوسفر گیاه گندم) استفاده شدند. قبل از کشت جوانه‌ها، گلدان‌های حاوی تیمار فسفرنامحلول، با سطوح (صفر و ۶۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک فسفات)، از منبع خاک فسفات تغلیظ شده آسفوردی یزد، تیمار شدند و بعد از خروج گیاهچه از گلدان، گلدان‌های حاوی تیمار فسفرمحلول، با سطوح (صفر و ۶۰ میلی‌گرم فسفر در لیتر از منبع اسید فسفریک)، تیمار شدند. همچنین به ازای هر گیاهچه، یک میلی‌لیتر مایه تلقیح باکتری تهیه شده، در سطح ریشه تیمار گردید. تیمارهای سیلیسیم طی سه مرحله در طول دوره رشد به فواصل زمانی ۲۰ روز، به صورت محلول‌دهی ریشه‌ای، به گلدان‌ها اعمال شد. آبیاری روزانه با محلول غذایی هوگلند (Hoagland and Arnon, 1950) و آب مقطر به صورت وزنی انجام گرفت به طوری که ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی تأمین گردد. گلدان‌هایی که با خاک فسفات تیمار شدند با محلول غذایی فاقد فسفرمحلول آبیاری شدند. برداشت گیاه بعد از گذشت ۶۰ روز از جوانه‌زنی، در پایان دوره رویشی و قبل از ورود به دوره زایشی انجام شد. توانایی تولید ایندول استیک اسید (IAA) توسط باکتری‌های *Sudomonas* و *Bacillus* بر طبق روش Patten and Glick (1996) ارزیابی شد. صفات رشدی گیاه (وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه) و پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه (فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسیددسموتاز و پراکسیداز) به ترتیب به روش (Cakmak, 1993)، (Dhindsa and Matowe, 1981) و (Kalir et al., 1984)، همچنین توانایی انحلال فسفات‌های معدنی توسط گونه‌های باکتری مورد مطالعه با روش (Pikovskaya, 1948) و مقدار تولید آنزیم ACC-دآمیناز با روش (Penrose and Glick, 2003) ارزیابی شد. غلظت فسفر گیاه به روش (Rayan et al, 2007)، اندازه‌گیری شد و مقدار جذب فسفر اندام هوایی گیاه از حاصلضرب غلظت فسفر اندام هوایی در وزن ماده خشک محاسبه شد. کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SAS (9.1) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه ای Duncan در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

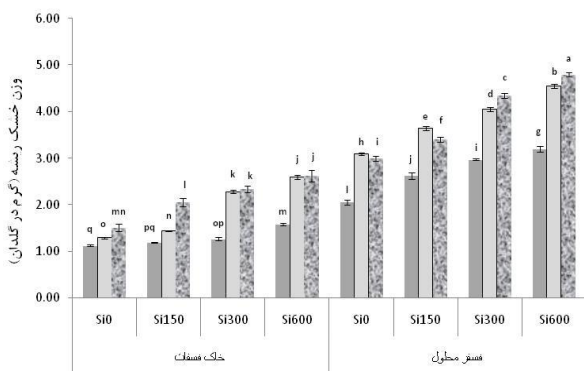
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات سه‌گانه تیمارهای (سیلیسیم-باکتری-فسفر) بر تمام پارامترهای اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل تیمارها بر پارامترهای اندازه‌گیری شده در گیاه گندم

