نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۱ شماره ۱ / سال ۱۴۰۰ صفحات ۴۸-۳۹

تأثیر کاربرد باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم بر عملکرد سه رقم گندم نان (*Triticum aestivum L.*)

زهرا سعیدی[۱]، حمید مدنی[۲*]، محمد حسن شیرزادی[۳]، حسین حیدری شریف آباد[۴]، غلامرضا افشار منش[۵]

تاریخ دریافت: ۹۹/۱/۲٤ تاریخ پذیرش: ۹۹/۷/۱٤
۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جیرفت، جیرفت، ایران
۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک، ایران
۳- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جیرفت، جیرفت، ایران
٤- استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی ،دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران
۵- دانشیار گروه زراعت، عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی جیرفت، جیرفت، ایران
*مسئول مکاتبه : Email: h-madani@iau-arak.ac.ir

چکیده

اهداف: استفاده از باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم در خاک‌های حاوی پتاسیم غیر محلول انباشت شده و غیر قابل جذب توسط گیاهان می‌تواند به حلالیت بیشتر این منابع معدنی پتاسیم خاک و در نتیجه جذب آن توسط گیاه کمک کند. لذا هدف از این مطالعه، تعیین اثر کاربرد کود زیستی آزاد کننده پتاس در مقایسه با کاربرد کودهای شیمیایی پتاسه رایج در کشور بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم نان بود.

مواد و روش‌ها : برای مطالعه تأثیر کاربرد کود زیستی پتاسیم بر عملکرد ارقام گندم در جنوب کرمان، آزمایش‌هایی طی دو سال و به صورت اسپلیت پلات در قالب بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد جیرفت انجام شد. ارقام مختلف گندم نان شامل چمران۲، برات و خلیل به عنوان عامل اصلی و منابع و مقادیر پتاسیم در چهار سطح: ۱. شاهد (بدون مصرف هیچ کودی) ۲. مصرف کود شیمیایی سولفات پتاسیم (باتوجه به نتایج تجزیه خاک) ۳. نصف کود شیمیایی توصیه شده با توجه به نتایج تجزیه خاک بعلاوه مصرف کود زیستی پتاسیم ٤. کود زیستی پتاسیم به تنهایی (از منبع کود زیستی پتابارور)، سطوح تیمارهای فرعی بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد، ارقام گندم نان واکنش متفاوتی را به سطوح و منابع مختلف کودی طی دو سال مطالعه نشان دادند. با این وجود مصرف کود زیستی پتاسیم به تنهایی و همچنین توأم با کاهش۵۰٪ کود شیمیایی توصیه شده توانست موجب دستابی به عملکرد دانه در ارقام گندم چمران۲ (۸ تن در هکتار) رقم خلیل (۷/٤۹ تن در هکتار) و رقم برات (۷/٦ تن در هکتار) گردد. آن‌چه که در نتایج مشهود بود، کاربرد کود زیستی پتاسیم بکار رفته توانست موجب بهبود معنی داری در میزان عملکرد زیستی و عملکرد دانه، شاخص برداشت، وزن هزار دانه و ارتفاع بوته گردد.

نتیجه‌گیری: کاربرد کود زیستی پتاسیم همراه با نیمی از کود شیمیایی سولفات پتاسیم توصیه شده می‌تواند علاوه بر کاهش مصرف مقدار کودهای شیمیایی در کاهش هزینه‌های تولید و سلامت محصول گندم نان موثر باشد.

واژه های کلیدی: باکتری آزاد کننده پتاسیم، گندم نان، شاخص برداشت، عملکرد دانه، کود سولفات پتاسیم

Effect of Potassium Soloblizing Bacteria Application on Yield of Three Bread Wheat Cultivars

Zahra Saeedi[1], Hamid Madani[2], Mohammad Hossein Shirzadi[3], Hossein Heidari Sharif Abad[4], Gholamreza Afsharmanesh[5]

Received: April 12, 2020 Accepted: October 5, 2020
1- PhD Student of Plant Agronomy, College of Agriculture, Islamic Azad University of Jiroft, Jiroft, Iran.
2- Assoc. Prof. of Agronomy, College of Agriculture, Islamic Azad University of Arak, Arak, Iran.
3- Assist. Prof. of Agronomy, College of Agriculture, Islamic Azad University of Jiroft, Jiroft, Iran.
4- Prof. of Agronomy, College of Agriculture, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran
5- Assoc. Prof. of Agronomy, College of Agriculture, Islamic Azad University of Jiroft, Jiroft, Iran.
*Corresponding Author Email:

Abstract

Background & Objective: Using of potassium soloblizing bacteria in mineral potassium-rich soils can increase the solubility of soil potassium and its absorbtion by plants. Therefore, the aim of this study was to determine the effect of potassium biofertilizer in comparison with common potassium chemical fertilizers in the region on yield and yield components of bread wheat.

Materials & Methods: In this study, the effect of K bio-fertilizer application on wheat cultivars in Kerman., Iran was evaluated. For this purpose, these experiments were conducted in Split-Plot in a randomized complete block design with three replications in Islamic Azad University farm, Jiroft, Iran. Different cultivars of wheat at three levels including Chamran 2, Barat and Khalil were as main plot and sources and amounts of K fertilizer were at four levels were in sub plots. K fertilizer levels were included 1. Control (without using any K fertilizers)2. Potassium sulfate fertilizer application (based on soil test results) 3. Half recommended fertilizer based on soil test results plus fertilizer application and 4. Potassium bio fertilizer Alone (From the source of Potabarvar).

Results: Results showed that bread wheat cultivars had different response to different levels of K fertilizer treatment during two years of study. However, application of K biofertilizer alone and in combination with 50% reduction in recommended fertilizer could improve grain yield in Chamran wheat cultivars (8 $t.ha^{-1}$) and Khalil (7.49 $t.ha^{-1}$) and Barat cultivar (7.6 $t.ha^{-1}$), respectively.What was evident in the results was that potassium bio fertilizer improved biological yield and grain yield, harvest index, thousand seed weight and plant height.

Conclusion: The application of potassium biological fertilizer combined with 50% of recommended K chemical fertilizer significantly reduce the amount of mineral K fertilizers and production costs and improve product health.

