

تأثیر کاربرد سوپرفسففات تریپل، کود زیستی حاوی ازتوباکتر و قارچ‌های میکوریزی بر رشد و تغذیه ذرت

توحید روحی کلارلو^۱، نادر خادم‌مقدم ایگده‌لو^{۲*}

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۵

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- دکتری علوم خاک، کارشناس کشاورزی کشت و صنعت اشراق، سازمان اقتصادی کوثر
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی nader.khadem@znu.ac.ir

چکیده

امروزه یکی از راهکارهای موثر جهت تحقق تغذیه پایدار فسفر، افزایش قابلیت دسترسی گیاهان به فسفر غیرقابل استفاده خاک و افزایش کارایی مصرف کود فسفاتی، استفاده از پتانسیل‌های زیستی خاک است. به این منظور، با استفاده از کود زیستی حاوی ریزجانداران حل‌کننده فسفات آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور و چهار تکرار با کشت ذرت (سینگل کراس ۷۰۴)، در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات خاک و آب انجام شد. فاکتور اول شامل کود زیستی حاوی دو گونه قارچ میکوریز ریزوفانگوس ایرگولاریس و فانلی فورمیس موسه به همراه ازتوباکتر کورکوکوم سویه ۵ در دو سطح (کاربرد B_1) و عدم کاربرد (B_0 کود زیستی) و فاکتور دوم شامل کود سوپرفسففات تریپل در پنج سطح (بدون کود P_0 ; $P_{30}=30$; $P_{60}=60$; $P_{90}=90$ و $P_{120}=120$ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسففات تریپل) بود. اثرات اصلی کود سوپر فسفات تریپل و کود زیستی بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود. کاربرد کود زیستی باعث افزایش ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی و غلظت عناصر غذایی فسفر، آهن و روی به ترتیب ۵/۵، ۱۵/۶، ۷/۱، ۸/۱ و ۲۶ درصد در اندام هوایی ذرت در مقایسه با تیمار بدون کاربرد کود زیستی شد. تنها در پارامتر کارایی کود اثر متقابل بین کود زیستی و سوپرفسففات تریپل در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید. بیشترین کارایی کود (kg^{-1} $31/27$) مربوط به تیمار ۳۰ کیلوگرم کود سوپرفسففات تریپل همراه با کود زیستی بود که نسبت به تیمار شاهد افزایش سه برابر نشان داد. در نهایت کاربرد کود زیستی با بهبود کارایی کود باعث افزایش رشد و جذب عناصر غذایی توسط ذرت می‌تواند به عنوان مکملی برای کود سوپرفسففات تریپل مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: ازتوباکتر کورکوکوم، سوپرفسففات تریپل، قارچ میکوریز، کارایی کود، کود زیستی

Effect of triple super phosphate application and biofertilizer containing *Azotobacter* and mycorrhizal species on corn growth and nutrition

T. Rouhi Kelarlou, N. Khadem Moghadam Igdelou^{*2}

Received: July 27, 2022 Accepted: January 13, 2023

1. Graduated M.Sc. Student of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran.
2. Ph.D. of Soil Science, Eshraq Agriculture Expert, Kowsar Economic Organization.

* Corresponding Author, Email: nader.khadem@znu.ac.ir

Abstract

Introduction: To reach to a sustainable feeding of phosphorus (P) there are different ways which can be mentioned as accelerating of plant access to the insoluble phosphorus of soil, expanding the efficiency of P fertilizer and the use of biological potential of soil. In this regard, bio-fertilizer containing phosphate solubilizing microorganisms an experiment in the Factorial form and in the Randomized Complete Blocks Design with 2 factors and 4 repeat, the cultivation of corn in the farm of Soil and Water Research Institute of Meshkin Dasht has done. The first factor includes mycorrhizal fungi bio-fertilizer (*Rhizophagus irregularis* and *Funneliformis mosseae*) with *Azotobacter chroococcum* strain 5 at two levels (use of bio-fertilizers B₁ and non-use B₀) and the second factor includes Triple Superphosphate (TSP) fertilizer with five levels (non-fertilization P₀=0, P₃₀=30, P₆₀=60, P₉₀=90 and P₁₂₀=120 kg ha⁻¹).

The results indicate that the main effect of TSP fertilizer and bio-fertilizer on measured parameters were significant. The use of bio-fertilizer increased corn plant height, shoot dry weight and concentration of P, Fe and Zn were 5.5%, 15.6%, 7.1%, 8.1% and 26% respectively in comparison with the treatment without the application of bio-fertilizer. Only in the fertilizer efficiency parameter, the interaction effect between bio-fertilizer and TSP was significant at the five percent level ($P \leq 0.05$). Maximum agronomic efficiency of (31.27 kg kg⁻¹) was related to the use of 30 kg of TSP fertilizer with bio-fertilizer which compared to control treatment showed 3 times increase. Finally, the use of bio-fertilizer led to increase of agronomic efficiency and absorption of nutrients by corn can be used as a supplement for TSP fertilizer.

Key words: *Azotobacter chroococcum*, Triple superphosphate, Mycorrhizal fungi, Fertilizer efficiency, Bio-fertilizer

مقدمه

با توجه به اهمیت و نقش فسفر به عنوان عنصر غذایی ضروری و پرمصرف در رشد و توسعه گیاهان و از طرفی غلظت کم فسفر قابل جذب در خاک علی‌رغم غلظت کل بالا (متوسط ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) (لیندزی، ۱۹۷۹)، حرکت کند و تحرک کم درون خاک (بر خلاف تحرک در داخل گیاهان)، باعث شده گیاهان برای تامین فسفر مورد نیاز خود دچار مشکل شوند (مارش، ۲۰۱۲). در این راستا کشاورزان برای رفع کمبود فسفر و حفظ حاصلخیزی خاک از انواع کودهای شیمیایی فسفاتی استفاده می‌کنند (ردی و همکاران، ۲۰۰۲). متأسفانه مصرف مداوم، بی‌رویه و نامتعادل کودهای فسفاتی طی دهه‌های اخیر علاوه بر اثرات سوء، منجر به تجمع مقدار زیادی از شکل‌های نامحلول فسفر از طریق واکنش رسوب با کاتیون‌های Al^{3+} و Fe^{3+} و واکنش‌پذیر در خاک‌های اسیدی و Ca^{2+} در خاک‌های آهکی و خنثی (گینایشوار و همکاران، ۲۰۰۲) در افق سطحی خاک‌های زراعی و محیط ریشه شده (ریچاردسون، ۱۹۹۴)، و گیاه تنها ۱۰ تا ۳۰ درصد کودهای فسفاتی مصرفی را در سال اول زراعی استفاده می‌کند (روبرتس، ۲۰۰۸). پیش‌بینی شده که مقدار فسفات تجمع یافته در خاک‌های کشاورزی برای حفظ و تداوم تولید محصولات کشاورزی به مدت ۱۰۰ سال کافی است (والپول و یون، ۲۰۱۲). در این راستا ریزجانداران خاک نقش کلیدی برای استفاده مجدد و انحلال فرم‌های نامحلول جمعی فسفر برای دسترس بودن متعاقب فسفات و در نهایت تغذیه پایدار فسفر برای گیاهان ایفا می‌کنند (ریچاردسون، ۲۰۰۱). امروزه از ریزجانداران خاک برای تهیه و تولید انواع کودهای زیستی استفاده می‌شود. کود زیستی به عنوان ماده‌ای حاوی ریزجانداران (باکتری، قارچ و غیره) خاک تعریف شده که وقتی با بذر، سطح گیاهان و یا در خاک^۱ به‌کار می‌رود، ریزوسفر یا داخل گیاهان را کلونیزه کرده و

