تأثیر توأم مصرف گوگرد، ماده آلی و باکتری تیوباسیلوس بر فراهمی برخی عناصر غذایی در سایه‌انداز درختان گردو

علی خانمیرزایی(نویسنده مسئول)[۱*]، شکوفه رضایی[۲] و مسعود محمودی[۳]

۱*- استادیار، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران،
Alikhanmirzai@yahoo.com

۲- استادیار، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران،
Rezaee_sh@yahoo.com

۳- کارشناسی‌ارشد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران،
Mahmoudimasoud41@yahoo.com

تاریخ دریافت: تیر ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۴۰۰

Sulfur, organic matter and *Thiobacillus* application on the some nutrient availability in soil beneath walnut trees

Ali Khanmirzaei(Corresponding author)[1*], Shekoofeh Rezaei[2] and Masoud Mahmoudi[3]

1*- Assistant Professor, Department of Soil Science, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran,
Alikhanmirzai@yahoo.com

2- Assistant Professor, Department of Soil Science, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran,
Rezaee_sh@yahoo.com

3- M. Sc, Department of Soil Science, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran,
Mahmoudimasoud41@yahoo.com

Received: July 2021 Accepted: September 2021

چکیده

وجود کربنات کلسیم فراوان و واکنش خاک قلیایی در اغلب خاک‌های کشور، فراهمی زیستی برخی از عناصر برای گیاهان را کاهش داده است. استفاده از اصلاح کننده‌هایی مانند گوگرد و ماده آلی می‌تواند موجب بهبود وضعیت عناصر غذایی در خاک شود. بدین منظور آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۸ تیمار و ۳ تکرار بر خاک سایه‌انداز درختان گردو اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل باکتری تیوباسیلوس در دو سطح (بدون تلقیح و با تلقیح)، گوگرد در سه سطح (صفر، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) و ماده آلی در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) بودند. نتایج نشان داد تیمار گوگرد بر pH خاک در سطح یک درصد و بر فسفر و آهن قابل جذب در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. بیشترین مقدار فسفر (۹/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و آهن قابل جذب (۶/۳۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار ۲۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار مشاهده شد. تیمار ماده آلی بر pH و روی قابل جذب خاک در سطح ۵ و بر فسفر و آهن قابل جذب در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. با افزایش سطح ماده آلی، pH کاهش یافت. بیشترین مقدار فسفر، آهن و روی قابل جذب در تیمار ۱۰ تن در هکتار ماده آلی مشاهده شد. تلقیح با باکتری تیوباسیلوس موجب کاهش pH خاک و افزایش فسفر قابل جذب خاک شد. بر اساس نتایج، مصرف توأم گوگرد، تیوباسیلوس و ماده آلی می‌تواند موجب افزایش قابلیت جذب عناصر فسفر، آهن و روی در سایه انداز درختان گردو شود.

کلمات کلیدی: تیوباسیلوس، عناصر غذایی، گردو، گوگرد.

Abstract

The presence of abundant calcium carbonate and alkaline soil reaction in most of the country's soils has reduced the bioavailability of some elements for plants. The application of some soil amendments such as sulfur and organic matter can improve the nutrient status of the soil. For this purpose, a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with 18 treatments and 3 replications on the underground soil of walnut trees. The experimental factors included *Thiobacillus* at two levels (without inoculation and with inoculation), sulfur (S) at three levels (0, 1000 and 2000 kg. ha^{-1}) and organic matter (OM) at three levels (0, 5 and 10 T. ha^{-1}). The results showed that S treatment significantly affects soil pH ($p < 0.01$), P ($p < 0.05$) and iron (Fe) concentration on soils beneath the tree covers ($p < 0.05$). The highest P concentration (9.06 mg / kg) and available Fe (6.34 mg / kg) was observed in the treatment of 2000 kg. ha^{-1} of sulfur. Organic matter treatment significantly has changed the soil pH ($p < 0.01$), available Zn ($p < 0.01$) and plant available P and Fe concentration in soils beneath the tree covers. As the level of applied OM increased, the soil pH decreased. The highest concentration of available P, Fe and Zn was observed in the treatment of 10 tons per hectare of OM. Inoculation with *Thiobacillus* bacteria decreased the soil pH and increased soil available P concentration. According to the results, the simultaneous application of S, *Thiobacillus* and OM can increase the phytoavailability of P, Fe and Zn in soils beneath the walnut trees.

Keywords: Nutrient, Sulfur, Thiobacillus, Walnut.

