

تأثیر کودهای زیستی همراه با گوگرد بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد سیر (*Allium sativum* L.) در شرایط مزرعه

سید فاضل فاضلی کاخکی^{۱*}، حسین رضوانی^۲ و نسترن همتی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۴/۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۱۹

چکیده

سیر بعد از پیاز، دومین محصول پیازی است که به واسطه ترکیبات دارویی مورد توجه مصرف کنندگان قرار دارد. وجود انعطاف پذیری زیستی بالا در این گیاه سبب شده است که کاشت این گیاه در اکثر مناطق معتدل و خنک در ایران متداول شود. به منظور بررسی تأثیر ریزموجودات خاکزی تثبیت کننده نیتروژن و حل کننده فسفات به همراه گوگرد و سویه خالص باسیلوس سابتلیس بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد سیر، آزمایشی در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی مشهد در سال زراعی ۹۸-۹۹ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل کودهای زیستی (۱) نیتروکسین: ازتوباکتر (*Azotobacter* sp.)، آزوسپیریوم (*Azospirillum* sp.)، آنتروباکتر (*Entrobacter Cloacea*)، بیوفسفر (حاوی باکتری های حل کننده فسفات جنس باسیلیوس ها و سودوموناس)، (۳) باکتری سویه خالص باسیلوس سابتلیس، گوگرد و شاهد بود. نتایج نشان داد که گیاه سیر پاسخ مثبتی به کاربرد باکتری باسیلوس سابتلیس نشان نداد. بیشترین وزن تر ساقه (۵۰/۶ گرم) از تیمار حاوی باکتری های سودوموناس به دست آمد. بیشترین وزن تر و وزن خشک برگ (به ترتیب با مقادیر ۳۹/۱ و ۶/۳۷ گرم در بوته) تحت تأثیر کودهای حاوی باکتری نیتروکسین تولید شد. همچنین، کاربرد کودهای حاوی باکتری های ازتوباکتر و آزوسپیریوم، افزایش ۳۴ درصدی وزن سیر در بوته در مقایسه با شاهد داشت. کاربرد کود زیستی حاوی باکتری های حل کننده فسفات بیشترین تعداد سیرچه، وزن سیر در بوته و عملکرد سیر (۱۱۷۶۰ کیلوگرم در هکتار) را داشت. بیشترین میزان فتوسنتز ($17/9 \mu\text{CO}_2 \text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)، هدایت روزنه ای ($0/251 \text{mmolH}_2\text{O m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) و مقدار Ci ($246 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) از تأثیر کود حاوی باکتری های حل کننده فسفات به دست آمد. به طور کلی، نتایج نشان داد که باکتری حل کننده فسفات و باکتری های تثبیت کننده نیتروژن سبب بهبود صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکردی سیر شد ولی بیشترین تأثیر از باکتری های سودوموناس و باسیلوس ها حاصل گردید.

واژگان کلیدی: باکتری حل کننده فسفات، فتوسنتز، کود زیستی، گوگرد.

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

۲- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

۳- دکتری گیاهان دارویی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

مقدمه

سیر (*Allium sativum*) بعد از پیاز، دومین محصول پیازی است که به واسطه ترکیبات دارویی مورد توجه مصرف کنندگان قرار دارد. این گیاه دارای منابع غنی از کربوهیدرات، پروتئین و فسفر است. در برگ‌های سبز سیر مقدار زیادی اسید آسکوربیک وجود دارد. ماده اصلی ایجاد بو در گیاه سیر دی‌آلیل‌دی‌سولفید است (Bhushan et al., 2020). سیر دارای خواص ضدقارچی، ضد میکروبی و ضدآفتی است، به علاوه می‌توان به خواص دارویی مهم آن از قبیل کاهش فشار خون، ضد نفخ، ضد یبوست، ضد سرفه‌های مزمن، درمان سوء تغذیه و ... اشاره کرد (Bozin et al., 2008). این محصول با سازگاری در اقلیم‌های مختلف عملکردهای متفاوتی را در پی داشته است. وجود انعطاف‌پذیری زیستی بالا در این گیاه سبب شده است که کاشت این گیاه در اکثر مناطق معتدل و خنک در ایران رواج داشته باشد (Zare Abyaneh et al., 2011). بررسی‌ها نشان داده است که اکوتیپ‌های بومی به دلیل داشتن سازگاری زیستی از عملکرد بهتری نسبت به ارقام تجاری برخوردارند. در دهه‌های اخیر به منظور حفظ سلامت بوم‌نظام‌ها استفاده از کودهای سازگار محیط زیست مورد توجه قرار گرفته است. نیتروژن، فسفر و پتاسیم از عناصر پرمصرف برای افزایش رشد و عملکرد گیاهان هستند که توسط کشاورزان مصرف می‌شوند. این عناصر را می‌توان از طریق فعالیت‌های ریز موجودات (باکتری‌ها) در خاک در اختیار گیاه قرار داد. از مهم‌ترین باکتری‌های محرک رشد می‌توان *Azospirillum*، *Azotobacter* در گروه تثبیت کننده نیتروژن و *Pseudomonas* در گروه باکتری‌های حل کننده فسفات را نام برد که در محیط ریزوسفر بر روی بقایای آلی فعالیت می‌

کنند. مکانیسم باکتری‌های تثبیت نیتروژن به این صورت است که آنها در pH نزدیک خنثی تا قلیایی بیشترین فعالیت را دارند. آنها از کربن آلی و NH_4^+ ، NO_2^- و NO_3^- تولید می‌کنند که به این فرآیند نیتراتی شدن هتروتروفي گفته می‌شود. هر چند این فرآیند اسیدزا است اما باید توجه داشت در خاک‌های غنی از مواد آلی و وجود شرایط مساعد بخشی از NH_4^+ به صورت NO_2^- و NO از دست می‌رود. نیترات تولید شده توسط این ریزموجودات به سادگی توسط گیاهان جذب می‌شود. با این حال باید توجه داشت تشکیل سریع NO_3^- همیشه مطلوب نبوده زیرا با غنی شدن، تشکیل نیتروزامین و بیماری مت هموگلوبین در کودکان مرتبط است. در گروه ریزموجودات حل کننده فسفات، *Pseudomonas* و *Bacillus* از طریق تولید ترکیبات آلی مانند اسید اگزالیک می‌توانند Ca^{+2} ، Mg^{+2} و Fe^{+2} را کلات کنند، در نتیجه کانی‌های فسفات را بی‌ثبات ساخته، فسفر را محلول سازند. در مجموع تولید اسیدهای آلی مانند اسید نیتریک (تولید شده توسط تولیدکنندگان نیترات)، اسید سولفوریک (تولید شده توسط تیوباسیلوس‌ها) و اسیدکربنیک همگی باعث آزاد شدن فسفر از اشکال معدنی می‌شوند. قبل از این که کودهای فسفره قابل دسترس شوند یک راه حل، مخلوط کردن خاک، کود آلی، باکتری‌های باسیلوس و سنگ فسفات برای تامین مقدار فسفات خاک بود. گوگرد نیز از دیگر عناصر غذایی است که توسط گیاه به صورت آنیون SO_4^{-2} جذب می‌شود. بیشتر گوگرد قابل دسترس گیاه در خاک‌ها توسط مواد آلی نگهداری می‌شود و با تجزیه مواد آلی سالانه ۱ تا ۳ درصد گوگرد آلی قابل دسترس است. مقدار گوگرد آزاد شده وابسته به غلظت مواد گوگردی در محیط است. با این