رشد آنها را به وسیله افزایش تامین یا فراهمی مواد غذایی اولیه ارتقاء می‌دهد (وسنی، ۲۰۰۳). کودهای زیستی رایج که به صورت تجاری تولید و عرضه می‌شوند، حاوی گروه‌های مختلفی از ریزجانداران حل‌کننده فسفات^۲ نامحلول در خاک که شامل باکتری‌ها، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و اکتینومیست‌ها هستند (خان و همکاران، ۲۰۰۹؛ فانکم و همکاران، ۲۰۰۶). باکتری‌ها در انحلال فسفر نامحلول نسبت به قارچ‌ها موثرتر و فعال‌تر هستند (عالم و همکاران، ۲۰۰۲). ازتوباکتر کروکوکوم نیز جز باکتری آزادزی هتروتروف با توانایی انحلال فسفات نامحلول (نصرتی و همکاران، ۲۰۱۴؛ کوندو و گور، ۱۹۸۰) و تثبیت نیتروژن، تولید هورمون‌های گیاهی، انواع اسیدهای آلی و سیدروفور است که باعث بهبود رشد گیاهان می‌شود (پاندی و کومار، ۱۹۸۹). فرج‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) گزارش نمودند که از ۱۷ سویه جداسازی شده ریشه گندم و جو، ۹ سویه جز سویه‌های ازتوباکتر کروکوکوم با توانایی هیدرولیز ترکیبات آلی و معدنی فسفات، تولید ایندول‌استیک‌اسید و تولید سیدروفور هستند. گلو موس از بزرگترین سویه قارچ‌های میکوریزی بوده و توانایی برقراری رابطه همزیستی با ریشه ۹۰ درصد گونه‌های گیاهی را دارند (پاور و همکاران، ۲۰۱۸؛ اسمیت و رید، ۲۰۰۸). قارچ‌های میکوریزی با مکانیسم‌های مختلفی افزایش فراهمی و تأمین عناصر غذایی مخصوصاً فسفر (شردا و کیدی، ۲۰۱۰)، بهبود خواص فیزیکی خاک و افزایش خاکدانه‌سازی (سینگ، ۲۰۱۲) یا افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی را در گیاهان ایجاد می‌کنند.

به‌طور کلی این ریزجانداران پتانسیل معدنی کردن فسفر آلی و انحلال فسفر معدنی را (تثبیت شده در خاک‌های اسیدی و قلیایی) داشته و از این طریق فسفر در دسترس گیاهان را افزایش می‌دهند (چن و همکاران، ۲۰۰۶). حل فسفات از طریق فرآیندهای مختلف میکروبی با مکانیسم‌هایی از جمله تولید انواع اسیدهای آلی و

مصرف کود فسفاتی را در کشت ذرت گزارش نمودند. افزایش جذب عناصر غذایی مثل فسفر، آهن، روی و غیره توسط ذرت افزایش مقاومت گیاه نسبت به شرایط نامطلوب محیطی (تراکم، کم آبی، شوری و غیره) با کاربرد قارچ میکوریزی توسط محققان نیز گزارش شده است (میرانصاری و همکاران، ۲۰۰۹).

مواد و روش‌ها

یک نمونه خاک مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزرعه تهیه شد. پس از هوا خشک شدن از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. برای انجام توصیه کودی بهینه و صحیح، خصوصیات فیزیکی-شیمیایی معمول و عناصر ریزمغذی در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند (جدول ۱). مایه تلقیح‌های قارچی و باکتریایی به‌صورت پودر و در بسته‌های جدا از بانک میکروبی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شدند. مایه تلقیح مورد استفاده ترکیبی از قارچ‌های میکوریز (*Rhizophagus irregularis*) و *Funneliformis mosseae* با پتانسیل در حدود ۱۰۰ قطعه تکثیر^۴ یا اندام فعال قارچی (شامل اسپور، هیف و قطعات ریشه کلنی شده توسط میکوریز) در هر گرم و باکتری *Azotobacter chroococcum strain 5* با جمعیت 5×10^8 cfu/g بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور با سطوح متفاوت در چهار تکرار (۲×۵×۴) در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات خاک و آب واقع در کرج در سال ۱۳۹۴ انجام شد. فاکتور اول شامل کود زیستی در دو سطح (کاربرد کود زیستی B₁ و عدم کاربرد B₀) و فاکتور دوم شامل کود سوپرفسفات تریپل توصیه شده در پنج سطح (بدون کود P₀: ۳۰؛ P₃₀: ۶۰؛ P₆₀: ۹۰؛ P₉₀: ۱۲۰ و P₁₂₀: ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل) بود. آرایش تیمارها به‌ترتیب (B₀P₀): بدون کود سوپرفسفات تریپل و کود زیستی یا شاهد؛ (B₀P₃₀): ۳۰ کیلوگرم کود

معدنی، ترشح پروتون و کاهش pH محیط، تولید آنزیم-های هیدورلیز کننده فسفاتاز صورت می‌گیرد (انگل و پادول، ۲۰۱۷؛ کیم و همکاران، ۱۹۹۸؛ نحاس، ۱۹۹۶؛ دوتون و ایوانا، ۱۹۹۶). همچنین زیست توده‌های میکروبی فسفر محلول را جذب بدن کرده و مانع از جذب سطحی یا تثبیت آن نیز می‌شوند (خان و جورجسین، ۲۰۰۹). البته فسفر موجود در زیست توده میکروبی به‌طور بالقوه برای گیاهان قابل استفاده است.

در ایران نیز تحقیقات گسترده‌ای در دو دهه اخیر بر روی تهیه و تولید کودهای زیستی و اثرات مثبت آنها روی محصولات زراعی و باغی صورت گرفته است و نتایج حاکی از سودمندی این کودها در امر تولید محصولات کشاورزی است. استفاده ترکیبی قارچ میکوریز آربوسکولار و باکتری‌های حل کننده فسفات^۱ جذب بهتری از هر دو منبع فسفر اولیه خاک و سنگ فسفات را فراهم می‌کند (کابولو و همکاران، ۲۰۰۵؛ گئودادی و همکاران، ۲۰۰۰). افزایش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد ردیف در بلال^۲ و عملکرد بلال ذرت دانه‌ای (هیبرید دابل‌کراس DC. 370) به ترتیب ۲۳/۹، ۲۲/۷، ۲۶/۹ و ۶/۲ درصد در مزرعه با کاربرد باکتری‌های محرک رشد (ازتوباکتر و سودوموناس) توسط بهزاد و همکاران (۲۰۱۱) گزارش شد. یزدانی و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از کودهای زیستی حاوی باکتری‌های محرک رشد (ازتوباکتر کورکوکوم و آزوسپیریولوم برازیلنس) و باکتری‌های حل‌کننده فسفر (سودوموناس پوتیدا و باسیلوس لنتوس) علاوه بر بهبود وزن بلال، تعداد ردیف و تعداد دانه هر ردیف^۳ و در نهایت عملکرد دانه، سبب افزایش معنی‌دار بازده زراعی کود، بازده نسبی زراعی، کارایی مصرف کود و میزان بازیافت کودهای نیتروژنی و فسفاتی و کاهش مصرف کودهای فسفاتی تا ۵۰ درصد در زراعت ذرت سینگل کراس ۶۰۴ را گزارش دادند. عیدی‌زاده و همکاران (۲۰۱۱) نیز کاهش ۵۰ درصد

