

اثر باکتری های تیوباسیلوس، گوگرد و کود آلی بر میزان جذب فسفر توسط *Zea mays*

مهدی یونسسی حمزه خانلو^۱، میثم پاشایی^۲، علی خان میرزایی^{۳*}، فاطمه شکوری فر^۴، محمد اسماعیل پور^۱ و محسن سبزی نوجه ده^۱

۱- استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، ایران

۲- کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی علوم خاک - شیمی و حاصلخیزی خاک و کود دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد واحد کرج، ایران

۳- استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ایران

۴- دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد، رشته بیماری شناسی گیاهی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، ایران

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: alikhhanmirzai@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۰۶ اردیبهشت ۱۳۹۶، تاریخ بازنگری: ۲۸ تیر ۱۳۹۶، تاریخ پذیرش: ۱۴ شهریور ۱۳۹۶

چکیده

به منظور بررسی اثر استفاده همزمان از تیمارهای باکتریهای تیوباسیلوس و گوگرد و کودهای آلی بر اشکال شیمیایی و میزان جذب فسفر توسط ذرت، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با هشت تیمار در سه تکرار در سال ۱۳۹۳ در گلخانه‌های واقع در شهر هشتگرد اجرا شد. تیمارها شامل شاهد، تیوباسیلوس، گوگرد، کود آلی، ترکیبات دوتایی و سه تایی آنها بودند. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین وزن خشک و تر ریشه، وزن خشک اندام هوایی و فسفر جذب شده به ترتیب در تیمار تیوباسیلوس + گوگرد + کود آلی و تیمار شاهد (بدون اضافه کردن تیوباسیلوس، گوگرد و کود آلی) به دست آمد. تیمار تیوباسیلوس + گوگرد + کود آلی باعث افزایش فسفر قابل دسترس خاک گردید به گونه‌ای که بیشترین مقدار فسفر قابل جذب در این تیمار برابر با 22/16 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود و به مقدار چهار میلیگرم فسفر قابل دسترس بیشتری نسبت به شاهد داشت. از طرف دیگر تیمار تیوباسیلوس + گوگرد نسبت به تیمارهای دیگر باعث کاهش معنیداری در اشکال معدنی فسفر خاک از جمله دیکلسیم فسفات و فسفر پیوندی با آپاتیت گردید. بیشترین مقدار فسفر آلی و کل در خاک به ترتیب مربوط به تیمارهای گوگرد + کود آلی و تیوباسیلوس + کود آلی بود. به طور کلی نتایج این مطالعه نشان میدهد که استفاده از باکتریهای تیوباسیلوس به همراه گوگرد و کود آلی باعث افزایش جذب فسفر از خاک و بهبود رشد ذرت از نظر میزان فسفر قابل جذب میشود که میتواند در مقیاس وسیع باعث کاهش استفاده از کودهای شیمیایی گردد.

کلمات کلیدی: بیوماس؛ تثبیت عناصر؛ خاک؛ کودهای شیمیایی

فسفر یک عنصر حیاتی برای همه موجودات زنده می باشد (Zhang *et al.*, 2014)، در گیاهان فسفر بعد از نیتروژن دومین ماده مغذی ضروری می باشد که برای فرآیندهای بیوشیمیایی مختلف، توسعه گیاه، و برای تکمیل رشد زایشی مورد نیاز می باشد (Mehra *et al.*, 2015). با اینکه فسفر به مقدار قابل توجهی در خاک وجود دارد، ولی از آنجایی که قسمت عمده آن در خاک به واسطه اکسیدهای فلزی و نرخ پایین انتشار آن تثبیت می شود، این عنصر جز عناصر با دسترسی خیلی پایین برای گیاهان به حساب می آید (Xie *et al.*, 2015, Mehra *et al.*, 2015). بنابراین قسمت عمده فسفر کل (۵۰ تا ۸۰ درصد) موجود در خاک به شکل ترکیبات آلی تثبیت می شود (Kong *et al.*, 2014) که تنها ۳۰ درصد از آن برای ریشه های گیاهان قابل دسترس است. گیاهان قادر به جذب فسفر آلی نمی باشند، مگر اینکه هیدرولیز شده و به شکل فسفر معدنی در بیاید. معمولاً به دلیل آهکی بودن اکثر خاک های ایران غلظت قابل جذب این عنصر کمتر از حد بحرانی است و سالانه مقدار زیادی کود فسفره برای تأمین فسفر مورد نیاز گیاهان زراعی نظیر ذرت، به زمین های زیر کشت آن اضافه می شود (Golmohammad *et al.*, 2016).

ذرت (*Zeamays*) بعد از گندم (*Triticum aestivum*)، جو (*Hordeum vulgare*) و برنج (*Oryza sativa*) با ۲۲۶ هزار هکتار بیشترین سطح زیر کشت کشور را در بین غلات به خود اختصاص داده است و از دیرباز در سبد تغذیه دام جایگاه ویژه داشته و به صورت مختلف مورد استفاده قرار می گیرد (Moradi *et al.*, 2013). برای جبران غلظت پایین فسفر در دسترس گیاهان در خاک ها که عمدتاً کمتر از

غلظت بهینه جذب می باشد (معمولاً کمتر از سه میلی مولار) می بایست از کودهای فسفره استفاده نمود (Ha and Tran, 2014). برای جبران کمبود فسفر و توزیع نامساوی قابلیت دسترسی فسفر معدنی در خاک ها، گیاهان مکانیسم های سازگاری مختلفی را برای رشد و کارایی عملکرد بهتر توسعه داده اند که از آنها می توان به موارد زیر اشاره کرد: افزایش جذب فسفر به واسطه تغییر در مرفولوژی و معماری ریشه (Tawaraya *et al.*, 2014, Younessi-Hamzekhanlu *et al.*, 2016)، همزیستی میکروارگانیسم ها (قارچ ها و باکتری ها) با ریشه گیاهان جهت جذب بیشتر فسفر (Lopez-Arredondo *et al.*, 2014)، تغییرات فیزیولوژی و بیوشیمیایی (Bustos *et al.*, 2010) و افزایش جذب فسفر در خاک به واسطه ترشح اسیدهای آلی، فسفاتازها، ریبونوکلازها به داخل ناحیه فراریشه (Wang *et al.*, 2014).

کود بیولوژیک به عنوان ماده ای حاوی میکروارگانیسم های زنده (باکتری، قارچ و...) تعریف می شود که؛ وقتی با بذرا، سطح گیاهان، یا خاک^۱ تلقیح می شوند، این میکروارگانیسم ها ناحیه فراریشه یا داخل سلول های ریشه گیاهان را احاطه کرده و رشد آنها را بوسیله افزایش تامین یا فراهمی مواد غذایی اولیه ارتقاء می دهند. باکتری ها در تجزیه فسفر نامحلول نسبت به قارچ ها موثرتر و فعال تر هستند (Alam *et al.*, 2002). در میان کل جمعیت میکروبی خاک، باکتری های حل کننده فسفات^۱ تا ۵۰ درصد، را تشکیل می دهند که قارچ های حل کننده فسفر^۲ تنها ۰/۱ تا ۰/۵ درصد پتانسیل تجزیه فسفات را دارند (Chen *et al.*, 2006). در میان جوامع باکتریایی خاک، گونه های بیرون ریشه ای^۳ سویه های *Bacillus* و *Pseudomonas* و همزیست

1- Seed Inoculation

2- Soil Inoculation

3- Phosphorus Solubilizing Fungi (PSF)

4- Ectorrhizospheric

زراعی در محدوده شهر ری (طول جغرافیایی $51^{\circ}27'$ $52.6''E$ ، عرض جغرافیایی $35^{\circ}32'35.43''N$ و ارتفاع ۱۰۱۹/۸ متر) را انتخاب و نمونه برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی متری سطح خاک انجام و نمونه ها به آزمایشگاه منتقل گردید، پس از هوا خشک نمودن خاک فسفر کل خاک نمونه ها بررسی و حاکی با فسفر کل بالا انتخاب و خاک برداری مجدد از مزرعه مورد نظر با فسفر کل بالا انجام و نمونه ها به آزمایشگاه منتقل گردید، پس از هوا خشک نمودن خاک و به منظور استفاده برای گلدان ها، از الک ۴ میلی متری عبور داده شد. مقداری از خاک نیز به منظور انجام عملیات آزمایشگاهی از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند (Olsen and Sommers, 1982).

