نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد هفتم، شماره سوم، ۱۳۹۶
http://ejsms.gau.ac.ir

تأثیر تلقیح باکتری حل‌کننده پتاسیم با شیل گلاکونیت‌دار بومی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم دیم در شرایط مزرعه‌ای

*سیدعبدالصاحب حسینی[۱]، محسن علمائی[۲]، سیدعلیرضا موحدی‌نائینی[۲]، فرهاد خرمالی[۳] و رضا قربانی‌نصرآبادی[۴]

[۱]دانشجوی دکتری بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۳]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۴]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: پتاسیم فراوان‌ترین عنصر غذایی پرنیاز در ۱۵ سانتی‌متری لایه سطحی خاک است. میکاها، فلدسپارهای پتاسیم‌دار و ورمی‌کولیت‌ها سه گروه مهم از کانی‌های پتاسیم‌دار می‌باشند. ریزجانداران خاک نقش مهمی در چرخه طبیعی پتاسیم دارند، در نتیجه آن‌ها می‌توانند به‌عنوان یک فناوری مکمل در بهبود جذب پتاسیم خاک توسط گیاه مورد استفاده قرار گیرند. کانی میکایی گلاکونیت به‌عنوان یکی از منابع کودی پتاسیم مورد توجه قرار گرفته است. هدف از این پژوهش مطالعه تأثیر تلقیح باکتری حل‌کننده پتاسیم با شیل گلاکونیت‌دار بومی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم دیم در شرایط مزرعه‌ای بود.

مواد و روش‌ها: پس از جداسازی و خالص‌سازی جدایه‌ها، سنجش شاخص‌های محرک رشدی انجام شد. براساس توانمندی حل‌کنندگی پتاسیم جدایه مورد نظر برای استفاده در آزمون مزرعه‌ای انتخاب و به کمک آزمون 16S rRNA شناسایی گردید. کانی گلاکونیت از حوالی روستای آق‌تقه در بخش مراوه‌تپه استان گلستان جمع‌آوری و به آزمایشگاه بیولوژی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انتقال داده شد. پس از خردایش، ذرات شیل گلاکونیت‌دار از الک ۶۰ مش عبور داده شد. مطالعات XRD وXRF بر روی کانی گلاکونیت خرد شده انجام گرفت. این پژوهش در قالب طرح کامل تصادفی با نه تیمار شامل: ۱- تیمار شاهد ۲- تیمار تلقیح باکتری + گلاکونیت ۳- تیمار تلقیح باکتری + گلاکونیت + مواد آلی ٤- تیمار تلقیح باکتری + مواد آلی ۵- تیمار گلاکونیت + مواد آلی ٦- تیمار گلاکونیت ۷- تیمار کود سولفات‌پتاسیم ۸- تیمار باکتری ۹- تیمار مواد آلی، در سه تکرار در سال زراعی (۲۰۱۵-۲۰۱٦) در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان بر روی گندم رقم کریم در شرایط دیم انجام گرفت. صفات اندازه‌گیری شده مزرعه‌ای شامل عملکرد و اجزای عملکرد گندم بود.

یافته‌ها: آزمایش‌های مربوط به آنالیز ترکیب شیمیایی کانی گلاکونیت نشان داد که این کانی حاوی اکسیدپتاسیم (۳/۲ درصد)، آهن و سایر عناصر ریزمغذی است که می‌تواند مورد استفاده گیاه واقع شود. بر اساس نتایج این پژوهش

* مسئول مکاتبه: seyed.325@gmail.com

تیمارهای آزمایشی اثر معنی‌داری (P<۰/۰۱) بر عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلش و هم‌چنین اجزای عملکرد دانه گندم داشتند. به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار برای تعداد خوشه در مترمربع، تعداد دانه در خوشه، تعداد سنبلچه در خوشه، وزن هزاردانه، عملکرد دانه (٥٦٥٠ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد کاه و کلش (۹۸۲٦ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ترکیبی گلاکونیت، ماده آلی و باکتری مشاهده شد و کم‌ترین مقدار برای این صفات در تیمار شاهد (۳٦۸۷ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. پس از تیمار ترکیبی گلاکونیت، ماده آلی و باکتری، تیمارهای ترکیبی دوتایی نیز دارای اجزای عملکرد و عملکرد دانه بالاتری نسبت به تیمارهای تنهایی خود بودند. هم‌چنین نتایج این آزمایش نشان داد که در تیمارهای ترکیبی میزان جذب پتاسیم در دانه و کاه (۱۳۳/٦۷ و ٤۰/۲۷ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌داری از سایر تیمارها بیش‌تر بود که این بیانگر آن است که گلاکونیت، ماده آلی و باکتری با اثر هم‌افزایی که روی یکدیگر گذاشته و باعث افزایش میزان جذب در گندم شد و بنابراین کانی گلاگونیت توانست در تأمین پتاسیم گیاه مؤثر باشد و باعث افزایش عملکرد گندم شود.

نتیجه‌گیری: تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار ترکیبی مواد آلی + گلاکونیت + باکتری در مقایسه با کود سولفات‌پتاسیم باعث افزایش معنی‌دار عملکرد در سطح یک درصد نسبت به سایر تیمارها داشت. این بررسی نشان‌دهنده تأثیر قابل‌توجه باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم بر شیل گلاکونیت‌دار بومی در تأمین پتاسیم برای گیاه است و کانی گلاکونیت به‌تنهایی و یا همراه با تلقیح باکتریایی و مواد آلی توان آزادسازی پتاسیم را دارا بوده و می‌تواند به‌عنوان کود پتاسه بخشی از نیاز پتاسیمی گیاه را تأمین نماید.

واژه‌های کلیدی: ریزجانداران، عناصر غذایی، کانی‌های پتاسیم‌دار، ماده آلی

مقدمه

جمعیت جهان روز به روز در حال افزایش است و تا سال ۲۰۲۵ بیش از ۸/۳ میلیارد نفر می‌رسد. تقاضا برای مواد غذایی تا سال ۲۰۵۰ دو برابر شرایط کنونی خواهد شد و یکی از راه‌کارهای مقابله با این معضل، تمرکز برروی سیستم زیستی و درک بهتر فرایندها و سلامت خاک می‌باشد (۱۲). در بین عناصر ضروری برای رشد بیش‌تر گیاهان، پتاسیم بعد از نیتروژن مهم‌ترین عنصر محسوب می‌شود. توزیع پتاسیم با توجه به نوع کانی‌ها، از خاکی به خاک دیگر متفاوت است (۲۱). مهم‌ترین کانی‌های پتاسیم‌دار شامل کانی‌های اولیه و ثانویه رسی است. میکاها، فلدسپارهای پتاسیم‌دار و ورمی‌کولیت‌ها سه گروه مهم از کانی‌های پتاسیم‌دار می‌باشند (٤۰). نقش پتاسیم در گیاه بیش‌تر به‌صورت کاتالیزوری است و کمبود آن، مقاومت گیاه را در برابر آفات و بیماری‌ها کاهش می‌دهد. وجود پتاسیم در تنش‌های شوری، خشکی و سرمازدگی در بافت‌های گیاهی از اهمیت خاصی برخوردار است. هم‌چنین این عنصر سبب افزایش بازدهی کودهای ازته می‌شود (۲٦). قدمت کشت و مصرف نکردن کودهای پتاسیمی در خاک‌های زراعی ایران، باعث تخلیه پتاسیم گردیده و میزان پتاسیم قابل دسترس را در اکثر خاک‌ها به زیر حد بحرانی رسانده است. پتاسیم معمولاً به‌صورت منابعی از کودهای شیمیایی، بقایای محصولات و کودهای آلی و زیستی به خاک اضافه می‌شود (۳٤). ریزجانداران خاک نقش مهمی در چرخه طبیعی پتاسیم دارند، در نتیجه ریزجانداران حل‌کننده پتاسیم در خاک می‌توانند به‌عنوان یک تکنولوژی جایگزین برای پتاسیم قابل دسترس برای جذب توسط گیاه مورد استفاده قرار