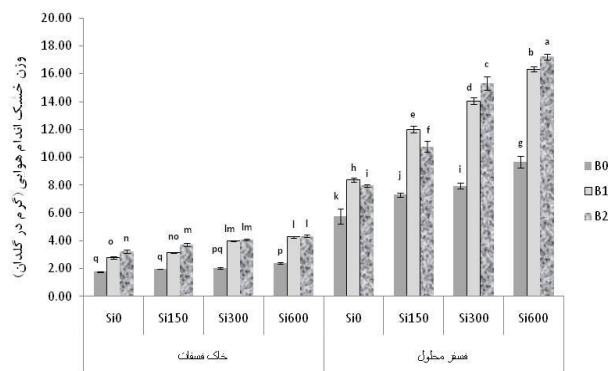
میانگین مربعات								
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	فعالیت آنزیم (CAT)	فعالیت آنزیم (SOD)	فعالیت آنزیم (POD)	غلظت فسفر اندام هوایی	جذب کل فسفر اندام هوایی
Si	۳	۵۵/۵۱**	۵/۱۱**	۰/۶۳۴**	۶۵۸/۴**	۰/۵۸۵**	۰/۴۳**	۴۱۷/۹**
B	۲	۹۰/۹۹**	۷/۰۸**	۳/۸۳**	۱۴۴۸۷/۰**	۳/۷۷**	۰/۰۳۰**	۴۶۶۴/۰**
P	۱	۱۱۲۸/۴**	۵۲/۱۹**	۳/۰۴**	۱۰۱۹۰/۳**	۱/۹۳**	۲/۲۸**	۷۵۸۷/۶**
B×Si	۶	۳/۷۰**	۰/۱۸۸**	۰/۰۳۳**	۱۱/۸۶**	۰/۰۱۹**	۰/۰۰۲**	۳۳۳/۷**
P×Si	۳	۲۹/۸۴**	۰/۲۲۴**	۰/۰۱۰**	۸۹/۴۸**	۰/۰۰۵**	۰/۰۱۶**	۳۱۵۰/۱**
B×P	۲	۲۳/۶۶**	۰/۴۰۴**	۰/۰۱۰**	۹۷۷/۹**	۰/۰۷۴**	۰/۰۱۶**	۲۷۰۶/۷**
P×B×Si	۶	۲/۴۸**	۰/۱۲۳**	۰/۰۲۴**	۳۴/۶۶**	۰/۰۱۰**	۰/۰۰۵**	۲۹۷/۱**
خطا	۴۸	۰/۰۵۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۸	۲/۴۵	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۳	۴/۲۹
CV (%)		۳/۱۸	۲/۰۸	۲/۳۹	۲/۸۲	۳/۱۴	۴/۲۷	۴/۹۶

*, **, #: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و یک درصد، NS: غیرمعنی دار

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی و ریشه گندم به ترتیب مقدار (۱۷/۲ گرم در گلدان) و (۴/۸ گرم در گلدان) از تیمار (سیلیسیم با سطح ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، باکتری سودوموناس و فسفرمحلول) بدست آمد (شکل ۱ و ۲). در حضور فسفرمحلول و نامحلول، اثر باکتری سودوموناس بر افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه گندم در سطوح بالای سیلیسیم (سیلیسیم با سطح ۶۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر بود. اما در حضور فسفرمحلول و سطوح پایین سیلیسیم (با سطح ۱۵۰ و صفر میلی‌گرم سیلیسیم در کیلوگرم)، اثر باکتری باسیلوس، بیشتر از باکتری سودوموناس بود. بیشترین اثر سیلیسیم بر رشد گیاه زمانی است که گیاه تحت تنش محیطی قرار می‌گیرد اما در این تحقیق مشخص شد که سیلیسیم می‌تواند رشد گیاه گندم را زمانی که تنش وجود ندارد (در شرایط حضور فسفرمحلول) نیز بهبود بخشد. در مطالعات گذشته کاربرد سیلیسیم، وزن خشک اندام هوایی و ارتفاع بوته را در شرایط وجود تنش و یا عدم تنش برای رشد گندم بهبود بخشید (Chen et al., 2014). گزارش شده‌است که سیلیسیم نه تنها رشد ریشه (صفات مورفولوژیکی از قبیل قطر، مساحت، حجم، وزن خشک ریشه و طول ریشه) بلکه بیوماس اندام هوایی گیاهان را افزایش می‌دهد (Kim et al., 2014). اثر سیلیسیم بر رشد ریشه احتمالاً به علت افزایش کشیدگی ریشه ناشی از افزایش توسعه دیواره سلولی در منطقه رشد می‌باشد (Etesami and Jeong, 2018). علاوه بر توانایی انحلال فسفات نامحلول، نتیجه تست تولید آنزیم ACC-دآمیناز و تولید (IAA) در هر دو گونه باکتری مثبت بود. ثابت شده‌است که باکتری‌های حل‌کننده فسفات، رشد گیاهان را با تولید آنزیم ACC-دآمیناز و تولید (IAA) افزایش می‌دهند (Bashan et al., 2013). کارایی بیشتر باکتری سودوموناس نسبت به باکتری باسیلوس می‌تواند به علت تولید بیشتر هورمون (IAA) (۲۴/۷ میکروگرم بر میلی‌لیتر و ۱۰/۷۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر) باشد که به گیاهان در فراهمی عناصر غذایی توسط افزایش سیستم ریشه و ترشحات ریشه‌ای کمک می‌کند (Etesami and Alikhani, 2016).

