

اثر کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی بر غلظت عناصر کم مصرف و برخی از شاخص‌های رشدی شلغم علوفه‌ای (*Brassica Rapa L.*)

اعظم رومانی^۱، سید محمدرضا احتشامی^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه گیلان، ایران

۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه گیلان، ایران

*مسئول مکاتبه: smrehteshami@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۸/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۳/۲۴

چکیده

به منظور بررسی اثر کودهای زیستی و شیمیایی بر غلظت عناصر کم مصرف و برخی از شاخص‌های رشدی شلغم علوفه-ای آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ اجرا شد. ۱۴ تیمار آزمایشی شامل شاهد (بدون کود و بدون تلقیح)، کود کامل شیمیایی و بدون تلقیح، تلقیح با *Azotobacter chroococcum* strain 12 همراه با کاربرد سطوح مختلف (صفر، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) کود شیمیایی نیتروژنه، تلقیح با *Pseudomonas fluorescens* strain 41 همراه با کاربرد سطوح مختلف (صفر، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) کود شیمیایی فسفره و تلقیح با *A. chroococcum* strain 12 + *P. fluorescens* strain 41 همراه با کاربرد سطوح مختلف (صفر، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) کودهای شیمیایی نیتروژنه و فسفره بود. نتایج آزمایش نشان داد که غلظت عناصر مس، منیزیم، منگنز، آهن و فسفر در شاخساره و غده گیاه و همچنین، عملکرد علوفه، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته و غلظت کلروفیل a و b تحت تاثیر تیمارهای مختلف قرار گرفت. بیش‌ترین غلظت عناصر کم مصرف و شاخص‌های رشد در تیمار تلقیح با *ازتوباکتر کروکوکوم* و *سودوموناس فلورسنس* و ۵۰ درصد کودهای شیمیایی نیتروژنه و فسفره به دست آمد. تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد، مصرف هم‌زمان کود شیمیایی فسفره و نیتروژنه را به مقدار ۵۰ درصد مقدار مورد نیاز آن کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: *ازتوباکتر کروکوکوم*، *سودوموناس فلورسنس*، شاخص‌های رشدی، شلغم علوفه‌ای، عناصر معدنی.

مقدمه

مطلوب از اهمیت قابل توجهی در جهت تامین علوفه برخوردار هستند (آیریس و کلمنتس، ۲۰۰۲)، بنابراین سیستم مدیریت کودی مناسب به دلیل افزایش جمعیت حیوانات اهلی و صنعت پروراندی آن‌ها و همچنین به-عنوان پی‌آمد اجرای برنامه‌های زیست محیطی، شایسته گسترش است (کارمکا و همکاران، ۲۰۰۷). با توجه به محدودیت استفاده از کودهای شیمیایی چالش اصلی برای تبدیل یک مزرعه متداول به یک مزرعه ارگانیک، تهیه عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم است، زیرا این عناصر به

شلغم علوفه‌ای با نام علمی *Brassica rapa* از تیره شب‌بو یا چلیپاییان Brassicaceae و جنس *Brassica*، گیاه علوفه‌ای جدیدی است که به دلیل ویژگی‌های منحصر به-فرد خود نظیر تولید انبوه علوفه در زمانی که سایر گیاهان علوفه‌ای محصولی تولید نمی‌کنند، مورد توجه واقع شده است (رایو و هورن، ۱۹۸۶). با توجه به این که امروزه از گیاهان علوفه‌ای متعددی جهت تغذیه دام استفاده می‌شود و در این میان گیاهان علوفه‌ای براسیکا محصولاتی هستند که به دلیل رشد سریع، عملکرد بالا و کیفیت علوفه‌ای

عملکرد گیاه می‌شوند. اهمیت کاربرد تلفیقی کودهای آلی، شیمیایی و زیستی در افزایش فراهمی و جذب عناصر غذایی به وسیله گیاه و افزایش کیفیت و عملکرد نیز توسط محققان متعددی به اثبات رسیده است (خاوازی و همکاران، ۲۰۰۱). افزایش معنی‌دار عملکرد در تعدادی از گیاهان مانند گوجه فرنگی (چاندا و همکاران، ۲۰۱۱)، کلم (چتیرجی، ۲۰۱۰)، سورگوم (سینگ و همکاران، ۲۰۱۱)، گندم (ویسی، ۲۰۰۳)، پیاز (ناوالا و همکاران، ۲۰۰۴)، بامیه (هاریدی و آمارا، ۱۹۹۸)، گندم و خردل (گوپتا و گوپتا، ۲۰۰۶)، ذرت (یزدانی و همکاران، ۲۰۰۹) و استویا (داس و همکاران، ۲۰۰۷) بر اثر کاربرد کودهای زیستی گزارش شده است. همچنین، مونا (۲۰۱۲) در کاربرد تلفیقی باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* با *سودوموناس* و دیگر باکتری‌ها بیش‌ترین میزان منیزیم، فسفر، پتاسیم، روی، منگنز، آهن و مس را در گیاه مورینگا گزارش کرد. سایر محققان علت آن را این‌گونه بیان کردند که باکتری‌ها و قارچ‌ها با اسیدی کردن محیط ریشه موجب حل شدن فسفات و کاتیون‌های ریزمغذی شامل آهن، منیزیم و منگنز می‌گردند و بنابراین، از طریق انحلال این مواد معدنی، مقدار این عناصر در اندام‌های گیاه را افزایش می‌دهند (ویلگاس و فورتن، ۲۰۰۲؛ ورما و همکاران، ۲۰۰۷). به‌علاوه، این میکروارگانیسم‌ها از طریق مکانیسم‌های مختلفی نظیر تثبیت نیتروژن، تبدیل فسفات معدنی به آلی، افزایش جذب آب و مواد غذایی، آزاد کردن متابولیت‌ها و تولید هورمون‌های گیاهی موجب تحریک رشد گیاه می‌شوند (یادگاری و همکاران، ۲۰۱۰؛ سینگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ پیرومیو و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین، با توجه به نقش گیاهان علوفه‌ای در تغذیه دام و در نتیجه نیاز انسان به فرآورده‌های دامی، این پژوهش با هدف بررسی تاثیر کودهای زیستی و شیمیایی بر غلظت عناصر کم‌مصرف و برخی از شاخص‌های رشدی گیاه شلغم علوفه‌ای انجام پذیرفت.

مقدار زیاد مورد نیاز گیاه هستند و به آسانی از خاک شسته می‌شوند و یا در خاک تثبیت می‌گردند (رودریگوس و همکاران، ۲۰۰۶). راه‌حل اساسی این مشکل حرکت به سوی کشاورزی پایدار بر اساس استفاده هر چه بیش‌تر از نهاده‌های درون مزرعه‌ای از جمله استفاده از جانداران مفید خاک‌زی تحت عنوان کودهای زیستی است (کاپور و همکاران، ۲۰۰۴). کودهای زیستی به مجموعه مواد نگهدارنده همراه با تعداد زیادی از یک یا چند ریزجاندار مفید خاک‌زی و یا فرآورده‌های متابولیک آن‌ها اطلاق می‌گردد که بیش‌تر به‌منظور تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و ایجاد شرایط فیزیکی و شیمیایی مناسب خاک برای رشد و نمو آن و به صورت مایه تلقیح زنده برای مصرف در خاک و یا همراه با بذر تولید می‌شوند (شارما، ۲۰۰۲). در بین ریزجانداران خاک که فعالیت آن‌ها بر رشد، تغذیه و سلامت گیاه تاثیر مثبتی دارد و کاربرد آن‌ها به عنوان کود زیستی مورد توجه محققان قرار گرفته است، می‌توان به انواع باکتری‌های ریزوسفر اشاره کرد که به عنوان باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR)^۱ دانامیده می‌شوند (سیندهو و همکاران، ۲۰۰۲). باکتری‌های جنس *ازتوباکتر* و *سودوموناس* به دلیل فراوانی و وسعت انتشار بیش از دیگر باکتری‌ها مورد توجه هستند. این باکتری‌ها از مهم‌ترین ریزجانداران محیط ریشه گیاهان هستند که در مورد افزایش رشد بودن آن‌ها و اثرات مثبت آن‌ها بر رشد گیاهان مطالعات زیادی صورت گرفته است. این باکتری‌ها دارای طیف گسترده‌ای از صفات محرک رشد گیاهی مانند تولید اکسین (پتین و گلیک، ۲۰۰۲)، تولید آنزیم دی‌آمیناز (پنروز و گلیک، ۲۰۰۳)، تولید سیدروفور (مایر، ۲۰۰۰)، افزایش حلالیت فسفات (رشید و همکاران، ۲۰۰۴)، تولید اسید سالیسیلیک (مورهور و همکاران، ۱۹۹۸)، کیتیناز (آجیت و همکاران، ۲۰۰۶) و سیانید هیدروژن (شیفرز و همکاران، ۱۹۹۰) است که به طور مستقیم یا غیرمستقیم موجب افزایش

