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 N، P، Fe 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 ازتوباکترکروکوکوم بومی استان چهار محال 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، PGPR، IAA، سیدروفور، HCN، تثبیت بیولوژیک نیتروژن، رشد گندم، عملکرد، جذب عناصر

مقدمه

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 رتبه اول قرار دارد. هم‌چنین گندم عمده‌ترین محصول زراعی زیر کشت در استان چهار محال و بختیاری بوده که بالغ بر ۵۲ درصد اراضی زیر کشت را به خود اختصاص داده است که از این مقدار۴۳/۶ درصد آبی و ۵۶/۴ درصد تحت کشت دیم بوده است (۱). ظرف چند دهۀ اخیر تلاش برای افزایش تولید در واحد سطح و مصرف زیاد و نامتعادل کودهای شیمیایی،

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

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.41.39.1]

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 بهینهٔ 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 میکروارگانیزم‌های 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 (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) (PGPR) اشاره کرد. این گروه از باکتری‌ها در منطقه ریزوسفر از طریق مکانیسم‌های مختلفی باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شوند (۵ و۲۳). امروزه مکانیسم‌های مستقیم تأثیر گذار انواع PGPR مانند تولید فیتوهورمون‌ها (اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها، جیبرلین‌ها 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 بیولوژیک نیتروژن مولکولی و غیره به اثبات رسیده است (۵). باکتری‌های متعلق به خانواده ازتوباکتراسه علاوه بر تثبیت نیتروژن ملکولی 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 بیولوژیک 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 سویه‌های 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 سویه ازتوباکتر بستگی دارد. در بین محققین مختلف از نظر استفاده از سویه‌های 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 سویه وابسته به ویژگی‌های مشارکتی در سیستم شامل ترکیبات کیفی و کمّی 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

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.41.39.1]

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 و۲۳). 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 توسعهٔ 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 اندازه گیری 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. همان طور 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 و 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 ۲ مورد استفاده قرار گرفت. جهت آزمون گلخانه‌ای بذر گندم بهاره (*Triticum aestivum* L.) رقم پیشتاز 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، ۱۴سویه 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 ۵×۱۰^{۸} 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 و۴۰ 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 هلیم 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،

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.41.39.1]

جدول ۱. سویه‌های مورد استفاده در آزمون گلخانه‌ای

مکانیسم تحریک رشد گیاه	شماره سویه	ویژگی
تثبیت بیولوژیک نیتروژن	AZT- 5	8.3 nmol C_2H_2 h^{-1}
	AZT- 8	7.5 nmol C_2H_2 h^{-1}
	AZT- 69	7.6 nmol C_2H_2 h^{-1}
	AZT- 17	0 nmol C_2H_2 h^{-1}
	AZT- 68	0 nmol C_2H_2 h^{-1}
تولید سیدروفور	AZT- 23	بیشترین قطر هاله به کلنی
	AZT- 26	بیشترین قطر هاله به کلنی
تولید HCN	AZT- 48	بیشترین تولید HCN
	AZT- 11	بیشترین تولید HCN
تولید IAA	AZT- 25	72 mg /l IAA
	AZT- 13	70 mg /l IAA
	AZT- 72	67 mg /l IAA
	AZT- 53	40 mg /l IAA
	AZT- 57	0 mg /l IAA

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

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

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

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 عصاره گیری 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 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 در صد 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، ۵۷،۴۸، ۲۶ و ۶۸ به طور معنی‌داری نسبت

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.41.39.1]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.41.39.1] [Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

