نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۵، ص. ۱۴۸۸-۱۴۷۸

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 5, Nov.-Dec. 2016, p. 1478-1488

برهمکنش باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر رشد و فراهمی فسفر سورگوم

عبدالحسین ضیائیان[1*]- علیرضا فرحبخش[2]- حسین بشارتی[3]- لادن جوکار[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۶/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۲۵

چکیده

یکی از راه‌های مؤثر برای افزایش جذب فسفر در خاک‌های آهکی، استفاده از ریزجانداران خاکزی است. به منظور مطالعه نقش کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و میکوریزا بر رشد و فراهمی فسفر سورگوم، آزمایشی گلدانی با ۱۶ تیمار در سه تکرار، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی ترکیبی از چهار سطح صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم P_2O_5 از منبع سوپر فسفات تریپل، دو تیمار تلقیح و عدم تلقیح با باکتری حل کننده فسفات و دو تیمار تلقیح و عدم تلقیح با میکوریزا بود. نتایج نشان داد که با استفاده از باکتری حل کننده فسفات قطر ساقه، عملکرد ماده خشک، جذب فسفر و مقدار فسفر در خاک پس از برداشت افزایش معنی‌داری یافت. تلقیح قارچ میکوریز نیز تاثیر معنی‌داری ($P<0.01$) بر افزایش قطر ساقه‌ها، مقدار ماده خشک گیاهی، غلظت فسفر گیاهی، جذب کل فسفر و روی و میزان فسفر باقیمانده در خاک داشت. کاربرد فسفر نیز تاثیر معنی‌داری بر برخی شاخص‌ها مانند ارتفاع بوته‌ها، عملکرد ماده خشک، غلظت فسفر و روی در اندام‌های هوایی، جذب کل روی و فسفر و میزان فسفر در خاک‌های پس از برداشت داشت. کاربرد توام فسفر و باکتری نیز تاثیر مثبتی بر افزایش ارتفاع بوته‌ها داشت. اثرات کاربرد توام فسفر و تلقیح میکوریزایی بر قطر ساقه‌ها، عملکرد ماده خشک، جذب فسفر و روی معنی‌دار بود. اثر کاربرد توام فسفر، باکتری و تلقیح میکوریزایی بر قطر ساقه‌هاو عملکرد ماده خشک نیز معنی‌دار بود.

واژه‌های کلیدی: ریزجانداران خاک، خاک‌ها آهکی، کودهای زیستی، کودهای شیمیایی

مقدمه

نیاز گیاهان به فسفر عمدتاً از طریق کودهای شیمیایی تامین می‌گردد. کارایی مصرف کودهای فسفاتی در خاک به وسیله ویژگی‌هایی از قبیل pH، مقدار ماده آلی، نوع ذرات خاک و سطح آن‌ها کنترل می‌شود (۳۶)، مواد مادری آهکی و بارش اندک موجب آهکی شدن سطح وسیعی از اراضی کشاورزی ایران شده است. بالا بودن غلظت یون کلسیم و pH بالای خاک‌های آهکی موجب کاهش فراهمی برخی عناصر غذایی از جمله فسفر می گردد. در این خاک‌ها گرچه میزان کل عناصر غذایی ممکن است بالا باشد، اما عناصر اغلب به فرم تثبیت شده و یا فرم‌هایی وجود دارند که برای گیاه غیر قابل استفاده نیست (۲۷). باکتری‌های حل کننده فسفات موجود در خاک از جمله ریزجاندارانی هستند که قادرند فسفر تثبیت شده و تجمع یافته در خاک را به فرم قابل استفاده گیاه تبدیل نموده و ضمن کاهش مصرف کودهای فسفره باعث افزایش جذب فسفر در گیاهان می‌شوند (۲۴ و ۳۲). اولین بار توانائی باکتری‌ها برای حل کردن فسفر خاک و تبدیل آن به حالت قابل دسترس برای گیاه به وسیلهٔ Geresten در سال ۱۹۴۸ ثابت شد. مطالعات بعدی نشان داد که این ریز جانداران از مکانیزم‌های متفاوتی در انحلال پذیری ترکیبات فسفر خاک استفاده می‌کنند. لی و همکاران (۱۷) ، گیلک و همکاران (۱۳) تولید هورمون‌های گیاهی توسط این باکتری‌ها و آبسووار و عمر (۲) افزایش فراهمی زیستی عناصر معدنی خاک، همچون فسفر با تولید اسیدهای آلی و معدنی و نیز تولید آنزیم فسفاتاز را مکانیزم های احتمالی این ریزجانداران در انحلال ترکیبات فسفری گزارش داده اند. اثرات استفاده از میکروارگانیسم‌های خاکزی در حل نمودن فسفات تثبیت شده خاک توسط محققین مختلفی گزارش شده است (۵، ۱۰، ۱۴ و ۱۵). همزیستی میکوریزایی نیز یکی

۱- دانشیار بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز
(*-نویسنده مسئول: Email: ziaeyan_39@yahoo.com)
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات فارس
۳- دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج
۴- مربی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز

از شناخته شده‌ترین و در عین حال گسترده‌ترین و مهم‌ترین رابطه‌ی همزیستی موجود در کره زمین است (۲۳). بر اساس مطالعات انجام شده گیاهانی که دارای همزیستی میکوریزی می‌باشند، به دلیل آن که عناصر غذایی و آب بیشتری از خاک جذب می‌کنند، دارای رشد بهتر و عملکرد بیشتری بوده و مقاومت بیشتری در برابر تنش‌های زنده (عوامل بیماری‌زا) و غیر زنده (خشکی، سرما و شوری) از خود نشان می‌دهند (۲۵). ثابت شده است که قارچ‌های میکوریزایی به دلیل افزایش موثر سطح جذب ریشه از طریق ایجاد هیف، سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی به وسیلهٔ گیاهان می‌شوند (۳۳). مطالعات متعددی نیز در ارتباط با نقش میکوریزا در فراهمی فسفر و دیگر عناصر غذایی صورت گرفته است (۶، ۲۳ و ۳۳). ایران کشوری خشک و نیمه خشک است. سورگوم (*Sorghum bicolior L.*) نیز به عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان علوفه‌ای این مناطق، به علت سازگاری با شرایط خشک و بالا بودن کارایی مصرف آب، می‌تواند در این شرایط عملکرد رضایت بخشی داشته باشد. به منظور بررسی اثرات منفرد و توام مصرف باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر قابلیت استفاده کودهای فسفاتی و رشد سورگوم این تحقیق با اهداف زیر انجام شد:

بررسی امکان کاهش مصرف کودهای فسفره از طریق استفاده از باکتری حل کننده فسفر و تلقیح قارچ میکوریز در زراعت سورگوم در یک خاک آهکی،

بررسی تاثیر کاربرد باکتری حل کننده فسفر و قارچ میکوریزا بر جذب برخی عناصر غذایی در گیاه سورگوم،

بررسی تاثیر کاربرد باکتری حل کننده فسفر و میکوریزا بر رشد و پارامترهای رشد سورگوم.