¹ - Plant growth promoting rhizobacteria

مواد و روش‌ها

به صورت دستی و در عمق یک سانتی‌متری خاک انجام شد. برای تامین نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد نیاز به ترتیب از منبع اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم کودپاشی هم‌زمان با کاشت طبق آزمون خاک و مطابق با توصیه کودی برای شلغم علوفه‌ای انجام شد (جدول ۱). در اوایل مرحله گل‌دهی به صورت تصادفی تعداد دو بوته از هر کرت جهت تعیین شاخص سطح برگ با رعایت اثر حاشیه‌ای، کف‌بر و با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter, UK)، مساحت کل برگ‌های دو بوته اندازه‌گیری شد. در مرحله گل‌دهی کامل، نمونه‌گیری جهت تعیین میزان کلروفیل a و b انجام گرفت، بدین طریق که از هر کرت یک بوته انتخاب و یک برگ از گره مشخص جدا شد و با استفاده از روش تخریبی و با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی انجام گردید. برای این کار نیم گرم از بافت برگ در داخل هاون چینی و با استفاده از نیتروژن مایع ساییده شد، سپس نمونه‌های حاوی پنج صدم گرم از نمونه برگگی و یک میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در دستگاه ساتریفیوژ با دور ۶۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت و پس از قرار دادن در نیم ساعت تاریکی، عصاره محلول به دست آمده در کووت کوارتز اسپکتروفتومتر ریخته شد و به طور جداگانه برای هر نمونه در دو طول موج ۶۶۳ و ۶۴۵ به ترتیب برای دو کلروفیل a و b اندازه‌گیری صورت گرفت. برای تعیین محتوای کلروفیل a و b اعداد خوانده شده توسط دستگاه، در روابط زیر قرار داده شدند (لیچتن‌تالر و ولبورن، ۱۹۸۷):

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{Ca} = 11.75 A_{662} - 2.350 A_{645}$$

$$\text{رابطه ۲} \quad \text{Cb} = 18.61 A_{645} - 3.960 A_{662}$$

جهت تعیین غلظت عناصر معدنی شلغم علوفه‌ای نیز در مرحله گل‌دهی از هر کرت به صورت تصادفی دو بوته انتخاب و در آن به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس، آسیاب شدند و نسبت به

این آزمایش طی سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) اجرا گردید. تیمارهای مورد بررسی در این تحقیق شامل تلقیح بذر شلغم علوفه‌ای (رقم TP1-50-Purple Top White) با باکتری‌های محرک رشد (*Globe Turnips*) با باکتری‌های محرک رشد (*Azotobacter chroococcum* strain 12) و (*Pseudomonas fluorescens* strain 41) در تلقیح با کودهای شیمیایی نیتروژنه و فسفره، به شرح زیر بود:

- ۱- شاهد (بدون کود و بدون تلقیح)، ۲- کود کامل شیمیایی و بدون تلقیح، ۳- تلقیح بذر با *Azotobacter chroococcum* strain 12 + بدون کود نیتروژنه، ۴- تلقیح بذر با *A. chroococcum* strain 12 + ۵۰ درصد کود نیتروژنه، ۵- تلقیح بذر با *A. chroococcum* strain 12 + ۷۵ درصد کود نیتروژنه، ۶- تلقیح بذر با *A. chroococcum* strain 12 + ۱۰۰ درصد کود نیتروژنه، ۷- تلقیح بذر با *Pseudomonas fluorescens* strain 41 + بدون کود فسفره، ۸- تلقیح بذر با *P. fluorescens* strain 41 + ۵۰ درصد کود فسفره، ۹- تلقیح بذر با *P. fluorescens* strain 41 + ۷۵ درصد کود فسفره، ۱۰- تلقیح بذر با *P. fluorescens* strain 41 + ۱۰۰ درصد کود فسفره، ۱۱- تلقیح بذر با *P. fluorescens* strain 41 + *A. chroococcum* strain 12 + بدون کود نیتروژنه و فسفره، ۱۲- تلقیح بذر با *P. fluorescens* strain 41 + *A. chroococcum* strain 12 + ۵۰ درصد کود نیتروژنه و فسفره، ۱۳- تلقیح بذر با *A. chroococcum* strain 12 + *fluorescens* strain 41 + ۷۵ درصد کود نیتروژنه و فسفره، ۱۴- تلقیح بذر با *A. chroococcum* strain + *P. fluorescens* strain 41 + ۱۰۰ درصد کود نیتروژنه و فسفره.

عملیات کاشت (پس از تلقیح بذر شلغم علوفه‌ای با باکتری‌های محرک رشد تهیه شده از آزمایشگاه بیولوژی موسسه آب و خاک کرج)، با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)	pH	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	پتاسیم (ppm)	فسفر (ppm)	منیزیم (ppm)	منگنز (ppm)	آهن (ppm)	مس (ppm)	بافت خاک
۰/۳۹	۶/۴۶	۱/۱۱	۰/۰۹۸	۲۰۸	۸/۸	۱/۷	۲۳/۳	۷۰	۴/۶	سیلتی-رسی
< ۱/۵	۶/۵-۷	> ۲	> ۰/۲	> ۲۵۰	> ۱۵	۱/۴	۲۲	۶۸	۵	بهینه

رویشی است و قطر بیش تر ساقه در استحکام و مقاومت به عوامل نامساعد محیطی نقش مهمی دارد. ولی، عوامل ایجاد استحکام در ساقه با کیفیت علوفه رابطه معکوسی دارند، زیرا این بافت‌ها اغلب لیگنینی هستند و موجب کاهش کیفیت علوفه می‌شوند. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که اثر سطوح تیماری بر قطر ساقه معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین قطر ساقه مربوط به تیمار شاهد بود و بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). همچنین، با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر تیمارهای کودی بر سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین سطح برگ از تیمار تلفیقی *ازتوباکتر + سودوموناس + ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰* درصد کود شیمیایی و کم‌ترین سطح برگ از تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۳).

با توجه به نتایج به دست آمده افزایش ارتفاع بوته گیاه شلغم علوفه‌ای را می‌توان به تولید فیتوهورمون‌ها، افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی، افزایش جذب آب، تثبیت زیستی نیتروژن مولکولی و افزایش دسترسی به فسفر که توسط باکتری‌های محرک رشد فراهم می‌شود، مربوط دانست (ایریکا و همکاران، ۲۰۰۸؛ قریب و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین، نتایج تحقیقاتی نشان داد که کاربرد باکتری‌های محرک رشد موجب تحریک رشد و افزایش ارتفاع از طریق مکانیسم‌های مختلفی مانند تولید آنزیم ACC دامیناز در گیاهان می‌شود (لارسن و همکاران، ۲۰۰۹). افزایش ارتفاع بوته‌های گندم (رمضانیان، ۲۰۰۵)، ذرت (غلامی و همکاران، ۲۰۰۹) و کلزا (عسگر و همکاران، ۲۰۰۳) در واکنش به استفاده از باکتری‌های

اندازه‌گیری عناصر منگنز، منیزیم، مس و آهن با استفاده از روش هضم خشک و دستگاه جذب اتمی و عنصر فسفر به روش کالری‌متری اقدام شد (به نقل از ملکوتی و همایی، ۱۳۷۲). برای اندازه‌گیری ارتفاع و قطر بوته، در هر کرت به طور تصادفی تعداد پنج بوته انتخاب و ارتفاع از ناحیه طوقه تا راس بوته (بدون احتساب ریشه) به وسیله خط‌کش و قطر ساقه در میانگرم دوم به وسیله کولیس اندازه‌گیری شدند. از میانگین‌گیری این اعداد، متوسط ارتفاع و قطر بوته در هر کرت محاسبه گردید. در اواخر غده‌بندی دو متر مربع از هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای (حذف دو ردیف کناری و یک متر از طرفین ردیف کاشت) جمع‌آوری شد و با باسکول توزین گردید. پس از توزین، علوفه‌ها دسته‌بندی و در دستگاه آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و پس از رسیدن به وزن ثابت، با ترازوی دقیق آزمایشگاهی توزین شدند. محاسبات و تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS و SPSS و ترسیم نمودار با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایشی نشان داد که سطوح تیماری تاثیر معنی‌داری بر روی ارتفاع بوته داشتند (جدول ۲). بیش‌ترین ارتفاع بوته از تیمار تلفیقی *ازتوباکتر + سودوموناس + ۱۰۰* درصد کود شیمیایی به دست آمد که به جز تیمار تلفیقی *ازتوباکتر + بدون کود شیمیایی* و تیمار شاهد (بدون کود و عدم تلقیح) با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت، کم‌ترین ارتفاع بوته مربوط به دو تیمار اخیر بود (جدول ۳). قطر ساقه معیاری از رشد