۳. Grain Number Per Row

۴. Propagule

۱. Phosphate Solubilizing Bacteria (PSB)

۲. Row Number

به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد در آن خشک شده و بعد از آسیاب کردن جهت تجزیه شیمیایی نمونه‌های گیاهی، یک گرم از ماده خشک گیاهی در کروزه چینی ریخته و در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴ ساعت خاکستر گردیده، سپس محتویات کروزه در ۱۰ میلی لیتر اسید کلریدریک ۲ مولار حل و پس از صاف کردن در بالن ژوژه ۱۰۰ میلی لیتر به حجم رسانیده شد. میزان جذب آهن و روی را به ترتیب در طول موج ۲۴۸/۳ و ۲۱۳/۹ نانومتر و با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Shimadzu AA-670) اندازه گیری شد و در نهایت جهت اندازه‌گیری فسفر عصاره‌گیری بوسیله هضم تر با کلریدریک اسید و نیتریک اسید غلیظ در حرارت ۳۰۰ درجه سانتیگراد صورت گرفت. میزان فسفر به روش کالریمتری (آمونیم مولیبدات-وانادات) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV/Vis S2000) با طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت شد (امامی، ۱۹۹۶). کارایی زراعی^۲ (کیلوگرم افزایش عملکرد محصول به ازای هر کیلوگرم مواد غذایی کاربردی). به منظور ارزیابی ارزش واحد کود مصرفی در قبال افزایش تولید (روبرتس، ۲۰۰۸) از رابطه (۱) محاسبه شد. داده‌های حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و مقایسه میانگین با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه خاک

جدول (۱) نتایج تجزیه خاک را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، میزان فسفر خاک کمتر از حد بحرانی (15 mg.kg^{-1}) برای کشت ذرت می‌باشد (ملکوتی و غیبی، ۲۰۰۰).

سوپرفسفات تریپل و بدون کود زیستی؛ (B_0P_{60}): ۶۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و بدون کود زیستی؛ (B_0P_{90}): ۹۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و بدون کود زیستی؛ (B_0P_{120}): ۱۲۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و بدون کود زیستی؛ (B_1P_0): بدون کود سوپرفسفات تریپل و کاربرد کود زیستی؛ (B_1P_{30}): ۳۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و کاربرد کود زیستی؛ (B_1P_{60}): ۶۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و کاربرد کود زیستی؛ (B_1P_{90}): ۹۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و کاربرد کود زیستی؛ و (B_1P_{120}): ۱۲۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و کاربرد کود زیستی بود. میزان کود سوپرفسفات تریپل براساس آزمون خاک برای این مزرعه ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به همراه کودهای اوره، سولفات پتاسیم، سولفات روی و اسید بوریک به مقدار ۲۰۰، ۱۵۰، ۴۰ و 1 kg ha^{-1} به ترتیب قبل از کاشت استفاده شد (ملکوتی و همکاران، ۲۰۰۸). هر کرت آزمایشی شامل ۶ ردیف به فاصله ۶۰ سانتی‌متر و به طول ۶ متر طراحی شد. در نهایت کشت به صورت دستی در ۴۰ کرت آزمایشی انجام گرفت. بدین ترتیب که شیار به عمق ۵ تا ۶ سانتی‌متری روی پشته ایجاد کرده و داخل آن دو گرم کود زیستی قارچی به همراه دو بذر ذرت دانه‌ای (*Zea mays L.*) (سینگل کراس ۷۰۴) بذر مال شده^۱ با کود زیستی باکتریایی قرار داده و شیار پر گردید. عملیات داشت به‌طور یکسان برای همه تیمار در طول دوره رشد صورت گرفت. در مرحله ۷ تا ۸ گرهی، برای اندازه‌گیری وزن خشک بوته و ارتفاع بوته پس از حذف اثر حاشیه‌ای^۲ (یک متر از ابتدا و انتها و یک ردیف از طرفین)، از هر کرت آزمایشی به صورت تصادفی ۱۰ بوته انتخاب و کف بر شدند. برای تجزیه اندام هوایی نیز از همان ۱۰ بوته کف بر شده، یک بوته به صورت تصادفی انتخاب و

کارایی زراعی

رابطه (۱)

$$\text{عملکرد کرت بدون کود (تیمار شاهد)} - \text{عملکرد کرت کود دریافت کرده (تیمار کودی)} = \text{مقدار کود فسفاتی مصرفی}$$

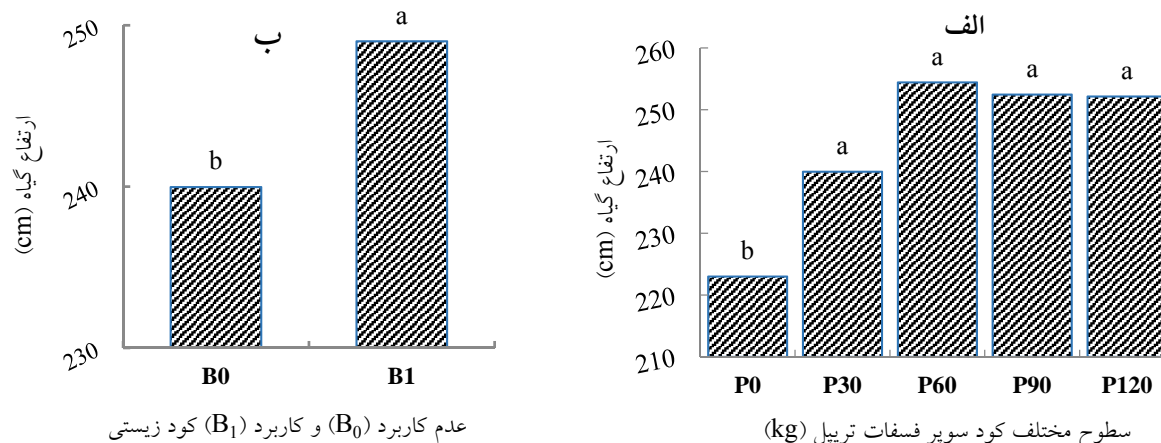
جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی نمونه خاک مزرعه

روش اندازه‌گیری		
-	۰-۳۰	عمق (cm)
(بویکوس، ۱۹۶۲)	لوم	بافت خاک
(مکلین، ۱۹۸۲)	۷/۶۳	pH
(بورت، ۲۰۰۴)	۲/۱۱	EC (dS/m)
(ریچاردز، ۱۹۶۹)	۱۷	T.N.V%
(نلسون و سومرز، ۱۹۹۶)	۰/۵۸	OC%
(اولسن و همکاران، ۱۹۵۴)	۸/۸	P_{ava} (mg kg ⁻¹ soil)
(هلمک و اسپارک، ۱۹۹۶)	۱۹۰	K_{ava} (mg kg ⁻¹ soil)
(لیندزی و نورول، ۱۹۷۸)	۴	Fe (mg kg ⁻¹ soil)
(لیندزی و نورول، ۱۹۷۸)	۱۰/۴۸	Mn (mg kg ⁻¹ soil)
(لیندزی و نورول، ۱۹۷۸)	۰/۳۴	Zn (mg kg ⁻¹ soil)
(لیندزی و نورول، ۱۹۷۸)	۱/۰۸	Cu (mg kg ⁻¹ soil)
(تیسدل و همکاران، ۱۹۸۵)	۰/۶۲	B (mg kg ⁻¹ soil)

