بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

گروه زراعت

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی تأثیر بیو پرایمینگ بذر توسط باکتری‌های آزوسپیریلیوم و ازتوباکتر و استفاده از کود آلی (دامی) بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای

مهدی حاجیلو

اساتید راهنما:

دکتر حمید عباس دخت **دکتر محمدرضا عامریان**

اساتید مشاور:

دکتر احمد غلامی **دکتر کاظم خاوازی**

بهمن ۱۳۸۹

شماره :
تاریخ :
ویرایش :

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه آقای مهدی حاجیلودانشجوی کارشناسی ارشد رشته اکولوژیک تحت عنوان : **" بررسی تاثیر بیو پرایمینگ بذر توسط باکتری های آزوسپیریلیوم و ازتوباکتر و استفاده از کود آلی (دامی) بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه ای"** که در تاریخ ۸۹/۱۱/۲۵ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است :

قبول (با درجه : ..... امتیاز .....) ☑ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱ـ عالی (۲۰ ـ ۱۸) ۲ـ بسیار خوب (۱۷/۹۹ ـ ۱۶)

۳ـ خوب (۱۵/۹۹ ـ ۱۴) ۴ـ قابل قبول (۱۳/۹۹ ـ ۱۲)

a) عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ اساتیدراهنما	۱- حمید عباس دخت ۲- محمد رضا عامریان	استادیار استادیار	
۲- اساتید مشاور	۱- احمد غلامی ۲- خاوازی	دانشیار استادیار	
۳ ـ نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	ناصر فرخی	استادیار	
۴ـ استاد ممتحن	منوچهر قلی پور	دانشیار	
۵- استاد ممتحن	حمیدرضا اصغری	استادیار	

تأیید رئیس دانشکده

سرآغاز حمد و سپاس پروردگار کریم که یاری‌بخش این بنده حقیر بود

تقدیم به آنکه جهان در انتظار اوست

تقدیم به آنانکه وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان برایم همه مهر

تقدیم به مهربان‌ترین پدر و تقدیم به صبورترین مادر

آنانکه توانشان رفت تا به توان برسم و مویشان سپید گشت تا رویم سپید بماند

آنان که راستی قامتم را در شکستگی قامتشان بقاء یافت

هر آنکه خلق را سپاس نکرد بی شک رب یگانه را شکر به جای نیاورده است

خالق یگانه را سپاسگذارم که مرا یاری نمود تا تحقیق حاضر را به سرانجام برسانم. بی شک حمایت حق تعالی بود که مهر دوستان را به سوی بنده حقیر معطوف داشت. بنابراین به رسم من لم یشکر المخلوق، لم یشکر الخالق؛ بر خود دانسته تا از مهربانی های یاری دهندگان در انجام این پژوهش، تقدیر و تشکر شایسته را صمیمانه ابراز دارم. بنابراین، در ابتدا از اساتید راهنمای بزرگوارم، آقایان دکتر عباس دخت و دکتر عامریان به خاطر تمام راهنمایی های علمی شان در طی مراحل انجام وتدوین پایان نامه نهایت تشکر و امتنان را دارم. از اساتید مشاور گرانقدرم آقایان دکتر غلامی و دکتر خاوازی به خاطر تمام راهنمایی ها و مساعدت های بی دریغ شان کمال تشکر را دارم. از داوران ارجمند آقایان دکتر اصغری و دکتر قلی پور و همچنین نماینده محترم تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر فرخی که موجبات بهبود پایان نامه را فراهم آوردند، تشکر و قدردانی می نمایم.

از دوستان بسیار خوبم آقایان سلیمی، سلسبیلی، چکنی مقدم، اکبرزاده ، قفقازی، نوری و همچنین از کلیه دوستانی که به نحوی در انجام این پایان نامه مرا یاری کرده اند و ذکر نام یکایک آنها در این مختصر نمی گنجد، تشکر می کنم. در پایان از پدر و مادر بزرگوارم که همواره مرا مورد لطف و محبت خود قرار دادند تشکر و قدردانی می نمایم.

مهدی حاجیلو

بهمن ماه ۱۳۸۹

تعهد نامه

اینجانب محدی حاجیلو دانشجوی دوره کارشناسی ارشد / دکتری رشته مکاترونیک گرایش رباتیک

دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه/ رساله بررسی تاثیر پیرایندهای بینابینی بر روی پارامترهای کنترلی بهینه ربات موازی کابلی با استفاده از روش های هوشمند

و استاد راهنمای دکتر حمیدرضا عباس زاده تحت راهنمائی دکتر حمیدرضا عباس زاده متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه/ رساله توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه/ رساله تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه / رساله تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه/رساله ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه/رساله ، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ :

امضای دانشجو

۸۹/۱۱/۲۵

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه / رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه/ رساله وجود داشته باشد .

بررسی تأثیر بیوپرایمینگ بذر توسط باکتری‌های آزوسپیریلیوم و ازتوباکتر و استفاده از کود دامی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای

چکیده

باکتری‌های محرک رشد از جمله میکروارگانیسم‌های اطراف محیط ریشه گیاهان هستند که سبب بهبود رشد گیاه می‌شوند. این باکتری‌ها قادرند از طریق مکانیزم‌های مختلفی نظیر تثبیت نیتروژن، تولید و ترشح هورمون‌های محرک رشد و یا فراهم نمودن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه اثرات مثبتی را بر رشد گیاهان اعمال نمایند. در این راستا پژوهشی به منظور بررسی اثرات تلقیح باکتری‌های آزوسپیریلیوم و ازتوباکتر و نیز استفاده از مقادیر مختلف کود دامی روی خصوصیات رشد، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت، در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود در سال ۱۳۸۸ به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار اجرا گردید. تیمارهای مورد آزمایش شامل کود گاوی در سه سطح: A_1، A_2 و A_3 به ترتیب ۰ ، ۵ و ۱۰ تن در هکتار، ازتوباکتر شامل دو سطح: بدون تلقیح B_1 و با تلقیح B_2 و آزوسپیریلیوم شامل دو سطح: بدون تلقیح C_1 و با تلقیح C_2 بودند. نتایج این بررسی نشان داد، تلقیح با این باکتری‌ها در طی فصل رشد سبب بهبود رشد گیاه شد و همچنین در برداشت نهایی موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در مقایسه با شاهد شدند. کاربرد باکتری ازتوباکتر بر تمام صفات مورد مطالعه (به استثنای تعداد ردیف دانه در بلال) اثر معنی‌داری داشت. باکتری آزوسپیریلیوم نیز به طور معنی‌داری تمام صفات مورد مطالعه (به استثنای وزن هزار دانه و شاخص برداشت) را تحت تأثیر قرار داد. همچنین نتایج نشان داد که تیمار کود دامی به طور معنی‌داری عملکرد و اجزای عملکرد را تحت تأثیر قرار داد، به طوری که بیشترین عملکرد در سطح ۱۰ تن کود دامی در هکتار حاصل گردید. کاربرد توأم این دو باکتری سبب تشدید اثرات مثبت آنها بر رشد گیاه گردید. در برداشت نهایی کاربرد توأم این دو باکتری افزایش معنی‌داری بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع گیاه، تعداد دانه در ردیف بلال، وزن و طول بلال و قطر چوب بلال نشان داد. اثر متقابل کود دامی و

ازتوباکتر بر صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه، وزن و طول بلال معنی‌دار گردید. اثر متقابل کود دامی و آزوسپیریلیوم تنها بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و وزن بلال معنی‌دار شد. همچنین عملکرد دانـه، عملکرد بیولوژیک و ارتفاع گیـاه به طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات متقابل سه‌گانه تیمارها قرار گرفت. به طور کلی نتایج این تحقیق حاکی از این است که کاربرد کود دامی و این باکتری‌ها، به تنهایی و یا استفاده توأم از آنها در بهبود ویژگی‌های رشدی و عملکرد گیاه ذرت تأثیر مثبتی داشت.

کلمات کلیدی: ذرت، آزوسپیریلیوم، ازتوباکتر، کود دامی، عملکرد

مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- بررسی تأثیر مقادیر مختلف کود دامی و پرایمینگ بذر توسط باکتری‌های آزوسپیریلیوم و ازتوباکتر بر خصوصیات رشد، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ۴-۲ مرداد ۱۳۸۹.

۲- نقش کودهای بیولوژیک بر خصوصیات رشد، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای در اکوسیستم زراعی. اولین همایش ملی کشاورزی پایدار و تولید محصول سالم. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، ۲۰-۱۹ آبان ۱۳۸۹.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه **صفحه**

۱-۱- مقدمه ۱

فصل دوم: کلیات و مرور منابع

۲-۱- اهمیت و نقش ذرت در زندگی بشر ۷
۲-۲- ویژگی‌های گیاه‌شناسی ذرت ۸
۲-۳- موارد مصرف ذرت ۹
۲-۴- تأثیر عوامل محیطی بر رشد ذرت ۱۰
۲-۴-۱- درجه حرارت ۱۰
۲-۴-۲- نور ۱۱
۲-۴-۳- رطوبت ۱۱
۲-۴-۴- باد ۱۱
۲-۵- ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیک ذرت ۱۱
۲-۶- عناصر غذایی مورد نیاز ذرت ۱۴
۲-۷- نیازهای کودی ذرت ۱۵
۲-۷-۱- کودهای نیتروژنی ۱۵
۲-۷-۱-۱- نقش و اهمیت نیتروژن در گیاه ذرت ۱۵
۲-۷-۱-۲- زمان و روش مصرف کودهای نیتروژنه در ذرت ۱۶
۲-۷-۲- کودهای فسفره ۱۷
۲-۷-۳- کودهای پتاسه ۱۷
۲-۸- کود دامی ۱۸
۲-۹- اثرات کودهای دامی بر خصوصیات گیاهان زراعی ۲۱
۲-۱۰- تغذیه تلفیقی گیاه ۲۴
۲-۱۱- پرایمینگ بذر ۲۵
۲-۱۲- انواع پرایمینگ بذر ۲۶
۲-۱۳- بیوپرایمینگ بذر ۲۶
۲-۱۴- تعریف و انواع کودهای زیستی ۲۷
۲-۱۵- تاریخچه و موقعیت کاربرد کودهای زیستی در جهان و ایران ۲۸
۲-۱۶- ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) ۳۰
۲-۱۷- نحوه ارتباط باکتری‌های محرک رشد و گیاه میزبان ۳۱
۲-۱۸- انواع باکتری‌های افزاینده رشد گیاه ۳۴

۲-۱۸-۱- ازتوباکتر ۳۵
۲-۱۸-۲- آزوسپیریلیوم ۳۷
۲-۱۹- سازوکارهای فعالیت باکتری‌های افزاینده رشد گیاه ۳۸
۲-۱۹-۱- تثبیت زیستی نیتروژن ۳۹
۲-۱۹-۲- تولید مواد تنظیم کننده رشد گیاه و مواد زیستی فعال ۴۱
۲-۱۹-۳- سنتز آنزیم‌های تعدیل کننده رشد و توسعه گیاه ۴۲
۲-۱۹-۴- تولید ویتامین‌ها ۴۳
۲-۱۹-۵- افزایش جذب و فراهمی یا محلول کردن عناصر غذایی در محیط خاک اطراف ریشه ۴۴
۲-۱۹-۶- افزایش مقاومت نسبت به تنش‌ها ۴۶
۲-۱۹-۷- کنترل زیستی ۴۷
۲-۲۰- فعالیت از طریق مجموعه‌ای از سازوکارها ۵۱
۲-۲۱- اثرات متقابل با سایر میکروارگانیسم‌ها ۵۲
۲-۲۲- تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد گیاه بر جنبه‌های مختلف رشد و نمو گیاهان زراعی ۵۳
۲-۲۳- تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد گیاه بر جوانه زنی بذر و ظهور گیاهچه ۵۴
۲-۲۴- تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد گیاه بر رشد ریشه و ساقه و ویژگی‌های مرتبط ۵۵
۲-۲۵- تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد گیاه بر عملکرد علوفه، دانه، اجزای آن و ویژگی‌های مرتبط..... ۵۶

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- زمان و محل اجرای آزمایش ۶۰
۳-۲- موقعیت شهرستان شاهرود از نظر جغرافیایی ۶۰
۳-۳- خصوصیات خاک مزرعه مورد آزمایش ۶۰
۳-۴- نوع و قالب طرح آزمایشی ۶۱
۳-۵- مشخصات مواد آزمایشی ۶۲
۳-۶- عملیات اجرایی ۶۲
۳-۶-۱- نقشه کشت ۶۲
۳-۶-۲- عملیات آماده سازی زمین و کاشت بذور ۶۳
۳-۶-۳- عملیات داشت ۶۴
۳-۶-۴- نمونه برداری و اندازه گیری‌ها ۶۴
۳-۶-۵- برداشت نهایی ۶۵
۳-۶-۶- برآورد شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد ۶۵
۳-۶-۷- تجزیه آماری داده‌ها ۶۵

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- نتایج حاصل از تجزیه واریانس ۶۸

۴-۱-۱- عملکرد دانه ۶۸
۴-۱-۲- ارتفاع گیاه ۷۳
۴-۱-۳- تعداد دانه در ردیف بلال ۷۶
۴-۱-۴- وزن بلال ۷۸
۴-۱-۵- طول بلال ۸۱
۴-۱-۶- وزن خشک چوب بلال ۸۴
۴-۱-۷- وزن هزار دانه ۸۵
۴-۱-۸- تعداد ردیف دانه در بلال ۸۷
۴-۱-۹- تعداد دانه در بلال ۸۹
۴-۱-۱۰- قطر چوب بلال ۹۰
۴-۱-۱۱- عملکرد بیولوژیک ۹۲
۴-۱-۱۲- شاخص برداشت ۹۷
۴-۲- بررسی روند آنالیزهای رشد ۹۹
۴-۲-۱- شاخص سطح برگ (LAI) ۹۹
۴-۲-۲- تجمع ماده خشک (TDM) ۱۰۱
۴-۲-۳- سرعت رشد محصول (CGR) ۱۰۳
۴-۲-۴- سرعت رشد نسبی (RGR) ۱۰۶
۴-۲-۵- سرعت جذب خالص (NAR) ۱۰۸
۴-۳- جمع بندی نتایج ۱۱۱
۴-۴- توصیه‌ها و پیشنهادات ۱۱۱
۴-۵- منابع مورد استفاده ۱۱۴

فهرست جداول

جدول ۳-۱- مختصات جغرافیایی محل مورد آزمایش ۶۰
جدول ۳-۲- نتایج تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه ۶۱
جدول ۳-۳- نتایج تجزیه شیمیایی کود دامی مورد استفاده در آزمایش ۶۲
جدول ۴-۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کود دامی، ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر عملکرد دانه ۷۲
جدول۴-۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کود دامی، ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر ارتفاع گیاه ۷۵
جدول۴-۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کود دامی، ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر عملکرد بیولوژیک ۹۷

فهرست اشکال

شکل ۳-۱- نقشه کشت..... ۶۳
شکل ۴-۱- تأثیر کود دامی بر عملکرد دانه..... ۶۹
شکل ۴-۲- تأثیر ازتوباکتر بر عملکرد دانه..... ۷۰
شکل ۴-۳- تأثیر آزوسپیریلیوم بر عملکرد دانه..... ۷۰
شکل ۴-۴- اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر عملکرد دانه..... ۷۱
شکل ۴-۵- اثر متقابل کود دامی و ازتوباکتر بر عملکرد دانه..... ۷۲
شکل ۴-۶-اثر متقابل کود دامی و آزوسپیریلیوم بر عملکرد دانه..... ۷۲
شکل ۴-۷- تأثیر کود دامی بر ارتفاع گیاه ۷۳
شکل ۴-۸- تأثیر ازتوباکتر بر ارتفاع گیاه..... ۷۴
شکل ۴-۹- تأثیر آزوسپیریلیوم بر ارتفاع گیاه..... ۷۴
شکل ۴-۱۰-اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر ارتفاع گیاه ۷۵
شکل ۴-۱۱- تأثیرکود دامی بر تعداد دانه در ردیف بلال..... ۷۶
شکل ۴-۱۲- تأثیر ازتوباکتر بر تعداد دانه در ردیف بلال..... ۷۷
شکل ۴-۱۳- تأثیر آزوسپیریلیوم بر تعداد دانه در ردیف بلال..... ۷۷
شکل ۴-۱۴-اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر تعداد دانه در ردیف بلال..... ۷۷
شکل ۴-۱۵- تأثیر کود دامی بر وزن بلال..... ۷۸
شکل ۴-۱۶- تأثیر ازتوباکتر بر وزن بلال..... ۷۹
شکل ۴-۱۷- تأثیر آزوسپیریلیوم بر وزن بلال..... ۷۹
شکل ۴-۱۸- اثر متقابل کود دامی و ازتوباکتر بر وزن بلال..... ۸۰
شکل ۴-۱۹- اثر متقابل کود دامی و آزوسپیریلیوم بر وزن بلال..... ۸۰
شکل ۴-۲۰- اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر وزن بلال..... ۸۱
شکل ۴-۲۱- تأثیر کود دامی بر طول بلال..... ۸۲

شکل ۴-۲۲- تأثیر ازتوباکتر بر طول بلال..... ۸۲
شکل ۴-۲۳- تأثیر آزوسپیریلیوم بر طول بلال..... ۸۳
شکل ۴-۲۴- اثر متقابل کود دامی و ازتوباکتر بر طول بلال..... ۸۳
شکل ۴-۲۵-اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر طول بلال..... ۸۳
شکل ۴-۲۶- تأثیر کود دامی بر وزن خشک چوب بلال..... ۸۴
شکل ۴-۲۷- تأثیر ازتوباکتر بر وزن خشک چوب بلال ۸۵
شکل ۴-۲۸- تأثیر آزوسپیریلیوم بر وزن خشک چوب بلال..... ۸۵
شکل ۴-۲۹- تأثیر کود دامی بر وزن هزار دانه..... ۸۶
شکل ۴-۳۰- تأثیر ازتوباکتر بر وزن هزار دانه..... ۸۷
شکل ۴-۳۱- تأثیر کود دامی و ازتوباکتر بر وزن هزار دانه..... ۸۷
شکل ۴-۳۲- تأثیر کود دامی بر تعداد ردیف دانه در بلال..... ۸۸
شکل ۴-۳۳- تأثیر آزوسپیریلیوم بر تعداد ردیف دانه در بلال..... ۸۸
شکل ۴-۳۴- تأثیر کود دامی بر تعداد دانه در بلال ۸۹
شکل ۴-۳۵- تأثیر ازتوباکتر بر تعداد دانه در بلال..... ۹۰
شکل ۴-۳۶- تأثیر آزوسپیریلیوم بر تعداد دانه در بلال..... ۹۰
شکل ۴-۳۷- تأثیر کود دامی بر قطر چوب بلال..... ۹۱
شکل ۴-۳۸- تأثیر ازتوباکتر بر قطر چوب بلال ۹۱
شکل ۴-۳۹- تأثیر آزوسپیریلیوم بر قطر چوب بلال..... ۹۲
شکل ۴-۴۰- اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر قطر چوب بلال..... ۹۲
شکل ۴-۴۱- تأثیر کود دامی بر عملکرد بیولوژیک ۹۴
شکل ۴-۴۲-تأثیر ازتوباکتر بر عملکرد بیولوژیک..... ۹۴
شکل ۴-۴۳- تأثیر آزوسپیریلیوم بر عملکرد بیولوژیک ۹۴
شکل ۴-۴۴- اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر عملکرد بیولوژیک..... ۹۵
شکل ۴-۴۵- اثر متقابل کود دامی و ازتوباکتر بر عملکرد بیولوژیک..... ۹۶
شکل ۴-۴۶- اثر متقابل کود دامی و آزوسپیریلیوم بر عملکرد بیولوژیک..... ۹۶
شکل ۴-۴۷- تأثیر کود دامی بر شاخص برداشت..... ۹۸
شکل ۴-۴۸- تأثیر ازتوباکتر بر شاخص برداشت..... ۹۸
شکل۴-۴۹- روند تغییرات شاخص سطح برگ در سطوح مختلف کود دامی..... ۱۰۰
شکل۴-۵۰- روند تغییرات شاخص سطح برگ در شرایط تلقیح ازتوباکتر..... ۱۰۰
شکل۴-۵۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ در شرایط تلقیح آزوسپیریلیوم..... ۱۰۱
شکل۴-۵۲- روند تغییرات تجمع ماده خشک در سطوح مختلف کود دامی..... ۱۰۲
شکل۴-۵۳- روند تغییرات تجمع ماده خشک در شرایط تلقیح ازتوباکتر..... ۱۰۳
شکل۴-۵۴- روند تغییرات تجمع ماده خشک در شرایط تلقیح آزوسپیریلیوم..... ۱۰۳