تجزیه های فیزیکی و شیمیایی خاک

اسیدیته نمونه خاک در عصاره اشباع مورد مطالعه به کمک دستگاه اسیدیته متر مدل ELELA اندازه گیری شد. هدایت الکتریکی خاک در عصاره اشباع خاک به کمک هدایت سنج مدل JENWAY-4320 اندازه گیری شده و نتایج برحسب دسی زیمنس بر متر (dS/m) در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد گزارش شد (Rowell, 2014). برای تعیین کربن آلی خاک، روش والکلی و بلک مورد استفاده قرار گرفت (Walkley and Black, 1934). برای اندازه گیری نیتروژن کل از روش کجلدال استفاده گردید که درصد نیتروژن بعد از مراحل هضم، تقطیر و تیتراسیون به دست آمد (Rowell, 2014).

برای اندازه گیری فسفر قابل جذب در خاک، از روش اولسن وساماراس (Olsen and Sommers, 1982) استفاده گردید. از اسید آسکوربیک به عنوان احیا کننده استفاده شده و غلظت فسفر در محلول با استفاده از

درون ریشه ای *Rhizobium* به عنوان حل کننده های موثر فسفات توصیف شده اند (Igal et al., 2001). تحقیقات بسیار گسترده ای در دو دهه اخیر برای تهیه و تولید کودهای بیولوژیک و ریزجانداران ریزوسفری و اثرات مثبت آن ها روی محصولات زراعی و باغی صورت گرفته است و نتایج حاصله حاکی از سودمندی این کودها در امر تولید محصولات کشاورزی می باشد. این ریزجانداران ریزوسفری با مکانیسم های مختلفی باعث تغییرات فیزیولوژیک و مرفولوژیک در گیاه گشته و مجموعه این تغییرات روی رشد گیاه، تغذیه و سلامت گیاه اثر مثبت می گذارند. علاوه بر این استفاده از کودهای بیولوژیک اثرات مثبت روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نیز دارد؛ از جنبه های اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی نیز مثر ثمر واقع شده و می تواند به عنوان مکملی (حتی جایگزین) مناسب و مطلوب برای کودهای شیمیایی باشد. هدف از این تحقیق بررسی اثر استفاده از باکتری های تیوباسیلوس و گوگرد و کودهای آلی بر شکل های شیمیایی و جذب فسفر توسط ذرت و در نتیجه کاهش استفاده از کودهای فسفاته جهت تامین فسفات مورد نیاز خاک می باشد.

مواد و روش ها

محل انجام آزمایش

ابتدا نمونه ای خاک از مکان های پیش بینی شده مختلف جمع آوری گردید و در ادامه آزمایش های مختلف در شرایط گلخانه ای در شهر هشتگرد اجرا گردید.

انتخاب و نمونه برداری خاک

جهت انتخاب خاک مورد استفاده با توجه به اینکه از کود فسفر در این تحقیق استفاده نشده، چند زمین

جدول ۱ - ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه (۳۰ - ۰ سانتی متری)

Table 1- Physical and chemical characteristics of studied soil (0-30 m)

بافت خاک Soil texture	پتاسیم قابل جذب Uptakeable potassium ($\frac{mg}{kg}$)	فسفر قابل جذب Uptakeable phosphorus ($\frac{mg}{kg}$)	فسفر کل خاک Soil total phosphorus ($\frac{mg}{kg}$)	اسیدیته pH	نیتروژن Nitrogen (%)	ماده آلی Organic matter (%)	آهک Lime (%)	هدایت الکتریکی EC($\frac{dS}{m}$)
لومی شنی Sandy loam	152	15.1	1027	7.8	0.326	2.54	15	2.04

فسفات و تبدیل اشکال نامحلول فسفر به شکل های محلول (قابل جذب گیاه) و کم محلول بررسی کرد. میزان فسفر بحرانی قابل جذب برای گیاه ذرت با توجه به برآورد اولسن و ساماراس (Olsen and Sommers, 1982) برابر با ۱۸ mg/kg است. این خاک دارای ۱۵ درصد آهک بوده و همچنین بافت این خاک لوم شنی می باشد.

اعمال تیمارهای مورد نظر

آزمایش های مورد نظر در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ تیمار و سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش در جدول ۲ آمده است. جزئیات ترکیب تیمارهای بالا به صورت زیر می باشد (جدول ۳).

قبل از کشت گیاه گلدان ها شسته شد و به درون هر کدام از گلدان ها به اندازه ۳/۵ کیلوگرم خاک اضافه شد. به همراه خاک اضافه شده بر اساس هدف پژوهش و تعریف تیمارها از مواد آلی و گرانوله پودری به مقدار پنج درصد استفاده شد، همچنین به گلدان های هدف بر اساس نوع تیمار یک میلی لیتر از مایع تلقیح باکتری های تیوباسیلوس که شامل $10^8 \times 2$ سلول در هر میلی لیتر باکتری بود، تلقیح گردید. تلقیح تیوباسیلوس چند روز پس از کشت و در کنار جوانه ها صورت گرفت. کود آلی مورد استفاده کود مرغی بود که مشخصات آن به صورت زیر می باشد: میزان فسفر (۱/۸۸ mg/kg)،

دستگاه اسپکتروفتومتری مدل Shimadzu-U 73100 در طول موج ۷۲۰ نانومتر قرائت گردید. علاوه بر این شکل های مختلف فسفر در خاک های مورد آزمایش با استفاده از روش عصاره گیری متوالی فسفر بر اساس روش جیانگ و گو (Jiang and Go, 1989) شامل شش مرحله عصاره گیری تعیین شد. برای اندازه گیری پتاسیم قابل جذب، از استات آمونیوم (NH₄OAC) یک نرمال با اسیدیته = ۷ استفاده شد و مقدار پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر مدل ELE قرائت گردید (Rowell, 2014). برای اندازه گیری کربنات کلسیم معادل خاک از روش کلسیمتری^۵ استفاده شد که با استفاده از حجم گاز CO₂ تولیدی مقدار کربنات کلسیم معادل به دست آمد. بافت خاک با روش هیدرومتری تعیین گردید (Loveland and Whalley, 2000) درصد رطوبت اشباع خاک از طریق خشک کردن گل اشباع در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد تعیین شد. برای تعیین این پارامتر از دستگاه صفحه فشار استفاده گردید. برای تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک از روش پارافین مذاب استفاده شد (Pansu and Gautheyrou, 2007).