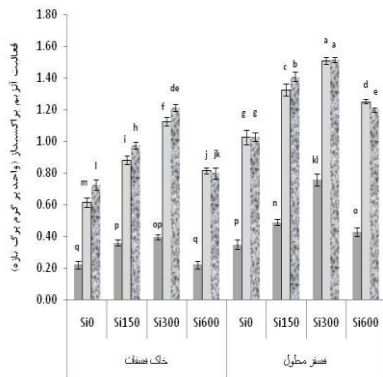


شکل ۲- اثرات سه‌گانه تیمارها بر وزن خشک ریشه گندم

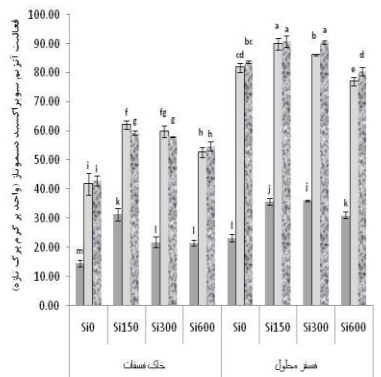


شکل ۱- اثرات سه‌گانه تیمارها بر وزن خشک اندام هوایی گندم

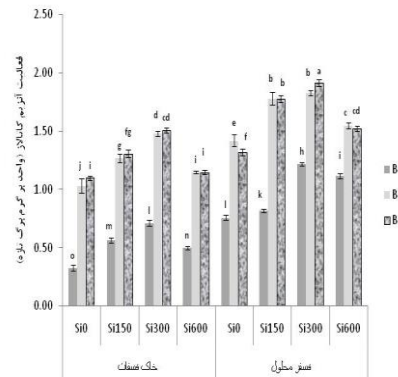
از کاربرد (سطح ۳۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم در کیلوگرم، باکتری سودوموناس و فسفرمحلول)، بیشترین سطح فعالیت آنزیم کاتالاز بدست آمد (شکل ۳). بیشترین سطح فعالیت آنزیم سوپراکسیددسموتاز در تیمار (سطح ۱۵۰ میلی‌گرم سیلیسیم در کیلوگرم و باکتری سودوموناس و فسفرمحلول) مشاهده شد (شکل ۴). کاربرد (سیلیسیم با سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و باکتری سودوموناس) بیشترین اثر را در افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در مقایسه با تیمار شاهد داشت (شکل ۵). در مطالعات گذشته اثر باکتری‌ها (Etesami and Maheshwari, 2018) و سیلیسیم (Etesami, 2018; Etesami and Jeong, 2018) بر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در گیاهان مختلف به اثبات رسیده که موجب کاهش تنش اکسیداتیو و افزایش مقاومت گیاهان به تنش گردید.



شکل ۵- اثرات سه گانه تیمارها بر فعالیت آنزیم پراکسیداز

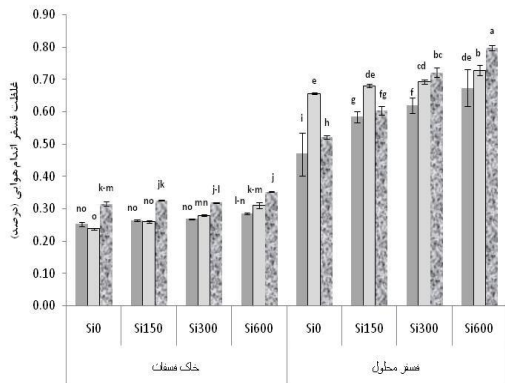


شکل ۴- اثرات سه گانه تیمارها بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز

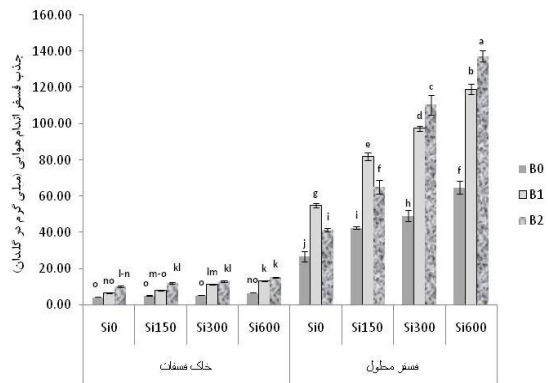


شکل ۳- اثرات سه گانه تیمارها بر فعالیت آنزیم کاتالاز

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار جذب فسفر اندام هوایی (۱۳۷/۲ میلی گرم در گلدان) در گیاهانی که با (سطح سیلیسیم ۶۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، باکتری سودوموناس و فسفرمحلول) تیمار شدند، مشاهده شد (شکل ۶). افزایش جذب فسفر در گیاهانی که در شرایط فسفر نامحلول رشد کردند، بیشتر تحت تأثیر باکتری سودوموناس، نسبت به باکتری باسیلوس بود. درحالی که در گیاهانی که در شرایط فسفر محلول رشد کردند، اثر افزایشی باکتری سودوموناس بر جذب فسفر نسبت به باکتری باسیلوس، تنها در غلظت‌های سیلیسیم بالاتر از ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم مشاهده شد. این روند افزایشی در غلظت فسفر اندام هوایی نیز مشاهده گردید (شکل ۷). در گیاهان شاهد (تیمار خاک فسفات و عدم کاربرد سیلیسیم و عدم تلقیح باکتری)، غلظت فسفر اندام هوایی (۰/۲ درصد) بدست آمد که در زیر حد بحرانی برای رشد گندم (۰/۳ > درصد) بود (Fischer, 1992). کاربرد سیلیسیم با سطح ۶۰۰ میلی گرم در کیلوگرم و باکتری، غلظت فسفر اندام هوایی گندم را در حضور خاک فسفات، به طور معنی داری تا رنج (۰/۳ >) افزایش داد. لذا این نتیجه، افزایش کارایی مصرف خاک فسفات را با کاربرد توأم سیلیسیم و باکتری نشان داد. مطالعات گذشته توانایی سیلیسیم و باکتری‌های حل کننده فسفات را به طور جداگانه در رشد گیاه گندم در شرایط کمبود فسفر، نشان دادند. بر طبق (شکل ۶ و ۷) اثر سینرژیستی بین سیلیسیم و فسفر وجود داشت. به طوری که با افزایش غلظت سیلیسیم، جذب فسفر افزایش یافت و این اثر در حضور باکتری سودوموناس و باسیلوس تشدید شد (احتمالا به علت افزایش قابلیت دسترسی فسفر توسط باکتری‌های حل کننده فسفات). اثرات مشابه از تلقیح باکتری‌های حل کننده فسفات (*Pseudomonas fluorescens*, *P. fluorescens*, *Serratia sp*) در توسعه رشد گیاه گندم و افزایش جذب فسفر در گیاهانی که با خاک فسفات تیمار شدند، توسط سایر محققین گزارش شد (Ghorchiani et al., 2018). افزایش جذب عناصر غذایی توسط باکتری‌های استفاده شده در این مطالعه، می تواند به (تولید هورمون IAA و ACC-دآمیناز) نسبت داده شود. این هورمون تشکیل ریشه‌های جانبی را تحریک می کند و جذب عناصر غذایی را توسط ریشه‌های موئین، افزایش می دهد (Berg et al., 2005). هورمون (IAA) منجر به افزایش مقدار ترشحات ریشه شده و عناصر غذایی را برای رشد گیاه فراهم می کند (Patten and Glick, 2002). همچنین ACC-دآمیناز در جذب عناصر غذایی از طریق کاهش تنش اتیلن و در نتیجه افزایش سیستم ریشه گیاهان، نقش مهمی دارد (Glick, 2014). Pati et al (2016) نشان دادند که جذب سیلیسیم، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه برنج تیمار شده با سیلیسیم، به ترتیب ۳۳/۸۸ درصد، ۴۴/۴ درصد، ۲۹/۳ درصد و ۱۶/۵ درصد در مقایسه با تیمار شاهد بود.



شکل ۷- اثرات سه گانه تیمارها بر غلظت فسفر اندام هوایی گندم



شکل ۶- اثرات سه گانه تیمارها بر جذب فسفر اندام هوایی گندم

نتیجه گیری

نتایج تحقیق نشان داد که کاربرد ترکیبی سیلیسیم و باکتری‌های حل کننده فسفات (با داشتن اثرات سینرژیستی) به همراه خاک فسفات، جایگزین مناسبی برای مصرف کودهای شیمیایی فسفات در سیستم کشاورزی پایدار خواهد بود. به طور کلی نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌دهد که ترکیب مصرف سیلیسیم (با غلظت‌های متفاوت) و باکتری‌های حل کننده فسفات، یک روش موثر برای حداکثر تولید گندم در شرایط حضور فسفر محلول و فسفر نامحلول می‌باشد.