تعداد برگ از تاثیر ۱/۹۹ گرم در متر مربع باکتری-های ازتوباکتر حاصل شد. به طور کلی بررسی‌ها نشان می‌دهد که ریزموجودات موجود در کودهای زیستی از طریق مکانیسم‌های مختلفی مانند تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، فسفر و پتاس، تولید فیتوهورمون‌ها و سیدروفورها، افزایش فعالیت آنزیم نظیر ACC-دامیناز، زمینه افزایش دسترسی ریشه به عناصر غذایی را فراهم آورده که افزایش رشد و عملکرد را در گیاهان به همراه داشته است (Singh et al., 2011).

بررسی‌ها نشان می‌دهد ترکیب شیمیایی، عناصر و ویتامین‌های موجود در سیر علاوه بر محیط رشد وابسته به شرایط زراعی آن نیز می‌باشد. کیفیت حاصلخیزی خاک، تاثیر مستقیمی در سطوح مواد غذایی محصول دارد. همچنین، عواملی مانند نوع گونه گیاهی، دما، مدت تابش نور، بارندگی، خصوصیات خاک شامل ترکیب عناصر تغذیه‌ای، مواد آلی، می‌توانند نقش حیاتی در قابلیت دسترسی عناصر در خاک را داشته باشد (Surendra, 2008). با این حال کمیت و کیفیت تغذیه گیاه سیر تاثیر معنی‌داری بر مقدار عناصر غذایی آن دارد. به طوری که زمانی که فراهمی عنصر نیتروژن در خاک زیاد باشد سبب افزایش مقادیر N, P, K و S در محصول سیر می‌شود. بنابراین، افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی در ناحیه ریشه، سبب افزایش فعالیت متابولیکی در سطح سلول شده که جذب بیشتر عناصر غذایی و ذخیره ترکیبات حاصله را در قسمت‌های مختلف گیاه به خصوص میوه به دنبال خواهد داشت (Shedeed et al., 2014). با توجه به دستیابی به عملکرد بالا در سیر، کاربرد سایر نهاده‌ها، افزایش رشد و عملکرد را به دنبال دارد که این سبب بروز رسوب برخی بقایای شیمیایی در محصول نهایی

حال برخی باکتری‌ها مانند تیوباسیلوس‌ها می‌توانند گوگرد را به صورت هوازی اکسید نمایند (Lakzian et al., 2004). همان‌گونه که مشاهده می‌شود کودهای زیستی از توانایی بالایی در آزادسازی عناصر غذایی از مواد تجدید پذیر آلی دارند که می‌توانند به صورت تلفیقی یا جداگانه در سیستم تغذیه گیاهی وارد شوند. برای مثال محققین متعددی گزارش کردند که باکتری‌های محرک رشد در ذرت (Gholami et al., 2009)، رازیانه (Singh, 2012) و پیاز (Ghanati and Sharangi, 2009) سبب افزایش رشد و عملکرد آنها شده است. نتایج مطالعه فلاحی (Fallahi, 2009) نشان داد که بیشترین قطر کاپیتول و عملکرد اسانس در گیاه بابونه آلمانی از کاربرد کود زیستی و نیتروکسین و باکتری‌های حل‌کننده فسفات حاصل شد. مطالعه رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghadam et al., 2015) نشان داد که تلقیح سیرچه‌های سیر با کودهای حاوی *Azospirillum sp.* و *Azotobacter sp.* سبب افزایش ۱۳ و ۸ درصدی طول و قطر سیرک شد و زمانی که آنها با گونه‌های میکوریزا به کاربرده شد، بیشترین عملکرد اقتصادی در سیر حاصل گردید. در مطالعه دیگری علیزاده و همکاران (Alizad et al., 2018) نشان دادند که بیشترین تعداد سیرچه در هر سیر در کاربرد تلفیقی کود اوره و باکتری‌های سودوموناس پوتیدا حاصل شد. در همین آزمایش بالاترین عملکرد سیر خشک از تلفیق ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص به همراه کاربرد باکتری‌های سودوموناس و آزوسپیریلیوم به دست آمد. کوری و همکاران (Kurrey et al., 2018) اظهار داشتند که بیشترین شاخص‌های کیفی و کمی پیاز از قبیل مقدار گوگرد، پروتئین، کلروفیل a و b و کارتنوئید و

عملیات خاک‌ورزی آزمایش خاک انجام شد (جدول ۱).

به‌منظور بهبود خواص فیزیکی خاک، کود گاوی پوسیده (جدول ۳) بر اساس عرف منطقه (مقدار ۲۵ تن کود گاوی) در سطح کرت‌های آزمایشی به‌طور یکنواخت پخش و با خاک مخلوط شد. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم و خرد کردن کلوخه‌ها با بیل انجام شد و برای تسطیح از ماله استفاده گردید. توده سیر مورد استفاده از توده محلی سیر مشهد استفاده شد. کاشت سنتی در تاریخ سی آبان ماه ۱۳۹۷ انجام گردید. هر کرت شامل شش ردیف با طول ۴ متر و فاصله بین کرت‌ها ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تراکم بوته در مترمربع ۵۰ بوته سیر بود (Akbari et al., 2016). پس از کاشت بلافاصله آبیاری انجام و آبیاری‌های بعدی هر هشت روز یک‌بار از اواخر اسفند ماه تا انتهای فصل برداشت انجام شد. کنترل علف‌های هرز در دو نوبت اواخر اسفند و اواخر فروردین با دست انجام شد و در انتهای خرداد ماه زمانی که برگ‌ها زرد رنگ شدند تمام کرت‌های آزمایشی برداشت و عملکرد سیر و عملکرد زیستی اندازه‌گیری شد. در زمان رسیدن به حداکثر سطح برگ در هفته انتهایی اردیبهشت (Akbari et al., 2016) تعداد پنج بوته به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و صفاتی مانند: طول ساقه، قطر ساقه، طول و عرض برگ، تعداد برگ در بوته، وزن تر و خشک برگ، وزن تر ساقه، تعداد سیرچه و وزن یک سیرچه تعیین شدند. در انتهای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه گرفته شد. نتایج تجزیه آن در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به آزادسازی عناصر در ناحیه ریشه امکان افزایش برخی ترکیبات کیفی در سیر وجود دارد (Shedeed et al., 2014).