Keywords: Potassium- Solubilizing Bacteria, Wheat, Harvest Index, Grain Yield, Potassium Sulfate Fertilizer

مقدمه

خاک پایه و اساس تولید محصولات زراعی است و علاوه بر نگهداری گیاه، آب و عناصر غذایی لازم برای رشد را فراهم می‌کند. برای تغذیه جمعیت در حال رشد جهان، لازم است بهره‌وری کشاورزی به میزان قابل توجهی افزایش یابد. با این حال، کمبود عناصر

نیتروژن، فسفر و پتاسیم، یکی از عوامل محدود کننده تولید گیاهان زراعی است (زورد و همکاران ۲۰۱٤). این درحالی است که با افزایش تراکم‌های کشت و استفاده از ارقام هیبرید پرمحصول که در نتیجه انقلاب سبز مطرح شدند، خاک‌ها از نظر وجود عناصر پرمصرف نظیر پتاسیم به سرعت درحال تخلیه شدن هستند. علاوه براین، عواملی مانند میزان آبشویی، رواناب و فرسایش سبب کاهش پتاسیم قابل دسترس در خاک گردیده‌اند (شنگ و هوانگ ۲۰۰۲). در نتیجه، کمبود پتاسیم قابل جذب می‌تواند یکی از عوامل محدود کننده تولیدات گیاهی باشد و در مقابل آن، مصرف کودهای حاوی پتاسیم می‌تواند در افزایش تولید محصولات کشاورزی موثر باشد.

پتاسیم به‌وفور و به‌صورت کاتیون جذب ریشه گیاه شده و نقش مهمی در فعال شدن آنزیم‌ها، حفظ تورژسانس سلولی، بهبود فتوسنتز، انتقال قندها و نشاسته و جذب نیتروژن داشته و برای سنتز پروتئین ها نیز کاملا ضروری است. همچنین پتاسیم به پرشدن دانه و افزایش وزن دانه‌ها کمک می‌کند. افزایش مقاومت به آفات و بیماری‌ها و تنش‌های غیرزنده از سایر اثرات عنصر پتاسیم در رشد و نمو گیاهان است (سندو و همکاران ۲۰۱٤).

معروف‌ترین و پرکاربردترین کود شیمیایی حاوی پتاسیم، سولفات پتاسیم است. از سویی کودهای حاوی پتاسیم محلول به همراه کودهای نیتروژن‌دار و فسفردار جهت افزایش عملکرد گیاه، در غلظت‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند که این امر ممکن است موجب افزایش آلودگی‌های زیست محیطی شود (آکنده و همکاران ۲۰۰۸). در مقایسه با کودهای محلول، کودهای معدنی حاوی پتاسیم، اثرات زیست محیطی منفی کمتری داشته و امروزه بصورت رایج برای تامین نیاز گیاه به پتاسیم مورد استفاده قرار می‌گیرند (زاهدی ۲۰۱٦). با این حال، این نوع کودها به آرامی در خاک آزاد می‌شوند و به راحتی در دسترس گیاه نیستند (زاپاتا و روی ۲۰۰٤). در این شرایط، سیستم کشاورزی سازگار با محیط زیست، استفاده از ریزوباکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن و باکتری های افزایش دهنده جذب پتاسیم را به‌عنوان کودهای زیستی تقویت کننده رشد گیاه همراه با به حداقل رساندن خطرات آلودگی محیط زیست توصیه می‌کند (سندو و همکاران ۲۰۱٤ و مینا و همکاران ۲۰۱٤a). استفاده از باکتری‌های آزادکننده پتاسیم به‌عنوان کود زیستی می‌تواند به‌عنوان یک راه حل پایدار برای بهبود جذب این عنصر مغذی پرمصرف برای گیاهان و افزایش میزان تولید محصولات زراعی به کار رود (مینا و همکاران ۲۰۱٤b).

بررسی های ساریخانی و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از باکتری آزادکننده پتاسیم *Pseudomonas* sp سویه S10-3 در گوجه فرنگی نشان داد این شیوه تغذیه پتاسیم سبب افزایش محتوا و غلظت پتاسیم در بافت هوایی و همچنین افزایش بیوماس گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین گزارش بخشنده و همکاران (۲۰۱۷) نیز به افزایش جذب پتاسیم و رشد گیاه برنج در اثر استفاده از باکتری‌های آزادکننده پتاسیم و فسفر اشاره دارد. دیلمی و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش نمودند اثر بخشی باکتری آزادکننده پتاسیم *Pseudomonas* sp در خاک‌هایی که پتاسیم قابل استفاده در خاک کمتری داشته باشند، افزایش می‌یابد. به اعتقاد ژانگ و همکاران (۲۰۰٤) استفاده از باکتری‌های آزادکننده پتاسیم سبب افزایش بیوماس، عملکرد و محتوای پتاسیم و فسفر در گیاه سورگوم در مقایسه می گردد. رامارینامین و چاندرا (۲۰۰۵) نیز افزایش معنی‌دار عملکرد، ارتفاع بوته و جذب پتاسیم را در مقایسه با شاهد در نتیجه کاربرد باکتری آزاد کننده پتاسیم از نوع *Frateuria aurantia* در شرایط مزرعه روی گیاه برنج گزارش نمودند. همچنین کومار و اهلاوات (۲۰۰٦) اثرات مثبت ازتوباکتر در بهبود رشد، عملکرد، اجزای عملکرد و نیز جذب نیتروژن در گندم را در مقایسه تیمار شاهد

گزارش کردند. وو و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند تلقیح بذور ذرت با کودهای زیستی مرکب حاوی باکتری‌های آزاد کننده پتاس، سرعت رشد محصول را افزایش داد. آنان دلیل این پدیده را افزایش دسترسی به عناصر غذایی و بهبود جذب این عناصر توسط گیاه دانستند.