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

تیمار (سویه‌های ازتوباکتر)	وزن خشک ریشه در هر بوته (g)	وزن خشک اندام هوایی (g)	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه (g)	عملکرد دانه (g)	در صد پروتئین دانه	ارتفاع بوته cm (۳۵روزه)	ارتفاع بوته cm (۷۵روزه)	ارتفاع بوته cm (نهایی)	طول سنبله cm	سطح برگ cm^2	پنجه در بوته	سنبله در بوته
control	۰/۳۳۰	۲/۹۹^{f}	۱۵/۹۹	۲۲/۵۴^{bc}	۰/۵۱۱	۹/۶۱^{def}	۳۵/۵^{bcd}	۶۴/۱	۷۱/۴	۷/۱۸	۱۰۱/۸۰^{b}	۴/۳۳۰^{a}	۱/۷۳
A - 5	۰/۳۶۳	۳/۴۹^{bcde}	۱۵/۵۰	۲۲/۹۱^{bc}	۰/۵۶۳	۹/۶۱^{ef}	۳۷/۴^{b}	۶۴/۰	۷۲/۲	۷/۳۱	۱۰۱/۵۸^{b}	۴/۱۹۶^{ab}	۱/۴۶
A - 8	۰/۳۴۸	۳/۶۶^{abcd}	۱۶/۹۶	۲۴/۷۰^{ab}	۰/۶۲۵	۱۰/۷۳^{a}	۳۶/۲^{bcd}	۶۵/۲	۷۲/۷	۷/۴۶	۱۱۳/۱۰^{a}	۳/۳۴۰^{cde}	۱/۶۶
A - 11	۰/۳۶۰	۳/۲۰^{def}	۱۶/۹۰	۲۱/۴۱^{bc}	۰/۵۳۳	۹/۵۰^{ef}	۳۴/۲^{def}	۶۲/۷	۷۰/۲	۶/۸۴	۸۱/۷۵^{d}	۳/۹۹۸^{ab}	۱/۵۳
A - 13	۰/۳۷۰	۳/۶۸^{abc}	۱۷/۱۳	۲۳/۳۶^{bc}	۰/۶۱۱	۱۰/۰۰^{bcdef}	۴۲/۷^{a}	۶۴/۵	۷۱/۸	۷/۵۲	۱۰۲/۵۲^{b}	۳/۸۶۴^{abcd}	۱/۶۶
A - 17	۰/۳۳۴	۲/۹۴^{f}	۱۵/۲۵	۲۰/۶۲^{c}	۰/۴۵۱	۹/۷۹^{cdef}	۳۲/۳^{f}	۶۳/۴	۷۰/۷	۶/۸۰	۸۵/۸۰^{d}	۳/۳۹۶^{de}	۱/۵۳
A - 23	۰/۳۸۸	۳/۲۷^{cdef}	۱۶/۹۴	۲۲/۶۲^{bc}	۰/۵۶۲	۱۰/۲۱^{abcd}	۳۲/۹^{ef}	۶۴/۱	۷۰/۸	۹/۶۰	۱۰۱/۵۵^{b}	۲/۹۹۶^{e}	۱/۶۰
A - 25	۰/۳۶۴	۳/۸۶^{ab}	۱۵/۱۴	۲۷/۲۲^{a}	۰/۶۳۹	۱۰/۵۹^{ab}	۳۶/۳^{bcd}	۶۶/۹	۷۳/۴	۷/۵۷	۱۱۳/۸۰^{a}	۳/۸۰۰^{abcd}	۱/۷۳
A - 26	۰/۳۵۷	۳/۳۹^{cdef}	۱۸/۰۸	۲۲/۷۶^{bc}	۰/۵۳۰	۹/۵۸^{ef}	۳۵/۹^{bcd}	۶۴/۵	۷۳/۳	۷/۳۰	۹۴/۵۰^{c}	۳/۱۳۰^{e}	۱/۳۹
A - 48	۰/۳۴۹	۳/۱۶^{ef}	۱۶/۰۳	۲۲/۵۰^{bc}	۰/۵۱۲	۹/۸۳^{cdef}	۳۴/۴^{cdef}	۶۴/۰	۷۲/۸	۷/۴۹	۹۴/۶۰^{c}	۳/۹۳۰^{abc}	۱/۵۹
A - 53	۰/۳۸۴	۳/۲۶^{ef}	۱۵/۱۴	۲۲/۶۲^{bc}	۰/۵۵۰	۱۰/۴۸^{ab}	۳۶/۷^{bc}	۶۵/۱	۷۳/۲	۷/۳۷	۹۸/۹۸^{bc}	۳/۷۳۲^{bcd}	۱/۵۹
A - 57	۰/۳۸۳	۳/۳۰^{cdef}	۱۵/۳۳	۲۲/۳۹^{bc}	۰/۵۰۳	۹/۵۰^{f}	۳۶/۹^{bc}	۶۴/۰	۷۲/۱	۷/۰۲	۸۲/۱۰^{d}	۴/۱۹۸^{ab}	۱/۴۶
A - 68	۰/۳۵۵	۳/۲۱^{def}	۱۴/۱۰	۲۲/۱۰^{bc}	۰/۴۷۷	۸/۵۰^{g}	۳۶/۹^{bc}	۶۴/۵	۷۱/۸	۷/۱۶	۸۵/۷۵^{d}	۳/۹۹۶^{ab}	۱/۵۹
A – 69	۰/۳۴۰	۳/۳۷^{cdef}	۱۵/۲۱	۲۳/۱۹^{bc}	۰/۵۱۱	۱۰/۲۷^{abc}	۳۵/۳^{bcd}	۶۳/۶	۷۲/۱	۷/۲۱	۱۱۳/۳۰^{a}	۳/۴۶۴^{cde}	۱/۴۶
A - 72	۰/۳۵۳	۳/۹۹^{a}	۱۶/۵۷	۲۷/۱۷^{a}	۰/۶۲۸	۱۰/۱۳^{abcde}	۳۵^{cde}	۶۵/۵	۷۲/۸	۷/۳۳	۱۱۶/۳۳^{a}	۳/۸۶۴^{abcd}	۱/۷۳
F	۰/۲۵۰	۳/۴۳	۰/۴۱	۲/۵۲	۱/۵۶	۶/۴۲	۹/۱۶	۰/۲۴	۰/۲	۰/۴۶	۲۳/۳۹	۴/۸۴	۰/۴۱
P	۰/۹۹۷	۰/۰۰۰۴	۰/۹۶۶۶	۰/۰۰۶۹	۰/۱۱۸۹	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۹	۰/۹۴۶۲	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۹۶۷۷
$LSD_{0.05}$	N.S.	۰/۴۶۴۴	N.S.	۳/۲۹۳۱	N.S.	۲/۲۳۲۲	۲/۲۳۲۲	N.S.	N.S.	N.S.	۶/۸۶۶۲	۰/۵۰۵	N.S.
CV	۲۰	۱۳/۱	۲۰	۱۲/۲۷	۱۹/۷	۶	۷/۸	۶/۵	۶/۲۸	۱۰	۱۲/۵۲	۱۳	۲۰