شده که اثرات سوپی ممکن است در فراوری ماده نهایی داشته باشد. بنابراین، استفاده از نهاده‌های بیولوژیک راه‌حل مناسبی برای تولید گیاهان دارویی سالم می‌باشد. هرچند ممکن است عملکرد تولیدی آنها کمتر یا برابر با مصرف کودهای شیمیایی باشد. لذا این آزمایش با هدف بررسی تاثیر باکتری‌های محرک رشد به همراه گوگرد بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکردی توده سیر بومی خراسان رضوی در شرایط مزرعه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی مشهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل کودهای زیستی (۱) نیتروکسین: ازتوباکتر (*Azotobacter* sp.)، آزوسپیریوم (*Azospirillum* sp.)، انتروباکتر (*Entrobacter Cloacea*)، بیوفسفر (PSB) (۲) حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات جنس‌های مختلف باسیلیوس‌ها و سودوموناس، (۳) ترکیب کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر (به نسبت مساوی) و (۴) شاهد (بدون اضافه کردن هیچ نوع کود) بودند. قابل ذکر است که بسته‌بندی تجاری هریک از کودهای عنوان شده به‌صورت مایع و در بطری‌های یک لیتری و از شرکت فناوری زیستی مهر آسیا تهیه شد که در هر میلی‌لیتر آن ۱۰^۷ عدد باکتری زنده و فعال وجود داشت. غلظت مورد استفاده از کودهای زیستی ۵ لیتر در هکتار بود، که به نسبت به کرت‌های آزمایشی داده شد. سیرچه‌ها قبل از کاشت با تیمارهای ذکر شده آغشته شد. تلقیح سیرچه‌ها با کودهای بیولوژیک به روش استاندارد (Ali et al., 2019) به دور از نور مستقیم و نیز رعایت توصیه‌های شرکت تولید کننده همزمان با کاشت انجام شد. قبل از انجام

شدن باکتری‌های سودوموناس و باسیلوس موجود در کود بیوفسفر سبب افزایش قابلیت دسترسی و جذب فسفر شده که این عامل سبب افزایش کارایی عنصر فسفر در رشد گیاه را به دنبال داشته است.

تعداد و طول برگ

طول و تعداد برگ تحت تاثیر کودهای زیستی معنی‌دار نشد (جدول ۵). دامنه طول برگ در بوته بین ۳۰ تا ۳۴ سانتی‌متر بود و غیر از شاهد، کودهای زیستی طول برگ بیشتری را داشتند. نتایج مطالعه موسوی و همکاران (Mosawi et al., 2018) نشان داد که در شرایط مهیا بودن مواد غذایی (فسفر، پتاسیم و نیتروژن) و شرایط رطوبتی طول برگ می‌تواند افزایش یابد. بیشترین وزن تر و وزن خشک برگ تحت تاثیر کودهای حاوی باکتری ازوتوباکتر به‌ترتیب با مقادیر ۳۹/۱ و ۶/۳۷ گرم در بوته معنی‌دار شد (جدول ۵ و ۶). کمترین مقدار وزن تر و خشک برگ از شاهد به‌دست آمد. کاربرد دو نوع کود حاوی گوگرد و باکتری سودوموناس وزن تر و خشک برگ مشابهی داشتند و از لحاظ آماری با هم معنی‌دار نبودند. نتایج ملافیلابی و همکاران (Mollafilabi et al., 2013) نشان داد زمانی که مقادیر بیشتر نیتروژن در دسترس گیاه سیر قرار می‌گیرد مقدار وزن خشک برگ افزایش می‌یابد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ازتوباکترها نسبت به pH پایین مقاومت داشته و در مقابل اسید حساسیت کمتری دارند. وجود منابع هیدروکربنی مناسب در خاک و ورود قند بیشتر از طرف ریشه به خاک، سبب افزایش قابلیت جذب هیدرات‌های کربن آسان تجزیه‌شونده در خاک شده و سبب افزایش مقدار آسیمیلاسیون نیتروژن در خاک می‌شود در این شرایط این باکتری‌ها قادر به

جدول ۴ ترکیبات شیمیایی موجود در سیر آمده است. با این حال در این مطالعه ترکیب عناصر غذایی موجود در محصول مورد مطالعه قرار نگرفت.

در انتها داده‌های آزمایش با استفاده از نرم-افزارهای MstatC و Minitab Ver16 آنالیز شد و میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه و شکل‌ها با نرم‌افزار Excel ترسیم گردیدند.

نتایج و بحث

رشد ساقه تحت تاثیر کودهای زیستی معنی‌دار نشد، با این حال استفاده از کود زیستی بیوفسفر سبب افزایش ۴ سانتی‌متری رشد ساقه نسبت به شاهد شد (جدول ۵). کاربرد کودهای زیستی سبب ایجاد اختلاف معنی‌دار در قطر ساقه سیر گردید (جدول ۵). به‌طوری‌که به استثنای شاهد و گوگرد کلیه کودهای زیستی بر قطر ساقه اختلاف معنی‌داری نداشتند و بیشترین مقدار قطر ساقه از تاثیر کود بیوفسفر به‌دست آمد که نسبت به شاهد حدود ۸ درصد بیشتر بود (جدول ۶). نتایج مطالعه علیزاد و همکاران (Alizad et al., 2018) نشان داد که کاربرد کودهای حاوی ازتوباکتر با ورمی‌کمپوست سبب افزایش ارتفاع بوته در سیر گردید. آنها اظهار داشتند که مقدار افزایش ارتفاع بوته سیر بسته به منبع نیتروژن و کود زیستی متفاوت است و باکتری‌های ازوتوباکتر، سودوموناس و آزوسپیریلوم با توجه به بستر نیتروژنی محیط کشت می‌تواند سبب افزایش رشد رویشی شود. در همین راستا افزایش ارتفاع ذرت در اثر کاربرد باکتری‌های سودوموناس پوتیدا توسط غلامی و همکاران (Gholami et al., 2009) گزارش شده است. بر اساس جدول ۱ مقدار فسفر موجود در خاک حدود ۱۳ درصد بوده که اضافه

(فسفاتاز) زمینه حلالیت بیشتر ترکیبات پایدار فسفات را در خاک فراهم آورده در نتیجه گیاه از طریق دسترسی بیشتر به آنها انرژی متابولیکی خود را برای افزایش رشد و نمو بهبود بخشیده است.