بیش‌ترین میزان کلروفیل b برگ در تیمار تلفیقی *ازتوباکتر* + *سودوموناس* + ۵۰ درصد کود شیمیایی و کم‌ترین میزان آن در تیمار شاهد و تیمار تلقیح با *سودوموناس* + بدون کود شیمیایی فسفر مشاهده شد (جدول ۳). هم‌چنین، با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر تیمارهای کودی بر میزان کلروفیل $a + b$ برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین میزان کلروفیل $a + b$ در تیمار تلفیقی *ازتوباکتر* + *سودوموناس* + ۵۰ درصد کود شیمیایی و کم‌ترین میزان آن در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۳).

میزان نیتروژن قابل جذب برای گیاه با غلظت کلروفیل موجود در برگ‌ها دارای ارتباط مستقیم است و در نتیجه می‌توان با اندازه‌گیری میزان کلروفیل برگ، وضعیت گیاه را از نظر میزان نیتروژن مورد ارزیابی قرار داد (مادا کادیز و همکاران، ۱۹۹۹؛ گرداس و پیپر، ۲۰۰۱؛ باراکلوگ و کیلی، ۲۰۰۱). به نظر می‌رسد که افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌های شلغم علوفه‌ای از طریق تثبیت نیتروژن، تولید ترکیبات سیدروفور (کلات‌کننده آهن) و افزایش جذب عناصر غذایی از جمله فسفر و منیزیم بر اثر فعالیت میکروارگانیسم‌ها نشأت می‌گیرد که در نتیجه آن رشد قسمت‌های رویشی گیاه بهبود و میزان جذب نور و به دنبال آن میزان کلروفیل برگ نیز افزایش داشته است. نتایج حاصل با یافته‌های پژوهش‌های دیگر در جو (مهرورز و همکاران، ۲۰۰۸)، ماش سبز (زیدی و خان، ۲۰۰۶)، کتان مصری (ساوان و همکاران، ۲۰۰۸) و گردو (ژوان و همکاران، ۲۰۱۰) مطابقت داشت. نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در بین تیمارها از نظر عملکرد علوفه تر بود (جدول ۲). بیش‌ترین عملکرد علوفه تر از تیمارهای تلفیقی *ازتوباکتر* + *سودوموناس* + ۵۰ درصد کود شیمیایی و تیمار کود کامل شیمیایی و کم‌ترین عملکرد علوفه از تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۳). هم‌چنین، تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که اثر سطوح تیماری بر عملکرد علوفه خشک نیز معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد

محرك رشد نیز پیش از این گزارش شده است. باکتری-های PGPR با تولید هورمون‌هایی مانند اکسین و سایتوکنین موجب افزایش تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول در برخی از قسمت‌های گیاه می‌شوند (لارسن و همکاران، ۲۰۰۹) که در آزمایش حاضر افزایش ارتفاع، سطح برگ و عملکرد و کاهش قطر ساقه که از فاکتورهای مهم تعیین‌کننده کیفیت علوفه هستند، مشاهده گردید.

شاخص سطح برگ (LAI)^۲ یکی از متغیرهای مهم در مطالعات اقلیمی (ایورت، ۲۰۰۴)، اکولوژیکی و تحقیقات زراعی (سلطانی و گالشی، ۲۰۰۲) به شمار می‌رود. بنابراین، اندازه‌گیری دقیق شاخص سطح برگ برای درک اثرات متقابل بین رشد و نمو گیاه و محیط امری ضروری است (دی‌جسوس و همکاران، ۲۰۰۱). از جمله دلایل افزایش سطح برگ در تیمار تلقیح شده با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد را می‌توان به تولید انواع متابولیت‌های موثر بر رشد گیاه مانند ویتامین‌ها، هورمون‌های محرك رشد و اسیدهای آمینه به عنوان عوامل افزایش‌دهنده رشد گیاه، تثبیت زیستی نیتروژن یا فراهمی فسفر، گوگرد و سایر عناصر غذایی به ویژه ریز مغذی‌ها در خاک و گسترش سطح ریشه بر اثر فعالیت باکتری‌ها و به دنبال آن افزایش جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاه از نقاط دورتر و عمیق‌تر از سطح ریشه اشاره کرد. نتایج مشابهی در ذرت (غلامی و همکاران، ۲۰۰۹)، آفتابگردان (شهاتا و آل‌خواص، ۲۰۰۳) و جو (چاکماکچی و همکاران، ۲۰۰۷) گزارش شده است.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح تیماری تاثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل a برگ داشتند (جدول ۲). بیش‌ترین میزان کلروفیل a برگ در تیمار تلفیقی *ازتوباکتر* + *سودوموناس* + ۵۰ درصد کود شیمیایی و کم‌ترین میزان آن در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ۳). هم‌چنین، تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که اثر سطوح تیماری بر میزان کلروفیل b برگ معنی‌دار شد (جدول ۲).

^۲. Leaf Area Index

سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۴ و ۵)، به طوری که مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که تیمارهای تلفیقی ازتوباکتر + سودوموناس + ۵۰ درصد کود شیمیایی، ازتوباکتر + سودوموناس + ۷۵ درصد کود شیمیایی و تیمار شاهد بیشترین و کمترین میزان مس شاخساره را داشتند (جدول ۶). هم‌چنین، مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که تیمارهای تلفیقی ازتوباکتر + سودوموناس + ۵۰ درصد کود شیمیایی و تیمار شاهد بیشترین و کمترین میزان مس غده را داشتند (جدول ۶). طبق تجزیه و تحلیل داده‌ها، تیمارها از نظر میزان منیزیم شاخساره و غده اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۴ و ۵). مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که تیمارهای تلفیقی با کودهای زیستی دارای بالاترین میزان منیزیم و تیمار تلقیح با سودوموناس + بدون کود شیمیایی فسفره و تیمار شاهد دارای کمترین میزان بودند (جدول ۶). به علاوه، مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که تیمارهای تلفیقی ازتوباکتر + سودوموناس + ۵۰ درصد کود شیمیایی، ازتوباکتر + سودوموناس + ۷۵ درصد کود شیمیایی دارای بالاترین میزان منیزیم و تیمار شاهد دارای کمترین میزان منیزیم در غده بود (جدول ۶).

که تیمارهای تلفیقی ازتوباکتر + سودوموناس + ۵۰ درصد کود شیمیایی و تیمار کود کامل شیمیایی در هکتار دارای بیشترین میزان عملکرد علوفه خشک بودند و کمترین میزان آن به تیمار شاهد اختصاص داشت (جدول ۳). با توجه به نتایج حاصل می‌توان استنباط کرد که باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه با افزایش معنی-دار صفات بیولوژیک خاک از جمله تنفس میکروبی و بیوماس میکروبی، موجب مساعد شدن شرایط رشد گیاه شده‌اند و از سوی دیگر با افزایش فراهمی عناصر نیتروژن و فسفر میزان جذب آن‌ها را توسط گیاه بیش‌تر کرده‌اند و در نتیجه با تخصیص ماده خشک بیش‌تر به بوته، افزایش سیستم توسعه ریشه، افزایش رشد رویشی و امکان بهره-برداری بهتر از نور و فتوسنتز موجب افزایش عملکرد علوفه تر و خشک شلغم علوفه‌ای شده‌اند. یافته‌های این پژوهش با یافته‌های سایر پژوهش‌گران مبنی بر اثر مثبت باکتری بر رشد و عملکرد گیاهان مختلف از قبیل سورگوم (سینگ و همکاران، ۲۰۰۵)، کلم (چتیرجی، ۲۰۱۰)، سورگوم (سینگ و همکاران، ۲۰۱۱)، گندم و خردل (گوپتا و گوپتا، ۲۰۰۶)، ذرت (یزدانی و همکاران، ۲۰۰۹) و استویا (داس و همکاران، ۲۰۰۷) هماهنگی دارد. بررسی داده‌های آزمایشی نشان داد که تیمارهای کودی بر میزان مس شاخساره و غده اثر معنی‌داری در

