DOI: 10.22059/ijswr.2019.275465.668119 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۷، آذر ۱۳۹۸ (ص ۱۶۹۹-۱۶۸۹)

Effect of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (*Enterobacter cloacae*) on Uptake and Uptake Efficiency of Potassium in Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.)

SAEED SAFIRZADEH[1*], MOSTAFA CHOROM[2], NAEIMEH ENAYATIZAMIR[3]
1. Ph.D of Soil Science, Agriculture Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
2. Professor of Soil Science, Agriculture Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
3. Associate professor of Soil Science, Agriculture Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
(Received: Feb. 6, 2019- Revised: Feb. 20, 2019- Accepted: Feb. 26, 2019)

ABSTRACT

Intensive cropping of sugarcane and no application of potassium (K) fertilizer resulted a reduction of K pools in the soil. In order to evaluate the potassium uptake efficiency in two different fertilizer managements, new plantation of sugarcane and ratoon, and to investigate the effect of indigenous plant growth-promoting rhizobacteria on potassium uptake, a pot experiment with three replications was carried out in greenhouse condition. Treatments were the combination of two P rates (including: blank (P_0) and 200 kg/ha (P_{200})), and two plant growth-promoting rhizobacteria strains (including: *Enterobacter cloacae* R_{13} (B_{13}) and *Enterobacter cloacae* R_{33} (B_{33})). The morphological characteristics of sugarcane and root and potassium in the rhizosphere were evaluated at three harvesting times (60, 95 and 140 days after planting (DAP)). In management similar to plantation of sugarcane, higher K uptake and influx were found in $P_{200}B_0$ and $P_{200}B_{13}$ treatments, while the highest root length was observed in $P_{200}B_{33}$ treatment. In management like to ratoon, the greatest K uptake and influx were observed in P_0B_{33} treatment. At the second harvesting period (between 95 and 140 DAP), K influx decreased severely in P_0R_0 treatment in comparison with the first harvesting period, while it was not occurred in the inoculated treatments. Therefore, in new sugarcane plantation condition, *Enterobacter cloacae* R_{13} improved K uptake efficiency, while in ratoon stage, *Enterobacter cloacae* R_{33} abled to increase uptake and uptake efficiency of K. Also, the result showed that the influx was the main mechanism of K uptake in sugarcane in inoculated treatments.

Key Words: Potassium uptake, Influx, *Enterobacter cloacae*, Root length, Sugarcane

*Corresponding Author's Email s_safirzade@yahoo.com

تأثیر ریزوباکترهای محرک رشد گیاه (*Enterobacter cloacae*) بر جذب و کارایی جذب پتاسیم در گیاه نیشکر (*Saccharum officinarum* L.)

سعید صفیرزاده[1*]، مصطفی چرم[2] و نعیمه عنایتی‌ضمیر[3]

۱. دانش آموخته دکترا، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

۲. استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

۳. دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۷- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۲/۱- تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۲/۷)

چکیده

کشت متراکم و پیوسته نیشکر بدون مصرف کود پتاسیمی، منجر به کاهش منابع پتاسیم در خاک شده است. به منظور بررسی کارایی جذب پتاسیم در دو مدیریت کود دهی، مشابه با کشت جدید نیشکر (پلنت) و سنین بازرویی (راتون) و نیز تأثیر ریزوباکترهای محرک رشد گیاه بر کارایی جذب پتاسیم، یک آزمایش گلدانی با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. تیمارها شامل ترکیب دو سطح کود فسفر (شامل صفر (P_0) و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (P_{200})) و سه سطح ریزوباکتر (شامل شاهد (B_0)، انتروباکتر سویه R_{13} (B_{13}) و انتروباکتر سویه R_{33} (B_{33})) بودند. خصوصیات مورفولوژیکی اندام هوایی و ریشه و تغییرات پتاسیم در ریزوسفر در سه زمان برداشت ۶۰، ۹۵ و ۱۴۰ روز پس از کشت بررسی شدند. در شرایط مشابه با کشت نیشکر، بیشترین مقدار جریان ورودی (اینفلاکس) و جذب پتاسیم در تیمارهای $P_{200}B_{13}$ و $P_{200}B_0$ مشاهده شد در صورتی که بیشترین طول ریشه در تیمار $P_{200}B_{33}$ مشاهده شد. این در حالی است که در شرایط مشابه با بازرویی نیشکر، بدون مصرف کود شیمیایی، بیشترین مقدار جریان ورودی و جذب پتاسیم در تیمار P_0B_{33} مشاهده شد. در فاصله دو برداشت آخر، جریان ورودی پتاسیم در تیمار شاهد (P_0B_0) کاهش شدیدی نشان داد که در تیمارهای تلقیح شده، کاهش جریان ورودی پتاسیم مشاهده نشد. بنابراین در شرایط مشابه کشت نیشکر، استفاده از ریزوباکتر سویه R_{13} سبب بهبود کارایی جذب پتاسیم توسط گیاه نیشکر شد در حالی که در شرایط مشابه با سنین بازرویی، استفاده از ریزوباکترها به‌ویژه R_{33} توانست جذب و کارایی جذب پتاسیم را افزایش دهد. همچنین نتایج نشان داد که جریان ورودی پتاسیم، مکانیزم اصلی جذب پتاسیم به‌ویژه در استفاده از ریزوباکترها در گیاه نیشکر بود.

واژه‌های کلیدی: جذب پتاسیم، جریان ورودی، انتروباکتر کلوآسه، طول ریشه، نیشکر

مقدمه

پتاسیم به عنوان یکی از عناصر غذایی پرمصرف، وظایف مهمی را در تولید نیشکر ایفا می‌کند. از مهم‌ترین نقش‌های پتاسیم در گیاه نیشکر، نقش آن به‌عنوان فعال‌کننده آنزیمی در سوخت‌وساز گیاهی از قبیل فتوسنتز، سنتز پروتئین، ساخت نشاسته و انتقال پروتئین و قندها می‌باشد (Filho, 1985). گیاهان دارای کمبود پتاسیم، از مقدار شکر کمتری برخوردار هستند که می‌تواند به دلیل کاهش فتوسنتز و کاهش انتقال پتاسیم از برگ‌ها به ساقه باشد (Jafarnejady, 2013). استفاده از پتاسیم در خاکی که دارای کمبود است می‌تواند عملکرد و کیفیت نیشکر را افزایش دهد (El-Tilib *et al*., 2004). کشت متراکم و پیوسته می‌تواند اشکال مختلف پتاسیم (شامل قابل تبادل، غیرقابل تبادل، تثبیت شده و ساختاری) را تحت تأثیر قرار دهد. Samadi (2012) در تحقیقی به این نتیجه رسید که کشت پیوسته چغندرقند سبب کاهش شدید در قدرت فراهم کردن پتاسیم خاک‌ها شد. Jafari and Baghernejad (2007) به این نتیجه رسیدند که تر و خشک کردن خاک سطحی اراضی تحت کشت نیشکر، تناوبی و بایر در مجاورت پتاسیم، پتاسیم قابل جذب خاک را از ۱۳۳، ۲۲۶ و ۱۷۲ میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب به ۲۶۶، ۴۴۷ و ۶۲۸ افزایش داد. نتایج نشان داد که افزایش مقدار پتاسیم قابل جذب ناشی از تغییرات مینرالوژی خاک‌های تحت کشت نیشکر و تخلیه کانی‌های رسی ایلیت از پتاسیم بود. Jafarnejady (2013) در بررسی اثر کودهای پتاسیمی در عملکرد نیشکر نشان داد که کشت مداوم و عدم مصرف کودهای پتاسیمی در سال‌های طولانی سبب تخلیه خاک‌ها از نظر پتاسیم شده و درصد زیادی از کود اضافه شده به خاک تثبیت می‌شد. Baranimotlagh and Savaghebi Firozabadi (2005) در بررسی اثر کشت طولانی مدت نیشکر در مقدار پتاسیم خاک نشان دادند که سطح پتاسیم تبادلی تا عمق