مقدمه و کلیات

گردوی ایرانی (*Juglans regia* L.) یکی از مهم‌ترین گونه‌های گردو بوده که به صورت چندمنظوره کشت شده و در باغبانی، جنگل‌کاری، داروسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Salcedo *et al*., 2010). گردو درختی یک پایه، نور پسند، نسبتا مقاوم به خشکی با نیاز غذایی بالا می‌باشد (Sheikh Beig Goharrizi *et al*., 2009) و تغذیه مناسب و متعادل، کیفیت و کمیت آن را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. کمبود مواد آلی، وجود کربنات کلسیم فراوان و pH قلیایی از مشکلات اصلی خاک‌های ایران است که فراهمی عناصر غذایی به‌ویژه فسفر، آهن و روی و در نتیجه رشد و عملکرد محصول را کاهش می‌دهد (Wright *et al*., 2012). حضور کربنات‌ها در خاک باعث می‌شود کودهای فسفره و ریزمغذی پس از استفاده، به صورت ترکیبات نامحلول رسوب کنند و به این ترتیب کاهش حلالیت و فراهمی عناصر غذایی علی‌رغم غلظت بالای آن‌ها در خاک، باعث کاهش جذب به وسیله ریشه می‌شود (Kaler *et al*., 2017; Moosavi *et al*., 2015). استفاده از اصلاح کننده‌ها و مواد آلی می‌تواند راهکار مناسبی برای کاهش pH خاک و افزایش بازدهی کودها و فراهمی عناصر غذایی باشد (Scherer, 2001). گوگرد یکی از این اصلاح کننده‌ها می‌باشد که بازدهی آن در خاک به شرایط اکسیداسیون از جمله میکروارگانیسم‌های اکسید کننده و مواد آلی بستگی دارد (Jaggi *et al*., 2005). باکتری‌های اکسید کننده گوگرد و به ویژه جنس تیوباسیلوس در حضور مواد آلی باعث افزایش اکسیداسیون بیوشیمیایی گوگرد و تبدیل آن به اسید سولفوریک می‌شود که نتیجه آن کاهش pH خاک، حلالیت ترکیبات کربنات و در نتیجه افزایش فراهمی عناصرغذایی در ریزوسفر گیاهان است (Abdou, 2006). فراوانی این باکتری‌ها به صورت طبیعی در خاک کم بوده و برای حصول نتایج بهتر در خاک‌های آهکی باید به خاک اضافه شوند (Stamford *et al*., 2015). نتایج تحقیقات نشان داد استفاده از تیوباسیلوس باعث بهبود اکسیداسیون گوگرد در خاک‌های آهکی می‌شود (Besharati, 2017). گوگرد پودری و باکتری *تیوباسیلوس* تیوپاروس (*Thiobacillus thioparus*) اثر مثبتی در اصلاح خاک‌های آهکی غرب ایران داشت (سیاحی و سوری، ۱۳۹۸). مصرف خاکی هوماکس به همراه گوگرد موجب بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک برگ نهال پسته شد ولی روی غلظت عناصر برگ تأثیری نداشت (رضوی‌نسب و همکاران، ۱۳۹۶). استفاده از گوگرد، *تیوباسیلوس* و فسفر باعث افزایش غلظت و جذب عناصر غذایی و کیفیت گیاه کلزا شد (Asadi Rahmani *et al*., 2018) با توجه به موارد ذکر شده هدف از انجام این پژوهش بررسی تاثیر همزمان گوگرد، باکتری *تیوباسیلوس* و ماده آلی بر فراهمی فسفر، روی و آهن در سایه انداز درختان گردو بود.

فرآیند پژوهش

آزمایش به صورت طرح فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۸ تیمار و ۳ تکرار در یک باغ ده هکتاری در فاصله ۳۰ کیلومتری شهرستان اراک و روی درختان گردو ۱۲ ساله اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل باکتری تیوباسیلوس در دو سطح (بدون تلقیح و با تلقیح)، گوگرد در سه سطح

