

اثر پتانسیل‌های محرک رشد سویه‌های بومی ازتوباکتر کروکوکوم روی رشد، عملکرد و جذب عناصر غذایی در گندم

سعیده رجایی^۱، حسینعلی علیخانی^۲ و فایز رئیسی^۱

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی اثر برخی از پتانسیل‌های محرک رشد شناخته شده در تعدادی از سویه‌های برتر *Azotobacter chroococcum* روی رشد، عملکرد و جذب عناصر غذایی در گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط گلخانه‌ای به اجرا در آمد. تعدادی از سویه‌های ازتوباکتر کروکوکوم برتر از نظر تولید IAA، سیدوفور، هیدروژن سیانید و تثبیت کننده نیتروژن ملکولی انتخاب و بذر گندم رقم پیش‌تاز در قالب یک طرح کاملاً تصادفی توسط این سویه‌ها تلقیح و برخی از شاخص‌های رشد، عملکرد و جذب عناصر غذایی اندازه‌گیری شد که اثر تلقیح باکتری بر روی شاخص‌های عملکرد بیولوژیک، درصد پروتئین دانه، وزن هزار دانه، شاخص سطح برگ و به ویژه جذب عناصر Fe، P، N و Zn مثبت و معنی‌دار گردید. بیشترین آثار معنی‌دار در افزایش شاخص‌های مذکور در تیمارهای سویه‌های ازتوباکتر کروکوکوم تولید کننده فیتوهورمون (IAA) و سویه‌های تثبیت کننده نیتروژن ملکولی مشاهده گردید. به طور کلی بر اساس نتایج این مطالعه می‌توان گفت بعضی سویه‌های ازتوباکتر کروکوکوم بومی استان چهارمحال و بختیاری که در زمره ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) قرار گرفته بودند تأثیر مثبتی روی رشد و عملکرد گندم شامل عملکرد بیولوژیک و کیفیت دانه (درصد پروتئین دانه) تحت شرایط گلخانه‌ای داشته‌اند. هم‌چنین از این سویه‌ها می‌توان در جهت بهبود تغذیه گندم از نظر عناصر غذایی کم مصرف مانند آهن و روی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: ازتوباکتر کروکوکوم، IAA، PGPR، سیدروفور، HCN، تثبیت بیولوژیک نیتروژن، رشد گندم، عملکرد، جذب عناصر

مقدمه

رتبه اول قرار دارد. هم‌چنین گندم عمده‌ترین محصول زراعی زیر کشت در استان چهارمحال و بختیاری بوده که بالغ بر ۵۲ درصد اراضی زیر کشت را به خود اختصاص داده است که از این مقدار ۴۳/۶ درصد آبی و ۵۶/۴ درصد تحت کشت دیم بوده است (۱). ظرف چند دهه اخیر تلاش برای افزایش تولید در واحد سطح و مصرف زیاد و نامتعادل کودهای شیمیایی،

گندم جزء مهم‌ترین گیاهان زراعی جهان، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، به شمار می‌آید و در مقایسه با سایر محصولات و غلات بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است. در ایران از مجموع حدود ۷/۷۳ میلیون هکتار اراضی تحت کشت غلات، گندم با ۷۱/۷۶٪ (۵۱/۰۱ هزار هکتار) در

۱. به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۲. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

پیامدهایی منفی زیست محیطی و افزایش هزینه تولید را به همراه داشته است و این امر ضرورت تجدید نظر در شیوه‌های جدید افزایش تولید محصول را گوشزد می‌نماید (۲). فراهم‌سازی شرایط لازم برای استفاده بیشتر از فرایندهای طبیعی مانند تثبیت بیولوژیکی نیتروژن یکی از راه‌کارهای تولید بهینه محصول و مهم‌تر از آن حفظ سلامت محیط است که امروزه در کشورهای مختلف به طور جدی دنبال می‌شود. یکی از شیوه‌های بیولوژیکی برای افزایش تولید در کشاورزی، استفاده بالقوه از میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی است که می‌توانند از روش‌های مختلف باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه شوند. از جمله این موجودات می‌توان به ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) اشاره کرد. این گروه از باکتری‌ها در منطقه ریزوسفر از طریق مکانیسم‌های مختلفی باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شوند (۵ و ۲۳). امروزه مکانیسم‌های مستقیم تأثیر گذار انواع PGPR مانند تولید فیتوهورمون‌ها (اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها، جبرلین‌ها و ...) و یونوفورها (سیدروفورها)، افزایش دسترسی گیاه به عناصر، افزایش فراهمی عناصر غذایی و یا افزایش تحرک و قابلیت جذب آن عناصر، افزایش جوانه‌زنی، توسعه سیستم ریشه‌ای، فعالیت‌های آنزیمی چون ACC-دآمیناز و تولید ریزوبیوتوکسین‌ها به منظور کاهش آثار سوء اتیلن تنشی و افزایش گره‌زایی و نهایتاً تثبیت بیولوژیکی نیتروژن مولکولی و غیره به اثبات رسیده است (۵). باکتری‌های متعلق به خانواده ازتوباکتراسه علاوه بر تثبیت نیتروژن مولکولی موجود در اتمسفر از طریق افزایش تحرک و قابلیت جذب عناصر غذایی و به ویژه تولید فیتوهورمون‌های رشد گیاهی موجب بهبود شرایط تغذیه و رشد گیاه می‌شوند. به علاوه این باکتری از طریق کنترل عوامل بیماری‌زا، به طور غیر مستقیم، نیز به حفظ سلامت گیاه کمک نموده که تأثیر نهایی آن، بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد (۸ و ۱۸). 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 می‌باشد (۱۸ و ۱۹). گزارش‌های متعددی در خصوص توان تولید فیتوهورمون‌ها توسط باکتری‌های PGPR دی‌ازوتروف از جمله باکتری‌های جنس ازتوباکتر وجود دارد. در حقیقت افزایش رشد گیاه در اثر تلقیح ازتوباکتر بیشتر به هورمون‌های تولید شده توسط این باکتری و افزایش رشد ریشه نسبت داده شده است تا تثبیت بیولوژیکی نیتروژن (۲۶). در برخی از موارد مشاهده شده است که حتی در سطوح و مقادیر کافی کودهای نیتروژنی، تلقیح گیاهان با باکتری‌های دی‌ازوتروف از جمله ازتوباکتر موجب افزایش رشد و نمو گیاهان شده است که در این صورت احتمالاً وجود مکانیسم‌های دیگری به غیر از تثبیت نیتروژن، از جمله تولید مواد تنظیم کننده رشد مانند ایندول استیک اسید (Indole Acetic Acid: IAA) علت افزایش رشد گیاه بوده‌است (۶، ۹ و ۱۵). نارولا و همکاران اثر تلقیح سوبه‌های ازتوباکتر کروکوکوم تولید کننده IAA و حل کننده فسفات را روی جذب عناصر NPK تحت شرایط گلخانه‌ای مثبت و معنی‌دار گزارش کردند (۱۹). در یک بررسی سلیمان و همکاران گزارش دادند تلقیح گندم با ازتوباکتر تحت شرایط گلخانه تا ۵۰ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه را جایگزین نموده است (۲۲). همچنین اثر ازتوباکتر در افزایش جوانه زنی دانه‌های محصولات مختلف نیز مثبت گزارش شده است که میزان این تأثیر به سوبه ازتوباکتر بستگی دارد. در بین محققین مختلف از نظر استفاده از سوبه‌های مناسب برای هر فنوتیپ گیاهی اتفاق نظر وجود دارد. به عنوان مثال زاید و همکاران نشان دادند در بین ژنوتیپ‌های مختلف گندم پاییزه تعدادی از ژنوتیپ‌ها پاسخ بهتری به تلقیح ازتوباکتر نشان می‌دهند (۲۶).