مواد و روش‌ها

در سال ۱۳۹۰ یک آزمایش گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۶ تیمار در سه تکرار طراحی و اجرا گردید تا اثرات سه عامل فسفر، باکتری حل کننده فسفات و میکوریزا بر رشد و فراهمی فسفر در کشت سورگوم مطالعه گردد. تیمارها شامل ترکیبی از چهار سطح صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم P_2O_5 از منبع سوپر فسفات تریپل (به ترتیب P0 , P1, P2, P3)، کاربرد و عدم کاربرد باکتری حل کننده فسفات (به ترتیب B0 B1) و تلقیح و عدم تلقیح قارچ میکوریزایی (به ترتیب M1 ,M0) بود. قبل از اجرای آزمایش، در نمونه‌های خاک بافت به روش هیدرومتری، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی کردن با اسید کلریدریک، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع با هدایت سنج الکتریکی، فسفر قابل استفاده با روش واتناب و اولسن، واکنش خاک (پ هاش) در خمیر اشباع به وسیله الکترود شیشه ای، غلظت عناصر کم مصرف به روش دی تی پی ا، ماده آلی به روش اکسایش مرطوب، نیتروژن کل به روش کلدال و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم تعیین گردید (۴). بر اساس نتایج تجزیه خاک و با توجه به توصیه‌های تحقیقاتی (۲۰) به هر نمونه خاک به میزان یکسان ۸۰ میلی گرم نیتروژن از منبع اوره (۳۰ میلی‌گرم قبل از کاشت و ۵۰ میلی‌گرم، در دو نوبت بعد ازکاشت)، ۱۰ میلی گرم روی و ۵ میلی‌گرم مس به ازاء هر کیلوگرم خاک به ترتیب از منابع سولفات روی ($ZnSO_4.7H_2O$) و سولفات مس ($CuSO4.H_2O$) اضافه گردید. میزان فسفر مورد نیاز نیز بر اساس تیمارهای مورد نظر محاسبه و به خاک گلدان‌های ۵ کیلوگرمی اضافه شد. هر نمونه کاملا مخلوط و سپس در گلدان‌ها جای داده شد. هم زمان عملیات تلقیح بذور انجام شد. برای این کار مقدار بذر مورد نیاز طرح تعیین گردید. نیمی از بذور با قارچ میکوریزا (بر مبنای یک گرم مایه تلقیح حاوی قارچ Glomus mosseaبرای بذر مورد هر گلدان) تلقیح شدند. نیمی از بذور تلقیح شده و نیمی از بذور تلقیح نشده با باکتری حل کننده فسفر (بر مبنای ۵ کیلوگرم در هکتار) تلقیح شدند. برای تلقیح بهتر بذرها از مقداری شکر بعنوان ماده چسباننده استفاده شد. میکوریزا و مایه تلقیح حل کننده فسفات (باکتری سودوموناس فلورسنس) از موسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شدند. لازم به ذکر است که مایه تلقیح باکتری حل کننده فسفات بصورت پودری با تراکم جمعیت حدود 10^8 سلول در هر گرم مایه تلقیح بود. مایه تلقیح حاوی قارچ نیز بصورت پودر بود. مایه تلقیح قارچ میکوریزی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت از اختلاط خاک فسفات پودری و قارچ تکثیر شده به روش کشت درون شیشه‌ای (In Vitro) بدست آمد (۲۹) که حاوی ریشه‌های میکوریزی شده، هیف قارچها و اسپور قارچ بود (شکل ۱). مایه تلقیح باکتری حل کننده فسفات بصورت بذرمال استفاده شدند به نحوی که یک لایه از مایه تلقیح بطور یکنواخت روی بذور پوشش داده شد. مایه تلقیح قارچ میکوریزی نیز بصورت مصرف خاکی به مقدار چند گرم در زیر بذور در خاک گلدان‌ها بصورت موضعی مصرف گردید.

شکل ۱ – تکثیر درون شیشه ای قارچ‌های میکوریزی (رجالی و همکاران، ۲۹)

Figur 1- Vitro proliferation of mycorrhizal fungi (Rajali et al., 2003)

در هر گلدان ۲۰ بذر کشت گردید. پس از ۱۰ روز تعداد بوته‌هابه

۱۰ بوته در هر گلدان کاهش یافت. آبیاری گلدان‌ها به صورت توزین چند گلدان و جبران کسر رطوبت آن‌ها از میزان رطوبت در حد ظرفیت نگهداری آب خاک (FC) صورت گرفت. قبل از برداشت ارتفاع و قطر بوته‌ها در هر گلدان اندازه گیری شد. سپس قسمت هوایی هر گیاه از نزدیک سطح خاک برداشت و وزن تر، وزن خشک و درصد رطوبت بوته‌های هر گلدان اندازه گیری شد. در نمونه‌های گیاهی غلظت عناصر تعیین گردید (۱۲) و با توجه به عملکرد خشک، میزان جذب کل آن ها تعیین شد. بعد از برداشت بوته‌ها نیز در خاک کلیه گلدان‌ها pH، فسفر و روی اندازه‌گیری شد (۴). به دلیل ماهیت تحقیق و شرایط حاکم بر آزمایش درصد کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ ها تعیین نگردید. تجزیه واریانس صفات با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن انجام گرفت.

نتایج

۱- نتایج تجزیه خاک: بر اساس نتایج به دست آمده خاک مورد نظر بدون محدودیت شوری با کربن آلی کم، درصد مواد خنثی شونده بالا ، فسفر نسبتا کم و پتاسیم نسبتا بالا بود. علاوه بر این خاک مورد مطالعه از نظر روی فقیر، از نظر آهن و مس متوسط و از نظر منگنز نسبتا غنی بود (۸).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه

Tab 1- Some physico-chemical characteristics of the studied field soil

Sand	Silt	Clay	Zn	Fe	Mn	Cu	K	P	O.C	T.N.V	pH	Ec
%			($mg.kg^{-1}$)						%			($ds.m^{-1}$)
30	46	34	0.31	4.2	11	0.60	312	11	0.57	45	7.83	0.79

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس داده‌ها ی برخی پارامترهای اندازه‌گیری شده