- حروف مشابه در هر ستون نشانه عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.
- تمامی صفات به ازای یک بوته می‌باشند.
- N.S. غیر معنی‌دار

به تیمار شاهد و سایر تیمارها کاهش نشان می‌دهد. بر طبق نتایج جدول ۳ اثر تیمار باکتری روی میانگین طول سنبله، تعداد پنجه در بوته، تعداد سنبله در هر بوته معنی‌دار نمی‌باشد

ب) عملکرد

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

تلقیح سویه‌های مختلف ازتوباکتر کروکوکوم روی وزن هزار دانه (جدول ۳) تأثیر معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشته است. میانگین وزن هزار دانه در تیمارهای ۲۵ و ۷۲ به صورت معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد و سایر تیمارها افزایش نشان می‌دهد. بین تیمار شاهد و سایر تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نمی‌شود.

اثر تیمارهای مختلف باکتری روی درصد پروتئین دانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. درصد پروتئین دانه در گیاه تلقیح شده با سویه‌های ۸، ۲۵، ۵۳ و۶۹ به صورت معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد می‌باشد. بین سایر تیمارها و تیمار شاهد به جز تیمار ۶۸ اختلاف معنی‌داری وجود نداشته و میانگین درصد پروتئین دانه در تیمار ۶۸ به طور معنی‌داری کمتر از تیمار شاهد و سایر تیمارها می‌باشد.

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 معنی‌دار می‌باشد. کل نیتروژن جذب شده در تیمارهای ۸، ۱۳، ۷۲ و ۲۵ افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد نشان می‌دهد. به علاوه جذب نیتروژن در تیمارهای ۸ و ۱۳ نسبت به سایر تیمارها به جز تیمارهای ۲۵و ۷۲ افزایش معنی‌داری یافته است.