رابطه بین ژنوتیپ گیاهی و سوبه وابسته به ویژگی‌های مشارکتی در سیستم شامل ترکیبات کیفی و کمی ترشحات ریشه گیاه، متابولیت‌های ویژه میکروبی و ویژگی‌های ژنوتیپ گیاهی در جذب و انتقال نیتروژن عنوان شده است. باید به این نکته توجه داشت که شرایط خاک همچون مقادیر رطوبت و

جدول ۲ مورد استفاده قرار گرفت. جهت آزمون گلخانه‌ای بذر گندم بهاره (*Triticum aestivum* L.) رقم پیشناز مورد استفاده قرار گرفت. این رقم از بخش غلات مرکز مهندسی زراعی واقع در شهرستان کرج تهیه گردید. بذرهای سالم استریل و جوانه‌دار شدند. بررسی گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل پانزده تیمار، ۱۴ سویه باکتری و یک تیمار شاهد فاقد باکتری و هر تیمار شامل ۵ تکرار (۵ گلدان ۶ کیلویی شامل ۳ بوته در هر گلدان) انجام گرفت. ابتدا سویه‌های مورد نظر در محیط کشت مایع وینوگرادسکی کشت داده شدند و جمعیت میکروبی بر اساس معیار مک فارلند در حد $10^8 \times 5$ باکتری در هر میلی‌لیتر یکسان گردید (۴ و ۱۹).

بعد از جوانه دار شدن بذرها و تلقیح آنها توسط محلول معلق میکروبی، مرحله کاشت صورت گرفت. تمامی گلدان‌ها روزانه به صورت وزنی و با آب مقطر آبیاری شدند. مقدار برنامه کودی مصرفی در مورد تمامی گلدان‌ها شامل ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به صورت اوره و در سه قسط مساوی (در زمان کاشت، در پایان ماه اول و در هنگام ظهور سنبله همراه با آب آبیاری به خاک گلدان‌ها اضافه گردید)، ۷۵ کیلوگرم فسفر در هکتار به صورت سوپر فسفات تریپل و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به صورت سولفات پتاسیم بود که نیمی از سولفات پتاسیم در ابتدای کاشت و نیم دیگر آن در پایان ماه اول به گلدان‌ها افزوده شد (۱۶، ۲۲، ۲۶ و ۲۷). هم‌چنین در یک نوبت ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول غذایی هوگلند اما فاقد آهن به خاک گلدان‌ها داده شد تا نیاز گیاهان به عناصر کم مصرف تا حدودی مرتفع گردد. در طول مدت رشد گیاه گلدان‌ها در اتاقک رشد با طول دوره روشنایی ۱۰ ساعت با نور ۱۰۰۰۰ لوکس (لامپ بخار سدیم و هلیوم ۴۰۰ وات) نگه‌داری شدند. در یک ماهه آخر رشد گندم طول دوره روشنایی به ۱۲ ساعت رسید تا گیاهان روز بلند گندم وارد فاز زایشی گردند. در طول دوره رشد گیاه، سطح برگ در مرحله ظهور کامل سنبله‌ها و ارتفاع بوته (۳۵ و ۷۵ روز) اندازه‌گیری شد. در پایان این دوره سایر شاخص‌های رشد گندم از جمله وزن خشک ریشه،

ماده آلی، pH و بافت خاک روی نتیجه تلقیح مؤثر هستند (۲۱). با توجه به نتایج تحقیقات محققین تلقیح ازتوباکتر به طور متوسط افزایشی معادل ۱۰ تا ۱۵ درصد در عملکرد گیاهان مختلف، به‌ویژه گندم به دنبال داشته است (۱۳ و ۲۳). هدف از این پژوهش بررسی پتانسیل کاربرد سویه‌های ازتوباکتر کروکوکوم بومی به عنوان کود بیولوژیک محرک رشد گیاه (Plant Growth Promoting Biofertilizer: PGPB) و تعیین آثار انواع برتر باکتری روی شاخص‌های رشد و عملکرد و جذب عناصر غذایی در گندم بوده است که امری ضروری در جهت توسعه مصرف کودهای زیستی و کشاورزی پایدار در خاک‌های هر منطقه به شمار می‌آید.

مواد و روش‌ها

تعداد ۷۵ نمونه خاک از مزارع مختلف گندم در استان چهار محال و بختیاری تهیه و ۷۰ سویه ازتوباکتر کروکوکوم از این خاک‌ها جداسازی گردید. سپس توانایی تولید IAA، سیدروفور، هیدروژن سیانید (HCN) و هم‌چنین تثبیت نیتروژن ملکولی در این سویه‌ها اندازه‌گیری شد (۳، ۴، ۶، ۱۷، ۲۰ و ۲۶) و از بین این سویه‌ها ۱۴ سویه برای آزمون گلخانه‌ای انتخاب شدند که خصوصیات آنها در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود سویه‌های منتخب دارای بالاترین پتانسیل در زمینه تولید ترکیبات مذکور می‌باشند. به عنوان مثال سویه‌های ۲۳ و ۲۶ دارای بالاترین پتانسیل تولید سیدروفور و سویه‌های ۲۵ و ۷۲ دارای بالاترین پتانسیل تولید IAA در بین ۷۰ سویه ازتوباکتر بودند. در مورد تولید IAA تثبیت بیولوژیک نیتروژن علاوه بر سویه‌های برتر، سویه‌هایی با پتانسیل متوسط و هم‌چنین فاقد توانایی‌های مذکور نیز جهت مقایسه استفاده شدند. به عنوان مثال سویه ۱۷ فاقد توانایی تثبیت بیولوژیک نیتروژن می‌باشد. بین سویه‌های منتخب از نظر پتانسیل‌های محرک رشد همپوشانی وجود نداشت. جهت آماده کردن خاک گلدان‌ها نمونه برداری از خاک‌های اطراف کرج (حصارک) صورت گرفت و خاکی با مشخصات

جدول ۱. سویه‌های مورد استفاده در آزمون گلخانه‌ای

| ویژگی | شماره سویه | مکانیسم تحریک رشد گیاه |
|--|------------|------------------------|
| 8.3 nmol C ₂ H ₂ h ⁻¹ | AZT- 5 | تثبیت بیولوژیک نیتروژن |
| 7.5 nmol C ₂ H ₂ h ⁻¹ | AZT- 8 | |
| 7.6 nmol C ₂ H ₂ h ⁻¹ | AZT- 69 | |
| 0 nmol C ₂ H ₂ h ⁻¹ | AZT- 17 | |
| 0 nmol C ₂ H ₂ h ⁻¹ | AZT- 68 | |
| بیشترین قطر هاله به کلنی | AZT- 23 | تولید سیدروفور |
| بیشترین قطر هاله به کلنی | AZT- 26 | |
| بیشترین تولید HCN | AZT- 48 | تولید HCN |
| بیشترین تولید HCN | AZT- 11 | |
| 72 mg /l IAA | AZT- 25 | تولید IAA |
| 70 mg /l IAA | AZT- 13 | |
| 67 mg /l IAA | AZT- 72 | |
| 40 mg /l IAA | AZT- 53 | |
| 0 mg /l IAA | AZT- 57 | |

جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمون گلخانه‌ای

| Sand | Silt | Clay | بافت | مواد آلی | EC | pH | Fe ²⁺ | N | P ¹ (قابل جذب) |
|------|------|------|-----------------|----------|------|-----|------------------|------|---------------------------|
| % | | | | % | dS/m | | mg/kg | % | mg/kg |
| ۶۰/۶ | ۱۵/۸ | ۲۳/۶ | sandy clay loam | ۰/۶۸ | ۰/۶۱ | ۷/۳ | ۸/۵۵ | ۰/۰۴ | ۷/۸۸ |

۱. روش اولسن (۱۴) ۲. عصاره‌گیری DTPA (۱۴)

داده شده است. طبق نتایج اثر تیمار باکتری بر روی ارتفاع بوته در پایان ماه اول (گیاه ۳۵ روزه) در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. بیشترین ارتفاع بوته در این مرحله متعلق به سویه شماره ۱۳ می‌باشد و ارتفاع بوته تنها در این تیمار به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد و سایر تیمارها افزایش نشان می‌دهد. در حالی که ارتفاع بوته در تیمارهای ۲۳ و ۱۷ به طور معنی‌داری کمتر از تیمار شاهد می‌باشد. بین خود تیمارهای ازتوباکتر نیز اختلافاتی وجود دارد، با این حال اثر تیمار باکتری بر روی ارتفاع گیاه ۷۵ روزه و ارتفاع نهایی بوته معنی‌دار نگردید.