Tab. 2- Analysis of variance of some of the measured parameters

منابع تغییر	درجه آزادی Degree of freedoms	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	عملکرد خشک Dry yield	فسفر گیاهی Plant phosphorus	جذب کل فسفر Phosphorus uptake	فسفر خاک Soil phosphorus	جذب کل روی Zinc uptake
Phosphorus فسفر	3	81*	1.03**	126**	0.003*	129.2**	8.9**	20873**
Bacteria باکتری	1	67**	2.66**	37*	0.003*	0.8 ns	3.99*	6472 ns
Phosphorus * Bacteria فسفر × باکتری	3	93**	0.09**	5 ns	0.002 ns	15.8 ns	0.28 ns	10700 ns
mycorrhiza میکوریزا	1	979**	0.14 ns	128**	0.009**	0.3 ns	14.91**	35401**
Phosphorus * mycorrhiza فسفر × میکوریزا	3	35**	0.29**	52*	0.001 ns	69.1**	3.66**	7738 ns
Bacteria * mycorrhiza باکتری × میکوریزا	1	27**	0.49*	2*	0.001 ns	27.0 ns	0.001 ns	695 ns
Phosphorus * Bacteria * mycorrhiza فسفر × باکتری× میکوریزا	3	45**	0.49**	19*	0.001 ns	21.4 ns	0.84 ns	22607**
error خطا	32	24	0.09	6	0.001	11.2	0.70	4721
ضریب تغییرات (CV%)		7.9	6.4	15.5	12.7	16.6	24.0	23.0

* ns،** و * به ترتیب نشان می‌دهد اختلاف بین متغیرهای مربوطه غیر معنی‌دار، معنی‌دار بودن در سطح ۱٪ و معنی‌دار بودن در سطح ۵٪ می‌باشد

Ns, * and ** show that difference between relevant variables are non-significant, significant at 1% and significant at 5% level, respectively

نتایج تاثیر تیمارهای مختلف بر برخی پارامترها: بر اساس داده‌ها ی به دست آمده نتایج زیر حاصل گردید:

اثرات اصلی کاربرد تیمارهای مختلف بر برخی پاسخ‌های گیاهی سورگوم

اثرات اصلی کاربرد سطوح مختلف فسفر بر برخی پاسخ‌های گیاهی سورگوم: داده ها نشان دادند که کاربرد فسفر موجب افزایش معنی‌داری ($P<0.05$) ارتفاع بوته‌ها و غلظت فسفر در گیاه گردید. همین امر موجب افزایش عملکرد ماده خشک گردید. این نتیجه با نتایج آزمایشات نورقلی پور و همکاران (۲۶) همخوانی دارد. نتایج همچنین نشان داد که کاربرد فسفر موجب افزایش معنی‌دار جذب کل این عنصر و کاهش غلظت روی در اندام‌های هوایی توسط سورگوم گردید. اثرات سوء کاربرد فسفر بر میزان روی گیاه توسط رجاء و همکاران (۳۰) نیز گزارش شده است. بنظر می رسد کاهش غلظت روی ناشی از کاربرد فسفر به علت اثر رقت (dilutioneffects) باشد. داده‌ها نشان دادند که با مصرف فسفر اثر باقیمانده آن در خاک پس از برداشت افزایش می یابد. براساس گزارشات موجود کارایی مصرف فسفر در خاک‌های آهکی ۱۰ تا ۱۵ درصد است و بخش قابل توجهی از فسفر مصرفی در خاک باقی مانده و برای کشت‌های بعدی مورد استفاده قرار می گیرد (۲۴ و ۲۷).

اثرات اصلی کاربرد و عدم کاربرد باکتری حل کننده فسفات بر برخی پاسخ‌های گیاهی سورگوم: کاربرد باکتری حل کننده فسفات هرچند ارتفاع بوته‌ها و قطر ساقه‌ها را افزایش داد اما از لحاظ آماری فقط افزایش قطر ساقه‌ها معنی‌دار بود ($P<0.01$). افزایش ارتفاع و قطر بوته های گندم و ذرت در اثر استفاده از باکتری‌های محرک رشد قبلا توسط ماکوئی و نداکیدمی (۱۹)، رمضانیان (۳۱) و زهیر و همکاران (۳۸) گزارش شده است. کاربرد این باکتری‌ها همچنین از طریق افزایش معنی‌دار غلظت فسفر در اندام‌های هوایی ($P<0.05$)، موجب افزایش جذب کل فسفر توسط گیاه گردید. کاربرد باکتری‌ها تاثیری بر غلظت روی در اندام‌های هوایی نداشت اما با توجه به تاثیر مثبت آن‌ها در افزایش عملکرد ماده خشک موجب بالا بردن جذب کل روی گردید. در اثر کاربرد باکتری حل کننده فسفات همچنین میزان فسفر خاک پس از برداشت بطور معنی‌داری ($P<0.01$) افزایش یافت.

اثرات اصلی کاربرد و عدم کاربرد قارچ میکوریزا بر برخی پاسخ های گیاهی سورگوم: کاربرد میکوریزا از طریق افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته‌ها ($P<0.01$)، موجب افزایش عملکرد ماده خشک سورگوم گردید. نتایج تحقیقات انجام شده توسط دوپونس و همکاران (۹) بر روی در خت آکاسیا این موضوع را تائید می‌کند اما نتایج آزمایشات آنتونس و همکاران (۶) بر روی هویج عکس این موضوع را نشان می‌دهد. کاربرد میکوریزا همچنین موجب افزایش غلظت فسفر و در نهایت افزایش معنی‌دار جذب کل آن در اندام‌های هوایی گردید. هر چند کاربرد میکوریزا تاثیری بر غلظت روی در اندام‌های هوایی نداشت اما جذب کل این عنصر را بالا برد.

جدول ۳- اثرات اصلی کاربرد سطوح مختلف فسفر، باکتری حل کننده فسفات و میکوریزا بر برخی پاسخ های سورگوم

Tab 3- The main effects of phosphorus, phosphate solubilizing bacteria and mycorrhiza application on the some responses of sorghum

تیمارها treatments	ارتفاع بوته Plant height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	عملکرد خشک Dry yield (g.pot^{-1})	فسفر گیاهی Plant phosphorus (ug.g^{-1})	جذب کل فسفر Phosphorus uptake (mg.pot^{-1})	فسفر خاک Soil phosphorus (mg.kg^{-1})	جذب کل روی Zinc uptake (ug.pot^{-1})
اثرات اصلی کاربرد فسفر بر برخی پاسخ‌های گیاهی سورگوم							
The main effects of phosphorus application on the some responses of sorghum							
P0	58.5b	4.33c	11.4c	0.204b	2.37c	12.7b	274b
P1	61.8ab	4.99a	18.5a	0.221ab	4.19a	17.8a	361a
P2	64.6a	4.65b	17.3a	0.238a	4.15a	17.2a	276b
P3	63.1a	4.43bc	13.8b	0.236a	3.26b	16.9a	286b
اثرات اصلی باکتری حل کننده فسفات بر برخی پاسخ‌های گیاهی سورگوم							
The main effects of phosphate solubilizing bacteria on the some responses of sorghum							
B0	60.8a	4.83a	14.5a	0.216b	3.20b	15.1b	288a
B1	63.2a	4.32b	16.0a	0.233a	3.78a	17.2a	311a
اثرات اصلی کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا بر برخی پاسخ‌های گیاهی سورگوم							
The main effects of mycorrhiza on the some responses of sorghum							
M0	57.5b	4.54a	13.6b	0.211a	2.93b	15.2b	249b
M1	66.5a	4.65a	16.9a	0.238a	4.05a	17.1a	327a