شکل۴-۵۵- روند تغییرات سرعت رشد محصول در سطوح مختلف کود دامی..... ۱۰۵
شکل۴-۵۶- روند تغییرات سرعت رشد محصول در شرایط تلقیح ازتوباکتر..... ۱۰۵
شکل۴-۵۷- روند تغییرات سرعت رشد محصول در شرایط تلقیح آزوسپیریلیوم..... ۱۰۶
شکل۴-۵۸- روند تغییرات سرعت رشد نسبی در سطوح مختلف کود دامی..... ۱۰۷
شکل۴-۵۹- روند تغییرات سرعت رشد نسبی در شرایط تلقیح ازتوباکتر..... ۱۰۸
شکل۴-۶۰- روند تغییرات سرعت رشد نسبی در شرایط تلقیح آزوسپیریلیوم..... ۱۰۸
شکل۴-۶۱- روند تغییرات سرعت جذب خالص در سطوح مختلف کود دامی..... ۱۱۰
شکل۴-۶۲- روند تغییرات سرعت جذب خالص در شرایط تلقیح ازتوباکتر..... ۱۱۰
شکل۴-۶۳- روند تغییرات سرعت جذب خالص در شرایط تلقیح آزوسپیریلیوم..... ۱۱۰

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

گیاهان برای رشد و تولید محصول نیاز به عناصر غذایی دارند و یکی از محدودیت‌های تحقق عملکرد بالقوه گیاهان زراعی، تأمین عناصر غذایی کافی می‌باشد. بشر از دیرهنگام به فکر جبران کمبود مواد غذایی خاک‌ها با استفاده از کودهای آلی (بقایای گیاهی و فضولات حیوانی) بوده است اما چون تولید مقادیر زیاد این کودها به آسانی ممکن نبود به نسل دوم کودها یعنی کودهای شیمیایی روی آورد. در کشاورزی متداول و پرنهاده این مشکل با مصرف کودهای شیمیایی حل شده است و هر ساله انواع جدیدتر کودهای شیمیایی با فرمولاسیون‌ها و درصد متفاوت عناصر غذایی معرفی می‌شوند. از طرفی افزایش جمعیت جهان سبب افزایش فشار بیشتر بر اراضی کشاورزی به منظور تولید بیشتر محصولات کشاورزی می‌شود. تا حدود سال‌های ۱۹۰۰ در جهان به ویژه در ایالات متحده تقاضا برای افزایش تولیدات کشاورزی به طور عمده با به زیر کشت بردن اراضی جدید تأمین می‌شد ولی این روش دوام چندانی نداشت (خاوازی و همکاران، ۱۳۸۴). لذا ایده افزایش تولید در واحد سطح با کاربرد کودهای شیمیایی بیشتر قوت گرفت که این امر نیز به نوبه خود مشکلات جدیدی را در عرصه محیط زیست ایجاد نمود و بشر را به فکر جایگزین دیگر انداخت. در سی سال اخیر به دلیل آشکار شدن اثرات سوء ناشی از مصرف بی رویه کودهای شیمیایی و قیمت رو به افزایش آنها، استفاده از کودهای زیستی در کشاورزی مطرح شده است (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۳). آسیب‌های زیست محیطی و تغییر بافت شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیک خاک‌ها و مشکلات بهداشتی، دلایل مهم بازگشت به کودهای آلی با تغییراتی در قالب کشاورزی آلی یا ارگانیک بوده است. در گام بعدی، نسل سوم کودها به نام کودهای بیولوژیک پا به عرصه کشاورزی پایدار جهان نهاده و نور امیدی بر مسیر کشاورزی پایدار تاباند.

کشاورزی پایدار نوعی سیستم کشاورزی که در آن با بکار بردن حداقل نهاده‌ها و عوامل مصنوعی و شیمیایی خارجی، بتوان عملکرد مطلوبی بدست آورد به نحوی که حداقل تأثیر سوء بر روی محیط زیست گذاشته شود. به عبارت دیگر، توسعه تکنولوژی و عملیات زراعی که بتواند بقای آب و خاک را تضمین کند و باعث کاهش مصرف سموم شیمیایی گردد (همیلتون، ۱۹۹۰). استانهیل و موس (۱۹۹۰) نیز کشاورزی پایدار را در قالب کشاورزی بیولوژیک مطرح کردند به طوری که علاوه بر کاهش مصرف سموم و کودهای شیمیایی، حتی از هورمون‌ها و مواد شیمیایی در تغذیه نیز باید حداقل استفاده گردد.

یکی از اصول عمده کشاورزی پایدار داشتن حداقل اثرات منفی بر محیط و موجودات زنده می‌باشد و این امر را می‌توان با استفاده از کشاورزی زیستی تحقق بخشید.

کشاورزی زیستی، یک نظام تلفیقی کشاورزی بر پایه اصول بوم شناسی است و کشاورزان زیستی به جای استفاده از کودهای شیمیایی، با عملیاتی که در خاک انجام می‌دهند و با کمک چرخه عناصر غذایی در خاک، باعث حاصلخیزی آن می‌شوند. کشاورزان زیستی تنوع زیستی را در مزارع خود افزایش می‌دهند. آفات و علف‌های هرز از راه تناوب زراعی، روش‌های مکانیکی و استفاده از جمعیت‌های متنوع گیاهان، حشرات و دیگر موجودات، کنترل می‌شوند.

در نظام‌های کشاورزی پایدار کاربرد کودهای زیستی از اهمیت ویژه‌ای در افزایش باروری و حفظ حاصلخیزی پایدار خاک برخوردار است (شارما، ۲۰۰۳). کودهای زیستی، منحصراً به مواد آلی حاصل از کودهای دامی، بقایای گیاهی، کود سبز و غیره اطلاق نمی‌گردد بلکه ریزجانداران باکتریایی و قارچی مفید و مواد حاصل از فعالیت آنها که در ارتباط با تثبیت نیتروژن و یا فراهمی فسفر و سایر عناصر غذایی در خاک نقش دارند را نیز شامل می‌شود (منافی و کلوپر، ۱۹۹۴). بدون تردید کاربرد کودهای زیستی علاوه بر اثرات مثبتی که بر کلیه خصوصیات خاک دارد، از جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی نیز مثمرثمر واقع شده و می‌تواند به عنوان جایگزینی مناسب و مطلوب برای کودهای شیمیایی باشد. کودهای زیستی با استفاده از ظرفیت‌های طبیعی موجودات مفید خاکزی تهیه می‌شوند

و تولید آنها علاوه بر صرفه اقتصادی به لحاظ رعایت جنبه‌های زیست‌محیطی نیز بسیار با ارزش است. کاربرد کودهای زیستی بویژه باکتری‌های افزاینده رشد گیاه[1](PGPR)، مهم‌ترین راهبرد در مدیریت تلفیقی تغذیه گیاهی برای سیستم کشاورزی پایدار با نهاده کافی به صورت تلفیق مصرف کودهای شیمیایی با کاربـرد باکتـری‌های مذکور می‌باشد (شارما، ۲۰۰۳). از میان این باکتری‌ها، آزوسپیریلیوم[2] و ازتوباکتر[3] به دلیل توانایی در برقراری ارتباط با گیاهان مهم زراعی نظیر ذرت، سورگم، گندم و ... توجه بیشتری را به خود جلب کرده‌اند. این باکتری‌ها اغلب در نزدیکی یا حتی در داخل ریشه گیاه یافت می‌شوند و گیاه را در جذب عناصر یاری می‌کنند (صالح راستین، ۱۳۸۰). اکنون روشن است این باکتری‌ها تنها یک نقش ندارند، یعنی علاوه بر کمک به جذب عنصری خاص، باعث جذب سایر عناصر، کاهش بیماری‌ها، بهبود ساختمان خاک و در نتیجه تحریک رشد بیشتر گیاه و افزایش کمی و کیفی محصول می‌شوند. از آنجا که این باکتری‌ها از خاک گرفته شده‌اند، مزایای فراوانی دارند. این گونه کودها منشأ طبیعی دارند و استفاده از آنها رجوع به طبیعت می‌باشد. این کودها آلودگی زیست‌محیطی کودهای شیمیایی را کاهش داده و خود موجب احیا و حفظ محیط زیست می‌شوند. ضمناً با مصرف کودهای زیستی علاوه بر افزایش عملکرد، هزینه تولیـد را کاهش داده و درآمد خالص مزارع بیشتر می‌گردد (شولوبی و همکاران، ۱۹۹۷).

در حال حاضر استفاده از باکتری‌های آزوسپیریلیوم که قابلیت همزیستی با ریشه بسیاری از گیاهان خانواده غلات را دارند، رایج گشته و نقش آنها در انجام فرآیند تثبیت بیولوژیک نیتروژن به روش همیاری در این گیاهان به اثبات رسیده است. اگرچه همیاری این باکتری‌ها با ریشه غلات و برخی دیگر از گرامینه‌ها با پیدایش هیچ ساختار گرهک مانند همراه نیست، ولی پژوهش‌های بسیاری نشان می‌دهد که حضور باکتری در ریزوسفر و اندوریزوسفر گیاهان میزبان آثار معنی‌داری را در بهبود شاخص‌های رشد گیـاه و در نتیجه ازدیـاد محصول پدیـد می‌آورد، به گونـه‌ای که رابطه متقابل

1- Plant Growth Promoting Rhizobacteria
2- Azospirillum
3- Azotobacter

غـلات-آزوسپیریلیوم را از حیث آثار مفید باکتری بر رشد گیاه، قابل قیاس با همزیستی لگوم-ریزوبیوم می‌دانند (باشان و لوانونی، ۱۹۹۰). آزوسپیریلیوم‌ها نه تنها خود نیتروژن را تثبیت می‌کنند بلکه قادرند با تثبیت‌کننده‌های دیگر نظیر ازتوباکتر همیار شوند. یکی از بارزترین و حیاتی‌ترین خصوصیات فیزیولوژیکی گونه‌های ازتوباکتر توانایی تثبیت نیتروژن است. دامنه تثبیت نیتروژن ۱۵-۲ میلی‌گرم نیتروژن تثبیت شده در هر گرم کربن مصرف شده می‌باشد. ازتوباکتر یک باکتری آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن مولکولی است که قادر به تحریک و افزایش رشد گیاهان از طرق مختلفی نظیر تثبیت نیتروژن، سنتز هورمون‌های گیاهی و ویتامین‌های گروه B، توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه و ترشح اسیدهای آلی در ریزوسفر می‌باشد (شارما، ۲۰۰۲). با توجه به اینکه ازتوباکتر یک باکتری هتروتروف می‌باشد، لذا برای تأمین کربن آن نیاز است که خاک دارای مواد آلی بالایی باشد. برای این منظور استفاده توأم ازتوباکتر و کود دامی در خاک‌های ایران که اکثراً دارای مواد آلی کم هستند، توصیه می‌شود.

استفاده از کودهای دامی که حاوی اکثر عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان هستند، جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی می‌باشند، زیرا علاوه بر وجود عناصر پرمصرف، به مقدار کمتری دارای ریزمغذی‌ها می باشند و خاک را در دراز مدت در جهت تعادل پیش خواهند برد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳). همچنین کودهای دامی به علت اینکه به آهستگی آزاد شده و در اختیار گیاه قرار می‌گیرند، آلودگی کمتری را در محیط زیست ایجاد می‌کنند. وجود کود دامی در خاک باعث بهبود ساختمان خاک، افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت، افزایش ماده آلی خاک، افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و بهبود کیفیت و افزایش عملکرد گیاهان می‌شود.

به دلیل اثرات مفید آزوسپیریلیوم و ازتوباکتر و نتایج مثبتی که از تلقیح آنها با گیاهان مختلف خانواده غلات در کشورهای مختلف جهان بدست آمده، بررسی تأثیر این باکتری‌ها در ایران نیز ضرورت دارد. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر استفاده از مقادیر مختلف کود دامی، تلقیح بذور با آزوسپیریلیوم و ازتوباکتر و تلقیح توأم این دو باکتری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای می‌باشد.

فصل دوم

کلیات و مرور منابع

۲-۱- اهمیت و نقش ذرت در زندگی بشر

یکی از مهم‌ترین دلایل توسعه کشت ذرت در دنیا قدرت سازگاری این گیاه با شرایط اقلیمی گوناگون است. در بین غلات، ذرت بیشترین تنوع مصرف‌کننده را داراست، زیرا ذرت افزون بر مصرف به عنوان غذای انسان (کنسرو یا تهیه غذا در خانه) و علوفه برای دام‌ها، در صنایع تخمیر و تهیه فرآورده‌های متنوع صنعتی از جمله اتانول نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. ذرت ماده اولیه تعداد زیادی از صنایع به شمار می‌رود، به طوری که در حال حاضر بیش از ۵۰۰ فرآورده صنعتی از آن تولید می‌شود (وینسر و بالدوین، ۲۰۰۴). به نظر می‌رسد اهمیت ذرت در آینده بیشتر شود زیرا در کشورهای فقیر غذای اصلی است و در کشورهای غنی برای تولید پروتئین حیوانی ضروری است. بنابراین تولید آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، به طوری که از لحاظ سطح زیر کشت و مقدار تولید به ترتیب ۱۴۷۰۲۲/۳ هزار هکتار و ۷۲۱۳۷۹/۴ هزار تن را در سال ۲۰۰۴ به خود اختصاص داده است (آنونیموس، ۲۰۰۵). با توجه به افزایش روزافزون نیاز کشور به ذرت برای تأمین علوفه دام و تغذیه طیور، همچنین فرآورده‌های صنعتی، توسعه زراعت و تولید آن مورد توجه و استقبال دست اندرکاران و تولیدکنندگان محصولات زراعی قرار گرفته و در حال حاضر دستیابی به خودکفایی تولید ذرت هدف طرح محوری ذرت است.

عمده‌ترین کشورهای تولیدکننده ذرت در جهان ایالات متحده، روسیه، رومانی، یوگسلاوی، مجارستان، ایتالیا، آفریقای جنوبی، چین، مکزیک، برزیل، آرژانتین، هند و اندونزی، می‌باشند (کریمی، ۱۳۸۳). در ایران نیز ذرت به عنوان مهم‌ترین منبع انرژی برای تغذیه دام و طیور محسوب می‌شود.

بدین ترتیب و با توجه به نقش مهم ذرت در تولید پروتئین حیوانی مورد نیاز برای تغذیه مطلوب انسان، تولید ذرت به ویژه ذرت دانه‌ای در کشور مورد توجه بیشتری قرار گرفته است.

با توجه به شرایط آب و هوایی مناسب کشور ما برای تولید ذرت، می‌توان در اکثر مناطق کشور نسبت به کاشت این گیاه اقدام نمود. در ایران در سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ از سطح کشت ۲۷۶۲۷۷ هکتار، میزان ۱۹۹۵۲۵۲ تن دانه ذرت با عملکرد ۷۲۲۷/۳۳ کیلوگرم در هکتار تولید گردیده است (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۵).

۲-۲- ویژگی‌های گیاه‌شناسی ذرت

ذرت یکی از گیاهان مهم تیره غلات (Poaceae) با نام انگلیسی (corn) و امریکایی (maize) و نام علمی *Zea mays* L. می‌باشد. این گیاه یکساله، روز کوتاه، تک لپه، یک پایه، دگرگشن و از نظر طول دوره رشد به سه گروه زودرس، متوسطرس و دیررس تقسیم می‌گردد. ذرت دارای تنوع فنوتیپی بسیار زیادی است. ارقامی از ذرت با طول ساقه ۶۰ سانتی‌متر و ۷ برگ تا ارقامی با ارتفاع ۷ متر و ۴۸ برگ وجود دارد. طول برگ‌ها از ۳۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر و عرض آنها از ۴ تا ۱۵ سانتی‌متر متغیر است (راشد محصل و همکاران، ۱۳۷۶). این تنوع فنوتیپی زیاد، امکان گزینش فنوتیپ‌های مورد نظر را با ویژگی‌های مطلوب فراهم می‌سازد. در ارقام تجاری به طور معمول ارتفاع ساقه ۲ تا ۳ متر با ۱۶ تا ۲۳ برگ است (تولنار و ادویر، ۱۹۹۹). گل آذین ذرت از گل آذین گندم و جو به طور کامل متمایز است و اندام‌های نر و ماده در نقاط گوناگون یک بوته قرار گرفته‌اند. اندام نر ذرت که گل تاجی نامیده می‌شود، به صورت خوشه در بخش انتهایی بوته قرار دارد به گونه‌ای که گرده افشانی توسط باد تسهیل می‌گردد. گل آذین ماده ذرت به صورت سنبله است که به آن بلال گفته می‌شود. بلال از جوانه‌های جانبی موجود در زاویه برگ‌ها منشأ می‌گیرد و به طور معمول ۰/۵ تا ۱ متر (به فاصله ۵ تا ۷ برگ) پایین‌تر از گل تاجی قرار دارد (تولنار و ادویر، ۱۹۹۹). بلال دارای محور استوانه‌ای و ضخیمی است. بر روی محور بلال سنبلک‌هایی قرار دارند که هر کدام دارای دو گلچه است. یکی از گلچه‌ها عقیم و دیگری

بارور می‌باشد. هر گلچه دارای برون پوشینه، درون پوشینه و مادگی است، ولی فاقد پرچم می‌باشد. مادگی شامل کلاله، خامه و تخمدان است. خامه رشد طولی زیادی کرده و رشته‌ای به نام ابریشم (Silk) به طول ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر را به وجود می‌آورد که به مجموع این رشته‌ها کاکل می‌گویند. رشته‌های کاکل با کرک‌های ریزی پوشیده شده و مرطوب و چسبناک است و این امر باعث سهولت دریافت دانه گرده به وسیله آنها می‌شود. اگر رشته‌های کاکل با دانه گرده تماس پیدا نکنند، همچنان تا مدتی به رشد طولی خود ادامه می‌دهند، ولی پس از تماس با دانه گرده، رشد طولی آنها متوقف شده، رنگشان از نقره‌ای به قهوه‌ای تبدیل می‌شود و به تدریج خشک می شوند. نزدیک به ۹۵ درصد گل‌های ماده بارور در ذرت از راه دگرگرده افشانی و مابقی از راه خودگرده افشانی تلقیح می‌شوند (پولمن، ۱۹۵۹). میوه ذرت هم مانند گندم و جو، گندمه است. دانه شامل پریکارپ، یک لایه آلرون، آندوسپرم و جنین است. پریکارپ و باقیمانده و پوشش‌های دانه ۵ درصد کل دانه را تشکیل می‌دهد. جنین و اسکوتلوم حدود ۱۰ درصد و آندوسپرم حدود ۸۰ تا ۸۵ درصد وزن دانه را شامل می‌شود. در ذرت نیز مانند سایر غلات برگ‌ها به طور متناوب بر روی ساقه قرار گرفته‌اند. شمار برگ‌ها در هر ساقه و شاخص سطح برگ در ارقام دیررس زیادتر است (تولنار و ادویر، ۱۹۹۹). در هیبریدهای جدید ذرت، برگ‌ها برای مدت طولانی‌تری سبز می‌مانند و عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت زیادتر است. ذرت در اصل گیاهی روزکوتاه کمی است، گرچه ذرت‌هایی که در نواحی معتدله کشت می شوند، حساسیت چندانی به طول روز ندارند، اما ذرت‌های نواحی گرمسیری روزکوتاه هستند و در طول روزهای بیش از ۱۲/۵ ساعت، گلدهی در آنها به تأخیر می‌افتد (فائو، ۲۰۰۰).