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی برگ شلغم علوفه‌ای

میانگین مربعات									
منبع تغییر	درجه آزادی	عملکرد علوفه تر	عملکرد علوفه خشک	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	ارتفاع بوته	قطر بوته	شاخص سطح برگ
بلوک	۲	۱۲۱۸۷۵۰ ^{ns}	۳۵۰۳۳۳/۵۴ ^{ns}	۱۲۳/۹۳*	۸/۲۳ ^{ns}	۱۰۴/۰۴ ^{ns}	۱۸۳/۸۸**	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۱۴ ^{ns}
تیمار	۱۳	۲۳۰۸۸۴۸/۴**	۲۱۰۹۹۱۲/۴۱**	۲۱۶/۳۲**	۱۱۱/۷۸**	۶۲۲/۶۷**	۲۰۲/۳۷**	۰/۰۱۶**	۰/۹۹**
خطا	۲۶	۴۱۵۷۸۵۲/۶	۲۱۲۰۹۰/۳۶	۳۱/۸۶	۷/۱۲	۳۷/۶۶	۳۲/۷۸	۰/۰۰۵	۰/۰۶
ضریب تغییر (%)	-	۷/۳۳	۹/۳۳	۶/۶۹	۶/۹۵	۴/۹۹	۵/۰۴	۹/۱۱	۱۱/۷۱

ns, *, ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی برگ شلغم علوفه‌ای

شماره تیمار	عملکرد علوفه تر (Kg ha ⁻¹)	عملکرد علوفه خشک (Kg ha ⁻¹)	کلروفیل a (mg g ⁻¹)	کلروفیل b (mg g ⁻¹)	کلروفیل a+b (mg g ⁻¹)	ارتفاع بوته (cm)	قطر بوته (cm)	شاخص سطح برگ (m ²)
۱	۲۰۸۳۳ ^c	۲۸۹۴/۶ ^d	۶۷/۰۴ ^d	۲۹/۲۶ ^g	۹۶/۳۱ ^h	۹۰/۴ ^c	۰/۹۴ ^a	۱/۱۸ ^f
۲	۳۱۴۱۷ ^a	۶۱۱۹ ^a	۹۰/۹ ^{abc}	۴۴/۲ ^{abcd}	۱۳۵/۰۸ ^{abcd}	۱۱۷/۸۷ ^{ab}	۰/۷۲ ^b	۲/۷۴ ^{ab}
۳	۲۶۳۳۳ ^{abc}	۴۶۳۱ ^{bc}	۷۶/۸ ^{bcd}	۳۲/۰۶ ^{fg}	۱۰۸/۸۵ ^{gh}	۱۰۸/۶ ^b	۰/۸۵ ^{ab}	۱/۳۸ ^{ef}
۴	۲۷۰۰۰ ^{ab}	۴۶۶۵/۱ ^{bc}	۸۰/۴۱ ^{bcd}	۳۶/۴ ^{defg}	۱۱۶/۸۳ ^{defg}	۱۱۰/۹۷ ^{ab}	۰/۷۸ ^{ab}	۱/۷۲ ^{cdef}
۵	۲۷۸۳۳ ^{ab}	۴۷۸۹/۶ ^{abc}	۸۳/۶ ^{abcd}	۳۶/۹ ^{defg}	۱۲۰/۵ ^{c-g}	۱۱۳/۱۷ ^{ab}	۰/۷۷ ^{ab}	۱/۸۰ ^{cdef}
۶	۲۹۰۰۰ ^{ab}	۵۲۳۲/۳ ^{abc}	۸۹/۶۹ ^{abc}	۴۱/۱۵ ^{a-e}	۱۳۱/۱ ^{a-e}	۱۱۳/۸۷ ^{ab}	۰/۷۴ ^{ab}	۱/۸۷ ^{cdef}
۷	۲۴۶۶۷ ^{ab}	۳۹۸۰/۴ ^{cd}	۷۷/۲۳ ^{cd}	۲۹/۴۰ ^g	۱۰۶/۶ ^{gh}	۱۱۰/۳ ^{ab}	۰/۷۸ ^{ab}	۱/۶۶ ^{def}
۸	۲۶۶۶۷ ^{abc}	۴۶۵۸/۴ ^{bc}	۷۷/۲۹ ^{bcd}	۳۴/۶۷ ^{efg}	۱۱۱/۹۶ ^{fgh}	۱۱۱/۸۷ ^{ab}	۰/۷۷ ^{ab}	۲ ^{bcde}
۹	۲۷۱۶۷ ^{ab}	۴۷۶۷ ^{abc}	۷۹/۵۴ ^{bcd}	۳۶/۰۵ ^{efg}	۱۱۵/۵۹ ^{efg}	۱۱۳/۶ ^{ab}	۰/۷۵ ^{ab}	۲/۰۱ ^{bcde}
۱۰	۲۸۱۶۷ ^{ab}	۴۸۴۱/۴ ^{abc}	۸۸/۸ ^{abc}	۳۸/۹ ^{b-f}	۱۲۷/۸ ^{b-f}	۱۱۵/۴۷ ^{ab}	۰/۷۳ ^b	۲/۲۴ ^{abcd}
۱۱	۲۹۳۳۳ ^{ab}	۵۳۵۳/۸ ^{abc}	۸۵/۴۷ ^{abc}	۳۸/۰۳ ^{cdef}	۱۲۳/۵ ^{b-g}	۱۱۹/۵ ^{ab}	۰/۷۰ ^b	۲/۴۵ ^{abc}
۱۲	۳۱۳۳۳ ^a	۶۰۶۵/۵ ^a	۹۸/۷۲ ^a	۴۸/۱۳ ^a	۱۴۶/۸۵ ^a	۱۱۹/۸ ^{ab}	۰/۶۸ ^b	۲/۸۲ ^a
۱۳	۳۰۰۰۰ ^{ab}	۵۶۷۸/۸ ^{ab}	۹۴/۰۴ ^{ab}	۴۶/۲۳ ^{ab}	۱۴۰/۲۷ ^{ab}	۱۲۰/۴۷ ^{ab}	۰/۶۸ ^b	۲/۹۱ ^a
۱۴	۲۹۵۰۰ ^{ab}	۵۴۵۶/۵ ^{ab}	۹۱/۱ ^{abc}	۴۵/۹ ^{abc}	۱۳۷/۰۱ ^{abc}	۱۲۵/۸۷ ^a	۰/۶۷ ^b	۲/۹۴ ^a

وجود حداقل یک حرف مشترک برای هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین سطوح تیماری در سطح احتمال ۱ درصد بر طبق آزمون Tukey است. ۱- شاهد، ۲- استفاده از کود کامل شیمیایی و بدون تلفیق، ۳- تلفیق با/ازتوباکتر و بدون N، ۴- تلفیق با/ازتوباکتر و بدون N/۵۰، ۵- تلفیق با/ازتوباکتر و بدون N/۷۵، ۶- تلفیق با/ازتوباکتر و بدون N/۱۰۰، ۷- تلفیق با سودوموناس و بدون P، ۸- تلفیق با سودوموناس و P/۵۰، ۹- تلفیق با سودوموناس و P/۷۵، ۱۰- تلفیق با سودوموناس و P/۱۰۰، ۱۱- تلفیق با/ازتوباکتر و سودوموناس و بدون NP، ۱۲- تلفیق با/ازتوباکتر و سودوموناس و NP/۵۰، ۱۳- تلفیق با/ازتوباکتر و سودوموناس و NP/۷۵، ۱۴- تلفیق با/ازتوباکتر و سودوموناس و NP/۱۰۰

شیمیایی و کم‌ترین میزان آن را در تیمار شاهد نشان داد (جدول ۶). به علاوه، مقایسه میانگین بین تیمارها بیانگر بالاترین میزان آهن غده در تیمارهای تلفیقی/ازتوباکتر + سودوموناس + ۵۰ درصد کود شیمیایی و کم‌ترین میزان آن در تیمار شاهد بود (جدول ۶).

نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها حاکی از اختلاف معنی‌دار تیمارهای کودی بر فسفر شاخساره بود (جدول ۴). مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که بالاترین میزان فسفر به تیمارهای تلفیقی/ازتوباکتر + سودوموناس + ۵۰ درصد کود شیمیایی، ازتوباکتر + سودوموناس + ۷۵ درصد کود شیمیایی و کم‌ترین میزان آن به تیمار شاهد اختصاص داشت (جدول ۶). همچنین، مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که بالاترین میزان فسفر به تیمارهای تلفیقی/ازتوباکتر + سودوموناس + ۵۰ درصد کود شیمیایی و کم‌ترین میزان آن به تیمار شاهد اختصاص داشت (جدول ۶).

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر تیمارهای کودی بر میزان منگنز شاخساره در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که تیمارهای تلفیقی/ازتوباکتر + سودوموناس + ۵۰ درصد کود شیمیایی دارای بالاترین میزان منگنز بود و کم‌ترین میزان آن به تیمار شاهد مربوط بود (جدول ۶). همچنین، مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که تیمارهای تلفیقی/ازتوباکتر + سودوموناس + ۵۰ درصد کود شیمیایی دارای بالاترین میزان منگنز در غده بود و کم‌ترین میزان آن به تیمار شاهد مربوط بود (جدول ۶).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح تیماری تاثیر معنی‌داری بر میزان آهن شاخساره داشتند (جدول ۴). مقایسه میانگین بین تیمارها بالاترین میزان آهن را در تیمارهای تلفیقی/ازتوباکتر + سودوموناس + ۵۰ درصد کود شیمیایی، ازتوباکتر + سودوموناس + ۷۵ درصد کود

جدول ۴- تجزیه واریانس عناصر معدنی شاخساره علوفه شلغم علوفه‌ای

میانگین مربعات					درجه آزادی	منبع تغییر
P	Fe	Mn	Mg	Cu		
۶/۵ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۴ ^{ns}	۰/۰۰ ^{ns}	۲	بلوک
۱۲۸/۱۳**	۰/۴۹۲**	۰/۰۴۲**	۰/۰۰۴۵**	۰/۰۶۳**	۱۳	تیمار
۱۰/۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۶۷	۰/۰۰۰۰۴	۲۶	خطا
۴/۳۷	۳/۱۹	۱/۱۳	۲/۸۹	۶/۳۱	-	ضریب تغییر (درصد)

ns، *، **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. مس (Cu)، منیزیم (Mg)، منگنز (Mn)، آهن (Fe)، فسفر (P)

جدول ۵- تجزیه واریانس عناصر معدنی غده علوفه شلغم علوفه‌ای

میانگین مربعات					درجه آزادی	منبع تغییر
P	Fe	Mn	Mg	Cu		
۳/۲۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۱ ^{ns}	۲	بلوک
۴۴۷/۴**	۰/۲۳۰**	۰/۰۰۲۹**	۰/۰۰۸۷**	۰/۰۰۰۲**	۱۳	تیمار
۱۱/۵۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۶	۲۶	خطا
۷/۲۹	۱/۷۷	۷/۲۵	۳/۴۶	۸/۱۰	-	ضریب تغییر (درصد)

ns، *، **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. مس (Cu)، منیزیم (Mg)، منگنز (Mn)، آهن (Fe)، فسفر (P)

جدول ۶- مقایسه میانگین عناصر معدنی شاخساره و غده علوفه شلغم علوفه‌ای

غده					شاخساره					تیمار
P (mg Kg ⁻¹)	Fe (mg Kg ⁻¹)	Mn (mg Kg ⁻¹)	Mg (mg Kg ⁻¹)	Cu (mg Kg ⁻¹)	P (mg Kg ⁻¹)	Fe (mg Kg ⁻¹)	Mn (mg Kg ⁻¹)	Mg (mg Kg ⁻¹)	Cu (mg Kg ⁻¹)	
۲۶/۸۲ ^e	۰/۳۸۱ ⁱ	۰/۰۹۴ ^e	۰/۵۷ ^c	۰/۰۱۵ ^f	۶۰/۵۵ ^d	۰/۵۵۱ ⁱ	۰/۶۲۳ ^h	۰/۷۹۹ ^c	۰/۰۴۶ ^f	۱
۴۲/۴۸ ^{cd}	۰/۶۰۵ ^g	۰/۱۵۵ ^{cd}	۰/۶۹۷ ^{abc}	۰/۰۲۲ ^{de}	۷۲/۶۳ ^{bc}	۰/۹۳۱ ^{efg}	۰/۸۴۵ ^{ef}	۰/۸۸۶ ^{ab}	۰/۰۸۱ ^d	۲
۳۹/۷ ^d	۰/۴۴۹ ^h	۰/۱۳۳ ^d	۰/۶۰۸ ^{de}	۰/۰۱۷ ^{ef}	۶۹/۱۷ ^{cd}	۰/۸۷ ^{gh}	۰/۸۰۴ ^g	۰/۸۲۹ ^{bc}	۰/۰۵۹ ^{ef}	۳
۴۱/۳۳ ^{cd}	۰/۶۱۶ ^{fg}	۰/۱۶۱ ^{bcd}	۰/۶۳۳ ^{cde}	۰/۰۲۳ ^{de}	۷۱/۴۳ ^{bc}	۰/۹۵۹ ^{efg}	۰/۸۴۲ ^{ef}	۰/۸۸۷ ^{ab}	۰/۰۶۸ ^{de}	۴
۴۲/۹۷ ^{cd}	۰/۶۳۴ ^{fg}	۰/۱۶۷ ^{bcd}	۰/۶۶۳ ^{cde}	۰/۰۲۷ ^{acd}	۷۱/۴۷ ^{bc}	۰/۹۸۲ ^{def}	۰/۹۳۳ ^d	۰/۸۹۴ ^{ab}	۰/۱۰۲ ^c	۵
۴۳/۲۷ ^{cd}	۰/۶۵ ^f	۰/۱۷۴ ^{bc}	۰/۷۰۴ ^{ab}	۰/۰۲۷ ^{abc}	۷۵/۹۸ ^{abc}	۱/۰۳۸ ^{de}	۰/۹۴۴ ^d	۰/۹۰۶ ^{ab}	۰/۰۱ ^c	۶
۴۱/۰۷ ^{cd}	۰/۶۱۵ ^{fg}	۰/۱۴۷ ^{cd}	۰/۶۳۳ ^{cde}	۰/۰۲۲ ^{de}	۶۹/۲ ^{cd}	۰/۷۸۶ ^h	۰/۸۳۵ ^{fg}	۰/۸۸۱ ^{ab}	۰/۰۶۷ ^{de}	۷
۴۴/۴۸ ^{cd}	۰/۶۵۵ ^f	۰/۱۶۴ ^{bcd}	۰/۶۵۴ ^{bcd}	۰/۰۲۴ ^d	۷۴/۲۳ ^{bc}	۰/۹۲۲ ^{fg}	۰/۸۴۱ ^{ef}	۰/۸۹۰ ^{ab}	۰/۰۷۲ ^{de}	۸
۴۴/۷۳ ^{cd}	۰/۷۴۲ ^e	۰/۱۶۷ ^{bcd}	۰/۶۹۱ ^{abc}	۰/۰۳۱ ^{bc}	۷۵/۸۵ ^{abc}	۰/۹۴۰ ^{efg}	۰/۸۶۶ ^e	۰/۹۰۶ ^{ab}	۰/۰۷۶ ^{de}	۹
۴۵ ^{cd}	۰/۷۷۶ ^e	۰/۱۷۶ ^{bc}	۰/۷۰۷ ^{ab}	۰/۰۳۱ ^{bc}	۷۷/۲۳ ^{abc}	۱/۰۷۲ ^d	۰/۹۵۲ ^d	۰/۹۱۳ ^a	۰/۱۰۴ ^c	۱۰
۴۷/۳ ^{cd}	۰/۸۲۸ ^d	۰/۱۸ ^{bc}	۰/۷۱۷ ^{ab}	۰/۰۳۷ ^{ab}	۸۰/۳۳ ^{ab}	۱/۴۳۷ ^c	۰/۹۵۶ ^d	۰/۹۱۴ ^a	۰/۱۰۵ ^c	۱۱
۷۹/۶۳ ^a	۱/۳۵۷ ^a	۰/۲۳۶ ^a	۰/۷۵۲ ^a	۰/۰۳۹ ^a	۸۴/۷۳ ^a	۱/۸۸۴ ^a	۱/۱۰۶ ^a	۰/۹۵ ^a	۰/۱۷۹ ^a	۱۲
۶۳/۳ ^b	۱/۲۶۳ ^b	۰/۱۹۲ ^b	۰/۷۵۱ ^a	۰/۰۳۷ ^{ab}	۸۴/۱۳ ^a	۱/۸۵۸ ^a	۱/۰۴ ^b	۰/۹۳ ^a	۰/۱۶۷ ^a	۱۳
۵۰/۹۷ ^c	۰/۹۵۹ ^c	۰/۱۸ ^{bc}	۰/۷۱۹ ^{ab}	۰/۰۳۷ ^{ab}	۸۰/۸۷ ^{ab}	۱/۶۱۶ ^b	۱/۰۰۹ ^c	۰/۹۲ ^a	۰/۱۴۴ ^b	۱۴