(صفر، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) و کود گاوی به عنوان ماده آلی در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) بودند. قبل از اجرای آزمایش، نمونه خاک از قسمت‌های انتهایی سایه‌انداز درختان گردو توسط اوگر تهیه شد. نمونه‌های خاک هواخشک، کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (Bauder, Gee and) 1986، اسیدیته خاک در گل اشباع و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (Richards, 1954)، کربنات کلسیم (Leoppert and Suarez, 1996)، فسفر قابل جذب (Olsen *et al*., 1954) با دستگاه اسپکتروفتومتر، روی و آهن قابل جذب با محلول DTPA عصاره‌گیری (Lindsay and Norvell, 1978) و با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (جدول ۱). در این آزمایش از تعداد ٥٤ اصله درخت گردو (هرکدام به عنوان یک تکرار) استفاده شد. در یک سوم انتهایی سایه انداز تنه درختان مورد مطالعه، چاله‌ای به ابعاد ۵۰ در۵۰ و عمق ٤٠ سانتی‌متر حفر شد. خاک چاله‌ها بر روی زیرانداز مناسب تخلیه و بر اساس تیمارهای آزمایش با کود گاوی، گوگرد و باکتری *تیوباسیلوس* به صورت همگن کاملا مخلوط شد. سپس مخلوط خاک و تیمارهای مختلف مجدداً به داخل چاله‌ها برگردانده شد. بلافاصله اولین آبیاری درختان انجام شد و آبیاری‌های بعدی بر اساس نیاز آبی درختان (با فواصل زمانی ده روز یک بار) صورت گرفت. پس از گذشت ۳ ماه از خاک سایه‌انداز درختان نمونه‌برداری و غلظت فسفر، آهن و روی قابل جذب و pH با روش‌های مذکور اندازه‌گیری شد. آنالیز داده‌ها با نرم افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table 1-Some selected physicochemical properties of studied soil

بافت	رس	سیلت	شن	ماده آلی	کربنات کلسیم	pH	هدایت الکتریکی	فسفر قابل جذب	آهن قابل جذب	روی قابل جذب
	(%)						(dSm^{-1})	$mgkg^{-1}$		
لوم‌رسی	۳۵	۳۰	۳۵	۱/٤	۲۸/۳۳	۷/۸۳	۱/۷۸	۷/۸۸	۵/۲	۰/۹٤

نتایج و بحث

اثر باکتری تیوباسیلوس، گوگرد و ماده آلی بر pH خاک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تیمار باکتری تیوباسیلوس و گوگرد در سطح احتمال ۱ درصد و اثر مواد آلی در سطح احتمال ۵ درصد بر روی pH خاک معنی‌دار بود (جدول ۲). pH خاک همچنین تحت تأثیر اثرات متقابل تیمارهای باکتری و گوگرد و ماده آلی قرار گرفت. pH خاک در تیمار بدون تلقیح ۷/۲۹ بود و در اثر تلقیح با باکتری تیوباسیلوس به ٦/٦٩ کاهش پیدا کرد (شکل ۱). جدول مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش مقدار گوگرد میزان pH کاهش یافت به طوری‌که میزان pH در تیمار بدون گوگرد برابر با ۷/٤۱ و در تیمارهای ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به ترتیب ٦/٨٦ و ٦/٦٩ بود (جدول ۳). استفاده از ماده آلی، pH خاک را کاهش داد. pH در تیمار ده تن ماده آلی

در هکتار برابر با ٦/٨٠ بود که نسبت به تیمار بدون ماده آلی (pH=۷/۲۳) کاهش معنی‌دار بود (جدول ۳).

اثر باکتری تیوباسیلوس بر فسفر، آهن و روی قابل جذب: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف باکتری تیوباسیلوس بر روی فسفر قابل جذب در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود ولی بر روی و آهن قابل جذب خاک اثر معنی‌دار نداشت (جدول ۱). استفاده از باکتری تیوباسیلوس موجب افزایش معنی‌دار فسفر قابل جذب در خاک شد به طوریکه میزان فسفر در تیمار بدون باکتری ۸/۲۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و در تیمار تلقیح شده ۹/۲۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (شکل ۲). اگرچه تلقیح با باکتری، مقدار آهن و روی را نسبت به تیمار بدون باکتری افزایش داد ولی این افزایش معنی‌دار نبود.