* نویسنده مسئول: s_safirzade@yahoo.com

۳۰ سانتی‌متر خاک‌های زیر کشت نیشکر در مقایسه با خاک‌های کشت نشده مجاور، در شرکت‌های توسعه نیشکر، کارون و هفت تپه (به ترتیب سابقه کشت افزایش می‌یابد) به ترتیب ۲۱/۶، ۴۳/۹ و ۷۳/۸ درصد کاهش یافت. در حالی که آنالیزهای خاک و برگ به عنوان راهنمایی برای ارزیابی نیاز پتاسیمی نیشکر استفاده می‌شوند، فاکتورهای خاکی و اقلیمی متعددی می‌توانند قابلیت دسترسی پتاسیم برای نیشکر را تحت تأثیر قرار دهند. برخی از این فاکتورها شامل کانی شناسی رس خاک، پتاسیم قابل تبادل به عنوان شاخصی از دسترسی پتاسیم، پتاسیم غیرقابل تبادل و سرعت آزاد شدن پتاسیم، تثبیت پتاسیم، مقدار پتاسیم خاک زیرسطحی، رابطه متضاد بین یون‌ها در محلول خاک، درجه حرارت و مقدار رطوبت خاک هستند (Wood and Meyer, 1986). بنابراین جذب مقدار کافی پتاسیم توسط گیاه نیشکر علاوه بر تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه از طریق اضافه کردن کود شیمیایی، به کارایی جذب پتاسیم نیشکر و نیز افزایش حلالیت ترکیبات نامحلول پتاسیم و افزایش قابلیت دسترسی آن بستگی دارد. کارایی جذب از خاک عمدتاً به دو عامل اندازه سیستم ریشه و جریان ورودی (اینفلاکس) بستگی دارد که جریان ورودی می‌تواند شاخصی از برآیند توانایی گیاه در جذب و قابلیت جذب در خاک باشد (Khorassani, 2010). Samal *et al*. (2010) بیان کردند که اندازه سیستم ریشه، فیزیولوژی جذب و توانایی گیاهان در افزایش حلالیت پتاسیم در ریزوسفر از طریق ترشح ترکیبات آلی به عنوان روش‌های کارایی جذب بررسی شده‌اند.

یکی از روش‌های افزایش کارایی جذب پتاسیم، استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه است که به عنوان حل‌کننده پتاسیم نیز عمل می‌کنند. Basak and Biswas (2009) از باکتری *Bacillus mucilaginosus* به عنوان حل‌کننده پتاسیم و از میکا به عنوان منبع پتاسیم استفاده کردند. آن‌ها مشاهده کردند که استفاده از باکتری حل‌کننده پتاسیم سبب افزایش آزاد شدن پتاسیم از میکا و افزایش پتاسیم به صورت محلول در آب و قابل تبادل شد که منجر به افزایش عملکرد و مقدار جذب در مقایسه با شاهد، در گیاه گردید. بنابراین باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم قادر به استفاده و قابل دسترس کردن پتاسیم در فضای بین لایه‌ای کانی‌ها و پتاسیم تثبیت شده از طریق آزاد کردن پروتون و اسیدی کردن محیط اطراف باکتری‌ها، تولید اسیدهای آلی از قبیل اگزالیک، تارتاریک، سیتریک، گلوکونیک و ... و تشکیل کلات با کاتیون‌های پیوند شده به پتاسیم و آزاد کردن پتاسیم می‌باشند (Gupta *et al*., 2015; Etesami *et al*., 2017).

در حال حاضر روش متداول کود دهی در اراضی کشت نیشکر در خوزستان به صورت استفاده از عمدتاً کود سوپرفسفات تریپل به عنوان منبع تأمین کننده فسفر فقط در زمان کشت نیشکر (در سنین بازرویی نیشکر کود فسفر مصرف نمی‌شود) و استفاده از کود اوره به صورت کودآبیاری در طول فصل رشد گیاه می‌باشد. بنابراین در زمان کشت نیشکر (پلنت) و نیز در سنین بازرویی بعدی (راتون)، هیچ‌گونه کود پتاسیمی مصرف نمی‌شود. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه اثر استفاده از کودهای مختلف پتاسیم‌دار بر عملکرد نیشکر انجام شده است (Jafarnejady, 2013; Flores *et al*., 2014)، در حالی که اطلاعات کمی در مورد جذب پتاسیم و مکانیزم جذب توسط گیاه نیشکر در شرایط واقعی وجود دارد. لذا با توجه به روند تخلیه خاک‌های زیر کشت نیشکر از پتاسیم با توجه به منابع ذکر شده در بالا و مدیریت کود دهی حاکم، هدف از این تحقیق بررسی کارایی جذب پتاسیم نیشکر (واریته CP۵۷-۶۱۴) در دو مدیریت متفاوت مصرف کود فسفر (بررسی کارایی جذب پتاسیم در شرایطی مشابه با کشت نیشکر) و عدم مصرف کود فسفر (بررسی کارایی جذب پتاسیم در شرایطی مشابه با سنین بازرویی نیشکر) و نیز تأثیر تلقیح دو سویه از ریزوباکتر انتروباکتر کلوآسه در دو مدیریت کود دهی بر کارایی جذب پتاسیم نیشکر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی کارایی جذب پتاسیم در گیاه نیشکر، خاک استفاده شده در آزمایش گلدانی، از خاک سطحی (۳۰ – ۰ سانتی‌متری) یکی از مزارع شرکت کشت و صنعت حکیم فارابی (48º 36' E, 30º 59' N) که چندین سال تحت کشت نیشکر است، به دست آمد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پس از خشک کردن، کوبیدن و الک کردن (الک ۲ میلی‌متری) توسط روش‌های متداول آزمایشگاهی تعیین شدند. pH خاک در عصاره حاصل از نسبت ۱ به ۲ خاک به آب و توزیع اندازه ذرات به‌وسیله روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962) تعیین شدند. فسفر قابل استفاده توسط استخراج با بی‌کربنات سدیم ۰/۵ نرمال (Olsen *et al*., 1954) و پتاسیم قابل تبادل نیز با استفاده از استات آمونیوم (Helmke and Sparks, 1996) اندازه‌گیری شدند. ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم در pH = ۷ (Sumner and Miller, 1996)، کربنات کلسیم معادل با استفاده از روش Loeppert and Suarez (1996) و کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (Nelson and Sommers, 1996) تعیین شدند.