اعداد با حروف مشترک در هر ستون از هر گروه دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) نمی‌باشند

Numbers followed by the same letter in each group are not significantly differentns ($P<0.05$)

بر اساس گزارش کارلیل و واتکینسون (۸) یکی از مهم‌ترین آثار کاربرد قارچ های میکوریزا افزایش عملکرد گیاهان زراعی، خصوصاً در خاک‌های با حاصلخیزی پایین است. بر اساس مطالعات انجام شده توسط مارشنر و دل (۲۱) قارچ‌های میکوریزایی به دلیل افزایش سطح جذب ریشه از طریق تشکیل هیف، سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی به وسیله گیاهان می‌شوند. اسمیت و رایدر (۳۳) نیز افزایش عملکرد ناشی از تلقیح میکوریزایی را به افزایش فعالیت فتوسنتزی و تثبیت بیشتر دی اکسید کربن ربط می‌دهند که این عوامل خود موجب افزایش سطح برگ و در نهایت افزایش عملکرد می‌گردد.

اثرات کاربرد توام تیمارهای مختلف بر برخی پاسخ های گیاهی سورگوم

اثرات کاربرد توام سطوح مختلف فسفر و باکتری حل کننده فسفات بر برخی پاسخ‌های گیاهی سورگوم: نتایج نشان داد که کاربرد توام فسفر و باکتری حل کننده فسفات تنها تاثیر معنی‌داری ($P<0.5$) بر ارتفاع بوته‌ها داشت. نتایج نشان دهنده این بود که با افزایش سطوح مصرفی فسفر از کارایی باکتری‌ها کاسته می‌شود به عبارت دیگر این احتمال وجود دارد که باکتری‌ها در شرایطی که میزان فسفر خاک پایین باشد، کاراتر باشند. این موضوع نیاز به پژوهش بیشتری دارد.

اثرات توام کاربرد سطوح مختلف فسفر و میکوریزا بر برخی پاسخ‌های گیاهی سورگوم: کاربرد توام فسفر و مایکوریزا موجب افزایش معنی‌دار قطر ساقه سورگوم گردید. قطر ساقه از جمله پارامترهای رشد است که افزایش آن توانست عملکرد ماده خشک را بالا ببرد. با بالا رفتن عملکرد ماده خشک، جذب کل فسفر و روی توسط اندام‌های هوایی نیز افزایش یافت.

جدول ٤- اثرات کاربرد توام فسفر و باکتری حل کننده فسفات بر برخی پاسخ‌های گیاهی سورگوم

Tab 4- Combined effects of phosphorus and phosphate solubilizing bacteria application on the some responses of sorghum

تیمارها treatments	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	عملکرد خشک Dry yield	فسفر گیاهی Plant phosphorus	جذب کل فسفر Phosphorus uptake	فسفر خاک Soil phosphorus	جذب کل روی Zinc uptake
	(cm)	(mm)	($g.pot^{-1}$)	($ug.g^{-1}$)	($mg.pot^{-1}$)	($mg.kg^{-1}$)	($ug.pot^{-1}$)
P0B0	56.3d	4.49cde	9.8c	0.192c	1.92e	11.8d	220d
P0B1	60.7bcd	4.17e	13.0b	0.217bc	2.82de	13.7cd	328abc
P1B0	57.6cd	5.24a	17.6a	0.227abc	4.04abc	16.5ab	351ab
P1B1	66.1ab	4.74bc	19.4a	0.215bc	4.33ab	19.2a	372a
P2B0	66.9a	5.00ab	17.2a	0.215bc	3.76ad	16.9ab	290bcd
P2B1	62.3abc	4.30de	17.4a	0.260a	5.54a	17.3ab	262cd
P3B0	62.5abc	4.61cd	13.4b	0.233ab	3.09cd	15.2bc	294bcd
P3B1	63.7ab	4.20e	14.3b	0.240ab	3.42bcd	18.6a	293bcd

اعداد با حروف مشترک در هر ستون از هر گروه دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) نمی‌باشند

Numbers followed by the same letter in each group are not significantly differentns ($P<0.05$).

جدول ٥- اثرات کاربرد توام فسفرو میکوریزا بر برخی پاسخ‌های گیاهی سورگوم

Tab 5- Combined effects of phosphorus and mycorrhiza application on the some responses of sorghum

تیمارها treatments	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	عملکرد خشک Dry yield	فسفر گیاهی Plant phosphorus	جذب کل فسفر Phosphorus uptake	فسفر خاک Soil phosphorus	جذب کل روی Zinc uptake
	(Cm)	(mm)	($g.pot^{-1}$)	($ug.g^{-1}$)	($mg.pot^{-1}$)	($mg.kg^{-1}$)	($ug.pot^{-1}$)
P0M0	56.2b	4.29cd	10.6e	0.190c	2.07c	11.4d	221c
P0M1	60.8b	4.37cd	12.2de	0.218abc	2.67bc	14.0cd	327ab
P1M0	56.3b	4.74b	14.2cd	0.207bc	2.95bc	17.3ab	326ab
P1M1	67.4a	5.24a	22.8a	0.235ab	5.42a	18.4a	397a
P2M0	58.5b	4.53bcd	15.3c	0.220abc	3.42b	16.6abc	249bc
P2M1	70.7a	4.77b	19.4b	0.255a	4.88a	17.7ab	304b
P3M0	59.0b	4.61bc	14.5cd	0.228ab	3.30b	15.4bc	294bc
P3M1	67.2a	4.24d	13.2cde	0.243ab	3.22b	18.3a	279bc

اعداد با حروف مشترک در هر ستون از هر گروه دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) نمی‌باشند

Numbers followed by the same letter in each group are not significantly differentns ($P<0.05$).

اثرات کاربرد توام باکتری حل کننده فسفات و میکوریزا بر برخی پاسخ‌های گیاهی سورگوم: کاربرد توام باکتری‌های حل کننده فسفات و میکوریزا هرچند موجب بهبود پارامترهای اندازه گیری شده گردید اما بجز قطر ساقه بقیه صفات اندازه گیری شده از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. در مجموع، در تیمار کاربرد توام باکتری و مایکوریزا بجز قطر ساقه، بقیه صفات اندازه‌گیری شده ، بالاترین مقادیر را به خود اختصاص دادند.