ارتفاع بوته

مقایسه میانگین اثرات اصلی کود سوپر فسفات تریپل (در سطح یک درصد) و کود زیستی (در سطح پنج درصد)، برخلاف اثرات متقابل آنها بر ارتفاع بوته معنی دار بود (جدول ۲). از میان سطوح مختلف کود سوپرفسفات تریپل، بیشترین (۲۵۴/۵ سانتی‌متر) و کمترین (۲۲۳ سانتی‌متر) ارتفاع بوته به ترتیب مربوط به مصرف ۶۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل (P_{60}) و عدم مصرف کود سوپرفسفات تریپل (P_0) بود (شکل ۱- الف). همچنین بین سایر سطوح کود سوپرفسفات تریپل از نظر آماری اختلاف معنی‌دار مشاهده نگردید. همچنین بیشترین و کمترین ارتفاع بوته با کاربرد و عدم کاربرد

کود زیستی به ترتیب ۲۵۰ و ۲۳۷ سانتی‌متر (۵/۵ درصد افزایش) مشاهده شد (شکل ۱- ب). فبودی و همکاران (۲۰۱۱) نیز نتایج مشابهی را گزارش نمودند. زهیر و همکاران (زهیر و همکاران، ۲۰۰۴) تولید هورمون‌های محرک رشد توسط سویه‌های مختلف باکتری‌های جنس ازتوباکتر و توانایی بالای آن در تثبیت نیتروژن را مسئول افزایش قابل ملاحظه رشد ذرت دانستند. همچنین ایوانوا و همکاران (۲۰۰۶) در آزمایشات خود توانایی بالای ازتوباکتر در انحلال فسفات از منبع خاک فسفات را گزارش نمودند. تثبیت نیتروژن و انحلال فسفات می‌تواند منجر به افزایش رشد و ارتفاع بوته گردد (جوزف و جیسا، ۲۰۰۹).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح مختلف کود سوپر فسفات تریپل (الف) و کود زیستی (ب) بر ارتفاع بوته ذرت

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات کود زیستی و کود سوپر فسفات تریپل بر شاخص‌های رشد، غلظت عناصر فسفر، روی و آهن در اندام هوایی ذرت و کارایی زراعی کود سوپر فسفات تریپل

کارایی زراعی کود سوپر فسفات تریپل	غلظت عناصر در بخش هوایی			وزن خشک بخش هوایی	ارتفاع بوته	درجه آزادی	منابع تغییرات
	Fe	Zn	P				
۲۹/۹*	۵۸۷/۹**	۵۵/۹ ^{ns}	۰/۰ ^{ns}	۳۰۹۷/۱ ^{ns}	۷۳/۹ ^{ns}	۳	بلوک
۶۷/۳**	۱۱۴۲/۳**	۳۲/۱ ^{ns}	۰/۰ ^{**}	۶۱۸۰۹/۷**	۱۳۶۹/۷**	۴	کود سوپر فسفات تریپل (TSP)
۵۷۷/۳**	۸۶۵**	۷۳۲**	۰/۰ [*]	۳۸۳۱۶*	۸۱۵/۴*	۱	کود زیستی
۱۷۸/۱*	۴۸/۶ ^{ns}	۲۷/۶ ^{ns}	۰/۰ ^{ns}	۶۰۵۸ ^{ns}	۰/۳ ^{ns}	۴	کود زیستی * TSP
۹/۴	۹۱/۶	۳۱/۹	۰/۰	۷۲۹۰/۲	۱۸۳/۵	۲۷	خطا
۱۷/۷	۷	۱۵/۲	۸/۷	۱۹/۹	۵/۵		ضریب تغییرات

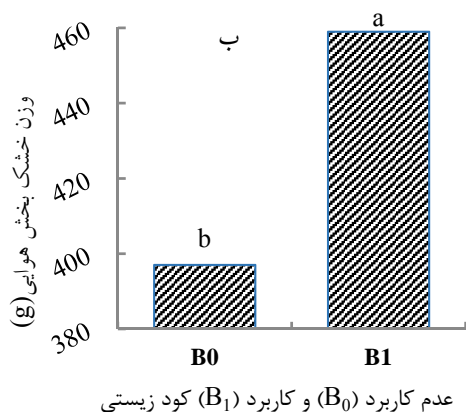
** معنی‌دار در سطح یک درصد؛ * معنی‌دار در سطح پنج درصد و ^{ns} عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد.

وزن خشک اندام هوایی

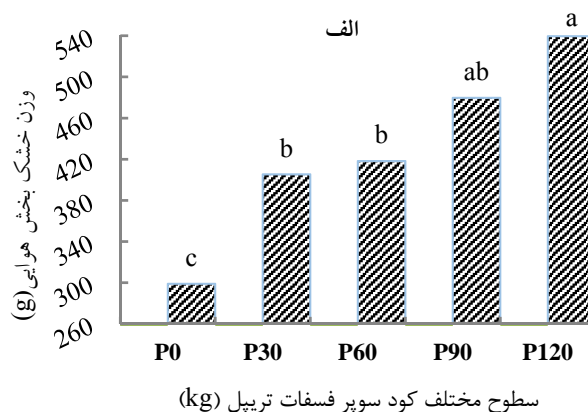
مقایسه میانگین اثرات اصلی استفاده از کود سوپر فسفات تریپل (سطح یک درصد) و کود زیستی (سطح پنج درصد)، برخلاف اثرات متقابل آنها بر وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار بود (جدول ۲). از میان سطوح مختلف کود سوپر فسفات تریپل، بیشترین (g) (۵۳۹) و کمترین (g) (۲۹۹) وزن خشک در بوته به ترتیب با مصرف $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ کود سوپر فسفات تریپل (P120) و عدم مصرف کود (P0) بود (شکل ۲- الف). بین مصرف ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل از نظر آماری اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. استفاده از کود زیستی نیز منجر به افزایش ۱۵/۶ درصد وزن خشک اندام هوایی

نسبت به تیمار عدم کاربرد کود زیستی شد (شکل ۲ ب). زهیر و همکاران (۲۰۰۴) نیز ۱۸ درصد افزایش وزن خشک بوته‌های ذرت با تلقیح ازتوباکتر و سودوموناس را گزارش نمودند. افزایش تولید ماده خشک ذرت با کاربرد کود زیستی را می‌توان به افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه رشد بهتر گیاه نسبت داد. به گزارش میرزا و همکاران (۲۰۰۰) کاربرد کودهای زیستی غیر از تثبیت نیتروژن، موجب تولید اکسین شده که این امر رشد تارهای کشنده را تحریک کرده و بنابراین جذب مواد غذایی را افزایش داده و تولید ماده خشک گیاه را بهبود می‌بخشد. رابطه بین گیاهان و باکتری‌های حل‌کننده فسفات به عنوان یک رابطه هم‌افزایی در طبیعت شناخته

می‌شوند بیشتر تحريك می‌کند (زیدی و همکاران، ۲۰۰۳؛ پیروین و همکاران، ۲۰۰۲).