تعداد سیرچه

تعداد سیرچه و میانگین وزن یک سیرچه تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی معنی دار ($p \leq 0.01$) شد (جدول ۵). بیشترین تعداد سیرچه ($13/6$) از تاثیر کود حاوی باکترهای حل کننده فسفات حاصل شد و بعد از آن از کاربرد کود گوگردی به دست آمد. هم تیمار شاهد و هم تیمار باسیلوس سابتلیس کمترین تعداد سیرچه را داشتند (جدول ۶). هم کود حاوی باکتریهای تثبیت کننده نیتروژن و هم کود حاوی باکتریهای حل کننده فسفات سبب تولید میانگین وزن سیرچه بیشتری شدند و کمترین میانگین وزن سیرچه از شاهد ($1/81$ گرم) حاصل شد. نتایج مطالعه اسماعیلیان و همکاران (Esmaeelian *et al.*, 2018) نشان داد که استفاده از کود نیتروکسین و بیوفسفر به ترتیب با مقادیر $10/6$ و $11/5$ سیرچه در بوته بیشترین تعداد سیرچه را در بین تیمارهای آزمایشی گزارش کردند. در مطالعه دیگری قاسمی (Ghasemi, 2009) تاثیر جداگانه و ترکیبی ازتوباکتر با میکوریزا بر تعداد دانه در سنبله گیاه دارویی اسفرزه را گزارش کردند که سبب افزایش 18 و 41 درصدی آن نسبت به شاهد شد. در مطالعه‌ای استفاده از نهاده‌های بوم سازگار (نیتروکسین، میکوریزا، اسید هیومیک) سبب افزایش وزن و تعداد دانه در بوته در گندم شده است (Massoud *et al.*, 2013). به نظر می‌رسد حضور کودهای زیستی سبب افزایش فعالیت‌های متابولیکی ریزموجودات خاکزی شده که نتیجه

تثبیت 60 تا 90 کیلوگرم نیتروژن در هکتار هستند (Lakzian *et al.*, 2004). نیتروژن یک عنصر تحریک کننده رشد رویشی که از طریق افزایش سطح برگ سبب بهبود سطح سبز مزرعه را به دنبال دارد. لذا تامین مقدار مناسب نیتروژن از طریق تاثیر در فرآیند فتوسنتز سبب افزایش مواد فتوسنتزی و سطح برگ شده که منجر به افزایش وزن تر و خشک برگ شده است.

وزن تر ساقه

تاثیر کودهای بیولوژیک بر وزن تر ساقه معنی دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۵). بیشترین و کمترین وزن تر ساقه به ترتیب از تاثیر کود زیستی بیوفسفر و شاهد حاصل شد. مقدار افزایش وزن تر ساقه در تیمار حاوی باکتریهای سودوموناس نسبت به شاهد حدود 21 درصد بود. تمامی تیمارهای کودهای زیستی اگرچه از نظر عدد با هم اختلاف داشتند ولی از لحاظ آماری تفاوت معنی داری با هم نداشتند. با اعمال کود گوگرد، مقدار وزن تر ساقه تنها $0/2$ بیشتر از شاهد بود (جدول ۶). نتایج مطالعه علیزاد و همکاران (Alizad *et al.*, 2018) نشان داد استفاده توأم از کود شیمیایی و کود زیستی سودوموناس فلورسنس بیشترین وزن خشک ساقه را داشت. در مطالعه دیگری یادگاری و همکاران (Yadegari *et al.*, 2010) نشان دادند که باکتریهای محرک رشد حاوی سودوموناس فلورسنس و آزوسپیریوم لیپوفوروم سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی لوبیا شد. در مطالعه دیگری ویواس و همکاران (Vivas *et al.*, 2003) گزارش کردند که باکتری-های محرک رشد باسیلوس به همراه یک گونه میکوریزا سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی کاهو شد. به نظر می‌رسد باکتریهای حل کننده فسفات (باسیلوس) از طریق ترشح آنزیم‌های لازم

خاک را حدود ۱۱ درصد و مقدار فسفر و پتاسیم قابل دسترس در خاک را حدود ۴ درصد افزایش دهد.

عملکرد سیر

نتایج نشان داد تاثیر کودهای زیستی بر عملکرد سیر در واحد سطح معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۵). دامنه تغییرات عملکرد سیر بین ۵۳۹ تا ۱۱۷۶ گرم در مترمربع متفاوت بود. بیشترین و کمترین عملکرد سیر از تیمار کود حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات (سودوموناس) با مقدار ۱۱۷۶ گرم در مترمربع (۱۱۷۶۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن از شاهد به‌دست آمد. کاربرد کود حاوی گوگرد با کود زیستی حاوی باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن (ازتوباکتر) عملکرد مشابه و غیرمعنی‌داری داشتند. آنچه قابل تامل است، عملکرد مشابه کود مایع حاوی باسیلوس سابتلیس و شاهد بود که تنها ۹۶ گرم در مترمربع بیشتر از شاهد بود و معنی‌دار نبوده است (جدول ۶). نتایج مطالعه رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2015) نشان داد که استفاده از کود زیستی نیتروکسین سبب افزایش ۶۵۰ کیلوگرمی سیر در هکتار در مقایسه با عدم استفاده از این نوع کود بود. آنها اظهار داشتند که باکتری‌های محرک رشد از طریق تولید متابولیت‌های فعال (ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه) شرایط بهینه بستر کشت را برای جذب عناصر غذایی فراهم آورده و سبب افزایش عملکرد شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که اکسیداسیون گوگرد از طریق تولید اسیدهای آلی باعث حل شدن فسفر و سایر مواد معدنی می‌گردد و فسفر در دسترس قرار گرفته افزایش عملکرد سیر را به دنبال داشته است (Chandel et al., 2012).

فعالیت آنها در دسترس قرار دادن مواد غذایی ضروری برای رشد گیاه می‌باشد، همچنین حضور تعداد زیاد باکتری‌های موجود در کودهای زیستی از طریق کنترل بیولوژیکی پاتوژن‌های خاک‌زاد، بهبود رشد گیاه را به دنبال داشته‌اند (Egamberdiyeva, 2005).