فاکتورهای مورد استفاده در این تحقیق شامل کود فسفر (در دو سطح شاهد و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و ریزوباکتر (در سه سطح شاهد، باکتری سویه R_{13} و باکتری سویه R_{33}) بودند که در سه تکرار به‌صورت طرح فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی

اجرا گردید. به منظور بررسی تغییرات جذب پتاسیم با گذشت زمان و جریان ورودی پتاسیم، سه زمان نمونه‌برداری شامل ۶۰، ۹۵ و ۱۴۰ روز پس از کشت در نظر گرفته شد که در هر زمان گلدان‌ها به طور کامل تخلیه شدند. قبل از کشت، تیمار کود فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل در گلدان‌های حاوی ۲۵ کیلوگرم خاک غیراستریل اعمال گردید. سپس تعداد دو قلمه تک جوانه نیشکر (واریته CP۵۷-۶۱۴) در هر گلدان در عمق ۵ سانتی‌متری کشت شد. در مرحله دو برگی گیاهان و پس از اطمینان از سبز شدن، مقدار یک میلی‌لیتر از مایع تلقیح حاوی ریزوباکتر با فراوانی باکتری $۱۰^{۶}$ سلول در میلی‌لیتر در زیر هر قلمه تزریق شد. دلیل استفاده از این مقدار، توجیه اقتصادی استفاده از این باکتری‌ها در مزرعه در صورت دست‌یابی به نتایج مطلوب بود. ریزوباکترهای استفاده شده در این تحقیق شامل انتروباکتر کلوآسه R_{13} و انتروباکتر کلوآسه R_{33} بودند که توسط Lamizadeh *et al.* (2016) از ریزوسفر نیشکر جدا شده بودند. کود اوره به مقدار معادل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در دو نوبت به‌صورت محلول در آب آبیاری به گلدان‌ها اضافه شد (۵۰ درصد کود در مرحله ۴ برگی و ۵۰ درصد دیگر یک ماه پس از آن استفاده شد). به منظور تأمین رطوبت در ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، گلدان‌ها هر سه روز یک‌بار آبیاری شدند. در هر زمان برداشت گیاه، اندام هوایی نیشکر از سطح خاک بریده شده و به منظور تعیین وزن خشک، در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. غلظت پتاسیم در اندام هوایی در نمونه‌های آسیاب شده و پس از استخراج توسط روش Miller (1998) تعیین شد. مقدار جذب پتاسیم از حاصل‌ضرب غلظت در وزن خشک اندام هوایی به دست آمد. به منظور جدا کردن خاک ریزوسفری، خاک درون گلدان‌ها به طور کامل تخلیه شده و ریشه گیاه به آرامی با دست تکان داده شد تا خاک اضافی از آن جدا شود. خاک چسبیده به ریشه به عنوان خاک ریزوسفری در نظر گرفته شد که به آرامی توسط برس نقاشی نرم از ریشه جدا شده و برای آنالیزهای بعدی در کیسه‌های پلاستیکی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سپس ریشه‌ها روی الک با آب شسته شده و طول ریشه با استفاده از روش Tennant (1975) تعیین شد. مقدار جریان ورودی پتاسیم (I_n) (مول بر سانتی‌متر بر ثانیه) با استفاده از فرمول ویلیامز (Fohse *et al.*, 1991) محاسبه شد.

$$I_n = \frac{U_2 - U_1}{RL_2 - RL_1} \times \frac{\ln\left(\frac{RL_2}{RL_1}\right)}{t_2 - t_1}$$

که در آن U جذب پتاسیم (مول در گلدان)، RL طول ریشه (متر در گلدان)، t زمان (ثانیه) و زیرنویس‌های ۱ و ۲ زمان برداشت را نشان می‌دهند.

در نمونه‌های خاک ریزوسفری، مقادیر پتاسیم محلول در عصاره حاصل از نسبت ۱ به ۲ خاک به آب و پتاسیم قابل تبادل توسط استخراج با استات آمونیوم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (BWB Technologies, UK. Ltd.) تعیین شدند. این تحقیق به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. همبستگی بین پارامترها با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح معنی‌داری ۵ درصد ($P < 0.05$) انجام شد. کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری توسط نرم‌افزار MINITAB 16 و رسم نمودار با استفاده از MS-Excel انجام گردید.

نتایج و بحث

خاک مورد استفاده در تحقیق دارای بافت لوم و pH برابر ۷/۳۴ بود. ظرفیت تبادل کاتیونی اندازه‌گیری شده برابر ۱۸/۶۴ میلی اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خاک و مقدار کربنات‌کلسیم معادل برابر ۳۳/۵ درصد بود. مطابق ویژگی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک که دارای مقدار کربن آلی کمی هستند، مقدار کربن آلی اندازه‌گیری شده معادل ۰/۵۶ درصد بود. اندازه‌گیری مقدار عناصر غذایی در خاک نشان داد که خاک مورد بررسی دارای عناصر کمتر از حد بحرانی بود به طوری که مقدار فسفر قابل دسترس برابر ۵/۶۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و مقادیر پتاسیم قابل تبادل و محلول به ترتیب ۱۰۹ و ۵/۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم و میلی‌گرم در لیتر بودند.

وزن خشک اندام هوایی

بررسی وزن خشک اندام هوایی گیاه نشان می‌دهد که در اولین زمان برداشت نیشکر در شرایط کود دهی مرسوم، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای بدون باکتری و با تلقیح باکتری مشاهده نشد (جدول ۱). این در حالی است که در دومین و سومین زمان برداشت گیاه، تیمار $P_{200}B_{13}$ در مقایسه با دو تیمار $P_{200}B_0$ و $P_{200}B_{33}$ وزن خشک اندام هوایی را به طور معنی‌داری ($P < 0.05$) افزایش داده بود. در زمان ۱۴۰ روز پس از کشت، وزن خشک اندام هوایی در تیمار $P_{200}B_{13}$ به مقدار ۱۷ درصد بیشتر از تیمارهای $P_{200}B_0$ و $P_{200}B_{33}$ بود. بنابراین در شرایط کود دهی مرسوم، استفاده از ریزوباکتر انتروباکتر سویه R_{13} توانست منجر به افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه شود. در شرایط عدم مصرف کود شیمیایی مشابه با سنین بازرویی نیشکر نتایج نشان می‌دهد که در اولین زمان برداشت، بین استفاده و عدم استفاده از ریزوباکتر اختلاف معنی‌دار آماری وجود ندارد اگر چه از نظر کمیت، وزن خشک اندام هوایی با استفاده از ریزوباکتر افزایش نشان داده بود (جدول ۱). در زمان ۹۵ روز پس از کشت، وزن

خشک اندام هوایی نیشکر در تیمار P_0B_{33} به طور معنی‌داری ($P < 0.05$) در مقایسه با تیمارهای P_0B_0 و P_0B_{13} افزایش یافته بود به طوری که مقدار افزایش به ترتیب ۶۷ و ۵۳ درصد بود. در سومین زمان برداشت، در هر دو تیمار P_0B_{13} و P_0B_{33} وزن خشک اندام هوایی به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد (P_0B_0) بود. این در حالی است که بین این تیمارها، بیشترین وزن خشک اندام هوایی با ۷۴/۴۹ گرم در گلدان به تیمار P_0B_{33} تعلق داشت.

بنابراین، در شرایط مشابه با بازرویی نیشکر، ریزوباکتر انتروباکتر سویه R_{33} به خوبی توانست در افزایش وزن خشک اندام هوایی نقش مثبتی را ایفا کند. همچنین قابل مشاهده است که با گذشت زمان، تأثیر ریزوباکترها و اختلاف آن‌ها با تیمار شاهد افزایش یافت. Sangeeth *et al.* (2012) در مطالعه‌ای نشان دادند که فلفل سیاه تلقیح شده توسط باکتری حل‌کننده پتاسیم در مقایسه با گیاه شاهد، وزن خشک گیاه را ۶۸/۳-۳۷ درصد افزایش داد.

جدول ۱- مقایسه میانگین‌های وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان) گیاه نیشکر تحت تأثیر تیمارهای مختلف در سه زمان برداشت

تیمار کود دهی	تیمار ریزوباکتر		
	B_0	B_{13}	B_{33}
	برداشت اول		
P_0	b* ۴/۶۵	ab۶/۶۴	ab۵/۲۸
P_{200}	a۷/۵۸	a۷/۵۳	a۷/۴۰
	برداشت دوم		
P_0	b۱۶/۶۸	b۱۸/۳۱	a۲۷/۹۳
P_{200}	b۲۱/۱۷	a۲۷/۲۷	b۱۸/۶۹
	برداشت سوم		
P_0	d۴۳/۵۹	c۵۶/۰۶	a۷۴/۴۹
P_{200}	b۶۴/۴۲	a۷۵/۵۵	b۶۴/۴۳

* حروف متفاوت در هر زمان به صورت جداگانه، معنی‌دار بودن تیمارها در سطح ۵ درصد ($P < 0.05$) را نشان می‌دهند.

