نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۰، شماره ۲ ، تابستان ۱۳۹۱، ص. ۲۸۳-۲۷۷

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 10, No. 2, Summer. 2012, p. 277-283

بررسی سطح سودمندی باکتری‌های ازتوباکتر (*Azotobacter chroococcum*) و آزوسپریلوم (*Azospirillum brasilense*) بر شاخص‌های رشد، عملکرد و سیستم ریشه‌ای گیاه‌زراعی جو رقم ریحان (*Hordeum vulgare* cv Reyhan)

امیر استادی جعفری [۱]- پرویز رضوانی مقدم[۲*]- رضا قربانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۹/۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۲/٤

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن بر روی گیاه جو، شش تیمار کودی به‌صورت کود اوره (۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار در کنار تیمار تلقیح باکتری‌های ازتوباکتر (*Azotobacter chroococcum*) و آزوسپریلوم (*Azospirillum brasilense*) به‌عنوان کود بیولوژیک، با هم مقایسه شدند. آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار و هفت تیمار، در سال ۱۳۸۷در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، انجام شد. نتایج حاصله نشان داد که اختلاف بین تیمارهای مورد بررسی در صفات شاخص سطح برگ، تجمع وزن‌خشک، سرعت رشد محصول، وزن‌خشک ریشه و اندام هوایی و نیز عملکرد دانه گیاه جو معنی‌دار بود. در وزن‌خشک اندام هوایی تفاوت معنی‌داری بین تیمار کود بیولوژیک و تیمارهای ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده نشد. وزن‌خشک ریشه در تیمار کود بیولوژیک با سایر سطوح کودی افزایش معنی‌داری نشان داد و در نسبت وزن‌خشک ریشه به‌اندام هوایی نیز نتیجه مشابهی به‌دست آمد. عملکرد دانه نیز در تیمار کود بیولوژیک و تیمارهای ۸۰ و ۱۰۰ کیلوگرم اختلاف معنی‌داری نشان نداد. مقایسات میانگین انجام شده در سطح ۵ درصد همچنین نشان داد که تفاوت معنی‌داری در سه نمونه‌گیری انتهایی شاخص سطح‌برگ بین تیمار باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و تیمارهای ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار وجود ندارد. به‌نظر می‌رسد باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلوم قادرند در ریشه‌زایی بیش از ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و در سایر شاخص‌ها معادل ۴۰ تا ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، سودمند باشند.

واژه‌های کلیدی: ازتو باکتر، آزوسپریلوم، جو، سیستم ریشه‌ای، کود نیتروژن

مقدمه

در چند دهه اخیر مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی به‌خصوص کودهای نیتروژنی جهت افزایش عملکرد محصولات کشاورزی، مشکلات بسیاری را از جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی بوجود آورده است. به‌نظر می‌رسد بهترین راهکار مدد گرفتن از طبیعت و جایگزینی کودهای بیولوژیک به‌جای کودهای شیمیایی باشد. این کودها علاوه بر تاثیرات مثبتی که بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارند، سبب صرفه‌جویی در مصرف نهاده‌های گران قیمت و انرژی‌های دخیل در تولید آن‌ها می شود. تثبیت نیتروژن توسط میکرو ارگانیزم‌های آزاد زی (از جمله باکتری‌های ازتوباکتر (*Azotobacter chroococcum*)، که قابل تمایز از تثبیت نیتروژن توسط میکروارگانیزم‌های هم‌زیست می‌باشد به‌تثبیت غیرهمزیستی نیتروژن معروف است . گونه‌های آزاد زی باکتری هوازی قادر به‌تثبیت نیتروژن هوا هستند. ازتو باکتر، از جمله باکتری هوازی میله‌ای شکل می باشد که در منطقه ریزوسفر ریشه به‌وفور یافت می‌شود. نقش اصلی آن تثبیت نیتروژن است، اما توانایی گونه‌های مختلف ازتوباکتر در سنتز اکسین، جیبرلین، انواع ویتامین‌های گروه B، آنتی بیوتیک‌های ضد قارچی، به‌اثبات رسیده است (۱۰). همچنین باکتری

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد زراعت، استاد و دانشیار گروه زراعت، دانشکده‌کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: rezvani@um.ac.ir

آزوسپریلوم نیزعلاوه بر تثبیت نیتروژن قابلیت تولید مواد شبه‌اکسینی و جیبرلینی و همچنین مواد حاوی روی و آهن را دارد (۴، ۵و۸).