می‌شود (پیتریز و همکاران، ۲۰۰۷). استفاده همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات با قارچ‌های میکوریز، رشد گیاه را در مقایسه با زمانی که آنها به تنهایی استفاده

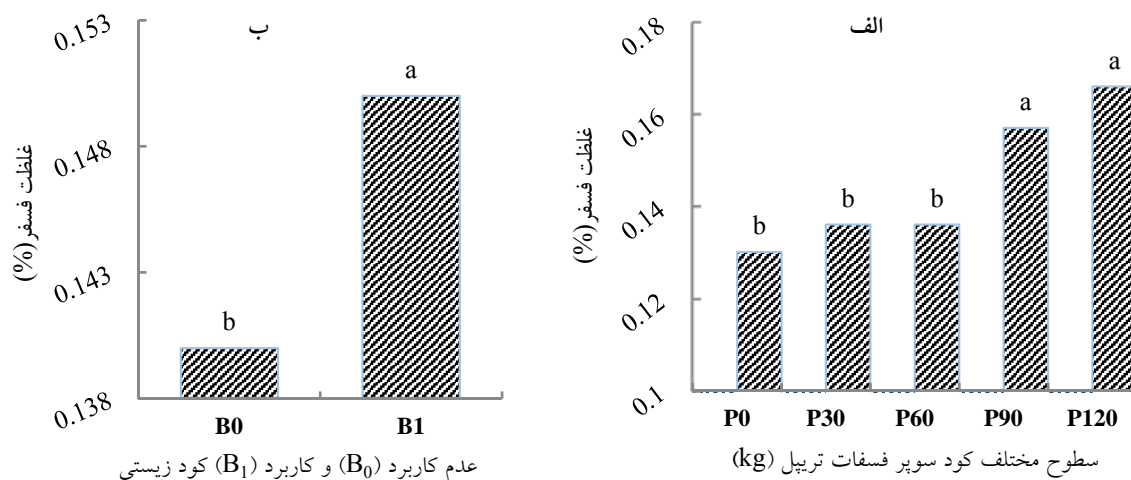


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح مختلف کودی سوپرفسفات تریپل (الف) و کود زیستی (ب) بر وزن خشک اندام هوایی ذرت

فقدان سیستم ریشه‌ای گسترده و فسفر قابل دسترس کم منجر به افزایش رشد گیاه با افزایش میزان کود سوپرفسفات تریپل می‌شود. هم‌چنین کاربرد کود زیستی نسبت به تیمار عدم کاربرد باعث افزایش (۷/۱ درصد) غلظت فسفر اندام هوایی ذرت شد (شکل ۳ ب). ریزجانداران ریزوسفری از طریق معدنی کردن فسفر الی و انحلال فسفرهای رسوب یافته فراهم سازی فسفر برای گیاهان را افزایش می‌دهند. این دسته از ریزجانداران اگر چه فسفر را در ساختار سلولی خود به خدمت می‌گیرند، ولی بخشی از آن که در محیط آزاد شده است و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (ابراهیمی و همکاران، ۲۰۱۸). استفاده از قارچ فانتلی فورمیس موسه (سوبرامانین و کریست، ۱۹۹۷) و باکتری‌های حل‌کننده فسفات (احتشامی و همکاران، ۲۰۰۷) باعث بهبود جذب عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی، آهن، منگنز و عملکرد ذرت شد.

درصد فسفر اندام هوایی ذرت

مقایسه میانگین اثر اصلی استفاده از کود سوپرفسفات تریپل (سطح یک درصد) و کود زیستی (سطح پنج درصد) بر خلاف اثرات متقابل بر غلظت فسفر اندام هوایی معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین (۰/۱۶ درصد) و کمترین (۰/۱۳ درصد) غلظت فسفر به ترتیب با مصرف $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ کود سوپرفسفات تریپل و بدون کود (۲۷/۷ درصد افزایش) به دست آمد. البته بین P₉₀ و P₁₂₀ اختلاف معنی‌دار مشهود نیست؛ اما با سطوح ۶۰، ۳۰ و صفر کیلوگرم کود اختلاف معنی‌داری نشان دادند (شکل ۳-الف). با افزایش میزان کود سوپرفسفات تریپل میزان غلظت فسفر در برگ افزایش یافته که می‌تواند به دلیل فراهمی آسان و در حد کافی فسفر در خاک باشد. در مراحل اولیه رشد، گیاه نیاز بیشتری به فسفر دارد و

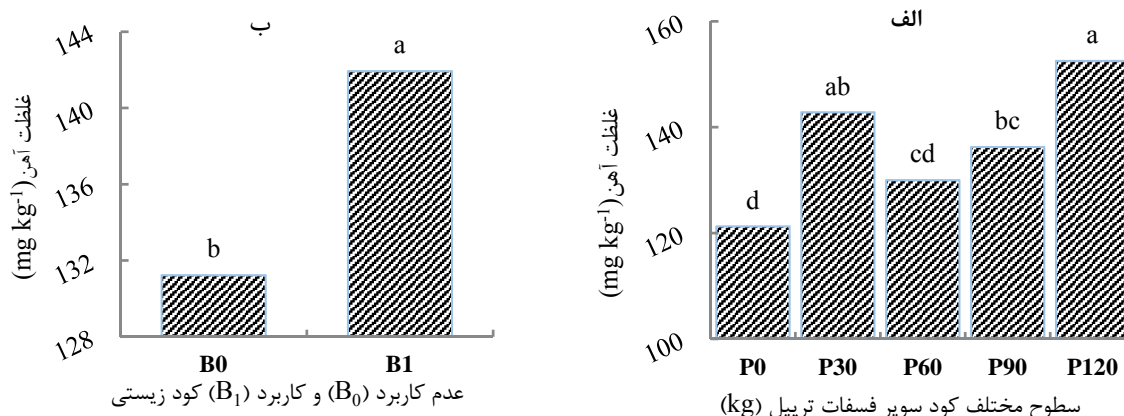


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح مختلف کودی سوپرفسففات تریپل (الف) و کود زیستی (ب) بر غلظت فسفر اندام هوایی ذرت

غذایی گیاه میزبان است. آهن یکی از عناصر مغذی اصلی برای گیاهان می باشد، اما این عنصر در محلول خاک نسبتاً نامحلول است. ریشه های گیاهان ترجیح می دهند شکل احیا شده آهن (Fe^{2+}) را جذب کنند، اما یون فریک (Fe^{3+}) در خاک های با تهویه خوب به فرم های اکسید آهن در خاک رسوب می کند (سالیبوری و روسز، ۱۹۹۲). باکتری های ریزوسفر معمولاً ترکیبات آلی محلول (کلات کننده ها و سیدروفورها) تولید می کنند، که آهن Fe^{3+} را باند کرده و به حلالیت آن کمک می کند (ما و همکاران، ۲۰۱۱). از سوی دیگر، با کاربرد فسفر در خاک، رشد و گسترش ریشه ها بهبود یافته و در نتیجه آن دسترسی گیاه به حجم بیشتری از خاک و به تبع آن مقدار آن آهن بیشتری امکان پذیر می شود (سینگ و سال، ۲۰۰۰).