وزن سیر در گیاه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای آزمایشی تاثیر معنی‌داری بر وزن سیر در بوته داشت (جدول ۵). بیشترین وزن سیر در بوته ۲۲/۵ گرم در بوته از کاربرد کود بیوفسفر به دست آمد که نسبت به شاهد حدود ۳۷ درصد افزایش داشت. کاربرد کود نیتروکسین هم افزایش ۳۴ درصدی وزن سیر در بوته در مقایسه با شاهد داشت. کمترین وزن سیر در بوته ابتدا در شاهد و بعد از تاثیر کود گوگردی حاصل شد (جدول ۶). نتایج مطالعه علیزاد و همکاران (Alizad et al., 2018) هنگامی که از تلفیق دو باکتری آزوسپیریوم (میکروارگانیزم تثبیت کننده نیتروژن) و پسودوموناس (باکتری حل‌کننده فسفات) در بسترهای مختلف کشت استفاده شد سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک سیر گردید. آنها اظهار داشتند هرچند نوع بستر کشت و منبع تامین‌کننده نیتروژن (کود شیمیایی، کودهای آلی) برای رشد مهم است اما کاربرد باکتری‌های محرک رشد در تلفیق با این منابع از طریق افزایش فراهمی عناصر کم‌مصرف و پرمصرف در خاک ارتقای اجزای عملکرد گیاه سیر را به دنبال داشته است. نتایج مطالعه سینگ و سینگ (Singh and Singh, 2017) نشان داد هنگامی که از باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن (*Azotobacter*) و حل‌کننده فسفات در بستر کشت استفاده شد توانست نیتروژن قابل دسترس

فتوسنتز (Pn)

اثر تیمارهای کود زیستی بر مقدار فتوسنتز معنی دار ($p \leq 0.01$) شد (جدول ۵). استفاده از کود زیستی بیوفسفور نسبت به شاهد حدود ۴۶ درصد مقدار فتوسنتز ($17/9 \mu\text{CO}_2 \text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) بیشتری داشت و کمترین مقدار فتوسنتز از شاهد ($9/54 \mu\text{CO}_2 \text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) به دست آمد. هر چند استفاده از کود باسیلوس سابتلیس و گوگرد از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با هم نداشتند با این حال از شاهد حدود ۳۱ بیشتر و از بیوفسفور و نیتروکسین حدود ۱۷ درصد مقدار فتوسنتزی کمتری داشت (شکل ۱). نتایج مطالعه منیر و همکاران (Mounir et al., 2020) نشان داد زمانی که از باکتری‌های حل کننده پتاسیم در گیاه استفاده شد بدون اضافه کردن هیچ نوع کودی مقدار کلروفیل قرائت شده نسبت به شاهد حدود ۵ درصد در هر دو سال آزمایش کمتر بود با این حال در همین آزمایش مقدار کل کربوهیدرات تولید شده در این تیمار نسبت به شاهد حدود ۸ درصد افزایش داشت که نشان دهنده بهبود فتوسنتز در کاربرد باکتری‌ها است. در مطالعه دیگری فودا (Fouda, 2020) بیان کرد زمانی که از ترکیب کودهای حاوی باکتری‌های حل کننده فسفات به همراه سایر ترکیبات استفاده شد مقدار کربوهیدرات در گیاه سیر نسبت به زمانی که در تیمار آزمایشی ترکیب کود زیستی نبود حدود ۶ درصد افزایش نشان داد که این مورد نشان دهنده افزایش فتوسنتز گیاه در شرایط حضور باکتری-های حل کننده فسفات است. مطالعه حاضر با یافته‌های این محققین سازگاری دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که دستگاه فتوسنتزی توسط عوامل گیاهی و محیطی کنترل می‌گردد. توانایی بازسازی آنزیم‌های فتوسنتزی، سرعت انتقال و عوامل

روزته‌ای را می‌توان از عوامل گیاهی و از عوامل خارجی تاثیرگذار بر فتوسنتز به باروری خاک و نوسانات آب و هوایی نسبت داد. در همین رابطه تامین ساختارهای برخی پروتئین‌ها مانند مولکول‌های مراکز واکنش فتوسیستم I و II و نیز آنزیم‌های موثر بر تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تاثیر دسترسی به کوفاکتورهای موثر در آن قرار دارد که معمولاً در ترشحات باکتری‌های محیط ریشه سبب آزاد سازی آن می‌شود. لذا به نظر می‌رسد ریزوباکتری‌ها می‌توانند به‌طور غیرمستقیم از طریق مهیا نمودن اسیدامینه‌های لازم برای ساختارهای پروتئین مراکز واکنش فتوسنتزی، بهبود فعالیت آنزیم‌های ساخت کلروفیل بر پایداری فرآیند فتوسنتز بیفزایند (Taize and Zaiger, 2002).

هدایت روزنه‌ای

نتایج جدول تجزیه واریانس حاکی از تاثیر معنی داری کودهای زیستی بر مقدار هدایت روزنه‌ای بود (جدول ۵). مقدار هدایت روزنه‌ای در کاربرد کود زیستی بیوفسفر $0/251$ مول بر مترمربع در ثانیه بود که حدود ۴۷ درصد از شاهد بیشتر بود. دامنه تغییرات هدایت روزنه‌ای غیر از شاهد ($0/133$) بین $0/181$ تا $0/251$ $\text{mmolH}_2\text{O m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ بود. کاربرد کود زیستی نیتروکسین نیز مقدار هدایت روزنه‌ای $0/219$ داشت که با کود بیوفسفر اختلاف معنی داری بر روی هدایت رونه‌ای نداشت. کود گوگرد تاثیر بهتری از کود زیستی باسیلوس سابتلیس داشت با این حال از دو نوع کود نیتروکسین و بیوفسفر مقدار هدایت روزنه‌ای کمتری را سبب شد (شکل ۱). بوتاسکنیت و همکاران (Boutasknit et al., 2021) نشان دادند زمانی که در بستر کشت از کودهای زیستی استفاده می‌شود باعث بهبود

بقیه تیمارها مقدار C_i بیشتر از ۲۰۰ بود. مسیر انتقال CO_2 به داخل برگ، از طریق روزنه‌ها است. این اشتراک مسیر روی مقدار C_i تاثیرگذار است. کاهش در مقاومت روزنه‌ها منجر به جذب بیشتر CO_2 در برگ می‌شود. هرچه عرضه CO_2 به فضای بین سلولی بیشتر باشد، مقدار فشار جزئی C_i افزایش یافته و این سبب ایجاد شیب اختلاف غلظت بین داخل سلول و خارج سلول شده و سرعت انتشار را به داخل سلول افزایش می‌دهد که در نهایت منجر به افزایش مقدار کربوکسیلاسیون فتوسنتزی می‌شود (Taize and Zaiger, 2002). لذا به نظر می‌رسد کودهای زیستی از طریق تامین یون‌های مورد نیاز، بیان آبی گیاه که منجر به افزایش پتانسیل آبی گیاه می‌شود، تاثیر گذاشته که سبب افزایش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه افزایش ورود CO_2 بین سلولی شده است.

نتیجه‌گیری کلی

کودهای زیستی از طریق تاثیر بر مواد آلی خاک و تولید کمپلکس‌های آلی و معدنی سبب تشکیل خاک‌دانه‌ها در بستر کشت می‌شوند. وجود هم‌زیستی با میکروارگانیسم‌های خاک و نیز مهیا بودن شرایط (رطوبت و کربن آلی) انرژی لازم را برای بهبود فعالیت‌های متابولیکی باکتری‌ها مهیا ساخته که در نهایت سبب آزادسازی عناصر غذایی حاصل از تجزیه مواد آلی خاک می‌شود. به‌طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از کودهای حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات (سودوموناس) از طریق بهبود صفات مورفوفیزیولوژیکی و اجزای عملکرد سبب افزایش عملکرد سیر شده است و بعد از آن کود حاوی باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن عملکرد سیر بیشتری داشت.