تحقیقات وسیعی که در زمینه تعیین سودمندی این باکتری‌ها انجام شده است نشان ازاین امر دارد که این باکتری‌ها می‌توانند تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن تثبیت کنند (۵ و۱۰). لیکن میزانی که گیاه‌زراعی از این نیتروژن استفاده می‌کند کمتر ازاین حد است. تحقیقات نشان می‌دهد که گیاه‌زراعی چیزی در حدود ۳۰ تا ۸۰ درصد نیتروژن تثبیت شده توسط این باکتری ها را جذب و اسیمیله کرده است (۱۰). غلات دراین بین از بهترین آمار در جذب نیتروژن برخوردار بوده‌اند.

سیستم ریشه‌ای غلات دراین مهم نقشی تعیین‌کننده دارد. علاوه براین تاثیراین باکتری‌ها بر توسعه سیستم ریشه‌ای مورد تایید قرار گرفته است، به‌طوری‌که باکتری *Azospirillum lipoferum* تا ۱۲۰ درصد وزن‌خشک ریشه گندم را افزایش داد (۱۱) و نیز سیستم ریشه‌ای چاودار در مجاورت این باکتری ۳۰۰ درصد افزایش نشان داد (۵). همچنین باکتری *Azotobacter chroococcum* موجب افزایش ۶۰ درصدی وزن‌خشک ریشه در گندم شد (۱۲). بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای علاوه بر افزایش جذب نیتروژن موجب افزایش جذب آب و سایر مواد مغذی از خاک می‌شود (۹). این امر احتمالا موجب افزایش عملکرد محصول زراعی و افزایش تحمل تنش‌های محیطی از جانب گیاه‌زراعی می‌گردد (۱).

پژوهش‌ها حاکی از آن است که باکتری .*Azospirillum* spp سطح هورمون اکسین را در گندم‌های وحشی به‌میزان ۱۲ درصد افزایش داده است. همچنین علاوه براین عملکرد گندم در واریته‌های کشت شده نسبت به‌تیمار شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد. این تحقیق همبستگی مثبتی را بین میزان اکسین سنتز شده و عملکرد دانه گزارش نمود (۸).

هدف از این تحقیق بررسی تاثیر باکتری‌های ازتوباکتر (*Azotobacter chroococcum*) و آزوسپریلوم (*Azospirillum brasilense*) در مقایسه با سطوح مختلف کود نیتروژنه بر توسعه سیستم ریشه‌ای و شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه جو بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۸۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی، واقع درحومه شهرستان مشهد، با ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا و شرایط آب و هوایی معتدل مایل به‌سرد و خشک و با خاکی دارای pH معادل ۷/۸ و بافت لومی سیلتی(جدول ۱)، در قالب بلوک کامل تصادفی با ۷ تیمار و ۳ تکرار انجام شد. لازم به‌ذکر است، در قطعه زمینی که طرح آزمایشی در آن اجرا شد سابقاً جو کشت می‌گردید. تیمارهای اعمال شده به‌ترتیب عبارت بودند از: ۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در مقیاس هکتار به‌عنوان تیمارهای مقایسه‌ای کودی و تیمار کود بیولوژیک که شامل تلقیح گیاهان با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، متشکل از *Azotobacter chroococcum* و *Azospirillum brasilense* بود. این باکتری‌ها از کود بیولوژیک شرکت مهر آسیا (با میزان 10^7 سلول زنده از هریک از جنس‌های مذکور در هر میلی‌لیتر از کود بیولوژیک) تهیه شد.

تلقیح بذور با کودهای بیولوژیک قبل از کاشت و در شرایط سایه انجام گرفت. بدین منظور، ابتدا میزان بذر مورد نیاز برای هر تیمار انتخاب، سپس بذرها درون کیسه‌های پلاستیکی جداگانه قرار داده شد. سپس هر دو مایه تلقیح هم‌زمان به بذرها اضافه و به‌خوبی مخلوط شد. سپس بذرها درون پاکت‌های جداگانه منتقل شد و جهت خشک‌شدن به‌مدت دو ساعت در همان محل (سایه) قرار گرفتند. کود نیتروژنه نیز به‌صورت کود اوره و در دو نوبت در کرت‌های آزمایشی اعمال شد. برای تلقیح بذور با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، ابتدا بذور برای مدت کوتاهی خیسانده شده سپس در سایه باکتری‌ها با بذرها آغشته و کاملاً مخلوط شدند.