جدول ٦- برهمکنش کاربرد توام باکتری حل کننده فسفات و میکوریزا بر برخی پاسخ‌های گیاهی

Tab 6- Combined effects of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhiza application on the some responses of sorghum

تیمارها treatments	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	عملکرد خشک Dry yield	فسفر گیاهی Plant phosphorus	جذب کل فسفر Phosphorus uptake	فسفر خاک Soil phosphorus	جذب کل روی Zinc uptake
	(cm)	(mm)	($g.pot^{-1}$)	($ug.g^{-1}$)	($mg.pot^{-1}$)	($mg.kg^{-1}$)	($ug.pot^{-1}$)
B0M0	55.6b	4.88a	12.7c	0.203b	14.5b	2.64c	249b
B0M1	66.1a	4.79a	16.3ab	0.229ab	15.6b	3.76ab	326a
B1M0	59.4b	4.21c	14.6bc	0.219b	15.8b	3.22bc	296ab
B1M1	67.0a	4.52b	17.5a	0.247a	18.6a	4.33a	326a

اعداد با حروف مشترک در هر ستون از هر گروه دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) نمی‌باشند

Numbers followed by the same letter in each group are not significantly differentns ($P<0.05$).

اثرات کاربرد توام سطوح مختلف فسفر، باکتری حل کننده فسفات و میکوریزا بر برخی پاسخ‌های گیاهی سورگوم: نتایج نشان داد که گرچه کاربرد توام این سه فاکتور موجب بهبود بیشتر صفات مورد اندازه‌گیری داشت اما تاثیر این سه فاکتور تنها بر عملکرد ماده خشک ($P<0.05$) و قطر ساقه و جذب کل روی ($P<0.01$) معنی‌دار بود.

جدول ۷- برهمکنش کاربرد فسفر، باکتری حل کننده فسفات و میکوریزا بر برخی پاسخ‌های گیاهی

Tab 7- Combined effects of phosphorus, phosphate solubilizing bacteria and mycorrhiza application on the some responses of sorghum

تیمارها treatments	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	عملکرد خشک Dry yield	فسفر گیاهی Plant phosphorus	جذب کل فسفر Phosphorus uptake	فسفر خاک Soil phosphorus	جذب کل روی Zinc uptake
	(cm)	(mm)	($g.pot^{-1}$)	($ug.g^{-1}$)	($mg.pot^{-1}$)	($mg.kg^{-1}$)	($ug.pot^{-1}$)
P0M0B0	52.3g	4.35de	9.1f	0.73c	1.61e	161e	10.5g
P0M0B1	60.3dg	4.62bcd	10.6ef	0.210bc	2.23de	279bcd	13.0efg
P0M1B0	60.1dg	4.22de	12.1def	0.207bc	2.51cd	281bcd	12.3fg
P0M1B1	61.3cf	4.11e	13.8cde	0.227b	3.12cd	374abc	15.3cf
P1M0B0	54.1fg	5.35a	14.2cde	0.217bc	3.09cd	351abc	16.0bf
P1M0B1	61.1cf	5.13a	20.9ab	0.237ab	4.98ab	351abc	17.0ad
P1M1B0	58.4efg	4.14de	14.1cde	0.197bc	2.81cde	300bcd	18.5abc
P1M1B1	73.8ab	5.34a	24.6a	0.233ab	5.86a	443a	19.8ab
P2M0B0	59.5dg	4.86abc	13.2de	0.200bc	2.68de	193de	17.2ad
P2M0B1	76.4a	5.14a	21.3ab	0.230ab	4.83ab	388ab	16.7be
P2M1B0	57.5fg	4.21de	17.3bc	0.240ab	4.16cd	304bcd	16.0bf
P2M1B1	67.0ad	4.39cde	17.5b	0.280a	4.92ab	220de	18.7abc
P3M0B0	56.4fg	4.96ab	14.2bc	0.223bc	3.18cd	289bcd	14.5def
P3M0B1	68.7abc	4.25de	12.6def	0.240ab	3.00cde	290bcd	15.8cf
P3M1B0	61.7cf	4.26de	14.7cd	0.233ab	3.42cd	298bcd	16.3be
P3M1B1	65.7be	3.90de	13.9cde	0.247ab	3.43cd	267cde	20.8a

اعداد با حروف مشترک در هر ستون از هر گروه دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) نمی‌باشند

Numbers followed by the same letter in each group are not significantly differentns ($P<0.05$).

بحث

داده‌ها نشان دادند که کاربرد باکتری حل کننده فسفات با افزایش ارتفاع بوته‌ها، تفاوت معنی‌داری با تیمار عدم کاربرد این ریزجانداران داشتند. این یافته نشان می دهد که رشد رویشی بوته‌ها تحت تأثیر

کاربرد این باکتری قرار گرفته‌اند. چنین نتایجی قبلا نیز گزارش شده است. رمضانیان (۳۱) نیز ضمن مطالعات خود بر روی گندم نشان داد که در اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد ارتفاع و قطر بوته‌های گندم افزایش می‌یابد. لی و همکاران (۱۷) و لارسن و همکاران (۱۶) گزارش نمودند که ریزجانداران خاک از جمله باکتری‌های محرک رشد از طریق مکانیسم‌های مختلفی همچون تولید آنزیم ACC دآمیناز و یا افزایش فسفر قابل جذب می توانند موجب تحریک رشد و افزایش ارتفاع و قطر بوته گیاهان گردند. گیلک و همکاران (۱۳) نیز نشان دادند که باکتری‌های محرک رشد از طریق تولید هورمون‌های گیاهی موجب افزایش ارتفاع و قطر بوته و در نهایت افزایش عملکرد گیاهان می گردند. افزایش ماده خشک گیاهی در اثر استفاده از باکتری‌های حل کننده فسفات قبلا نیز گزارش شده است (۱۱، ۲۶ و ۲۸). لی و همکاران (۱۸) نیز گزارش کردند که استفاده از باکتری‌ها محرک رشد می تواند منجر به افزایش وزن خشک گیاه لوبیا تلقیح شده با این باکتری‌ها گردد. آن ها این احتمال را می‌دهند که باکتری‌های حل کننده فسفر از طریق تولید هورمون‌های گیاهی تحریک کننده رشد، سبب افزایش رشد و نمو و تجمع ماده خشک بخش هوایی بوته‌ها گردد واو و همکاران (۳۷) نیز اعتقاد دارند علت اصلی افزایش عملکرد غلات و سایر گیاهان تلقیح شده با ریزجانداران حل کننده فسفات می‌تواند جذب بیشتر فسفر باشد. بر اساس مطالعات آبسووار و عمر (۲) افزایش فراهمی زیستی عناصر معدنی ، همچون فسفر، افزایش کارایی تثبیت زیستی نیتروژن، افزایش دسترسی عناصر غذایی و تولید هورمون‌های رشد توسط باکتری‌های حل کننده فسفات را علل اصلی افزایش عملکرد ناشی از کاربرد این ریزجانداران گزارش می‌دهند. به نظر می‌رسد که تلقیح بذور توسط باکتری‌های حل کننده فسفر و احتمالاً ایجاد شرایط مناسب جهت جوانه زنی باعث استقرار سریع تر گیاهچه و بهره مندی بیشتر از منابع محیطی توسط گیاه شده باشد. چنین وضعیتی باعث شد که گیاه شرایط مناسب‌تری را جهت رشد داشته باشد. این احتمال نیز وجود دارد که باکتری‌های حل کننده فسفر توانسته باشند با تولید هورمون‌های گیاهی تحریک کننده رشد و انحلال ترکیبات فسفاتی خاک سبب افزایش رشد و نمو و تولید ماده خشک بیشتر شده باشند. افزایش فسفر قابل جذب خاک گلدان‌ها پس از برداشت موید این فرضیه می باشد.