نتایج حاصل از تجزیه مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ نشان می دهد که خاک مورد نظر دارای فسفر کل بالا و در دسترس کمتر از میزان بحرانی می باشد. لذا می توان اثر تیمارهای مختلف را بر انحلال شکل های مختلف

5- Gas volumetric method

جدول ۲- تیمارهای کودی مورد بررسی

Table 2- Evaluated fertilizer treatments

نمونه (Sample)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
تیوباسیلوس (<i>Thiobacillus</i>)	0	1	0	1	0	1	0	1
گوگرد (Sulfur)	0	0	1	1	0	0	1	1
کود آلی (Organic fertilizer)	0	0	0	0	1	1	1	1

(۱) شاهد، control، (۲) تیوباسیلوس، *Thiobacillus* (۳) گوگرد، sulfur (۴) تیوباسیلوس+گوگرد، *Thiobacillus*+ sulfur (۵) کود آلی، Organic fertilizer (۶) تیوباسیلوس + کود آلی، Organic fertilizer (۷) گوگرد + کود آلی، sulfur+ organic fertilizer (۸) تیوباسیلوس + گوگرد + کود آلی، *Thiobacillus* + sulfur+ organic fertilizer

جدول ۳- جزئیات ترکیب تیمارهای مختلف

Table 3- Details of different treatment combinations

ترکیب (combination)	شماره number	شرح Description
کود آلی (Organic fertilizer)	0	بدون اضافه کردن کود آلی Without organic fertilizer
	1	اضافه کردن کود آلی به مقدار ۵ درصد Adding 5% organic fertilizer
گوگرد (sulfur)	0	بدون اضافه کردن گوگرد Without sulfur
	1	اضافه کردن کود گوگرد به مقدار ۵ درصد Adding 5% sulfur
تیوباسیلوس (<i>Thiobacillus</i>)	0	بدون اضافه کردن باکتری تیوباسیلوس Without <i>Thiobacillus</i>
	1	اضافه کردن باکتری تیوباسیلوس به مقدار 2×10^8 (gr خاک/باکتری) Adding 2×10^8 (bacterium/gr soil) <i>Thiobacillus</i>

ضد عفونی کردن بذرها، آن ها را به مدت ۱۵ ثانیه در الکل ۹۶ درصد قرار داده و در ادامه به مدت ۳ دقیقه در محلول کلرید جیوه قرار داده شدند و چندین مرتبه با آب مقطر استریل شستشو داده شدند. پس از شستشو، بذرها به درون پلیت های حاوی Water ager انتقال یافته و در داخل انکوباتور در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. پس از جوانه زدن بذرها، جوانه های سالم و غیر آلوده برای کشت استفاده گردید. در هر گلدان تعداد پنج بذر کشت گردید و سپس رطوبت آن به حد FC رسانده شد. قطر و ارتفاع

اسیدیته (۶/۹)، هدایت الکتریکی ۱۴/۳ ds/m، ماده آلی ۷۴/۳ درصد، و نیتروژن ۳/۹۲ درصد. همچنین لازم به توضیح می باشد که باکتری تیوباسیلوس با توان اکسایش و کاهش اسیدیته مناسب از بخش تحقیقات بیولوژی موسسه تحقیقات آب و خاک تهران تهیه گردید.

کشت گیاه

جهت آماده نمودن بذر جهت کشت، مقدار کافی از بذر در آب شستشو داده شد و سپس چند مرتبه با آب مقطر آبکش گردید. سپس به منظور

تجزیه و تحلیل داده ها

نتایج حاصله با نرم افزار SAS 9.2 تجزیه و جداول تجزیه واریانس مربوطه تهیه گردید. همچنین مقایسه میانگین داده ها، به روش آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح پنج درصد محاسبه شد.

نتایج و بحث

توزیع شکل های معدنی و آلی فسفر در خاک

نتایج توزیع شکل های معدنی و آلی فسفر در جدول ۴ نشان دهنده وجود مقدار زیاد فسفر کل، اکتا کلسیم فسفات و آپاتیت می باشد، اما با توجه به مقدار بحرانی فسفر قابل جذب برای ذرت (۱۸ میلی گرم در کیلوگرم) مقدار فسفر قابل جذب نشان دهنده کمبود فسفر جهت تغذیه ذرت می باشد، که احتمالاً می تواند به دلیل اسیدیته بالا و در نتیجه انحلال کم فسفر تثبیت شده به شکل های نامحلول باشد.

تجزیه واریانس اثر تیمارها بر صفات مورد بررسی گیاه ذرت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارها بر روی صفات مورد بررسی ذرت ارائه شده در جدول ۵ نشان داد که استفاده از تیمارها اثر معنی داری در

گلدان های استفاده شده در این آزمایش به ترتیب برای با ۲۵ و ۳۰ سانتیمتر بود. بری هر گلدان از ۵ کیلوگرم خاک استفاده شد. شرایط ذکر شده برای همه گلدان ها یکسان بود. بذر ذرت استفاده شده در این آزمایش رقم سینگل کراس 704 بود. پس از کاشت بذرها، آبیاری گلدان ها در زمان های لازم به طور یکنواخت روزی یکبار با آب مقطر انجام گرفت و عملیات کنترل علف های هرز برای کلیه تیمارها به طور یکنواخت و در مواقع مناسب انجام شد. در نهایت بعد از اتمام دوره داشت اندام هوایی و ریشه گیاه را برداشت نموده و رشد و عملکرد گیاه (طول، قطر ساقه، ارتفاع بوته و عملکرد ماده خشک) و همچنین طول و وزن ریشه اندازه گیری شد. ۵ گرم از ماده خشک گیاهی به منظور اندازه گیری فسفر (به روش کالریمتری) موجود در اندام هوایی گیاه استفاده شد. بعد از برداشت گیاه، یک نمونه از خاک هر یک از گلدان ها بعد از عبور از الک دو میلیمتری نیز جهت اندازه گیری برخی پارامترهای خاک به ویژه فسفر قابل دسترس، فسفر کل خاک، برخی شکل های آلی و شیمیایی فسفر تثبیت شده توسط اکسیدهای آلومینیوم و آهن و شکل های کربناتی فسفر، تهیه و اندازه گیری ها انجام شد.

جدول ۴- شکل های معدنی و آلی فسفر خاک تحت آزمایش قبل از اعمال تیمارها (کلیه مقادیر بر حسب میلی گرم در کیلوگرم)

Table 4- Mineral and organic types of tested soil phosphorus before application of treatments (all values are according to $mgKg^{-1}$)

فسفر کل Total phosphorus	فسفر قابل جذب Uptakeable phosphorus	فسفر آلی Organic phosphorus	Ca 10-P		
1024	15.1	288	384		
Ca g -P	Ca 2 -P	Ca Al -P	Ca Fe -P	Ca -o	
214	16.2	48	39	13	

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر خصوصیات مورفولوژیکی و فسفر جذب شده گیاه

Table 5- ANOVA of morphologic characteristics and Phosphorus uptake in shoot under applied treatments

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares					
		وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	رتفاع بوته Plant height	جذب فسفر در اندام هوایی Phosphorus uptake in shoot
Treatment تیمار	7	7.17**	1.93**	109.75*	19.22*	10.63**	0.0003**
Error خطا	16	0.968	0.193	41.13	6.6	2.36	0.00018

* و ** به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و یک درصد

به این صورت که این تیمار به صورت استفاده توام گوگرد با اکسید کننده گوگرد (تیوباسیلوس) به همراه پنج درصد مواد آلی باعث حداکثر وزن خشک ریشه به مقدار ۹/۳ گرم در گلدان گردید. در مقابل تیمارهای شاهد، باسیلوس و گوگرد کمترین وزن ریشه (به ترتیب ۷/۳، ۷/۱۴ و ۷/۴۱ گرم در گلدان) را داشتند.