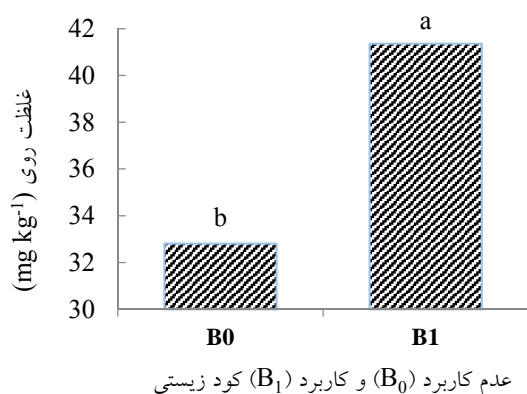
غلظت آهن اندام هوایی ذرت

مقایسه میانگین اثرات اصلی استفاده از کود سوپرفسففات تریپل و کود زیستی برخلاف اثرات متقابل آن ها هر کدام به تنهایی بر غلظت آهن اندام هوایی در سطح یک درصد تاثیر معنی دار داشتند (جدول ۲). بیشترین غلظت آهن برگ ($152/53$ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک) با مصرف 120 کیلوگرم کود سوپرفسففات تریپل و کمترین مقدار نیز در تیمار شاهد ($121/27$ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک) مشاهده شد که $25/6$ درصد افزایش را نشان می دهد (شکل ۴- الف). همچنین استفاده از کود زیستی نیز $8/1$ درصد افزایش در مقایسه با عدم کاربرد کود زیستی نشان می دهد (شکل ۴- ب). یکی از نقش های اساسی کودهای زیستی فراهمی عناصر



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح کودی سوپرفسفات تریپل (الف) و کود زیستی (ب) بر غلظت آهن اندام هوایی ذرت

معنی دار (سطح پنج درصد) بود (جدول ۲). بیشترین افزایش کارایی کود $21/27 \text{ kg.kg}^{-1}$ مربوط به تیمار ۳۰



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح و کود زیستی بر غلظت روی اندام هوایی ذرت

کیلوگرم کود سوپر فسفات همراه با کود زیستی (B_1P_{30}) و کمترین کارایی 10 kg.kg^{-1} نیز در تیمار ۳۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات بدون کود زیستی (B_0P_{30}) مشاهده گردید (شکل ۶) که افزایش سه برابری را (۲۱۰ درصد) نشان می‌دهد. همچنین تیمارهایی که کود زیستیدریافت کرده بودند کارایی بالایی را نسبت به تیمارهای بدون کاربرد کود زیستی نشان دادند. از طرفی با افزایش میزان استفاده از سوپرفسفات تریپل کارایی کود روند کاهشی را نشان می‌دهد. در تیمار عدم کاربرد کود زیستی نیز

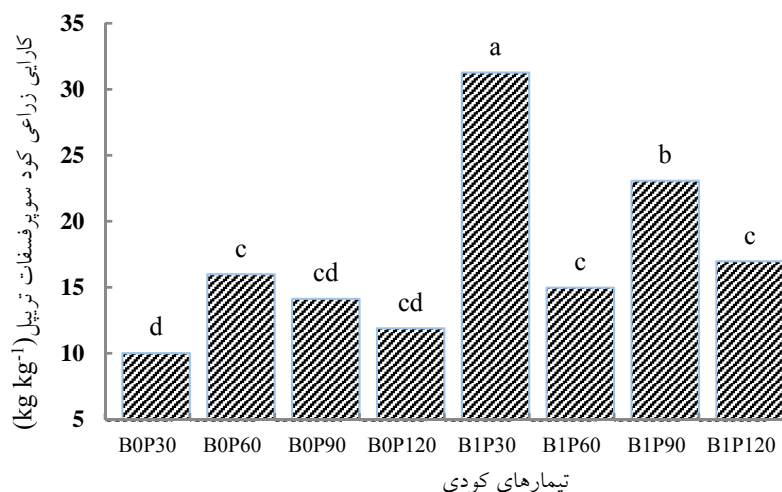
غلظت روی در اندام هوایی ذرت

مقایسه میانگین اثرات متقابل استفاده از کود سوپرفسفات تریپل و کود زیستی بر غلظت روی اندام هوایی ذرت معنی دار نبود؛ تنها استفاده از کود زیستی بر غلظت روی اندام هوایی ذرت در سطح یک درصد تاثیر معنی دار داشت (جدول ۲). استفاده از کود زیستی باعث افزایش غلظت روی در اندام هوایی ذرت به میزان ۲۶ درصد شد (شکل ۵). امیرآبادی و همکاران (۲۰۱۰) کاهش غلظت روی با افزایش سطح کود فسفاتی در بخش هوایی ذرت گزارش نمودند. اما کود زیستی (قارچ میکوریز و ازتوباکتر) مانع از کاهش غلظت روی در اندام هوایی شد که صدقیانی و همکاران (۲۰۱۱) نیز نتایج مشابهی را گزارش نمودند. در ذرت کشت شده در خاکهای آهکی مشخص گردیده است که بین ۱۶ الی ۲۵ درصد روی موجود در بخش هوایی از طریق توسعه هیف‌های قارچ فانلی فورمیس موسه در خاک جذب و منتقل شده است (کوثری و همکاران، ۱۹۹۱).

کارایی زراعی کود سوپرفسفات تریپل

مقایسه میانگین اثرات متقابل استفاده از کود سوپرفسفات تریپل و کود زیستی بر کارایی زراعی

کارایی کود در سطح ۶۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل (P₆₀) بالاترین میزان را نشان می‌دهد.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف کودی سوپرفسفات تریپل و کود زیستی بر کارایی کود فسفات تریپل سوپر

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده، استفاده از کود زیستی حاوی ریزجانداران حل‌کننده فسفات با مکانیسم‌های مختلفی (مستقیم و غیرمستقیم) مانند انحلال عناصر غذایی از فرم نامحلول، تولید تنظیم‌کننده‌های رشد، افزایش سرعت انتشار فسفر، افزایش حجم خاک قابل دسترس (توسط هیف‌های قارچ)، ترشح ترکیبات هورمونی و غیره، باعث بهبود رشد و افزایش شاخص‌های رشد از جمله افزایش ارتفاع بوته (۵/۵ درصد) و وزن خشک اندام هوایی (۱۵/۶ درصد) گیاه ذرت شد. همچنین این ریزجانداران با تأمین بخشی از نیاز تغذیه‌ای گیاهان منجر به بهبود جذب عناصر غذایی و افزایش غلظت عناصر غذایی از جمله فسفر (۷/۱ درصد)، آهن (۸/۱ درصد) و روی (۲۶ درصد) در اندام هوایی ذرت در مقایسه با تیمار بدون کاربرد کود زیستی شدند. به‌علاوه کاربرد کود زیستی با افزایش کارایی کود سوپرفسفات تریپل، می‌تواند به‌عنوان مکملی برای کودهای شیمیایی در راستای کاهش مصرف آنها و تغذیه بهتر ذرت مورد استفاده قرار گیرد.