بر اساس نتایج به دست آمده تلقیح بذور با میکوریزا با ۹ سانتی‌متر افزایش ارتفاع ، تفاوت معنی‌داری با تیمار عدم تلقیح این ریزجانداران داشت. تلقیح بذور با میکوریزا قطر ساقه‌هارا نیز افزایش داد. افزایش این پارامترها در نهایت منجر به افزایش ماده خشک گیاهی گردید. بر اساس نتایج به دست آمده (جدول ۵) کاربرد میکوریزا در تیمارهایی که فسفر کمتری مصرف شده بود موجب افزایش ارتفاع، قطر، عملکرد ماده خشک و میزان جذب کل فسفر گردید اما در سطوح بالای فسفر کاربردی (۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم P2O5) کاربرد میکوریزا موجب کاهش پارامترهای فوق از جمله عملکرد گردید. برخی مطالعات انجام شده قبلی نیز نشان داده است که کاربرد قارچ‌های میکوریزا، خصوصاً در خاک های با حاصلخیزی پایین، منجر به افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌گردد. کارلیل و واتیکسون (۸) افزایش عملکرد حاصل از کاربرد فسفر را به دلیل افزایش سطح جذب ریشه‌ها از طریق نفوذ میسیلیوم قارچ در خاک ذکر می‌کنند و اعتقاد دارند که تولید و ترشح اسیدهای آلی، تولید فسفاتازها و ایجاد مسیر میانبر برای انتقال فسفر از طریق هیف به سمت ریشه ها، دسترسی به منافذ ریز خاک که غیر قابل دسترس برای ریشه می‌باشد، توسعه حجم خاک قابل استفاده برای ریشه، خروج از منطقه تهی از فسفر و انتقال فسفر مناطق دورتر به ریشه و... از جمله مکانیسم‌های کارامد قارچ می‌باشند. آن‌ها همچنین اعتقاد دارند که افزایش بیشتر فسفر به علت محدود نمودن فعالیت قارچ میکوریزا و جلوگیری از توسعه ریشه و میسیلیوم‌های قارچی، جذب عناصر را با مشکل مواجه نموده و در نتیجه قارچ به عنوان یک انگل عمل می‌نماید که تنها باعث مصرف کربوهیدرات‌های تولید شده توسط گیاه می‌گردد و این امر باعث کاهش عملکرد گیاه می‌شود. اگرچه کلونیزاسیون در این تحقیق اندازه گیری نشده ولی این موضوع سال‌هاست در نتیجه تحقیقات به اثبات رسیده است. فسفر با افزایش فسفولیپیدها در دیواره سلولی ریشه ها ترشحات ریشه را محدود کرده و قارچ به سمت ریشه جلب نشده و همزیستی برقرار نمی شود. تورک و همکاران (۳۵) نیز اعتقاد دارند که قارچ‌های میکوریزی در افزایش جذب مواد معدنی به ویژه فسفر و تجمع زیست توده بسیاری از محصولات در خاک‌های با فسفر کم، تأثیر مثبت دارند. اما طرفدار و مارشنر (۳۴) اعتقاد دارند که در گونه‌هایی مانند غلات، که دارای دستگاه‌های ریشه‌ای گسترده و بسیار منشعب و تارهای کشنده بلند هستند، قارچ میکوریزایی رشد و جذب فسفر را یا اصلاً تغییر نمی دهد و یا باعث افزایش بسیار اندک آن ها می‌شود. داده‌های آزمایشی حاکی از کاهش غلظت روی اندام‌های هوایی در اثر افزایش فسفر کاربردی به خاک بود. رجاء و همکاران (۳۰) نیز گزارش دادند که با افزایش کودهای فسفره به خاک، جذب عناصر روی و مس و همزیستی قارچ میکوریزا کاهش می یابد اما محمد و همکاران (۲۲) گزارش کردند که همزیستی گندم بهاره با قارچ میکوریزا سبب افزایش غلظت روی در اندام‌های هوایی می‌شود، در حالی که اثری بر غلظت مس و منگنز ندارد. داده‌ها همچنین نشان دادند که بر اثر تلقیح میکوریزایی، کاربرد فسفر و باکتری‌های حل کننده فسفات جذب فسفر و روی افزایش یافت. پژوهش‌های انجام شده نشان داده است که جذب عناصر غذایی توسط گیاه تابع دو عامل رشد سیستم ریشه و فراهمی عناصر غذایی در خاک می باشد. محققین زیادی

نقش اتیلن در تغییرات مورفولوژیکی سیستم ریشه‌ای را بیان کرده اند که خود می‌تواند بر جذب عناصر غذایی توسط ریشه مـؤثر باشـد (۳ و ۱۷). زیست ساخت اتیلن در گیاهان تا حد زیادی تحت تـأثیر قابلیـت استفاده عناصر غذایی و به ویژه فراهمی فسفر می‌باشد (۱ و ۷).

نتیجه‌گیری کلی

هر چند که این تحقیق در شرایط گلدانی و یکساله اجرا گردیـد و دستیابی به نتایج دقیق تر نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد، اما بررسی داده‌های به دست آمده نشان داد که کاربرد توام بـاکتری حـل کننـده فسفر و مایکوریزا می توانند اثر بخشی فسفر را افزایش داده و موجـب بهبود شرایط رشد و افزایش عملکرد سورگوم گردند. بر اسـاس نتـایج به دست آمده، بیشترین مقادیر صفات اندازه‌گیری شده از کاربرد تـوام ۲۵ میلی گرم فسفردر هر کیلو گرم خاک همراه با کاربرد باکتری حـل کننده فسفر و مایکوریزا به دست آمد و می‌تـوان ایـن تیمـار را بـرای شرایط مشابه توصیه نمود.