هر کرت آزمایش با ابعاد ۳ متر در ۵ متر در نظر گرفته شد که شامل ۵ ردیف با فواصل یکسان ۰/۵ متر بود. انتهای هر کرت آزمایشی بسته شد تا آب آبیاری به سایر کرت‌ها و به جوی اصلی راه پیدا نکند. بذر مورد استفاده جو زراعی (*Hordeum vulgare*) و از رقم اصلاح شده ریحان بود. لازم به‌ذکر است نیاز این رقم به‌کود نیتروژنه در منابع بین ۹۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار ذکر شده بود که با توجه به‌میزان نیتروژن موجود در خاک مزرعه نیاز آن در شرایط خاص مزرعه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد.

در طول فصل رشد از هنگام ۴ برگی شدن بوته‌ها (سه هفته پس از کشت) تا مرحله خمیری شدن نمونه‌برداری‌های تخریبی انجام گرفت. برای نمونه‌گیری تخریبی هر بار ۲۰ سانتی‌متر یک ردیف با در نظرگرفتن حاشیه، به‌طور تصادفی انتخاب شده و کلیه بوته‌های موجود در آن مورد برداشت قرار می‌گرفت. از بوته‌های برداشت شده در نمونه‌گیری تخریبی، برای اندازه‌گیری صفاتی از جمله وزن‌خشک بوته، وزن‌خشک ریشه و سطح برگ، مورد استفاده قرار گرفت.

بوته‌ها پس از برداشت داخل پاکت کاغذی مخصوص قرار داده شد و توسط دستگاه، اندازه‌گیری سطح برگ، سطح برگ[1] (LA) تعیین گردید. سپس بوته‌های برداشت شده از هر واحد آزمایشی مجدداً در پاکت قرار گرفته و به‌آون منتقل شدند. نمونه‌ها در دمای ۷۰°c به‌مدت ۴۸ ساعت در آون قرار گرفت. سپس نمونه‌های خشک شده، توزین شدند. وزن به‌دست آمده تقسیم بر تعداد بوته‌های موجود

1 - Leaf Area

در هر نمونه‌گیری شده تا میانگین وزن‌خشک تک بوته در هر واحد آزمایشی به‌دست آید. کنترل علف‌های هرز توسط وجین دستی و در نوبت انجام شد. همچنین در پایان فصل رشد گیاه بیماری زنگ زرد به‌گیاهان حمله کرد و تا حدی عملکرد دانه را مورد تاثیر قرار داد.

LA به‌دست آمده از هر واحد آزمایشی تقسیم بر سطح برداشت شده (A= ۲۰cm × ۵۰cm) که معادل ۱۰۰۰cm^2 می‌باشد، گردید تا LAI یا شاخص سطح‌برگ مربوطه حاصل شود. برداشت در تاریخ ۸ تیر ماه ۱۳۸۷جهت کاه و دانه پس از حذف ردیف‌های کناری و نیم متر از ابتدا و نیم متر از انتهای کرت صورت گرفت. برای برداشت ریشه در انتهای فصل رشد و با شروع رسیدگی فیزیولوژیک و بعد از یک روز از اتمام آخرین آبیاری، از هر کرت آزمایشی یک ردیف به‌طور تصادفی انتخاب و از آن کلیه گیاهان موجود در ۲۰ سانتی‌متر از روی ردیف، برداشت شده و از عمق ۵۰ سانتی‌متری گیاهان مورد نظر از خاک بیرون کشیده شدند. سپس اندام هوایی و ریشه‌ها از هم جدا شده و پس از شستن گل و لای ریشه‌ها به آون منتقل شده و پس از ۴۸ ساعت ماندن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، توزین گردیدند.

داده‌های به‌دست آمده جداگانه یادداشت و به‌تفکیک وارد نرم‌افزارهای آماری از جمله SPSS v.13.7 گردیدند و آنالیزهای آماری روی آن‌ها انجام گرفت و مقایسات میانگین توسط آزمون دانکن صورت گرفت. همچنین برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel v.2007 و Sigmaplot v.10 استفاده گردید.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ[1] (LAI)