مقایسه میانگین اثر تیمارها (شکل C۱) نشان داد که بالاترین وزن تر اندام هوایی با مقدار ۱۴۲/۲ گرم در گلدان مربوط به تیمار تیوباسیلوس + گوگرد + کود آلی و کمترین وزن تر اندام هوایی مربوط به شاهد با ۱۲۵/۵۲ گرم در گلدان بود. تیمار کود آلی با وزن تر اندام هوایی ۱۴۰/۱ بعد از تیمار هشت بیشترین عملکرد را داشت که احتمالاً می تواند به دلیل تعدیل و نگهداری رطوبت و همچنین تاثیر مواد معدنی موجود در مواد آلی و جذب توسط گیاه و در نتیجه افزایش وزن تر اندام هوایی باشد.

استفاده از باکتری تیوباسیلوس و گوگرد به همراه مواد آلی و همچنین استفاده از تیوباسیلوس به همراه مواد آلی باعث افزایش معنی دار وزن تر ریشه ذرت به ترتیب به میزان ۳۲/۱۹ و ۳۲/۱۲ نسبت به سایر تیمارها شد (شکل D۱) همچنین تیمارهای شاهد و تیمار گوگرد به ترتیب با میانگین های

افزایش وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، ارتفاع بوته و جذب فسفر توسط اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد و بر وزن تر اندام هوایی و ریشه در سطح احتمال پنج درصد داشت.

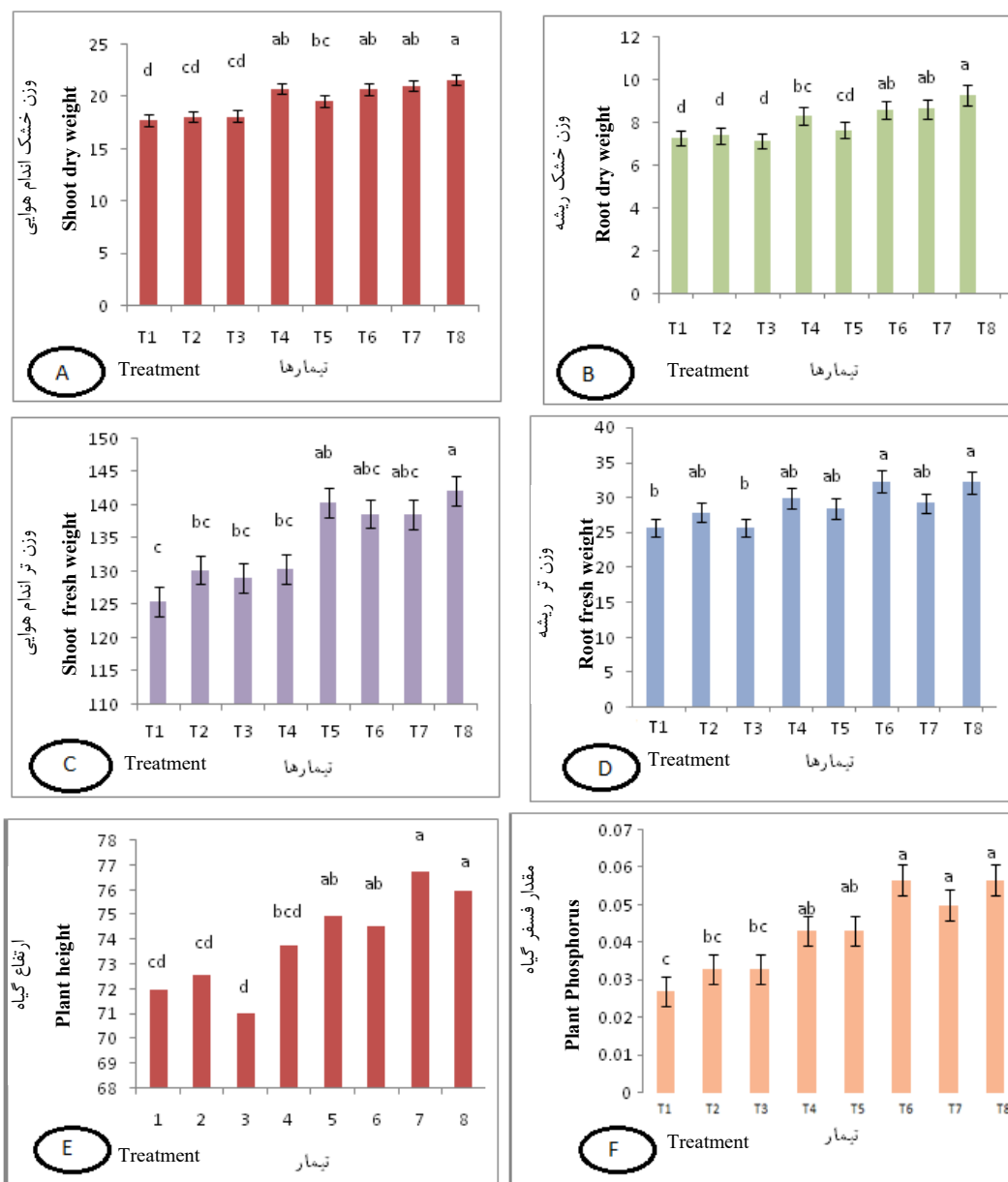
اثر تیمارهای مختلف بر خصوصیات مورفولوژیکی و فسفر جذب شده گیاه

مقایسه میانگین عملکرد اندام هوایی بین تیمارها نشان دهنده حداکثر عملکرد در تیمار تیوباسیلوس + گوگرد + کود آلی با عملکرد ۲۱/۶ گرم در گلدان و کمترین عملکرد مربوط به شاهد با عملکرد ۱۷/۷۸ گرم در گلدان و تیمارهای تیوباسیلوس و گوگرد می باشد (شکل A۱). این مساله نشان می دهد در صورتی که در خاک های آهکی با فسفر کل و اسیدیته بالا از تیوباسیلوس و گوگرد به همراه مواد آلی استفاده شود می تواند در تجزیه شکل های نامحلول و کم محلول فسفر به شکل های قابل جذب برای گیاه مفید واقع شده و باعث افزایش عملکرد گیاه گردد.

مقایسه میانگین نتایج حاصل از اعمال تیمارها بر وزن خشک ریشه ذرت حاکی از تاثیر مثبت و معنی دار تیمار تیوباسیلوس + گوگرد + کود آلی بر روی وزن خشک اندام هوایی می باشد (شکل B۱).

بوته ذرت با ۷۶/۶۴ و ۷۶ به ترتیب مربوط به تیمار گوگرد + کود آلی و تیوباسیلوس + گوگرد + کود آلی و کمترین ارتفاع در تیمار تیوباسیلوس و شاهد

۲۵/۷۵ و ۲۵/۶۴ کمترین وزن تر ریشه را داشتند. بین تیمارها اختلاف معنی داری از لحاظ ارتفاع بوته وجود داشت به گونه ای که بیشترین ارتفاع



شکل ۱- اثر تیمارهای مختلف بر A- وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان)، B- وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)، C- وزن تر اندام هوایی (گرم در گلدان)، D- وزن تر ریشه (گرم در گلدان)، E- ارتفاع بوته (سانتیمتر)، و F- مقدار فسفر جذب شده در گیاه (میلی گرم در کیلو گرم). میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ می باشند.