وجود حداقل یک حرف مشترک برای هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین سطوح تیماری در سطح احتمال ۱ درصد بر طبق آزمون Tukey است. مس (Cu)، منیزیم (Mg)، منگنز (Mn)، آهن (Fe)، فسفر (P). ۱- شاهد، ۲- استفاده از کود کامل شیمیایی و بدون تلقیح، ۳- تلقیح با ازتوباکتر و بدون N، ۴- تلقیح با ازتوباکتر و ۵۰٪ N، ۵- تلقیح با ازتوباکتر و ۷۵٪ N، ۶- تلقیح با ازتوباکتر و ۱۰۰٪ N، ۷- تلقیح با سودوموناس و بدون P، ۸- تلقیح با سودوموناس و ۵۰٪ P، ۹- تلقیح با سودوموناس و ۷۵٪ P، ۱۰- تلقیح با سودوموناس و ۱۰۰٪ P، ۱۱- تلقیح با ازتوباکتر و سودوموناس و بدون NP، ۱۲- تلقیح با ازتوباکتر و سودوموناس و ۵۰٪ NP، ۱۳- تلقیح با ازتوباکتر و سودوموناس و ۷۵٪ NP، ۱۴- تلقیح با ازتوباکتر و سودوموناس و ۱۰۰٪ NP

به‌علاوه، در مورد منگنز نیز ممکن است که تشکیل کمپلکس این عنصر با برخی از مواد آلی ترشح شده توسط باکتری، بر افزایش قابلیت جذب آن موثر باشد (لینچ، ۱۹۹۰؛ ایورت، ۲۰۰۴؛ جوتور و ریدی، ۲۰۰۷). گیاهان، آهن را به طور مستقیم از محلول خاک جذب نمی‌کنند، بلکه مراحل جذب به طور متناوب در ریزوسفر در حضور میکروارگانیسم‌ها اتفاق می‌افتد (ساینر-فریچ و همکاران، ۲۰۰۳). با توجه به نقش باکتری‌های سودوموناس و ازتوباکتر در افزایش حلالیت فسفر از ترکیبات نامحلول معدنی و تولید سیدروفورهای میکروبی و در نتیجه بهبود جذب آهن در گیاهان، افزایش میزان آهن در شلغم علوفه‌ای توجیه‌پذیر است. به‌علاوه، افزایش میزان آهن در کاربرد باکتری‌های محرک رشد در نخود (ورما و همکاران، ۲۰۱۳) و مورینگا (مونا، ۲۰۱۲) گزارش شده است.

ماده مغذی فسفر نقش مهمی در متابولیسم‌های پایه کربوهیدرات و سیستم انتقال انرژی ایفا می‌کند. از آن جایی که فسفر بخشی از ساختمان DNA, RNA, ATP و فسفولیپیدهای غشایی است، کمبود آن موجب کاهش قابل توجهی در فرایندهای متابولیکی مرتبط با تقسیم سلولی، توسعه و گسترش سلول، تنفس و فتوسنتز می‌شود (ایکیلوف، ۲۰۰۷). دسترسی گیاه به عناصر غذایی (مانند فسفر) می‌تواند سبب بهبود فتوسنتز و افزایش تولید مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش رشد و عملکرد گیاه زراعی شود (محمد و همکاران، ۱۹۹۷). بنابراین، می‌توان اظهار کرد که باکتری‌های سودوموناس و ازتوباکتر به کار رفته موجب محلول شدن فسفر معدنی خاک، بهبود جذب کارآمد آن از خاک و بیش‌تر شدن مقدار آن در اندام‌های گیاه می‌گردند. باکتری‌های محرک رشد علاوه بر توان محلول‌سازی فسفر از منابع معدنی، توان محلول‌سازی فسفر از منابع آلی را نیز دارند و این توان‌مندی به جذب بیش‌تر فسفر کمک می‌کند. سایر محققان در استویا (مامتا و همکاران، ۲۰۱۰)، گندم (مادیر و همکاران، ۲۰۱۱)، سویا (داده‌یچ و همکاران، ۲۰۱۱)، نخود (ورما و

پتانسیل تولید سیدروفورهای مختلف توسط ازتوباکتر و افزایش قابلیت جذب Zn, Fe و Mo، هم‌چنین، توانایی این باکتری‌ها در افزایش حلالیت فسفر از ترکیبات نامحلول معدنی به اثبات رسیده است که از جمله روش‌های افزایش تحرک و قابلیت جذب عناصر غذایی است (نارولا و همکاران، ۲۰۰۵). بنابراین، باکتری‌های محرک رشد گیاه با افزایش حلالیت فسفر در خاک، دسترسی شلغم علوفه‌ای را به عناصر کم‌مصرف از جمله مس افزایش داده‌اند. در تایید نتایج تحقیق حاضر، مونا (۲۰۱۲) نیز در کاربرد تلفیقی باکتری ازتوباکتر کروکوکوم با سودوموناس و دیگر باکتری‌ها بیش‌ترین میزان مس را در گیاه مورینگا گزارش کرد. منیزیم یکی از عناصر ضروری رشد گیاه و اصلی‌ترین نقش آن شرکت در ساختمان کلروفیل است (مورهوفر و همکاران، ۱۹۹۸). اسیدهای آلی آزاد شده از میکروارگانیسم‌ها علاوه بر فسفر، منجر به آزادسازی منگنز، روی، آهن و منیزیم از کمپلکس‌های موجود در خاک می‌گردند (رودریش و همکاران، ۲۰۰۵؛ جوتور و ریدی، ۲۰۰۷). یائو و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی تاثیر باکتری سودوموناس پوتیدا، افزایش جذب منیزیم در گیاهچه پنبه را مشاهده کردند. سایر محققان (ورما و همکاران، ۲۰۰۷، وینال و همکاران، ۲۰۰۸؛ مونا، ۲۰۱۲) نیز افزایش میزان منیزیم را تحت تاثیر باکتری‌های محرک رشد گزارش کردند که با نتایج این تحقیق انطباق دارد. منگنز به عنوان فاکتور فعال‌کننده در گیاه عمل می‌کند و در حدود ۳۵ آنزیم مختلف گیاهی را فعال می‌سازد (بورنل، ۱۹۸۸). نتایج مذکور با یافته‌های ساهنی و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد. آن‌ها اظهار داشتند که باکتری سودوموناس میزان آهن و منگنز دانه را افزایش می‌دهد. در توجیه علت آن می‌توان اظهار داشت که باکتری‌ها با اسیدی کردن محیط اطراف ریشه موجب حل شدن فسفات، کاتیون‌های ریزمغذی‌ها شامل آهن، منگنز و منیزیم می‌گردند و بنابراین، از طریق انحلال این مواد معدنی، مقدار این عناصر را در دانه افزایش می‌دهند (ورما و همکاران، ۲۰۰۷؛ وینال و همکاران، ۲۰۰۸؛ مونا، ۲۰۱۲).

حاکی از آن است که در صورت تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد، مصرف هم‌زمان کود شیمیایی فسفره و نیتروژنه به مقدار ۵۰ درصد مقدار مورد نیاز آن بر اساس آزمون خاک، برای اثرگذاری این باکتری‌ها ضروری است و کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و تثبیت‌کننده نیتروژن به تنهایی قادر به افزایش عملکرد زیست توده شلغم علوفه‌ای نبوده است. بنابراین، می‌توان استنباط کرد که کودهای زیستی می‌توانند مکمل مناسبی برای کودهای شیمیایی باشند که هم‌سو با اهداف توسعه پایدار است.

همکاران، ۲۰۱۳) و مورینگا (مونا، ۲۰۱۲)، تاثیر معنی‌دار باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر افزایش غلظت فسفر در اندام‌های گیاهان مورد آزمایش را تایید کردند.