P_0 و P_{200} به ترتیب نشان دهنده عدم مصرف کود شیمیایی و روش مرسوم کوددهی (استفاده از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل)

B_0، B_{13} و B_{33} به ترتیب نشان دهنده عدم تلقیح ریزوباکتر، ریزوباکتر سویه R_{13} و ریزوباکتر سویه R_{33}

طول ریشه

در اولین زمان برداشت گیاه، بیشترین طول ریشه در تیمارهای کود دهی مرسوم، در تیمار $P_{200}B_0$ مشاهده شد به طوری که اختلاف آن با تیمار $P_{200}B_{13}$ از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۲). در ۹۵ روز پس از کشت، طول ریشه گیاه در تیمار $P_{200}B_{33}$ اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) با هر دو تیمار $P_{200}B_0$ و $P_{200}B_{13}$ نشان داد به طوری که این افزایش به ترتیب ۵۷ و ۴۷ درصد بود. این در حالی است که در زمان ۱۴۰ روز پس از کشت، اختلاف بین تیمارهای کوددهی مرسوم از نظر طول ریشه معنی‌دار نبود گرچه بیشترین مقدار در تیمار $P_{200}B_{33}$ مشاهده شد.

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های طول ریشه (متر در گلدان) گیاه نیشکر تحت تأثیر تیمارهای مختلف در سه زمان برداشت

تیمار کود دهی	تیمار ریزوباکتر		
	B_0	B_{13}	B_{33}
	برداشت اول		
P_0	۷۴/۷۸ bc*	۶۴/۸۶ c	۶۴/۶۷ c
P_{200}	۹۲/۵۶ a	۷۴/۳۷ bc	۸۰/۱۲ ab
	برداشت دوم		
P_0	۸۲/۷۸ c	۱۱۸/۰۸ b	۱۳۰/۳۶ b
P_{200}	۱۱۵/۸۲ bc	۱۲۳/۶۰ b	۱۸۱/۹۸ a
	برداشت سوم		
P_0	۱۶۶/۶۰ c	۱۴۸/۳۷ c	۱۸۱/۹۷ bc
P_{200}	۲۴۰/۳۳ ab	۲۳۹/۶۴ ab	۲۷۲/۳۰ a

*** حروف متفاوت در هر زمان به صورت جداگانه، معنی‌دار بودن تیمارها در سطح ۵ درصد ($P < 0.05$) را نشان می‌دهند.**

P_0 و P_{200} به ترتیب نشان دهنده عدم مصرف کود شیمیایی و روش مرسوم کود دهی (استفاده از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل)

B_0، B_{13} و B_{33} به ترتیب نشان دهنده عدم تلقیح ریزوباکتر، ریزوباکتر سویه R_{13} و ریزوباکتر سویه R_{33}

بیشترین مقدار طول ریشه در شرایط عدم استفاده از کود شیمیایی در ۶۰ روز پس از کشت، در تیمار P_0B_0 در مقایسه با تیمارهای P_0B_{13} و P_0B_{33} مشاهده شد (جدول ۲). در حالی که در دومین زمان برداشت نیشکر، تلقیح ریزوباکترها در تیمارهای P_0B_{13} و P_0B_{33} توانست طول ریشه نیشکر را به طور معنی‌داری ($P < 0.05$) (به ترتیب ۴۳ و ۵۷ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد (P_0B_0) افزایش دهند. در بین تیمارهای مذکور در سومین زمان برداشت، اختلاف معنی‌دار آماری در طول ریشه مشاهده نشد در حالی که بیشترین کمیت طول ریشه در تیمار P_0B_{33} مشاهده شد. بنابراین استفاده از ریزوباکترها در محیط ریزوسفر نیشکر به‌ویژه سویه R_{33} توانست رشد ریشه گیاه را افزایش دهد که این اثر می‌تواند به توانایی تولید اکسین توسط این ریزوباکتر مربوط باشد. نتایج مطالعه Lamizadeh *et al*. (2016) توانایی تولید اکسین توسط این سویه را نشان داد. در مطالعه اثر باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم بر گیاه برنج، Bakhshandeh *et al*. (2017) از باکتری‌های *Pantoea ananatis*، *Rahnella aquatilis* و *Enterobacter* sp. استفاده کردند که نتایج در آزمایش گلدانی نشان داد که تیمارهای تلقیح شده در مقایسه با شاهد، طول ریشه گیاه را ۱۳/۱-۸ درصد افزایش دادند. همچنین آن‌ها به توانایی تولید ایندول استیک اسید (IAA) توسط این باکتری‌ها اشاره نمودند. استفاده از *Enterobacter hormaechei* به عنوان باکتری حل‌کننده پتاسیم توانست طول ریشه، رسیدگی میوه و مقدار پتاسیم خیار را در مقایسه با تیمار تلقیح نشده به مقدار قابل توجهی افزایش دهد (Prajapati and Modi, 2016). آن‌ها بیان کردند که این باکتری، بهترین باکتری حل‌کننده پتاسیم در بین چهارده باکتری حل‌کننده پتاسیم جدا شده از خاک بود.

طول ریشه ویژه

طول ریشه ویژه را می‌توان به عنوان شاخصی از طولانی بودن و نازک بودن ریشه مورد استفاده قرار داد (Ostonen *et al*., 2007). در تیمارهای با روش مرسوم کوددهی، اختلاف معنی‌داری در طول ریشه ویژه بین تیمارهای $P_{200}B_0$، $P_{200}B_{13}$ و $P_{200}B_{33}$ در اولین زمان برداشت مشاهده نشد (جدول ۳). این در حالی است که در زمان ۹۵ روز پس از کشت، تیمار $P_{200}B_{33}$ افزایش معنی‌داری ($P < 0.05$) را نسبت به تیمارهای $P_{200}B_0$ و $P_{200}B_{13}$ (به ترتیب ۵۵ و ۱۰۴ درصد افزایش) در طول ریشه ویژه نشان داد. نتایج سومین زمان برداشت نشان داد که در روش کوددهی مرسوم، استفاده و عدم استفاده از ریزوباکترها تأثیر معنی‌داری در طول ریشه ویژه در این زمان نداشت گر چه از نظر کمی، تیمار $P_{200}B_{33}$ دارای طول ریشه ویژه بیشتری بود.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های طول ریشه ویژه (متر در گرم) گیاه نیشکر تحت تأثیر تیمارهای مختلف در سه زمان برداشت

تیمار کود دهی	تیمار ریزوباکتر		
	B_0	B_{13}	B_{33}
	برداشت اول		
P_0	۱۸/۹۷ b*	۱۹/۲۰ b	۲۴/۳۴ a
P_{200}	۱۸/۲۶ b	۱۵/۴۵ b	۱۸/۱۲ b
	برداشت دوم		
P_0	۸/۷۷ c	۱۴/۱۷ b	۱۳/۹۱ b
P_{200}	۱۱/۷۳ bc	۸/۹۳ c	۱۸/۲۱ a
	برداشت سوم		
P_0	۱۱/۲۱ a	۷/۳۱ a	۸/۳۸ a
P_{200}	۹/۹۰ a	۷/۷۴ a	۱۱/۲۶ a