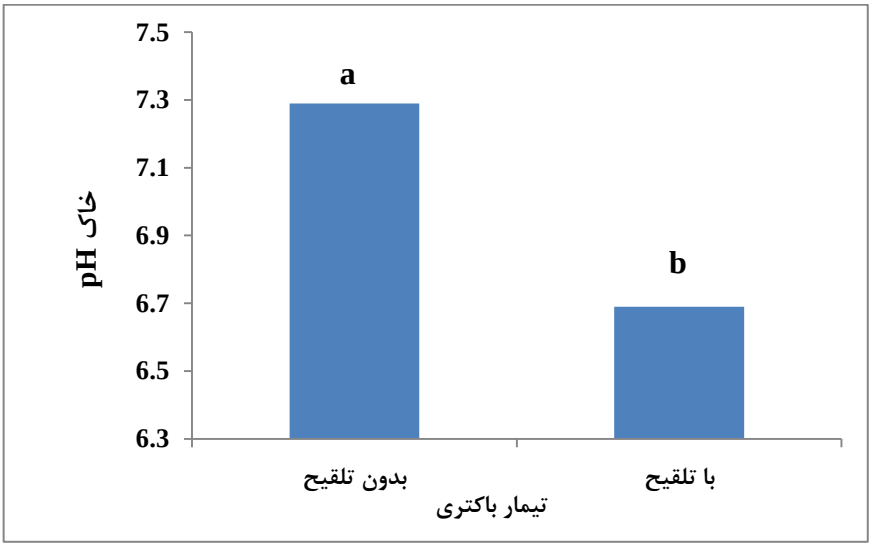
اکسیداسیون بیوشیمیایی گوگرد و تبدیل آن به اسید سولفوریک، pH خاک را کاهش داده و باعث حلالیت کربنات کلسیم و رشد بهتر گیاه از طریق افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی می‌شود (Abdou, 2006; El-Tarabily *et al*., 2006). باکتری‌های تیوباسیلوس مهم‌ترین میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد می‌باشند. اهمیت تلقیح این باکتری‌ها به تنهایی و یا همراه با گوگرد به خاک توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Al-Daher *et al*., 2003; Salimpour *et al*., 2012; Besharati, 2017).

جدول۲- تجزیه واریانس pH، فسفر، آهن و روی قابل جذب خاک تحت تأثیر باکتری تیوباسیلوس، گوگرد و ماده آلی

Table 2- Analysis of variance of Thiobacillus bacteria, sulfur and organic fertilizer on pH and soil available P, Fe and Zn

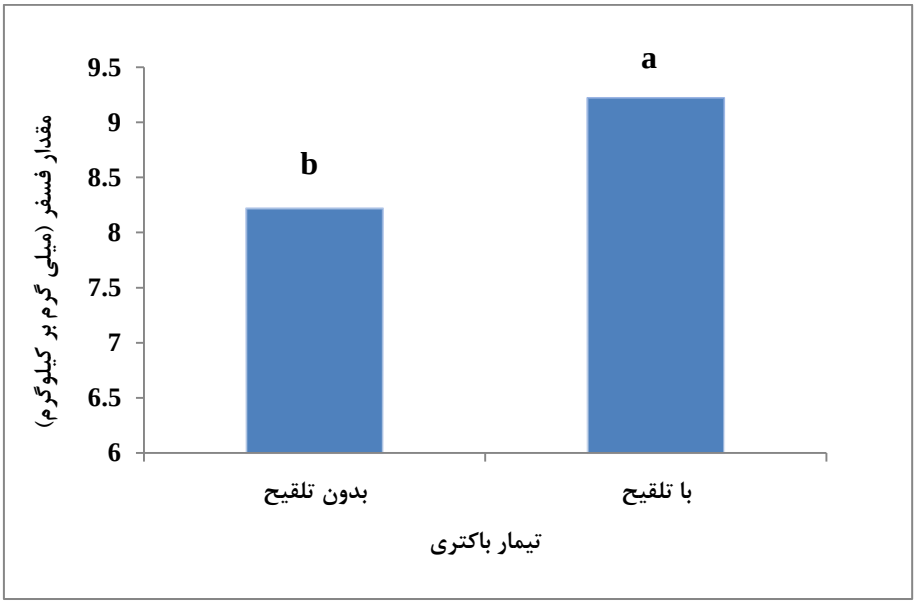
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		فسفر	آهن	روی	*pH*
باکتری	۱	۱۳/٤٥**	۱/٤٨ *ns*	۰/۰۰۳ *ns*	۲/۹۹**
گوگرد	۲	۳/۷۸*	۱/۸۷ *	۰/۰۱۲ *ns*	۰/۹۱**
ماده آلی	۲	۹/۹٥**	۹/۱۱**	۰/۱۰۳ *	۱/۰٦*
باکتری × گوگرد	۲	۱/۱۸*ns*	۰/۲٥ *ns*	۰/۰۱۹ *ns*	۰/۰٥**
باکتری × ماده آلی	۲	۱/۱۳*ns*	۰/۳۹ *ns*	۰/۰۲ *ns*	۰/۰۸*
گوگرد × ماده آلی	٤	۰/۱۷*ns*	۰/٤۰ *ns*	۰/۰۰٤ *ns*	۰/۱۰*
باکتری × ماده آلی × گوگرد	٤	۰/۱۳*ns*	۰/٦۹ *ns*	۰/۰۱۲ *ns*	۰/۰۲*
خطای آزمایش	۳٦	۰/۹۷	۰/٥۸	۰/۰۳۷	۰/۰۰
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۱/۲۷	۱۲/٤۸	۱۸/٥٦	۱۸/۳۲