هدایت روزنه‌ای در گیاه سیر شده است. نتایج مطالعه خلیل‌زاده و همکاران (Khalilzadeh et al., 2016) نشان داد که استفاده از کود زیستی نیتروکسین، بیشترین هدایت الکتریکی محلول خاک را در طول فصل رشد در گیاه ذرت را نشان داد و این صفت با مقدار نیتروژن، CEC و OM خاک همبستگی داشت. لذا به نظر می‌رسد افزایش پتانسیل آبی سلول و بافت ناشی از مکانیزم‌های تنظیم اسمزی در شرایط مختلف محیطی است. سلسله واکنش‌هایی که منجر به باز شدن روزنه‌ها می‌شود مانند حسگرهای سلول‌های روزنه و نیز واکنش‌ها انتقال یونی بین این سلول‌ها و سلول‌های کمکی بخشی توسط انرژی حاصل از سوخت و ساز ذخیره کربنی در طی فرآیند فتوسنتز تامین می‌شود که افزایش مقدار فتوسنتز وابسته به تامین مواد غذایی در دسترس بوده که توسط کودهای زیستی تامین شده و بهبود فعالیت این دریچه‌های هیدرولیکی را به دنبال داشت.

مقدار CO_2 بین سلولی (C_i)

مسیر اصلی برای ورود CO_2 داخل برگ، روزنه است. CO_2 از طریق روزنه به اتاقک زیرروزنه و بعد به داخل فضای بین سلولی سلول‌های مزوفیل می‌رسد، که مقدار آن تحت تاثیر فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای قرار دارد، همان تاثیری که تیمارهای آزمایشی بر روی فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای داشتند بر روی مقدار C_i نیز تاثیرگذار بودند. کودهای مورد آزمایش تاثیر معنی‌داری بر مقدار C_i داشتند (جدول ۵). بیشترین و کمترین مقدار C_i از تاثیر کود زیستی بیوفسفور و شاهد به ترتیب با مقادیر 246 و $175 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ به‌دست آمد (جدول ۶).

تنها کود باسیلوس سابتلیس و شاهد مقدار C_i کمتر از $200 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ داشتند، در

جدول ۱- نتایج آزمایش خاک مزرعه قبل از آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری

Table 1- Results of field soil testing from depth zero to 30 cm prior of experiment

پتاسیم در دسترس K _{ave} (ppm)	نیتروژن NT (%)	فسفر در دسترس P _{ave} (ppm)	نیتروژن NT (%)	فسفر در دسترس P _{ave} (ppm)	نیتروژن NT (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	بافت خاک Soil texture
248	13.1	0.077	36.4	0.61	7.5	1.08	Loam

جدول ۲- نتایج آزمایش خاک مزرعه بعد از اجرای آزمایش

Table 2- Results of field soil testing at the end of experiment

پتاسیم در دسترس K _{ave} (ppm)	نیتروژن NT (%)	فسفر در دسترس P _{ave} (ppm)	نیتروژن NT (%)	فسفر در دسترس P _{ave} (ppm)	نیتروژن NT (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	بافت خاک Soil texture
150	6.7	0.048	31.3	0.54	7.7	1.92	Loam

جدول ۳- نتایج آزمایش کود دامی مورد استفاده

Table 3- Results of using animal manure testing

EC (dS.m ⁻¹)	pH	OC (%)	K (%)	P (%)	N (%)
16.4	7.85	43.5	3.21	0.68	2.38

جدول ۴- ترکیبات شیمیایی در سیر تازه

Table 4- Chemical compounds in fresh garlic

عناصر										ویتامین‌ها			
Fe	Ca	K	P	Mn	Cu	Zn	Mg	Na	ویتامین C	ویتامین B6	نیاسین B3	ریبوفلاوین B2	تیامین
mg.100 ⁻¹ g f.w													
2.1	13.0	48.7	9.86	0.01	0.01	0.53	2.63	53	113.8	1.37	0.84	0.02	0.21

ادامه جدول ۴

Table 4- Continued

انرژی Energy	خاکستر Ash	لیپید Lipid	کربوهیدرات Carbohydrate	فیبر Fiber	نشاسته Starch	پروتئین Pr	آب H2O
kcal.100 ⁻¹ g f.w							
133	2.3	5.1	41.4	1.2	22.1	13	53.6

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه سیر تحت تاثیر کودهای زیستی و گوگرد

Table 5- Results of variance analysis (mean squares) of garlic morphological traits under the influence of bio fertilizers and sulfur

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	طول ساقه Stem length	قطر ساقه Stem diameter	طول برگ Leaf length	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	وزن تر برگ Fresh weight of leaf	وزن خشک برگ Dry weight of leaf	وزن تر ساقه Fresh weight of stem
بلوک block	2	1.16 ns	0.035*	0.256 ns	4.13*	0.496 ns	1.76*	0.411 ns
تیمار Treatment	4	7.78ns	0.072**	10.2*	2.84*	132**	4.27**	59.3**
خطا Error	8	2.64	0.004	1.72	0.677	1.71	0.287	5.80
C.V. (%)		15.6	13.7	10.9	8.97	12.8	10.6	13.4

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.
ns, * and **: nonsignificant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

ادامه جدول ۵-

Table 5- Continued

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد سیرچه Number of bulblets	وزن سیر Bulb weight	کربن بین سلولی Intra cellular carbon	هدایت روزنه ای Stomata conductivity	فتوسنتز Photosynthesis	وزن یک سیرچه Weight of bulblet	عملکرد سیر Garlic yield per m ²
بلوک block	2	5.29**	0.182 ns	8.11**	0.000**	1.46*	0.003 ns	1355 ns
تیمار Treatment	4	26.9**	32.6**	1261**	0.021**	33.8**	1.00**	191098**
خطا Error	8	0.291	0.760	0.870	0.0001	0.371	0.007	1179
C.V.(%)		17.4	15.7	7.03	9.11	8.57	16.1	20.1

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.
ns, * and **: nonsignificant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۶- مقایسه میانگین برخی صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد سیر تحت تاثیر کودهای زیستی و گوگرد در شرایط مزرعه

Table 6- Mean comparison of some morphological traits and yield components of garlic affected by bio fertilizers and sulfur in field conditions

تیمار Treatment	طول ساقه Stem length (cm)	قطر ساقه Stem diameter (cm)	طول برگ Leaf length (cm)	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	وزن تر برگ Fresh weight of leaf (g)	وزن خشک برگ Dry weight of leaf (g)	وزن تر ساقه Fresh weight of stem (g)	تعداد سیرچه Number of bulblets	وزن یک سیرچه Weight of bulblet (g)
T1	32.5a	0.88ab	34.2a	6.31a	39.1a	6.37a	45.9ab	11.6b	3.10a
T2	29.4a	0.72b	30.6a	6.00a	21.6d	3.34c	40.0b	10.3c	1.81d
T3	32.6a	0.83b	32.0a	6.00a	29.4b	5.74ab	40.2b	13.5a	2.64b
T4	30.8a	1.07a	32.3a	5.82a	25.1cd	4.38bc	45.9ab	10.3c	2.18c
T5	33.4a	1.08a	34.1a	5.83a	27.6bc	5.37ab	50.6a	13.6a	3.13a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵٪ هستند.
Numbers followed by the same letter are not significantly different (P≤0.05)

T1: نیتروکسین، T2: شاهد، T3: گوگرد، T4: باسیلوس سابیتلیس، T5: بیوفسفر

T1: Nitoxin, T2: Control, T3: Sulphur, T4: Basilus subtilis, T5: Biophosphur.