نتیجه‌گیری کلی

یافته‌های این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین غلظت عناصر کم مصرف نظیر منیزیم، آهن، فسفر، مس و منگنز شاخساره و غده و شاخص‌های رشدی از تیمار تلفیقی از توپاکتر کروکوکوم + سودوموناس فلورسنس + ۵۰٪ کود شیمیایی فسفره و نیتروژنه به دست آمد. نتایج این آزمایش

منابع

- ملکوتی، م.ج.، همایی، م. ۱۳۷۲. حاصلخیزی مناطق خشک. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
- Ajit, N.S., Verma, R., Shanmugan, V. 2006. Extracellular chitinase of fluorescent pseudomonas antifungal to *Fusarium oxysporum* f.sp. dianti causing carnation wilt. *Curr Microbiol.* 52: 310-316.
- Asghar, H.N., Zahir, Z.A., Arshad, M., Khaliq, A. 2003. Relationship between in vitro production of auxins by rhizobacteria and their growth-promoting activities in *Brassica juncea* L. *Biol Fertil Soils.* 35: 231-237.
- Ayres, L., Clements, B. 2002. Forage brassicas-quality crops for livestock production. *Field crops Res.* 20: 124-135.
- Barracough, P.B., Kyle, J. 2001. Effect of water stress on chlorophyll meter reading in winter wheat. P. 722-723. Horest, W.J. (Ed.). In: Plant nutrition-Food security and sustainability of agro-ecosystems. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Burnell, J.N. 1988. The biochemistry of manganese in plants. In: manganese in soil and plants Graham, R.D., Hannam, R.J. and Vern, N.C. eds., pp.125-137. Kluwer Academic, Dordrecht.
- Cakmakci, R.M., Erat, M., Erdo, U.G., Donmez, M.F. 2007. The influence of PGPR on growth parameters, antioxidant and pentose phosphate oxidative cycle enzymes in wheat and spinach plants. *J Plant Nutr Soil Sci.* 170: 288-295.
- Chanda, G.K., Bhunia, G., Chakraborty, S.K. 2011. The effect of vermicompost and other fertilizer on cultivation of tomato plants. *J Hort forest.* 3(2): 42-45.
- Chatterjee, R. 2010. Physiological attributes of cabbage (*Brassica Oleracea*) as influenced by different sources of nutrients under eastern Himalayan region. *Res J Agric Sci.* 1(4): 318-321.
- Dadhich, S.K., Somani, L.L., Shilpkar, D. 2011. Effect of integrated use of fertilizer P, FYM and biofertilizers on soil properties and productivity of Soybean-Wheat crop sequence. *J Adv Develop Res.* 2(1): 42-46.
- Das, K., Dang, R., Shivananda, T.N., Sekeroglu, N. 2007. Influence of bio-fertilizers on the biomass yield and nutrient content in Stevia (*Stevia rebaudiana*. Bert) grow in Indian subtropics. *J Medic Plants Res.* 1(1): 5-8.
- De Jesus, Jr.W.C., Do Vale, F.X.R., Costa, L.C. 2001. Comparison of two methods for estimating leaf area index on common bean. *Agron J.* 93: 989-991.
- Ekelof, J. 2007. Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization. Master project in the Horticultural science programme. 2:20 p.(30 ECTS).
- Erika, B., Pablo, C., Julio, Z., Walter, G. 2008. Plant growth promoting rhizobacteria improve growth and essential oil yield in *Origanum majorana* L. *Biochem System Ecol.* 36: 736-771.
- Ewert, F. 2004. Modeling plant responses to elevated CO₂: How important is leaf area index? *Ann Bot.* 93: 619-627.
- Gerendas, J., Pieper, I. 2001. Suitability of the SPAD meter and the petiole nitrate test for nitrogen management in nurstems. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Gharib, F.A., Moussa, L.A., Mossoud, O.N. 2008. Effect of compost and bio-fertilizers on growth, yield and essential oil of sweet marjoram (*Majorana hortensis*) plant. *Int J Agric Biol.* 10: 381-387.
- Gholami, A., Shahsavani, S., Nezarat, S. 2009. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. *World Academy Sci Eng Tech* 49: 19-24.

- Gupta, P., Gupta, V. 2006. Studies on efficacy of biofertilizers on yield of Wheat (*Triticum aestivum*) and Mustard (*Brassica juncea*). *J Microbiol World* 8: 51-56.
- Harridy, I.M., Amara, M. 1998. Effect of presowing inoculation of seeds by nitrogen fixed bacteria on growth, fruit production, sepals yield and the chemical composition of roselle plants. *J App Sci.* 13(6): 217-231.
- Jutur, P.P., Reddy, A.R. 2007. Isolation, purification and properties of new restriction endonucleases from *Bacillus badius* and *Bacillus lentus*. *Microbiol Res.* 162: 378-383.
- Kapoor, R., Giri, B., Mukerji, K.G. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* mill on mycorrhiza inoculation supplemented with p-fertilizer. *J Biores Tech.* 93: 307-311.
- Karmaka, S., Lague, C., Agnew, J., Landry, H. 2007. Integrated decision support system (DSS) for manure management. *Comp Elect.* 57: 190-201.
- Khavazi, K., Nourgholipour, F., Malakouti, M.J. 2001. Effect of thiobacillus and phosphate solubilizing bacteria on increasing P availability from rock phosphate for corn. International meeting on direct application of rock phosphate and related technology. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Larsen, J., Cornejo, P., Barea, J.M. 2009. Interactions between the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and the plant growth promoting rhizobacteria *Paenibacillus polymyxa* and *P. maserans* in the mycorrhizosphere of *Cucumis sativus*. *Soil Biol Biochem.* 41(2): 286-292.
- Lichtenthaler, H.K., Wellburn, A.R. 1987. Chlorophylls and carotenoids, pigments of photosynthetic biomembrane. *Methods Enzymol.* 148: 350-382.
- Lynch, J.M. 1990. Microbial metabolites. In: Lynch JM (Ed.), *The Rhizosphere*. Wiley, Chichester, pp. 177-206.
- Madakadez, I.C., Stewart, K.A., Madakadez, R.M., Peterson, P.R., Coulman, B.E., Smith, D.L. 1999. Field evaluation of the chlorophyll meter to predict yield and nitrogen concentration of switch grass. *J Plant Nutr.* 22(6): 1001-1010.
- Mader, P., Kaiser, F., Adholeya, A., Singh, R., Uppal, H.S., Sharma, A.K., Srivastava, R., Sahai, V., Aragno, M., Wiemken, A., Johri, B.N., Fried, P.M. 2011. Inoculation of root microorganisms for sustainable wheat-rice and wheat-black gram rotations in India. *Soil Biol Biochem.* 43: 609-619.
- Mamta, B., Rahic, R., Pathaniad, V., Gulatic, B., Tewaria, R. 2010. Stimulatory effect of phosphate-solubilizing bacteria on plant growth, stevioside and rebaudioside-A contents of *Sativa rebaudiana* Bertoni. *App Soil Ecol.* 46: 222-229.
- Maurhofer, M., Reimann, C., Schmidl-sacherer, P., Heeb, S., Haas, D., Defago, G. 1998. Salicylic acid biosynthetic genes expressed in *Pseudomonas fluorescens* strain P3 improve the induction of system resistance in tobacco against tobacco necrosis virus. *Phytopathol.* 88: 678- 684.
- Mehrvarz, S., Chaichi, M.R., Alikhani, H.A. 2008. Effects of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on yield and yield components of barely (*Hordeum vulgare* L.). *Amer-Eur J Agric Environ Sci.* 3(6): 822-828.
- Meyer, D.M. 2000. Pyoverdins: Pigments siderophores and potential taxonomic markers of fluorescent pseudomonads species. *Arch Microbiol.* 174: 135-142.
- Mohammad, F., Khan, T., Afridi, R.M., Fatma, A. 1997. Effect of nitrogen on carbonic anhydrase activity, stomatal conductance, net photosynthetic rate and yield of mustard. *Photosynthetica.* 34: 595-598.
- Mona, S.Z. 2012. Improvement of growth and nutritional quality of *Moringa oleifera* using different biofertilizers. *Ann Agric Sci.* 57(1): 53-62.
- Narula, N., Kumar, V., Singh, B., Bhatia, R., Lakshminarayana, K. 2005. Impact of biofertilizers on grain yield in spring wheat under very fertility conditions and wheat-cotton rotation. *Arch Agron Soil Sci.* 5(11): 79-89.
- Navala, A.M., Wani, P.P., Patil, A.S. 2004. Effects of VAM and *Azospirillum* inoculation to onion (*Allium cepa*) cv. B-780 with respect to N, P and micronutrient uptake. *Orissa J Hort.* 32: 83-88.
- Patten, C., Glick, R. 2002. Regulation of indoleacetic acid sigma factor Rpos. *Can J Microbiol.* 48: 635-642.
- Penrose, M., Glick, R. 2003. Methods for isolating and characterizing ACC deaminase containing plant growth-promoting rhizobacteria. *Physiol Plantarum.* 118: 10-15.
- Piromyou, P., Buranabanyat, B., Tantasawat, P., Tittabut, P., Boonkerd, N., Teaumroong, N. 2011. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) inoculation on microbial community structure in rhizosphere of forage corn cultivated in Thailand. *Eur J Soil Biol:* 47:44-54.
- Ramezani, A. 2005. Role of reproducer ACC-deaminaz enzyme *rhizobiom* bacteria moderation the adverse effect of ethylene stress in wheat. M.Sc. Thesis in soil Sciences, Tehran University.
- Rao, S.C., Horn, F.P. 1986. Planting season and harvest date effects on dry matter production and nutritional value of *Brassica* Spp. in the southern great plains. *J Agron.* 78: 327-333.
- Rashid, M., Khalil, S., Ayub, S., Latif, F. 2004. Organic acids productions solubilization by phosphate solubilizing microorganisms (PSM) under in vitro conditions. *Pak J Biolo Sci.* 7: 187-196.
- Rodrigues, M.A., Pereira, A., Cabanas, J.E., Dias, L., Pires, J., Arrobas, M. 2006. Crops use-efficiency of nitrogen from manures permitted in organic farming. *Eur J Agron.* 25: 328-335.