۲-۳- موارد مصرف ذرت

۶۰ تا ۷۵ درصد از تولید جهانی ذرت به صورت دانه، علوفه سبز و یا سیلو به مصرف تغذیه دام‌ها می‌رسد. یک کیلوگرم ذرت خشک دارای ۷۸ گرم پروتئین قابل هضم که معادل ۱/۳۴ درصد ارزش غذایی است. ذرت سیلویی دارای قابلیت هضم بالا و عناصر با ارزشی است. یک کیلوگرم از ذرت

سیلویی شامل ۱۸- ۱۵ گرم پروتئین قابل هضم که معـادل ۲۰ تا ۲۵ درصد ارزش غذایی است. علوفـه سبز ذرت فوق‌العـاده سهل‌الهضم بوده و بافت‌های غیر قابل هضم آن کم می‌باشد. ضریب هضم ذرت برای گاو و گوسفند حدود ۲ درصد ذکر شده، در صورتی که برای جو بیشتر از ۵ درصد و برای یولاف حدود ۱۱ درصد گزارش شده است (مطیعی، ۱۳۷۰).

فعالیت‌های زیادی برای استفاده از باقیمانده‌های محصول ذرت انجام شده است. از ساقه ذرت در صنعت کاغذسازی و مقواسازی بهره می‌گیرند. به کار گرفتن فیبر ذرت در صنعت کاغذسازی از نابودی درختان و جنگل‌ها که برای ساخت کاغذ مورد استفاده قرار می‌گیرند، جلوگیری می‌نماید. از چوب بلال در صنعت پلاستیک، ساختن اسید استیک، رنگ و لاستیک‌سازی استفاده می‌شود (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۷۵).

ذرت یکی از ارزان‌ترین و خالص‌ترین منابع تولید مواد آلی جهت مصارف صنعتی در سطح وسیع می‌باشد. در کارخانجات نشاسته سازی از ذرت، نشاسته، خوراک دام، شربت قند و روغن استخراج می‌شود. در صنایع تقطیری از ذرت تخمیر شده الکل بدست می‌آورند. در صنعت روغن‌کشی از جوانه ذرت (جنین) استفاده می‌شود. همانطور که گفته شد به این ترتیب امروزه بیش از ۵۰۰ نوع فرآورده مهم درجه دوم از ذرت بدست می‌آید (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۷۵).

۲-۴- تأثیر عوامل محیطی بر رشد ذرت

۲-۴-۱- درجه حرارت

دمای پایه برای ذرت ۱۰ درجه سانتی‌گراد و نیاز حرارتی ارقام گوناگون آن بین ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ درجه روز متفاوت است. دمای بهینه برای جوانه‌زنی ذرت ۲۰-۱۸ درجه سانتی‌گراد و برای رشد رویشی ۳۷-۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در دماهای بیش از ۳۷ درجه، تلقیح گل‌ها با مشکل روبرو شده و پوکی دانه‌ها زیاد می‌شود. این گیاه بعد از سبز شدن تحمل درجه حرارت حدود صفر را ندارد و از آن صدمه شدید می‌بیند (کریمی، ۱۳۸۳). ذرت‌هایی که در نواحی گرمسیری کشت می‌شوند، در

مقایسه با ذرت‌های نواحی معتدله تعداد برگ بیشتری در هر بوته تولید می‌کنند. دلیل این امر عدم محدودیت دما در طول فصل رشد این ذرت‌هاست (فائو، ۲۰۰۰).

۲-۴-۲- نور

یکی دیگر از عوامل محیطی بسیار مهم و مؤثر برای رشد و نمو و عملکرد مناسب در این گیاه، وجود نور کافی می‌باشد. بنابراین در مناطقی که در دوره رشد ذرت نور کافی وجود نداشته باشد، این گیاه نمی‌تواند رشد طبیعی خود را به طور کامل انجام داده و علاوه بر دیررسی در ارقامی که جهت تولید دانه یا بذر کاشته شده باشند، به علت کاهش فتوسنتز، بذر کافی تولید نمی‌شود و از کیفیت دانه‌ها نیز کاسته خواهد شد (خدابنده، ۱۳۷۷).

۲-۴-۳- رطوبت

ذرت در طول مدت رشد و نمو احتیاج به رطوبت دارد و میزان بارندگی ۶۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر با پراکندگی مناسب در مراحل مختلف رشد، برای آن کافی می‌باشد. میزان آب مورد نیاز برای تولید یک کیلوگرم ماده خشک ذرت در حدود ۴۱۵-۳۱۵ لیتر است. لازم به ذکر است که مقدار کل آب مورد نیاز این گیاه در دوره رشد نسبت به تغییرات درجه حرارت و مراحل مختلف رشد متفاوت بوده و ذرت در زمان تولید گل و گرده افشانی به آب بیشتری نیاز دارد.

۲-۴-۴- باد

حساسیت گیاه ذرت در مقابل باد در مراحل مختلف رشد متفاوت است، بطوریکه در مرحله رشدی اولیه نسبت به باد حساس است. بادهای شدید صدمات زیادی را به بوته‌های ذرت وارد نموده و میزان محصول را کاهش می‌دهد (ایران نژاد و شهبازیان، ۱۳۸۴).

۲-۵- ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیک ذرت

در زراعت ذرت فاصله بذرها روی پشته ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر از هم و فاصله پشته‌ها از هم ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر است. چنانچه عمق کاشت بذر زیاد باشد، محور میان لپه که از رشد طولی میانگره اول

حاصل می‌شود، عمق زیاد کاشت بذر را جبران می‌کند. مواد ذخیره آندوسپرم بذر، رشد گیاهچه را تا مرحله ۴ برگی پشتیبانی می‌کند. از این مرحله به بعد ذرت از حالت هتروتروف به صورت اتوتروف در می‌آید. آغازه تمام برگ‌ها تا مرحله ۸ تا ۱۰ برگی (مرحله آغازش گل تاجی) تشکیل شده است (تولنار و ادویر، ۱۹۹۹). تراکم بوته ذرت در هکتار بسته به ارتفاع بوته‌ها و زودرسی محصول در ذرت دانه‌ای بین ۶۰ تا ۸۰ هزار بوته و در ذرت علوفه‌ای بین ۹۰ تا ۱۴۰ هزار بوته و گاهی تا ۲۰۰ هزار بوته متغیر است. تراکم پذیری هیبریدهای جدید ذرت زیادتر از هیبریدهای قدیمی است. در هیبریدهای زودرس ذرت که تعداد برگ در هر بوته کمتر است، تراکم کاشت بذر را زیادتر در نظر می‌گیرند (فائو، ۲۰۰۰). کارایی استفاده از آب در ذرت بسیار بیشتر از غلات سه کربنه‌ای همچون گندم، جو، برنج و یولاف است و عملکرد دانه آن در واحد سطح بیش از ۲/۵ برابر گندم است (راشد محصل و همکاران، ۱۳۷۶).

در بین گیاهان زراعی چهار کربنه، ذرت بیشترین حساسیت را به تنش‌های محیطی دارد. ذرت به آب فراوان نیاز دارد و نسبت به شوری حساس بوده و شوری‌های زیادتر از ۱/۷ دسی زیمنس بر متر باعث کاهش رشد می‌شوند. نخستین علائم تنش شوری پژمردگی بوته‌هاست، زیرا بوته‌ها از خشکی فیزیولوژیک رنج می‌برند. ذرت نسبت به شرایط غرقاب نیز بسیار حساس است و خاک مزرعه ذرت باید از زهکشی مناسبی برخوردار باشد (فائو، ۲۰۰۰). ذرت به عنوان گیاه زراعی اصلی، در برنامه تناوب زراعی گیاهی مناسب است، ولی کشت پی در پی آن در یک زمین موجب کاهش حاصلخیزی خاک و طغیان آفات می‌شود. به طور معمول، گلدهی در ذرت با هوای گرم مواجه است و خطر وقوع تنش خشکی وجود دارد. برخی پژوهش‌ها نشان داده است که چنانچه میانگین دما در طول فصل رشد ۲۰ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد باشد، عملکرد دانه ذرت بهینه خواهد بود (فائو، ۲۰۰۰). تنش خشکی، کمبود عناصر غذایی، بروز آفات و تراکم بیش از حد بوته‌ها در واحد سطح موجب عقیمی دانه‌ها می‌شوند. به طور معمول بلال‌های بسیار درشت (بیش از ۳۷۰ گرم) از تراکم‌های بسیار کم بوته در واحد سطح بدست می‌آیند.

بذر مورد استفاده ذرت برخلاف گندم، جو و برنج از ارقام هیبرید که سالانه نیاز به تولید بذر دارند، تأمین می‌شود. بنابراین، نمی‌توان از دانه‌های برداشت شده کشت قبلی به عنوان بذر استفاده کرد. بذر ذرت فاقد دوره رکود است. وزن هزار دانه ذرت بین ۱۰۰ تا ۴۰۰ گرم متغیر است. میزان بذر مورد نیاز جهت کاشت ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. یعنی با کاشت میزان اندکی بذر در هکتار عملکرد دانه بسیار زیادی برداشت می‌شود. بخش عمده وزن دانه‌های ذرت در جریان پرشدن دانه‌ها از فتوسنتز برگ های بالای بلال تأمین می‌شود (تولنار و ادویر، ۱۹۹۹). برگ‌های زیر بلال عمدتاً وظیفه تأمین هیدرات کربن مورد نیاز بخش‌های پایینی ساقه و ریشه‌ها را عهده‌دار هستند. بخش اندکی از هیدرات کربن دانه‌های بلال از راه انتقال مجدد از ساقه تأمین می‌شود. این مواد بیشتر در شرایطی مورد استفاده قرار می‌گیرند که سرعت رشد دانه‌ها زیادتر از سرعت فتوسنتز گیاه باشد. در این شرایط بیش از ۵۰ درصد نیتروژن دانه‌های بلال از راه انتقال مجدد تأمین می‌شود (تولنار و ادویر، ۱۹۹۹). از گلدهی به بعد، هیدرات کربن اختصاص یافته به ریشه‌ها کم می‌شود و بنابراین فعالیت ریشه در جذب نیتروژن از خاک نیز کاهش می‌یابد. روند رسیدن دانه ذرت را می‌توان از راه مشاهده خط شیری، که از بالای دانه‌ها به سمت پایین حرکت می‌کند و مرز بین قسمت سخت دانه (بخش بالایی) و قسمت شیری (بخش پایینی) است، دنبال کرد. هنگامی که خط شیری به وسط دانه رسیده باشد (مرحله خمیری شدن دانه) بهترین زمان برای برداشت ذرت سیلویی است. هنگامی که خط شیری به پایین دانه رسید، لایه سیاه تشکیل می شود. تشکیل این لایه، علامت رسیدن فیزیولوژیک دانه است و در این مرحله دانه به حداکثر وزن خشک خود رسیده است. رطوبت دانه در این مرحله نزدیک به ۳۷ درصد می‌باشد (فائو، ۲۰۰۰). در این مرحله غلاف بلال و برگ‌ها زرد شده‌اند، گرچه ساقه ممکن است همچنان سبز باشد. خشک شدن دانه پس از تشکیل لایه سیاه به آرامی ادامه می‌یابد و سرعت از دست رفتن رطوبت تحت تأثیر اختلاف رطوبت دانه‌ها با هوای بوته‌هاست. طول دوره سبز ماندن برگ‌ها در شرایط تراکم بوته زیاد، رطوبت کم و کمبود نیتروژن کاهش می‌یابد (تولنار و ادویر،

۱۹۹۹). استعداد ارقام گوناگون ذرت در تولید پنجه یکسان نیست و امروزه تمایل به کاشت ذرت‌هایی است که پنجه تولید نمی‌کنند (راشد محصل و همکاران، ۱۳۷۶).

۲-۶- عناصر غذایی مورد نیاز ذرت

مقدار عناصر ضروری مختلف مورد نیاز برای رشد مطلوب گیاه متنوع است. نیازهای کمی بستگی به نوع محصول، میزان عملکرد و نوع عنصر دارد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸). برای تعیین وضعیت حاصلخیزی خاک از نظر عناصر غذایی و برای آنکه مقادیر مناسبی از عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد نیاز غذایی گیاه به خاک اضافه شود و در نتیجه کودهای شیمیایی مصرفی حداکثر کارایی را داشته باشند می‌بایستی میزان عکس‌العمل محصول به این عناصر تعیین شده و وضعیت این عناصر در خاک و گیاه ارزیابی گردد. از این طریق است که می‌توان برآورد صحیح از میزان نیاز به کودهای شیمیایی از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم را بدست آورد (حق نیا، ۱۳۷۰). رشد گیاهی مستلزم وجود مقدار کافی و متعادلی از عناصر غذایی در خاک است. تأمین متعادل عناصر مورد نیاز رشد گیاه برای حصول حداکثر کیفیت و کمیت محصول از طریق اضافه کردن مستقیم عناصری که کمبود آنها مشاهده می‌شود انجام می‌گیرد (خواجه پور، ۱۳۷۴).

ماکروالمنت‌های نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و گوگرد مورد نیاز گیاه ذرت می‌باشند. میکروالمنت‌های منگنز، آهن، بر، مس، روی و مولیبدن نیز برای گیاه ضروری می‌باشند. میزان جذب مواد غذایی در ابتدا کند بوده ولی به تدریج که گیاه رشد می‌کند بر میزان جذب مواد افزوده می‌گردد. مواد غذایی در هر مرحله از رشد گیاه باید به اندازه کافی باشد تا رشد گیاه را به بهترین وضع تأمین نماید. غلظت عناصر ضروری برای تعداد بی‌شماری از گیاهان زراعی از جمله ذرت تعیین گردیده است اما مقادیر مطلق این عناصر را بایستی به عنوان یک راهنما در نظر گرفت، چون عوامل ژنتیکی، محیطی و روش‌های نمونه برداری ممکن است به طور قابل ملاحظه‌ای این مقادیر را تغییر دهند (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸). ذرت مانند سایر گیاهان زراعی در دوره رشد به عناصر غذایی مختلف

نیاز دارد که باید به مقدار کافی در اختیار گیاه قرار گیرد. ذرت به مواد آلی احتیاج داشته و در اراضی حاصلخیز رشد ذرت افزایش می‌یابد. اما در این گونه اراضی نیز بدون مصرف کودهای شیمیایی و دامی کشت ذرت امکان پذیر نمی‌باشد (مطیعی، ۱۳۷۰). به هنگام کاربرد کود باید به عواملی مانند درجه حرارت، بارندگی، دفعات آبیاری، تبخیر، طول روز و بالاخره فصل رویشی توجه نمود.

۲-۷- نیازهای کودی ذرت

۲-۷-۱- کودهای نیتروژنی

به طور کلی مقدار مصرف کودهای شیمیایی با توجه به مقدار عناصر موجود در خاک، زودرسی رقم، مقدار آب در اختیار گیاه، شرایط جوی و ... تغییر می‌نماید (خدابنده، ۱۳۷۷). نیتروژن مهم‌ترین ماده غذایی برای ذرت می‌باشد و کمبود آن باعث کاهش رشد گیاهان شده و برگ‌ها به علت کمبود کلروفیل زرد رنگ می‌شوند. جذب نیتروژن به روند رشد و نمو گیاه ذرت و مقدار بارندگی بستگی دارد. ذرت برای رشد اولیه نیاز مبرمی به نیتروژن دارد. نیاز به نیتروژن با تولید ساقه و برگ‌ها و رشد این بخش‌ها بیشتر می‌گردد به طوری که سه هفته قبل از ظهور گل آذین نر و تا ۴-۳ هفته بعد از گلدهی مقدار مورد نیاز نیتروژن به حداکثر می‌رسد. لذا اگر کود به صورت سرک یک ماه پس از سبز شدن به مزرعه داده شود خیلی مؤثر خواهد بود (کریمی، ۱۳۸۳). در زمان تولید و رسیدن دانه، نیتروژن موجود در ساقه‌ها و برگ‌ها جهت ذخیره شدن به دانه‌ها انتقال می‌یابد و باعث افزایش عملکرد دانه ذرت یا علوفه آن جهت سیلو می‌گردد.

۲-۷-۱-۱- نقش و اهمیت نیتروژن در گیاه ذرت

نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی مورد نیاز گیاهان است و در بافت‌های گیاهی نقش حیاتی ایفا می‌کند. مقدار نیتروژن در برگ‌ها و ساقه‌های جوان بیش از بقیه اندام‌های گیاهی است. کمبود نیتروژن در گیاه موجب پریدگی رنگ یا زردی برگ‌ها، کوچکی و کمی رشد در گیاه و بالاخره پایین بودن کمیت و کیفیت محصول می‌گردد. نیتروژن در گیاه متحرک است و در مواقع کمبود به بافت‌های

جوان انتقـال می‌یابد. به همین دلیل کمبود نیتروژن ابتدا در برگ‌های پیرتر آشکار می‌گردد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸؛ خواجه پور، ۱۳۷۴).

نیتروژن یکی از اجزاء تشکیل دهنده پروتئین است. میزان پروتئین با غلظت نیتروژن بافت‌های گیاهی ارتباط مستقیم دارد. نیتروژن موجب شادابی، ایجاد رنگ سبز طبیعی، نمو سریع ساقه و برگ‌ها، بالا بردن میزان محصول و افزایش درصد پروتئین دانه می‌گردد. به علاوه نیتروژن در ساختمان مولکول کلروفیل، اسیدهای نوکلئیک و سایر اجزای پروتوپلاسم سلول گیاه شرکت دارد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸). به همین دلیل بر اثر کمبود نیتروژن در خاک، ابتدا برگ‌های مسن، سبز مایل به زرد و حتی زرد شده و اندام‌های ذرت باریک و رشد طولی ساقه‌ها کم می‌شود. رنگ ساقه‌ها سبز روشن و برگ‌ها به تدریج از نوک به طرف قاعده خشک شده و سرانجام گیاه زودرس، بلال‌ها کوچک با دانه‌های ریز، چروکیده و در نتیجه افت شدید کمی و کیفی حاصل می‌شود. در حالتی که کمبود نیتروژن شدید باشد سوختگی برگ‌ها یا سوختگی بخشی از برگ نیز در مراحل بعدی بوجود می‌آید. رشد ریشه نیز از کمبـود نیتروژن متأثر می‌شود و به ویژه انشعاب آن محدود می‌گردد، ولی نسبت ریشه به ساقه معمولاً افزایش می‌یابد (سالاردینی و مجتهدی، ۱۳۷۸). در ذرت کاهش میزان کود نیتروژن، وزن دانه در بلال، طول بلال، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه و عملکرد دانه را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهد (مونوکس و همکاران، ۲۰۰۵).

۲-۷-۱-۲- زمان و روش مصرف کودهای نیتروژنه در ذرت

با توجه به اینکه ترکیبات نیتروژنه غالباً به فرم‌های محلول در آب می‌باشند و قسمت عمده آنها در اثر آبیاری اولیه به خصوص در خاک‌های شنی شسته و از دسترس ریشه خارج می‌شود، از اینرو مصرف این کودها به صورت تقسیط و در چند نوبت توصیه می‌شود. کود نیتروژنه بهتر است که در دو الی سه مرحله افزوده شود. نصف میزان کود در هنگام کاشت (کود اولیه) و نصف بقیه به عنوان سرک پخش گردد. کود سرک را می‌توان در یک الی دو مرحله اضافه کرد. بهترین موقع مصرف کود سرک

در مرحله ساقه رفتن (ارتفاع گیاه ۴۰-۳۰ سانتی متر) تا قبل از گل دادن (۸-۵ روز قبل از ظهور گل تاجی) می‌باشد، زیرا تأخیر در کود دادن باعث کاهش سودمندی آن می‌گردد (ملکوتی و غیبی، ۱۳۷۹).

به طور کلی انتخاب منبع کودی بسته به شرایط مختلف، فرق می‌کند. اما در مجموع مسئله مهم در انتخاب نوع کود، فراوانی و در دسترس بودن آن در بازار است. به لحاظ فراوان‌تر بودن اوره با ۴۶ درصد نیتروژن و حتی نیترات آمونیوم با ۳۳ درصد نیتروژن، می‌توان از این کودها استفاده کرد.