ادامه جدول ۶-

Table 6- Continued

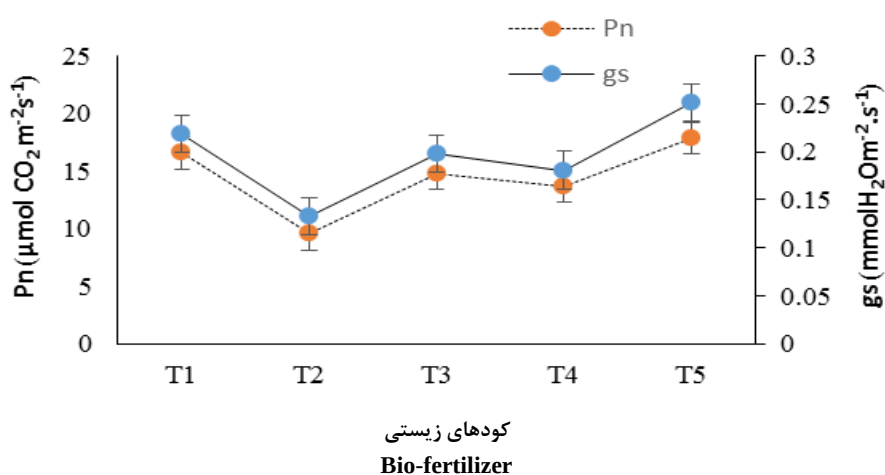
تیمار Treatment	وزن یک سیرچه Weight of bulblet (g)	تعداد سیرچه Number of bulblets	وزن یک سیرچه Weight of bulblet (g)	وزن سیر Bulb weight (g.plant ⁻¹)	عملکرد سیر Garlic yield per g.m ⁻²	کربن بین سلولی (Ci) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
T1	3.10a	11.6b	3.10a	21.3ab	941b	226ab
T2	1.81d	10.3c	1.81d	14.0d	539c	175c
T3	2.64b	13.5a	2.64b	18.0c	932b	213b
T4	2.18c	10.3c	2.18c	19.0bc	635c	198bc
T5	3.13a	13.6a	3.13a	22.5a	1176a	246a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ هستند.

Numbers followed by the same letter are not significantly different ($P \leq 0.05$).

T1: نیتروکسین، T2: شاهد، T3: گوگرد، T4: باسیلوس سابیتلیس، T5: بیوفسفر

T1: Nitoxin, T2: Control, T3: Sulphur, T4: *Bacillus subtilis*, T5: Biophosphur.



شکل ۱- تاثیر کودهای زیستی و گوگرد بر مقدار فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در گیاه سیر در شرایط مزرعه

Figure 1- Effect of bio fertilizers and sulfur on photosynthesis and stomatal conductance in garlic plant in field conditions

References

منابع مورد استفاده

- Akbari, S., M. Kafi, and S. Rezvani Bidokhti. 2016. The effects of drought stress on yield, yield components and anti-oxidant of two garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes with different planting densities. *Journal of Agroecology*. 8(1): 95-106 (In Persian).
- Ali, M.A., F. Ilyas, M. Arshad, S. Hussain, M. Iqbal, S. Ahmad, A. Saboor, G. Mustafa, and N. Ahmed. 2019. Microbial inoculation of seeds for better plant growth and productivity. In *Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings* (pp. 523-550). Springer, Singapore.
- Alizad, L., M. Mostafavi Rad, and K. Aghaei. 2018. Effect of nitrogen sources type and plant growth promoting bacteria on yield and its attributes of Talesh local garlic in Rasht. *Crops Improvement (Journal of Agricultural Crop Production)*. 20(2): 533-545. (In Persian).
- Bhushan, Ch., S. Kumar Katiyar, and N. Vikram. 2020. Effect of bio-fertilizers on growth behaviour and quality parameters of garlic (*Allium sativum* L.) *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 9(7): 228-232.
- Boutasknit, A., Y. Ait-Rahou, M. Anli, M. Ait-El-Mokhtar, R. Ben-Laouane, and A. Meddich. 2021. Improvement of garlic growth, physiology, biochemical traits, and soil fertility by rhizophagus irregularis and compost. *Gesunde Pflanzen*. 73: 149–160.
- Bozin, B., N. Mimica-Dukic, I. Samojlik, A. Goran, and R. Igic. 2008. Phenolics as antioxidants in garlic (*Allium sativum* L., Alliaceae). *Food Chemistry*. 111(4): 925-929.
- Chandel, B.S., P.K. Thakur, J. Ali, and H. Singh. 2012. Soil sulfur status and response of garlic to sulfur in relation to phosphorus. *Annual, Plant, Soil Research*. 14: 2. 156-158
- Egamberdiyeva, D. 2005. Plant-growth-promoting rhizobacteria isolated from a Calcisol in a semi-arid region of Uzbekistan: Biochemical characterization and effectiveness. *Journal of the Plant Nutrition and Soil Science*. 168: 94–99.
- Esmaeelian, Y., M.B. Amiri, S. Askari Naeeni, J. Moradi Sadr, and F. Heidari Amale. 2018. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of garlic medicinal plant (*allium sativum* L.) under the conditions of different organic and chemical fertilizers application. *Journal of Horticultural Science*. 31(4): 722-738.
- Fallahi, J. 2009. Effect of biofertilizers and chemical fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of *Matricaria chamomilla*. MS.c. Thesis of Agroecology, Faculty of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).
- Fouda, K.F. 2020. Effect of phosphorus fertilization and PSB on garlic quality under organic farming system. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 11(11): 661-666.
- Ghanati, S., and A.B. Sharangi. 2009. Effect of biofertilizers on growth, yield and quality of onion. *Journal of Crop and Weed*. 5(1):120-123.