گیرند (۸). باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم از طریق تولید و ترشح اسیدهای آلی و پروتون، ترشح پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی، تولید لیگاندهای آلی، سیدروفورها، ترشح ترکیبات محلول و تجزیه مواد آلی خاک به پویایی و معدنی‌شدن عناصر در خاک کمک می‌کنند (۱، ٦، ١٤، ۳۱ و ٤٤). زالر و همکاران (۲۰۰۷) علت افزایش جذب پتاسیم در اثر مصرف کودهای آلی در خاک را افزایش فعالیت‌های میکروبی، وجود تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و افزایش جذب عناصر غذایی عنوان نمودند (٤۳). تلاش محافل جهانی براین است که بتوانند کودهای غیرشیمیایی و ذخایر بومی را جایگزین کودهای شیمیایی کنند. در کشور ما نیز با توجه به وارداتی‌بودن بسیاری کودها از جمله کودهای پتاسیمی یافتن منابع کود پتاسیم در داخل کشور بسیار مهم است. در این میان استفاده از کانی گلاکونیت به‌عنوان یک کانی سیلیکاتی حاوی سه تا هفت درصد پتاسیم موجود در ذخایر سنگی مانند شیل‌ها به‌جای کودهای شیمیایی بسیار دارای اهمیت است. در هند بیش از ۳۰۰۰ میلیون تن گلاکونیت بومی و ارزان قیمت شناسایی شده و به‌عنوان منبع ذخیره محلی کود پتاسیمی کندرها استفاده می‌شود (۳۸). در پژوهشی بررسی امکان استفاده از ماسه‌سنگ گلاکونیت‌دار به‌عنوان کود پتاسیمی در گندم و کلزا مورد آزمایش قرار گرفت و مشخص شد که گلاکونیت پتانسیل آزادسازی پتاسیم لازم برای رشد گندم و کلزا را دارد (۲۰). در هندوستان براساس پژوهشی که بر روی زراعت گندم و برنج انجام شد با افزایش ۳۰، ٦۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیمی به‌ترتیب ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد افزایش محصول به‌همراه داشت، در حالی‌که با همین میزان افزایش از گلاکونیت خرد شده به‌ترتیب ۸، ۱۲ و ١٦ درصد افزایش محصول ایجاد شد (۳۷). هم‌چنین اثر کانی گلاکونیت به‌عنوان کود پتاسیمی در گیاه زیتون تغذیه شده با محلول غذایی پتاسیم پنج میلی‌مولار، نیم میلی‌مولار و ٤۰۰ گرم گلاکونیت در طی دوره کشت ۸۰ روزه بررسی شد. نتایج نشان داد که گیاهان در حضور گلاکونیت به خوبی رشد کرده و علائمی از کمبود پتاسیم در آن‌ها مشاهده نشد (۲۳). ریزجانداران خاک می‌توانند با استفاده از سازوکارهای مختلفی منجر به بهبود تغذیه پتاسیمی گیاهان شوند. توانمندی ریزموجودات در آزادسازی پتاسیم به ماهیت ترکیبات پتاسیمی بستگی دارد. گوناگونی در بین جدایه‌های حل‌کنندگی پتاسیم نشان‌دهنده لزوم یافتن ریزموجودات جدید حل‌کننده پتاسیم و ارزیابی توانمندی آن‌ها در حل‌کنندگی منابع مختلف پتاسیمی است. باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم با تولید و ترشح اسیدهای آلی مثل سیتریک، فرولیک، کوماریک، مالیک و اسیدسوکسینیک قادر به آزادسازی پتاسیم از ترکیبات معدنی هستند (۳۹). رحیم‌زاده و همکاران (۲۰۱٤) در پژوهشی تغییرات کانی‌شناسی کانی گلاکونیت در اثر تلقیح باکتری¬های حل‌کننده سیلیکات در محیط ریشه کلزا را بررسی کردند. مطالعات نشان داد باکتری¬های حل¬کننده سیلیکات می‌تواند نیاز گیاه به پتاسیم را تأمین نموده و گیاه تا اواخر دوره ۱۰۰ روزه ظاهری مشابه با نمونه‌های تغذیه شده با محلول غذایی کامل را داشته است (۳۰). با توجه به گسترش زیاد سازند آیتامیر در منطقه کپه‌داغ و منابع عظیم کانی گلاکونیت در بخش‌هایی از این سازند و نیاز بالای کودهای شیمیایی در گیاهان زراعی به‌خصوص در محصولات استراتژیکی مانند گندم این پژوهش با هدف بررسی امکان استفاده از سنگ‌شیل گلاکونیت‌دار به‌عنوان کود پتاسیمی در گیاه گندم صورت گرفت. بنابراین جبران بخشی از پتاسیم تخلیه شده به‌وسیله ذخایر بومی گلاکونیت و استفاده از باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم در گیاه گندم اهمیت و هدف نهایی این پژوهش را برآورده می‌نماید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر تلقیح باکتری حل‌کننده پتاسیم با کانی شیل گلاکونیت‌دار بومی بر رشد و نمو گندم دیم در شرایط مزرعه‌ای این مطالعه در مزرعه شماره یک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با طول جغرافیایی ٥٤ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ٥ دقیقه شمالی، واقع در ۱۰ کیلومتری غرب گرگان، اجرا گردید. خاک مزرعه براساس سیستم طبقه‌بندی آمریکایی در گروه بزرگ تیپیک هاپلوزرپت[1] طبقه‌بندی شده و جزء سری رحمت‌آباد است. این منطقه دارای آب و هوای معتدل با میانگین بارندگی سالانه ٤۲۷/۱ میلی‌متر است که بیش‌ترین مقدار ریزش باران در فواصل ماه‌های مهر و بهمن صورت می‌گیرد. پس از جداسازی و خالص‌سازی جدایه‌ها، سنجش شاخص‌های محرک رشدی شامل اندازه‌گیری کمی حلالیت پتاسیم معدنی (۲٥)، اندازه‌گیری کمی توان آزادسازی فسفر از منبع تری‌کلسیم‌فسفات (۲۲)، اندازه‌گیری کمی توان تولید ایندول‌استیک‌اسید (۱۹)، آزمون توان تولید سیانیدهیدروژن (۱٥)، آزمون نیمه‌کمی توان تولید سیدروفور (۳)، آزمون کیفی توان تولید ACC- دآمیناز (۲۹)، انجام شد. بر پایه توانمندی حل‌کنندگی پتاسیم، جدایه مورد نظر برای استفاده در آزمون مزرعه‌ای انتخاب و به کمک آزمون 16S rRNA شناسایی شد.کانی گلاکونیت از حوالی روستای آق‌تقه در بخش مراوه‌تپه استان گلستان جمع‌آوری و به آزمایشگاه بیولوژی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انتقال داده شد. پس از خردایش ذرات شیل گلاکونیت‌دار عبوری از الک ٦۰ مش که اندازه ذرات آن کم‌تر از ۲٥۰ میکرون بودند برای انجام آزمایش فراهم گردید. و مطالعات XRD و XRF برروی کانی گلاکونیت انجام گرفت. این بررسی با روش طرح کامل تصادفی با نه تیمار (۱- تیمار شاهد ۲- تیمار تلقیح باکتری + گلاکونیت ۳- تیمار تلقیح باکتری + گلاکونیت + مواد آلی ٤- تیمار تلقیح باکتری + مواد آلی ٥- تیمار گلاکونیت + مواد آلی ٦- تیمار گلاکونیت ۷- تیمار کود سولفات‌پتاسیم ۸- تیمار باکتری ۹- تیمار مواد آلی)، در سه تکرار در شرایط مزرعه‌ای بر روی گندم رقم کریم در شرایط دیم انجام گرفت. در فرایند آماده‌سازی زمین، اعمال تیمارها و کشت بذر بدین‌صورت عمل شد که برای کوددهی کل زمین از کودهای پایه اوره (۲۰۰ کیلو گرم در هکتار)، فسفات دی‌آمونیوم (۲٥۰ کیلوگرم در هکتار)، استفاده شد. یک سوم کود اوره به‌همراه فسفات دی‌آمونیوم قبل از کشت با خاک مخلوط شد و دو سوم دیگر آن به‌صورت سرک در مرحله (پنجه‌زنی و قبل از خوش‌دهی) اضافه شد. تیمارهای آزمایشی شامل کود سولفات‌پتاسیم (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و هم‌چنین سنگ شیل گلاکونیت‌دار با اندازه ۰/۲٥ میلی‌متر (۲۰ تن در هکتار) استفاده شد و کود گاوی پوسیده (٤۰ تن در هکتار) و تلقیح باکتریایی با جمعیت ٤×۱۰^{۸} در هر گرم مایه تلقیح به‌صورت (سوسپانسیون کشت باکتری‌ها مقدار ۱٥۰ میلی‌لیتر به بسته‌های ۸٥۰ گرمی حامل‌های پرلیت (perlite) و پیت (peat)، مخلوط پرلیت و پیت به‌ترتیب به نسبت ۱ به ۳، در شرایط استریل اضافه شد) بذرمال به‌کار برده شد (۳٦). بدین‌منظور گندم رقم کریم که به‌عنوان رایج‌ترین رقم مورد استفاده کشاورزان منطقه بود، استفاده گردید. داده‌های به‌دست آمده از آزمایش توسط نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل، و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه خاک قبل از اجرای آزمایش: پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه، آنالیز خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بر روی نمونه‌ها انجام شد و نتایج آن در جدول زیر آورده شده است (جدول ۱).