نتایج آزمایش نشان داد که شاخص سطح برگ، تا پیش از مرحله پنجه‌زنی، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی وجود نداشت. پس ازاین مرحله گیاه‌زراعی با سرعت قابل ملاحظه‌ای به‌افزایش سطح‌برگ و افزایش ماده‌خشک پرداخت. به‌نظر می‌رسد مقدار نیتروژن خاک عامل تعیین‌کننده‌ای در میزان این شاخص می‌باشد. در سه مرحله ساقه‌دهی، ظهور سنبله و مرحله خمیری دانه، این شاخص برای تیمار کودهای بیولوژیک معادل ۴۰ تا ۸۰ کیلوگرم در هکتار بود و سایر سطوح تفاوت معنی‌داری با این تیمار نشان دادند. بااین حال روند کلی برای LAI در تمامی تیمارها یکسان بود و نهایتاً پس از افزایش تا مرحله گلدهی، دچار کاهش شدید شد. مطالعات پیشین نیز نشان از تاثیر معنی‌دار باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلوم بر افزایش LAI در غلات سرد سیر از جمله گندم و جو دارد (۲و۵). این امر احتمالا تحت تاثیر مستقیم میزان نیتروژن موجود در ریزوسفر است(۱۴).

تجمع ماده‌خشک

تجمع ماده‌خشک[2] (TDW)

روند تجمع ماده‌خشک در گیاه در شکل ۱(الف) آمده است. این روند تا زمان گلدهی سیری صعودی دارد، شیب این نمودار تا زمان پنجه‌زنی نسبتاً کند بوده و پس از آن روندی سریع‌تر با شیب تندتری را در پیش گرفت. دلیل این امر افزایش سریع سطح برگ در زمان پنجه‌زنی تا هنگام گلدهی بود. روشن است که بوته‌هایی که کود نیتروژنه مناسب در اختیار داشتند. طبق گزارشات انتظار می‌رفت که با جذب و اسیمیلاسیون نیتروژن به‌میزان بالاتر، روند صعودی مناسب تری را از خود نشان بدهند (۱۴). پس از گلدهی (ظهور سنبله‌ها) ناگهان جهت نمودار تغییرکرده و روندی نزولی به‌خود می‌گیرد. علت این روند نزولی از دست دادن تدریجی برگ‌ها، حذف پنجه‌ها در جریان رقابت با هم و کاهش LAI بود (۱ و ۱۴). این روند برای تیمارهای شاهد، ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم نیتروژن با شیب بسیارکم دنبال می‌شد.

تیمارهای باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و سطوح کودی ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم نیتروژن، دارای نموداری نسبتاً مشابه بوده و با یک شیب متوسط و در یک حد روند کلی را دنبال می‌کردند. تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن نیز با شیبی تندتر از سایر تیمارها و در سطح بالاتری قرار گرفت.

همان‌گونه که در شکل ۱(الف) ملاحظه می‌شود، تیمار کود بیولوژیک در سطح ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم نیتروژن، قرار دارد. محاسبات آماری نیزاین گفته را تایید می‌کند و در سه نمونه‌گیری انتهایی تفاوت معنی‌داری تیمار کود بیولوژیک در سطح ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم نیتروژن مشاهده نگردید. پس احتمالا در مورد تجمع ماده‌خشک باکتری‌های مزبور می‌توانند حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد از نیتروژن مورد نیاز گیاه جو را در زمینه تجمع ماده‌خشک تأمین کنند.

سرعت رشد محصول[3] (CGR)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسات میانگین نشان داد که در سه مرحله پایانی تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی وجود دارد. روند CGR برای تیمارهای سطوح مختلف کودی در شکل ۱(ب) آمده است.