منابع

1- Abeles F.B., Morgan P.W., and Saltveit M.E. 1992. Ethylene in Plant Biology. San Diego, CA. Academic Press, 2 editions. 414 p.
2- Abusuwar A.O., and Omer E.A. 2011. Effect of intercropping, phosphorus fertilization and rhizobium inoculation on the growth and nodulation of some leguminous and cereal forage. Agriculture and Biology Journal of North America. 2(1): 109-124.
3- Afzal A., Ashraf M., Asad S.A., and Faroog M. 2005. Effect of phosphate solubilizing microorganism on phosphorus uptake, yield and yield traits of wheat (*Triticumaestivum* L.) in rainfed area. International Journal of Agriculture and Biology. 7(2): 207-209.
4- Ali Ehyaee M., and Behbahanizadeh A.A. 1993. Description of Soil Chemical Analysis Methods. Technical publication No. 1024, Vol. 2. Soil and Water Research Institute. Tehran (in Persian).
5- Alimadadi A., Jahansouz M. R., Besharaty H., and Tavakkol-Afshari R. 2010. Evaluating the effects of phosphate solubilizing microorganisms, mycorrhizal fungi and seed priming on nodulation of chickpea. Iranian Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences). 24:1. 43-53 (in Persian).
6- Antunes P.M., Schneider K., Hillis D., and Klironomos J. N. 2007. Can the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* actively mobilize P from rock phosphates? Pedobiologia. 51(4): 281-286.
7- Arshad M., and Frankenberger Jr. W. T. 2002. Ethylene: Agricultural Sources and Applications, Kluwer Academic Publishers, New York, U.S.A. 342 p.
8- Carlile M.J., and Watkinson S. 1994. The Fungi. Academic Press, London, Boston, San Diego, New York, Sydney, Tokyo, pages 9-139 and 153- 172.
9- Duponnois R., Colombet A., Hien V., and Thioulouse J. 2005. The mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and rock phosphate amendment influence plant growth and microbial activity in the rhizosphere of *Acacia holosericea*. Soil Biological Biochemistry. 37(8): 1460-1468.
10- Eftekhari Gh, Fallah A.R., Akbari Gh.A., Mohaddesi A., and Allahdadi I. 2010. Effect of phosphate solubilizing bacteria and phosphate fertilizers on rice growth parameters. Iranian Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences.). 23:2. 229-239 (in Persian).
11- El-Dewiny C.Y., Moursy Kh. S., and. El-Aila H. I. 2006. Effect of organic matter on the release and availability of phosphorus and their effects on spinach and radish plants. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 2(3): 103-108.
12- Emami A. 1996. Methods of Plant Analysis. Technical Publication No. 182. Soil and Water Research Institute, Tehran. (in Persian).
13- Glick B. R., Cheng Z., Czarny, J., Duan J, 2007. Promotion of plant growth by ACC deaminase containing soil bacteria. European Journal of Plant Pathology. 119(3): 329–39.
14- Khan M.S., Zaidi A., and Wani P.A. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture-A review. Agronomy for Sustainable Development. 27(1): 29-43.
15- Khassehe Sirjani A. 2011. Evaluation of biofertilizer containing phosphate solubilizing bacteria and enriched organic p-fertilizer in wheat production. Iranian Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences). 25:3. 217-224 (in Persian).
16- Larsen J., Cornejo P., and MíguelBarea J. 2009. Interactions between the arbuscular mycorrhizal fungus Glomusintraradices and the plant growth promoting rhizobacteria Paenibacillus polymyxa and P. macerans in the mycorrhizosphere of Cucumissativus. Soil Biology and Biochemistry. 41: 286-292.
17- Lee K. D., Bai Y., Smith D., and Han H. S. 2005. Isolation of Plant-Growth-Promoting Endophytic Bacteria from Bean Nodules. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences.1 (3): 232-236.
18- Li J., Ovakim D.H., Charles T.C., and Glick B. R. 2000. An ACC deaminase minus mutant of Enterobacter

cloacaeUW4No longer promotes root elongation. Current Microbiology. 41(2): 101-105.
19- Makoi J.H.J.R., and Ndakidemi P.A. 2009. The agronomic potential of vesicular-arbuscular mycorrhiza (VAM) in cereals– legume mixtures in Africa. African Journal of Microbiology Research. 3(11): 664-675.
20- Malakouti M. J., and Ghaibi M. N. 1997. Determine the critical level of nutrients in strategic plants and accurate fertilizer recommendations in country. Agricultural Education Publication, Karaj, Iran. 56p. (in Persian)
21- Marschner H. and Dell B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant and Soil. 159(1): 89-102.
22- Mohammad M.J., Pan W.L., and Kennedy A.C. 1995. Wheat responses to vesicular arbuscular mycorrhizal fungi inoculation of soils from eroded to posequence. Journal of American Soil Science Society. 59(4): 1086 – 1090.
23- Muchovej R.M. 2009. Importance of mycorrhizae for agricultural crops. Food and Agricultural Sciences. http://edis.ifas.ufl.edu.
24- Munir I., Ranjha A.M., Sarfraz M., Obaid-ur-Rehman, Mehdiand, S.M., and Mahmood, K. 2004. Effect of residual phosphorus on sorghum fodder in two different textured soils. International Journal of Agriculture and Biological Sciences.6 (6):967-969.
25- Nadian H. 1998. The role of mycorrhiza in sustainable agriculture. 5th National Iranian Crop Science Congress. Agricultural Faculty of Karaj. Iran
26- Nourgholi Pour F., Malakouti M.J., and Khavazi K. 2000. The role of Thiobacillus and phosphate solubilizing bacteria on the phosphorus absorption increases from rock phosphate source by corn. Journal of Soil and Water Research **(**Thiobacillus Special Issue**).** 12:11. 44-53 (in Persian).
27- Oelkers E.H., and Valsami-Jones E. 2008. Phosphate mineral reactivity and global sustainability. Elements 4: 83–87.
28- Pathiratna L.S.S., Waidyanatha De, U.P., and Peries O.S. 1989. The effect of apatite and elemental sulphur mixtures on growth and P content of Centrocema pubescens. Fertilizer Research. 21: 37-43.
29- Rajali F., Tavasoli A., Esmaeilzadeh V. and Saghafi k. 2003. Proliferation in vitro arbuscular mycorrhizal fungi and their effects on growth and yield in drought and salinity stress conditions. Final Repot 86/286. Soil and Water Research Institute of Iran, Karaj, Iran. (in Persion).
30- Raju P.S., Clark R.B., Ellis J.R., and Maranville J. W.1990. Mineral uptake and growth of sorghum colonized with VA mycorrhiza at varied soil phosphorus levels. Journal of Plant Nutrition. 13(7): 843 – 859.
31- Ramezanian A. 2005. Role of reproducer ACC deaminase enzyme rhizobium bacteria on moderation the adverse effect of ethylene stress in wheat. M.Sc. thesis in soil science, University of Tehran.
32- Rodriguez H., and Fraga, R.1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnology Advances. 17(4-5): 319-339.
33- Smith S.E., Read, D.J. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. Third Edition. Academic Press, London, U.K. 804 p.
34- Tarafdar, J.C., and Marschner H. 1994. Efficiency of VAM hyphae in utilization of organic Phosphorus by wheat plant. Soil Science and Plant Nutrition. 40(4): 593 – 600.
35- Turk M.A., Assaf T.A., Hameed K. M., and Tawaha A. M. 2006. Significance of Mycorrhizae. World Journal Agricalture Science. 2(1): 16 – 20.
36- Wagar A., Shahroona B., Zahir Z. A., and Arshad M. 2004. Inoculation with Accdeaminase containing rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. Pakistan Journal of Agriculture Sciences. 41(3-4): 119-124.
37- Wu B., Cao Z.H., Li Z.G., Cheung K.C., and Wong M.H. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth. A greenhouse trail. Geoderma. 125:1-2. 155-162.
38- Zahir Z.A., Arshad M., and Frankenberger Jr W.T. 2003. Plant Growth Promoting Rhizobacteria: Applications and Perspectives In Agriculture. Advances in Agronomy. 81: 97-168.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 5, Nov.-Dec. 2016, p. 1478-1488