1- Typic Haploxerept

جدول ۱- میانگین برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای آزمایش.

Table 1. The average of physical and chemical properties of the soil before the experiment.

بافت خاک Soil texture	نیتروژن کل Total N	فسفر P	پتاسیم K	درصد کربن آلی %O.C	CEC ($Cmol^+/Kg$)	ECe (ds/m)	pH
	%	میلی‌گرم در کیلوگرم $mg\ kg^{-1}$					
رسی سیلتی Silty Caly	0.1	10	328	1.65	17	0.79	7.24

ویژگی‌های جدایه منتخب: بر اساس نتایج حاصله از آزمون‌های محرک رشدی، سویه *Arthrobacter phenanthrenivorans Sphe3 (T)* از میان ٤٠ جدایه به‌عنوان برترین جدایه انتخاب و برای تهیه مایه تلقیح در آزمایش‌های مزرعه‌ای مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج حاصله از آزمون‌های محرک رشدی.

Table 2. The results of the tests promoting growth.

جدایه Isolate	انحلال پتاسیم معدنی (موسکویت) K (mg/l) dissolution of minerals (muscovite)	انحلال پتاسیم معدنی (گلاکونیت) K(mg/l) dissolution of minerals (glauconite)	انحلال فسفر معدنی (mg/l) Dissolution of inorganic P	اکسین Auxin (mg/l)	سیدروفور Siderophore	ACC- دآمیناز Deaminase-ACC
Arthrobacter phenanthrenivorans Sphe3 (T)	34.2	31.8	295	52.3	3.1	+

* علامت + داشتن توانمندی تولید آنزیم ACC- دآمیناز.

نتایج آنالیز شیمیایی سنگ‌شیل گلاکونیت‌دار

درصد اکسیدهای اندازه‌گیری‌شده در سنگ‌شیل گلاکونیت‌دار به روش XRF: جدول ۳ میزان اکسیدها مختلف موجود در نمونه سنگ‌شیل گلاکونیت‌دار در منطقه مراوه‌تپه را براساس درصد نشان می‌دهد، سیلیس بیش‌ترین اکسید و پس از آن اکسیدهای آلومینیوم و آهن با میزان ۱۵/۲ و ٤/۹۱ درصد وزنی فراوان‌ترین اکسیدهای اصلی سنگ‌شیل گلاکونیت‌دار هستند. این کانی به‌طور متوسط ۳/۲۰ درصد اکسید پتاسیم دارد که می‌تواند به‌تدریج در خاک آزاد شود و مورد استفاده گیاهان قرار گیرد. به‌علاوه منیزیم، کلسیم، فسفر، منگنز و سایر عناصر ریزمغذی نیز در این کانی وجود دارند.

جدول ۳- نتایج آنالیز شیمیایی نمونه سنگ‌شیل گلاکونیت‌دار به روش XRF مراوه‌تپه.

Table 3. Chemical analysis of samples by XRF Maravetappe shale Glauconitic.

اکسیدها Oxides	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	MgO	K_2O	TiO_2	MnO	CaO	P_2O_5	Fe_2O_3	SO_3	LOI
درصد Percent	66.7	15.2	1.74	2.26	3.20	0.87	0.03	0.59	0.12	4.91	0.00	4.43

نتایج کانی‌شناسی در سنگ‌شیل گلاکونیت‌دار به روش XRD: جدول ٤ کانی‌های سازنده و درصد آن را در سنگ‌شیل گلاکونیت‌دار مشخص می‌کند که بعد از کوارتز کانی گلاکونیت با ۲۵/٤ درصد قرار گرفته است.

جدول ٤- نتایج آنالیز کانی‌شناسی در سنگ‌شیل گلاکونیت‌دار به روش XRD.

Table 4. Mineralogical analysis in the shale Glauconitic XRD method.

کانی‌ها Minerals	کوارتز Quartz	گلاکونیت Glauconite	کائولینت Kaolinite	آلبیت Albite	اورتوکلاز Orthoclase	هماتیت Hematite
درصد Percent	29	25.4	24.7	15.1	4.89	0.93

نتایج حاصل از عملکرد و اجزای عملکرد گندم

تعداد خوشه در مترمربع: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ٥)، اثر تیمارهای آزمایش بر تعداد خوشه در مترمربع در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج جدول مقایسه میانگین (جدول ٦)، نشان داد بیش‌ترین تعداد خوشه در مترمربع (۳۳٤) مربوط به تیمار تلفیقی گلاکونیت، باکتری و مواد آلی بود و کم‌ترین تعداد خوشه در مترمربع در تیمار ماده آلی، شاهد و باکتری به‌ترتیب با ۳۱۷، ۳۱۹ و ۳۱۹ عدد خوشه در مترمربع مشاهده شد که این سه تیمار در یک گروه آماری (c) قرار گرفتند. پس از تیمار ترکیبی گلاکونیت، ماده آلی و باکتری بیش‌ترین تعداد خوشه در مترمربع به‌ترتیب در تیمارهای ماده آلی + گلاکونیت (۳۳۲ خوشه در مترمربع)، گلاکونیت + باکتری (۳۳۲ خوشه در مترمربع) و باکتری + ماده آلی (۳۳۱ خوشه در مترمربع) مشاهده شد. تیمار سولفات‌پتاسیم نیز با تعداد ۳۲۹ عدد خوشه در مترمربع با تیمارهای دوتایی در یک گروه آماری قرار گرفت، که این امر نشان‌دهنده اثر هم‌افزایی ماده آلی، باکتری و گلاکونیت می‌باشد که توانسته‌اند تعداد خوشه در مترمربع بالایی را تولید کنند.

جدول ٥- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر اجزای عملکرد و عملکرد در گیاه گندم.

Table 5. Variance analysis test treatment effect on yield and its components in wheat.

منبع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی Df	تعداد خوشه در واحد سطح No. of ear Per unit area	تعداد دانه در خوشه No. of seed in ear	تعداد سنبلچه در خوشه Spikeletes in ear	وزن هزاردانه 1000 Seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عمکرد کاه Straw yield
تیمار Treatment	8	134**	20.1**	11.7**	7.95**	1226991**	1220337**
خطای آزمایشی Test error	18	25.3	1.29	0.62	0.90	21645	17966
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	1.5	2.87	4.3	2.3	3.0	1.55

ns عدم معنی‌داری و *، ** به‌ترتیب در سطح احتمال ٥ و ۱ درصد معنی‌دار هستند.

ns, * and ** Indicates respectively not significant, significance at 5 and 1%.