با توجه به اینکه محتوای پتاسیم کل در اغلب خاک-های زراعی کشور در حد کافی وجود دارد و محدودیت پتاسیم در این خاک ها و از جمله خاک منطقه مورد آزمایش ناشی از کمبود پتاسیم قابل جذب می باشد لذا استفاده از باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم می‌تواند به حلالیت بیشتر پتاسیم انباشت شده در خاک و سهولت جذب و انتقال در گیاه کمک کند. همچنین کاربرد باکتری های آزاد کننده پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در شرایط اقلیمی جنوب استان کرمان می‌تواند از مصرف بیش از اندازه کودهای شیمیایی پتاسه مانند سولفات‌پتاسیم جلوگیری و بجای آن شرایط زیستی خاک را برای توسعه تغذیه گیاه مستعد نماید. لذا هدف از این مطالعه، تعیین اثر کود زیستی پتاسه در مقایسه با کودهای شیمیایی رایج در منطقه بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه طی دو سال زراعی ۱۳۹۶- ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷-۱۳۹۶ به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد جیرفت انجام شد (با مختصات جغرافیایی ۵۷ درجه و ٤٨ درجه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۳۵ درجه عرض شمالی و ارتفاع ٦٠١ متر از سطح دریا). از نظر اقلیمی این منطقه دارای آب وهوای نیمه گرم و نیمه مرطوب می باشد. همچنین در سال‌های انجام آزمایش و در طول دوره رشد گیاه، میانگین دما و بارندگی به ترتیب ۲۰ درجه سانتی گراد و ۳۵ میلی‌متر بود. عامل اصلی سه رقم گندم آبی شامل رقم چمران ۲، برات و خلیل و عامل فرعی آزمایش چهار سطح منابع و مقادیر کود پتاسیم شامل F1: شاهد (بدون مصرف کود) F2: مصرف کود شیمیایی سولفات پتاسیم به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار براساس نتایج تجزیه خاک F3: نصف کود شیمیایی توصیه شده به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به انضمام مصرف کود زیستی پتاسیم به صورت بذرمال به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار و F4: کود زیستی یا همان کود باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم به تنهایی از منبع کود زیستی پتابارور[1] (به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار به صورت بذرمال) بودند. جمعیت باکتری های فعال در این کودCFU/g ۱۰^{۸} بود.

قبل از انجام آزمایش در هر دو سال، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک، نمونه برداری مرکب خاک تهیه و مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است.

جبه منظور آماده سازی زمین، عملیات خاکورزی قبل از کاشت شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین مطابق با شیوه‌های توصیه شده و فنی انجام و با توجه به ابعاد کرت‌هایی آزمایشی و براساس نتایج تجزیه خاک، مقادیر ۹ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل به همراه ۳/۲۵ کیلوگرم کود اوره به صورت یکنواخت در کل کرت‌ها توزیع و با کمک دیسک با خاک مخلوط و زیر خاک قرار گرفت.

ابعاد هر کرت آزمایشی ۱۲ مترمربع (٦×۲ متر) و فاصله بین بلوک ها ٤ متر در نظر گرفته شد. کشت بذرهای گندم از طبقه بذر گواهی شده و تهیه شده از مرکز خدمات کشاورزی جیرفت به شیوه دستی و با دقت لازم بر اساس دانه بذر در متر مربع در هر دو سال در تاریخ ۱۰ آذر ماه انجام شد. آبیاری به صورت

[1] محصول شرکت زیست فناور سبز ایران حاوی سویه های ثبت شده از باکتری های *Pseudomonas koreensis* و *Pseudomonas vancouverensis*

غرقابی و براساس عرف منطقه تا پایان دوره رشد و نمو انجام شد. پس از وقوع مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، نمونه برداری از هر کرت با حذف حاشیه هر کرت از محصول گندم انجام که برای این کار بوته های گندم به‌طور کامل از سطح زمین قطع گردیدند و پس از انتقال به آزمایشگاه صفات عملکرد زیستی، عملکرد دانه، عملکرد کاه، شاخص برداشت و همچنین وزن هزار دانه و ارتفاع گیاه مورد سنجش قرار گرفتند. داده‌های جمع آوری شده با استفاده از نرم افزار SAS نسخه 9.2 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای این منظور ابتدا نرمال بودن توزیع داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس تجزیه واریانس داده‌ها برای دو سال بصورت جداگانه و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۱- برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

سال	Texture	OC (%)	pH	EC ($dS.m^{-1}$)	P ($mg.kg^{-1}$)	K ($mg.kg^{-1}$)	N Total (%)
۱۳۹۶	Loamy Sand	۰/۶۳	۷/۹	۱/۳۸	۵/٤	۱۰۷	۰/۱۲۸
۱۳۹۷	Loamy Sand	۰/٦۰	۷/۹	۱/۳۸	۵/۱	۱۰۵	۰/۱۳۰

نتایج و بحث

جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی را برای هر سال به طور جداگانه نشان می دهد.

وزن هزار دانه

براساس نتایج تجزیه واریانس صفات، در سال اول آزمایش تنها اثر متقابل رقم و کود بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و تفاوت معنی‌داری بین ارقام و سطوح مختلف کودی مشاهده نشد. این در حالی است که در سال دوم آزمایش تفاوت معنی‌داری بین ارقام، سطوح مختلف کودی در سطح یک درصد مشاهده شد و اثر متقابل دو فاکتور نیز بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و سطوح مختلف کودی نشان داد در سال اول آزمایش، بیشترین وزن هزار دانه از مصرف کود شیمیایی براساس آزمایش خاک، نصف کود شیمیایی سولفات پتاسیم به همراه کود زیستی پتاسیم و مصرف کود زیستی پتاسیم در رقم گندم برات و همچنین مصرف کود زیستی پتاسیم در رقم گندم چمران۲ حاصل شد. این درحالی است که در سال دوم آزمایش، نیز رقم برات در سطوح برتر کودی سال اول بیشترین وزن هزار دانه را به خود اختصاص داد. در سال دوم آزمایش، مصرف کود شیمیایی براساس آزمایش خاک در رقم گندم خلیل و مصرف کود زیستی پتاسیم در رقم چمران۲ منجر به افزایش وزن هزار دانه شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای برتر نشان نداد (شکل ۱).