ns، ** و *: به ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ٥ و ۱ درصد



شکل ۱- اثر باکتری تیوباسیلوس بر pH خاک

Fig 1- Effect of Thiobacillus bacteria on soil pH



شکل ۲- اثر باکتری تیوباسیلوس بر مقدار فسفر قابل جذب

Fig 2- Effect of Thiobacillus bacteria on soil available phosphorus

اثر گوگرد بر فسفر، آهن و روی قابل جذب: همان‌طور که جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد اثر گوگرد بر روی فسفر و آهن قابل جذب در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد و بر روی قابل جذب تأثیر معنی‌دار نداشت (جدول ۲). سطوح مختلف گوگرد باعث افزایش میزان فسفر قابل جذب شد. بیشترین میزان فسفر قابل جذب در تیمار ۲۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار مشاهده شد که ۱۰/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت. استفاده از گوگرد میزان آهن قابل جذب را افزایش داشت به طوری‌که کمترین مقدار آهن ۵/۷۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار صفر گوگرد و بیشترین مقدار آهن

٦/٣٤ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار ۲۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار مشاهده شد. اگرچه سطوح مختلف گوگرد مقدار روی قابل جذب را افزایش داد ولی این افزایش معنی‌دار نبود (جدول ۳). در خاک‌های آهکی، قابلیت دسترسی عناصر غذایی به خصوص فسفر به دلیل بالا بودن مقدار کربنات کلسیم و pH قلیایی، بسیار کم است (Moosavi *et al*., 2015). فسفر با کلسیم و منیزیم ترکیب شده و به شکل غیرقابل جذب برای گیاه تبدیل می‌شود (Wright *et al*., 2012). در نتیجه اکسیداسیون گوگرد، pH خاک کاهش یافته و عناصر از شکل غیرقابل دسترس به شکل قابل دسترس برای گیاه تغییر می‌کنند (Kaya *et al*., 2009; Kaler, 2013). استفاده از گوگرد در خاک‌های آهکی سولفات مورد نیاز گیاه را تأمین کرده و موجب آزادسازی فسفر قابل جذب گیاه می‌شود (Cifuentes and Lindemann, 1993). همچنین کاربرد گوگرد به تنهایی یا همراه با کود گاوی مقدار آهن، روی و منگنز قابل استخراج با DTPA را افزایش داد (Saleh, 2001). نتایج تحقیقات بشارتی (۲۰۱۷) نشان داد استفاده از گوگرد همراه با تیوباسیلوس، قابلیت دسترسی و جذب عناصر غذایی و عملکرد گیاه گندم را در خاک‌های آهکی افزایش داد.

اثر ماده آلی بر فسفر، آهن و روی قابل جذب: اثر سطوح مختلف ماده آلی بر روی فسفر و آهن قابل جذب در سطح احتمال ۱ درصد و بر روی قابل جذب در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). با افزایش میزان ماده آلی مقدار فسفر، آهن و و روی قابل جذب افزایش یافت. مقدار فسفر در تیمار ۱۰ تن ماده آلی در هکتار ۹/۵۱ میلی‌گرم در کیلوگرم که نسبت به تیمار شاهد ۱۸/٤ درصد افزایش داشت. بیشترین مقدار آهن قابل جذب به میزان ٦/٨١ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار ۱۰ تن ماده آلی در هکتار و کمترین مقدار آهن قابل جذب به میزان ۵/۳۹ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد مشاهده شد. استفاده از ماده آلی به میزان ۵ و ۱۰ تن در هکتار، مقدار آهن را به ترتیب به میزان ۱۲/٤۳ و ۲٦/۳٤ درصد افزایش داد. سطوح مختلف ماده آلی مقدار روی قابل دسترس را افزایش داد به طوری‌که میزان روی در تیمار شاهد، ۵ و ۱۰ تن ماده آلی در هکتار به ترتیب ۰/۹٦، ۱/۰۳ و ۱/۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. تیمار ۱۰ تن ماده آلی در هکتار باعث افزایش معنی‌دار ۱۵/٦۲درصدی روی نسبت به تیمار شاهد شد ولی در مقایسه با تیمار ۵ تن در هکتار افزایش معنی‌دار نداشت (جدول ۳). مواد آلی(کود گاوی) با بهبود ساختمان خاک، افزایش تهویه، افزایش فعالیت و زیست توده میکروبی خاک باعث افزایش جذب عناصر غذایی می‌شود (Lakhdar *et al*, 2008; Tejada *et al*., 2006). استفاده از کودهای آلی تنوع باکتریایی و فعالیت آنزیمی خاک را افزایش داده و با تغییر ساختار میکروبی خاک و تاثیر بر چرخه تجزیه کودهای آلی، باعث رهاسازی بهتر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌شوند (Ling *et al*., 2014). نتایج مطالعات نشان داد استفاده از کودهای آلی باعث افزایش باکتری *B. asahii* می‌شود که این باکتری نقش مهمی در حاصلخیزی خاک به‌ویژه از طریق تسریع چرخه کربن و فسفر می‌شود (Feng *et al*., 2015). مطالعات نشان داد استفاده از بیوچار به