بر اساس نتایج این آزمایش می‌توان بیان کرد تیمارهای دوتایی (گلاکونیت + باکتری، باکتری + ماده آلی و گلاکونیت + ماده آلی) و ترکیب سه‌تایی گلاکونیت + باکتری + ماده آلی اثر مثبت و معنی‌داری بر تعداد خوشه در مترمربع در گیاه داشت، به‌طوری‌که با ترکیب کانی پتاسیم‌دار گلاکونیت با ماده آلی و باکتری تعداد خوشه به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها افزایش پیدا کرد. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که کاربرد سولفات‌پتاسیم به‌تنهایی نیز باعث شد، تعداد خوشه در مترمربع نسبت به تیمارهای تنهایی (گلاکونیت، ماده آلی، باکتری) افزایش معنی‌داری داشته باشد در صورتی که تعداد خوشه در واحد سطح در کاربرد سولفات پتاسیم به تنهایی با تیمارهای ترکیبی اختلاف معنی‌داری ندارد، این امر نشان‌دهنده آن است که کاربرد کانی گلاکونیت به‌صورت ترکیبی با ماده آلی و باکتری می‌تواند تا حد زیادی پتاسیم مورد نیاز گیاه را تأمین کرده و باعث افزایش تعداد خوشه در مترمربع شود. افزایش عناصر غذایی موجود در خاک در اثر تلقیح با باکتری‌های سیلیکاتی را می‌توان به تولید و ترشح ترکیباتی مثل اسیدهای آلی، معدنی، پلی‌ساکاریدها و سیدروفور توسط این باکتری‌ها نسبت داد که منجر به آزادسازی پتاسیم و فسفر از ترکیبات نامحلول شده و به‌شکل قابل استفاده برای گیاه درآمده است (۸ و ۱۸). شنگ و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که تجزیه کانی‌های پتاسیم‌دار و آزادسازی پتاسیم توسط *Bacillus globisporus* به‌علت تولید اسیدهای آلی می‌باشد (۳۳). هم‌چنین وبر و همکاران، (۲۰۰۷) بیان کردند افزودن کود دامی، سبز و هر گونه ماده آلی به خاک از طریق فرایندهایی مانند تولید اسید کربنیک، تجزیه ترکیبات مختلف فسفو هومیک، جایگزینی سطحی یون‌های هومات با فسفات‌های نامحلول، پوشاندن سطوح ذرات اکسیدهای آهن و آلومینیوم با هوموس و کلات کردن عناصری موجود در خاک، قابلیت جذب عناصر غذایی به‌وسیله گیاه را افزایش می‌دهد (٤١).

تعداد دانه در خوشه، تعداد سنبلچه در خوشه و وزن هزاردانه: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۵)، اثر تیمارهای آزمایش بر وزن هزاردانه، تعداد دانه و تعداد سنبلچه در هر خوشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین تعداد دانه در خوشه (٤٣) مربوط به تیمار تلفیقی گلاکونیت، باکتری و مواد آلی بود و کم‌ترین تعداد دانه در خوشه مربوط به تیمار شاهد (٣٤) بود. تیمارهای گلاکونیت + باکتری، باکتری + مواد آلی، گلاکونیت + ماده آلی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (این تیمارها در گروه آماری b قرار گرفتند) (جدول ٦). براساس نتایج جدول مقایسه میانگین بیش‌ترین تعداد سنبلچه در خوشه (٢١/٦) مربوط به تیمار گلاکونیت، باکتری و مواد آلی و تیمار سولفات‌پتاسیم بود که این دو تیمار به‌تنهایی در یک گروه آماری قرار گرفتند و کم‌ترین میزان تعداد سنبلچه در خوشه مربوط به تیمار شاهد (١٤) بود. هم‌چنین نتایج آزمایش نشان داد پس از تیمار تلفیقی گلاکونیت، باکتری و مواد آلی (٢١/٦) به‌ترتیب تیمارهای سولفات‌پتاسیم (٢٠/٦)، گلاکونیت + باکتری (٢٠)، گلاکونیت + ماده آلی (١٩) و باکتری + ماده آلی (١٧/٦) نسبت به تیمارهای دیگر تعداد سنبلچه بیش‌تری داشتند. این امر نشان‌دهنده آن است که کاربرد هم‌زمان مایه تلقیح باکتری حل‌کننده سیلیکات با کود آلی و گلاکونیت تعداد دانه در خوشه و تعداد سنبلچه در خوشه را به‌طور معنی‌داری نسبت به کاربرد هر کدام به‌تنهایی به‌دلیل اثر مثبت این تیمارها بر هم افزایش داد (جدول ٦). نتایج جدول مقایسه میانگین (جدول ٦) نشان داد بیش‌ترین وزن هزاردانه (٤٢/٥ گرم) مربوط به اثر تلفیقی گلاکونیت،

باکتری و مواد آلی و کم‌ترین وزن هزاردانه در تیمار شاهد (۳۶/۶ گرم) به‌دست آمد. بر اساس نتایج آزمایش به‌نظر می‌رسد کاربرد هم‌زمان باکتری، ماده آلی و گلاکونیت به‌صورت سه‌تایی یا ترکیب دوتایی باعث اختلاف معنی‌دار در وزن هزاردانه نسبت به کاربرد هر کدام از این تیمارها به‌تنهایی می‌شود.

بیدختی و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که بیش‌ترین تعداد دانه در اثر تلقیح باکتری *سودوموناس پوتیدا* حاصل می‌شود که تلقیح با این باکتری باعث افزایش ۵۸ درصدی در تعداد دانه نسبت به تیمار شاهد شد (۹). دیاز و فرناندز (۲۰۰۸) بیان داشتند پس از تلقیح گندم با باکتری *Azospirillum brasilense* تعداد دانه در بوته افزایش یافت (۱۳). برزویی و همکاران (۲۰۱۱) نیز در بررسی خود به تفاوت معنی‌دار تعداد سنبلچه بین تیمارهای تلقیح‌شده با باکتری‌های محرک رشد و تیمارهای شاهد اشاره کردند. نتایج این آزمایش بیانگر اثر مثبت باکتری‌های محرک رشد با ماده آلی و کانی پتاسیم‌دار گلاکونیت بر اجزای عملکرد گندم است که در آزمایش‌های دیگر پژوهش‌گران نیز ثابت شده است (۱۰). بخشنده و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی هوادیدگی کانی پالیگورسکیت در ریزوسفر گیاه سورگوم، مشاهده نمودند که فعالیت ریشه و باکتری حل‌کننده سیلیکات منجر به افزایش اسیدیته محیط ریزوسفر و در نهایت باعث آزادسازی منیزیم ساختمانی از بین لایه‌های کانی می‌شود (۷). باکتری‌های محرک رشد از طریق فرایندهای مختلف باعث افزایش عناصر غذایی موجود در محیط ریشه می‌شوند و با این کار علاوه بر افزایش عناصر غذایی خاک باعث افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه نیز می‌شوند و در نهایت عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (۳۲). بررسی رهاسازی پتاسیم از جزء رس خاک‌هایی با کانی‌شناسی متفاوت در ریزوسفر گیاه ذرت نشان داد که بیش‌ترین میزان پتاسیم جذب‌شده در اندام هوایی مربوط به تیمار ایلایت- ورمی‌کولیت بود که دلیل آن درصد پتاسیم و درصد رس بالا در این کانی‌ها می‌باشد. هم‌چنین با افزایش میزان جذب پتاسیم در گیاه ذرت، عملکرد دانه در ذرت نیز افزایش پیدا کرد (۳۱).

عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش: عملکرد دانه (عملکرد اقتصادی) را می‌توان مهم‌ترین صفت مورد بررسی در پژوهش‌های زراعی دانست زیرا تمامی عملیات کاشت، داشت و برداشت و هم‌چنین پژوهش‌های دیگر به‌منظور رساندن عملکرد دانه به‌حدی مطلوب انجام می‌شود. نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۵)، نشان داد اثر تیمارهای آزمایش بر عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش دارای اثر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است. بیش‌ترین عملکرد دانه (۵۶۵۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار تلفیقی گلاکونیت، باکتری و مواد آلی بود و کم‌ترین میزان عملکرد دانه در تیمار شاهد (۳۶۸۷ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (تیمار شاهد به‌تنهایی در یک گروه آماری قرار گرفت که نشان از اختلاف زیاد آن با تیمارهای دیگر آزمایش بود)، پس از تیمار تلفیقی گلاکونیت، باکتری و ماده آلی بیش‌ترین عملکرد دانه به‌ترتیب در تیمارهای سولفات‌پتاسیم (۵۳۹۴ کیلوگرم در هکتار)، گلاکونیت + باکتری (۵۳۳۹ کیلوگرم در هکتار) و تیمار گلاکونیت + ماده آلی (۵۱۶۷ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. این امر نشان‌دهنده اثر هم‌افزایی باکتری با ماده آلی و گلاکونیت است، به‌عبارت دیگر هنگام استفاده تلفیقی از باکتری با ماده آلی و کانی گلاکونیت بوته‌ها توانسته‌اند به‌صورت کارآمدتری از منابع استفاده کنند و این امر باعث شد که عملکرد دانه در تیمارهای تلفیقی به‌طور معنی‌داری از تیمارهای تنهایی (تیمارهای ماده آلی، گلاکونیت، باکتری) بیش‌تر شود (جدول ۶). براساس نتایج جدول مقایسه میانگین،