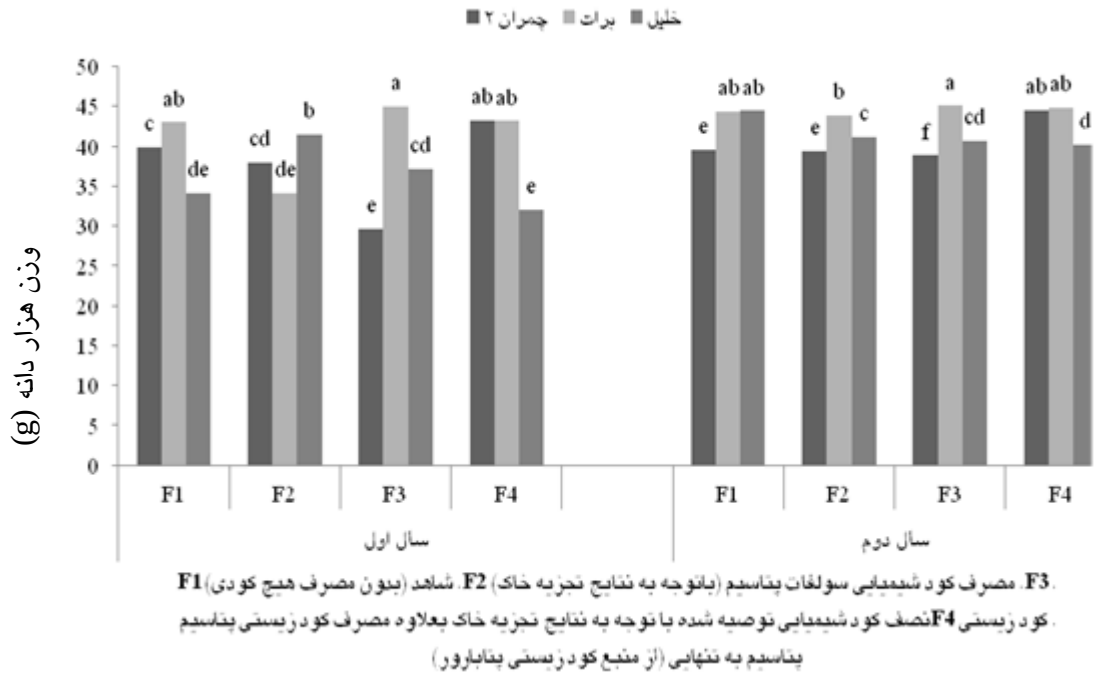
عملکرد دانه

عملکرد دانه در سال اول آزمایش تنها تحت تأثیر برهمکنش دو عامل رقم و سطوح کودی مختلف در سطح یک درصد قرار گرفت اما در سال دوم آزمایش اثر رقم، کود و اثر متقابل دو عامل در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و کود در سال اول آزمایش شکل ۲ نشان داد بیشترین عملکرد دانه در رقم چمران۲ با مصرف کود زیستی

جدول ۲- تجزیه واریانس وزن هزاردانه، عملکرد دانه و عملکرد زیستی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن هزار دانه		عملکرد دانه		عملکرد زیستی	
		سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
تکرار	۲	۱۵/۲۱ ns	۰/٤۱ ns	۲/۷٤ ns	۰/٤٤ ns	۱/۷۰ ns	۰/٤٤ ns
رقم	۲	۸۳/۲۷ **	٤۹/٦۳**	۲/۰۸ ns	۹/۰۱**	۳/۳۳ ns	۸/٥۸**
خطای v	٤	۲۲/۳۰	۰/۰۷	۰/٤۲	۰/۱۱	۱/۰۷	۰/٦۱
کود	۳	۹/۳۹ ns	٦/٦۷**	۲/۰۱ ns	۱/۲٥**	۰/۹۷ ns	۰/۷۳ ns
رقم× کود	٦	۱۰۷/۱۲**	۱۲/۹۸**	۹/۹٤**	۲/۲۲**	۱۱/٦۷**	۱/۱٦ ns
خطای کل	۱۸	٥/۹۳	۰/۲۹	۰/٦٤	۰/۱۰	۱/۳۲	۰/٥٥
ضریب تغییرات (٪)		٦/۳٥	۱/۲۸	۱۳/۷۱	۱۲/۹۳	۷/۹۰	۹/٤۹