Figure 1. Effect of different treatments on A- shoot dry weight (gr/pot), B- root dry weight (gr/pot), C- shoot fresh weight (gr/pot), D- root fresh weight (gr/pot), E- Plant height (cm), F- Plant phosphorus (mgr/Kg). Treatments with at least one common letter in each column do not have significant difference at 5% level

جدول ۶- تجزیه واریانس شکل‌های آلی و معدنی فسفر اندازه گیری شده تحت تاثیر تیمارهای اعمال شده
Table 6- ANOVA of mineral and organic types of measured phosphorus under applied treatments

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares							
		فسفر قابل جذب Uptakeable phosphorus	دی کلسیم فسفات Dicalcium phosphate	اکتا کلسیم فسفات Octacalcium phosphate	فسفر آپاتایت Apatite phosphorus	فسفر پیوندی با آهن Phosphorus joint to Fe	فسفر پیوندی با آلومینیوم Phosphorus joint to Al	فسفر آلی Organic phosphorus	فسفر کل Total phosphorus
تیمار (Treatment)	7	5.56**	0.7**	25.3**	3.88**	2.09**	0.86**	4.16**	16.47**
خطا (Error)	16	0.0042	0.1	2.29	0.66	0.36	0.2	0.83	1.29

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و یک درصد

به تیمار تیوباسیلوس + گوگرد + کود آلی با ۱۶/۲۲ میلی گرم بر کیلوگرم خاک می باشد که به مقدار چهار میلی گرم فسفر قابل دسترس بیشتری نسبت به شاهد داشت. بعد از این، تیمارهای گوگرد + کود آلی و تیوباسیلوس + گوگرد به ترتیب با مقدار ۱۵/۸۲ و ۱۵/۷۱ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر قابل دسترس گیاه در خاک بین دیگر تیمارها بیشترین مقدار را داشتند و کمترین مقدار فسفر قابل دسترس این پژوهش مربوط به تیمار شاهد با مقدار فسفر ۱۲/۴۶ گرم بر کیلوگرم بود.

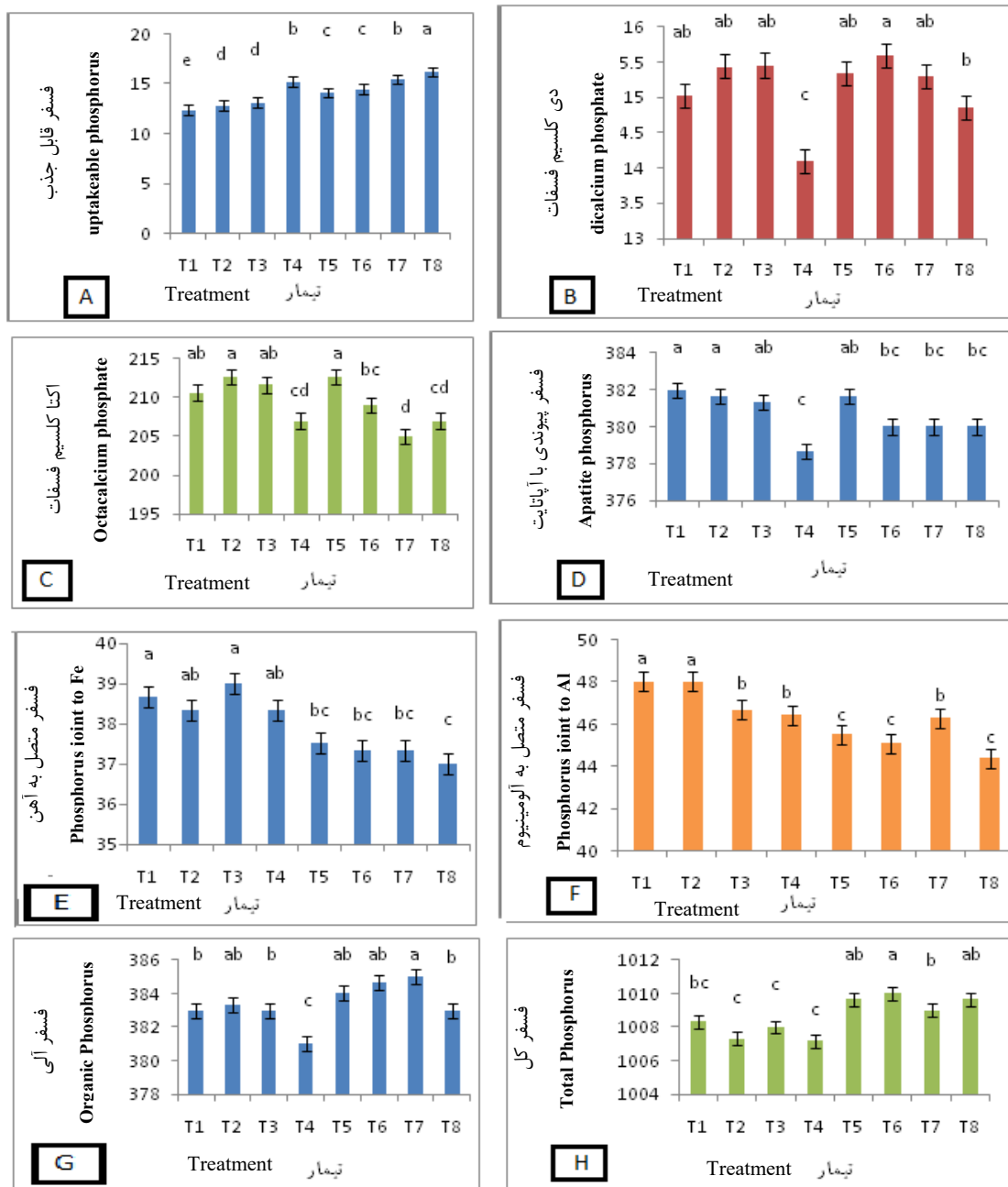
از نظر ترتیب تجزیه شکل های مختلف فسفر در خاک های آهکی، دی کلسیم فسفات مستعدترین شکل جهت تجزیه و در دسترس قرار گرفتن گیاه می باشد. نتایج (شکل B۲) نشان داد که استفاده از تیمارهای مختلف اثر معنی داری بر تجزیه دی کلسیم فسفات و تبدیل آن به شکل های قابل دسترس گیاه داشته است، به گونه ای که تیمار گوگرد + تیوباسیلوس بیشترین تاثیر را در تجزیه این شکل فسفر و در نتیجه تبدیل آن به شکل قابل استفاده برای گیاه داشته است. بعد از این تیمار تیمار تیوباسیلوس + گوگرد + کود آلی بیشترین تاثیر را در تجزیه دی کلسیم فسفات و تبدیل آن به شکل های محلول داشته است. با توجه به نتایج ارائه شده

به ترتیب با ۷۱/۰۶ و ۷۱/۹۹ سانتی متر بود. (شکل E۱) تمامی تیمارهای اعمال شده باعث افزایش فسفر گیاه شدند، به طوری که در تیمارهای تیوباسیلوس + گوگرد + کود آلی، گوگرد + کود آلی، تیوباسیلوس + کود آلی، کود آلی و تیوباسیلوس این تفاوت نسبت به شاهد معنی دار بود. بیشترین مقدار فسفر جذب شده مربوط به تیمار های تیوباسیلوس + گوگرد + کود آلی با مقدار ۰/۵۶۷ گرم بر کیلوگرم و کمترین مقدار جذب مربوط به تیمار شاهد با مقدار ۰/۲۷۶ گرم بر کیلوگرم بود (F۱).