بیش‌ترین عملکرد کاه و کلش (۹۸۲۶ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار تلفیقی گلاکونیت، باکتری و مواد آلی بود (این تیمار به‌تنهایی در یک گروه آماری قرار گرفت) و کم‌ترین میزان عملکرد کاه و کلش در تیمار شاهد (۷۵۸۳ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. پس از تیمار گلاکونیت + ماده آلی + باکتری بیش‌ترین عملکرد کاه و کلش به‌ترتیب در تیمارهای سولفات‌پتاسیم (۹۳۷۱ کیلوگرم در هکتار)، گلاکونیت + باکتری (۸۶۶۶ کیلوگرم در هکتار)، گلاکونیت + ماده آلی (۸۵۷۱ کیلوگرم در هکتار) و تیمار باکتری + ماده آلی (۸۵۳۹ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. تلقیح گیاه گندم با گلاکونیت، باکتری و ماده آلی باعث اختلاف معنی‌دار در عملکرد کاه و کلش نسبت به تیمار شاهد شد. هم‌چنین نتایج نشان داد که کاربرد هم‌زمان گلاکونیت، باکتری و مواد آلی میزان عملکرد کاه و کلش را به‌طور معنی‌داری نسبت به کاربرد هر کدام از این فاکتورها به‌تنهایی (گلاکونیت، باکتری، ماده آلی) افزایش می‌دهد. به‌طورکلی باکتری‌های سیلیکاتی از طریق تجزیه کانی گلاکونیت موجب آزادسازی پتاسیم و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی می‌گردند. هم‌چنین از طریق توسعه حجم و زیست‌توده ریشه، جذب پتاسیم و سایر عناصر غذایی بهبود یافته و با افزایش سطوح فتوسنتزکننده میزان مواد پرورده گیاه جهت توسعه اندام هوایی و در نهایت زیست‌توده گیاه افزایش پیدا می‌کند (٦ و ۳۹).

جدول ٦- مقایسه میانگین تیمارهای آزمایش بر اجزای عملکرد و عملکرد در گیاه گندم.

Table 6. Compares the average treatment tests on yield and its components in wheat.

عملکرد کاه (کیلوگرم در هکتار) Straw yield (kg/ha)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg/ha)	وزن هزاردانه (گرم) 1000 Seed weight	تعداد سنبلچه در خوشه Spikeletes in ear	تعداد دانه در خوشه No. of seed in ear	تعداد خوشه در مترمربع No. of ear Per unit area	تیمار Treatment
7583^{f}	3687^{e}	36.6^{e}	14^{f}	34^{e}	319^{c}	شاهد Control
8484de	4446^{d}	39.3^{bc}	17.3^{e}	39.6^{cd}	322^{bc}	گلاکونیت Glauconite
9371^{b}	5394^{b}	40.6^{b}	20.6^{ab}	41.6^{ab}	329^{ab}	سولفات پتاسیم Potassium sulfate
8388de	4397^{d}	39^{cd}	17^{e}	38.6^{d}	319^{c}	باکتری Bacteria
8338^{e}	4355^{d}	38.6^{d}	16.6^{e}	38^{d}	317^{c}	مواد آلی Organic material
8666^{c}	5339^{b}	41.3^{ab}	20^{bc}	41^{bc}	332^{ab}	گلاکونیت+ باکتری (G + B)
9826^{a}	5650^{a}	42.5^{a}	21.6^{a}	43^{a}	334^{a}	گلاکونیت + باکتری + مواد آلی (G + B + O)
8539^{cde}	5035^{c}	40^{b}	17.6^{de}	40.6^{b}	331^{ab}	باکتری + مواد آلی (G + B + O)
8571^{cd}	5167^{bc}	40.3^{b}	19^{cd}	39.6^{b}	332.6^{ab}	گلاکونیت + مواد آلی (G + O)

در هر ستون حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد براساس آزمون LSD ندارند.

Common letters in each column LSD test showed no significant difference at the 5% level.

G، B و O به‌ترتیب گلاکونیت، باکتری و مواد آلی.

امان‌الله و همکاران (۲۰۱۲) نیز بیان کردند که تلفیق کودهای زیستی با ۵۰ درصد کودهای نیتروژن و فسفر باعث افزایش عملکرد پروتئین دانه گندم بین ۱۱ تا ۵۹ درصد و افزایش عملکرد دانه گندم بین ۲۰ تا ٤٦ درصد در مقایسه با شرایط کنترل شد (۵). فلاح و همکاران (۲۰۱۵) دریافتند که اثر متقابل برهم‌کنش کود زیستی حاوی باکتری *سودوموناس* با ۷۵ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار توانست ۵/۵۳ درصد عملکرد کاه را نسبت به گیاه شاهد افزایش دهد (۱۷). سته‌فانو و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که در تیمارهای کاربرد باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، عملکرد به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد بیش‌تر بود. به‌نظر می‌رسد علت اصلی این افزایش در عملکرد یونجه، افزایش جذب پتاسیم و سایر عناصر غذایی توسط گیاه بوده و بهبود جذب پتاسیم به وجود میزان پتاس کافی در خاک در اثر فعالیت باکتری‌های حل‌کننده پتاس است (۳۵). نتایج این آزمایش نیز نشان داد هنگامی که باکتری سیلیکاتی و کانی پتاسیم‌دار گلاکونیت همراه با هم به‌کار برده می‌شوند عملکرد کاه نسبت به زمانی که هر کدام از این تیمارها به تنهایی به‌کار برده می‌شوند عملکرد بیش‌تری دارند. ساگمارن و جانارتانم (۲۰۰۷) باکتری‌های آزادکننده پتاسیم را از خاک، سنگ‌ها و نمونه‌های معدنی جداسازی کردند و تأثیر این باکتری‌ها را در آزادسازی پتاسیم از ارتوکلاز، میکروکلین و میکای مسکویت مطالعه کردند. هم‌چنین ایشان رشد گیاه بادام‌زمینی تحت‌تأثیر این باکتری‌ها را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آزمایش ایشان نشان داد که باکتری *mucilaginosus Bacillus* توانایی بالایی در آزادسازی پتاسیم از میکای مسکویت داشت و مقدار فسفر و پتاسیم قابل استفاده در خاک به‌طور چشمگیری افزایش یافت. هم‌چنین وزن خشک ریشه، اندام هوائی عملکرد اقتصای و درصد روغن بر اثر این تلقیح به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (۳٦). نتایج آزمایش ایشان با نتایج آزمایش حاضر مطابقت داشت.

جذب پتاسیم در کاه و دانه گندم در مرحله برداشت: براساس نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایش دارای اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر مقدار جذب پتاسیم در دانه و کاه گندم در مرحله برداشت دارد (جدول ۷).

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) میزان جذب پتاسیم در گیاه گندم.

Table 7. Analysis of variance (Average of squares) of K uptake in wheat.

منبع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Average of squares	
		جذب پتاسیم کاه K uptake straw	جذب پتاسیم دانه K uptake seed
تیمار Treatment	8	1977**	216**
خطای آزمایشی Test error	18	54	6
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	8	11

ns عدم معنی‌داری و *، ** به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار هستند.

ns, * and ** Indicates respectively not significant, significance at 5 and 1%.