مانسک و همکاران (۲۰۰۰) دریافتند که استفاده از ازتوباکتر با افزایش طول و تراکم ریشه‌ها سبب افزایش کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و میزان عملکرد دانه گندم می‌گردد. تغییر در اندازه و مرفولوژی خارجی و داخلی ریشه‌ها به دلیل تاثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد، بر توانایی ریشه در دسترسی به حجم وسیع‌تر خاک اثر گذاشته و قابلیت استفاده و جذب عناصر غذایی و آب را افزایش داده که منجر به افزایش کارایی مصرف کود و عملکرد بیشتر خواهد شد (زهیر، ۲۰۰۴). همزیستی میکوریزی نمی‌تواند جایگزین کودهای فسفره شود اما با افزایش توانایی گیاه برای جذب هر چه بیشتر فسفر و سایر عناصر معدنی از خاک و از کودهای فسفره افزوده شده به خاک، می‌توان کارایی مصرف کودهای فسفره را افزایش داد و بدین ترتیب مقدار مصرف کودهای فسفره کاهش می‌یابد (پن و همکاران، ۱۹۹۹). از طرفی به دلیل رابطه سینرژستی قارچ میکوریز و باکتری ازتوباکتر که این رابطه منجر به افزایش فعالیت و کارایی هر دو ریزجاندار در محیط ریزوسفر برای تأمین عناصر غذایی گیاه میزبان می‌شود (باقیارج و منج، ۱۹۷۸).

منابع مورد استفاده

- Alam S., Khalil S., Ayub N., and Rashid M. (2002). In vitro solubilization of inorganic phosphate by phosphate solubilizing microorganism (PSM) from maize rhizosphere. *Agriculture and Biology*, 4: 454-458.
- Amirabadi M., Ardakani M.R., Rejaji F., and Mohsen B. (2010). Effects of *Azotobacter chroococcum* and mycorrhizal fungus at different levels of phosphorus on qualitative and morphological characteristics of forage maize (K S C 704). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 41(1): 49- 56. (In Persian)
- Bagyaraj D.J., and Menge J.A. (1978). Interaction between a VA mycorrhiza and *Azotobacter* and their effects on rhizosphere microflora and plant growth. *New Phytologist*, 80: 567-573.
- Behzad A., Habibi D., Paknejad F., asgharzadeh A., and Abdollahian Noghabi M. (2012). Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Nitrogen Fertilizer on Yield and Yield Components of Maize. *Journal of Iranian Crop Science*, 43: 129-137. (In Persian)
- Bouyoucos G.J. (1962). Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils. *Agronomy Journal*, 54(5):465 464.
- Burt R. (2004). Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report 42, Version 4.0. United States Department of Agriculture. *Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center*.
- Cabello M., Irrazabal G., Bucszinsky A.M., Saparrat M., and Schalamuck S. (2005). Effect of an arbuscular mycorrhizal fungus, *G. mosseae* and a rock-phosphate-solubilizing fungus, *P. thomii* in *Mentha piperita* growth in a soilless medium. *Journal of Basic Microbiology*, 45: 182-189.
- Chabot R., Beauchamp C., Kloepper J., and Antoun H. (1998). Effect of phosphorus on root colonization and growth promotion of maize by bioluminescent mutants of phosphate solubilization *Rhizobium leguminosarum* biovar *Phaseoli*. *Soil Biology and Biochemistry*, 30: 1615-1618.
- Chen Y.P., Rekha P.D., Arunshen A.B., Lai W.A., and Young C.C. (2006). Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. *Applied Soil Ecology*, 34: 33-41.
- Dutton V.M. and Evans C.S. (1996). Oxalate production by fungi: its role in pathogenicity and ecology in the soil environment. *Canadian Journal of Microbiology*, 42: 881-895.
- Ebrahimi M., Safari Sinegani A.A., Sarikhani M.R and Aliasgharzag, N. (2018). Study on phosphate solubilizing ability of some bacterial isolates and determination of solubilized phosphorus fractionation in supernatant and microbial biomass. *Biological Journal of Microorganism*, 7(25): 109-125. (In Persian).
- Ehteshami S.M.R., Aghaalikhani M., Khavazi K., and Chaichi M.R. (2007). Effect of phosphate solubilizing microorganisms on quantitative and qualitative characteristics of maize (*Zea mays* L.) under water deficit stress. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10:3585–3591
- Eidizadeh Kh., Mahdavi Damghani A.M., Ebrahimpoor F., and Sabahi H. (2011). Effects of integrated application of biological and chemical fertilizer and application method of biofertilizer on yield and yield components of maize. *Electronic Journal of Crop Production*, 4(3): 21-35
- Faboodi M., Alfarmani M., Faramarzi A., and Shahrokhi S. (2011). Phosphorus levels effects on quantitative and qualitative characteristics of corn in presence and absence of a biofertilizer. In: *2nd International Conference on Agricultural and Animal Science*, 22:129-132.
- Fankem H., Nwaga D., Deubel A., Dieng L., Merbach W., and Etoa F.X. (2006). Occurrence and functioning

of phosphate solubilizing microorganisms from oil palm tree (*Elaeis guineensis*) rhizosphere in Cameroon. *African Journal of Biotechnology*, 5: 2450-2460.

Farajzadeh D., Yakhchali B., Aliasghar zad N., Sokhandan-Bashir N., and Farajzadeh M. (2012). Plant growth promoting characterization of indigenous *Azotobacteria* isolated from soils in Iran. *Current microbiology*, 64(4): 397-403.

Goenadi D., Siswanto H., and Sugiarto, Y. (2000). Bioactivation of poorly soluble phosphate rocks with a phosphorus-solubilizing fungus. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 927-932.

Gyaneshwar P., Kumar G.N., Parekh L.J., and Poole P.S. (2002). Role of soil microorganisms in improving nutrition of plants. *Plant and Soil*, 245: 83-93.

Harikumar V.S., and Potty V.P. (2007). Arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphorus mobility in phosphorus-fixing sweetpotato soils. *Malaysian Journal of Soil Science*, 11: 45-56.

Helmke P.A., and Sparks D.L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. *Methods of Soil Analysis Part 3-Chemical Methods*, Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA: pp. 551-574.

Imamy A. (1996). Methods of Plant Analysis (Vol. 1). Technical manual No. 982, Research, Education and Extension Organization. *Soil and Water Research Institute*, Tehran, Iran. 128 p. (In Persian)

Ingle K.P., and Padole D.A. (2017). Phosphate Solubilizing Microbes: An Overview. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(1): 844-852.

Ivanova R., Bojinova D., and Nedialkova K. (2006). Rock phosphate solubilization by soil bacteria. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 41: 297-302.

Joseph S., and Jisha M.S. (2009). Buffering reduces phosphate solubilizing ability of selected strains of bacteria. *World Journal of Agricultural Sciences*, 5: 135-137.

Khan A.A., Jilani G., Akhtar M.S., Naqvi S.M.S., and Rasheed M. (2009). Phosphorus solubilizing bacteria: occurrence, mechanisms and their role in crop production. *Agriculture and Biological Sciences*, 1: 48-58.

Khan K.S., and Joergensen R.G. (2009). Changes in microbial biomass and P fractions in biogenic household waste compost amended with inorganic P fertilizers. *Bioresource Technology*, 100: 303-309.

Kim K.Y., Jordan D. and McDonald G.A. (1998). Effect of phosphate-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. *Biology and Fertility of Soils*, 26: 79-87.

Kothari S.K., Marschner, H. and Romheld, V. (1991). Contribution of VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. *Plant and Soil*. 131: 177-185.