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۵، ص. ۱۴۸۸-۱۴۷۸

Interaction Effects of Phosphate Solubilizing Bacteria and Mycorrhiza on the Growth and Phosphorus uptakeof Sorghum

H. Ziaeyan[1*]- A.R. Farahbakhash[2]- H. Besharati[3]- L. Joukar[4]

Received: 15-9-2013
Accepted: 14-5-2016

Introduction: The most abundant of agricultural soils in Iran, are calcareous. In calcareous soils, phosphorus fertilizers use efficiency is low. The usage of soil microorganisms is one of the effective ways to increment the uptake of phosphorus in calcareous soils. This microorganisms using various mechanisms, including the production of plant hormones or the production of organic and inorganic acids to dissolve the insoluble phosphorous compounds. Mycorrhizal symbiosis is also one of the most recognized and important symbiosis relationship found in the world. In a mycorrhizal symbiosis,plants can be able to absorb more nutrients and water from soil and fungus plays a protective role as a growth enhancer and make the plants more tolerable to biotic (pathogens) and abiotic (drought, cold and salinity) stresses .This research conducted to study phosphate solubilizing bacteria and mycorrhiza roles on sorghum growth and phosphorus availability to this plant.

Materials and methods: To achieve the desired goals, a pot experiment was conducted as a factorial in completely randomized design with sixteen treatments in three replications. The treatments were combination of four P levels of zero, 25, 50, and 75 mg kg^{-1} P_2O_5 from triple super phosphate source, the two treatments of inoculation and without inoculation of phosphate solubilizing bacteria and the two treatments of inoculation and no inoculation of mycorrizal fungus. Required fertilizers based on initial soil test results were supplied. Accordingly, the same amount of nitrogen, 80 mg kg^{-1} (30 mg kg^{-1} before planting and 50 mg kg^{-1} after planting twice) as urea source, 10 mg Zn kg^{-1} and 5 mg kg^{-1} Cu per kg soil as the forms of Zinc sulphate (ZnSO4.7H2O) and copper sulphate (CuSO4.H2O) were added to each soil sample. Required Phosphorus also was calculated based on treatments and added to potting soil. Each pot size was 5 kg. every sample was thoroughly mixed and then were placed in pots. At the same time the seeds were inoculated. In harvesting time, some parameters such as plant height and diameter, wet and dry foliage yield, and phosphorous uptake were measured and analyzed statistically. After harvesting time also soils phosphorous content were measured and analyzed.

Results and Discussion: The results indicated that by utilizing the phosphate solubilizing bacteria, stem diameter, dry matter yield, phosphorous uptake, and soils phosphorous content after harvesting significantly increased. These findings indicated that the use of phosphate solubilizing bacteria affected plant growth. Such results have been previously reported. Ramezanian (31) reported that application of PGPR will be increase wheat stem height and diameter. Li et al (18) and Larsen et al (16) reported that soil microorganisms, including growth promoting bacteria through a variety of mechanisms such as ACC deaminase production or an increase in available phosphorus can stimulate plant growth and increase height and diameter of the stem. Glick et al (13) showed that plant growth promoting bacteria through the production of plants hormones increases plant height and stem diameter, and ultimately improve plants yield. Increases yield of plants through the use of phosphate solubilizing bacteria previously has been reported by other studies. Mycorrizal inoculation also had a significant effect ($P<0.01$) on increasing of stem diameter, dry matter yield, plant phosphorous concentration, plant phosphorous and zinc uptake and soils phosphorous content after harvesting. Some earlier studies have also shown that the use of mycorrhizal fungi, especially in soils with low fertility, lead to an increase in crop yield. According to Carlile and Watkinson (8), due to the influence of mycorrhizal fungus mycelium in the soil, the root uptake enhances and thus the performance of plants will be improved. They stated that the production and secretion of organic acids, production of phosphatases and phosphorus transport from distant regions of the roots to close spaces near the root surface are some of the fungi efficient mechanisms. Phosphorus application also

1–Associate Professor, Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Shiraz
(*-Corresponding Author Email: ziaeyan_39@yahoo.com)
2- Soil Science graduated from Department of Soil Science, Darab Branch, Islamic Azad University, Darab
3- Associate Professor, Soil and Water Research Institute, AREEO, Karaj
4- Scientific members, Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Shiraz

had a significant effect on some indicators such as plants height, dry matter yield, shoot P and Zn concentration, total uptake of phosphorus and zinc and soil phosphorous content after harvesting. Combined use effect of phosphorus, bacteria and mycorrizal inoculation on stem diameter and dry matter yield also were significant.

Conclusion: The results showed that the combined application of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi can increase the efficiency of phosphorus fertilizer and improve growing conditions and yield of sorghum. Based on the results, the combined use of 25 mg P_2O^5 per kg of soil, along with the use of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi produced the highest values of measured traits and can be recommended for the same conditions.

Keywords: Biofertilizers, Calcareous soils, Chemical fertilizers, Soil microorganisms