بررسی اثر استفاده از تیمارهای متفاوت بر تغییر شکل های فسفر معدنی و آلی

تجزیه واریانس اثر استفاده از تیمارهای مختلف بر تغییر شکل های فسفر معدنی و آلی در جدول ۶ نشان دهنده اثر معنی دار تیمارها در سطح احتمال یک درصد بر تغییر اجزای معدنی و آلی فسفر به شکل های قابل جذب برای گیاه می باشد.

نتایج تاثیر تیمارها بر فسفر قابل جذب نشان می دهند که در اثر کاربرد تیمارها فسفر قابل دسترس در سطح احتمال پنج درصد نسبت به شاهد افزایش معنی داری یافته است (شکل A۲). بیشترین مقدار فسفر قابل جذب برای گیاه مربوط



شکل ۲- اثر تیمارهای اعمال شده بر A- فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)، B- دی کلسیم فسفات (میلی گرم بر کیلوگرم)، C- اکتا کلسیم فسفات (میلی گرم بر کیلوگرم)، D- فسفر پیوندی با آپاتیت (میلی گرم بر کیلوگرم)، E- فسفر پیوندی با آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)، F- فسفر پیوندی با آلومینیوم (میلی گرم بر کیلوگرم)، G- فسفر پیوندی با مواد آلی (میلی گرم بر کیلوگرم)، H- فسفر کل (میلی گرم بر کیلوگرم). میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می باشند.

Figure2. Effect of different treatments on A- uptakeable phosphorus (mgr/kg), B- dicalcium phosphate (mgr /kg), C- Octacalcium phosphate (mgr /kg), D- Apatite phosphorus (mgr /kg), E- Phosphorus joint to Fe (mgr /kg), F- Phosphorus joint to Al (mgr /kg), G- Organic phosphorus (mgr /kg), and H- total phosphorus (mgr /kg). Treatments with at least one common letter in each column do not have significant difference at 5% level

می توان عنوان کرد که کمترین تاثیر در انحلال این شکل فسفر به شکل محلول مربوط به تیمار کود آلی + تیوباسیلوس است.

اکتا کلسیم فسفات در خاک مورد مطالعه این پژوهش بعد از آپاتیت بیشترین مقدار را در بین شکل های معدنی فسفر به خود اختصاص داده است و هم اینکه این شکل معدنی فسفر بعد از دی کلسیم فسفات مستعد ترین شکل معدنی فسفر جهت تبدیل به شکل های محلول و در نتیجه قابل جذب برای گیاه می باشد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که تیمار گوگرد + کود آلی بیشترین تاثیر را در تجزیه این شکل از فسفر به شکل های کم محلول و محلول فسفر داشته است و بعد از این تیمار تیمارهای تیوباسیلوس + گوگرد و تیوباسیلوس + گوگرد + کود آلی بیشترین تاثیر در انحلال اکتا کلسیم فسفر داشت (شکل C۲).

نتایج نشان دهنده نقش موثر تیمار تیوباسیلوس + گوگرد در تجزیه فسفر پیوندی با آپاتیت می باشد. بعد از این تیمار تیمارهای تیوباسیلوس + کود آلی، گوگرد + کود آلی و تیوباسیلوس + گوگرد + کود آلی تاثیر مشابهی در تجزیه این شکل از فسفر داشتند (شکل D۲).

با وجود اینکه خاک مورد استفاده در این پژوهش مقدار فسفر پیوند یافته با آهن کمتری دارد، اما از آنجایی که مواد آلی دارای ظرفیت کلاته کننده معنی داری هستند که فعالیت کاتیون های چند ظرفیتی مانند (آهن، آلومینیم و کلسیم) را در تثبیت فسفر کم می کنند تا با تشکیل کمپلکس آلی/فلزی، فسفر را از شکل های تثبیت شده آن به محلول خاک آزاد کنند. نتایج حاصل شده از این آزمایش (شکل E۲) نیز حاکی از آن است که با وجود مقدار کم فسفر تثبیت شده با آهن استفاده از مواد آلی اثر معنی داری در آزاد شدن فسفر پیوند یافته با اکسیدهای آهن داشته به گونه ای که تیمار تیوباسیلوس + گوگرد +

کود آلی بیشترین اثر را در آزادسازی فسفر محبوس شده توسط اکسیدهای آهن داشته و بعد از این تیمار، تیمارهای گوگرد + کود آلی، تیوباسیلوس + کود آلی و کود آلی به ترتیب اثر معنی داری داشتند و تیمار گوگرد اثری در آزادسازی این شکل از فسفر نداشت. نتایج نشان می دهد که استفاده از تیمارهای کود آلی، تیمار تیوباسیلوس + گوگرد + کود آلی و تیوباسیلوس + کود آلی بیشترین اثر را در آزادسازی فسفر تثبیت شده توسط آلومینیوم داشته اند و تیوباسیلوس به تنهایی در آزادسازی فسفر جذب شده توسط آلومینیوم همانند تیمار شاهد اثری نداشت (F۲).

نتایج نشان داد که تیمار تیوباسیلوس + گوگرد موثرترین تیمار در تبدیل شکل آلی فسفر به شکل های معدنی می باشد (شکل G۲).

تیمار تیوباسیلوس + کود آلی و بعد از آن تیمارهای تیوباسیلوس و گوگرد به تنهایی بیشترین تاثیر را در کاهش یا تغییر شکل های غیر قابل جذب فسفر به شکل های قابل جذب توسط گیاه داشته و باعث کاهش بیشتر فسفر کل خاک نسبت به سایر تیمارها می شوند (شکل H۲). نکته مهم دیگر، با توجه به اینکه تیمارهای تیوباسیلوس + گوگرد + کود آلی، گوگرد + کود آلی، تیوباسیلوس + کود آلی و کود آلی نسبت به سایر تیمارها از لحاظ شاخص های دیگر عملکرد بهتری داشتند و انتظار بر کاهش فسفر بیشتر این تیمارها نسبت به سایر تیمارها بود، اما نتایج به شکلی بود که بیشترین کاهش مربوط به سایر تیمارها بود که می تواند به دلیل اضافه شدن فسفر ناشی از مواد آلی موجود در این تیمارها باشد. نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از مواد آلی و باکتری تیوباسیلوس به همراه گوگرد بیشترین تاثیر را نسبت به دیگر تیمارها و از جمله شاهد در افزایش رشد و توسعه و در نتیجه وزن خشک ریشه