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

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

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

د) غلظت عناصر

در جدول ۴ علاوه بر جذب، اختلاف بین غلظت عناصردر گیاه نیزاز نظر آماری مورد بررسی قرار گرفته است. اثر تیمارهای سویه‌های مختلف ازتوباکتر کروکوکوم روی غلظت نیتروژن، فسفر و آهن در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد در حالی که این اثر روی غلظت روی در گیاه در سطوح آماری ۵ و ۱ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. روند مقایسه میانگین‌ها در مورد غلظت عناصر تقریباً مشابه با وضعیت جذب می‌باشد.

بحث

در مجموع می‌توان گفت تلقیح گندم با ازتوباکتر در کنار مصرف کودهای شیمیایی می‌تواند آثار گوناگونی در رشد و

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.41.39.1]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.41.39.1] [Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

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

عنصر →	N		P		Fe		Zn	
↓ تیمار	جذب (mg/p)	غلظت٪	جذب (mg/p)	غلظت٪	جذب (µ g/p)	غلظت(mg/kg)	جذب (µ g/p)	غلظت(mg/kg)
control	۶۶/۸^{d}	۲/ ^{g}	۶/۸۸^{ef}	۰/ ^{ed}	۴۸۹/۵^{de}	ef	۵۸/ ^{e}	۲۲/۶
A - 5	۸۲/۳^{d}	۲/۳۵^{fg}	۸/۱۵^{cd}	۰/ ^{cde}	/۳^{bcd}	bcdef	۹۱/۴ ^{bcde}	۲۶/۱
A - 8	۱۰۶/۵^{a}	۲/۸۹^{a}	۹/۴۴^{bc}	۰/ ^{b}	۶۹۶/۶^{abc}	abcde	۱۲۰/ ^{ab}	۳۲/۶
A - 11	۷۵/۷^{d}	۲/۳۶^{ef}	۸/۳۰^{cd}	۰/ ^{b}	۵۳۳/۱^{cde}	def	۹۲/۴^{bcde}	۲۹/۱
A - 13	۱۰۳/۲^{a}	۲/۳۶^{ef}	۹/۳۱^{bc}	۰/ ^{b}	۵۸۳/۸^{bcde}	ef	۱۱۶/۵^{abc}	۳۱/۶
A - 17	۷۵/۳^{d}	۲/۴۱ ^{def}	۶/۴۶^{f}	۰/ ^{e}	۴۲۸/۰^{e}	f	۷۹/ ^{cd}	۲۶/۵
A - 23	۸۳/۰^{cd}	۲/۵۳^{bcd}	۸/۰۲^{de}	۰/ ^{cde}	۶۳۷/۷^{bcd}	abcde	۱۰۵/۷^{abc}	۳۲/۴
A - 25	۱۰۱/۱^{abc}	۲/ ^{b}	۱۰/۰۶^{ab}	۰/ ^{b}	۸۵۳/۳^{a}	ab	۱۱۳/۹^{abc}	۲۹/۹
A - 26	۷۸/۷^{d}	۲/۳۱^{fg}	۸/۴۶^{cd}	۰/ ^{b}	۷۴۹/۸^{ab}	abc	۸۶/۳^{cde}	۲۵/۴
A - 48	۷۶/۳^{d}	۲/۳۸^{ef}	۷/۷۵^{def}	۰/ ^{bc}	۷۳۶/۹^{ab}	a	۱۰۰/۹^{bcde}	۳۱/۸
A - 53	۷۷/۹^{d}	۲/۴۵^{cdef}	۷/۳۸^{def}	۰/ ^{cde}	۴۵۶/۱^{e}	f	۹۸/۶^{bcd}	۳۱/۰
A - 57	۷۶/۲^{d}	۲/۳۳ ^{fg}	۸/۰۲^{de}	۰/ ^{bc}	/۱^{de}	f	۸۵/۶^{cde}	۲۶/۲
A - 68	۷۱/۱^{d}	۲/۲۱^{g}	۷/۸۳^{de}	۰/ ^{bcd}	۶۸۲/۶^{abc}	abcd	۷۷/۴^{cd}	۲۴/۰
A - 69	۸۴/۴^{bcd}	۲/۴۹^{bcde} eebcde	۷/۸۲^{de}	۰/ ^{cde}	۶۳۹/۵^{bcd}	۹ abcde	۱۰۴/۸^{bcd}	۳۱/۰
A - 72	۱۰۲/۶^{ab}	۲/ ^{bc}	۱۱/۲۶^{a}	۰/ ^{a}	۶۹۷/۱^{abc}	cdef	۱۴۱/۱^{a}	۳۵/۲
F	۴/	۱۱/	۷/۳۰	۶/۴۵	۳/۹۶	۳/۶۳	۲/۷۲	۱/
P	< ۰/۰۰۰۱	< ۰/۰۰۰۱	< ۰/۰۰۰۱	< ۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱<	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۳۷	۰/۱۳۷۱
$LSD_{0.05}$	۱۸/۴۹۶	۰/۱۴۷۲	۱/۳۰۷۷	۰/	۱۷۵/۱۳	۴۲/	۳۲/۷۸۲	N.S.
CV	۱۷/۳۳	۸/۱۳	۱۸/۴	۸/۲۷	۲۰	۱۸/۲	۱۶	۱۷