بهترین روش پخش کودهای نیتروژنه در ذرت استفاده از روش نواری است. این روش در ایالات متحده آمریکا در شرایط مختلف آب و هوایی و خاک به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد و نتایج مطلوبی از آن بدست آمده است. در این روش کودهای نیتروژنه به هنگام کاشت به فاصله ۴-۳ سانتی‌متر از بذر و ۴-۳ سانتی‌متر عمیق‌تر از آن در زیر خاک قرار می‌گیرند. با استفاده از این روش ریشه‌ها رشد بهتری خواهند داشت و عملکرد نیز افزایش خواهد یافت (ملکوتی و بلالی، ۱۳۸۳).

۲-۷-۲- کودهای فسفره

فسفر نیز یکی از عناصری است که ذرت به آن نیاز فراوانی دارد. هرگاه در زمینی که ذرت کاشته می‌شود فسفر به اندازه کافی موجود نباشد، گرده افشانی به تعویق افتاده و به طور ناقص انجام شده، رشد گیاه و نیز رسیدن میوه‌ها به تأخیر می‌افتد و دانه بندی خصوصاً در قسمت بالای بلال به خوبی انجام نمی‌شود. در اثر کمبود فسفر در ذرت رنگ برگ‌ها سبز تیره و گاهی ارغوانی شده، ساقه‌ها نیز به رنگ ارغوانی درآمده و بوته‌ها کوتاه می‌مانند. مقدار فسفر مورد نیاز گیاه به بافت خاک، مقدار مواد موجود در خاک و رقم بستگی دارد.

۲-۷-۳- کودهای پتاسه

وجود پتاسیم مانند سایر عناصر برای رشد و نمو ذرت ضروری است. جذب این عنصر زودتر و سریع‌تر از فسفر و از زمان تولید جوانه شروع شده و تا حدود سه هفته بعد از گل دادن، ادامه می‌یابد. در صورتی که این عنصر به مقدار کافی در اختیار ذرت نباشد، رشد گیاه کاهش یافته، رنگ برگ‌ها سبز مایل به زرد شده، حاشیه و نوک برگ‌ها خشک گردیده و در برگ‌ها علائم سوختگی ظاهر می‌شود.

در صورتی که کمبود پتاسیم شدید باشد برگ‌ها به شدت آسیب دیده، گیاه کوچک مانده و تنها بخش‌های کوچکی از برگ‌ها به رنگ سبز باقی می‌مانند. همچنین در قسمت انتهای بلال دانه بندی به خوبی انجام نمی‌شود. مقاومت گیاه نیز در برابر بیماری‌ها کم می‌شود و نشاسته و قند کافی در دانه‌ها بوجود نخواهد آمد و در نهایت از کیفیت محصول کاسته می‌شود.

به منظور پایداری هر چه بیشتر یک سیستم کشاورزی لازم است تلفات ناشی از شستشو، فرسایش، دنیتریفیکاسیون و تبخیر آمونیاکی به حداقل ممکن رسیده و در عین حال از طریق تثبیت زیستی نیتروژن، استفاده کارآمد از عناصر غذایی موجود در خاک و در صورت امکان بازگرداندن عناصر غذایی، حاصلخیزی زمین‌های زراعی را هر چه بیشتر افزایش داد. به همین منظور استفاده از کودهای دامی که یکی از جنبه‌های مهم در چرخش عناصر غذایی محسوب می‌شود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

۲-۸- کود دامی

از زمان‌های گذشته، مصرف کودهای دامی در فعالیت‌های کشاورزی جایگاه خاصی داشته و امروزه نیز می‌تواند نقش مؤثر خود را در قالب کشاورزی پایدار و ارگانیک ایفا نماید. کود دامی از مهم‌ترین منابع انرژی و مواد غذایی اکوسیستم خاک به شمار می‌رود. کاربرد کود دامی به منظور بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک مرسوم بوده و برآیند تأثیرات کود دامی بر خصوصیات خاک باعث افزایش عملکرد محصول می‌شود (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۶؛ کوپر، ۲۰۰۰). کود دامی بر میزان رطوبت و درجه حرارت خاک نیز مؤثر است. کود دامی علاوه بر تأثیر بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، از طریق افزایش رطوبت خاک موجب بهبود رشد گیاه می‌شود. اضافه کردن کود دامی به خاک باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و همچنین افزایش مقدار آب قابل دسترس برای گیاه می‌شود (کواروبیس و همکاران، ۱۹۹۵).

کاربرد کود دامی در خاک باعث پوک شدن خاک، افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت و دانه بندی خاک شده و ویژگی‌های فیزیکی آن را بهبود می‌بخشد. ضمن اینکه با افزایش قدرت حاصلخیزی خاک، رشد محصول را افزایش و در نتیجه کارآیی مصرف آب را ارتقاء می‌دهد (یوسفی و دانشیان، ۱۳۸۹).

کود دامی یکی از منابع ارزشمند در مزارع زیستی به شمار می‌آید. دام‌ها قادر به جذب تمام مواد غذایی علوفه نیستند و معمولاً ۷۵ تا ۹۰ درصد عناصر غذایی که در علوفه و غذای دام وجود دارد از طریق فضولات دفع می‌شود (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۴). کود دامی علاوه بر افزایش عناصر غذایی خاک، مواد آلی آن را نیز افزایش داده و سلامت خاک را بهبود می‌بخشد.

کود دامی می‌تواند تمام و یا بخش اعظم نیتروژن مورد نیاز گیاه و همچنین فسفر، پتاسیم و عناصر ریزمغذی را نیز تأمین نماید و علاوه بر تأمین نیاز تغذیه‌ای گیاه منجر به بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌شود (پرات، ۱۹۸۲).

کودهای دامی که حاوی اکثر عناصر مورد نیاز گیاهان هستند، جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی می‌باشند، زیرا علاوه بر وجود عناصر پرمصرف، به مقدار کمتری دارای ریزمغذی‌ها می‌باشند و خاک را در دراز مدت در جهت تعادل پیش خواهند برد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳). همچنین کودهای دامی به علت اینکه به آهستگی آزاد شده و در اختیار گیاه قرار می‌گیرند، آلودگی کمتری را در محیط زیست ایجاد می‌کنند. آزادسازی تدریجی نیتروژن قابل دسترس، در شرایط استفاده از کود دامی می‌تواند بیشتر با نیاز گیاه همزمان باشد.

مواد غذایی موجود در کودهای دامی بلافاصله بعد از مصرف برای گیاه قابل‌دسترس نمی‌باشند و بایستی توسط تجزیه میکروبی به شکل قابل‌دسترس تبدیل شوند. بسیاری از محققان (لامپکین، ۱۹۹۰؛ کوپر، ۲۰۰۰؛ کوچکی و همکاران، ۱۳۸۴) معتقدند که حدود ۵۰ درصد از عناصر غذایی موجود در کودهای دامی، از سال دوم به بعد برای گیاه قابل‌دسترس می‌شوند. آنها این ویژگی کودهای دامی را به زمان لازم جهت انجام فعالیت میکروارگانیسم‌ها و واکنش‌های بیولوژیکی درون خاک نسبت داده‌اند. پیکوک و همکاران (۲۰۰۱) دریافتند که با افزایش کربن آلی خاک، زیست‌تودهٔ میکروبی خاک

هم تقریباً به همان شدت افزایش می‌یابد. استفاده از کود دامی علاوه بر افزایش ماده آلی خاک، باعث افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها شده و بدین ترتیب ساختمان خاک بهبود قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. مصدقی و همکاران (۲۰۰۰) اعلام کردند که مصرف ۵ تا ۱۰ تن کود دامی در هکتار می‌تواند اثرات منفی ناشی از رفت و آمد ماشین آلات بر روی خاک را خنثی کند.

خاک‌هایی که کود حیوانی دریافت کردند، نسبت به خاک‌هایی که با کودهای غیرآلی تغذیه شدند، میکروارگانیسم‌های خاکزی، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و نیترات بیشتری داشتند. کاربرد بیش از اندازه این کودها می‌تواند منجر به تجمع املاح اضافی در خاک شود (عزیز و همکاران، ۲۰۱۰).

اکثر خاک‌های زراعی کشور از نظر ماده آلی فقیر می‌باشند. استفاده از مواد آلی راهکاری مؤثر در جهت افزایش عملکرد محصول می‌باشد (توحیدلو، ۱۳۸۰). کودهای آلی حیوانی به دلایل مختلفی مفید هستند. بخش اعظم اثرات مطلوب ناشی از کودهای دامی، به دلیل تأمین نیتروژن در اوایل و در سرتاسر فصل رشد است که به صورت نیترات در اثر تجزیه اوره، ترکیبات آمینی و پروتئین‌های حیوانی و گیاهی آزاد می‌شود (فتح‌اله طالقانی و همکاران، ۱۳۸۵).

در کشورهای حوضه مدیترانه، کودهای گوسفندی به طور سنتی به عنوان منبع کود آلی استفاده می‌شوند. بازچرخش این نوع کودهای آلی به خاک‌های با ماده آلی کم، که در این منطقه سطح وسیعی را اشغال کرده‌اند، می‌تواند ضمن بهبود ساختار خاک موجب باروری دراز مدت خاک و نیز جایگزینی برای کودهای غیرآلی در تولید روزافزون سبزیجات ارگانیک باشد (پاولو و همکاران، ۲۰۰۷). وجود کود دامی در خاک ضمن تأمین مقادیری از عناصر غذایی، باعث بهبود ساختمان خاک، افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت، امکان آماده سازی بستر مناسب‌تر برای رشد ریشه و افزایش رشد سبزینگی و بهبود کیفیت و افزایش عملکرد گیاهان می‌شود (امید بیگی، ۱۳۷۸). لائور (۱۹۷۵) اظهار داشته است که می‌توان در زمین‌های زراعی با مصرف کودهای دامی حدود ۴۲ درصد نیتروژن، ۲۹ درصد فسفر و ۵۷ درصد پتاسیم را تأمین کرد. گزارش شده است که اگر هر سال کود دامی در مزرعه مصرف گردد، سالانه ۷۵ درصد کل نیتروژن آن برای گیاه قابل استفاده خواهد بود. ما و همکاران

(۱۹۹۹) نیز اعلام نمودند که ۳۰ تا ۶۰ درصد نیتروژن کل کود دامی توسط ذرت جذب می‌شود. میزان تأثیر کود دامی بر عملکرد محصول و غلظت فسفر در گیاه، در حضور فسفر باقی‌مانده از سال قبل بسیار بیشتر گزارش شده است. کاربرد کود دامی، تأثیر فسفر باقی‌مانده از سال قبل بر عملکرد محصول را تشدید کرده و منجر به افزایش غلظت فسفر در گیاه می‌گردد (شهیدی و فروزان، ۱۳۷۶). البته باید توجه داشت که قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی در کود دامی بستگی به نوع حیوان و اندازهٔ آن، مدیریت نگهداری و پرورش، نوع غذای دام و روش‌های ذخیره، حمل و پخش کود دامی و میزان کاربرد این نوع کود دارد. نوع گونه گیاهی، تیپ خاک، مدیریت کشت محصول مانند کود دهی، آبیاری، برداشت و آب و هوا نیز از عوامل مؤثر در این زمینه هستند (حسن زاده قورت تپه، ۲۰۰۰). از آنجا که طیور با دانه‌های غنی از پروتئین و چربی و نشخوارکنندگان با علوفه تغذیه می‌شوند و نیز وجود بسترهای متفاوت نگهداری آنها و وجود میکروب‌های موجود در شکمبه و معده نشخوارکنندگان، که به غنی‌تر شدن کود حاصل از آنها می‌انجامد، بروز پاسخ‌های متفاوتی در نتیجه مصرف انواع کودهای دامی در گیاهان انتظار می‌رود (عزیز و همکاران، ۲۰۱۰). مقایسه خصوصیات شیمیایی کود گاوی و گوسفندی حاکی از این است که کود گوسفندی دارای نیتروژن، فسفر و عناصر معدنی بیشتری نسبت به کود گاوی می‌باشد، درحالی‌که مقدار سلولز، همی‌سلولز و نسبت کربن به نیتروژن در کودهای گاوی بیشتر است. گزارش شده است که به طور متوسط ۸۰ درصد نیتروژن، ۸۰ درصد فسفر، ۹۰ درصد پتاسیم و ۵۰ درصد ماده آلی موجود در غذای مصرف شده توسط دام، به صورت کود دفع می‌شود. قسمت اعظم ترکیبات کودها به فرم آلی است و سرعت و نحوه تجزیه آنها نیز متفاوت می‌باشد (سینگ و همکاران، ۱۹۸۷).

۲-۹- اثرات کودهای دامی بر خصوصیات گیاهان زراعی

کود دامی با تأمین بخشی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و افزایش ظرفیت جذب و نگهداری آب و عناصر غذایی موجب بهبود رشد رویشی گیاه می‌گردد (گلیسمن، ۲۰۰۶). کاربرد مداوم کود

گاوی به مدت ۵ سال در یک زمین کشاورزی با حاصلخیزی پایین در مقایسه با یکی دیگر از زمین‌های تیمار شده با همان مقدار از کود معدنی نیتروژنه، باعث بهبود نیتروژن خاک و افزایش عرضه فسفر و عملکرد ذرت شد (مائو و همکاران، ۲۰۰۸). مجیدیان و همکاران (۱۳۸۷) نیز افزایش عملکرد دانه ذرت را در اثر کاربرد ۱۵ تن کود دامی در هکتار در یک سیستم ارگانیک گزارش کردند. حیدری و رمرودی (۱۳۸۹) گزارش کردند که ۲۰ تن کود دامی باعث افزایش عملکرد بیولوژیک عدس از ۱۲۸۸/۹ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد به ۱۶۹۵/۹ کیلوگرم در هکتار در تیمار ۲۰ تن کود دامی شد. همچنین حسن زاده قورت تپه و قلاوند (۱۳۸۴) گزارش کردند که در سیستم تغذیه تلفیقی کودهای ارگانیک و شیمیایی، افزایش کود دامی از ۶ به ۳۰ تن در هکتار باعث افزایش عملکرد دانه آفتابگردان شد.

در آزمایشی بر روی کدو تنبل (*Cucurbita maxima* L.) کاربرد کودهای حاصل از گاو، بز و مرغ باعث افزایش زیست توده محصول نسبت به تیمارهای شاهد و کاربرد سطح کم کود شیمیایی شد، ضمن اینکه با افزایش سطوح کودهای دامی، عملکرد ماده خشک نیز به صورت خطی افزایش پیدا کرد. همچنین کاربرد کودهای مذکور در نوعی تاجریزی (*Solanum retroflexum*. Dun) که یک نوع سبزی مهم در آفریقای جنوبی محسوب می‌شود، باعث افزایش زیست توده محصول نسبت به کاربرد کودهای شیمیایی شد (عزیز و همکاران، ۲۰۱۰).

بررسی تأثیر سطوح مختلف کود دامی برروی گیاه دارویی زنیان نشان داد که بیشترین میزان تجمع ماده خشک در تیمار ۳۰ تن در هکتار کود دامی بدست آمد، همچنین بیشترین شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول در تیمار ۲۰ تن در هکتار کود دامی حاصل شد (میر هاشمی و همکاران، ۱۳۸۸). نتایج آزمایش فلاحی (۱۳۸۸) نشان داد که در بین انواع کودهای آلی و بیولوژیک، کود گاوی باعث تولید بیشترین عملکرد گل و بذر گیاه دارویی بابونه شد.

هوشیارفرد و قرنچیکی (۱۳۸۸)، اثر سه نوع کود دامی شامل گاوی، گوسفندی و مرغی و چهار مقدار آنها شامل صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار را بر روی گیاه پنبه ارزیابی و مشاهده کردند که

کود مرغی به مقدار ۲۰ تن و کود گاوی به مقدار ۱۰ تن در هکتار به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر عملکرد و اجزای عملکرد پنبه داشتند، همچنین در بین تیمارهای کودی، بیشترین درصد سبزشدگی و کمترین مرگ گیاهچه در تیمار کود مرغی به مقدار ۲۰ تن در هکتار بود. در یک آزمایش مزرعه‌ای ۶ ساله با تناوب سویا و گندم، کاربرد مداوم کودهای دامی با افزودن کود فسفر و بدون افزودن کود فسفر بررسی شد. نتایج حاصله نشان داد که عملکرد گندم و سویا و جذب فسفر در اثر افزودن کود دامی و کود شیمیایی فسفر به شکل معنی‌داری افزایش یافت و در شرایط مشابه از نظر درصد فسفر در هرکدام از کودها، عملکرد گیاهان مذکور در شرایط کاربرد فسفر آلی حاصل از کود دامی، نسبت به کاربرد فسفر شیمیایی بیشتر بود (دامودار و همکاران، ۲۰۰۰).

طبق نتایج تحقیق پورموسوی (۱۳۸۸) با افزایش مقدار کود دامی در سویا عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد به طوری که حداکثر عملکرد دانه با مصرف ۴۵ تن کود دامی در هکتار به میزان ۲۲۴۳ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. همچنین آنها گزارش کردند که کود دامی باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد گره، طول میانگره، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته شد. وزن هزار دانه نیز با افزایش میزان کود دامی افزایش یافت و از ۱۳۵/۴۲ گرم در تیمار شاهد کود دامی به ۱۵۵/۷۲ گرم در تیمار ۴۵ تن کود دامی در هکتار رسید. در بین منابع مختلف کود آلی (کود حیوانی، کود سبز و کاه و کلش گندم) مورد استفاده، کود دامی بیشترین عملکرد سویا را در مقایسه با سایر منابع کود آلی داشت (علیزاده و همکاران، ۲۰۰۵).

در اراضی زراعی ایران، استفاده از کود دامی به تنهایی، به علت اثرات باقی‌مانده نظام کود دهی متداول یا به عبارت دیگر وضعیت بیولوژی نامطلوب، ممکن است مشکلاتی از جمله کاهش عملکرد را در پی داشته باشد. بنابراین لازم است چندین سال از تلفیق نظام تغذیه ارگانیک و کود دهی متداول استفاده شود تا اینکه شرایط لازم برای کشاورزی ارگانیک فراهم گردد (شیرانی و همکاران، ۲۰۰۲).

۲-۱۰- تغذیه تلفیقی گیاه

تغذیه تلفیقی گیـاه راهبرد حفاظت حاصلخیزی خاک و تضمین تولیـد پایدار محصولات زراعی می‌باشد. مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد بی‌رویه کودهای شیمیایی، انرژی و هزینه‌های تولید و مصرف آنها و اثرات سوئی که بر چرخه‌های زیستی و خودپایداری بوم نظام‌های زراعی دارند از یک سو و مسئله تأمین غذای کافی با کیفیت مناسب برای جمعیت روزافزون جهان از سویی دیگر، تجدید نظر در روش‌های افـزایش تولیـد محصولات زراعی را ضروری ساخته است و از علل رویکرد به کاربـرد کودهـای زیستی می‌باشند (کنایان، ۲۰۰۲). از اینرو کاربرد فرآورده‌های زیستی برای تغذیه گیاهان زراعی به عنوان راهکاری بنیادین مدنظر قرار گرفته است (قلاوند و همکاران، ۱۳۸۵). به طوری که در این اواخر، سازمان کشاورزی و خواروبار جهانی (FAO) توسعه سیستم‌های مدیریت تلفیقی تغذیه گیاهی را برای گسترش کشاورزی پایدار در کشورهای جهان سوم در برنامه خویش قرار داده است. بدین ترتیب که همایش جهانی اهمیت غذا و نقش حاصلخیزی پایدار خاک در آن (رم ۲۸-۲۶ مارس ۲۰۰۳) افزایش کمی و کیفی مواد غذایی در واحد سطح از طریق تلفیق روش‌های تغذیه معدنی و آلی گیاهان زراعی را به عنوان چالش اساسی برای تحقق امنیت جهانی غذا مورد بحث و بررسی قرار داده است (الکساندراتس، ۲۰۰۳). در حال حاضر برای توسعه کشاورزی در طی دوره گذار از کشاورزی متداول به کشاورزی پایدار با سطح عملکرد بالا و با نهاده کودی کافی به صورت تلفیق مصرف کودهای شیمیایی و آلی به ویژه کودهای زیستی به عنوان راهکاری جهت تولید محصول و حفظ عملکردها در سطح قابل قبول مطرح گردیده است (شارما، ۲۰۰۳).

یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های تحقق عملکرد بالقوه گیاهان زراعی و دستیابی به عملکردهای بالا تأمین عناصر غذایی کافی است که در میان عناصر غذایی، تأمین نیتروژن از نقش با اهمیتی برخوردار است. قیمت بالای کودهای نیتروژن، قدرت خرید پایین کشاورزان خرده پا و اثرات نامطلوب زیست محیطی این قبیل کودها، متخصصان کشاورزی را به جستجو برای راهبردهای جایگزین وادار ساخته است. با چنین نگرشی استفاده از ریزجانداران خاکزی که قادر به تثبیت نیتروژن اتمسفر، حل

کردن فسفر خاک و تحریک رشد گیاه از طریق تولید مواد تحریک‌کننده رشد گیاهی به عنوان کود یا مواد حاصلخیزکننده هستند، تحت عنوان کودهای زیستی شناخته شده‌اند (قلاوند و همکاران، ۱۳۸۵).

۲-۱۱- پرایمینگ بذر

از حدود چهل سال پیش پرایمینگ بذور با مواد مختلف شروع شده و این تیمار بذر برای افزایش سرعت و یکنواختی سبز شدن در تعدادی از سبزیجات، گل‌ها و برخی گیاهان زراعی مورد استفاده قرار گرفته است. این تمهیدات به عنوان عاملی سودمند در کیفیت بذر، جوانه‌زنی، استقرار محصول، رشد و عملکرد مطرح می‌باشد. این تیمارها و مشخصات آن‌ها توسط برخی محققین مورد بررسی قرار گرفته است (کان، ۱۹۹۲؛ اشرف و فولدا، ۲۰۰۶). پرایمینگ بذور دوره کاشت تا استقرار گیاهچه را کوتاه کرده و صدمات ناشی از قرارگیری بذر در شرایط نامساعد محیطی را کاهش می‌دهد (کان و همکاران، ۱۹۷۸). پرایمینگ بذر باعث از بین رفتن موانع جوانه‌زنی شده و جوانه‌زنی بذر سریع‌تر و همزمان صورت می‌گیرد (هیدکر و گیبینز، ۱۹۷۸).

مدت زمان مطلوب پرایمینگ به گونه گیاهی، نوع بذر، ذخایر درونی بذر و نوع محلول پرایمینگ بستگی دارد. بیلی و بلک (۱۹۹۴) با آزمایشی بر روی ذرت، گندم، جو و سورگوم دریافتند که روش پرایمینگ و مدت زمان انجام پرایمینگ دارای اثرات متفاوتی بر بذور می‌باشند. هریس و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که مدت زمان ۱۶ تا ۱۸ ساعت، مدت زمان مطلوب برای پرایمینگ بذور ذرت بوده که عملکرد دانه را در سطح احتمال ۵ درصد به صورت معنی‌داری از ۱۷٪ به ۷۶٪ افزایش داد. از فواید پرایمینگ می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

۱- بهبود جذب مواد غذایی توسط گیاهان

۲- افزایش مقاومت به آفات و بیماری‌ها

۳- افزایش جوانه‌زنی و سبز شدن و یکنواختی سبز شدن

۴- بهبود عملکرد در شرایط نامطلوب

۲-۱۲- انواع پرایمینگ بذر

تعدادی از روش‌های پرایمینگ شامل بیوپرایمینگ، هیدروپرایمینگ، هیدروترمال پرایمینگ، اسموپرایمینگ، هالوپرایمینگ، ماتریک پرایمینگ، ترموپرایمینگ و ... می‌باشد.

۲-۱۳- بیوپرایمینگ بذر

بذر و گیاهچه در بیشتر گونه‌های گیاهی به علت بیماری‌های خاکزی و بذر زاد در معرض پوسیدگی و زوال قرار می‌گیرند. پوسیدگی بذر اغلب باعث کاهش جوانه‌زنی و سبز شدن و در نهایت استقرار ضعیف گیاه و کاهش عملکرد نهایی گیاهان می‌گردد. در حال حاضر کنترل شیمیایی این قبیل بیماری‌ها رایج ترین روش می‌باشد. به هرحال استفاده از بیوپرایمینگ بذر با باکتری‌های کنترل‌کننده در تناوب با کنترل شیمیایی در مقابله با این قبیل بیماری‌ها می‌تواند دارای فوایدی باشد. در این فرآیند بذور آب پوشی شده قبل از کاشت تیمار میکروبی می‌گردند. پس از تیمار بذر با باکتری‌ها و یا قارچ‌های مورد نظر بذور تیمار شده را می‌توان بلافاصله کشت کرد یا می‌توان آنها را خشک و نگهداری نمود.

بیوپرایمینگ روشی برای محافظت از بذر در برابر میکروارگانیسم‌های خاک و بیماری‌های خاکزی می‌باشد. برخی از باکتری‌ها و قارچ‌ها هستند که اگر در زمان کاشت به همراه بذر مورد استفاده قرار گیرند، می‌توانند باعث حفاظت از بذر و گیاهچه و در نهایت افزایش رشد و نمو گیاه گردند. بیوپرایمینگ بذر اجازه مهاجرت سریع میکروارگانیسم‌های مفید بر روی بذر را می‌دهد و اغلب باعث پوشش یکنواخت تر بذر در مقایسه با دیگر تکنیک‌های پرایمینگ می‌گردد (اسمیت، ۱۹۹۶؛ وارئن و بنیت، ۱۹۹۷). در کل مشخص شده است که بیوپرایمینگ بذر در کنترل بیماری‌ها در مقایسه با روش‌های شیمیایی مؤثرتر می‌باشد. به عنوان مثال بیوپرایمینگ بذور ذرت شیرین مانع از بین رفتن بذر در خاک‌های سرد و گرم می‌شود (کالان و ماثری، ۲۰۰۰). پوشش بذر یونجه باعث بهبود بقای باکتری ریزوبیوم بر روی بذر و در نهایت گره زایی زودتر در گیاهچه‌ها می‌گردد (هوریکاوا و اوتسوکا، a و b ۱۹۹۵؛

شیفر و همکاران، ۱۹۸۸). به هر حال در این مطالعات بیوپرایمینگ بذر باعث افزایش عملکرد گردید (کانسترینو و همکاران، ۱۹۹۸؛ هوریکاوا و همکاران، ۱۹۹۶).

۲-۱۴- تعریف و انواع کودهای زیستی

اصطلاح کودهای زیستی، منحصراً به مواد آلی حاصل از کودهای دامی، بقایای گیاهی، کود سبز و غیره اطلاق نمی‌گردد بلکه ریزجانداران باکتریایی و قارچی مفید و مواد حاصل از فعالیت آنها نیز از جمله کودهای زیستی محسوب می‌شوند. به عبارت دیگر کودهای زیستی مواد نگهدارنده‌ای با انبوه متراکم یک یا چند نوع ریزجاندار مفید خاکزی و یا به صورت فرآورده متابولیک آنها می‌باشند که در ارتباط با تثبیت زیستی نیتروژن یا فراهمی فسفر، گوگرد و سایر عناصر غذایی به ویژه ریزمغذی‌ها در خاک فعالیت می‌کنند و در صورت مصرف از طریق تلقیح بذر، سطح گیاه یا خاک در ناحیه اطراف ریشه یا درون گیاه تشکیل کلونی داده و با افزایش فراهمی عناصر غذایی موجب افزایش رشد و نمو گیاه میزبان می‌گردند (وسی، ۲۰۰۳). کودهای زیستی با استفاده از ظرفیت‌های طبیعی موجودات مفید خاکزی تهیه می‌شوند و تولید آنها علاوه بر صرفه اقتصادی به لحاظ رعایت جنبه‌های زیست محیطی نیز بسیار با ارزش است. بر این مبنا کودهای زیستی عمدتاً شامل باکتری‌های محیط ریشه تثبیت کننده زیستی نیتروژن مولکولی همزیست، آزادزی و همیار، باکتری‌ها و قارچ‌های حل‌کننده فسفات، قارچ‌ها و باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات، باکتری‌ها و قارچ‌های اکسیدکننده‌گوگرد، قارچ‌های میکوریزایی و غیره و مواد حاصل از فعالیت آنها می‌باشند (زهیر و همکاران، ۲۰۰۴). بر اساس تعاریف ارائه شده برای کودهای زیستی و زنده بودن آنها، از کودهای آلی که مواد آلی غیرزنده حاصل از جانوران (کودهای دامی) و گیاهان (کود سبز) می‌باشند، متمایز می‌شوند (بانرجی و همکاران، ۲۰۰۶). مزایای حاصل از کاربرد این کودها در بوم نظام‌هایی که پیچیدگی و پایداری جامعه زیستی آنها در اثر کاربرد نابهنجار نهاده‌هایی از قبیل کودها و سموم شیمیایی با هدف کنترل آفات و به حداکثر رساندن عملکرد و محصول به شدت دستخوش تزلزل گردیده از طریق بهینه‌سازی و افزایش کارایی مصرف

عناصر غذایی کودهای آلی و شیمیایی، کنترل زیستی آفات و بیماری‌ها می‌باشند (استورز و کریستی، ۲۰۰۳).

در نظام‌های کشاورزی پایدار کاربرد کودهای زیستی از اهمیت ویژه‌ای در افزایش باروری و حفظ حاصلخیزی پایدار خاک برخوردار است (شارما، ۲۰۰۳). هدف از کشاورزی پایدار حفظ باروری خاک های زراعی در سطحی است که نیاز جمعیت در حال افزایش را بدون تخریب محیط زیست و تخلیه عناصر غذایی تأمین نماید و مدیریت حاصلخیزی خاک با استفاده از کودهای زیستی می‌تواند در پیشبرد این هدف، بسیار حائز اهمیت باشد.

۲-۱۵- تاریخچه و موقعیت کاربرد کودهای زیستی در جهان و ایران

پیشینه کاربرد کودهای زیستی به قدمت آغاز کشاورزی بوده و بکارگیری کودهای دامی، کود سبز و مخلوط کردن بذر نیامدارانی مانند یونجه با خاک یونجه زار قبل از کشت نمونه‌های بارز استفاده از کودهای زیستی در کشاورزی سنتی می‌باشند (وسی، ۲۰۰۳). در کشاورزی نوین نیز پیشینه دانش استفاده از ریزجانداران مفید خاکزی به عنوان کود و مواد حاصلخیزکننده خاک به زمان استفاده از کودها در کشاورزی باز می‌گردد، به طوری که تولید نخستین مایه تلقیح، کود زیستی باکتری رایزوبیوم با نام تجاری نیتراجین در سال ۱۸۹۵ توسط هیلتنر و ناب در امریکا صورت گرفت (وسی، ۲۰۰۳). تولید صنعتی کودهای زیستی در کانادا در سال ۱۹۰۵ و در استرالیا و سوئد در سال ۱۹۱۴ آغاز شد ولی به علت توسعه سریع تولید و مصرف کودهای شیمیایی استفاده از کودهای زیستی توسعه چندانی نیافت (باشان، ۱۹۹۸). با این وجود به تدریج پژوهش و تولید این کودها توسعه یافت، به طوری که دانشمندان چینی در سال ۱۹۴۰ باکتری‌های تثبیت‌کننده زیستی نیتروژن و حل‌کننده فسفات را جدا سازی نموده و تولید تجاری کودهای زیستی از نوع باکتری‌های افزاینده رشد گیاه در چین در سال ۱۹۷۹ آغاز گردید (بانرجی، ۲۰۰۶). در سال ۱۹۸۶ کاربرد وسیعی از این

باکتری‌ها صورت گرفت و در سال ۱۹۹۴ استفاده از کودهای زیستی باکتریایی در سطحی معادل ۳۹/۳ میلیون هکتار از مزارع این کشور صورت پذیرفت (زهیر و همکاران، ۲۰۰۴).

امروزه با درک بیشتر عوارض جدی زیست‌محیطی ناشی از بکارگیری بی‌رویه و نامتعادل کودهای شیمیایی و اهمیت استفاده از کودهای زیستی در بهبود حاصلخیزی خاک و تولید پایدار محصولات کشاورزی، تولید و کاربرد این کودها توسعه بیشتری یافته و بسیاری از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه اقدام به تولید و مصرف کودهای زیستی نموده‌اند (کنایان، ۲۰۰۲).

در ایران نیز تا چندی پیش توجه چندانی به پژوهش، تولید و مصرف کودهای زیستی نشده بود تا اینکه در سال‌های اخیر و با تشکیل شورای عالی توسعه زمینه کاربرد مواد بیولوژیک و استفاده بهینه از کود و سم فراهم شد و با تأسیس بخش تحقیقات بیولوژی خاک در مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور با هدف استفاده از ریزجانداران مفید در جهت بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاهان زراعی و باغی در سال ۱۳۷۴، همچنین تأمین اعتبارات تحقیقات در این زمینه توسط آن شورا زمینه توسعه پژوهش، تولید و مصرف کودهای زیستی در کشور فراهم آمد (صالح راستین، ۱۳۸۴). همچنین سابقه تحقیق و تولید تجاری کودهای زیستی PGPR در ایران به سال ۱۳۷۴ باز می‌گردد (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۴). تولید باکتری‌های افزاینده رشد گیاه، انتخاب قارچ‌های مایکوریزای آرباسکولار مناسب برای تحمل گندم به تنش خشکی، تولید مایه تلقیح برای نیشکر و تولید انبوه و تجاری برخی از آنها از مهم‌ترین دستاوردها در زمینه پژوهش، تولید و توسعه کاربرد کودهای زیستی در کشور محسوب می شوند (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۴). همچنین تولید کود زیستی با استفاده از مایه تلقیح باکتری ازتوباکتر که در سال ۱۳۸۳ بیش از ۳ هزار تن آن در کشور تولید و مصرف گردید (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳) از جمله دیگر دستاوردهای تولید و توسعه کودهای زیستی در کشور محسوب می‌شود. امید می‌رود که با پژوهش بیشتر در این زمینه و ترویج مصرف این کودها توسعه مصرف آنها در راستای دستیابی به کشاورزی پایدار بیش از پیش فراهم آید.

۲-۱۶- ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR)

گروهی از باکتری‌های مفید خاکزی که سبب افزایش رشد گیاه می‌شوند اصطلاحاً تحت عنوان باکتری‌های افزاینده رشد گیاه نامیـده می‌شوند و از جمله مهم‌ترین انواع کودهای زیستی محسوب می‌شوند (قلاوند و همکاران، ۱۳۸۵). اصطلاح PGPR نخستین بار توسط کلوپر و اسکروت در سال ۱۹۷۸ به کار برده شد و تا سال‌های پس از آن تنها برای انواعی از باکتری‌های ریزوسفری استفاده می‌شد که به طور غیرمستقیم و از طریق کنترل عوامل بیمارگر گیاهی و کمک به حفظ سلامت گیاه، شرایط تشدید رشد گیاه را فراهم می‌ساختند. این اصطلاح در ابتدا برای معرفی سویه‌هایی از باکتری های غیرهمزیست و به طور عمده جنس سودوموناس (گونه‌های فلورسنس و پیوتیدا) به کار می‌رفت که قادر به کلونیزه کردن ریشه گیاهان و تحریک رشد آنها بودند (هانی و همکاران، ۱۹۹۸). اما در بررسی‌های اخیر با تعیین اثرات مفیدی که از سوی باکتری‌ها به طور مستقیم و غیرمستقیم بر رشد گیاه اعمال شد، مفهوم میکروارگانیسم‌های PGPR گسترده‌تر شده و برای برخی دیگر از باکتری‌های فعال ریزوسفری مانند جنس‌های Azotobacter، Azospirillum، Bacillus، Enterobacter، Clostridium، Serratia، Arthrobacter و Hydrogenophaga گزارش شده است. این باکتری‌ها به طور مستقیم با تحریک رشد گیاه و یا به طور غیرمستقیم با افزایش فراهمی زیستی عناصر غذایی و کنترل زیستی آفات و بیمارگرهای گیاهی باعث افزایش رشد گیاهان می‌گردند (گلیک، ۱۹۹۵؛ کلوپر، ۱۹۹۳) و در حال حاضر به عنوان یکی از مهم‌ترین انواع کودهای زیستی به کار برده می‌شوند (زهیر و همکاران، ۲۰۰۴).

این گروه از باکتری‌ها علاوه بر افزایش فراهمی زیستی عناصر معدنی خاک، از طریق تثبیت زیستی نیتروژن، مهار عوامل بیماری‌زا و تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (استورز و چریستی، ۲۰۰۳). همچنین با توجه به تأثیر افزایندگی بر رشد و نمو گیاهان زراعی، این باکتری‌ها را اصطلاحاً باکتری‌های افزاینده عملکرد نیز می‌نامند (وسی، ۲۰۰۳). امروزه استفاده از جنس‌های مناسب باکتری‌های افزاینده رشد به منظور بهبود رشد گیاه، کاهش آلودگی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها در بسیاری از نقاط دنیا همانند کشورهای

آمریکا، برزیل، هند، آرژانتین، اروگوئه و غیره مرسوم می‌باشد که به عنوان مایه تلقیح محرک رشد و یا آفت‌کش‌های بیولوژیک به فروش می‌رسد (گلیک و همکاران، ۲۰۰۱).

۲-۱۷- نحوه ارتباط باکتری‌های محرک رشد و گیاه میزبان

الف- حرکت باکتری در خاک: برقراری ارتباط بین باکتری‌ها و گیاه میزبان در ابتدا نیازمند حرکت و جابجایی آنها از محل تلقیح به سمت ریشه و اتصال به آن است. این حرکت تابع عوامل مختلفی چون ویژگی‌های اختصاصی باکتری، میزان رطوبت در ناحیه ریشه، ساختار خاک و ... می‌باشد. مطالعه باکتری‌ها نشان می‌دهد که حرکت فعال خود باکتری در قابلیت حرکت به سمت ریشه و کلونیزاسیون نقش مهمی ایفا می‌نماید. برای مثال باکتری‌های آزوسپیریلیوم می‌توانند از فاصله ۳۰ سانتی‌متری به صورت افقی خود را به مجاورت ریشه برسانند. اسچر و همکاران (۱۹۸۵) نیز نشان دادند که وجود بذر و یا ترشحات ریشه در محیط، جابجایی سویه‌های مختلف سودوموناس را به سمت ریشه سویا تحریک می‌نماید. مطالعه باورز و پارک (۱۹۹۳) مشخص کرد که اهمیت جریان آب در انتقال باکتری‌ها بیشتر از حرکت خود آنهاست. بافت و ساختار خاک که نشان‌دهنده میزان قابلیت نگهداری آب و نوع حرکت آب به دلیل اندازه حفره‌ها و شبکه‌ها است، نیز در حرکت و انتقال باکتری‌ها موثر است. برخی محققین معتقدند که در صورت عدم وجود گیاه در محیط، باکتری‌ها به سرعت جذب رس‌ها و اجزاء آلی خاک شده و حرکت آنها در خاک به شدت محدود می‌گردد (باشان و هولگوئین، ۱۹۹۴).

ب- کلونیزاسیون و ارتباط با ریشه: باکتری‌های مختلف در صورتی می‌توانند بر گیاه اثر گذاشته و رشد آن را تحریک نمایند که پس از قرار گرفتن در موقعیت مناسب ریزوسفر، سطح ریشه و یا بخش‌های داخلی ریشه را کلونیزه نمایند (گلیک، ۱۹۹۵). حضور فعال گیاه در محیط، ریزوسفر را از نظر فیزیکی و شیمیایی در مقایسه با توده اصلی خاک تغییر داده و به این ترتیب توانایی باکتری در کلونیزه کردن تحت تأثیر قرار می‌گیرد. تفاوت در pH خاک، پتانسیل آبی و فشار جزئی اکسیژن از جمله تغییراتی

است که از طریق ترشحات گیاه بروز می‌نماید. برای اتصال باکتری به ریشه دو مرحله مختلف در نظر گرفته می‌شود:

مرحله اول، اتصال ضعیفی است که توسط پروتئین‌های باکتری صورت گرفته و فاز جذب نام دارد. مرحله دوم فاز اتصال به ریشه نامیده می‌شود که ۱۶- ۸ ساعت پس از تلقیح رخ داده و از مرحله اول قوی‌تر است و به کمک ترکیبات چربی و قندی موجود در فضای بین سلولی در باکتری صورت می‌گیرد. این دو مرحله مستقل از یکدیگر عمل می‌نمایند. ترشح و تولید انواع مختلفی از ترکیبات شیمیایی توسط گیاه و باکتری در فرآیند اتصال مؤثر شناخته شده‌اند. در رابطه اندوفیتی، باکتری‌های محرک رشد در فضاهای آپوپلاستیک داخل گیاه میزبان قرار می‌گیرند. قرارگیری باکتری در فضای داخلی گیاه میزبان، محیط مناسب و حفاظی برای این موجودات در مقایسه با شرایط سطح ریشه فراهم می‌کند. بهترین نمونه ارتباط اندوفیت‌ها و میزبان، همزیستی باکتری ریزوبیوم و بقولات است (سینگ و کاپور، ۱۹۹۹).