تنهایی یا همراه با باسیلوس باعث افزایش جمعیت میکروبی (پروتئوباکترها و اکتینوباکترها)، حاصلخیزی خاک و در نتیجه رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Cheng *et al*., 2017; Win *et al*., 2020; Azeem *et al*., 2021).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر باکتری تیوباسیلوس، گوگرد و مواد آلی بر pH، فسفر، آهن و روی قابل جذب خاک

Table 3- Mean comparison of the effect of Thiobacillus bacteria, sulfur and organic fertilizer on pH and soil available P, Fe and Zn

ماده آلی (تن در هکتار)	سطوح گوگرد (کیلوگرم در هکتار)						میانگین
	صفر		۱۰۰۰		۲۰۰۰		
	بدون تیوباسیوس	با تیوباسیلوس	بدون تیوباسیوس	با تیوباسیلوس	بدون تیوباسیوس	با تیوباسیلوس	
	pH						
صفر	۷/۷۰	۷/۵۰	۷/۵۳	۶/۸۵	۷/۴۱	۶/۴۰	**۷/۲۳ A**
۵	۷/۶۵	۷/۲۵	۷/۱۱	۶/۴۰	۷/۰۱	۶/۲۵	**۶/۹۴ AB**
۱۰	۷/۴۰	۷/۰۰	۷/۰۱	۶/۳۰	۶/۸۰	۶/۳۰	**۶/۸۰ B**
میانگین	**۷/۴۱ A**		**۶/۸۶ B**		**۶/۶۹ B**		
	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)						
صفر	۷/۶۶	۷/۷۲	۷/۷۷	۸/۴۶	۸/۰۰	۸/۶۱	**۸/۰۳ B**
۵	۷/۷۹	۸/۴۷	۸/۰۰	۹/۵۷	۸/۴۱	۹/۴۷	**۸/۶۲ B**
۱۰	۸/۳۸	۹/۱۸	۸/۶۵	۱۰/۹۹	۹/۳۵	۱۰/۵۲	**۹/۵۱ A**
میانگین	**۸/۲۰ B**		**۸/۹۱ A**		**۹/۰۶ A**		
	آهن قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)						
صفر	۵/۰۱	۵/۱۴	۵/۱۴	۵/۹۶	۵/۳۶	۵/۷۵	**۵/۳۹ C**
۵	۵/۲۷	۵/۵۱	۵/۹۱	۶/۵۷	۶/۱۷	۶/۹۲	**۶/۰۶ B**
۱۰	۶/۵۰	۶/۹۲	۷/۳۶	۶/۲۸	۶/۵۹	۷/۲۴	**۶/۸۱ A**
میانگین	**۵/۷۲ B**		**۶/۲۰ AB**		**۶/۳۴ A**		
	روی قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)						
صفر	۰/۹۹	۰/۹۱	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۴	**۰/۹۶ B**
۵	۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۰۷	۱/۰۷	۱/۰۶	۱/۰۱	**۱/۰۳ AB**
۱۰	۰/۹۷	۱/۱۹	۱/۰۲	۱/۱۷	۱/۲	۱/۱۱	**۱/۱۱ A**
میانگین	**۱/۰۰ A**		**۱/۰۴ A**		**۱/۰۵ A**		

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می باشند از نظر آماری معنی‌دار نیستند.

نتیجه‌گیری کلی

استفاده از ماده آلی و تیوباسیلوس همراه گوگرد موجب افزایش اکسیداسیون گوگرد در خاک، کاهش pH و افزایش میزان فسفر، آهن و روی قابل جذب در سایه انداز درختان گردو شد که این امر می‌تواند منجر به افزایش جذب عناصر ذکر شده توسط درختان گردو و در نتیجه بهبود کمیت و کیفیت محصول شود. پتانسیل اکسیداسیون گوگرد در خاک های آهکی بسته به خصوصیات خاک (رطوبت، دما، مواد آلی، جمعیت میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد) متفاوت بوده و مقدار کربنات کلسیم به تنهایی معیار مناسبی برای کاربرد گوگرد به منظور بهبود وضعیت عناصر غذایی نیست.