- 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 کروکووم 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 کشنده 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 همین طور 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

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.41.39.1]

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 نا بارور 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 به‌دست 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. اثرتلقیح 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 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 معنی‌دارگزارش کردند(۲۶). مشابه با درصد پروتئین دانه میانگین وزن خشک اندام هوایی در تیمارهای ۷۲، ۲۵، ۱۳، ۸ و۵ 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

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.41.39.1]

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

	شاخص‌های معنی دار شده								
	روی جذب شده	آهن جذب شده	فسفر جذب شده	نیتروژن جذب شده	درصد پروتئین دانه	وزن هزار دانه	وزن خشک اندام هوایی	شاخص سطح برگ	ارتفاع بوته ۳۵ روزه
سویه های تأثیر گذار به ترتیب اهمیت	۷۲	۲۵	۷۲	۸	۲۵	۲۵	۷۲	۷۲	۱۳
	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						

اکسینی و تثبیت کننده نیتروژن 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 ازتو باکتر در سطوح مختلف کود نیتروژنی 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. همان طور که در قبل اشاره شد مطالعات متعددی در مورد تولید فیتوهورمون‌هایی مانند اکسین توسط ازتوباکتر و اثر آنها روی افزایش 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 نیتروژن ملکولی بوده و مطابق انتظار اثر مثبتی روی شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه، بویژه بر روی میزان جذب نیتروژن توسط گیاه، داشته است که منطقی به نظر می‌رسد. در حالی که سویه‌های ۵ و ۶۹ ازتوباکتر کروکوکوم دارای بالاترین پتانسیل تثبیت نیتروژن 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 نیتروژن روی رشدگیاه 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

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.41.39.1]

می‌باشد. هم‌چنین زاید و همکاران نشان داند 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 پیشتاز 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 درمورد جذب آهن را نبایستی 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 این که 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 ریزسفر 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 به‌دست آمده نشان می‌دهد سویه‌هایی 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 و۷۲ دارای بالاترین پتانسیل تولید هورمون اکسین در بین سایر سویه‌ها بودند و سویه‌هایی مانند سویه‌ای 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 کارآیی 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.

منابع مورد استفاده

۱. چهارمین کتاب سال کشاورزی ایران. *آمار تولیدات و عملکرد سال زراعی ۷۹-۸۰*. انتشارات پارس گل، تهران.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.41.39.1]

۲. خسروی، ه.، ۱۳۸۰. تثبیت ازت توسط میکروارگانیسم‌های 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 ازتوباکتر 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. Frtil. 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., Labratory 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. Shanthy. 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 ana 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 benefical 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 *Azosprillum brasilense* inoculation under graded levels of nitrogen on growth and yeild of wheat. Plant Soil 79: 61-67.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1386.11.41.39.1]