1 - Leaf Area Index

2 - Total Dry weight

3 - Crop Growth Rate

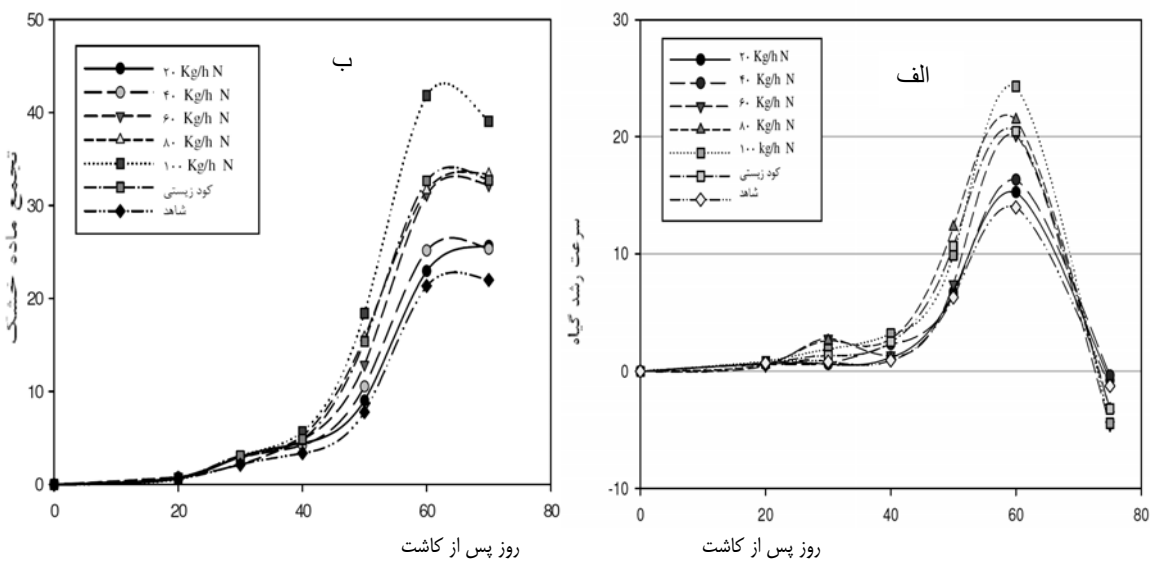
جدول ۱- خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

$CaSO_4$(٪)	$CaCO_3$(٪)	K^+(٪)	N(٪)	P (mg/kg)	چگالی ظاهری g/cm^3	بافت	pH
۲/۸	۱۳/۷۵	۰/۱۴	۰/۰۲۳	۲/۷۵	۱/۴۵	لومی سیلتی	۷/۸

جدول ۲-مقایسات میانگین شاخص سطح برگ در مراحل مختلف رشد گیاه جو

رژیم کودی (kg/ha)	چهار برگی	پنجه زنی	ساقه دهی	ظهور سنبله	دانه خمیری
شاهد	۰/۴۷۳۳ ^{a}	۰/۷۳۳۳^{c}	۱/۶۳۳۳^{c}	۳/۱۶۳۳^{c}	۳/۵۷۰۰^{c}
۲۰	۰/۵۴۰۰ ^{a}	۰/۷۰۳۳^{c}	۱/۴۳۶۷^{c}	۳/۱۴۶۷^{c}	۳/۵۵۰۰^{c}
۴۰	۰/۵۱۶۷ ^{a}	۰/۷۶۰۰^{b}	۱/۴۸۰۰^{c}	۳/۴۳۶۷^{bc}	۳/۹۱۶۷^{b}
۶۰	۰/۴۸۰۰ ^{a}	۰/۷۴۳۳^{b}	۱/۷۹۰۰^{b}	۳/۶۸۳۳^{bc}	۳/۹۴۳۳^{b}
۸۰	۰/۵۲۳۳ ^{a}	۰/۷۶۳۳^{b}	۱/۹۷۶۷^{ab}	۳/۸۵۰۰^{b}	۴/۵۰۰۰^{a}
۱۰۰	۰/۵۳۰۰ ^{a}	۰/۸۳۶۷^{a}	۲/۱۸۶۷^{a}	۴/۰۶۶۷^{a}	۴/۳۶۶۷^{a}
باکتری	۰/۵۱۰۰^{a}	۰/۸۸۶۷^{a}	۱/۸۰۰۰^{b}	۳/۶۷۶۷^{bc}	۳/۹۶۳۳^{b}

* – در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۱- (الف)روند تجمع ماده‌خشک گیاه جو در طول فصل رشد
(ب) روند سرعت رشد گیاه جو در طول فصل رشد

همان‌گونه که مشخص است روند نمودار مربوط به‌تیمار کودهای بیولوژیک مابین دو نمودار از تیمارهای ۶۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن است و با توجه به‌روند نمودار با نمودار مربوط به‌تیمار ۸۰ کیلوگرم نیتروژن تقریباً مشابه است. لذا تصور می‌شود سرعت رشد نسبی برای تیمار کود بیولوژیک حدوداً معادل تیمارهای ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم نیتروژن باشد.

وزن‌خشک اندام هوایی

همان‌گونه که در جدول ۳ دیده می‌شود با افزایش سطوح کودی بر میزان وزن‌خشک اندام هوایی به‌میزان معنی‌داری افزوده شده است؛ تا جایی‌که بیشترین وزن‌خشک مربوط به‌تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بود. همچنین وزن‌خشک حاصل از تیمار کود بیولوژیک تفاوت معنی‌داری با سطوح کودی ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم نشان نداد. این نتیجه

بیانگراین موضوع است که‌این سه تیمار در یک سطح آماری قرار می‌گیرند.