** و ns به ترتیب معنی‌دار در در سطح احتمال ۱٪ و غیر معنی‌دارمی باشد.

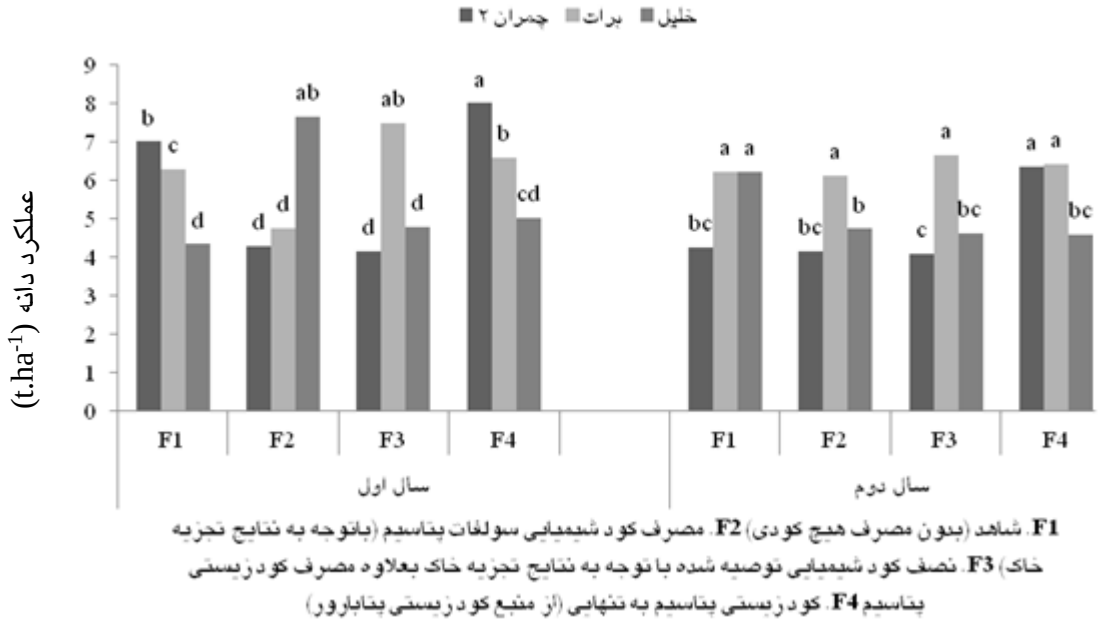


شکل ۱- ترکیبات تیماری رقم و سطوح کودی برای وزن هزار دانه گندم طی دو سال

پتاسیم به میزان ۸ تن در هکتار حاصل شد. این درحالی است که مصرف کود سولفات پتاسیم به تنهایی در رقم خلیل و مصرف کود شیمیایی سولفات پتاسیم به همراه کود زیستی پتاسیم در رقم برات به ترتیب سبب تولید۷/٤۹ و ۷/٦ تن دانه در هکتار شد که با تیمار برتر تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در سال دوم آزمایش، رقم چمران۲ رفتار مشابهی همانند سال اول آزمایش داشت و بیشترین عملکرد دانه در این رقم از مصرف کود زیستی پتاسیم به میزان ٦/۳٦ تن در هکتار حاصل شد. این در حالی است که رقم برات و خلیل رفتار متفاوتی از سال اول نسبت به سال آزمایش به سطوح مختلف کودی نشان دادند. به طوری که عملکرد دانه رقم برات

در تمام سطوح کودی بالا بوده و تفاوت معنی‌داری باهم نشان ندادند. این در حالی است که بیشترین عملکرد رقم خلیل (۶/۲۲ تن در هکتار) مربوط به تیمار کودی شاهد یعنی مصرف کود شیمیایی سولفات پتاسیم براساس آزمون خاک حاصل شد.

ژانگ و کانگ (۲۰۱۴) گزارش نمودند استفاده از سویه‌های مختلف باکتری آزادکننده پتاسیم در تنباکو منجر به افزایش وزن خشک گیاه و جذب پتاسیم و نیتروژن شد. همچنین این محققین گزارش نمودند استفاده از این سویه‌های باکتریایی به همراه کودهای معدنی افزایش بیشتر رشد و عملکرد گیاه را سبب گردید. این بررسی ها متفقا اثبات می کنند که یکی از دلایل افـزایش عملکـرد در ایـن مطالعات به افزایش میزان جذب پتاسیم و آب در گیاه مربوط می شود.



F1. شاهد (بدون مصرف هیچ کودی) **F2**. مصرف کود شیمیایی سولفات پتاسیم (باتوجه به نتایج تجزیه خاک) **F3**. نصف کود شیمیایی توصیه شده با توجه به نتایج تجزیه خاک بعلاوه مصرف کود زیستی پتاسیم **F4**. کود زیستی پتاسیم به تنهایی (از منبع کود زیستی پتاباروور)

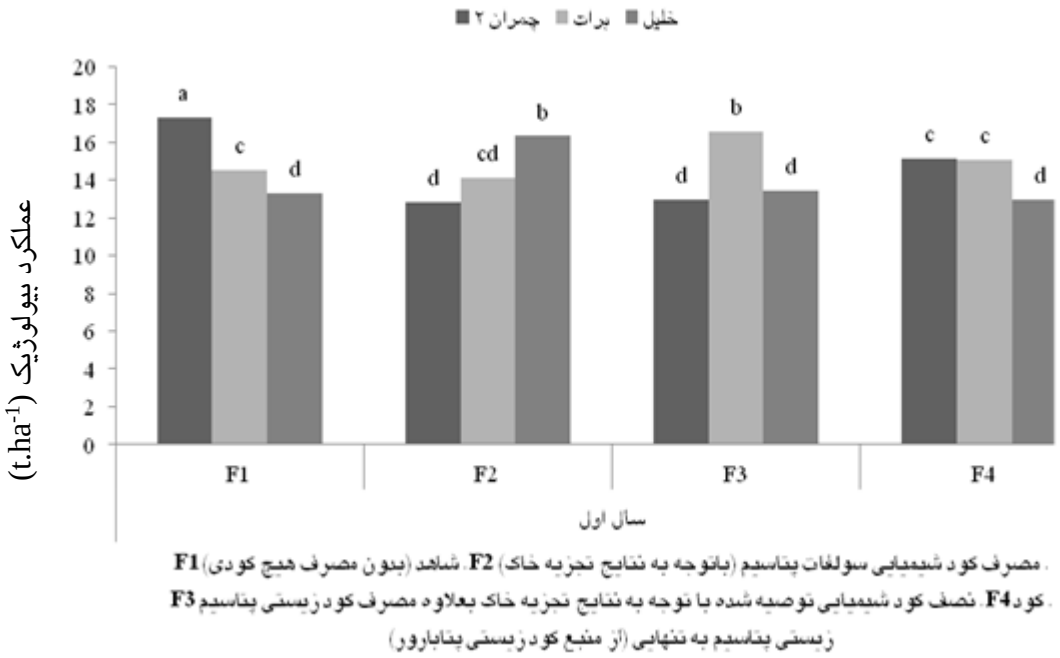
شکل ۲- ترکیبات تیماری رقم و سطوح کودی برای عملکرد دانه گندم طی دو سال

عملکرد زیستی

در سال اول آزمایش، تنها اثر متقابل رقم و سطوح کودی بر عملکرد زیستی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. این درحالی است که در سال دوم آزمایش، این صفت تحت تأثیر ارقام مورد مطالعه در سطح پنج درصد قرار گرفته و اثر سایر منابع تغییر از نظر آماری برآن معنی‌دار نبود (جدول ۲). بیشترین عملکرد زیستی در رقم گندم خلیل و برات به ترتیب از مصرف کود سولفات پتاسیم به تنهایی و نصف مصرف کود شیمیایی مذکور و کاربرد پتاسیم زیستی توأم بدست آمد.