اثر تیمار روی سطح برگ بوته در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. مقایسات میانگین سطح برگ در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد سطح برگ بوته در تیمارهای ۷۲، ۲۵، ۸ و ۶۹ به طور معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد از تیمار شاهد و سایر تیمارها بیشتر بوده است، در حالی که در تیمارهای ۱۱، ۱۷، ۴۸، ۵۷، ۲۶ و ۶۸ به طور معنی‌داری نسبت

وزن خشک قسمت‌های هوایی گیاه (عملکرد بیولوژیک)، وزن خشک دانه (عملکرد دانه)، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، ارتفاع نهایی بوته، طول سنبله و تعداد پنجه‌ها اندازه‌گیری گردید. در پایان غلظت نیتروژن، فسفر و آهن در اندام‌های هوایی گیاه اندازه‌گیری شد و مقدار کل جذب این عناصر در گیاه محاسبه گردید. غلظت نیتروژن و درصد پروتئین دانه به روش کج‌لدال، غلظت فسفر به روش رنگ سنجی (روش عصاره‌گیری اولسن) و غلظت آهن و روی (عصاره‌گیری با DTPA) به روش جذب اتمی اندازه‌گیری شد (۱۴). نتایج این آزمون بر اساس طرح کاملاً تصادفی تجزیه و میانگین‌ها با استفاده از آزمون Fisher's LSD در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم افزار آماری SAS مقایسه شدند.

نتایج

الف) شاخص‌های رشد گندم

در جدول ۳ نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های رشد گندم نشان

جدول ۳. مقایسه میانگین شاخص‌های رشد و عملکرد گندم در تیمارهای سویه‌های مختلف ازتوباکتر کروکوکوم

| سنبله در بونه | پنجه در بونه | سطح برگ cm ² | طول سنبله cm | ارتفاع بونه cm (نهایی) | ارتفاع بونه cm (۷۵ روزه) | ارتفاع بونه cm (۳۵ روزه) | درصد پروتئین دانه | عملکرد دانه (g) | وزن هزار دانه (g) | تعداد دانه در سنبله | اندام هوایی (g) | وزن خشک | وزن خشک ریشه | تیمار (سویه‌های ازتوباکتر) |
|---------------|----------------------|-------------------------|--------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------|--------------|----------------------------|
| ۱/۸۳ | ۴/۳۳ ^a | ۱۰۱/۸ ^{ab} | ۷/۱۸ | ۷۱/۴ | ۶۴/۱ | ۳۵/۵ ^{bcd} | ۹/۶۱ ^{def} | ۰/۵۱۱ | ۲۲/۵۴ ^{bc} | ۱۵/۹۹ | ۲/۹۴ ^f | ۰/۳۳۰ | ۰/۳۳۰ | control |
| ۱/۴۶ | ۴/۱۹۶ ^{ab} | ۱۰۱/۵۸ ^b | ۷/۳۱ | ۷۲/۲ | ۶۴/۰ | ۳۷/۴ ^b | ۹/۶۱ ^{ef} | ۰/۵۶۳ | ۲۲/۹۱ ^{bc} | ۱۵/۵۰ | ۳/۴۹ ^{bcd} | ۰/۳۶۳ | ۰/۳۶۳ | A-5 |
| ۱/۶۶ | ۳/۳۴ ^{cde} | ۱۱۳/۱ ^a | ۷/۴۶ | ۷۲/۷ | ۶۵/۲ | ۳۶/۲ ^{bcd} | ۱۰/۸۳ ^a | ۰/۶۲۵ | ۲۴/۸ ^{ab} | ۱۶/۹۶ | ۳/۶۶ ^{abcd} | ۰/۳۴۸ | ۰/۳۴۸ | A-8 |
| ۱/۵۳ | ۳/۹۹ ^{ab} | ۸۱/۸۵ ^d | ۶/۸۴ | ۷۰/۲ | ۶۲/۷ | ۳۴/۲ ^{def} | ۹/۵۰ ^{ef} | ۰/۵۳۳ | ۲۱/۴۱ ^{bc} | ۱۶/۹۰ | ۳/۲ ^{def} | ۰/۳۶۰ | ۰/۳۶۰ | A-11 |
| ۱/۶۶ | ۳/۸۶ ^{abcd} | ۱۰۲/۵۲ ^b | ۷/۵۲ | ۷۱/۸ | ۶۴/۵ | ۴۲/۸ ^a | ۱۰/۰ ^{bcd} | ۰/۶۱۱ | ۲۳/۳۶ ^{bc} | ۱۷/۱۳ | ۳/۶۸ ^{abc} | ۰/۳۷۰ | ۰/۳۷۰ | A-13 |
| ۱/۵۳ | ۳/۳۹ ^{bc} | ۸۵/۸۰ ^d | ۶/۸۰ | ۷۰/۷ | ۶۳/۴ | ۳۲/۳ ^f | ۹/۸۹ ^{def} | ۰/۴۵۱ | ۲۰/۶۲ ^c | ۱۵/۲۵ | ۲/۹۴ ^f | ۰/۳۳۴ | ۰/۳۳۴ | A-17 |
| ۱/۶۰ | ۲/۹۹ ^c | ۱۰۱/۵۵ ^b | ۹/۶۰ | ۷۰/۸ | ۶۴/۱ | ۳۲/۹ ^{ef} | ۱۰/۰ ^{abcd} | ۰/۵۶۲ | ۲۲/۶۴ ^{bc} | ۱۶/۹۴ | ۳/۲۷ ^{cdef} | ۰/۳۸۸ | ۰/۳۸۸ | A-23 |
| ۱/۸۳ | ۳/۸۰ ^{abcd} | ۱۱۳/۸ ^a | ۷/۵۷ | ۷۳/۴ | ۶۶/۹ | ۳۶/۳ ^{bcd} | ۱۰/۵۹ ^{ab} | ۰/۶۲۹ | ۲۷/۲۲ ^a | ۱۵/۱۴ | ۳/۸۶ ^{ab} | ۰/۳۶۴ | ۰/۳۶۴ | A-25 |
| ۱/۳۹ | ۳/۱۳ ^c | ۹۴/۵ ^c | ۷/۳۰ | ۷۳/۳ | ۶۴/۵ | ۳۵/۹ ^{bcd} | ۹/۵۸ ^{ef} | ۰/۵۳۰ | ۲۲/۷۶ ^{bc} | ۱۸/۰۸ | ۳/۳۹ ^{cdef} | ۰/۳۵۷ | ۰/۳۵۷ | A-26 |
| ۱/۵۹ | ۳/۹۳ ^{abc} | ۹۴/۶ ^c | ۷/۴۹ | ۷۲/۸ | ۶۴/۰ | ۳۴/۴ ^{cdef} | ۹/۸۳ ^{def} | ۰/۵۱۲ | ۲۲/۵ ^{bc} | ۱۶/۰۳ | ۳/۱۶ ^{ef} | ۰/۳۴۹ | ۰/۳۴۹ | A-48 |
| ۱/۵۹ | ۳/۸۲ ^{bcd} | ۹۸/۹۸ ^{bc} | ۷/۳۷ | ۷۳/۲ | ۶۵/۱ | ۳۶/۷ ^{bc} | ۱۰/۴۸ ^{ab} | ۰/۵۵۰ | ۲۲/۶۲ ^{bc} | ۱۵/۱۴ | ۳/۲۶ ^{ef} | ۰/۳۸۴ | ۰/۳۸۴ | A-53 |
| ۱/۴۶ | ۴/۱۹۸ ^{ab} | ۸۲/۱ ^d | ۷/۰۲ | ۷۲/۱ | ۶۴/۰ | ۳۶/۹ ^{bc} | ۹/۵۰ ^f | ۰/۵۰۳ | ۲۲/۳۹ ^{bc} | ۱۵/۳۳ | ۳/۳۰ ^{cdef} | ۰/۳۸۳ | ۰/۳۸۳ | A-57 |
| ۱/۵۹ | ۳/۹۹ ^{ab} | ۸۵/۸۵ ^d | ۷/۱۶ | ۷۱/۸ | ۶۴/۵ | ۳۶/۹ ^{bc} | ۸/۵۰ ^g | ۰/۴۷۷ | ۲۲/۱ ^{bc} | ۱۴/۱۰ | ۳/۲۱ ^{def} | ۰/۳۵۵ | ۰/۳۵۵ | A-68 |
| ۱/۴۶ | ۳/۴۶ ^{cde} | ۱۱۳/۳ ^a | ۷/۲۱ | ۷۲/۱ | ۶۳/۶ | ۳۵/۳ ^{abcd} | ۱۰/۲۷ ^{abc} | ۰/۵۱۱ | ۲۳/۱۹ ^{bc} | ۱۵/۲۱ | ۳/۳۷ ^{cdef} | ۰/۳۴۰ | ۰/۳۴۰ | A-69 |
| ۱/۸۳ | ۳/۸۶ ^{abcd} | ۱۱۶/۳۳ ^a | ۷/۳۳ | ۷۲/۸ | ۶۵/۵ | ۳۵ ^{cde} | ۱۰/۱۳ ^{abcde} | ۰/۶۲۸ | ۲۷/۱۷ ^a | ۱۶/۵۷ | ۳/۹۹ ^a | ۰/۳۵۳ | ۰/۳۵۳ | A-72 |
| ۰/۴۱ | ۴/۸۴ | ۲۳/۳۹ | ۰/۴۶ | ۰/۲ | ۰/۲۴ | ۹/۱۶ | ۶/۴۲ | ۱/۵۶ | ۲/۵۲ | ۰/۴۱ | ۳/۴۳ | ۰/۲۵۰ | ۰/۲۵۰ | F |
| ۰/۹۶۷۷ | <۰/۰۰۰۱ | <۰/۰۰۰۱ | ۰/۹۴۶۲ | ۰/۹۹۹ | ۰/۹۹۷۴ | <۰/۰۰۰۱ | <۰/۰۰۰۱ | ۰/۱۸۹ | ۰/۰۰۶۹ | ۰/۹۶۶۶ | ۰/۰۰۰۴ | ۰/۹۹۷ | ۰/۹۹۷ | P |
| N.S. | ۰/۵۰۵ | ۶/۸۶۶۲ | N.S. | N.S. | N.S. | ۲/۲۳۲۲ | ۲/۲۳۲۲ | N.S. | ۳/۲۹۳۱ | N.S. | ۰/۴۶۴۴ | N.S. | N.S. | LSD _{0.05} |
| ۲۰ | ۱۳ | ۱۲/۵۲ | ۱۰ | ۶/۲۸ | ۶/۵ | ۷/۸ | ۶ | ۱۹/۷ | ۱۲/۲۷ | ۲۰ | ۱۳/۱ | ۲۰ | ۲۰ | CV |