وزن اندام هوایی از آغاز تا هنگام رسیدگی دستخوش تغییرات به‌سزایی شد. لیکن اندازه‌گیری آن در پایان فصل رشد نشانگر برایند همه آن تغییرات می‌باشد. نتایج تحقیقات پیشین حاکی ازاین موضوع است که وزن اندام هوایی در غلاتی چون گندم به شدت تحت تاثیر فاکتورهایی از جمله درجه حرارت، تابش نور، میزان رطوبت قابل دسترس و نهایتاً مواد معدنی خاک قرار می‌گیرد (۱). از جمله مهم‌ترین این مواد به‌نیتروژن می‌توان اشاره کرد که با استناد به‌قانون لیبیگ، عامل تعیین‌کننده در عملکرد شاخ و برگ گیاه‌زراعی می‌باشد (۱۳). تحقیقاتی که پیش ازاین بر روی غلاتی چون گندم انجام شده است نشان می‌دهد میزان و زمان دادن کود نیتروژنه در عملکرد بیولوژیک این گیاه تاثیری معنی‌دار می‌گذارد (۱۳).

نتایج تحقیقات در مورد جو نیز مؤیداین موضوع است (۱۴). همچنین تحقیقات نشان می‌دهد که باکتری .*Azotobacter* spp با تثبیت نیتروژن موجب افزایش معنی داری در وزن‌خشک اندام هوایی گیاه جو شده است (۱۰).

وزن‌خشک ریشه

در این مطالعه تیمار شاهد با ۱۰/۳۷ گرم دارای کمترین میزان وزن ریشه‌ای و تیمار کود بیولوژیک که حاوی باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلوم بود با ۱۶/۶۸ گرم دارای بیشترین وزن ریشه بودند. همچنین تیمارهای ۸۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بودند اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند. مطالعاتی که در زمینه تأثیر باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن بر جنبه‌های مختلف گیاهان زراعی انجام شده است بیانگر این موضوع است که تأثیر آن‌ها بر سیستم ریشه‌ای بیش از تأثیرات آن بر سایر شاخص‌ها می‌باشد (۱۳). محققان ترشح برخی شبه هورمون‌های گیاهی از این باکتری‌ها و ترشح برخی مواد حاوی آهن و روی را علاوه بر تثبیت نیتروژن، عامل اصلی بروز چنین حالتی در گیاهان خانواده غلات ذکر کرده‌اند (۴، ۷، ۱۰و۱۲).

نسبت وزن ریشه به ساقه

نسبت وزن ریشه به ساقه در بین تیمارهای مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری ($p\leq ۰/۰۵$) را دارا بود. همان‌گونه که در جدول ۳ نیز مشخص است تیمارکودی سطح ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در کمترین نسبت وزن ریشه به ساقه و تیمار کودهای بیولوژیک بیشترین میزان را دارا بود. نکته قابل تأمل پایین بودن وزن ریشه به ساقه در سطوح بالای کود نیتروژن بود که البته از نظر آماری تفاوت معنی‌داری را بین سطوح مختلف کود نیتروژن، دارا نبود. احتمالا دلیل این امر طبق گزارش فیتر (۹) می‌تواند تخصیص بیشتر نیتروژن و مواد پرورده به اندام‌های هوایی باشد. در حالی که در تیمارهای سطوح پایین کودی و تیمار کود بیولوژیک به‌گفته کلب و مارتین (۱۱) این روند تا حدی تعدیل شده و گیاه سعی کرده تعادل بیشتری در تولید اندام‌های هوایی و زیرزمینی خود برقرار کند.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری در عملکرد دانه در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده شد. به‌این صورت که تیمار شاهد با عملکرد میانگین ۱/۳۴ تن در هکتار کمترین میزان و تیمار سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن با ۱/۹۸ تن در هکتار در بالاترین سطح قرار گرفت. البته عملکرد متوسط کشت فاریاب رقم کشت شده بیش ازاین گزارش شد. به‌نظر می‌رسد کمبود سایر عناصر معدنی مورد نیاز در خاک، شرایط آب و هوایی متفاوت منطقه، تراکم پایین‌تر بوته نسبت به‌شرایط زراعی که مانع از شکل‌گیری کانوپی مناسب شد؛ بروز بیماری زنگ زرد در پایان فصل و همچنین حمله علف‌هزر پیچک به‌مزرعه و همچنین خطاهای نمونه برداری و اندازه‌گیری، از جمله دلایل این نقصان عملکرد در پایان فصل زراعی بوده باشند که البته این شرایط برای تمامی تیمارهای آزمایشی یکسان بود.