منابع

۱) رضوی‌نسب، ا.، فتوت، ا.، آستارایی، ع و. ا، تاج آبادی‌پور. ۱۳۹۶. تأثیر گچ، گوگرد و هیوماکس بر برخی ویژگی‌های نهال پسته و خاک در مزرعه. مدیریت خاک و تولید پایدار. ۷ (۳): ۱۳۸-۱۲۳.

۲) سیاحی، ا و. ب، سوری. ۱۳۹۸. ارزیابی کاربرد توأم گوگرد پودری و *Thiobacillus thioparus* به منظور اصلاح خاک‌های آهکی غرب ایران. تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۰ (۳): ۷۶۲-۷۵۳.

3) Abdou, A. S. 2006. Effect of applied elemental sulfur and sulfur-oxidizing bacteria (*Parococcus versutus*) in to calcareous sandy soils on the availability of native and applied phosphorus and some micronutrients. In: 18th World Congress of Soil Science. Philadelphia, Pennsylvania, USA.

4) Al-Daher, R., Al- Baho, M., Guerinik, K., Al-Mutawa, Q.A., Al-Surrayai, T., Sharma, N., Al-Rashdan, A., Al-Ali, A., Al-Kandari, R., Iwamatsu, E., Yorifuji, T., Kadota, A., Miyamoto, H., Shono, T. and M, Kurihara. 2003. Development of an elemental sulfur/sulfur-oxidizing bacteria amendment product for improving desert soil fertility. In: The Joint State of Kuwait-Japan Symposium. pp. 26–28. Kuwait and Tokyo: Kuwait Institute for Scientific Research (KISR) and Japan Cooperation Center, Petroleum (JCCP).

5) Asadi Rahmani, H., Khavazi, K., Jahandideh Mahjen Abadi, V.A., Ramezanpour, M.R., Mirzapour, M.H. and k, Mirzashahi. 2018. Effect of *Thiobacillus*, sulfur, and phosphorus on the yield and nutrient uptake of canola and the chemical properties of calcareous soils in Iran. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 49 (14): 1671-1683.

6) Azeem, M., Hassan, T., Tahir, M., Ali, A., Jeyasundar, P.G., Hussain, Q., Bashir, S., Mehmood, S. and Z, Zhang. 2021. Tea leaves biochar as a carrier of *Bacillus cereus* improves the soil function and crop productivity. Applied Soil Ecology. 157: 103732.

7) Besharati, H. 2017. Effects of sulfur application and *Thiobacillus* inoculation on soil nutrient availability, wheat yield and plant nutrient concentration in calcareous soils with different calcium carbonate content. Journal of Plant Nutrition 40: 447–56. doi:10.1080 /01904167. 2016.1245326.

8) Cheng, J., Lee, X., Gao, W., Chen, Y., Pan, W. and Y, Tang. 2017. Effect of biochar on the bioavailability of difenoconazole and microbial community composition in a pesticide-contaminated soil. Applied Soil Ecology. 121: 185–192.

9) Cifuentes, F.R. and W.C, Lindemann. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soil. Soil Science Society of America Journal. 57(3): 727–731.

10) El-Tarabily, K. A., Abdou, A.S., Mehr, E.S. and M, Satoshi. 2006. Isolation and characterization of sulfur-oxidizing bacteria, including strains of *Rhizobium*, from calcareous sandy soils and their effects on nutrient uptake and growth of maize (*Zea mays* L.). Australian Journal of Agricultural Research. 57(1): 101–111.