منابع

- Ahmad, M., Hassen, F., Qadeer U., and Aslam, A. 2011. Silicon application and drought tolerance mechanism of sorghum. *African Journal of Agricultural Research* 6(3): 594-607.
- Bashan, Y., Kamnev, A.A., de-Bashan, L.E., 2013. Tricalcium phosphate is inappropriate as a universal selection factor for isolating and testing phosphate-solubilizing bacteria that enhance plant growth: a proposal for an alternative procedure. *Biol. Fertil. Soils* 49, 465-479.
- Chen, D., Yin, L., Deng, X., Wang, S., 2014. Silicon increases salt tolerance by influencing the two-phase growth response to salinity in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Physiol. Plant.* 36, 2531-2535.
- Etesami, H., Alikhani, H.A., 2016. Co-inoculation with endophytic and rhizosphere bacteria allows reduced application rates of N-fertilizer for rice plant. *Rhizosphere* 2, 5-12.
- Etesami, H., Jeong, B.R., 2018. Silicon (Si): review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 147, 881-896.
- Etesami, H., Maheshwari, D.K., 2018. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: action mechanisms and future prospects. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 156, 225-246.
- Ghorchiani, M., Etesami, H., Alikhani, H.A., 2018. Improvement of growth and yield of maize under water stress by co-inoculating an arbuscular mycorrhizal fungus and a plant growth promoting rhizobacterium together with phosphate fertilizers. *Agric. Ecosyst. Environ.* 258, 59-70.
- Kim, Y.H., Khan, A.L., Waqas, M., Shim, J.K., Kim, D.H., Lee, K.Y., Lee, I.J., 2014. Silicon application to rice root zone influenced the phytohormonal and antioxidant responses under salinity stress. *J. Plant Growth Regul.* 33, 137-149.
- Kostic, L., Nikolic, N., Bosnic, D., Samardzic, J., Nikolic, M., 2017. Silicon increases phosphorus (P) uptake by wheat under low P acid soil conditions. *Plant Soil* 419, 447-455.
- Liu, D., Liu, M., Liu, X.-L., Cheng, X.-G., Liang, Z.-W., 2018. Silicon Priming Created an Enhanced Tolerance in Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Seedlings in Response to High Alkaline Stress. *Front. Plant Sci.* 9.
- Pati, S., Pal, B., Badole, S., Hazra, G.C., Mandal, B., 2016. Effect of silicon fertilization on growth, yield, and nutrient uptake of rice. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 47, 284-290.
- Shi, Y., Wang, Y., Flowers, T.J., Gong, H. (2013). Silicon decreases chloride transport in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions. *Journal of plant physiology.* 170(9), 847-853.



16th Iranian Soil Science Congress

University of Zanjan, Iran, August 27-29, 2019



Topic for submission: Soil Fertility, Plant Nutrition and Greenhouse Cultivation

The combined effect of silicon and phosphate-solubilizing bacteria on increasing phosphorus use efficiency

Rezakhani^{*1}, L., Motesharezadeh², B., Tehrani³, M.M. ., Etesami⁴, H., Mirseyed Hoseini⁵, H

¹ Ph.D. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Tehran, Iran

^{2,5} Associate Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Tehran, Iran

³ Assistant Prof., Faculty member, Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran

⁴ Assistant Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Tehran, Iran

Abstract

Phosphorus (P) deficiency is one of the major problems in agricultural soils for crop production around the world. However, little is known about the alleviative role of Si and PSB together in mitigating P-deficiency stress and in improving P use efficiency in *Triticum aestivum* L. (wheat), as one of the most important crop plants worldwide. Consequently, aim of the research was to study the combined and single effects of Si (0, 150, 300, and 600 mg kg⁻¹ added as silicic acid) and PSB (B0, *Bacillus simplex* UT1, and *Pseudomonas sp.* FA1) on P uptake by wheat plant fertilized with soluble or insoluble P (Esfordi rock phosphate, RP) in a completely randomized design with factorial arrangement through a perlite potted experiment. In addition, the effects of various treatments on wheat shoot and root dry weight, activity of catalase, superoxide dismutase, and peroxidase enzymes, and the uptake of P by this plant were also investigated. Application of Si to wheat plants grown in soluble P or insoluble P medium markedly enhanced P use efficiency. Both *Pseudomonas sp.* FA1 and *B. simplex* UT1 showed a considerable role in improvement of root and shoot biomass and uptake of P (and K and Si) under both soluble and insoluble P fertilization conditions with *Pseudomonas sp.* FA1 being more effective than *B. simplex* UT1. Addition of 600 mg Si kg⁻¹ and *Pseudomonas sp.* FA1 significantly increased the P shoot concentration of wheat plant fertilized with RP to an adequate level (> 0.3%) in the range of P-fertilized plants. The information on the availability of P following PSB and Si addition to plant growth medium may help in better management of P fertilization.

Keywords: Silicon, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus simplex*, available Phosphorus

* Corresponding author, Email: leila.rezakhani@yahoo.com