*** حروف متفاوت در هر زمان به صورت جداگانه، معنی‌دار بودن تیمارها در سطح ۵ درصد ($P < 0.05$) را نشان می‌دهند.**

P_0 و P_{200} به ترتیب نشان دهنده عدم مصرف کود شیمیایی و روش مرسوم کود دهی (استفاده از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل)

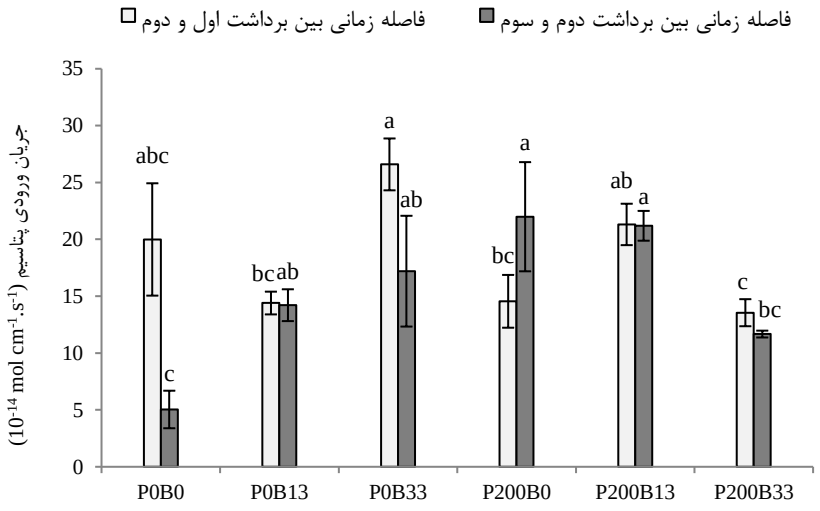
B_0، B_{13} و B_{33} به ترتیب نشان دهنده عدم تلقیح ریزوباکتر، ریزوباکتر سویه R_{13} و ریزوباکتر سویه R_{33}

در تیمارهای بدون مصرف کود شیمیایی در ۶۰ روز پس از کشت، تیمار P_0B_{33} با مقدار طول ریشه ویژه ۲۴/۳۴ متر در گرم اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) با هر دو تیمار P_0B_0 و P_0B_{13} نشان داد. در زمان ۹۵ روز پس از کشت، تلقیح ریزوسفر نیشکر توسط هر دو سویه انتروباکتر توانست طول ریشه ویژه را در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری ($P < 0.05$) افزایش دهد به طوری که مقدار افزایش در تیمار P_0B_{13} برابر ۶۲ درصد و در تیمار P_0B_{33} برابر ۵۹ درصد در مقایسه با تیمار P_0B_0 بود. این در حالی است که در سومین زمان برداشت، طول ریشه ویژه اختلاف معنی‌داری در تیمارهای بدون کوددهی نشان نداد. بنابراین نتایج نشان داد

که استفاده از ریزوباکتر انتروباکتر کلوآسه به‌ویژه سویه R_{33} قادر به ایجاد شبکه ریشه‌ای طولانی‌تر و نازک‌تر تا زمان ۹۵ روز پس از کشت نسبت به تیمار شاهد بود که این منجر به افزایش سطوح تماس ریشه با خاک و افزایش نقاط جذب پتاسیم در سطح ریشه نیشکر شده و می‌تواند تأثیر مثبتی در جذب عناصر به ویژه پتاسیم داشته باشد.

جریان ورودی پتاسیم

در تیمارهای با کوددهی مرسوم در اولین فاصله زمانی بین برداشت اول و دوم، بیشترین جریان ورودی پتاسیم در تیمار $P_{200}B_{13}$ و کمترین جریان ورودی در تیمار $P_{200}B_{33}$ مشاهده شد (شکل ۱). همچنین در فاصله زمانی بین برداشت دوم و سوم، تیمارهای $P_{200}B_0$ و $P_{200}B_{13}$ افزایش معنی‌داری ($P < 0.05$) را در مقایسه با تیمار $P_{200}B_{33}$ در جریان ورودی پتاسیم به درون ریشه نیشکر نشان دادند. بنابراین استفاده هم‌زمان انتروباکتر سویه R_{33} و روش مرسوم کوددهی در شرایط مشابه با کشت نیشکر، سبب جریان ورودی کمتر پتاسیم گردید. در شرایط عدم مصرف کود شیمیایی، نتایج نشان داد که در فاصله زمانی بین برداشت اول و دوم، تیمار P_0B_{33} دارای اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) در مقایسه با تیمارهای P_0B_0 و P_0B_{13} در جریان ورودی پتاسیم بود به طوری که به ترتیب مقدار ۳۳ و ۸۵ درصد افزایش را موجب شد. در فاصله زمانی بین برداشت دوم و سوم، جریان ورودی پتاسیم در تیمار شاهد (P_0B_0) در مقایسه با دوره زمانی قبل، کاهش زیادی را نشان داد. در این زمان، هر دو تیمار P_0B_{13} و P_0B_{33} دارای اختلاف معنی‌داری در مقایسه با تیمار P_0B_0 بودند به طوری که جریان ورودی پتاسیم در تیمار P_0B_{13} به مقدار ۱۸۲ درصد و در تیمار P_0B_{33} به مقدار ۲۴۱ درصد در مقایسه با تیمار P_0B_0 افزایش یافته بود. همچنین تأثیر سویه R_{33} در شرایط عدم مصرف کود شیمیایی بیشتر از سویه R_{13} بود. بنابراین ریزوباکترهای انتروباکتر قادر بودند که در شرایط کمبود عناصر غذایی در خاک، جریان ورودی پتاسیم را افزایش دهند که می‌تواند پارامتر مؤثری در مقدار جذب پتاسیم در این شرایط باشد. از دلایل جریان ورودی بیشتر در تیمارهای تلقیح شده می‌توان به افزایش آزاد شدن پتاسیم از منابع غیرمحلول پتاسیم اشاره کرد. Meena *et al.* (2015) در تحقیقی افزایش معنی‌دار آزاد شدن پتاسیم از خاک در استفاده از باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم در حضور مسکوویت و بیوتیت را مشاهده کردند.



شکل۱- تغییرات مقدار جریان ورودی پتاسیم در دو فاصله زمانی برداشت نیشکر در شرایط مشابه با کشت و سن بازرویی نیشکر

پتاسیم محلول و قابل تبادل

مقادیر پتاسیم محلول و قابل تبادل در هر زمان برداشت در ریزوسفر نیشکر اندازه‌گیری شد. در مقایسه با نمونه خاک اولیه، پتاسیم محلول افزایش و پتاسیم قابل تبادل کاهش یافته بود. همچنین با افزایش سن گیاه، پتاسیم محلول و قابل تبادل کاهش یافتند (جدول ۴). در شرایط مصرف مرسوم کود شیمیایی در اولین زمان برداشت، بیشترین مقدار پتاسیم محلول در تیمار $P_{200}B_{33}$ مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار $P_{200}B_0$ نشان داد در حالی که در پتاسیم قابل تبادل، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای $P_{200}B_0$، $P_{200}B_{13}$ و $P_{200}B_{33}$ مشاهده نشد. همچنین در دومین زمان برداشت، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کوددهی مرسوم در پتاسیم محلول و قابل تبادل مشاهده نشد در صورتی که در ۱۴۰ روز پس از کشت، اختلاف تیمار $P_{200}B_0$ در مقدار پتاسیم قابل تبادل با تیمار $P_{200}B_{33}$ معنی‌دار بود به طوری که

تیمار $P_{200}B_0$ مقدار ۱۵ درصد پتاسیم قابل تبادل بیشتری نسبت به تیمار $P_{200}B_{33}$ داشت. در شرایط مشابه با سن راتون نیشکر، در ۶۰ روز پس از کشت اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای استفاده و عدم استفاده از ریزوباکترها در پتاسیم محلول و قابل تبادل مشاهده نشد. در زمان ۹۵ روز پس از کشت، تیمارهای P_0B_{13} و P_0B_{33} به طور معنی‌داری دارای پتاسیم محلول کمتری در مقایسه با تیمار P_0B_0 بودند در حالی که این اختلاف معنی‌دار در سومین زمان برداشت فقط میان تیمارهای P_0B_0 و P_0B_{33} مشاهده شد. از نظر پتاسیم قابل تبادل در ۹۵ و ۱۴۰ روز پس از کشت، اختلاف معنی‌دار آماری بین تیمارهای P_0B_0، P_0B_{13} و P_0B_{33} مشاهده نگردید در حالی که از نظر کمی، تیمار P_0B_{33} دارای مقدار پتاسیم قابل تبادل کمتری در مقایسه با دو تیمار دیگر بود.