- حروف مشابه در هر ستون نشانه عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

- تمامی صفات به ازای یک بونه می‌باشند.

- غیر معنی‌دار N.S.

علاوه جذب نیتروژن در تیمارهای ۸ و ۱۳ نسبت به سایر تیمارها به جز تیمارهای ۲۵ و ۷۲ افزایش معنی داری یافته است.

میزان جذب فسفر توسط گیاه گندم در تیمار سویه شماره ۷۲ در درجه اول و تیمارهای شماره ۲۵، ۸، ۱۳، ۱۱، ۲۶ و ۵ در درجات بعدی نسبت به تیمار شاهد به صورت معنی داری افزایش یافته است ولی بین خود تیمارهای مذکور اختلاف آماری معنی داری مشاهده نمی شود.

مقایسه میانگین مقدار کل جذب آهن توسط گندم نشان می دهد که در تیمارهای ۲۵، ۲۶، ۴۸، ۷۲، ۸، ۶۸ میزان جذب آهن نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد داشته است.

همچنین تأثیر تیمارهای مختلف باکتری بر روی مقدار کل جذب روی در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار می باشد. میزان کل جذب روی در تیمارهای ۷۲، ۸، ۱۳، ۲۵، ۲۳، ۶۹ و ۴۸ به صورت معنی داری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافته است. بین خود تیمارهای مذکور از نظر آماری اختلاف معنی داری وجود ندارد. در سایر تیمارها از نظر جذب روی اختلاف معنی داری با تیمار شاهد مشاهده نمی شود ولی در عمل میزان Zn جذب شده در تمام تیمارهای میکروبی بیشتر از شاهد می باشد هر چند این افزایش معنی دار نیست.

د) غلظت عناصر

در جدول ۴ علاوه بر جذب، اختلاف بین غلظت عناصر در گیاه نیز از نظر آماری مورد بررسی قرار گرفته است. اثر تیمارهای سویه های مختلف ازتوباکتر کروکوکوم روی غلظت نیتروژن، فسفر و آهن در سطح ۱ درصد معنی دار می باشد در حالی که این اثر روی غلظت روی در گیاه در سطوح آماری ۵ و ۱ درصد معنی دار نمی باشد. روند مقایسه میانگین ها در مورد غلظت عناصر تقریباً مشابه با وضعیت جذب می باشد.

بحث

در مجموع می توان گفت تلقیح گندم با ازتوباکتر در کنار مصرف کودهای شیمیایی می تواند آثار گوناگونی در رشد و

به تیمار شاهد و سایر تیمارها کاهش نشان می دهد. بر طبق نتایج جدول ۳ اثر تیمار باکتری روی میانگین طول سنبله، تعداد پنجه در بوته، تعداد سنبله در هر بوته معنی دار نمی باشد.

ب) عملکرد

در جدول ۳ اثر تیمارهای مختلف باکتری روی شاخص های عملکرد گندم نیز نشان داده شده است. طبق نتایج وزن خشک اندام هوایی در سطح ۱ درصد معنی دار می باشد. وزن خشک اندام هوایی گیاه در تیمار ۷۲، ۲۵، ۱۳، ۸ و ۵ به طور معنی داری بیشتر از تیمار شاهد است. بین سایر تیمارها و تیمار شاهد اختلاف معنی داری وجود ندارد. همچنین وزن خشک اندام هوایی در تیمار شماره ۷۲ نسبت به تمامی تیمارها به جز تیمارهای ۲۵، ۱۳ و ۸ به طور معنی داری بیشتر می باشد. اثر تیمار باکتری بر روی وزن خشک ریشه، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه معنی دار نشد.

تلقیح سویه های مختلف ازتوباکتر کروکوکوم روی وزن هزار دانه (جدول ۳) تأثیر معنی داری در سطح ۱ درصد داشته است. میانگین وزن هزار دانه در تیمارهای ۲۵ و ۷۲ به صورت معنی داری نسبت به تیمار شاهد و سایر تیمارها افزایش نشان می دهد. بین تیمار شاهد و سایر تیمارها اختلاف آماری معنی داری مشاهده نمی شود.

اثر تیمارهای مختلف باکتری روی درصد پروتئین دانه در سطح ۱ درصد معنی دار می باشد. درصد پروتئین دانه در گیاه تلقیح شده با سویه های ۸، ۲۵، ۵۳ و ۶۹ به صورت معنی داری بیشتر از تیمار شاهد می باشد. بین سایر تیمارها و تیمار شاهد به جز تیمار ۶۸ اختلاف معنی داری وجود نداشته و میانگین درصد پروتئین دانه در تیمار ۶۸ به طور معنی داری کمتر از تیمار شاهد و سایر تیمارها می باشد.

ج) جذب عناصر غذایی

در جدول ۴ اثر تیمارهای مختلف باکتری روی جذب نیتروژن، فسفر، آهن و روی در گندم نشان داده شده است. طبق نتایج اثر تیمارهای مختلف باکتری روی جذب نیتروژن، آهن و فسفر در سطح ۱ درصد معنی دار می باشد. کل نیتروژن جذب شده در تیمارهای ۸، ۱۳، ۷۲ و ۲۵ افزایش معنی داری نسبت به تیمار شاهد نشان می دهد. به