ذرت داشت. افزایش اندازه طول ریشه باعث افزایش سطح تماس ریشه با خاک می شود. از آنجائی که حرکت فسفر در خاک بسیار محدود است و غالباً به صورت پخشیدگی می باشد، لذا افزایش سطح تماس ریشه می تواند تاثیر مثبت بر جذب فسفر خاک بگذارد. نتایج مطالعه دیگر نیز نشان داد که ریشه گیاه به عنوان اندام جذب آب و عناصر غذایی از خاک و اندام تولید کننده ترکیبات مختلف از جمله هورمون های رشد، برای رشد و نمو گیاه از اهمیت ویژه ای برخوردار است و توسعه بیشتر ریشه می تواند در جذب بیشتر فسفر موثر باشد (Lopez-Arredondo et al., 2014). بررسی اثرات مثبت کاربرد کودهای بیولوژیک بر شاخص های رشد ریشه از جمله افزایش سطح کل ریشه، وزن خشک ریشه، طول ریشه، تعداد ریشه های فرعی، تعداد و تراکم تارهای کشنده همچنین افزایش تقسیم سلول های مریستم ریشه و تحریک تراوشات از ریشه گیاهان مختلف را نشان داد (Wang et al., 2014). یافته های این پژوهش نیز نشان داد که استفاده توام از کود آلی، باکتری تیوباسیلوس و گوگرد باعث افزایش معنی داری در شاخص های اندازه گیری شده ذرت شدند به ویژه این که استفاده توام هر سه مورد و همین طور استفاده توام گوگرد و باکتری تیوباسیلوس احتمالاً به دلیل تاثیر بر کاهش اسیدیته و در نتیجه اثر بر انحلال و آزادسازی ترکیبات جذب سطح و رسوبی فسفر باعث افزایش شاخص های اندازه گیری شده، شدند. آزاد شدن فسفر توسط میکروارگانیسم ها از فرم نامحلول و تثبیت شده یا شکل های جذب نشده یک جنبه مهم در رابطه با در دسترس بودن فسفر در خاک است. نتایج مطالعه دیگری نیز نشان می دهد که میکروارگانیسم های خاک دارای پتانسیل معدنی کردن فسفر آلی و انحلال فسفر معدنی یا غیرآلی (تثبیت شده در خاک های اسیدی و قلیایی) بوده و از این طریق فسفر در دسترس گیاهان را افزایش

می دهند (Chen et al., 2006). میکروارگانیسم های تولید کننده اسید قادر به افزایش انحلال فسفر تثبیت شده در خاک هستند نتایج این آزمون نیز نشان دادند که استفاده از کود آلی مرغی و همین طور بیولوژیکی علاوه بر تاثیر بر رشد و توسعه ریشه بر تولید ماده خشک اندام هوایی گیاه نیز مفید واقع شده و باعث افزایش معنی دار رشد شدند به گونه ای که تیمار تیوباسیلوس + گوگرد + کود آلی باعث افزایش معنی دار تولید ماده خشک، وزن تر اندام هوایی و ریشه شد بعد از این تیمار، تیمارهای حاوی مواد آلی اثر مثبت و معنی داری در افزایش عملکردها نسبت به تیمار شاهد داشتند این احتمال وجود دارد که با افزایش رشد گیاه میزان ترشحات ریشه (اسیدهای آلی، قندها، انزیم ها، هورمون ها و...) به محیط ریزوسفر افزایش یافته که این ترشحات علاوه بر بهبود شرایط خاک باعث افزایش فراهمی عناصر غذایی به صورت متعادل می شود (Rahman et al., 1971). مشابه نتایج این تحقیق، توحیدی مقدم و همکاران (۱۳۸۶) نیز در تحقیق مزرعه ای به منظور بهینه سازی مصرف کودهای فسفاته با کاربرد باکتری های حل کننده فسفات (*Bacillus lentus* و *Pseudomonas putida*) در زراعت ذرت دانه ای، به این نتیجه رسیدند که استفاده از باکتری های حل کننده فسفات به همراه مقادیر مطلوب کود فسفر علاوه بر تاثیر معنی دار روی شاخص های اندازه گیری شده (تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در هر ردیف، تعداد دانه در هر بلال، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد روغن و درصد فسفر دانه) میزان مصرف کودهای فسفاتی را نیز تا ۵۰ درصد کاهش می دهد (Tohidmoghadam et al., 2007). افزایش ارتفاع گیاه، یکی از معیارهای اندازه گیری شده ذرت در این مطالعه بود که نشان دهنده نقش موثر استفاده از تیمارهای آلی در افزایش ارتفاع بوته می باشد. ایوانووا و همکاران (۲۰۰۶) نیز در آزمایشات

در خاک های با فسفر کل بالا می توان استفاده کرد در خاک های با فسفر کل پایین به همراه سنگ فسفات (آپاتیت) هم می توان استفاده کرد. در مورد تجزیه فسفر پیوندی با آهن و آلومینیوم تیمارهای حاوی کود آلی بیشترین اثر را در کاهش مقدار فسفر پیوندی با این عناصر را نسبت به شاهد و همچنین مقدار فسفر پیوندی با این عناصر قبل از آزمایش داشتند. نتایج این پژوهش نشان دهنده تاثیر معنی دار تیمار مربوط به استفاده توام از تیوباسیلوس به همراه گوگرد بر تجزیه شکل آلی فسفر و تبدیل آن به شکل معدنی می باشد. والپولا و یون (۲۰۱۲) نیز نشان دادند که باکتری های *Bacillus* و *Streptomyces ssp.* قادر به معدنی کردن فسفر آلی خاک از طریق تولید آنزیم های برون سلولی مثل فسفواسترازها، فسفو دی استرازها، فیتازها و فسفولیپازها هستند (Walpola and Yoon, 2012). به طور کلی نتایج این مطالعه نشان می دهد که استفاده از باکتری های تیوباسیلوس به همراه گوگرد و کود آلی باعث افزایش جذب فسفر از خاک و بهبود وضعیت ذرت از نظر میزان فسفر قابل جذب می شود که می تواند در مقیاس بزرگ باعث کاهش استفاده از کودهای شیمیایی گردد.

خود گزارش نمودند که تثبیت نیتروژن و انحلال فسفات می تواند منجر به افزایش رشد و ارتفاع بوته گردد. از طرفی به طبع افزایش ارتفاع بوته، افزایش وزن تر گیاه نیز صورت می گیرد (Ivanova et al., 2006). نتایج این تحقیق نشان داد، که استفاده توام از مواد آلی و گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس باعث افزایش افزایش زیست توده ذرت می شود. این تیمار به همراه تیمارهای گوگرد + باکتری تیوباسیلوس و گوگرد + کود آلی بیشترین اثر را بر قابلیت دسترسی به فسفر توسط گیاه، احتمالاً به دلیل اثر بر اسیدیته خاک دارد. همچنین وجود مواد آلی به دلیل نقشی که بر تشکیل کمپلکس های فسفات با آنیون های آلی دارد موثر واقع می شود. علاوه بر این در تیمارهای مربوط به مواد آلی مقداری فسفر به دلیل وجود مقداری فسفر در این کود به خاک افزوده می شود. نتایج این آزمایش همچنین نشان دهنده نقش موثر تیمار باکتری تیوباسیلوس + گوگرد بر تجزیه و کاهش مقدار فسفر پیوندی با دی و اکتا کلسیم فسفات و آپاتیت و در نتیجه افزایش فسفر محلول در خاک بود. از آنجایی که این نقش موثری بر تجزیه فسفر پیوندی با آپاتیت داشت بنابراین می توان نتیجه گرفت که علاوه بر این که از این تیمار

REFERENCES

- Alam, S., Khalil, S., Ayub, N. and Rashid, M. 2002. In vitro solubilization of inorganic phosphate by phosphate solubilizing microorganisms (PSM) from maize rhizosphere. *International Journal of Agriculture and Biology*, 4, 454-458.
- Bustos, R., Castrillo, G., Linhares, F., Puga, M. I., Rubio, V., Pérez-Pérez, J., Solano, R., Leyva, A. and Paz-Ares, J. 2010. A central regulatory system largely controls transcriptional activation and repression responses to phosphate starvation in Arabidopsis. *PLoS genetics*, 6, e1001102.
- Chen, Y., Rekha, P., Arun, A., Shen, F., Lai, W.-A. and Young, C. 2006. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. *Applied Soil Ecology*, 34, 33-41.
- Golmohammad, H., Ramezani, H. and Rezapour, S. 2016. Study on Some Soil Properties as Affected by Different Slope Position and Aspect in Mountainous Landform with Different Parent Materials in Masouleh. *Water and Soil Science* 26, 53-63. (in persian).
- Ha, S. and Tran, L.-S. 2014. Understanding plant responses to phosphorus starvation for improvement of plant tolerance to phosphorus deficiency by biotechnological approaches. *Critical Reviews in Biotechnology*, 34, 16-30.
- Igual, J., Valverde, A., Cervantes, E. and Velázquez, E. 2001. Phosphate-solubilizing