برهمکنش رقم و سطوح کودی در سال اول آزمایش نشان داد بیشترین عملکرد زیستی از مصرف کود شیمیایی براساس آزمون خاک در رقم چمران۲ به میزان ۱۷/۳۳ تن در هکتار حاصل شد. این در حالی است که کمترین عملکرد زیستی در این رقم از مصرف کود سولفات پتاسیم به تنهایی حاصل شد (شکل ۳). بساک و بیسواس (۲۰۰۸) نیز گزارش نمود استفاده از باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم *B. mucilaginosus* سبب افزایش عملکرد زیستی و جذب پتاسیم در سودانگراس شد. پرمار (۲۰۱۰) نشان دادند تلقیح بذر گندم با باکتری‌های آزادکننده پتاسیم سویه HWP47 سبب

بهبود ۵۱/٤٦ درصدی وزن خشک ریشه و ٤٤/۲۸ ٪ وزن خشک ساقه گردید. همچنین تلقیح باکتری مذکور با کودهای شیمیایی به ترتیب ۲۲/۳۵ و ۷۳/٦۸٪ وزن خشک ریشه و ساقه را افزایش داد.



شکل ۳- ترکیبات تیماری رقم و سطوح کودی برای عملکرد زیستی گندم در سال اول آزمایش

عملکرد کاه

نتایج تجزیه واریانس طی دو سال نشان داد که عملکرد کاه تحت تأثیر هیچ یک از تیمارهای مورد ارزیابی قرار نگرفت (جدول ۲).

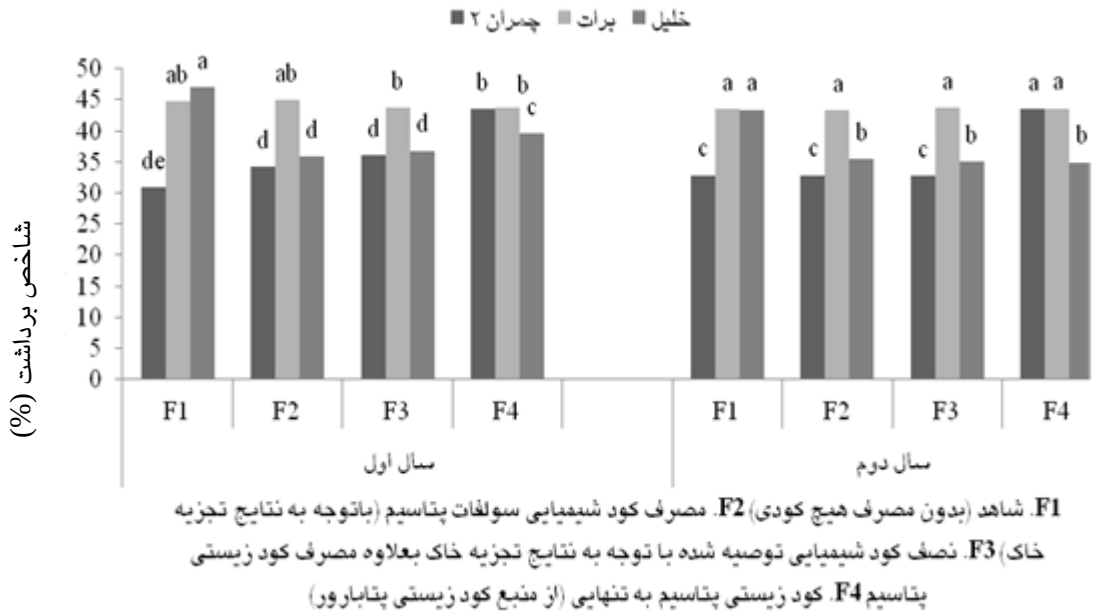
شاخص برداشت

شاخص برداشت در سال اول آزمایش تحت تأثیر رقم و برهمکنش دو عامل رقم و سطوح کودی مختلف در سطح یک درصد قرار گرفت اما در سال دوم آزمایش اثر رقم، کود و اثر متقابل دو عامل در سطح یک درصد بر آن معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل طی دو سال نشان داد واکنش ارقام طی دو سال به سطوح مختلف کودی یکسان بوده به نحوی که بیشترین شاخص برداشت در رقم چمران۲ از تیمار کودی حاوی پتاسیم بارور حاصل شد. در رقم گندم برات تیمار کودی شاهد، مصرف کود سولفات پتاسیم به تنهایی، در سال اول و دوم و همچنین مصرف نصف کود شیمیایی توصیه شده توأم با کود زیستی محلول کننده پتاس و کود زیستی مذکور به تنهایی سبب حصول بیشترین شاخص برداشت دانه در این رقم شد. بیشترین شاخص برداشت در رقم خلیل طی دو سال از مصرف کود شیمیایی سولفات پتاسیم (شاهد) بدست آمد (شکل ٤). هان و همکاران (۲۰۰٦) نشان دادند اضافه کردن باکتری‌های آزادکننده پتاسیم و فسفر به کودهای شیمیایی حاوی این عناصر منجر به بهبود سطح برگ، فتوسنتز و در نتیجه بهبود عملکرد و شاخص برداشت شد.

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد کاه، شاخص برداشت و ارتفاع گیاه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		عملکرد کاه		شاخص برداشت		ارتفاع گیاه	
		سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
تکرار	۲	۱/۵۲ ns	۰/۱۳ ns	۱/۲۵ ns	٤/٥٧ ns	١٤٠/٠٩ ns	۲/۱۸ ns
رقم	۲	۱/۰٤ns	۰/۱۰ ns	۱۹۷/٦۱**	۲۱٦/۱۹**	۱۲۲۱/٥۳**	٦۷۰/۳۷ **
خطای v	٤	۱/۹۷	۰/۰٦	۲/٥۸	۳/٤۲	۲۷/۳۱	۰/٦٦
کود	۳	۱/٥٦ ns	۰/۰۹ ns	۲۹/٤۸ ns	۳۰/٥۳**	٥۱/۲۹ ns	۱۰۲/۰۸ **
رقم× کود	٦	۱/۰۱ ns	۰/۲۰ ns	٦٦/۹۷**	٥۳/۸۱**	۱۰٤۳/۸٤**	۱٦۳/٦۸ **
خطای کل	۱۸	۱/٥۱	۰/۱٤	۱٤/۲۱	۱/۰۲	٥۹/۷۳	۱/۱۱
ضریب تغییرات (٪)		۱٤/٦۸	٤/٤۸	۹/٤۰	۲/٦۰	۱۳/٤٤	۹/٥۹