جدول ۴. مقایسه میانگین جذب و غلظت عناصر P، N، Fe و Zn در گندم در تیمارهای سویه‌های مختلف ازتوباکتر کروکوکوم

| (mg/kg) غلظت | Zn | | Fe | | P | | N | | ← عنصر تیمار ↓ |
|--------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| | جذب (μg/p) | غلظت (mg/kg) | جذب (μg/p) | غلظت (%) | جذب (mg/p) | غلظت (%) | جذب (mg/p) | غلظت (%) | |
| ۲۲/۶ | ۵۸/۰ ^e | ef | ۴۸۹/۵ ^{de} | ۰/۰ ^{ed} | ۶/۸۸ ^{ef} | ۲/۰ ^g | ۶۶/۸ ^d | ۲/۰ ^g | control |
| ۲۶/۱ | ۹۱/۴ ^{bcd} | bcd | ۳ ^{bcd} | ۰/۰ ^{cde} | ۸/۱۵ ^{cd} | ۲/۳۵ ^{fg} | ۸۲/۳ ^d | ۲/۳۵ ^{fg} | A - 5 |
| ۳۲/۶ | ۱۲۰/۰ ^{ab} | abcde | ۶۹۶/۶ ^{abc} | ۰/۰ ^b | ۹/۴۴ ^{bc} | ۲/۸۹ ^a | ۱۰۶/۵ ^a | ۲/۸۹ ^a | A - 8 |
| ۲۹/۱ | ۹۲/۴ ^{bcd} | def | ۵۳۳/۱ ^{cde} | ۰/۰ ^b | ۸/۳۰ ^{cd} | ۲/۳۶ ^{ef} | ۷۵/۷ ^d | ۲/۳۶ ^{ef} | A - 11 |
| ۳۱/۶ | ۱۱۶/۵ ^{abc} | ef | ۵۸۳/۸ ^{bde} | ۰/۰ ^b | ۹/۳۱ ^{bc} | ۲/۳۶ ^{ef} | ۱۰۳/۳ ^a | ۲/۳۶ ^{ef} | A - 13 |
| ۲۶/۵ | ۷۹/۰ ^{cd} | f | ۴۲۸/۰ ^e | ۰/۰ ^e | ۶/۴۶ ^f | ۲/۴۱ ^{def} | ۷۵/۳ ^d | ۲/۴۱ ^{def} | A - 17 |
| ۳۲/۴ | ۱۰۵/۷ ^{abc} | abcde | ۶۳۷/۷ ^{bcd} | ۰/۰ ^{cde} | ۸/۰۲ ^{de} | ۲/۵۱ ^{abcd} | ۸۳/۰ ^{cd} | ۲/۵۱ ^{abcd} | A - 23 |
| ۲۹/۹ | ۱۱۳/۹ ^{abc} | ab | ۸۵۳/۳ ^a | ۰/۰ ^b | ۱۰/۰۶ ^{ab} | ۲/۰ ^b | ۱۰۱/۱ ^{abc} | ۲/۰ ^b | A - 25 |
| ۲۵/۴ | ۸۶/۳ ^{cde} | abc | ۷۴۹/۸ ^{ab} | ۰/۰ ^b | ۸/۴۶ ^{cd} | ۲/۳۱ ^{fg} | ۷۸/۷ ^d | ۲/۳۱ ^{fg} | A - 26 |
| ۳۱/۸ | ۱۰۰/۹ ^{bcd} | a | ۷۳۶/۹ ^{ab} | ۰/۰ ^{bc} | ۷/۷۵ ^{def} | ۲/۳۸ ^{ef} | ۷۶/۳ ^d | ۲/۳۸ ^{ef} | A - 48 |
| ۳۱/۰ | ۹۸/۶ ^{bed} | f | ۴۵۶/۱ ^e | ۰/۰ ^{cde} | ۷/۳۸ ^{def} | ۲/۴۵ ^{cdef} | ۷۷/۹ ^d | ۲/۴۵ ^{cdef} | A - 53 |
| ۲۶/۲ | ۸۵/۶ ^{cde} | f | ۱/۱ ^{de} | ۰/۰ ^{bc} | ۸/۰۲ ^{de} | ۲/۳۳ ^{fg} | ۷۶/۳ ^d | ۲/۳۳ ^{fg} | A - 57 |
| ۲۴/۰ | ۷۷/۴ ^{cd} | abcd | ۶۸۲/۶ ^{abc} | ۰/۰ ^{bcd} | ۷/۸۳ ^{de} | ۲/۲۱ ^g | ۷۱/۱ ^d | ۲/۲۱ ^g | A - 68 |
| ۳۱/۰ | ۱۰۴/۸ ^{bcd} | q abcde | ۶۳۹/۵ ^{bcd} | ۰/۰ ^{cde} | ۷/۸۲ ^{de} | ۲/۴۹ ^{bcd} | ۸۴/۴ ^{bcd} | ۲/۴۹ ^{bcd} | A - 69 |
| ۳۵/۲ | ۱۴۱/۱ ^a | cdef | ۶۹۷/۱ ^{abc} | ۰/۰ ^a | ۱۱/۲۶ ^a | ۲/۰ ^{bc} | ۱۰۲/۶ ^{ab} | ۲/۰ ^{bc} | A - 72 |
| ۱/ | ۲/۷۲ | ۳/۶۳ | ۳/۹۶ | ۶/۴۵ | ۷/۳۰ | ۱/۱/ | ۴/ | ۱/۱/ | F |
| ۰/۱۳۷۱ | ۰/۰۰۳۷ | ۰/۰۰۰۲ | ۰/۰۰۰۱ | < ۰/۰۰۰۱ | < ۰/۰۰۰۱ | < ۰/۰۰۰۱ | < ۰/۰۰۰۱ | < ۰/۰۰۰۱ | P |
| N.S. | ۳۲/۸۸۲ | ۴۲/ | ۱۷۵/۱۳ | ۰/ | ۱/۳۰۷ | ۰/۱۴۷۲ | ۱۸/۴۹۶ | ۰/۱۴۷۲ | LSD _{0.05} |
| ۱۷ | ۱۶ | ۱۸/۲ | ۲۰ | ۸/۲۷ | ۱۸/۴ | ۸/۱۳ | ۱۷/۳۳ | ۸/۱۳ | CV |

– حروف مشابه در هر ستون نشانه عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

– جذب و غلظت به ازای یک بوته می‌باشد.

عملکرد گیاه داشته باشد. تلقیح ازتوباکتر در کشت گندم روی صفاتی مانند ارتفاع نهایی بوته، تعداد و طول سنبله‌ها، وزن خشک ریشه، عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله اثری نداشت. هر چند میانگین‌ها اختلافاتی را نشان می‌دهد و تأثیر تلقیح مثبت بوده است لیکن این اختلاف به لحاظ آماری معنی‌دار نبود. از طرف دیگر تلقیح ازتوباکتر روی دیگر شاخص‌ها مانند سطح برگ بوته، ارتفاع گیاه جوان در مرحله رویشی، وزن هزار دانه، درصد پروتئین دانه، عملکرد بیولوژیک و جذب عناصر توسط گیاه تأثیر مثبت و معنی‌داری داشته است به گونه‌ای که نقش تعدادی از سویه‌های ازتوباکتر کروکوکوم در این میان برجسته‌تر به نظر می‌رسد. در جدول ۱ تیمارهای انتخابی و دلایل انتخاب آنها مشخص شده است. در بین سویه‌های ازتوباکتر کروکوکوم جداسازی شده از خاک‌های استان چهار محال و بختیاری سویه‌های ۱۳، ۲۵ و ۷۲ دارای بالاترین توانایی تولید IAA بودند و در سویه ۵۳ میزان تولید اکسین در حدود نصف سویه‌های مذکور شده می‌باشد. در حالی که سویه ۵۷ فاقد توانایی تولید IAA می‌باشد. بنابراین انتظار می‌رود سویه‌های ۱۳، ۲۵ و ۷۲ تأثیر بیشتری نسبت به سویه‌های ۵۳ و ۵۷ بر روی شاخص‌های رشد و عملکرد جذب گیاه داشته باشند. سویه‌های ۱۱ و ۴۸ سویه‌های تولید کننده HCN و سویه‌های ۲۳ و ۲۶ سویه‌های برتر از نظر تولید سیدروفور بودند که انتظار می‌رود این سویه‌ها به ویژه دو سویه اخیر بر روی جذب عناصری مانند آهن و روی تأثیر معنی‌داری داشته باشند و سویه‌های ۵، ۶۹ و ۸ به ترتیب دارای بالاترین پتانسیل تثبیت بیولوژیک نیتروژن ملکولی بودند و سویه‌های ۱۷ و ۶۸ ازتوباکتر کروکوکوم فاقد توانایی تثبیت نیتروژن شناخته شدند.