- bacteria as inoculants for agriculture: use of updated molecular techniques in their study. *Agronomie*, 21, 561-568.
- 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.
- Kong, Y., Li, X., Ma, J., Li, W., Yan, G. and Zhang, C.** 2014. GmPAP4, a novel purple acid phosphatase gene isolated from soybean (*Glycine max*), enhanced extracellular phytate utilization in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Reports*, 33, 655-667.
- Lopez-Arredondo, D. L., Leyva-González, M. A., González-Morales, S. I., López-Bucio, J. and Herrera-Estrella, L.** 2014. Phosphate nutrition: improving low-phosphate tolerance in crops. *Annual Review of Plant Biology*, 65, 95-123.
- Loveland, P. J. and Whalley, W. R.** 2000. Particle size analysis. *Soil Analysis-Physical Methods*, 12:281-314.
- Mehra, P., Pandey, B. K. and Giri, J.** 2015. Genome-wide DNA polymorphisms in low Phosphate tolerant and sensitive rice genotypes. *Scientific Reports*, 5: p. 13090
- Moradi, R., Koocheki, A., Mahallati, M. N. and Mansoori, H.** 2013. Adaptation strategies for maize cultivation under climate change in Iran: irrigation and planting date management. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18, 265-284.
- Olsen, S.R. and Sommers L.E.** 1982. Phosphorous. Pp. 423-424. In: *Methods of soil analysis (2nded) part2*. *Soil Science Society of America*, Madison, WI.
- Pansu, M. and Gautheyrou, J.** 2007. *Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods*, Springer Science & Business Media.
- Rahman, A. A., Shalaby, A. and El Monayeri, M.** 1971. Effect of moisture stress on metabolic products and ions accumulation. *Plant and Soil*, 34, 65-90.
- Rowell, D. L.** 2014. *Soil science: Methods & applications*, Routledge.
- Spohn, M., Ermak, A. and Kuzyakov, Y.** 2013. Microbial gross organic phosphorus mineralization can be stimulated by root exudates—A 33 P isotopic dilution study. *Soil Biology and Biochemistry*, 65, 254-263.
- Tawaraya, K., Horie, R., Shinano, T., Wagatsuma, T., Saito, K. and Oikawa, A.** 2014. Metabolite profiling of soybean root exudates under phosphorus deficiency. *Soil Science and Plant Nutrition*, 60, 679-694.
- Tohidimoghadam, H., Ghushchi, F., Hamidi, A. and Kasraei, P.** 2007. The effect of biofertilizers on quantity and quality of soybean cultivar Williams. *Agricultural Science of Iran*, 4, 205-206 (In persian).
- Walkley, A. and Black, I.A.** 1934. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 29-38.
- Walpola, B. C. and Yoon, M.-H.** 2012. Prospectus of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus availability in agricultural soils: A review. *African Journal of Microbiology Research*, 6, 6600-6605.
- Wang, S., Zhang, S., Sun, C., Xu, Y., Chen, Y., Yu, C., Qian, Q., Jiang, D. A. and Qi, Y.** 2014. Auxin response factor (OsARF12), a novel regulator for phosphate homeostasis in rice (*Oryza sativa*). *New Phytologist*, 201, 91-103.
- Xie, J., Zhou, J., Wang, X. and Liao, H.** 2015. Effects of transgenic soybean on growth and phosphorus acquisition in mixed culture system. *Journal of Integrative Plant Biology*, 57, 4. 77-85.
- Younessi-Hamzekhanlu, M., Izadi-Darbandi, A., Malboobi, M. A. and Ebrahimi, M.** 2016. Improving Phosphorus Efficiency in Crops with Focus on Purple Acid Phosphatase: Potentials and Perspective. *Journal of Plant Molecular Breeding*, 4, 55-69.
- Zhang, Z., Liao, H. and Lucas, W. J.** 2014. Molecular mechanisms underlying phosphate sensing, signaling, and adaptation in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 56, 192-220.

Effects of *Thiobacillus*, sulfur and organic fertilizer on phosphorus absorption in *Zea mays*

Mehdi Younessi-Hamzekhanlu¹, Meisam Pashaei², Ali Khanmirzaei^{*3}, Fatemeh Shakourifar⁴,
Mohammad Esmailpour¹, and Mohsen Sabzi Nojedeh¹

1- Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Ahar, Iran

2- M.Sc. Graduate, Soil Chemistry, Fertilization and Fertilizers, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Karaj, Karaj, Iran

3- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Karaj, Karaj, Iran

4- M.Sc. Graduate, Plant Protection, University of Tehran, College of Aburaihan, Tehran, Iran

*Corresponding Author Email: alikhanmirzai@yahoo.com

Receive: April 26, 2017; Revise: July 19, 2017; Accept: September 5, 2017

ABSTRACT

To investigate simultaneous effects of *Thiobacillus* bacteria, sulfur, and organic fertilizer treatments on chemical forms and quantity of phosphorus absorption by corn, an experiment was conducted based on completely randomized design using eight treatments and three replications in a greenhouse located in Hashtgerd, in 2014. Treatments included control, *Thiobacillus*, sulfur, organic fertilizer, and two ways and three ways combinations of these factors. Results showed that the highest and lowest yield, root dry weight, root fresh weight, shoot weight, and phosphorus uptake were obtained in the *Thiobacillus* + sulfur + organic fertilizer treatment and control treatment (without any added *Thiobacillus*, sulfur, and organic fertilizer), respectively. *Thiobacillus* + sulfur + organic fertilizer treatment caused significant change in inorganic and organic phosphorus elements and enhanced available phosphorus in soil, so that the highest available phosphorus was related to the treatment number eight with 16.22 mg/kg soil and this treatment showed four more mg of available phosphorus compared with control treatment. On the other hand, the *Thiobacillus* + sulfur treatment resulted in more reduction in mineral forms of phosphorus including dicalcium phosphate and apatite joint phosphorus compared with other treatments. The most organic and total phosphorus in soil was observed in sulfur + organic phosphorus and *Thiobacillus* + organic phosphorus treatment, respectively. Taken together, results of this study showed that using *Thiobacillus* bacteria along with sulfur and organic fertilizer would result in enhanced phosphorus uptake and improved phosphorus status in the plant, which would cause more reduction in chemical fertilizers in extensive scale.

Keywords: Biomass; Chemical fertilizers; Element fixation; Soil

How to cite this article

Younessi-Hamzekhanlu M, Pashaei M, Khanmirzaei A, Shakourifar F, Esmailpour M, Sabzi Nojedeh M. *Thiobacillus*, Sulfur, and Organic Fertilizer Effects on Phosphorus Absorption by *Zea mays*. *J Crop Sci Res Arid Reg*, 2017; 1(2):248-262.

DOI: [10.22034/csrar.01.02.10](https://doi.org/10.22034/csrar.01.02.10)

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the CSRAR Journal. The content of this article is distributed under CSRAR open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0) License. For more information, please visit <http://cropscience.uoz.ac.ir/?lang=en>.