** و ns به ترتیب معنی‌دار در در سطح احتمال ۱٪ و غیر معنی‌دارمی‌باشد.

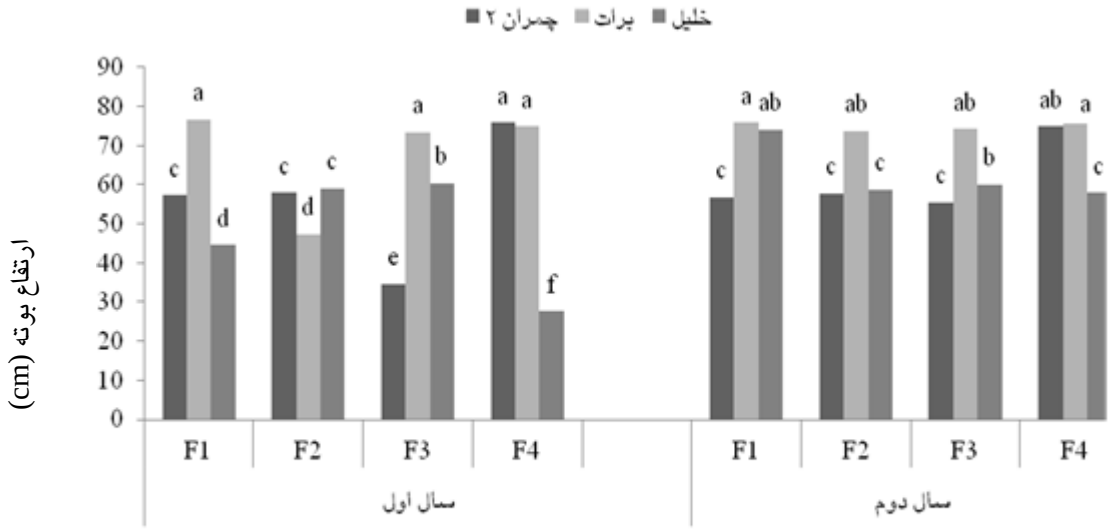


F1. شاهد (بدون مصرف هیچ کودی) **F2**. مصرف کود شیمیایی سولفات پتاسیم (باتوجه به نتایج تجزیه خاک) **F3**. نصف کود شیمیایی توصیه شده با توجه به نتایج تجزیه خاک بعلاوه مصرف کود زیستی پتاسیم **F4**. کود زیستی پتاسیم به تنهایی (از منبع کود زیستی پتابارور)

شکل ۴- ترکیبات تیماری رقم و سطوح کودی برای شاخص برداشت گندم طی دو سال

ارتفاع بوته: ارتفاع بوته در سال اول آزمایش تحت تأثیر رقم و برهمکنش دو عامل رقم و سطوح کودی مختلف در سطح یک درصد قرار گرفت اما در سال دوم آزمایش اثر رقم، کود و اثر متقابل دو عامل در سطح یک درصد بر آن معنی‌دار بود (جدول ۲). در سال اول آزمایش، مصرف کود شیمیایی سولفات پتاسیم براساس نتایج تجزیه خاک (شاهد)، نصف مصرف کود شیمیایی سولفات پتاسیم توأم با کود زیستی پتاسیم و کود زیستی پتاسیم به تنهایی منجر به حصول بیشترین ارتفاع بوته در رقم گندم برات شد. در رقم گندم چمران ۲ نیز مصرف کود زیستی پتاسیم سبب افزایش ارتفاع بوته در حداکثر مقدار خود شد. این در حالی است که

در سال دوم آزمایش رقم برات در تمام سطوح کودی بیشترین ارتفاع بوته را داشت. همچنین مصرف کود در تیمار شاهد و در رقم خلیل و مصرف کود زیستی پتاسیم در رقم چمران ۲ منجر به افزایش معنی دار ارتفاع بوته گردید (شکل ۵). در این ارتباط ابوالسوئد و عبدالمجید (۲۰۱۲) گزارش نمودند که اضافه کردن باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم و فسفر همراه با کودهای معدنی پتاسه و فسفره در داخل خاک می‌تواند علاوه بر افزایش جذب پتاسیم و فسفر سبب افزایش رشد ریشه و ساقه در ذرت گردد. رامارتینام و چاندرا (۲۰۰۵)، نیز افزایش معنی‌دار عملکرد، ارتفاع بوته و جذب پتاسیم را در مقایسه با شاهد در نتیجه کاربرد باکتری آزاد کننده پتاسیم از نوع *Frateuria aurantia* در شرایط مزرعه گزارش نمودند.



F1. شاهد (بدون مصرف هیچ کودی) **F2**. مصرف کود شیمیایی سولفات پتاسیم (باتوجه به نتایج تجزیه خاک) **F3**. نصف کود شیمیایی توصیه شده با توجه به نتایج تجزیه خاک بعلاوه مصرف کود زیستی پتاسیم **F4**. کود زیستی پتاسیم به تنهایی (از منبع کود زیستی پتابارور)

شکل ۵- ترکیبات تیماری رقم و سطوح کودی برای ارتفاع بوته گندم طی دو سال

نتیجه گیری کلی

کاربرد سویه‌های مختلف باکتری‌های آزادکننده پتاسیم در ترکیب با کودهای معدنی رایج مانند سولفات پتاسیم می‌تواند سبب کاهش مقدار مصرف کودهای شیمیایی پتاسه و کاهش هزینه‌های تولید می گردد. اگرچه برخی سویه های باکتریایی آزادکننده پتاسیم می‌توانند رشد گیاه را تحریک نمایند و به افزایش عملکرد منجر شوند، اما لازم است این گونه باکتری‌ها و کودهای زیستی حاوی آن‌ها تحت شرایط مزرعه، در بافت‌های مختلف خاک، شرایط محیطی متفاوت و ارقام مختلف گیاهی مورد آزمایش قرار گیرند. در آزمایش حاضر که در خاک با بافت شن لومی و در سه رقم گندم رایج و سازگار با منطقه جنوب کرمان اجرا گردید، نتایج نشان داد ارقام مختلف گندم واکنش‌های متفاوتی به سطوح کودی مورد ارزیابی نشان دادند. آن‌چه که در نتایج مشهود بود، کود زیستی پتاسیم بکار رفته توانست موجب بهبود عملکرد زیستی و عملکرد دانه، شاخص برداشت، وزن هزار دانه و ارتفاع بوته گردد. هر چند مصرف کود شیمیایی سولفات پتاسیم استفاده شده براساس نتایج آزمایش خاک نیز در افزایش صفات