در بررسی وزن خشک ریشه انتظار می‌رفت حداقل سویه‌های تولید کننده IAA تأثیر مثبتی روی وزن خشک ریشه داشته باشند اما تأثیر ازتوباکتر در این مورد معنی‌دار نشد. قضاوت در این رابطه مشکل به نظر می‌رسد زیرا جدا نمودن کامل ریشه از خاک گلدان و هم‌چنین جداسازی کامل

ریشه‌های نازک و شکننده که نقش عمده‌ای در جذب عناصر غذایی دارند ناممکن و در تیمارهایی مختلف متفاوت است. با این وجود مقایسات بیانگر افزایش وزن خشک ریشه به مقدار جزئی در تمامی تیمارها نسبت به تیمار شاهد می‌باشد ولی این افزایش معنی‌دار نیست. محققینی نظیر نارولا و همکاران، یاسمین و همکاران، احمد و همکاران و هم‌چنین راویکومار و همکاران نیز اثر تلقیح ازتوباکتر را روی وزن خشک، طول و سطح ریشه یک اثر مثبت گزارش نموده‌اند و آن را به تولید هورمون‌های محرک رشد توسط ازتوباکتر نسبت داده‌اند (۶، ۱۹، ۲۰ و ۲۵). نظرات متفاوتی در خصوص اثر IAA میکروبی روی رشد ریشه وجود دارد. گروهی از محققین مانند باشان و دوبرووسکی و وسی و باس معتقد به افزایش رشد ریشه یعنی افزایش وزن ریشه می‌باشند (۸ و ۲۴). گروهی دیگر مانند ژرمان و همکاران و گلایک، افزایش سطح تماس ریشه و افزایش طول و تعداد ریشه‌های فرعی را به عنوان معیار رشد ریشه مطرح می‌کنند (۱۰ و ۱۱). فالیک و همکاران نیز افزایش تارهای کشته و اثر آن روی افزایش سطح تماس را عنوان می‌کنند. طبق این گزارشات و بررسی‌های سایر پژوهشگران آنچه که در این مورد اهمیت خواهد داشت طول و سطح ریشه است زیرا افزایش این عوامل است که باعث نفوذ و جستجوی بیشتر ریشه در حجم وسیع‌تری از خاک می‌گردد. برای بررسی اثر باکتری‌های PGPR روی ریشه، علاوه بر بیوماس لازم است طول و سطح ریشه نیز بررسی شود لذا استفاده از روش‌های کشت در محیط‌های مایع و نیمه جامد و همین‌طور آزمون‌های درون شیشه مانند آزمون طویل شدن ریشه در حضور باکتری ضروری به نظر می‌رسد (۶ و ۱۱). در مورد تعداد پنجه‌ها هر چند اثر تیمار معنی‌دار شده است اما این اختلاف ناشی از کاهش پنجه زنی در تعدادی از تیمارها نسبت به شاهد می‌باشد. در واقع اثر اعمال تیمار باکتری روی پنجه‌زنی منفی بوده است و بالاترین میزان پنجه‌زنی در خود تیمار شاهد مشاهده شد. این در حالی است که اثر تیمار روی تعداد سنبله معنی‌دار نشد و بین تیمار شاهد

به تیمارهای ۸ و ۲۵ می‌باشد و تیمارهای ۵۳ و ۶۹ در رتبه بعدی قرار دارند. سویه شماره ۸ و ۶۹ سویه‌های برتر از نظر تثبیت نیتروژن و سویه ۲۵ دارای بالاترین پتانسیل تولید IAA در بین تمامی سویه‌ها می‌باشد. زامبر و همکاران افزایش درصد پروتئین دانه گندم را در اثر تلقیح ازتوباکتر در سطوح ۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنی گزارش نمودند درحالی‌که زاید و همکاران اثر تلقیح ازتوباکتر را روی درصد پروتئین دانه گندم غیر معنی‌دار گزارش کردند (۲۶). مشابه با درصد پروتئین دانه میانگین وزن خشک اندام هوایی در تیمارهای ۷۲، ۲۵، ۱۳، ۸ و ۵ به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان می‌دهد. نتایج مشابهی در مورد افزایش معنی‌دار بیوماس اندام هوایی گندم در حضور ازتوباکتر کروکوکوم توسط زامبر و همکاران، حماد، راویکومار و همکاران، زاید و همکاران، یاسمین و همکاران، کادر و همکاران گزارش شده است (۱۲، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۲۶ و ۲۷). اثر مهم دیگری که ازتوباکتر کروکوکوم می‌تواند روی گیاه داشته باشد کمک به جذب بیشتر عناصر غذایی است. جذب عناصر غذایی اساس افزایش رشد و عملکرد گیاه خواهد بود. بالاترین مقدار جذب نیتروژن مربوط به تیمارهای ۸ و ۱۳ و در رده‌های بعدی ۲۵ و ۷۲ بوده است. بالاترین میزان جذب فسفر به ترتیب متعلق به تیمارهای ۷۲، ۲۵، ۸، ۱۳، ۲۶، ۱۱ و ۵ بود و در این میان نقش سویه ۷۲ برجسته‌تر می‌باشد. بیشترین جذب آهن به ترتیب مربوط به تیمارهای ۲۵، ۲۶، ۴۸، ۷۲، ۸ و ۶۸ می‌باشد. تیمار شماره ۴۸ یک سویه ازتوباکتر کروکوکوم تولید کننده هیدروژن سیانید می‌باشد. سیانید یک لیگاند مناسب برای پیوند شدن با آهن است و یک کمپلکس پایدار تولید نموده، لذا قادر است تحرک آهن را در ریزوسفر افزایش دهد و در مجموع به نظر می‌رسد HCN رفتاری مشابه با سیدروفور از خود نشان می‌دهد (۵). جذب آهن در تیمار ۲۶ که توسط یک سویه تولید کننده سیدروفور تلقیح شده بود نیز نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد. ولی این مسأله در مورد تیمار ۲۳ صادق نمی‌باشد. همچنین بیشترین مقدار جذب روی توسط گیاه به ترتیب مربوط به تیمارهای ۷۲، ۸، ۱۳، ۲۵، ۲۳، ۶۹ و ۴۸ می‌باشد. در کل می‌توان گفت در مورد جذب عناصر، اثر تعدادی از سویه‌های

و تیمارهای باکتری از نظر تعداد سنبله اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. این مطلب بیانگر این نکته است که هر چند در تیمار شاهد تعداد پنجه‌ها بیشتر از سایر تیمارها می‌باشد اما پنجه‌های اضافه پنجه‌های نابارور می‌باشند. چنانچه کاهش پنجه‌های نابارور در اثر تلقیح ازتوباکتر باشد این مسأله ویژگی بسیار مثبتی تلقی می‌گردد زیرا حذف پنجه‌های نابارور که فاقد سنبله می‌باشند می‌تواند منجر به تغذیه بهتر پنجه‌های بارور گردد.

در بین شاخص‌های رشد گیاه اثر تلقیح باکتری بر روی سطح برگ بوته معنی‌دار شد. گرچه سطح برگ بیشتر تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد (۲۰) تا فعالیت باکتری‌ها در بخش ریزوسفر، لیکن با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق می‌توان گفت که باکتری‌های تولید کننده IAA و تثبیت کننده نیتروژن روی میزان سطح برگ تأثیر مثبت داشته‌اند. محققینی مانند زاید و همکاران و راویکومار و همکاران اندازه‌گیری میزان کلروفیل را به جای اندازه‌گیری سطح برگ توصیه نموده‌اند. اثر تلقیح ازتوباکتر روی ارتفاع بوته ۳۵ روزه معنی‌دار بود ولی این اثر روی ارتفاع نهایی بوته معنی‌دار نشد، در حالی که در یک بررسی کادر و همکاران اثر تلقیح ازتوباکتر را در سطح مختلف کود نیتروژنی بر روی ارتفاع نهایی بوته مثبت و معنی‌دار ارزیابی نمودند. بد-وی و آمر نیز ۲۴ درصد افزایش ارتفاع نهایی بوته را در اثر تلقیح ازتوباکتر نسبت به تیمار شاهد گزارش نمودند (۷). در اثر تلقیح باکتری، وزن هزار دانه فقط در تیمارهای ۲۵ و ۷۲ دارای بیشترین تفاوت معنی‌دار با شاهد بود. تیمارهای ۲۵ و ۷۲ سویه‌هایی با بالاترین پتانسیل تولید IAA می‌باشند و مطابق انتظار دارای اثر مثبت معنی‌داری بر روی وزن هزار دانه نسبت به سایر تیمارها و تیمار شاهد می‌باشند. زاید و همکاران نیز اثر مثبت سویه‌هایی از ازتوباکتر کروکوکوم دارای بیشترین پتانسیل تولید IAA را در حضور سطوح مختلف کودهای نیتروژنی، روی وزن هزار دانه مثبت و معنی‌دار گزارش نموده‌اند (۲۶).