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های پتاسیم محلول (میلی‌گرم در لیتر) و پتاسیم قابل تبادل (میلی‌گرم در کیلوگرم) ریزوسفر نیشکر تحت تأثیر تیمارهای مختلف در سه زمان برداشت

تیمار	پتاسیم محلول ($mg\ L^{-1}$)			پتاسیم قابل تبادل ($mg\ kg^{-1}$)		
	برداشت اول	برداشت دوم	برداشت سوم	برداشت اول	برداشت دوم	برداشت سوم
P_0B_0	۱۰/۳۸ ab	۱۱/۲۱ a	۸/۹۰ a	۸۹/۶۷ a	۸۸/۰۰ a	۷۷/۶۷ abc
$P_{200}B_0$	۸/۷۵ b	۹/۶۹ ab	۶/۹۰ cd	۹۳/۲۲ a	۸۶/۸۹ a	۷۸/۸۹ ab
P_0B_{13}	۱۰/۶۰ ab	۸/۷۸ bc	۸/۰۲ ab	۹۴/۳۳ a	۸۸/۳۳ a	۸۶/۳۳ a
$P_{200}B_{13}$	۸/۹۹ ab	۸/۹۴ bc	۶/۰۴ d	۹۳/۰۰ a	۸۱/۵۶ a	۷۲/۱۱ bc
P_0B_{33}	۸/۸۷ ab	۷/۹۱ c	۷/۱۷ bc	۹۱/۸۳ a	۸۰/۳۳ a	۷۵/۴۴ bc
$P_{200}B_{33}$	۱۱/۰۶ a	۹/۳۴ bc	۶/۵۵ cd	۹۶/۴۴ a	۸۴/۶۷ a	۶۸/۵۷ c

حروف غیرمشابه در هر ستون در سطح ۵ درصد ($P < 0.05$) از نظر آماری معنی‌دار هستند. P_0 و P_{200} به ترتیب نشان دهنده عدم مصرف کود شیمیایی و روش مرسوم کوددهی (استفاده از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل) و B_0، B_{13} و B_{33} به ترتیب نشان دهنده عدم تلقیح ریزوباکتر، ریزوباکتر سویه R_{13} و ریزوباکتر سویه R_{33}.

جذب پتاسیم

بررسی نتایج جذب پتاسیم نیشکر در شرایط کوددهی مرسوم در کشت نیشکر در اولین زمان برداشت نشان داد که تیمار $P_{200}B_{33}$ دارای مقدار جذب کمتری در مقایسه با هر دو تیمار $P_{200}B_0$ و $P_{200}B_{13}$ بود (جدول ۵) که از دلایل آن می‌توان به طول ریشه بیشتر در تیمار $P_{200}B_0$ در مقایسه با تیمار $P_{200}B_{33}$ اشاره کرد. همچنین وزن خشک کمتر تیمار $P_{200}B_{33}$ در مقایسه با تیمار $P_{200}B_{13}$ می‌تواند از دلایل مقدار جذب کمتر تیمار $P_{200}B_{33}$ باشد. بیشتر بودن مقادیر پتاسیم محلول و قابل تبادل در ۶۰ روز پس از کشت در ریزوسفر تیمار $P_{200}B_{33}$ می‌تواند به دلیل جذب کمتر پتاسیم در مقایسه با تیمارهای $P_{200}B_0$ و $P_{200}B_{13}$ باشد. در ۹۵ روز پس از کشت، تیمار $P_{200}B_{13}$ دارای جذب پتاسیم بیشتری در مقایسه با تیمارهای $P_{200}B_0$ و $P_{200}B_{33}$ بود. Bagyalakshmi *et al.* (2012) در تحقیقی تأثیر استفاده از باکتری حل‌کننده پتاسیم را در گیاه چای در شرایطی که کود نیتروژن و فسفر نیز مصرف شده بود بررسی کردند. نتایج نشان داد که بهبود قابل ملاحظه در مقدار پتاسیم خاک و افزایش مقدار جذب پتاسیم توسط گیاه در تیمار تلقیح شده توسط باکتری حل‌کننده پتاسیم مشاهده شد. بررسی پارامترهای طول ریشه و طول ریشه ویژه نشان می‌دهد که تیمار $P_{200}B_{13}$ دارای طول ریشه کوچک‌تری در مقایسه با تیمار $P_{200}B_{33}$ می‌باشد و نیز طول ریشه ویژه آن کمتر از دو تیمار دیگر است در حالی که مقدار جریان ورودی پتاسیم در تیمار $P_{200}B_{13}$ بیشتر از هر دو تیمار $P_{200}B_0$ و $P_{200}B_{33}$ بود. بنابراین در این زمان، جریان ورودی پتاسیم تأثیر بیشتری را نسبت به طول ریشه در تیمارهای مذکور نشان داده است. در ۱۴۰ روز پس از کشت نیز مشابه اولین زمان برداشت، تیمار $P_{200}B_{33}$ دارای جذب پتاسیم کمتر معنی‌داری در مقایسه با دو تیمار $P_{200}B_0$ و $P_{200}B_{13}$ بود. در این زمان نیز تیمار $P_{200}B_{33}$ با دارا بودن طول ریشه و طول ریشه ویژه بیشتر، قادر نبود مقدار پتاسیم بیشتری را جذب کند.

در شرایط عدم مصرف کود شیمیایی در سن راتون نیشکر، مقایسه نتایج جذب پتاسیم در بین تیمارهای P_0B_0، P_0B_{13} و P_0B_{33} در هر سه زمان برداشت نشان داد که تیمارهای با استفاده از ریزوباکترها دارای مقدار جذب پتاسیم بیشتری در مقایسه با تیمار شاهد بودند به طوری که مقدار جذب در اولین زمان برداشت برای تیمار P_0B_{13}، در دومین زمان برداشت برای تیمار P_0B_{33} و در سومین زمان برداشت برای هر دو تیمار P_0B_{13} و P_0B_{33} در مقایسه با شاهد معنی‌دار بود. بنابراین با گذشت زمان تأثیر استفاده از ریزوباکترها در جذب پتاسیم افزایش یافت به طوری که در ۱۴۰ روز پس از کشت، مقدار جذب پتاسیم در تیمار P_0B_{13} به مقدار ۶۰ درصد و در تیمار P_0B_{33} به مقدار ۱۳۵ درصد در مقایسه با تیمار P_0B_0 افزایش یافته بود. بررسی پارامترهای گیاهی نشان داد که تلقیح گیاه نیشکر توسط ریزوباکتر انتروباکتر

به‌ویژه سویه R_{33} سبب افزایش طول ریشه و طول ریشه ویژه نسبت به تیمار شاهد گردید. اما این افزایش در سومین زمان برداشت نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار نبود. بررسی نتایج جریان ورودی پتاسیم نشان داد که تأثیر ریزوباکتر انتروباکتر در جذب پتاسیم بیشتر از طریق افزایش نرخ ورود پتاسیم به درون ریشه گیاه نیشکر می‌باشد به طوری که این اختلاف بین تیمارها در فاصله زمانی بین برداشت دوم و سوم کاملاً بیانگر این مطلب است.