بیش‌ترین مقدار جذب پتاسیم در تیمار ترکیبی گلاکونیت، ماده آلی و باکتری مشاهده شد. مقدار جذب پتاسیم دانه در تیمار ترکیبی گلاکونیت، ماده آلی و باکتری برابر ۴۰/۳ کیلوگرم در هکتار و مقدار جذب پتاسیم در کاه در تیمار ترکیبی گلاکونیت، ماده آلی و باکتری برابر ۱۳۳ کیلوگرم در هکتار بود. پس از تیمار ترکیبی گلاکونیت، ماده آلی و باکتری بیش‌ترین مقدار جذب پتاسیم در کاه مربوط به تیمار سولفات‌پتاسیم (۱۰۹ کیلوگرم در هکتار) بود. این امر نشان‌دهنده آن است مقدار زیادی پتاسیم با کاربرد کود سولفات‌پتاسیم در اختیار ریشه قرار گرفته است و گیاه توانسته مقدار زیادی پتاسیم جذب کند. کم‌ترین مقدار جذب پتاسیم (۴۷/۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار شاهد مشاهده شد. در رابطه با مقدار جذب پتاسیم دانه بیش‌ترین مقدار جذب پس از تیمار ترکیبی گلاکونیت، ماده آلی و باکتری در تیمار باکتری + ماده آلی با مقدار ۲۵/۷ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. کم‌ترین مقدار جذب پتاسیم دانه در تیمار شاهد (۱۱/۷ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (جدول ۸). مقدار جذب پتاسیم در دانه و کاه در تمام تیمارهای ترکیبی بیش‌تر از تیمارهای تنهایی آن‌ها (باکتری، ماده آلی و گلاکونیت) و شاهد بود. به‌نظر می‌رسد ترکیب گلاکونیت با باکتری و ماده آلی باعث می‌شود بوته‌ها بتوانند عنصر پتاسیم بیش‌تری را جذب کنند و مقدار تجمع این عنصر در دانه و کاه افزایش پیدا کند (جدول ۸).

جدول ۸- مقایسه میانگین میزان جذب پتاسیم تحت اثر تیمارهای مختلف (کیلوگرم در هکتار).

Table 8. Compare the effect of potassium absorption average (kg/ha).

میزان جذب پتاسیم دانه K uptake seed	میزان جذب پتاسیم کاه K uptake straw	تیمار Treatment
11.7^{c}	47.3^{f}	شاهد Control
15.8^{c}	72.9^{ed}	گلاکونیت Glauconite
22.2^{b}	109^{b}	سولفات پتاسیم Potassium sulfate
15.3^{c}	69.6^{ed}	باکتری Bacteria
15.4^{c}	62.1^{e}	مواد آلی Organic material
23.1^{b}	80.5^{dc}	گلاکونیت + باکتری (G + B)
40.3^{a}	134^{a}	گلاکونیت + باکتری + مواد آلی (G + B + O)
25.8^{b}	88.5^{c}	باکتری + مواد آلی (B + O)
23.7^{b}	78.6^{dc}	گلاکونیت + مواد آلی (G + O)

در هر ستون حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد براساس آزمون LSD ندارند.

Common letters in each column LSD test showed no significant difference at the 5% level.

G، B و O به‌ترتیب گلاکونیت، باکتری و مواد آلی.

افتخاری و همکاران (۲۰۱۲) بیان نمودند باکتری‌های محرک رشد از طریق سنتز و آزادسازی اسیدهای آلی هم‌چون فرمیک‌اسید و چندین اسید آلی دیگر در خاک منجر به انحلال فسفر و پتاس نامحلول شده و از این طریق جذب فسفر، پتاس و سایر عناصر غذایی در گیاه آلوده به باکتری‌های محرک رشد را افزایش می‌دهند (١٦). خان و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش نمودند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه، رشد گیاه و در نهایت جذب کل پتاسیم به‌وسیله گیاه را افزایش می‌دهند (٢٤). باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم با تولید اسیدهای آلی و ترشح پروتون سبب تبدیل پتاسیم نامحلول (آلی و معدنی) به فرم قابل‌استفاده گیاه شده و سبب بهبود تغذیه پتاسیم و افزایش رشد گیاه می‌شوند (۳۹). در این آزمایش نیز در تیمارهای ترکیبی کاربرد باکتری‌های محرک رشد با ماده آلی و کانی پتاسیم‌دار گلاکونیت غلظت عناصر غذایی گیاه نسبت به تیمارهای تنهایی بیش‌تر بود. ملک‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) گزارش نمودند که جذب کل عناصر به‌وسیله اندام هوایی ذرت در تمام تیمارهای مایه‌زنی‌شده با باکتری‌های *باسیلوس مایکوئیدز* و *میکروکوکوس* به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش یافت (۲۷). افضل و اصغری (۲۰۰۸) نیز اثر *ریزوبیوم* و باکتری‌های حل‌کننده فسفات را بر رشد گندم و جذب عناصر غذایی پرمصرف مثبت و معنی‌دار گزارش نموده‌اند (۲).

همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد با جذب پتاسیم دانه و کاه: در جدول ۹ ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و اجزای عملکرد دانه آورده شده است. بیش‌ترین ضریب همبستگی عملکرد دانه با تعداد خوشه در مترمربع (۰/۹۵) بود. پس از تعداد خوشه در مترمربع بیش‌ترین ضریب همبستگی با عملکرد دانه با تعداد دانه در خوشه (۰/۹٤) و تعداد سنبلچه در خوشه (۰/۹٤) مشاهده شد. کم‌ترین ضریب همبستگی بین عملکرد دانه با وزن هزاردانه (۰/۸۵) به‌دست آمد. بنابراین به‌نظر می‌رسد تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش بیش‌تر از طریق افزایش خوشه در واحد سطح، تعداد سنبلچه در خوشه و تعداد دانه در خوشه موجب افزایش عملکرد شده‌اند و وزن هزاردانه کم‌تر بر عملکرد دانه مؤثر بود. بر اساس نتایج جدول همبستگی، بیش‌ترین ضریب همبستگی پتاسیم دانه با عملکرد دانه (۰/۸۵) و عملکرد کاه (۰/۸۵) می‌باشد که در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. پس از عملکرد دانه و عملکرد کاه بیش‌ترین ضریب همبستگی پتاسیم دانه با تعداد سنبلچه در خوشه (۰/۸٤) و تعداد خوشه در مترمربع (۰/۸۳) و کم‌ترین ضریب همبستگی پتاسیم دانه با وزن هزاردانه (۰/٦٤) به‌دست آمد. بر اساس نتایج جدول همبستگی، بیش‌ترین همبستگی پتاسیم کاه با عملکرد کاه (۰/۹۷) و کم‌ترین همبستگی پتاسیم کاه با تعداد خوشه در مترمربع (۰/۷۵) بود. بنابراین می‌توان بیان کرد بر اساس نتایج این آزمایش افزایش پتاسیم در دانه و کاه گندم توانسته است باعث افزایش در اجزای عملکرد شود و این امر در نهایت باعث افزایش عملکرد کاه و دانه گندم شده است.

جدول ۹- همبستگی بین پتاسیم دانه و کاه در مرحله رسیدگی برداشت با اجزای عملکرد و عملکرد دانه.

Table 9. K correlation between grain and straw harvesting maturity and yield components of grain yield.

متغیرها Variables	1	2	3	4	5	6	7	8
۱- پتاسیم دانه Potassium seed	1							
۲- پتاسیم کاه Potassium straw	0.91**	1						
۳- عملکرد دانه Seed yield	0.85**	0.87**	1					
٤- عملکرد کاه Straw yield	0.85**	0.97**	0.88**	1				
٥- تعداد دانه در خوشه No. of seed in ear	0.79**	0.86**	0.94**	0.91**	1			
٦- تعداد سنبلچه در خوشه Spikeletes In ear	0.84**	0.90**	0.94**	0.91**	0.87**	1		
۷- تعداد خوشه در مترمربع Ear per unit area	0.83**	0.75**	0.95**	0.89**	0.77**	0.81**	1	
۸- وزن هزاردانه 1000 Seed weight	0.64*	0.76**	0.85**	0.96**	0.85**	0.85**	0.79**	1

ns عدم معنی‌داری و *، ** به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار هستند.

ns, * and ** Indicates respectively not significant, significance at 5 and 1%.