بر طبق نتایج به دست آمده اثر تیمار باکتری روی درصد پروتئین دانه معنی‌دار شده است و بیشترین درصد پروتئین مربوط

جدول ۵. خلاصه اثر سویه‌های برتر ازتوباکتر بر روی شاخص‌های رشد و عملکرد گندم در شرایط گلخانه

| شاخص‌های معنی دار شده | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------|-------------|--------------|----------------|-------------------|---------------|---------------------|--------------|---------------------|
| سویه‌های تأثیر گذار به ترتیب اهمیت | روی جذب شده | آهن جذب شده | فسفر جذب شده | نیترژن جذب شده | درصد پروتئین دانه | وزن هزار دانه | وزن خشک اندام هوایی | شاخص سطح برگ | ارتفاع بوته ۳۵ روزه |
| | ۷۲ | ۲۵ | ۷۲ | ۸ | ۲۵ | ۲۵ | ۷۲ | ۷۲ | ۱۴ |
| | ۸ | ۲۶ | ۲۵ | ۱۳ | ۸ | ۷۲ | ۲۵ | ۲۵ | |
| | ۱۳ | ۴۸ | ۸ | ۲۵ | ۵۳ | | ۱۳ | ۶۹ | |
| | ۲۵ | ۷۲ | ۱۳ | ۷۲ | ۶۹ | | ۸ | ۸ | |
| | ۲۳ | ۸ | ۲۶ | | | | ۵ | | |
| | ۶۹ | ۶۸ | ۱۱ | | | | | | |
| | ۴۸ | | ۵ | | | | | | |

سطح ریشه و در نتیجه افزایش جذب عناصر غذایی وجود دارد که پیشتر به آنها اشاره شد. احتمالاً سویه‌های ۱۳، ۷۲ و ۲۵ با تولید و ترشح هورمون‌های گیاهی مانند اکسین باعث افزایش سطح ریشه گیاه و متعاقباً افزایش جذب آب و عناصر و افزایش عملکرد گیاه می‌شوند. هم‌چنین سویه ۸ ازتوباکتر کروکوکوم یکی از سویه‌های برتر از نظر تثبیت نیترژن ملکولی بوده و مطابق انتظار اثر مثبتی روی شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه، بویژه بر روی میزان جذب نیترژن توسط گیاه، داشته است که منطقی به نظر می‌رسد. در حالی که سویه‌های ۵ و ۶۹ ازتوباکتر کروکوکوم دارای بالاترین پتانسیل تثبیت نیترژن ملکولی حتی بیشتر از سویه شماره ۸ می‌باشند و به جز در دو مورد اثر چشمگیری روی رشد گیاه نداشته‌اند. که علت آن را احتمالاً می‌توان به عدم کلونیزاسیون موفق باکتری در منطقه ریشه نسبت داد. در صورت وجود چنین احتمالی باکتری باید در منطقه ریزوسفر ردیابی شود تا از عدم وجود آن اطمینان حاصل گردد. البته این احتمال نیز وجود دارد که سویه ۸ از طریق مکانیسم‌های دیگری غیر از تثبیت نیترژن روی رشد گیاه تأثیر گذاشته است. فرضیه دیگر در این زمینه عدم سازگاری این سویه‌ها با ژنوتیپ گندم انتخاب شده در این طرح می‌باشد. راویکومار و همکاران نیز گزارش دادند پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف یک گیاه به تلقیح یک سویه ازتوباکتر متفاوت

اکسینی و تثبیت کننده نیترژن چشمگیر می‌باشد. افزایش مقدار جذب عناصر در حضور سویه‌های مختلف ازتوباکتر کروکوکوم با نتایج به دست آمده توسط تعدادی از محققین از جمله نارولا و همکاران و حماد مطابقت نشان می‌دهد. طبق گزارش‌های این محققین تلقیح گندم توسط ازتوباکتر در سطوح مختلف کود نیترژنی و فسفره مقدار جذب این عناصر را به صورت معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش داده است. کشیرساگار و همکاران اثر تلقیح ازتوباکتر کروکوکوم را همراه با باکتری‌های حل کننده فسفات در افزایش جذب فسفر انحلال یافته توسط باکتری‌های حل کننده فسفات مفید ارزیابی نمودند (۱۶). در جدول ۵ خلاصه‌ای از شاخص‌های معنی‌دار شده در این تحقیق و سویه‌های ازتوباکتر دارای آثار معنی‌دار روی این شاخص‌ها نشان داده شده است.

در این جدول سویه ۲۵ در درجه اول، سویه‌های ۷۲ و ۸ در درجه دوم و سویه ۱۳ در درجه سوم بیشترین آثار معنی‌دار را به خود اختصاص داده‌اند. سویه‌های ۱۳، ۷۲ و ۲۵ دارای بالاترین پتانسیل تولید هورمون اکسین در بین سایر سویه‌ها بودند. همان‌طور که در قبل اشاره شد مطالعات متعددی در مورد تولید فیتوهورمون‌هایی مانند اکسین توسط ازتوباکتر و اثر آنها روی افزایش

از ازتوباکتر کروکوکوم که دارای پتانسیل‌های محرک رشد گیاه می‌باشند نسبت به سویه‌های فاقد این پتانسیل‌ها اثر مثبتی روی برخی شاخص‌های رشد و عملکرد گندم خواهند داشت و فرایند غالب محرک رشد گیاه در سویه‌های مورد بررسی در آزمون گلخانه در درجه اول به تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه توسط ازتوباکتر و افزایش سطح جذب ریشه‌ها و در درجه دوم تثبیت بیولوژیک نیتروژن نسبت داده می‌شود. به عنوان مثال سویه‌های ۱۳، ۷۲ و ۲۵ به خصوص دو سویه آخر در بسیاری از صفات مطالعه شده باعث افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد شده‌اند. سویه‌های ۲۵ و ۷۲ دارای بالاترین پتانسیل تولید هورمون اکسین در بین سایر سویه‌ها بودند و سویه‌هایی مانند سویه‌های ۱۷، ۶۸ و ۵۷ که فاقد یک سری پتانسیل‌های محرک رشد گیاه معرفی شدند در آزمون گلخانه‌ای نیز تأثیری روی رشد و عملکرد گیاه نداشته‌اند. هم‌چنین در بین سویه‌های برتر نیز برخی سویه‌ها کارایی لازم را در رشد گیاه نداشته‌اند. بنابراین ضرورت دارد که در تولید کودهای بیولوژیک حتماً از سویه‌هایی با پتانسیل‌های بالای محرک رشد گیاه مانند سویه‌های برتر تولید کننده IAA، سویه‌های برتر حل کننده فسفات و غیره استفاده شود. در غیر این صورت کود بیولوژیک تهیه شده بی اثر یا دارای کارایی ناچیزی خواهد بود. هم‌چنین ضرورت دارد عملکرد سویه‌های برتر علاوه بر آزمون‌های درون شیشه‌ای و گلخانه‌ای توسط آزمایش‌های مزرعه‌ای در چند نوع خاک و انواع مختلف ارقام گندم بررسی شود. در پایان می‌توان به این نکته اشاره کرد که هر چند اثر تلقیح ازتوباکتر اثر معنی‌داری بر روی عملکرد دانه در گیاه که مهم‌ترین فاکتور عملکرد گیاه زراعی می‌باشد نداشته است ولی باعث افزایش جذب عناصر غذایی و درصد پروتئین دانه و در نهایت کیفیت محصول در سطح گلخانه شده است و تحقیقات کامل‌تر در این زمینه و به ویژه در سطوح مزرعه‌ای نتایج اقتصادی ارزشمندی را در رابطه با کودهای بیولوژیک در اختیار ما خواهد گذاشت.