ج- عوامل مؤثر بر کلونیزاسیون ریشه: کلونی شدن ریشه فرآیند پیچیده‌ای است که تحت تأثیر پارامترهای مختلفی از قبیل خصوصیات باکتریایی، ترشحات ریشه‌ای و عوامل محیطی (فاکتورهای بیوتیک و آبیوتیک) قرار می‌گیرد. توانایی باکتری‌های وارد شده به محیط از طریق تلقیح، برای رقابت با سایر موجودات به منظور کسب عناصر غذایی از جمله دیگر عوامل موثر در موفقیت کلونیزاسیون است. گونه گیاهی می‌تواند بر ترکیب موجودات ریزوسفری تأثیر بگذارد. نتایج مطالعه لاتور و همکاران (۱۹۹۶) نشان داد که با توجه به نوع گیاه میزبان (گوجه فرنگی یا کتان) میزان جمعیت سودوموناس فلورسنس در محیط ریشه تحت تأثیر قرار گرفته و تغییر نمود. در برخی موارد می‌توان از مواد بازدارنده فعالیت ریزموجودات دیگر همراه با تلقیح باکتری استفاده نمود تا کلونیزاسیون تسهیل گردد. در مطالعه‌ای ضمن تلقیح گندم با آزوسپیریلیوم برازیلنس در حضور ۴ نوع ترکیب بازدارنده، رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها مورد بررسی قرار گرفت. باکتری آزوسپیریلیوم به این مواد مقاوم بوده و حضور آنها اثری بر فعالیت باکتری نداشت و تنها جمعیت موجودات خاک را تحت تأثیر قرار داد و به این ترتیب

با کاهش جمعیت سایر میکروارگانیسم‌های خاک امکان کلونیزاسیون ریشه توسط آزوسپیریلیوم برازیلنس افزایش پیدا کرد (باشان، ۱۹۸۶). آزوسپیریلیوم می‌تواند به صورت درونی و بیرونی کلونی شدن ریشه‌ها را موجب شود. در کلونی شدن بیرونی، باکتری‌ها به طور عمده به صورت گروه‌های کوچکی شکل می گیرند. با این حال ممکن است تعدادی از باکتری‌ها به صورت منفرد در سطح ریشه پراکنده شوند. این باکتری‌ها در لایه موسیلاژ سطح ریشه قرار می‌گیرند. آزوسپیریلیوم از طریق نفوذ به فضاهای درون سلولی، کلونی شدن درونی ریشه را موجب می‌شود. در غلات کلونی شدن توسط آزوسپیریلیوم به طور عمده در سطح ریشه صورت می‌گیرد و باکتری‌های بسیار کمی، تارهای کشنده را مورد حمله قرار می‌دهند. در حالیکه در برنج کلونی شدن، اغلب در قسمت تار کشنده انجام می‌شود (مورتی و لادها، ۱۹۸۸). بیشتر مناطق کلونی شده در سلول‌های گیاه در حدود دو ساعت بعد از تلقیح، اشباع می‌شوند که این زمان بسته به نوع باکتری و مرحله رشد گیاه متفاوت است.

ترشحات ریشه گیاه مخلوط پیچیده‌ای از ترکیبات شیمیایی و آلی است که از طریق ریشه‌ها به خاک تراوش کرده و اثرات مختلفی در خاک ایجاد می‌کند. ترکیب ترشحات بسته به نوع گونه گیاهی، ویژگی‌های تغذیه‌ای گیاه، ساختار خاک و وجود ریزمغذی‌ها متفاوت است. در صورت وجود ترکیب مناسبی از ترشحات ریشه امکان موفقیت روابط در ریزوسفر افزایش یافته و جمعیت ریزموجودات خاک می‌تواند به $۱۰^{۱۰}$ تا $۱۰^{۱۲}$ ارگانیسم در هر گرم خاک برسد (فوستر، ۱۹۸۸). مطالعات نشان داد که جذب ریزوباکتری‌ها از طریق حرکات شیمیایی جهت‌دار بوسیله ترشحات ریشه و بذر، ممکن است اولین مرحله در فرآیند کلونی شدن ریشه و بذر باشد (اسچر و همکاران، ۱۹۸۵). هر عامل زراعی که بتواند میزان و نوع ترشحات ریشه را تحت تأثیر قرار دهد به طور غیرمستقیم بر پراکنش جمعیت موجودات ریزوسفری اثر می‌گذارد. به عنوان مثال کاربرد کودهای آلی در زراعت علاوه بر افزایش ترشحات ریشه می‌تواند به عنوان منابع انرژی در اختیار باکتری‌های محرک رشد قرار گرفته و اثرات سودمند آنها را افزایش دهد. برای مثال استفاده از انواع کودهای آلی و سبز اثرات تلقیح با ازتوباکتر را

افزایش می‌دهد زیرا واکنش تثبیت نیتروژن توسط باکتری نیازمند مقادیر بالایی از انرژی از منبع کربن آلی است.

گاماک و همکاران (۱۹۹۲) نشان دادند که وجود باکتری‌های تلقیح شده با درصد رس، محتوای مواد آلی و نیتروژن خاک همبستگی مثبت دارد. این در حالی است که که بین بقا و درصد شن و نیز مقدار $CaCo_3$ همبستگی منفی مشاهده شد. افزایش دمای خاک با تراکم جمعیت‌های باکتری سودوموناس فلورسنس در اطراف بذر نخود و ریشه‌ها در عمق صفر تا یک سانتی‌متری خاک همبستگی منفی داشت ولی با کلونیزاسیون ریشه در لایه‌های عمقی‌تر خاک (یک تا دو سانتی‌متر) همبستگی مثبتی نشان داد (باورز و پارک، ۱۹۹۳).

۲-۱۸- انواع باکتری‌های افزاینده رشد گیاه

باکتری‌های افزاینده رشد گیاه شامل مجموعه متنوع و نامتجانسی از باکتری‌های مختلف شامل باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن همزیست از جمله رایزوبیوم‌ها، باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن غیر همزیست (همیار یا آزادزی) محیط ریشه، محلول‌کننده فسفر، پتاسیم، گوگرد و سیلیکات می‌باشند (زهیر و همکاران، ۲۰۰۴). برخی از مهم‌ترین این باکتری‌ها شامل آزوسپیریلیوم، ازتوباکتر، گلوکون استوباکتر و نیز باکتری‌های جنس سودوموناس، بورخولدریا، انتروباکتر، هرباسپیریلوم، باسیلوس، تیوباسیلوس، سراتیا، کلوستریدیوم، هایدروجنوفاگا و نیز سایر باکتری‌های سطح ریشه می‌باشند (وسی، ۲۰۰۳).

الف- باکتری‌های تثبیت‌کننده همزیست: در این حالت باکتری بدون میزبان قادر به تثبیت نیتروژن نیست و اندام مشترکی به نام گره تشکیل می‌شود که محل اصلی تثبیت نیتروژن مولکولی است. مانند همزیستی رایزوبیوم- لگوم.

اصلی‌ترین انواع تثبیت‌کننده نیتروژن مربوط به باکتری‌های اندوفیتی مانند رایزوبیوم است که در شرایط برقراری همزیستی با گیاه میزبان (بویژه تیره بقولات) می‌توانند اثرات متقابل باکتری‌ها و

گیاهان را به خوبی نشان دهند. در مقابل تأمین نیتروژن گیاه توسط باکتری، میزبان نیز ساختار گره را توسعه داده، مکش اکسیژن را تنظیم و کربن آلی مورد نیاز باکتری را فراهم می‌نماید (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۳).

ب- باکتری‌های تثبیت‌کننده همیار: رابطه همیاری حالت خاصی از همزیستی است که در این حالت ریزجانداران بدون تشکیل ساختمان خاصی در گیاه، تثبیت نیتروژن را انجام می‌دهند. بدین صورت که از هیدرات‌های کربن ترشح شده از ریشه گیاه به عنوان منبع کربن استفاده می‌کنند و در عوض مقداری از نیتروژنی را که تثبیت می‌نمایند در اختیار گیاه قرار می‌دهند. از این ریزجانداران، به دلیل تولید انواع متابولیت‌های مؤثر در رشد گیاه همانند ویتامین‌ها، هورمون‌های محرک رشد و اسیدهای آمینه، به عنوان عوامل افزاینده رشد گیاه نیز یاد می‌شود. از باکتری‌های همیار می‌توان آزوسپیریلیوم، کلبسیلا و انتروباکتر را نام برد (وسی، ۲۰۰۳).

ج- باکتری‌های تثبیت‌کننده آزادزی: این ریزجانداران بدون داشتن هیچ گونه رابطه مستقیمی با گیاه میزبان قادر به انجام تثبیت نیتروژن مولکولی می‌باشند. مانند ازتوباکتر.

۲-۱۸-۱- ازتوباکتر

باکتری‌های جنس ازتوباکتر نخستین باکتری‌های خاکزی تثبیت‌کننده آزادزی نیتروژن و هتروتروف شناخته شده می‌باشند. این باکتری‌ها به تیره ازتوباکتراسه[1] تعلق داشته و باکتری‌هایی نسبتاً درشت با قطر متوسط ۲- ۱/۵ میکرون، چند شکلی با شکل‌های کروی، بیضوی و میله‌ای شکل با طول ۷- ۳ میکرون، راست یا کمی خمیده، دارای تاژک قطبی و گرم منفی می‌باشند. همچنین این باکتری‌ها هوازی اجباری و از نظر تأمین انرژی و کربن شیمیوارگانوتروف، یعنی قادر به تأمین انرژی و کربن از مواد آلی، می‌باشند و در شرایط محیطی نامساعد نظیر خشکی تشکیل سیست می‌دهند (مرکواکی و میلیک، ۲۰۰۱). به دلیل هوازی بودن ازتوباکتر، این میکروارگانیسم‌ها شرایط بی‌هوازی را نمی‌توانند تحمل کنند و بهترین رطوبت برای این باکتری، رطوبت در حد ظرفیت مزرعه می‌باشد. به

1- Azotobacteraceae

همین دلیل این باکتری‌ها در سطح ریشه حضور ندارند ولی در منطقه ریزوسفر به وفور یافت می‌شوند. گونه‌های کروکوکوم و آجیلیس این جنس برای نخستین بار در سال ۱۹۰۱ توسط بیجرینک از خاک‌های هلند جدا گردیدند و سپس به تدریج سایر گونه‌های این جنس شناسایی شدند. گونه‌های مختلف جنس ازتوباکتر عبارتند از: کروکوکوم[۱]، آجیلیس[۲]، وینلاندی[۳]، بیجرینکی[۴]، نیگریکانس[۵]، پاسپالی[۶]، آرمنیکوس[۷] و سالینستریس[۸] که در محیط ریشه بسیاری از گیاهان یافت می‌شوند. به جز گونه ازتوباکتر پاسپالی که یک باکتری تشکیل‌دهنده کولونی در سطح ریشه محسوب می‌شود، سایر گونه‌ها باکتری‌های خاکزی محیط ریشه (رایزوسفریک) می‌باشند و توانمندی‌های آنها به ویژه گونه ازتوباکتر کروکوکوم به عنوان کود زیستی برای گیاهان زراعی غیرنیامداران بررسی گردیده است (مرکواکی و میلیک، ۲۰۰۱). گونه‌های مختلف ازتوباکتر در شرایط مختلف آب و هوایی از منطقه بسیار گرم حاره تا مناطق قطبی یافت می‌شوند. با افزایش عمق خاک جمعیت ازتوباکترها کاهش پیدا می‌کند و درجه حرارت مناسب برای فعالیت این میکروارگانیسم‌ها بین ۳۰-۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. ازتوباکتر قادر است با استفاده از مکانیسم‌های مختلفی همچون تولید هورمون‌هایی نظیر اکسین، اسید ایندول استیک (IAA)، جیبرلین‌ها و ویتامین‌های B، تثبیت نیتروژن اتمسفری، توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه و ترشح اسیدهای آلی در ریزوسفر، عملکرد را در گیاهانی نظیر گندم تا حدود ۲۰٪ افزایش دهد (شارما، ۲۰۰۲). به علاوه این باکتری از طریق کنترل عوامل بیماری‌زا، به طور غیرمستقیم نیز به حفظ سلامت گیاه کمک می‌نماید. با توجه به اینکه ازتوباکتر یک باکتری هتروتروف می‌باشد، لذا برای تأمین کربن آن نیاز است که خاک دارای مواد آلی بالایی باشد. برای این منظور استفاده توأم ازتوباکتر و کود دامی در خاک‌های ایران که اکثراً دارای مواد آلی کم هستند، توصیه می‌شود.

1- Azotobacter chroococum
2- A. agilis
3- A. vinelandii
4- A. beijerinckii
5- A. nigricans
6- A. paspali
7- A. armenicus
8- A. salinestris

۲-۱۸-۲- آزوسپیریلیوم

باکتری‌های جنس آزوسپیریلیوم از مهم‌ترین میکروارگانیسم‌های همیار تثبیت‌کننده نیتروژن هستند که سبب بهبـود رشد گیـاه و افـزایش مقدار محصول و عملکرد بسیاری از گیـاهان زراعی می‌گردند و از اینرو دارای اهمیت زراعی و بوم‌شناختی ویژه‌ای می‌باشند (تیلاک و سینگ، ۲۰۰۲). باکتری‌های این جنس از تیره اسپیریلاسه[1] بوده و باکتری‌هایی گرم منفی، مارپیچی و خمیده با طول ۴-۲ میکرون و قطر ۸-۱ میکرون، دارای یک تاژک جانبی، شیمیوارگانوتروف و هوازی هستند (باشان و هولگوئین، ۱۹۹۷). این باکتری‌ها در اطراف ریشه و بیشتر در ناحیه ریشه‌های فرعی و تارهای موئین یافت شده و علاوه بر سطح ریشه، درون سلول‌های لایه کورتکس، فضاهای بین سلول‌های این لایه، آندودرم و آوندهای آبکش ریشه زندگی و رشد می‌نمایند. پراکنش جغرافیایی آزوسپیریلیوم بسیار گسترده می‌باشد، به طوری که وجود این باکتری در خاک و ریشه گیاهان مناطق معتدل، سرد و گرمسیر دنیا گزارش شده است ولی فراوانی آن در مناطق گرمسیر بیشتر است. در مورد تاریخچه باید گفت که در سال ۱۹۹۲ بیجرینک باکتری جدیدی کشف کرد و ابتدا آن را ازتوباکتر اسپیریلوم نامگذاری کرد اما بعداً آن را اسپیریلوم لیپوفروم نام نهاد (روستا و همکاران، ۱۳۷۷). تاکنون ۷ گونـه از جنس آزوسپیریلیوم شناسایی شده است که عبارتند از: لیپوفروم[2] ، برازیلنس[3] ، آمازوننس[4] ، هالوپرافرنس[5] ، ایراکنس[6] ، لارجیموبایل[7] و دابرینر[8] (باشان و لوانونی، ۱۹۹۰).

نتایج بیشتر پژوهش‌ها گویای این است که آزوسپیریلیوم با توان تثبیت زیستی نیتروژن، گسترش سطح ریشه، کمک به جذب بهینه آب و عناصر غذایی و تولید هورمون‌های رشد و برخی ویتامین‌ها، رشد کمی و کیفی را در گیاهان تقویت می‌کند (استورز و کریستی، ۲۰۰۳). توصیه شده

1- Spirillaceae
2- Azospirillum lipoferum
3- A. brasilense
4- A. amazonense
5- A. halopraeferanse
6- A. irakense
7- A. largimobile
8- A. deoberenierae

است که از آزوسپیریلیوم به عنوان یک باکتری کمک‌کننده با دیگر میکروارگانیسم‌های سودمند استفاده شود. در واقع آزوسپیریلیوم به عملکرد بهتر ارگانیسم‌ها کمک کرده و به طور مستقیم هم اثرات مثبتی بر رشد گیاه دارد.

آزوسپیریلیوم‌ها نه تنها خود نیتروژن را تثبیت می‌کنند بلکه قادرند با تثبیت کننده‌های دیگر نظیر ازتوباکتر همیار شوند. از جمله واکنش‌های مشاهده شده توسط گیاه تلقیح یافته با این باکتری‌ها می‌توان به افزایش عملکرد، تأثیر بر وزن دانه و سایر اجزاء عملکرد اشاره کرد (تین و همکاران، ۱۹۷۷؛ شیندی و آپته، ۱۹۸۲). اگرچه همیاری این باکتری‌ها با ریشه غلات و برخی دیگر از گرامینه‌ها با پیدایش هیچ ساختار گرهک مانند همراه نیست، ولی پژوهش‌های بسیاری (باشان و لوانونی، ۱۹۹۰) نشان می‌دهد که حضور باکتری در ریزوسفر و اندوریزوسفر گیاهان میزبان آثار معنی‌داری را در بهبود شاخص‌های رشد گیاه و در نتیجه ازدیاد محصول پدید می‌آورد، به گونه‌ای که رابطه متقابل غلات- آزوسپیریلیوم را از حیث آثار مفید باکتری بر رشد گیاه، قابل قیاس با همزیستی لگوم- ریزوبیوم می‌دانند.