11) Feng, Y., Chen, R., Hu, J., Zhao, F., Wang, J., Chu, H., Zhang, J., Dolfing, J. and X, Lin. 2015. *Bacillus asahii* comes to the fore in organic manure fertilized alkaline soils. Soil Biology and Biochemistry. 81: 186-194.
12) Gee, G.W. and J.W, Bauder. 1986. Particle –size analysis, In: Klute, A. (Ed). Methods of Soil Analysis. Part 1-2 nded., vol. 9. Agron Monogr, ASS and SSSA, Madison, pp. 383-411.
13) Jaggi, R.C., Aulakh, M.S. and R, Sharma. 2005. Impacts of elemental S applied under various temperature and moisture regions on pH and available P in acidic, neutral and alkaline soils. Biology and Fertility of Soils. 41: 52–58.
14) Kaler, A.S. 2013. Elemental sulfur effects on nutrient availability in organic soil having variable calcium carbonate. MS thesis, Florida State University, Gainesville, FL, USA.
15) Kaler, A.S., McCray, M., Wright, A.L., Erikson, J.E. 2017. Sugarcane Yield and Plant Nutrient Response to Sulfur-Amended Everglades Histosols. Journal of Plant Nutrition. 40 (2): 187-196.
16) Kaya, M., Zeliha, K. and I, Erdal. 2009. Effects of elemental sulfur and sulfur-containing waste on nutrient concentrations and growth of bean and corn plants grown on a calcareous soil. African Journal of Biotechnology. 8(18): 4481–4489.
17) Lakhdar, A., Ben Achiba, W., Jedidi, N. and C, Abdelly. 2008. Effect of MSW compost and sewage sludge on soil biologic activities and wheat yield. 9th (ed). Tunisian- Japan Symposium on Society, Science and Technology. 23: 456-462.
18) Leoppert, R.H. and D.L, Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. In Methods of soil analysis. (Eds). (Spaarks, D.L., A.L. SSSA). p. 437-474. (Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin).
19) Lindsay, W.L. and W.A, Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal. 42: 421-428.
20) Ling, N., Sun, Y.M., Ma, J.H., Guo, J.J., Zhu, P., Peng, C., Yu, G.H., Ran, W., Guo, S.W. and Q.R, Shen,. 2014. Response of the bacterial diversity and soil enzyme activity in particle-size fractions of Mollisol after different fertilization in a long-term experiment. Biology and Fertility of Soils. 50: 901- 911.
21) Moosavi, A.A., Mansouri, S. and M, Zahedifar. 2015. Effect of soil water stress and nickel application on micronutrient status of canola grown on two calcareous soils. Plant Production Science. 18 (3): 377–387. https://doi.org/10.1626/pps.18.377.
22) Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and L.A, Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Department of Agriculture Circular No. 939. Banderis, A. D., D. H. Barter and K. Anderson. Agricultural and Advisor.
23) Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, U.S.D.A Handbook 60: 65-86.
24) Salcedo, C.L., López de Mishima, B.A. and M.A, Nazareno. 2010. Walnuts and almonds as model systems of foods constituted by oxidisable, pro-oxidant and antioxidant factors. Food Research International. 43: 1187-1197.
25) Saleh, M.E. 2001. Some agricultural application for biologically produced sulfur recovered from sour gases. I- Effect on soil nutrients availability in highly calcareous soils. International Symposium on Elemental Sulfur for Agronomic Application and Desert Greening. UAE University, Abu Dhabi, UAE, 24–25 February.
26) Salimpour, S., Khavazi, K., Nadiana, H., Besharati, H. and M, Miransari. 2012. Canola oil production and nutrient uptake as affected by phosphate solubilizing and sulfur oxidizing bacteria. Journal of Plant Nutrition. 35(13): 1997– 2008.
27) Scherer, H.W. 2001. Sulfur in crop production: invited paper. European Journal of Agronomy. 14: 81–111.

28) Sheikh Beig Goharrizi, M.A., Vahdati, K., Bahrami Sirmandi, H., Kalantari, S. and Ch, Leslie. 2010. Enhancement of maturation and germination of somatic embryos in Persian walnut (*Juglans regia* L.) using osmolites, hormones and cold treatments. African Journal of Food Science. *4*(12): 735-743.

29) Stamford, N.P., Figueiredo, M.V.B., Junior, S.S., Freitas, A.D.S., Santos, C.E.R.S. and M.A.L, Junior. 2015. Effect of gypsum and sulfur with *Acidithiobacillus* on soil salinity alleviation and on cowpea biomass and nutrient status as affected by PK rock biofertilizer. Scientia Horticulturae. 192: 287–92. doi:10.1016/j.scienta.2015.06.008.

30) Tejada, M., Garcia, C., Gonzalez, J. and M, Hernandez. 2006. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: influence on the physical chemical and biological properties of soil. Soil Biology and Biochemistry. 38: 1413-1421.

31) Win, K.T., Okazaki, K., Ohkama-Ohtsu, N., Yokoyama, T. and Y, Ohwaki. 2020. Short-term effects of biochar and *Bacillus pumilus* TUAT-1 on the growth of forage rice and its associated soil microbial community and soil properties. Biology and Fertility of Soils. 1: 1–17.

32) Wright, A.L., Hanlon, E.A. and R, Rice. 2012. Managing pH in the Everglades agricultural soils. Florida Cooperative Extension Service Fact Sheet SL-287. UF/IFAS Electronic Data Information Source (EDIS) Database. Available at http://edis.ifas.ufl.edu/SS500. Univ. of Florida, Gainesville FL.