در تیمار P_0B_{13}، مقدار جریان ورودی، افزایشی برابر ۱۸۲ درصد و در تیمار P_0B_{33} این افزایش در مقایسه با تیمار P_0B_0 برابر ۲۴۱ درصد بود. تلقیح کانی میکا با استفاده از باکتری حل‌کننده پتاسیم در کشت گیاه سورگوم نشان داد که در نمونه‌های تلقیح شده، مقدار جذب پتاسیم گیاه در مقایسه با نمونه‌های تلقیح نشده افزایش یافت که علت آن، افزایش مقدار پتاسیم محلول و قابل تبادل در تیمارهای تلقیح شده بود (Basak and Biswas, 2009).

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های جذب پتاسیم (میلی‌گرم در گلدان) گیاه نیشکر تحت تأثیر تیمارهای مختلف در سه زمان برداشت

تیمار کود دهی	تیمار ریزوباکتر		
	B_0	B_{13}	B_{33}
	برداشت اول		
P_0	۳۴/۶۶ b*	۶۸/۰۹ a	۴۰/۵۶ b
P_{200}	۵۲/۶۲ ab	۵۲/۰۶ ab	۳۶/۵۳ b
	برداشت دوم		
P_0	۲۱۹/۱۰ b	۲۱۳/۴۲ b	۳۳۷/۱۵ a
P_{200}	۲۳۰/۶۷ b	۲۹۵/۴۱ a	۲۳۱/۰۷ b
	برداشت سوم		
P_0	۳۱۱/۴۷ e	۴۹۸/۸۵ d	۷۳۳/۴۰ b
P_{200}	۷۸۸/۲۴ ab	۸۵۹/۳۹ a	۶۲۸/۵۷ c

*** حروف متفاوت در هر زمان به صورت جداگانه، معنی‌دار بودن تیمارها در سطح ۵ درصد ($P < 0.05$) را نشان می‌دهند.**

P_0 و P_{200} به ترتیب نشان دهنده عدم مصرف کود شیمیایی و روش مرسوم کوددهی (استفاده از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل)

B_0، B_{13} و B_{33} به ترتیب نشان دهنده عدم تلقیح ریزوباکتر، ریزوباکتر سویه R_{13} و ریزوباکتر سویه R_{33}

نتایج همبستگی پارامترهای مختلف نشان می‌دهد که در دومین و سومین زمان برداشت، جذب پتاسیم دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با جریان ورودی پتاسیم بود (جداول ۶ و ۷). همچنین در ۹۵ روز پس از کشت، جذب پتاسیم همبستگی منفی و معنی‌داری با پتاسیم قابل تبادل نشان داد در حالی که در ۱۴۰ روز پس از کشت این همبستگی منفی و معنی‌دار با پتاسیم محلول مشاهده شد که نشان دهنده مقدار پتاسیم جذب شده از این منابع پتاسیم توسط گیاه نیشکر است. بنابراین جریان ورودی پتاسیم مکانیزم اصلی بهبود جذب پتاسیم در حضور ریزوباکترهای انتروباکتر به‌ویژه سویه R_{33} می‌باشد. بررسی نتایج پتاسیم محلول در ریزوسفر گیاه نیز نشان می‌دهد که در شرایط عدم مصرف کود شیمیایی، تیمارهای P_0B_{13} و P_0B_{33} دارای مقدار پتاسیم محلول کمتری در مقایسه با تیمار P_0B_0 هستند که بیانگر جذب بیشتر پتاسیم توسط گیاه می‌باشد. وضعیت پتاسیم قابل تبادل در این تیمارها می‌تواند نشان دهنده احتمال استفاده ریزوباکترها از منابع کمتر قابل استفاده مانند اشکال تثبیت شده پتاسیم باشد.

جدول ۶- ضریب همبستگی بین پارامترهای گیاهی و خاک ریزوسفری در دومین زمان برداشت نیشکر

	جذب پتاسیم	پتاسیم قابل تبادل	پتاسیم محلول	جریان پتاسیم	ورودی	وزن خشک اندام هوایی	طول ریشه
پتاسیم قابل تبادل	-۰/۹۵۰ **						
پتاسیم محلول	-۰/۶۷۱	۰/۶۶۴					
جریان ورودی پتاسیم	*۰/۸۶۰	-۰/۷۱۶	-۰/۳۱۷				
وزن خشک اندام هوایی	**۰/۹۴۷	*-۰/۹۱۵	-۰/۷۰۶	۰/۷۲۲			
طول ریشه	۰/۱۳۰	-۰/۳۷۸	-۰/۴۷۷	-/۲۹۰		۰/۱۲۲	
طول ریشه ویژه	-۰/۰۹۰	-۰/۰۵۳	-۰/۴۳۸	-۰/۳۹۲		-۰/۱۷۱	*۰/۸۴۸

*** و ** به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد و یک درصد را نشان می‌دهند.**

جدول ۷- ضریب همبستگی بین پارامترهای گیاهی و خاک ریزوسفری در سومین زمان برداشت نیشکر

	جذب پتاسیم	پتاسیم قابل تبادل	پتاسیم محلول	جریان پتاسیم	ورودی	وزن هوایی	خشک	اندام	طول ریشه
پتاسیم قابل تبادل	-۰/۳۸۴								
پتاسیم محلول	-۰/۹۱۵ **	۰/۶۱۷							
جریان ورودی پتاسیم	**۰/۹۳۱	-۰/۰۳۰	-۰/۷۵۱						
وزن خشک اندام هوایی	**۰/۹۳۴	-۰/۴۵۳	*-۰/۸۸۳	۰/۸۰۴					
طول ریشه	۰/۶۱۱	-۰/۷۸۳	-۰/۸۰۸	۰/۳۸۹		۰/۴۹۲			
طول ریشه ویژه	-۰/۴۰۱	-۰/۴۴۵	۰/۲۲۲	-۰/۵۶۹		-۰/۴۷۸			۰/۳۷۳

* و ** به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد و یک درصد را نشان می‌دهند.

نتیجه‌گیری کلی

مقایسه جذب و کارایی جذب پتاسیم در گیاه نیشکر با دو مدیریت متفاوت، یکی مشابه با کشت گیاه و دیگری مشابه با سن بازرویی در شرایط بدون تلقیح نشان داد که نیشکر در زمان کشت دارای توانایی مناسبی برای جذب پتاسیم از خاک در مقایسه با سنین بازرویی آن می‌باشد. این توانایی گیاه به پارامترهایی مانند طول ریشه بیشتر و جریان ورودی پتاسیم بیشتر مربوط می‌شود که از دلایل طول ریشه بیشتر می‌توان به مصرف کود فسفر در زمان کشت و در مورد جریان ورودی پتاسیم بیشتر می‌توان به توانایی بیشتر گیاه و تغییرات ریزوسفر در جذب پتاسیم اشاره کرد. بررسی نتایج جریان ورودی در شرایط بازرویی، کاهش شدید را با ادامه رشد گیاه نشان داد که از دلایل کاهش کارایی جذب پتاسیم در این شرایط است. بنابراین یکی از عوامل کاهش عملکرد نیشکر در سن بازرویی، در کنار سایر عوامل، کارایی کم جذب پتاسیم در گیاه نیشکر (واریته CP۵۷-۶۱۴) می‌باشد.