۲-۱۹- سازوکارهای فعالیت باکتری‌های افزاینده رشد گیاه

سازوکارهای متعددی برای توضیح چگونگی تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد گیاه بر رشد و نمو گیاهان شناخته شده است که این سازوکارها را به طور کلی می‌توان شامل دو گروه مستقیم و غیر مستقیم دانست (زهیر و همکاران، ۲۰۰۴). در حالت مستقیم انواع PGPR با استفاده از مکانیزم‌های افزایش انحلال عناصر غذایی کم محلول، تثبیت زیستی نیتروژن، تولید هورمون‌های رشد گیاهی، تولید آنزیم ACC دی‌آمیناز و کاهش غلظت اتیلن، تولید انواع ویتامین‌ها، حلالیت فسفات، تولید سیدروفور (از دیدگاه افزایش قابلیت جذب آهن) مستقیماً در افزایش رشد و عملکرد گیاه ایفای نقش می‌کنند. در حالت غیر مستقیم، با استفاده از مکانیزم‌های مختلف آنتاگونیستی اثرات مضر بیمارگرهای گیاهی را خنثی یا تعدیل نموده و بدین طریق موجب افزایش رشد گیاه می‌شوند. رقابت برای جذب مواد و

اشغال جایگاه‌های مناسب برای فعالیت پاتوژن‌ها، تولید آنتی بیوتیک، تولید سیدروفورها، آنزیم‌های لیتیک و تولید سیانید هیدروژن (HCN) از مهم‌ترین مکانیزم‌های مورد استفاده در این روش می‌باشند (کلوپر و همکاران، ۱۹۸۹؛ گلیک و همکاران، ۱۹۹۹). البته به عقیده کلوپر (۱۹۹۳) در اغلب موارد نمی‌توان به سادگی بین اثرات سازوکارهای مستقیم و غیرمستقیم این باکتری‌ها بر رشد و نمو گیاه تفکیک قائل شد. با توجه به اهمیت این سازوکارها برخی از آنها از جمله تثبیت زیستی نیتروژن، تولیـد مواد تنظیم‌کننده رشد گیـاه و مواد زیستی فعـال، سنتز آنزیم‌های تعدیل‌کننده رشد و توسعه گیاه، حل کردن فسفر، پتاسیم و سایر عناصر غذایی، مهار زیستی آفات و بیمارگرهای گیاهی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۲-۱۹-۱- تثبیت زیستی نیتروژن

نیتروژن عنصر غذایی کلیدی برای تولید گیاهان زراعی محسوب می‌گردد و از جمله اجزاء اصلی سنتز پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و دیگر ترکیبات سلولی به حساب می‌آید. با اینکه نیتروژن ۷۸ درصد حجم هوا را تشکیل می‌دهد اما همچنان از محدودکننده‌ترین فاکتورهای رشد گیاهان بوده که برای رفع کمبود آن معمولاً از کودهای نیتروژنه استفاده می‌شود و این مسئله نیز به نوبه خود باعث افزایش هزینه تولید می‌شود. تحت چنین شرایطی بهره برداری از نیتروژن اتمسفری تثبیت شده به صورت همزیستی به وسیله گیاهان تیره نیامداران و غیرهمزیست در گیاهان غیر تیره نیامداران از طریق فرآیند تثبیت زیستی نیتروژن، به صورت گزینه‌ای مناسب برای تأمین نهاده نیتروژنی مورد نیاز خاک‌های زراعی و کمک به جایگزینی ذخایر نیتروژن خاک فراهم می‌سازد. از جمله مزیت‌های تثبیت زیستی نیتروژن می‌توان به کاهش هزینه تولید، کاهش آلودگی آب‌های زیرزمینی، افزایش تولید پروتئین گیاهی (آنچنان که اکثر بقولات نسبت به غلات حاوی پروتئین بیشتری می‌باشند)، افزایش نیتروژن باقی‌مانده در خاک برای محصولات بعدی و افزایش حاصلخیزی خاک اشاره نمود. برآوردهای مختلف میزان مشارکت فرآیند تثبیت زیستی نیتروژن در تأمین نیتروژن خاک را ۲۰۰- ۴۴ کیلوگرم در هکتار در سال و به طور متوسط ۱۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار در سال مشخص ساخته‌اند

(سودرلوند و رسوال، ۱۹۸۲). تثبیت نیتروژن اولین مکانیزم پیشنهادی برای افزایش رشد گیاه توسط باکتری‌ها می‌باشد. نهاده‌های نیتروژنی بدست آمده از تثبیت زیستی نیتروژن در سیستم‌های کشاورزی حاصل از رابطه همزیستی بین گونه‌های نیامداران و باکتری رایزوبیوم و همچنین همیاری غیرهمزیست بین ریزجانداران تثبیت‌کننده نیتروژن مولکولی آزادزی و ریشه گیاهان می‌باشند. اگرچه جمعیت‌های بومی این باکتری‌ها در خاک وجود دارند ولی ممکن است از لحاظ تثبیت نیتروژن از کارایی لازم برخوردار نباشند. از اینرو سویه‌های کارآمد و مؤثر این باکتری‌ها معمولاً به صورت کودهای زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بسیاری از گونه‌های باکتریایی مانند آزوسپیریلیوم، ازتوباکتر، باسیلوس، بیجرینکیا، کلستریدیوم، انتروباکتر و سودوموناس قادر به تثبیت نیتروژن می‌باشند. افزایش عملکرد غلات بوسیله تلقیح با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در بسیاری از آزمایشات بدست آمد (کاکمکسی و همکاران، ۲۰۰۱ ؛ ازترک و همکاران، ۲۰۰۳). تثبیت نیتروژن به تعادل نیتروژن در گیاه کمک و باعث افزایش فعالیت نیتروژناز در ریشه‌های تلقیح شده می شود. تحقیقات نشان داده است که فرآیند تثبیت نیتروژن توسط میکروارگانیسم‌ها، نیازمند انرژی است که از کربن آلی در دسترس جهت شکستن پیوند بین اتم‌های نیتروژن بدست می‌آید (پوستج، ۱۹۹۸). به همین دلیل کاربرد انواع کود سبز، آلی (دامی) و برخی از کودهای شیمیایی بر درجه تأثیر و فعالیت ازتوباکتر مؤثر هستند (وانی و همکاران، ۱۹۸۸). باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن آزادزی و همیار، تلقیح کننده‌های مهم گیاهان غیرلگوم به ویژه گونه‌هایی از غلات محسوب می‌شوند. باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن که قادر به تشکیل کلونی با ریشه غیرنیامداران می‌باشند را در سه گروه طبقه بندی می‌کنند:

۱- باکتری‌های محیط ریشه (ریزوسفر)

۲- باکتری‌های درون‌زی (آندوفیت‌های) اختیاری

۳- باکتری‌های درون‌زی اجباری

در گروه اول کلیه گونه‌هایی که با سطح ریشه تشکیل کلونی می‌دهند از قبیل باکتری‌های جنس بیجرینکیا و ازتوباکتر را شامل می‌شود. همچنین گونه‌های مختلف باکتری جنس آزوسپیریلیوم

به جز گونه آزوسپیریلیوم هالوپرایفرنس به گروه درون‌زی‌های اختیاری که در سطح و درون ریشه‌ها کلونی تشکیل می‌دهند تعلق دارند. درون‌زی‌های اجباری شامل گونه‌های مختلف باکتری جنس هرباسپیریلوم و آزاراکوس می‌باشند. باکتری‌های آزادزی می‌توانند تا حدود ۱۵ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار در سال و باکتری‌های همیار ریشه تا ۳۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار در سال تثبیت کنند. مقدار نیتروژن تثبیت شده توسط این باکتری‌ها در حفظ حاصلخیزی بلند مدت خاک می‌تواند مؤثر باشد.

۲-۱۹-۲- تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه و مواد زیستی فعال

در دهه‌های اخیر شواهد بسیاری نشان داده است که باکتری‌های محرک رشد قادرند علاوه بر تثبیت نیتروژن، از طریق سنتز هورمون‌های گیاهی مختلف در افزایش رشد گیاهان مؤثر باشند. هورمون‌های گیاهی، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی (PGRs) نیز نامیده می‌شوند که در رشد و توسعه گیاه نقش دارند. PGRs مواد آلی هستند که در غلظت‌های بسیار کم بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان تأثیر می‌گذارند (ارشد و فرانکنبرگر، ۱۹۹۸). به دلیل اینکه غلظت ترشحات هورمونی شاخصی برای تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه است، تغییرات موضعی در میزان هورمون‌های گیاهی می‌تواند منجر به تغییرات در ویژگی‌های رشد و توسعه گیاهان گردد. از مهم‌ترین هورمون‌های گیاهی می‌توان اکسین‌ها، جیبرلین‌ها، سیتوکینین‌ها، آبسیزیک اسید و اتیلن را نام برد.

کارهای گسترده‌ای که در چند سال اخیر صورت گرفته است، نشان داد که مایه زنی غلات با باکتری آزوسپیریلیوم برازیلنس، رشد گیاه و تولیدات آنها را در موارد بسیاری بهبود می‌بخشد. پس از بررسی‌های بسیار مشخص گردید که این باکتری با تولید اکسین در اطراف ریشه باعث افزایش رشد گیاه می‌شود (اسکینر، ۱۹۸۹). همچنین سنتز هورمون اکسین توسط بسیاری از سویه‌های ازتوباکتر نیز مشخص شده است. این هورمون در افزایش طول و حجم ریشه، تعداد ریشه‌های موئین، نفوذپذیری سلول‌های ریشه و در نهایت ترشحات ریشه دخالت دارد.

انواع ویتامین‌ها، اسیدهای آلی گوناگون از جمله اسیدهای آمینه، سیدروفورها، پادزیست‌ها و غیره از جمله مواد فعال زیستی دیگری می‌باشند که به وسیله باکتری‌های افزاینده رشد گیاه تولید می‌شوند (زهیر و همکاران، ۲۰۰۴). میکروارگانیسم‌های خاک با تولید انواعی از این مواد به عنوان متابولیت‌های ثانویه، تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر مراحل فیزیولوژیک رشد گیاهان دارند و اثرات آنها به غلظت هورمون، رقم گیاه و نوع محیط بستگی دارد.

۲-۱۹-۳- سنتز آنزیم‌های تعدیل‌کننده رشد و توسعه گیاه

مکانیزم دیگری که در بهبود رشد گیاه به اثبات رسیده است، در ارتباط با هورمون اتیلن می‌باشد. اتیلن یک تنظیم‌کننده قوی رشد گیاهی است که بر بسیاری از جنبه‌های رشدی گیاه، توسعه و پیری تأثیرگذار است. اتیلن رشد ریشه‌های جانبی و ساختار تارهای کشنده و جوانه‌زنی را تحریک نموده، همچنین موجب شکستن دوره خواب بذور می‌شود. ولی چنانچه غلظت این هورمون پس از جوانه‌زنی بالا بماند، رشد طولی ریشه (همچنین تثبیت همزیستی نیتروژن در گیاهان بقولات) را محدود می‌کند. اتیلن موجود در گیاه بسته به غلظت، نوع فرآیندهای فیزیولوژیکی و مرحله رشد گیاه، می‌تواند موجب تحریک یا بازدارندگی شود. سنتز اتیلن در سطح کم موجب افزایش رشد اولیه و توسعه ریشه می‌گردد، ولی سطوح بالاتر اتیلن منجر به بازدارندگی رشد طولی ریشه می‌شود (ماتو و ساتل، ۱۹۹۱). باکتری‌های تحریک کننده رشد می‌توانند از طریق مکانیسم پایین آوردن سطح اتیلن در گیاه، رشد آن را افزایش دهند. این فرآیند به فعالیت آنزیم ACC دی‌آمیناز مرتبط است. برای مثال باکتری سودوموناس پوتیدا Gr۱۲ دارای آنزیم ۱- آمینو سیکلوپروپان ۱- کربوکسیلیک اسید (ACC) دی آمیناز می‌باشد و ماده ACC را هیدرولیز می‌کند. ACC پیش‌ماده و ماده اولیه برای بیوسنتز اتیلن در گیاه می‌باشد. مدلی که برای توضیح این پدیده به کار رفته، عبارت است از این که ابتدا این باکتری به پوشش بذری گیاه متصل شده و بذر را فرا می‌گیرد و با هیدرولیز ACC به عنوان تنها منبع نیتروژن برای رشد و تبدیل آن به آمونیوم و آلفاکتوبوتیریک اسید، سبب کاهش سطح اتیلن می‌شود. با این عمل میزان اتیلن در اطراف ریشه‌های گیاهچه از یک میزان مشخص بالاتر نرفته و رشد ریشه و گیاه بهتر می‌شود. از طرف

دیگر ثابت شده است که بیشتر استرین‌های سودوموناس تولید اکسین می‌کنند. تولید اکسین در این باکتری‌ها سبب فعال شدن مسیر سنتز آنزیم ACC دی‌آمیناز می‌گردد، بنابراین می‌تواند پیش‌ماده اتیلن را تجزیه کند. در بعضی باکتری‌ها مثل *Ps.putida* آنزیم تجزیه‌کننده ACC وجود دارد که با تجزیه ACC موجود در جوانه‌های بذر، رشد گیاه را افزایش می‌دهد.

نتایج حاصل از آزمایشی بر روی گیاه ذرت نشان داد که تلقیح با برخی از سویه‌های باکتری سودوموناس منجر به افزایش معنی‌دار در ارتفاع، وزن ریشه و بیوماس کل ذرت در مقایسه با شاهد شد. به نظر می‌رسد این سویه‌ها از طریق کاهش میزان بازدارندگی اتیلن در ریشه‌ها موجب افزایش رشد ریشه گیاه می‌شوند. در نتیجه با بهبود رشد ریشه، عملکرد و رشد ساقه نیز افزایش می‌یابد (شاهارونا و همکاران، ۲۰۰۶). اخیراً مشخص شده است که رابطه مثبت و معنی‌داری بین فعالیت ACC دی‌آمیناز و طویل شدن ریشه در ذرت به واسطه تلقیح با باکتری‌های ریزوسفری وجود دارد. مطالعات دیگر نشان داده است که عملکرد دانه و رشد ریشه گیاهان تلقیح یافته با ریزوباکتری‌های محرک رشد به دلیل افزایش فعالیت ACC دی‌آمیناز بهبود می‌یابد (گلیک و همکاران، ۱۹۹۸؛ بلیمو و همکاران، ۲۰۰۲).

۲-۱۹-۴- تولید ویتامین‌ها

به طور معمول گیاهان در شرایط مطلوب رشد با توجه به میزان مورد نیازشان، مقادیر کافی از ویتامین‌ها را سنتز می‌کنند، اما تنش‌های تحمیل شده نظیر خشکی، دماهای نامناسب و کمبود مواد معدنی می‌تواند به کمبود ویتامین منجر شده و تا اندازه‌ای موجب کاهش عملکرد گردد. ویتامین‌ها می‌توانند اثر منفی کمبود مواد معدنی را نیز خنثی کنند و در شرایط طبیعی افزایش رشد و عملکرد پس از کاربرد ویتامین مشاهده می‌شود. گاهی اوقات ویتامین‌ها به لیست ترکیبات تولید شده توسط باکتری‌های PGPR که سبب افزایش تحریک رشد گیاه می‌گردد، افزوده می‌شود. محققین گزارش کردند که آزوسپیریلیوم، ازتوباکتر و سویه‌های ریزوبیوم قادر به سنتز برخی و یا تمام ویتامین های گروه B محلول در آب شامل نیاسین، اسید پنتوتنیک، تیامین (B_1)، ریبوفلاوین (B_2)، سیانوکوبالامین

(B_{12})، پیریدوکسین (B_6) و بیوتین در محیط کشت معین می‌باشند (مارتینز و همکاران، ۱۹۹۶؛ سیرا و همکاران، ۱۹۹۹؛ رویلاس و همکاران، ۲۰۰۰). شواهد نشان می‌دهد که ریشه‌ها قادر به جذب ویتامین B از منبع خارجی هستند که اثرات مثبتی در توسعه ریشه‌ها، طول ساقه، تولید ماده خشک و جذب عناصر غذایی ایجاد می‌کند. برخی فرضیات حاکی از این است که ویتامین تولید شده توسط آزوسپیریلیوم و ازتوباکتر قادر است در شرایط زراعی با نسبت C:N مطلوب، رشد گیاه را افزایش دهد (مارتینز و همکاران، ۱۹۹۶).

۲-۱۹-۵- افزایش جذب و فراهمی یا محلول کردن عناصر غذایی در محیط خاک اطراف ریشه

گزارشات متعدد نشان می‌دهد که باکتری‌های PGPR رشد گیاه را از طریق تسهیل در جذب عناصر غذایی و مواد معدنی K , P , N (K^+ , $H_2PO_4^-$, NO_3^-) و همچنین عناصر ریزمغذی افزایش می‌دهند (باربر، ۱۹۸۵). اگرچه مباحث متعددی در خصوص مکانیسم‌های PGPR در جذب مواد معدنی وجود دارد، تحقیقات بسیاری نشان داده است که ارگانیسم‌های ریزوسفر جذب مواد معدنی توسط ریشه را افزایش می‌دهند، اما تفسیری که مورد پذیرش عمومی برای این فرآیند قرار گرفته باشد، وجود ندارد. از طرفی بیان می‌شود که افزایش جذب مواد معدنی توسط گیاهان به واسطه افزایش در سطح سیستم ریشه‌ای، افزایش در تعداد، ضخامت و طول ریشه است و به مکانیسم خاصی برای افزایش جذب یون مرتبط نیست (بیسواز و همکاران، ۲۰۰۰). برای مثال جذب بیشتر Fe و K با ریشه‌های ضخیم‌تر و جذب بالاتر P با افزایش تارهای کشنده مرتبط است (باربر، ۱۹۸۵). برخی دیگر از تحقیقات نشان می‌دهد که باکتری‌های محرک رشد قادر به تغییر مورفولوژی و افزایش سطح جذب ریشه می‌باشند. این تغییرات ایجاد شده در نتیجه تلقیح با باکتری، موجب افزایش جذب عناصر معدنی در گیاهان می‌گردد (باشان و همکاران، ۱۹۹۰). در یک پژوهش نشان داده شد که تلقیح با باکتری *A.brasilense* فعالیت غشا و به دنبال آن انتشار H^+ را در ریشه‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد که احتمالاً در اثر آزاد سازی نوعی سیگنال است. خروج H^+ از سلول‌های ریشه که نتیجه آن اسیدی شدن ریزوسفر است، به عنوان مکانیسم اصلی در افزایش تحرک مواد معدنی پیشنهاد شده است (مارشنر و

همکاران، ۱۹۸۶). برخی محققین معتقدند که تولید اسیدهای آلی توسط گیاهان و باکتری‌ها در ریزوسفر موجب کاهش pH محلول خاک و در نتیجه افزایش دسترسی به عناصر معدنی نظیر فسفر، کلسیم، آهن و منگنز می‌شود. انتشار پروتون توسط ریشه گیاهان به طور مستقیم در جذب عناصر غذایی تأثیرگذار است. ثابت شده است که تلقیح گندم با *A.brasilense* تغییراتی در انتشار H^+ ریشه‌ها ایجاد می‌کند که موجب افزایش جذب یون‌ها می‌شود (گایند و گاور، ۱۹۸۹). در آزمایش دیگری در شرایط زراعی، تأثیر تلقیح *A.brasilense* با ذرت بررسی گردید و افزایش محتوای نیتروژن و فسفر در گیاه مشاهده شد (پاندی و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین در بررسی دیگری، باکتری فوق جذب عناصر غذایی N، P، K و عملکرد را در گیاه برنج افزایش داد (نایدیو و همکاران، ۲۰۰۳).

در مورد جذب آهن بیان می‌شود که گیاهان قادرند از سیدروفورهای تولید شده توسط برخی از باکتری‌های PGPR بهره گیرنـد. سیدروفورهـا از عوامل مهم در کمپلکس شدن و تحرک آهن در خاک‌ها می‌باشند. نتایج تحقیقات در مورد انتقال آهن بواسطه سیدروفورها نشان داده است که از نظر میزان نیاز به آهن در گیاهان و ارگانیسم‌ها مشابهت وجود دارد و چنین استنباط می‌شود که میکروارگانیسم‌های موجود در ریزوسفر ممکن است آهن مورد نیاز گیاهان را تأمین نمایند (مارشنر و رومهلد، ۱۹۹۴). سیدروفورها ترکیبات آلی پیچیده با وزن مولکولی کم هستند که میل ترکیبی شدید و اختصاصی برای کمپلکس شدن با آهن فریک (Fe^{3+}) و سایر کاتیون‌ها از جمله روی (Zn^{2+}) دارند. تولید سیدروفورها برای باکتری‌های *Azospirillum lipoferum* (شاه و همکاران، ۱۹۹۲)، *Azospirillum brasilense* (باچ هاوات و قوش، ۱۹۸۷)، *Azotobacter vinelandii* (تیندال و همکاران، ۲۰۰۰) و *Azotobacter chroococum* (سانجا و همکاران، ۱۹۹۶) گزارش شده است.

افزایش فراهمی عناصر غذایی از طریق محلول کردن آنها یکی از مهم‌ترین سازوکارهای فعالیت باکتری‌های افزاینده رشد گیاهان می‌باشد. به عنوان مثال فسفر محلول واکنش‌پذیری بالایی با کلسیم، آهن و آلومینیوم دارد که تولید رسوب کرده و این عنصر از دسترس گیاه خارج می‌شود. با تولید چنین کمپلکس‌هایی است که ۷۵ تا ۹۰ درصد کودهای فسفری نیز از چرخه مصرف گیاه خارج می‌گردد. در

این میان استفاده از این باکتری‌ها می‌تواند به افزایش قابلیت دسترسی فسفات‌های تجمع یافته برای رشد گیاهان از طریق محلول کردن آنها کمک نماید که از دو طریق فسفات خاک را به صورت محلول در می آورند:

۱- محلول کردن در اثر تولید اسیدهای آلی ۲- محلول کردن در اثر آنزیم‌های فسفاتاز

تأمین فسفر مورد نیاز گیاهان توسط این باکتری‌ها از دو منبع مختلف فسفات‌های معدنی و ترکیبات آلی حاوی فسفر و تبدیل آنها به فرم‌های قابل‌دسترس صورت می‌گیرد. انحلال فسفات‌های معدنی توسط این باکتری‌ها با تولید انواع مختلفی از اسیدهای آلی انجام می‌شود. فسفر از مواد آلی به کمک دو گروه اصلی از آنزیم‌ها آزاد می‌گردد. دسته اول فسفاتازها هستند که قادرند فسفر را از نوکلئوتیدها و فسفات‌های قندی تأمین کنند و دسته دوم فیتازها که به طور اختصاصی سبب آزاد شدن فسفر از اسید فیتیک می‌شوند. تولید این آنزیم‌ها توسط مکانیزم‌های تنظیم‌کننده خاصی کنترل می‌شود.