مطالعات پژوهش‌گران نشان می‌دهد هر فعالیتی که باعث افزایش رشد گیاه شود می‌تواند اجزای عملکرد و در نهایت عملکرد دانه را افزایش دهد (۲۸). در این آزمایش نیز کاربرد کانی پتاسیم‌دار گلاکونیت، کود دامی و باکتری با فراهم کردن شرایط محیطی مناسب برای رشد گیاه بیش‌ترین تأثیر را در افزایش اجزای عملکرد و سپس عملکرد دانه داشته‌اند. نتایج جدول ضرایب همبستگی نیز کاملاً این موضوع را تأیید می‌کند (جدول ۹). ذبیحی و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند عملکرد گندم به‌ترتیب با تعداد بوته در واحد سطح (۰/۸٤)، تعداد دانه در خوشه (۰/۷۵) و عملکرد زیستی (۰/۷۱) بیش‌ترین همبستگی را دارد (٤۲). اثر باکتری‌های محرک رشد بر خصوصیات رشدی، عملکرد و اجزای عملکرد گندم نشان داد که عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری را با اجزای عملکرد (وزن هزاردانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع) داشت، هم‌چنین نتایج نشان داد در تیمارهایی که از باکتری استفاده شده است بین عملکرد و اجزای عملکرد دانه همبستگی بالاتری نسبت به سایر تیمارها وجود دارد (٤). بسیاری از پژوهش‌گران گزارش کردند که وزن خشک ریشه، اندام هوایی و عملکرد دانه در اثر تلقیح با باکتری‌های آزادکننده پتاسیم به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت که این مسأله نشان‌دهنده همبستگی بالا بین جذب عناصر غذایی خاک (به‌خصوص پتاسیم) و عملکرد زیستی و عملکرد اقتصادی می‌باشد (۱۱ و ۳٦).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی کاربرد تلفیقی کانی گلاکونیت، باکتری، و مواد آلی اثر قابل‌توجهی بر عملکرد دانه (۵۶۵۰ کیلوگرم در هکتار) و کاه (۹۸۲۶ کیلوگرم در هکتار)، تعداد خوشه در واحد سطح (۳۳٤)، تعداد دانه در خوشه (٤۳)، وزن هزاردانه داشته (٤۲/۵ گرم) و عملکرد و اجزای عملکرد را افزایش داده و تمام تیمارهای اختلاف معنی‌داری با شاهد (۳٦۸۷ کیلوگرم در هکتار) داشتند. در مقایسه تیمارهای ترکیبی با تیمارهای جداگانه، تیمارهای ترکیبی باعث افزایش عملکردی بیش‌تری شدند. تیمار ترکیب گلاکونیت با باکتری برروی شاخص‌های اندازه‌گیری شده نسبت به تیمارهای تنهایی معنی‌دار بوده و هم‌چنین میزان جذب پتاسیم دانه (۲۵/۸ کیلوگرم در هکتار) را نیز به‌طور چشمگیری افزایش داده است این مسأله نشان‌دهنده تأثیر مثبت باکتری حل‌کننده پتاسیم مورد استفاده در این پژوهش بر جذب پتاسیم دانه می‌باشد. با توجه به این‌که خاک‌های لسی استان گلستان حاوی رس ایلایت زیاد با سطح ویژه بالاست و پتاسیم عامل محدودکننده رشد گندم در این خاک‌ها محسوب می‌شود، بنابراین به‌نظر می‌رسد استفاده از پتانسیل‌های زیستی بتواند در بهبود تغذیه پتاسیمی گیاه نقش داشته باشد.

منابع

1.Abhilash, P.C., Dubey, R.K., Tripathi, V., Srivastava, P., Verma, J.P., and Singh, H.B. 2013. Remediation and management of POPs-contaminated soils in a warming climate: challenges and perspectives. Environmental Science and Pollution Research. 20: 5879-5885.

2.Afzal, A., and Asghari, B. 2008. Rhizobium and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum*). Inter. J. Agric. Biol. 10: 58-88.

3.Alexander, D.B., and Zumber, D.A. 1993. Responses by iron-efficient and inefficient oat cultivars to inoculation with siderophore–producing bacteria in a calcareous soil. J. Inter. Soc. Soil Sci. 16: 118-124.

4.Alvarez, M.I., Sueldo, R.J., and Barassi, C.A. 2010. Effect of Azospirillum on coleoptiles growth in durum wheat seedlings under water stress. Cereal Research Communication. 24: 101-107.

5.Amanullah, R., Aziz Kurd, A., Saifullah Khan, T., Ahmed, M., and Khan, J. 2012. Biofertilizer a possible substitute of fertilizers in production of wheat variety zaardan in balochiistan substitute in balochistan. Pak. J. Agric. Res. 5: 256-267.

6.Archana, D.S., Nandish, M.S., Savalagi, V.P., and Alagawadi, A.R. 2013. Characterization of potassium solubilizing bacteria (KSB) from rhizosphere soil. Bioinfolet. 10: 248-257.

7.Bakhshandeh, S., Khormali, F., Dordipour, E., Olamaei, M., and Kehl, M. 2011. Comparing the weathering of soil and sedimentary palygorskite in the rhizosphere zone. Applied Clay Science. 54: 235-241.

8.Bennett, P.C., Choi, W.J., and Rogera, J.R. 1998. Microbial destruction of feldspars. Minerals Management. 8: 149-150.

9.Bidokhti, S.H., Dashtban, A., Coffee, M., and Sanjani, S. 2009. Evaluation of the effect of the application of some isolates of *Pseudomonas* bacteria on yiekd and yield components of wheat in different levels of phosphorus. J. Agric. Ecol. 1: 33-40.

10.Borzouei, A., Kafi, M., Khazaei, H.R., and Mousavi Shalman, M.A. 2011. The effect of salinity on root traits of both susceptible cultivar and resistant wheat cultivars relationship with grain yield under greenhouse conditions. J. Sci. Technol. Greenhouse Cul. 8: 2. 95-106.

11.Chakraborty, U., Chakraborty, B., and Basnet, M. 2006. Plant growth promotion and induction of resistance in Camellia sinensis by Bacillus megaterium. J. Bas. Microbiol. 46: 186-195.

12.Chen, Z., Ma, SH., and Liu, L. 2008. Studies on phosphorus solubilizing activity of a strain of phosphobacteria isolated from chestnut type Soil in China. Bioresource Technology. 99: 6702-6707.
13.Diaz-Zoritaa, M., and Fernandez-Canigia, M.V. 2008. Field performance of a liquid formulation of *Azospirillum brasilense* on dryland wheat productivity. Europ. J. Soil Biol. 45: 1. 3-11.
14.Diep, C.N., and Hieu, T.N. 2013. Phosphate and potassium solubilizing bacteria from weathered materials of denatured rock mountain, Ha Tien, Kiên Giang province Vietnam. Amer. J. Life Sci. 1: 3. 88-92.
15.Donate-Correa, J., Leon-Barrios, M., and Perez-Galdona, R. 2004. Screening for plant growth-promoting Rhizobacteria in chamuechtisus proliferus (tagasaste), a forage tree-shurb legume endemic to the Canary Island. Plant soil. 266: 261-272.
16.Eftekhari, S.A., Ardakani, M.R., Rejali, F., Paknejad, F., and Hasanabadi, T. 2012. Phosphorus absorption in barley (*Hordeum vulgare* L.) under different phosphorus application rates and co-inoculation of *Pseudomonas fluorescence* and *Azospirillum lipoferum*. Annals of Biological Research. 3: 6. 2694-2702.
17.Fallah, A., Momeni, S., and Shariati, Sh. 2015. The effect of bio-fertilizers and nitrogen on yield and yield components under greenhouse condition. J. Agric. Engin. 37: 73-86.
18.Friedrich, S., Platonova, N.P., Karavaiko, G.I., Stichel, E., and Glombitza, F. 1991. Chemical and microbiological soluiblization of silicates. Acta Biotechnologica. 11: 187-196.
19.Glick, B.R. 2001. Bacterial promotion of plant growth. Biotechnology Advances. 19: 135-138.
20.Habibi, M., and Abdulzadh, A. 2014. Evaluation of Potassium Fertilizer take advantage of sandstone glauconitic as wheat and rapeseed. Archives of Agronomy and Soil Science. 2: 13-21.
21.Jalali, M. 2007. Spatial variability in potassium release among calcareous soils of western Iran. Geoderma. 140: 42-51.
22.Jeon, J.S., Lee, S.S., Kim, H.Y., Ahn, T.S., and Song, H.G. 2003. Plant growth promoting in soil by some inoculated microorganism. J. Microbiol. 2: 271-276.
23.Karimi, E., Abdolzadeh, A., Sadeghipour, H.R., and Arash, A. 2011. The potential of glauconitic sandstone as a potassium fertilizer for olive Plants. Archives of Agronomy and Soil Science. 1: 1-11.
24.Khan, A.A., Jilani, G., Akhtar, M.S., Saqlan Naqvi, S.M., and Rasheed, M. 2009. Phosphorus solubilizing bacteria: Occurrence, mechanisms and their role in crop production. J. Agric. Sci. 1: 1. 48-58.
25.Liu, D., Lian, B., and Dong, H. 2012. Isolation of *Paenibacillus* sp. and assessment of its potential for enhancing mineral weathering. Geomicrobiol. J. 29: 5. 413-421.
26.Malakouti, M.J., and Homaye, M. 2005. Fertile soils of arid regions, problems and solutions. Tarbiat Modarres University, Tehran, 508p.
27.Malekzadeh, E., Alikhani, H.A., Savaghebi Firoozabadi, G.R., and Zarei, M. 2012. Bioremediation of cadmium-contaminated soil through cultivation of maize inoculated with plant growth–promoting rhizobacteria. Bioremed. J. 16: 4. 204-211.
28.Maniee, M., Kahrizi, D., and Mohammadi, R. 2009. Genetic variability of some morphophysiological in durum wheat (*Triticum turgidum Var. Durum*). Application Science. 9: 1383-1387.
29.Patten, C.L., and Glick, B.R. 2002. Role of pseudomonas putida indole acetic acid in development of host plant root system. Appl. Environ. Microbiol. Pp: 3795-3801.
30.Rahimzadeh, N., Khormali, F., Olamaee, M., and Amini, A. 2014. Changes of mineralogy of Glouaconite affected by inoculation of silicate solubilizing bacteria from rhizosphere of Canola. J. Soil Biol. 2: 32-41.