جدول ۳-مقایسات میانگین وزن‌خشک ریشه و اندام هوایی و نسبت آن‌ها در گیاه جو

سطح کودی (kg/ha)	وزن‌خشک اندام هوایی (g/m^2)	وزن‌خشک ریشه (g/m^2)	نسبت وزن ریشه به‌اندام هوایی (٪)	عملکرد دانه (t/ha)
شاهد(بدون کود)	۲۱/۹۹^{c*}	۱۰/۳۷^{c}	۴۷/۲۰^{ab}	۱/۳۷۳^{c}
۲۰	۲۵/۶۷^{c}	۱۲/۱۴^{bc}	۴۷/۳۳^{ab}	۱/۴۵۰^{c}
۴۰	۲۵/۳۳^{c}	۱۱/۸۱^{bc}	۴۶/۶۷^{ab}	۱/۵۰۳^{c}
۶۰	۳۲/۲۰^{b}	۱۲/۸۸^{bc}	۴۰/۰۳^{b}	۱/۵۵۳^{bc}
۸۰	۳۳/۳۶^{b}	۱۲/۷۱^{b}	۳۸/۱۱^{bc}	۱/۷۷۰^{ab}
۱۰۰	۳۹/۰۵^{a}	۱۴/۷۶^{b}	۳۷/۶۷^{bc}	۱/۹۸۳^{a}
کود بیولوژیک	۳۲/۷۱^{b}	۱۶/۶۸^{a}	۵۱/۱۳^{a}	۱/۸۱۷^{b}

* – در هر ستون میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول ٤- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در گیاه جو

	درجه آزادی	وزن‌خشک اندام هوایی	وزن‌خشک ریشه	نسبت وزن ریشه به‌اندام هوایی	عملکرد دانه
تکرار	۲	۴۰/۷۳۸ns	۰/۳۳۳ns	۱۰/۵۳۱ns	۰/۰۴۱ns
تیمار	۶	۱۰۷/۱۵۰**	۲۴/۴۱۳*	۱۳۵/۲۵۲*	۰/۱۵۷**
خطا	۱ ۲	۱۱/۸۴۳	۶/۵۵۶	۳۷/۴۷۶	۰/۰۱۶
ضریب تغییرات(٪)	-	۱۱/۱۸	۱۲/۶۵	۹/۵۱	۷/۷۶

** و * به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد و ns عدم وجود تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهد.

بوت و همکاران (۲) بیان داشتند که باکتری *Azospirillum brasilense* به‌عنوان کود بیولوژیک تاثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه گندم داشت. ایشان تثبیت نیتروژن به روش همیاری را در کنار افزایش ترشح تنظیم‌کننده‌های رشد در ریشه این گیاه، دلیل افزایش عملکرد دانه گندم ذکر کردند. محققان دیگری از جمله مارتینز و همکاران (۱۲)، هارلی و اسمیت (۱۰)، خسروی و راستین (۲) و عمو آقایی و همکاران (۳) در گزارشات خود درستی این نکته را بر روی گندم، جو و ذرت، تایید کردند. لازم به‌ذکر است که تیمار کود بیولوژیک در کنارسطوح کودی ۸۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در یک سطح قرار گرفتند و بین آن‌ها تفاوت معنی‌داری دیده نشد. این نتیجه می تواند دلالت بر سودمندی باکتری‌های قید شده در سطوح ۸۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن بر روی عملکرد دانه‌ای گیاه جو داشته باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به‌آزمایش‌های انجام شده باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن به‌طور معنی‌داری شاخص‌های رشد مرفولوژیکی را افزایش داد. میزان این افزایش در برخی از فاکتورها بیشتر و در برخی دیگر کمتر بود. این نشانگر میزان اثراین باکتری‌ها بر هر کدام از فاکتورهای مورد نظر بود. طبق بررسی انجام شده تاثیراین باکتری‌ها بر روی وزن‌خشک ریشه بیش از سایر فاکتورها بود. در این شاخص و نیز شاخص نسبت وزن ریشه به اندام هوایی تاثیر این باکتری ها بیش از همه سطوح کودی بود. احتمالا می‌توان این استنباط را کرد که عوامل دیگری علاوه بر عنصر نیتروژن براین دو فاکتور تاثیر می‌گذارند. محققان تاثیر افزایش سطح هورمون‌های اکسین و جیبرلین در حضور باکتری‌های یاد شده را مهم‌ترین عامل پس از تثبیت نیتروژن در بهبود سیستم ریشه‌ای دانسته اند.