می‌باشد. هم‌چنین زاید و همکاران نشان دادند در بین ژنوتیپ‌های مختلف گندم پاییزه تعدادی از ژنوتیپ‌ها پاسخ بهتری به تلقیح ازتوباکتر نشان می‌دهند و پاسخ این ژنوتیپ‌ها به سویه‌های مختلف ازتوباکتر متفاوت می‌باشد. ساریج و همکاران رابطه بین ژنوتیپ گیاهی و سویه وابسته را به ویژگی‌های مشارکتی در سیستم مشارکت نسبت دادند. در مورد مقدار آهن جذب شده توسط گیاه نیز یک سویه اکسینی پیشنهاد می‌باشد. اما در تیمارهای ۴۸ و ۲۶ نیز افزایش جذب آهن نسبت به تیمار شاهد مشاهده می‌شود. این مطلب می‌تواند نشانگر نقش سویه‌های تولید کننده سیدروفور در افزایش جذب آهن توسط گیاه باشد. البته بر اساس نتایج به دست آمده قضاوت در مورد نقش سیدروفور در افزایش آهن جذب شده توسط گیاه عملاً امکان پذیر نیست و اثر سایر مکانیسم‌های مؤثر در مورد جذب آهن را نباید نادیده گرفت و لذا تحقیقات بسیار پیشرفته و کامل‌تری برای اثبات این فرضیه رابطه بین آهن گیاه و سیدروفور میکروبی لازم است. اما آنچه که این‌جا حائز اهمیت است اثر مثبت باکتری روی جذب آهن می‌باشد. سویه ۱۱ مانند سویه ۴۸، تولید کننده HCN بوده ولی تأثیری روی جذب آهن نداشته است. سه دلیل احتمالی برای توجیه این اثر ممکن است وجود داشته باشد: احتمال اول این‌که سویه ۱۱ دارای قدرت کلنیزاسیون کمتری نسبت به سویه‌های مشابه با خود داشته و توانایی رقابت و رشد در محیط ریزوسفر نداشته است و احتمال دوم این‌که افزایش غلظت جذب آهن توسط گندم در تیمار ۴۸ ناشی از فرایندهای ذکر شده نباشد و در فرض سوم می‌توان به عدم سازگاری سویه ۱۱ با گیاه اشاره نمود که هر سه این احتمالات نیاز به بررسی‌های بیشتر در منطقه ریزوسفر خواهد داشت.

آنچه در جدول ۵ به وضوح دیده می‌شود این است که در این بررسی جذب عناصر در خاک بیشتر از سایر مؤلفه‌های رشد و عملکرد گیاه تحت تأثیر فعالیت‌های میکروبی قرار گرفته است. نتیجه‌گیری کلی از داده‌های به دست آمده نشان می‌دهد سویه‌هایی

منابع مورد استفاده

۱. چهارمین کتاب سال کشاورزی ایران. آمار تولیدات و عملکرد سال زراعی ۱۷۹-۱۸۰. انتشارات پارس گل، تهران.

۲. خسروی، ه.، ۱۳۸۰. تثبیت ازت توسط میکروارگانیزم‌های آزادزی. ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور مجموعه مقالات ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور. نشر آموزش کشاورزی، کرج.
۳. خسروی، ه.، ن. صالح راستین و م. محمدی. ۱۳۷۹. بررسی فراوانی، انتشار و برخی خصوصیات فیزیولوژیک ازوتوباکتر کروکوکوم در خاک‌های زراعی استان تهران. مجله علوم خاک و آب ۱۲(۷): ۸۶-۹۶.
۴. رجایی، س. ۱۳۸۴. پتانسیل کاربرد سویه‌های ازوتوباکتر کروکوکوم بومی به عنوان کود بیولوژیک محرک رشد گیاه (PGPB) در برخی گندم زارهای استان چهارمحال و بختیاری. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشگاه شهرکرد، کرج.
۵. علیخانی، ح.، و ن. صالح راستین. ۱۳۸۰. ضرورت تولید انبوه کودهای بیولوژیک محرک رشد گیاه PGPB در راستای نیل به کشاورزی پایدار. مجموعه مقالات ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور، نشر آموزش کشاورزی، کرج.
6. Ahmad, F., I. Ahmah and M. S. Khan. 2005. Indole acetic acid production by the indigenous isolated of *Azotobacter* and *Fluorescent Pseudomonas* in the presence and absence of Tryptophan. Turk. J. Biol. 29: 29-34.
7. Badawy, F. H. and S. B. Amer. 1977. The effect of inoculation with *Azotobacter* on the growth of wheat and tomato plants. Libyan J. Agric. 3: 141-143.
8. Bashan, Y. and J. G. Dubrovsky. 1996. *Azospirillum* spp. Participation in dry matter partitioning in grasses at the whole plant level. Biol. Fertil. Soils 23: 435-440.
9. Fallik, E., S. Sarig and Y. Okon. 1994. Morphology and physiology of plant roots associated with *Azospirillum*. In *Azospirillum/plant associations*. Fertil. Soils 32: 259-264.
10. German, M. A., S. Burdman, Y. Okon and J. Kigel. 2000. Effects of *Azospirillum brasilense* on root morphology of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under different water regimes. Biol. Fertil. Soils 32: 259-264.
11. Glick, B. R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. Can. J. Microbiol. 41: 109-117.
12. Hammad, A. M. 1998. Evaluation of alginate-encapsulated *Azotobacter chroococcum* as a phage-resistant and an effective inoculum. J. Basic Microbiol. 38: 9-16.
13. Idris, M. 2003. Effect of integrated use of mineral, organic N and *Azotobacter* on yield, yield components and N-nutrition of wheat (*Triticum aestivum* L.). P.J.B.S. 6: 539-543.
14. Jones, B. J., Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press., London.
15. Kader, M. A., M. H. Main and M. S. Hoque. 2002. Effects of *Azotobacter* inoculant on the yield and nitrogen uptake by wheat. O. J. Biologic. Sci. 2: 259-261.
16. Kshirsagar C. R., V.K. Mandhare, H. B. Kalbhor and P.L. Patil. 1994. Response of onion to *Azotobacter* and VA-mycorrhizal inoculation along with phosphorus levels. J. Maharashtra Agric. Univ. 19: 476-477.
17. Kumar, V., A. N. Kumar and B. P. Singn. 2000. Performance and persistence of phosphate solubilizing *Azotobacter chroococcum* in wheat rhizosphere. Folia-Microbiol. 5: 343-347.
18. Mrkovacki, N. and V. Milic. 2001. Use of *Azotobacter chroococcum* as potential useful in agricultural application. Ann. Microbiol. 51: 145- 158.
19. Narula, N., V. Kumar, R. K. Behl, A. Deubel, A. Gransee and W. Merbach. 2000. Effect of P-solubilizing *Azotobacter chroococcum* on N, P and K uptake in P-responsive wheat genotypes grown under greenhouse conditions. J. Plant Nutr. 163: 393-398.
20. Ravikumar, S., K. Kathiresan, S. T. M. Ignatiammal, M. B. Selvam and S. Shanthi. 2004. Nitrogen-fixation *Azotobacters* from mangrove habitat and their utility as marine biofertilizers. J. Exp. Marine Biol. and Ecol. 15: 157-160.
21. Sarig, M. R., Z. Sarig M. Govedarica. 1988. Efficiency of strain combination of different genera of nitrogen fixing bacteria on sunflower genotypes. In: 12th Intern. Sunflower Conference, Novi Sad. pp: 187-191.
22. Soliman, S., M. A. Seeda, S. S. M. Aly and A. M. Gadalla. 1995. Nitrogen fixation by wheat plant as affected by nitrogen fertilizer levels and nonsymbiotic bacteria. Egypt. J. S. Sci. 35: 401-413.
23. Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant Soil 255: 571-586.
24. Vessey, J. K. and T. J. Buss. 2002. *Bacillus cereus* UW85 inoculation effects on growth, nodulation and N accumulation in grain legumes. Controlled-environment studies. Can. J. Plant Sci. 82: 282-290.
25. Yasmin, S., M. A. R. Bakar, K. A. Malik and F. Hafeez. 2004. Isolation, characterization and beneficial effects of rice associated plant growth promoting bacteria from Zanibar soils. J. Basic Microbiol. 44: 241-252.
26. Zaied, K. A., A. H. Abd-El-Hady, A. H. Afify and M. A. Nassef. 2003. Yield and nitrogen assimilation of winter wheat inoculated with new recombinant inoculants of rhizobacteria. Pakistant J. Biologic. Sci. 6: 344-358.
27. Zamber, M. A., B. K. Konde and K. R. Sonar. 1984. Effect of *Azotobacter chroococcum* and *Azospirillum brasilense* inoculation under graded levels of nitrogen on growth and yeild of wheat. Plant Soil 79: 61-67.