- Rudresh, D.L., Shivaprakash, M.K., Prasad, R.D. 2005. Effect of combined application of Rhizobium, phosphate solubilizing bacterium and *Trichoderma* spp. on growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer aritenium* L.). *App Soil Ecol.* 28: 139-146.
- Sahni, S., Sarma, B.K., Singh, D.P., Singh, H.B., Singh, K.P. 2008. Vermicompost enhances performance of plant growth-promoting rhizobacteria in *Cicer arietinum* rhizosphere against *Sclerotium rolfsii*. *Crop Prot.* 27: 369-376.
- Sawan, Z.M., Mahmoud, H.M., El-Guibali, A.H. 2008. Influence of potassium fertilization and foliar application of zinc and phosphorus on growth, yield components, yield and fiber properties of Egyptian cotton (*Gossypium barbadense* L.). *J Plant Ecol.* 1(4): 259-270.
- Schippers, B., Bakker, A.W., Bakker, P.A.H.M., Vanpeer, R. 1990. Beneficial and deleterious effects of HCN producing of *Pseudomonads* on rhizosphere interaction. *Plant Soil.* 129:75-83.
- Sharma, A.K. 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. (1st ed.). Jodhpur: Agrobios, India. 456p.
- Shehata, M.M., El-Khawas, S.A. 2003. Effect of two biofertilizers on growth parameters, yield characters, nitrogenous components, nucleic acids content, minerals, oil content, protein profiles and DNA banding pattern of sunflower yield. *Pak J Biol Sci.* 6(14): 1257-1268.
- Siebner-Freibach, H., Hader, Y., Chen, Y. 2003. Siderophores sorbed on Ca-montmorillonite as an iron source for plants. *Plant Soil.* 25: 115-124.
- Sindhu, S.S., Suneja, S., Goel, A.K., Parmar, N.K., Dadarwal, R. 2002. Plant growth promoting effects of *Pseudomonas* sp. on co-inoculation with *Mesorhizobium* sp. Cicer strain under sterile and wilt sick soil conditions. *App Soil Ecol.* 19:57-64.
- Singh, J.S., Pandey, V.C., Singh, D.P. 2011. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agric Ecol environ.* 140: 339–353.
- Singh, M.M., Mautya, M.L., Singh, S.P., Mishra, C.H. 2005. Effect of nitrogen and biofertilizers inoculation on productivity of forage Sorghum (*Sorghum bicolor*). *Ind J Agric Sci.* 73: 167-168.
- Soltani, A., Galeshi, S. 2002. Importance of rapid canopy closure for wheat production in a temperate sub-humid environment: Experimentation and simulation. *Field Crop Res.* 77: 17-30.
- Verma, J.P., Yadav, J., Tiwari, K.N., Kumar, A. 2013. Effect of indigenous *Mesorhizobium* spp. And plant growth promoting rhizobacteria on yield and nutrients uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under sustainable agriculture. *J Ecol Eng.* 282-286.
- Verma, M., Brar, S.K., Tyagi, R.D., Surampalli, R.Y., Val'ero, J.R. 2007. Antagonistic fungi, *Trichoderma* spp: Panoply of biological control. *J Biochem Eng.* 37: 1-20.
- Vessy, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. *Plant Soil.* 255:271-586.
- Villegas, J., Fortin, J.A. 2002. Phosphorus solubilization and pH changes as result of the interactions between soil bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on a medium containing NO₃ as nitrogen source. *Can J Bot.* 80: 571-576.
- Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E.L., Woo, S.L., Lorito, M. 2008. Trichoderma-plant-pathogen interactions. *Soil Biol Biochem.* 40: 1-10.
- Xuan, Y., Tian-hu, Z., Xu, L., Guang-hai, L. 2010. Effects phosphate solubilizing bacteria on growth, photosynthetic characteristics and phosphate nutrition of pecan. *J Fruit Sci.* 1(2): 76-82.
- Yadegari, M., Asadirahmani, H., Noormohammadi, G., Ayneband, A. 2010. Plant growth promoting rhizobacteria increase growth, yield and nitrogen fixation in *Phaseolis vulgaris*. *J Plant Nutr.* 33:1733-1743.
- Yao, L., Wu, Z., Zheng, Y., Kaleem, I., Li, C. 2012. Growth promotion and protection against salt stress by *Pseudomonas putida* Rs-198 on cotton. *Eur J Soil Biol.* 46: 49-54.
- Yazdani, M., Bahmanyar, M.A., Pirdashti, H., Esmaili, M.A. 2009. Effect of phosphate solubilization microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of Corn (*Zea mayz* L.). *World Academy Sci Eng Tech.* 49: 90-92.
- Zaidi, A., Khan, M.S. 2006. Co-inoculation Effects of phosphate Solubilizing Microorganisms and *Glomus fasciculatum* on Green Gram-Bradyrhizobium Symbiosis. *Turk J Agric.* 30: 223-230.

The Effect of Biological and Chemical Fertilizers Application on Nutrients Concentration and Growth Characteristics of Forage Turnips (*Brassica Rapa*)

Azam Roumani¹, Seyed MohammadReza Ehteshami^{*2}

1. MSc student of Agronomy, University of Guilan, Iran

2. Assoc. Prof., University of Guilan, Iran

* For Correspondence: smrehteshami@yahoo.com

Received: 14.06.14

Accepted: 19.11.14

Abstract

In order to evaluate the effect of biological and chemical fertilizers application on nutrients concentration and growth characteristics of forage turnip, an experiment was conducted at Rice Research Institute in 2012. The experiment was arranged base on randomized complete block design with three replications. Treatments were involved 14 levels: control (no fertilizer and uninoculation), chemical fertilizer and uninoculation, inoculation with *Azotobacter chroococcum* strain 12 + (0, 50, 75 and 100 percent nitrogen), inoculated with *Pseudomonas fluorescens* strain 41 + (0, 50, 75 and 100 percent phosphorus) and inoculated with *P. fluorescens* strain 41 + *A. chroococcum* strain 12 + (0, 50, 75 and 100 percent N.P). The results of experiment showed that the concentration of Cu, Mg, Mn, Fe and P in shoots and tubers of plants and forage yield, leaf area index, plant height and content of chlorophyll a and b affected by different treatments. The highest nutrients concentration and growth characteristic obtained from inoculation with *Azotobacter* and *Pseudomonas* and 50% of nitrogen and phosphorus fertilizers. Overall, seed inoculation with biofertilizers reduced nitrogen and phosphorous containing chemical fertilizers up to 50%.

Key words: *Azotobacter chroococcum*, *Brassica rapa*, growth characteristics, nutrients, *Pseudomonas fluorescens*.