در کل شاخص‌های اندازه‌گیری شده تاثیر باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از سطح کودی ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار کمتر نبود. در مورد سطح بیشینه سودمندی اظهار نظر قاطعی نمی‌توان کرد. چرا که در ریشه زایی سطح سودمندی این باکتری ها بیش از بالا ترین سطح کود نیتروژن بود. لیکن با در نظرگرفتن اشتراک سطوح سودمندی تمام فاکتورهای اندازه‌گیری شده، می توان این‌گونه اظهار نظر کرد که باکتری‌های ازتوباکتر (*Azotobacter chroococcum*) و آزوسپریلوم (*Azospirillum brasilense*) در حداقل شرایط می توانند معادل عددی بین ۶۰ تا ۸۰ کیلوگرم سودمند واقع شوند.

سپاسگزاری

بودجه اجرای این طرح از طرف معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی و دانشکده کشاورزی تامین شده است، لذا بدینوسیله قدردانی می‌شود. همچنین از آقای دکتر قدسی عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی مشهد و آقای دکتر رجالی عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات آب و خاک تهران سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

۱- امام، ی. و م.ج. ثقه الاسلامی. ۱۳۸۴. عملکرد گیاهان زراعی: فیزیولوژی و فرایندها(ترجمه). چاپ اول، انتشارات دانشگاه شیراز. انتشارات دانشگاه تهران.

۲- خسروی، ه. و ن. صالح راستین. ۱۳۸۴. اثر تلقیح ازتوباکتر کروکوکوم به عنوان یک کود بیولوژیک بر روی رشد و عملکرد گندم. ششمین کنگره علوم خاک‌ایران. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۳- عموآقایی، ر.، الف. مستاجران، و گ. امتیازی. ۱۳۸۰. اثر سویه و غلظت باکتری *آزوسپریلوم برازیلنس* روی رشد و نمو ریشه ارقام گندم. علوم کشاورزی‌ایران. ۲۳: ۲۲۲-۲۱۳.

4- Akbari, Gh., M. Arab, H.A. Alikhani, I. Allahdadi, and M.H. Arzanesh. 2007. Isolation and selection of indigenous *Azospirillum* spp.and the IAA of superior strains effects on wheat roots. Agric. Sci. 3: 523-529.
5- Bashan, Y. 1993. Potential use of *Azospirillum* as biofertilizer. J. Turrialba. 43: 286-291.
6- Bothe, H., H. Korsgen, T. Lehmacher, and B. Hundeshagen. 1992. Differential effects of *Azospirillum*, auxin and combined nitrogen on the growth of the roots of wheat. J. Symbiosis. 13: 167-179.
7- Cakmak, I., K. Y. Guluk, H. Marschner, and R. D. Graham. 1994. Effect of zinc and iron deficiency on phytosiderophore release in wheat genotypes differing in zinc efficiency. Plant Nut. 17: 1-17.
8- Dobbelaere, S., A. Croonenborghs, A. Thys, A. Vande Broek, and J. Vanderleyden. 1999. Phytostimulatory effect of *Azospirillum brasilense* wild type and mutant strains altered in IAA production on wheat. Plant Soil. 212: 155-164.
9- Fitter, A. 2002. Characteristics and Functions of Root Systems. Marcel Dekker, New York
10- Harley, J.L., and S. E. Smith. 2000. *Azotobacter* Symbiosis. Academic Press, London.
11- Kolb, W., and P. Martin.1985. Response of Plant Roots to Inoculation with *Azospirillum brasilense* and to Application of Indole Acetic Acid. Springer, Berlin Heidelberg, New York.
12- Martinez Toledo, M.V., J. Moreno, T. De la Rubia, and J. Gozalezlopez. 1989. Root exudates of *Zea mays* and production of Auxins, Gibberellins and Cytokinins by *Azotobacter chroococcum*. Plant Soil. 110: 149-152.
13- Sonmez, F. 2000. Effect of seed size and nitrogen fertilizer on root and shoot growth in the early development stage of barley. Turkish J. of Agric. Forage. 24: 669-675.
14- Spunarova, M., and L. Zenisceva. 1985. The effect of nitrogen and soil moisture contents on leaf area index, productivity and yield of spring barley. Rostl Vyroba, 31: 417- 424.