تلقیح گیاه در شرایط مشابه با کشت نیشکر توسط انتروباکتر کلوآسه نشان داد که استفاده از سویه R_{13} در این شرایط قادر بود جذب پتاسیم توسط نیشکر را در مقایسه با عدم تلقیح بهبود دهد و منجر به افزایش جذب پتاسیم توسط گیاه گردید. این در حالی است که سویه R_{33} در این شرایط ناکارآمد بود. استفاده از انتروباکتر کلوآسه در شرایط مشابه با سن بازرویی نیشکر نشان داد که سویه R_{33} دارای توانایی بالایی در بهبود جذب و کارایی جذب پتاسیم در این شرایط بود به طوری که در آخرین زمان برداشت گیاه، تیمار P_0B_{33} سبب افزایش جذب و جریان ورودی پتاسیم به ترتیب به مقدار ۱۳۵ و ۲۴۱ درصد در مقایسه با تیمار P_0B_0 بود. بنابراین استفاده از باکتری انتروباکتر کلوآسه به‌ویژه سویه R_{33} توانست در شرایط مشابه با بازرویی نیشکر، جذب پتاسیم توسط این گیاه را به طور چشمگیری افزایش دهد که می‌تواند به افزایش عملکرد منجر شود.

سپاس‌گذاری

نویسندگان مقاله از مسئولین شرکت کشت و صنعت حکیم فارابی به ویژه معاونت محترم کشاورزی جناب آقای مهندس بهروان و مدیریت محترم مطالعات کاربردی جناب آقای مهندس آریز به منظور تأمین هزینه‌ها و شرایط مورد نیاز این تحقیق و نیز کلیه افرادی که در این تحقیق مساعدت نمودند، کمال تشکر را می‌نمایند.

REFERENCES

Bagyalakshmi, B., Ponmurugan, P., and Marimuthu, S. (2012). Influence of potassium solubilizing bacteria on crop productivity and quality of tea (*Camellia sinensis*). *African Journal of Agricultural Research*, 7(30), 4250-4259.

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.

Baranimotlagh, M., and Savaghebi Firozabadi, G. (2005). Investigation of potassium discharge from Sugar cultivated soils of Khuzestan. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 36(5), 1185-1196. (In Farsi)

Basak, B. B., and Biswas, D. R. (2009). Influence of potassium solubilizing microorganism (*Bacillus mucilaginosus*) and waste mica on potassium uptake dynamics by sudan grass (*Sorghum vulgare* Pers.) grown under two Alfisols. *Plant and Soil*, 317, 235–255.

Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal*, 54, 464–465.

El-Tilib, M. A., Elnasikh, M. H., and Elamin, E. A. (2004). Phosphorus and potassium fertilization effects on growth attributes and yield of two sugarcane varieties grown on three soil series. *Journal of Plant Nutrition*, 27(4), 663-669.

Etesami, H., Emami, S., and Alikhani, H. A. (2017). Potassium solubilizing bacteria (KSB):

Mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects - a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(4), 897-911.

Filho, J. O. (1985). Potassium nutrition of sugarcane. In: Potassium in agriculture. (Ed. Munson, R.D.). *American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison*, 1045-1062.

Flores, R. A., de Mello Prado, R., Pancelli, M. A., Almeida, H. J., Moda, L. R., Nogueira Borges, B. M. M., and de Souza Junior, J. P. (2014). Potassium nutrition in the first and second ratoon sugarcane grown in an Oxisol by a conservationist system. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74(1), 83-88.

Föhse, D., Claassen, N., and Jungk, A. (1991). Phosphorus efficiency of plants, II. Significance of root radius, root hairs and cation-anion balance for phosphorus influx in seven plant species. *Plant and Soil*, 132, 261-272.

Gupta, G., Parihar, S. S., Ahirwar, N. K., Snehi, S. K., and Singh, V. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture. *Journal of Microbial & Biochemical Technology*, 7, 96-102.

Helmke, P. A., and Sparks, D. L. (1996). Lithium, Sodium, Potassium, Rubidium and Cesium. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis* (Part 3). (pp. 551-574). Soil Science Society of America Publishing: Madison, Wisconsin, USA.

Jafari, S., and Baghernejad, M. (2007). Effects of wetting and drying and culture systems on potassium fixation in some soils and clays of Khuzestan. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 41, 75-89. (In Farsi)

Jafarnejady, A. (2013). Study of the reaction of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) to different of potassium fertilizers. *Journal of Plant Physiology*, 19, 61-71. (In Farsi)

Khorassani, R. (2010). Phosphorus uptake efficiency in corn, sugar beet and groundnut. *Journal of water and soil*, 24(1), 180-188. (In Farsi)

Lamizadeh, E., Enayatizamir, N., and Motamedi, H. (2016). Isolation and identification of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) from the rhizosphere of sugarcane in saline and non-saline soil. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5, 1072-1083.

Loeppert, H. L., and Suarez, D. L. (1996). Carbonate and gypsum. Methods of Soil Analysis. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis* (Part 3). (pp. 437-474). Soil Science Society of America Publishing: Madison, Wisconsin, USA.

Meena, V. S., Maurya, B. R., Verma, J. P., Aeron, A., Kumar, A., Kim, K., and Bajpai, V. K. (2015). Potassium solubilizing rhizobacteria (KSR): Isolation, identification, and K-release dynamics from waste mica. *Ecological Engineering*, 81, 340-347.

Miller, R. O. (1998). Determination of dry matter content of plant tissue: gravimetric moisture. Handbook of Methods for Plant Analysis. CRC Press.

Nelson, D. W., and Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis* (Part 3). (pp. 961-1010). Soil Science Society of America Publishing: Madison, Wisconsin, USA.

Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, E. S., and Dean, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *United States Department of Agriculture Circular*, 939, 1-18.

Ostonen, I., Pu¨ ttsepp, U¨., Biel, C., Alberton, O., Bakker, M. R., Lo˜ hmus, K., Majid, H., Metcalfe, D., Olsthoorn, A. F. M., Pronk, A., Vanguelova, E., Weih, M., and Brunner, I. (2007). Specific root length as an indicator of environmental change. *Plant Biosystems*, 141(3), 426.442.

Prajapati, K., and Modi, H. (2016). Growth promoting effect of potassium solubilizing *Enterobacter hormaechei* (KSB-8) on cucumber (*Cucumis sativus*) under hydroponic conditions. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 3(5), 168-173.

Samadi, A. (2012). Impact of continuous sugar beet cropping on potassium quantity-intensity parameters in calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition*, 35, 1154–1167.

Samal, D., Kovar, J. L., Steingrobe, B., Sadana, U. S., Bhadoria, P. S., and Claassen, N. (2010). Potassium uptake efficiency and dynamics in the rhizosphere of maize (*Zea mays* L.), wheat (*Triticum aestivum* L.), and sugar beet (*Beta vulgaris* L.) evaluated with a mechanistic model. *Plant and Soil*, 332, 105–121.

Sangeeth, K. P., Bhai, S. R., and Srinivasan, V. (2012). *Paenibacillus glucanolyticus*, a promising potassium solubilizing bacterium isolated from black pepper (*Piper nigrum* L.) rhizosphere. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 21(2), 118–124.

Sumner, M. E., and Miller, W. P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis* (Part 3). (pp. 1201-1229). Soil Science Society of America Publishing: Madison, Wisconsin, USA.

Tennant, D. (1975). A test of a modified line intercepts method of estimating root length. *Journal of Ecology*, 63, 995-1001.

Wood, R. A., and Meyer, J. H. (1986). Factors affecting potassium nutrition of sugarcane in south africa. *Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association*, 198-204.