مذکور عینا نقش موثری داشت اما در کشاورزی مبتنی بر رعایت اصول زیست محیطی، کاربرد کود زیستی محلول کننده پتاسیم همراه با کود شیمیایی سولفات پتاسیم می‌تواند علاوه بر کاهش مقدار کودهای شیمیای در کاهش هزینه‌های تولید و سلامت محصول بسیار مفید و موثر باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می دانند مراتب تقدیر و تشکر صمیمانه خود را از مدیریت و کارکنان شریف مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد جیرفت و کارشناسان محترم آزمایشگاه های حوزه معاونت پژوهشی آن دانشگاه که ما را در انجام و ارتقاء کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام نمایند.

منابع مورد استفاده

Abou-el-Seoud II and Abdel-Megeed A. 2012. Impact of rock materials and biofertilizations on P and K availability for maize (*Zea maize*) under calcareous soil conditions. Saudi Journal of Biological Sciences, 19:55–63.

Akande MO, Adediran JA, Oluwatoyinbo FI, Makinde EA and Adetunji MT. 2008. Suitability of poultry manure amended Sokoto rock phosphate on growth, nutrient uptake and yield of chilli pepper (*Capsicum fruitscens* L). Nigerian Journal of Soil Science, 18:167–174.

Bacilio M, Rodrguez H, Moreno M, Hernandez JP and Bashan Y. 2004. Mitigation of salt stress in wheat seedlings by a gfp-tagged *Azospirillum lipoferum*. Biology and Fertility of Soils. 40: 188-193.

Bakhshandeh E, Pirdashti H and Shahsavarpour Lendeh K. 2017. Phosphate and potassium-solubilizing bacteria effect on the growth of rice. Ecological Engineering, 103: 164–169.

Basak BB and Biswas DR. 2008. Influence of potassium solubilizing microorganism (*Bacillus mucilaginous*) and waste mica on potassium uptake dynamics by sudan grass (*Sorghum vulgare* Pers) grown under two Alfisols. Plant Soil, 317:235–255.

Deilamirad M, Sarikhani MR and Oustan S. 2017. Effect of Potassium Releasing Pseudomonads on Growth and K Uptake of Tomato in Two Soils with Different Amount of Available K. Journal of Water and Soil, 31(4): 1159-1170.

Han H, Supanjani S and Lee KD. 2006. Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. Plant Soil Environ. 52:130–136.

Kumar V and Ahlawat IPS. 2006. Effect of biofertilizer and nitrogen on wheat (*Triticum aestivum*) and their after effects on succeeding maize (*Zea mays*) in wheat-maize cropping system. Indian Journal of Agricultural Sciences, 76(8): 465-468.

Meena VS, Maurya BR and Verma JP. 2014b. Does a rhizospheric microorganism enhance K+ availability in agricultural soils? Microbiol Research, 169:337–347.

Meena VS, Maurya BR and Bahadur I. 2014a. Potassium solubilization by bacterial strain in waste mica. Bangladesh J Bot. 43(2):235–237.

Panwar JDS. 1991. Effect of VAM and Azospirillum brasilense on photosynthesis, nitrogen metabolism and grain yield in wheat. Indian Journal of Plant Physiology, 34: 357-361.

Parmar P . 2010. Isolation of potassium solubilizing bacteria and their inoculation effect on growth of wheat (*Triticum aestiv*um L. em. Thell.). M. Sc. thesis submitted to CCS Haryana Agricultural university, Hisar.

Ramarethinam S and Chandra K . 2005. Studies on the effect of potash solubilizing/mobilizing bacteria Frateuria aurantia on brinjal growth and yield. Pestology, 11:35–39.

Sarikhani MR, Oustan S, Ebrahimi M and Aliasgharzad N.2018. Isolation and identification of potassium-releasing bacteria in soil and assessment of their ability to release potassium for plants. European Journal of Soil Science, 69(6): 1078-1086.

Sheng XF and Huang WY . 2002. Mechanism of potassium release from feldspar affected by the strain NBT of silicate bacterium. Acta Pedol Sin, 39:863–871.

Sindhu SS, Parmar P, Phour M and Kumari K . 2014. Rhizosphere microorganisms for improvement in soil fertility and plant growth. In: Nagpal R, Kumar A, Singh R (eds) Microbes in the service of mankind: tiny bugs with huge impact. JBC Press, New Delhi, pp 32–94.

Sindhu SS, Parmar P, Phour M and Sehrawat A. 2016. Potassium-solubilizing microorganisms (KSMs) and its effect on plant growth improvement. DOI 10.1007/978-81-322-2776-2_13.

Wu SC, Cao ZH, Li ZG, Cheung KC and Wong MH. 2005. Effect of biofertilizer containing N fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. Geoderma, 125: 155-166.

Zahedi H . 2016. Growth-promoting effect of potassium solubilizing microorganisms on some crop species. In: Meena VS, Maurya BR, Verma JP, Meena RS (eds) Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture. Springer, India, pp 31–42.

Zapata F and Roy RN. 2004. Use of phosphate rock for sustainable agriculture. FAO and IAEA, Rome.

Zhang C and Kong F. 2014. Isolation and identification of potassium-solubilizing bacteria from tobacco rhizosphere soil and their effect on tobacco plants. Applied Soil Ecology. 82:18–25.

Zhang CJ, Tu GQ and Cheng CJ. 2004. Study on potassium dissolving ability of silicate bacteria. Shaguan College Journal. 26:1209–1216.

Zord C, Senbayram M and Peiter E . 2014. Potassium in agriculture – status and perspective. Journal of plant physiology. 171:656–659.