31.Rajawat, M.V.S., Singh, S., Singh, G., and Saxena, A.K. 2012. Isolation and characterization of K-solubilizing bacteria isolated from different rhizospheric soil. In: Proceeding of 53rd annual conference of association of microbiologists of India, 124p.
32.Rezaei, F. 2010. Weathering of minerals in clay and silt fraction of corn rhizosphere. M.Sc. Thesis. Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources.
33.Sheng, X.F., Zhao, F., He, L.Y., Qiu, G., and Chen, L. 2008. Isolation and characterization of silicate mineral solubilizing *Bacillus globisporus Q12* from the surfacees of weathered feldspar. Can. J. Microbiol. 54: 1064-1068.
34.Soltani, A., Torabi, B., Ghaleshi, S., and Zeinali, E. 2010. Analysis yield constraints with comparative performance analysis (CPA) method in Gorgan. Research Report 89-3-265. Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Iran.
35.Stefano, M., Leonard, M., Rimi, L.F., and Ziliotto, U. 2013. Phosphorus and potassium fertilizer effects on alfalfa and soil in a non-limited soil. Agron. J. l05: 1613-1618.
36.Sugumaran, P., and Janarthanam, B. 2007. Solubilization of potassium containing minerals by bacteria and their effect on plant growth. World J. Agric. Sci. 3: 350-355.
37.Tifac. 2001. Techno market survey on technologies for agricultural applications of glauconite, a potash mineral, 242p.
38.Tifac. 2009. Technologies for agricultural applications of glauconite a potash mineral.
39.Tri Candra, S., and Laily, M. 2016. Solubilization of potassium containing mineral by microorganisms from sugarcane rhizosphere. Agriculture and Agricultural Science Procedia. 9: 108-117.
40.Wakeel, A., Gul, M., and Sanaullah, M. 2013. Potassium dynamics in three alluvial soils differing in clay contents. Emir. J. Food Agric. 25: 39-44.
41.Weber, J., Karczewska, A., Drozd, J., Licznar, M., Licznar, S., Jamroz, E., and Kocowicz, A. 2007. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. Soil Biology and Biochemistry. 39: 1294-1302.
42.Zabihi, H., Savaghebi, G., Khavazi, K., Ganjali, A., and Miransari, M. 2011. *Pseudomonas* bacteria and phosphorous fertilization, affecting wheat (*Triticum aestivum* L.) yield and P uptake under greenhouse and field conditions. Acta Physiologiae Plantarum. 33: 145-152.
43.Zaller, J.G. 2007. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. Scientia Horticulturae. 112: 191-199.
44.Zhang, C., and Kong, F. 2014. Isolation and identification of potassium-solubilizing bacteria from tobacco rhizospheric soil and their effect on tobacco plants. Applied Soil Ecology. 82: 18-25.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 7(3), 2017
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Effect of inoculating potassium solubilizing bacteria with indigenous glauconitic shale on the yield and yield components of rainfed wheat in field conditions

***S.A.S. Hosseini[1], M. Olamaee[2], S.A.R. Movahedi Naeini[2], F. Khormali[3] and R. Ghorbani Nasrabadi[4]**

[1]Ph.D. Student of Biology and Biotechnology of Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Professor, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [4]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 02/18/2017; Accepted: 09/18/2017

Abstract

Background and Objectives: Potassium is the most abundant macronutrient in 15-cm of soil layer. Micas, K-feldspars and vermiculites are three important groups of minerals containing potassium. Soil microorganism play an important role in the natural cycle of potassium, so potassium solubilizing microorganisms in the soil can be used as an alternative technology for increasing available K for plants. Glauconite micaceous minerals are considered as a source of natural origin non-chemical fertilizers, so they can be a good source of potassium. The aim of this research was to study the effects of inoculation of potassium solubilizing bacteria with indigenous shale containing glauconite on the yield and yield components of wheat in field conditions.

Materials and Methods: After isolation and identification of potassium solubilizing bacteria, and determination of growth indices, molecular identification of isolates was done. Based on the ability to solubilize potassium, the isolate was selected for field experiment and was identified with 16S rRNA test. Glauconite mineral was collected from near the village of Aq-Taqeh Maravetappe in Golestan province, then transferred to Biology Laboratory of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GAU). It was then powder by hammer and shale containing glauconite particles passing through 60 mesh sieve that the particle size was less than 250 microns were prepared for testing. XRD and XRF studies were conducted on glauconite mineral. This study was conducted as a randomized complete block design with nine treatments consisting: 1- control, 2- inoculation of bacteria + glauconite, 3- inoculation of bacteria + glauconite + organic matter, 4- inoculation of bacteria + organic matter, 5- glauconite + organic matter, 6- glauconite, 7- sulphate fertilizer treatment, 8- bacteria treatment, 9- treatment of organic matter, replicated three times during 2015-2016 in the research farm of GAU on Karim wheat cultivar in rainfed conditions. The measured traits were including yield and yield components of wheat.

Results: Experiments showed that glauconite mineral is containing potassium oxide (3.2%), iron and other micronutrients that can be used by plants. Results showed that treatments had a significant effect ($P<0.01$) on grain yield, straw yield and yield components of wheat. So that the maximum value for the number of heads per square meter, number of grains per spike, number of spikelets per spike, grain weight, grain yield (5650 $kg.ha^{-1}$) and straw yield (9826 $kg.ha^{-1}$) were observed for treatment of glauconite incorporation, organic matter and bacteria and the lowest amount for these traits (3687 $kg.ha^{-1}$) was in control treatment. After treatment of glauconite incorporation, organic matter and bacteria dual combination treatments has higher yield components and grain yield than their own treatments. The results also showed that in the

* Corresponding Author; Email: seyed.325@gmail.com

incorporation treatments, the amount of K uptake in grain and straw (133.67 and 40.27 $kg.ha^{-1}$) is significantly higher than other treatments and this indicates that glauconite, organic matter and bacteria have a synergistic effect on each other that can increase the amount of uptake in wheat. So, Glauconite mineral can be effective in supplying potassium for plants and can increases wheat yield.

Conclusion: Analysis of variance and means comparison showed that the incorporation treatment of glauconite-organic matter-bacteria compared with potassium sulfate fertilizer significantly increased the yield of wheat. This study showed the significant effect of potassium solubilizing bacteria on native shale containing glauconite in supplying potassium for plants and glauconite mineral alone or in combination with bacterial inoculation and organic matter can release potassium and can be used to provide part of the required potassium of plant as a potassium fertilizer.

Keywords: Microorganisms, Nutrient elements, Organic matter, Potassium containing minerals