Kundu B. S., and Gaur A.C. (1980). Establishment of nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria in rhizosphere and their effect on yield and nutrient uptake of wheat crop. *Plant and Soil*, 57: 223-230

Lindsay W.L., and Norvell W.A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421-428.

Lindsay, W.L.(1979). *Chemical Equilibrium in Soils*. John Wiley & Sons, New York, 449p.

Ma Y., Prasad M.N.V., Rajkumar M., and Freitas H. (2011). Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils. *Biotechnology Advances*, 29: 248-258.

- Malakouti M.J., and Gheib M.N. (2000). Determination of critical levels of nutrients in soil, plant and fruit. *Agricultural Education Publishing*, pp. 92. (In Persian)
- Malakouti M.J., Keshavarz, P. and Karimian, N.A. (2008). A comprehensive method of determining and recommending optimal fertilizer for sustainable agriculture - 7th ed. Publication of Tarbiat Modares University, Tehran. 804 p.
- Manske G.B., Luttger A., Behi R.K., Vlek P.G., and Cimmit M. (2000). Enhancement of mycorrhiza (VAM) infection n, nutrient efficiency and plant growth by *Azotobacter chroocum* in wheat. *Plant Breed*, 13: 78-83.
- Marschner P. (2012). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd Ed. Elsevier/Academic Press. London, 684p.
- Mclean E.O. (1982). Soil pH and Lime Requirement. In: Page, A.L., Ed., Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madision, pp. 199-224.
- Miransari M., Bahrami H.A., Rejali F., and Malakouti M.J. (2009). Effects of soil compaction and arbuscular mycorrhiza on corn (*Zea mays* L.) nutrient uptake. *Soil and Tillage Research*, 103: 282-290.
- Mirza M.S., Rasul G., Mehnaz S., Ladha J.K., So R.B., Ali S., and Malik K.A. (2000). Beneficial effects of inoculated nitrogen-fixing bacteria on rice. In: Ladha JK, Reddy PM (eds) The quest for nitrogen fixation in rice. International Rice Research Institute, Los Banõs, pp. 191-204.
- Nahas E. (1996). Factors determining rock phosphate solubilization by microorganism isolated from soil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 12: 18-23.
- Nelson D.W., and Sommers L.E. (1996). Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In: *Methods of soil analysis Part 3-Chemical Methods*, pp. 961-1010.
- Nezarat S., and Gholami A. (2009). Screening plant growth promoting rhizobacteria for improving seed germination, seedling growth and yield of maize. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 12: 26-32.
- Nosrati R., Owlia P., Saderi H., Rasooli I., and Malboobi, M.A. (2014). Phosphate solubilization characteristics of efficient nitrogen fixing soil *Azotobacter* strains. *Iran J Microbiol*, 6(4): 285-295. (In Persian)
- Olsen S.R., Cole C.V., Watandbe F., and Dean L. (1954). Estimation of Available Phosphorus in Soil by Extraction with sodium Bicarbonate. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53.
- Pan B., Bai Y.M., Leibovitch S., and Smith D.L. (1999). Plant growth promoting rhizobacteria and kinetin as ways to promote corn growth and yield in a short growing season area. *Journal of Agronomy*, 11: 179-186.
- Pandey A., and Kumar S. (1989). Potential of *Azotobacters* and *Azospirilla* as biofertilizers for upland agriculture: A review. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 48: 134-144.
- Pawar P.B., Melo J.S., Kotkar H.M. and Kulkarni M.V. (2018). Role of Indigenous Mycorrhizal Species in Enhancing Physiological and Biochemical Status, Nutrient Acquisition and Yield Pattern of Groundnut (*Arachis Hypogaea* L.) .*Journal of Crop Science and Biotechnology*, 21(1): 23 - 33.
- Pérez E., Sulbarán M., Ball M.M. and Yarzabál L.A. (2007). Isolation and characterization of mineral phosphate-solubilizing bacteria naturally colonizing a limonitic crust in the southeastern Venezuelan region. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 2905-2914.

- Perveen S., Khan M.S. and Zaidi A. (2002). Effect of rhizospheric microorganisms on growth and yield of green gram (*Phaseolus radiatus*). *Indian Journal of Agriculture Science* 72: 421-423.
- Reddy M.S., Kumar S. and Babita K. (2002). Biosolubilization of poorly soluble rock phosphates by *Aspergillus tubingensis* and *Aspergillus niger*. *Bioresource Technology*, 84: 187-189.
- Richards L.A. (1969). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Department of Agriculture. Agriculture handbook; no. 60. *Soil and Water Conservative Research Branch, Agricultural Research Service*, Washington, D.C. pp. 148-153.
- Richardson A.E. (1994). Soil microorganisms and phosphorus availability. In: Soil Biota, Management in Sustainable Farming Systems. C.E. Pankhurst, B.M. Doube, V.V.S.R. Gupta and P.R. Grace (eds). *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)*, Melbourne, pp. 50-62.
- Richardson A.E. (2001). Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Australian Journal of Plant Physiology*, 28: 897-906.
- Roberts T.L. (2008). Improving Nutrient Use Efficiency. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32: 177-182.
- Sadaghiani M.R., Gharemaleki T., Besharati H. and Tavasolee A. (2011). Effects of PGPR and AM fungi on growth and Zn uptake by corn plant in a Zn- contaminated soil. *Water and Soil Science*, 21(2):135-147.
- Salisbury F.B. and Ross C.W. (1992). Plant Physiology, 4th Ed. *Wadsworth Publishing Company*, Belmont California. 682 p.
- Sharda J.N. and Koide R.T. (2010). Exploring the role of root anatomy in P-mediated control of colonization by arbuscular mycorrhizal fungi. *Botany*, 88:165-173
- Singh P.K. (2012). Role of glomalin related soil protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi: a review. *Agricultural Science Research Journal*, 2:119-25
- Singh, D.K., and Sale, P.W. (2000). Growth and potential conductivity of white clover roots in dry soil with increasing phosphorus supply and defoliation frequency. *Agronomy Journal*, 92(5), 868-874.
- Smith S.E., and Read D.J. (2008). The symbionts forming arbuscular mycorrhizas, In: Mycorrhizal Symbiosis. 3rd Ed. *Academic Press*, United States, pp. 13-41.
- Subramanian K.S. and Charest C. (1997). Nutritional growth and reproductive responses of maize (*Zea mays* L.) To arbuscular mycorrhizal inoculation during and after drought stress at tasselling. *Mycorrhiza*, 7: 25-32.
- Tisdale S.L., Nelson W.L. and Beaton J.D. (1985). Soil Fertility and Fertilizers. 4th Ed. *Macmillan Publishing Company*, New York. pp. 188-239.
- Vessey J.K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255: 571-586.
- Walpola B.C., and Yoon Min-Ho. (2012). Prospectus of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus availability in agricultural soils. A review. *African Journal of Microbiology Research*, 6: 6600-6605.
- Yazdani M., Bahmanyar M.A., Pirdashti H., and Esmaili M.A. (2009). Effect of phosphate solubilization microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 49: 90-93.

Zahir A.Z., Arshad M., and Frankenberger W.F. (2004). Plant growth promoting rhizobacteria. *Advances in Agronomy*, 81: 97-168.

Zaidi A., Khan M.S. and Amil, M. (2003). Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *European Journal of Agronomy* 19: 15–21.