- Ghasemi, A. 2009. Medicinal and aromatic plants, identifying and studying their effects. Publications of Islamic Azad University, Shahrkord. (In Persian).
- Gholami, A., S. Shahsavani, and S. Nezarat. 2009. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on germination, seedling growth and yield of maize. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 49: 19-24.
- Khalilzade, H., J. Jahan, and M. Nassiri Mahallati. 2016. Estimation of corn yield and soil nitrogen via soil electrical conductivity measurement treated with organic, chemical and biological fertilizers. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 13(4): 786-796.
- Kurrey, D.K., M.K. Lahre, and G.S. Pagire. 2018. Effect of azetobacter on growth and yield of onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 7: 1171-1175.
- Lakzian, A., S. Sheibani, M. Bahadorian, and L. Shaddel. 2004. Soil microbiology an exploratory Approach. Sokhangostar Publication. 554 Page. (In Persian).
- Massoud, O.N., M.M.I. Afifi, Y.S. El-Akshar, and G.A.M. El-Sayed. 2013. Impact of biofertilizers and humic acid on the growth and yield of wheat grown in reclaimed sandy soil. *Research Journal of Agriculture and Biological*. 9: 104-113.
- Mollafilabi, A., S. Khoramdel, and H. Shorideh. 2013. Effect different nitrogen fertilizers and seedbeds on yield and yield component of garlic plant (*Allium sativum* L.). *Journal of Agroecology*. 4(4): 316-326. (In Persian).
- Mosawi, Z., A. Ahmadian, H. Kaweh, and A. Salari. 2018. Effect of different levels of stress and vermicompost fertilizer on yield, yield component and active compound of allicin in garlic medicinal herbs. *Journal of Water and Soil Conservation*. 25(1): 215-227 (In Persian).
- Mounir, A.M., Y.M.M. Osman, and A.A. Khalil. 2020. Impact of potassium solubilizing bacteria on growth and yield of garlic. *Plant Archives*. 20(2): 8374-8388.
- Rezvani Moghaddam, P., M.B. Amiri, A. Norozian, and H.R. Ehyae. 2015. Evaluation of two mycorrhiza species and nitroxin on yield and yield components of garlic (*allium sativum* L.) in an ecological agroecosystem. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 13(3): 435-447.
- Shedeed, S.I., S.A.A. El-Sayed, and D.A. Bash. 2014. Effectiveness of bio-fertilizers with organic matter on the growth, yield and nutrient content of onion (*Allium cepa* L.) plants. *European International Journal of Science and Technology*. 3: 115-122.
- Singh, S.P. 2012. Response of bio-fertilizer *Azospirillum* on growth and yield of fennel. *Asian Journal of Horticulture*. 7(2): 561-564.
- Singh, J.S., V.C. Pandey, and D.P. Singh. 2011. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 140: 339-353.
- Singh, G., and S.K. Singh. 2017. Effect of biofertilizers and NPK on yield of garlic and nutrient availability of soil. *Agriways*. 5(2): 91-96.
- Surendra, S. 2008. Effect of sulphur on yields and S uptake by onion and garlic grown in acid alfisol of Ranchi. *Agricultural Science Digestible*. 28: 189-191.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. Plant physiology. Publisher: Sinauer Associates. 690 pp.

- Vivas, A., A. Marulanda, J.M. Ruiz-Lozano, J.M. Barea, and R. Azcon. 2003. Influence of *Bacillus* sp. on physiological activities of two arbuscular mycorrhizal fungi and on plant responses to PEG-induced drought stress. *Mycorrhiza*. 13: 249-256.
- Yadegari, M., H. Asadirahmani, G. Noormohammadi, and A. Ayneband. 2010. Plant growth promoting rhzobacteria increase growth, yield and nitrogen fixation in *Phaseolis vulgaris*. *Journal of Plant Nutrition*. 33: 1733- 1743.
- Zare Abyaneh, H., M. Bayat Varkeshi, A. Ghasemi, S. Marofi, and R. Amiri Chayjan. 2011. Determination of water requirement, single and dual crop coefficient of garlic (*Allium sativum*) in the cold semi-arid climate. *Australian Journal of Crop Science*. 5(8):1050-1054.

Research Article

DOI:

Effect of Bio-fertilizers with Sulfur on Morphophysiological and Yield Components of Garlic (*Allium Sativum*) in Field Conditions

Seyed Fazel Fazeli Kakhki ^{1*}, Hossein Rezvani ² and Nastaran Hemmati ³

Received: April 2022 , Revised: 25 June 2022, Accepted: 10 July 2022

Abstract

Garlic is the second bulbous product after onions, which is considered by consumers due to its medicinal compounds. This product has different functions with adaptation in different climates. Existence of high bio-flexibility in this plant has caused the planting of this plant in most temperate and cool regions in Iran. In order to investigate the effect of nitrogen-fixing and phosphate-solubilizing soil microorganisms with sulphur fertilizer and pure *Bacillus subtilis* on morphophysiological and yield components of garlic (*Allium sativum* L.), an experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications in agriculture research and education center of Mashhad in 2020. Experimental treatments include bio fertilizers i) Nitroxin (*Azotobacter* sp., *Azospirillum* *Azospirillum* sp., *Entrobacter Cloacea*), ii) Biophosphate (PSB) (containing phosphate-solubilizing bacteria of the genus *Bacillus* and *Pseudomonas*), iii) *Bacillus subtilis*, iv) sulphur fertilizer and control. The results showed that garlic did not show a positive response to the use of *Bacillus subtilis* bacteria. The highest fresh weight of the stem (50.6 g) was obtained from the treatment containing *Pseudomonas* bacteria. The highest fresh weight and dry weight of leaves were significant under the influence of nitroxin fertilizers with 39.1 and 6.37 g.plant⁻¹, respectively. Fertilizers containing *Azotobacter*, *Azospirillum* and *Entrobacter Cloacea* also had a 34% increase in garlic weight per plant compared to the control. Application of biofertilizer containing phosphate-solubilizing bacteria had the highest number of garlic, garlic weight per plant and garlic yield (11760 kg.ha⁻¹). The highest amount of photosynthesis (17.9 $\mu\text{CO}_2\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), stomatal conductance (0.251 mmolH₂O m⁻².s⁻¹) and Ci (246 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) were obtain from Phosphate solubilizing bacteria. In general, the results showed that both phosphate-solubilizing bacteria and nitrogen-fixing bacteria improved the morphophysiological and yield traits of garlic, but the greatest effect was obtained from *Pseudomonas* and *Bacillus* bacteria.

Key words: Biofertilizer, Phosphate solubilizing bacteria, Photosynthesis, Sulphur.

1 Assistant Professor, Agricultural Research and Training Center of Khorasan Razavi, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Mashhad, Iran.

2- Assistant Professor, Agricultural Research and Training Center and Golestan Natural Resources, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Gorgan, Iran.

3- Ph.D. in Medicinal Plants, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*Corresponding Authors: sf_fazeli@yahoo.com