۲-۱۹-۶- افزایش مقاومت نسبت به تنش‌ها

در دهه ۱۹۸۰ آزمایشاتی به منظور بررسی تأثیر باکتری آزوسپیریلیوم بر گیاهان در شرایط تنش، اجرا شد. ساریج و همکاران (۱۹۸۸) گزارش کردند که بوته‌های سورگوم تلقیح یافته با آزوسپیریلیوم به میزان کمتری تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند. نتایج این تحقیق نشان داد که گیاهان تلقیح یافته میزان آب بیشتری در پوشش گیاهی در مقایسه با گیاهان تلقیح نیافته داشتند. همچنین کاربرد ماده تلقیح موجب افزایش پتانسیل آبی برگ‌ها و کاهش دمای کانوپی در مقایسه با گیاهان تلقیح نیافته شد. بوته‌های تلقیح یافته با آزوسپیریلیوم رطوبت بیشتری را از خاک جذب کردند. در این آزمایش کاربرد ماده تلقیح سبب شد که آب از لایه‌های عمیق‌تر پروفیل خاک استخراج شود. بنابراین افزایش عملکرد سورگوم در گیاهان تلقیح یافته به بهبود استفاده از رطوبت خاک وابسته بود.

در مطالعه دیگر اثرات تلقیح آزوسپیریلیوم برازیلنس بر روابط آبی در ۲ رقم گندم نشان داد که آزوسپیریلیوم رشد گیاهچه‌های گندم را در شرایط تاریکی و شوری افزایش داد. تلقیح با باکتری

موجب افزایش معنی‌دار پارامترهای آبی بخش آپوپلاستیک شد. در این آزمایش که به صورت هیدروپونیک اجرا شد، عناصر غذایی در دسترس گیاه قرار نگرفت، بنابراین بهبود وضعیت آبی گیاه و افزایش رشد به واسطه افزایش جذب عناصر غذایی نبود (کرئوس و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین در یک سیستم هیدروپونیک بدون مواد غذایی، آزوسپیریلیوم برازیلنس اثرات منفی استرس خشکی را بر گیاهچه‌های گندم کاهش داد. به منظور تعادل تنش اسمزی محیط و حفاظت سلولی، گونه‌های آزوسپیریلیوم می‌توانند ترکیبات آلی را که اسمولیت (تنظیم‌کننده‌های اسمزی) نامیده می‌شوند، در خود تجمع دهند. همه اسمولیت‌های تجمع یافته در چندین سویه از آزوسپیریلیوم برازیلنس با اعمال تنش اسمزی با NaCl شناسایی شده‌اند. در گونه‌های آزوسپیریلیوم، ترهالوز، گلایسین بتائین، گلوتامات و پرولین به عنوان اسمولیت شناخته شده‌اند. اثبات شده است که مقاومت به غلظت‌های بالای نمک NaCl، ساکارز و یا پلی‌اتیلن‌گلیکول در گونه‌های مختلف جنس آزوسپیریلیوم به ترتیب در گونه‌های آمازوننس، لیپوفروم، برازیلنس و هالوپرافرنس افزایش می‌یابد که حاکی از وجود مکانیسم تنظیم اسمزی در نتیجه افـزایش جذب اسمولیت از محیـط، افـزایش بیوسنتز اسمولیت، یا هر دو می‌باشد. آزوسپیریلیوم هالوپرافرنس قادر به جذب کولین و تبدیل آن به تنظیم‌کننده‌های اسمزی گلایسین و بتائین می‌باشد. در تعدادی از گیاهان مقاوم به شوری مشخص شده که کولین در ترشحات ریشه وجود دارد. در گونه‌های هالوپرافرنس و برازیلنس، گلایسین بتائین رشد گیاه و تثبیت نیتروژن را در شرایط تنش شوری تحریک می‌کند (هارتمن، ۱۹۸۸). این باکتری‌ها از طریق تثبیت نیتروژن و تولید هورمون‌هایی مانند اکسین می‌توانند مقاومت گندم را به شرایط شوری بهبود بخشند. به همین دلیل استفاده از سویه‌های آنها به صورت مایه تلقیح جهت بهبود عملکرد گیاهان به ویژه غلات در مناطق خشک قابل توصیه است (ساتوویچ، ۲۰۰۶).

۲-۱۹-۷- کنترل زیستی

نتایج مطالعات نشان داده است که باکتری‌های محرک رشد بوسیله مکانیزم‌هایی نظیر کنترل زیستی قادرند به طور غیرمستقیم بر رشد گیاهان تأثیرگذار باشند. نتایج آزمایشات بیانگر آن است که

در برخی موارد باکتری‌های PGPR قادر به جلوگیری از فعالیت میکروارگانیسم‌های مضر و عوامل بیماریزای خاکزی هستند (اسچیپرز و همکاران، ۱۹۸۷). کنترل زیستی به وسیله این باکتری‌ها، عموماً به دو روش انجام می‌گیرد: ۱- از طریق رابطه آنتاگونیستی با عوامل بیماریزا ۲- از طریق القاء مقاومت سیستمیک در برابر عوامل بیماریزا.

این باکتری‌ها می‌توانند با استفاده از مکانیزم‌های مختلفی نظیر رقابت برای مکان‌های آلوده سازی و جذب عناصر غذایی، آنتی بیوسیس، انگل شدن برای بیمارگر قارچی، تولید سیانید هیدروژن و سایر متابولیت‌ها با پاتوژن‌های خاکزی مقابله کنند. رقابت برای عناصر غذایی بین باکتری‌های کنترل کننده زیستی و عوامل بیماریزا می‌تواند موجب مغلوب شدن عوامل بیماریزا شود. بهترین مثال برای این مکانیزم، رقابت برای عنصر غذایی آهن است. مطالعات نشان داده است که برخی از باکتری‌های PGPR قادرند سیدروفورهایی با میل ترکیبی بالا با Fe^{+3} تولید کنند که آهن ریزوسفر را جذب کنند، بنابراین موجب می‌شوند که آهن کمتری در دسترس میکروارگانیسم‌های مضر ریزوسفر قرار گیرد. در نتیجه پاتوژن‌ها به دلیل اینکه سیدروفورها را در مقادیر ناکافی یا با میل ترکیبی کمتری برای آهن در مقایسه با باکتری‌های PGPR تولید می‌کنند، قادر به جذب آهن کافی برای رشد نمی‌باشند و بنابراین از دور رقابت خارج می‌شوند. *Azospirillum lipoferum* قادر به تولید سیدروفور بوده که از این طریق فعالیت ضد میکروبی بر علیه برخی از باکتری‌ها و قارچ‌های بیماریزا را دارد (شاه و همکاران، ۱۹۹۲).

اهمیت ویژه سیدروفورها در بین انواع متابولیت‌های میکروبی که در ریزوسفر آزاد می‌شوند، به دلیل نقش کلیدی آهن در فرآیندهای متابولیک حیاتی در گیاهان مانند تنفس، سنتز کلروفیل، سنتز پروتئین‌های همی (سیتوکروم‌ها، کاتالاز و پراکسیدازها) و پروتئین‌های غیرهمی (مانند ماده ناقل الکترون فردوکسین) است. غلظت سیدروفورهای باکتریایی در خاک بین ۴ تا ۳۰۰ میکرومول در گرم خاک تخمین زده شده، در حالی که غلظت سیدروفورهای قارچی بین ۳۰ تا ۲۴۰ میکرومول در گرم خاک گزارش شده است (نلسون و همکاران، ۱۹۸۸). البته شرایط خاک می‌تواند در تولید آنها نقش داشته باشد. در سال‌های اخیر توانایی تولید سیدروفور در سویه‌های متعددی از گونه‌های مختلف این

باکتری‌ها به اثبات رسیده است و گزارش‌های متعددی مبنی بر استفاده گیاهان از سیدروفورها به عنوان منبع آهن صورت گرفته است (روکو و همکاران، ۲۰۰۳).

در بررسی اهمیت سیدروفورهای میکروبی، توجه به این نکته ضروری است که ضریب حلالیت ترکیب‌های معدنی آهن، بسیار ناچیز است و به ازاء افزایش هر واحد pH محیط، حدود هزار بار کاهش پیدا می‌کند و به این ترتیب در pH بالاتر از ۴ این ترکیب‌ها اساساً به فرم غیرقابل جذب در می‌آیند. گیاهان مختلف با مکانیسم‌های خاص خود مانند تولید سیدروفورهای گیاهی (فیتوسیدروفور) و یا تولید آنزیم‌های ردوکتاز و آزاد سازی پروتون، می‌توانند در شرایط مناسب آهن مورد نیاز خود را تأمین کنند. در عین حال، در بسیاری از موارد کمبود این عنصر در بافت‌های گیاه، نشانه عدم کفایت این مکانیسم‌ها است. به همین دلیل امکان استفاده از سیدروفورهای میکروبی برای رفع این قبیل کمبودها، مورد توجه قرارگرفته و بیشترین تأکید بر روی انواع PGPR، بر همین اساس است.

در حالت آنتی بیوسیس، ترکیبات ضد میکروبی نظیر آنتی بیوتیک‌ها نقش دارند. باکتری وابسته به جنس *Azotobacter* شناسایی شده است که دارای خاصیت آنتاگونیستی علیه *Botrytis cinerea* است. این باکتری‌ها ترکیبات ضد قارچی با وزن مولکولی کم تولید می‌کنند که تولید کنیدیای قارچ را محدود می‌نماید. تاکنون نوع این مواد شناسایی نشده است (دونچ و مارکانتونی، ۱۹۹۲).

در حالت دیگر، عامل کنترل‌کننده زیستی می‌تواند بوسیله پارازیت شدن پاتوژن‌ها آنها را مورد هدف قرار دهد. زندگی انگلی روش کار دیگری است که توسط آن میکروارگانیسم‌های مفید، رشد عوامل بیماری‌زا را متوقف می‌کنند. برخی ریزجانداران سودمند به عنوان انگل برای میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا عمل می‌کنند. لذا شیوع بیماری را در گیاهان میزبان کاهش می‌دهند. آنزیم‌های تخریب کننده شامل کیتیناز، بتا ۳،۱ گلوکاناز، سلولاز و پروتئاز تولید شده توسط میکروارگانیسم‌های کنترل کننده زیستی، مسئول کاهش پیشرفت بیماری و یا تجزیه دیواره سلولی در نظر گرفته می‌شوند. تأیید این فرضیه به عنوان مکانیزمی برای کنترل زیستی، خصوصاً برای کنترل‌کننده زیستی باکتری به روشنی ثابت شده است. مثلاً در روش انگل شدن در اثر فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده مانند کیتیناز و

بتا ۳،۱ گلوکاناز که PGPR ها ترشح می‌کنند، موجب تخریب و انحلال ساختار دیواره سلولی عامل بیماری‌زا مانند قارچ می‌گردند (گلیک،۱۹۹۵؛ بانرجی و همکاران، ۲۰۰۶).

از روش‌های دیگر کنترل عوامل بیمارگر گیاهی توسط باکتری‌های PGPR، تولید سیانید هیدروژن می‌باشد. نژادهای مختلف عوامل کنترل‌کننده زیستی ممکن است به محیط‌های خاص جهت انتشار متابولیت‌های ثانویه مشخص، پاسخ‌های متفاوتی از خود نشان دهند. متابولیت‌های تولید شده توسط عوامل کنترل‌کننده زیستی برای موجود هدف مضر هستند و در اکثر موارد برای گیاه میزبان سمی نیستند. البته این مورد همچنین به مقدار و نوع متابولیت‌های تولید شده، حساسیت موجود هدف به متابولیت و سطح تحمل گیاه میزبان بستگی دارد. برای مثال سیانید هیدروژن (HCN) تولید شده توسط *Pseudomonas fluorescens* پوسیدگی سیاه ریشه توتون را که ناشی از *Thielaviopsis basicola* است را کنترل می‌کند. با این وجود تولید بیش از اندازهٔ HCN ممکن است برای گیاه میزبان کشنده باشد. برای تولید سیانید هیدروژن، آهن کافی مورد نیاز است و این فرضیه مطرح است که برخی گیاهان تولیدکننده سیدروفور با کاهش تولید سیانید از طریق کاهش آهن قابل‌دسترس ضروری برای تولید سیانید، عملکرد گیاه را افزایش می‌دهند.

البته باید توجه داشت که ممکن است بیش از یک مکانیسم در یک زمان کنترل زیستی را اعمال کنند. در سال‌های اخیر بکارگیری باکتری‌های افزاینده رشد گیاه که دارای توانایی القای مقاومت سیستمیک در گیاهان زراعی در برابر انواع مختلف بیماری‌های گیاهی می‌باشند، به صورت یکی از مفیدترین روش‌های مهار زیستی آفات و بیماری‌های گیاهی در راستای مدیریت پایدار بوم نظام‌های زراعی درآمده است.

بسیاری از گیاهان بوسیله فعال کردن مکانیسم دفاعی طبیعی‌شان به حمله عامل بیماریزا واکنش نشان می‌دهند اما برخی میکروارگانیسم‌ها به عنوان محرک سیستم دفاعی گیاه میزبان در حضور پاتوژن و حتی قبل از شیوع فعالیت پاتوژن عمل کرده و در نتیجه وقوع بیماری را تحت فشار قرار می‌دهند و به دنبال آن شیوع بیماری متوقف می‌شود. مقاومت سیستمی ایجاد شده یک مکانیزم

کنترل زیستی غیرمستقیم است که مانع سرایت بیماری از طریق تحریک سیستم دفاعی گیاه در مقابل عوامل بیماری‌زا می‌شود. به طور معمول یک ترکیب باکتریایی (که اغلب نوعی متابولیت است) از طریق اتصال به یک گیرنده توسط ریشه یا برگ دریافت می‌شود. این پیام از بخش خارج سلولی به داخل منتقل شده و سیگنالی در داخل سلول بوجود می‌آورد. پس از این مرحله متابولیت یا سیگنال تولید شده توسط سلول به صورت جریانی از سیگنال‌ها در طول گیاه جابجا می‌شود تا در نهایت به سلول‌های هدف رسیده و سبب فعال شدن مقاومت در گیاه میزبان می‌شود. این فعال شدن مقاومت عموماً با تحریک دیواره‌های سلولی و تغییر ساختار آنها و یا رسوب برخی مواد جهت مقابله با عامل بیماری‌زا صورت می‌گیرد. سیستم دفاعی تحریک شده، شامل لیگنینی شدن دیواره‌های سلولی از طریق اتصالات عرضی شیمیایی، شامل اضافه شدن یک دیواره سلولی پتییدی اضافی است که آن را در مقابل سرایت بیماری سخت‌تر می‌کند (رامامورتی، ۲۰۰۱).

۲-۲۰- فعالیت از طریق مجموعه‌ای از سازوکارها

در بسیاری از موارد یک باکتری افزاینده رشد از طریق بیش از یکی از سازوکارهایی که پیشتر بررسی گردیدند، فعالیت می‌کند. همچنانکه ذکر گردید، بسیاری از باکتری‌ها دارای قابلیت تثبیت زیستی نیتروژن، محلول کردن فسفر و تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه می‌باشند که آزوسپیریلیوم نمونه بارزی از این باکتری‌هاست (بانرجی و همکاران، ۲۰۰۶). مطالعات بسیاری اختصاصاً نحوه عمل جمعیت‌های باکتری‌های دارای قابلیت اجرای همزمان چند سازوکار که همراه گیاه میزبان می‌باشند را بررسی کرده‌اند (وسی، ۲۰۰۳). به طوری که ۲۶۶ سویه از باکتری‌ها را مورد بررسی قرار داده و دریافتند که ۸۳ درصد آنها قابلیت تولید سیدروفورها، ۵۸ درصد تولیدکننده اسید ۳- ایندول استیک و ۵۴ درصد دارای توانایی حل کردن فسفات بودند. مطالعات بیانگر این است که باکتری‌های افزاینده رشد گیاه می‌توانند از طریق بیش از یک سازوکار عمل کنند و گویای این واقعیت است که جمعیت باکتری‌های خاک محیط اطراف ریشه گیاهان با اجرای سازوکارهای چندگانه و تأثیر متقابل بر یکدیگر

رشد گیاهان را تحریک می‌کنند. همچنین از این مطالعات چنین می‌توان استنباط نمود که هر یک از باکتری‌ها که یک نوع سازوکار فعالیت داشته، می‌توانند با اثر هم افزایی با یکدیگر رشد گیاه میزبان را افزایش دهند.

۲-۲۱- اثرات متقابل با سایر میکروارگانیسم‌ها

علاوه بر اثرات انفرادی باکتری‌های محرک رشد، تحریک رشد گیاه می‌تواند به وسیله تلقیح دوگانه با سایر میکروارگانیسم‌ها به واسطه اثرات سینرژیستی یا تشدیدکنندگی بهبود یابد. تلقیح مرکب ریزوبیوم همراه با آزوسپیریلیوم یا ازتوباکتر منجر به افزایش تولید ماده خشک، عملکرد دانه و میزان نیتروژن بقولات مختلف در مقایسه با تلقیح با ریزوبیوم به تنهایی شده است (رودلاس و همکاران، ۱۹۹۹). نتایج مثبت حاصل از تلقیح دوگانه بقولات به گره بندی سریع‌تر، افزایش تعداد گره‌ها، میزان تثبیت نیتروژن بیشتر و افزایش توسعه ریشه‌ها نسبت داده شده است. با افزایش تعداد گره‌های فعال، نیتروژن تثبیت‌یافته برای تولید عملکرد بالاتر تحت شرایط زراعی افزایش می‌یابد. اگرچه کاربرد توأم آزوسپیریلیوم و ریزوبیوم همیشه منجر به افزایش گره بندی نمی‌شود و حتی در برخی شرایط توانایی گره بندی ریزوبیوم در گیاه میزبان محدود می‌شود. ضمناً افزایش یا محدود شدن گره بندی به غلظت باکتری و زمان تلقیح بستگی دارد.

کمبود عناصر معدنی اصلی‌ترین عامل محدودکننده تثبیت نیتروژن و تولید عملکرد در بقولات است. تلقیح *vicia faba* با ترکیب‌های مختلف *Rhizobium/Azospirillum* و *Rhizobium/Azotobacter* منجر به افزایش در محتوای کل، غلظت و توزیع عناصر غذایی ماکرو و میکرو K، P، N، Ca، Mg، Fe، B، Mn، Zn و Cu در مقایسه با گیاهان تلقیح یافته با ریزوبیوم شد (رودلاس و همکاران، ۱۹۹۹).

آزمایشات اجرا شده در سیستم هیدروپونیک، نشان داد که تلقیح با آزوسپیریلیوم برازیلنس موجب افزایش ترشح فلاونوئید از ریشه گیاهچه‌های لوبیا شد (بوردمن و همکاران، ۱۹۹۶). فلاونوئیدها در ریشه گیاهان منجر به تظاهر ژن تشکیل گره توسط ریزوبیوم می‌شود. بنابراین افزایش تولید

فلاونوئید توسط ریشه می‌تواند یک فاکتور دیگر در تحریک گره بندی به وسیله باکتری‌های محرک رشد باشد. ازتوباکتر نیز با میکروارگانیسم‌های مختلف دارای روابط سینرژیستی است. تیلاک و همکاران در سال ۱۹۸۲ اثرات تلقیح توأم ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم را روی ماده خشک ذرت و سورگوم به طور مثبت و معنی‌دار گزارش کردند. رای و گاور (۱۹۸۸) در یک آزمایش گلدانی اثرات منفرد و توأم ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم را بر رشد و عملکرد گندم مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این آزمایش نشان داد که تأثیر توأم این دو باکتری بیشتر از اثر منفرد هر یک از آنها است. البته در این میان برخی از گزارشات حاکی از آن است که ازتوباکتر با برخی از میکروارگانیسم‌های خاک روابط آنتاگونیستی دارد. برای مثال می‌توان به کنترل رشد انواعی از قارچ‌ها به وسیله ازتوباکتر اشاره کرد. برخی از سویه‌های ازتوباکتر با سنتز مواد آنتی بیوتیک رشد قارچ‌هایی مانند آلترناریا، هلمینتوسپوریوم و فوزاریوم را در شرایط آزمایشگاهی روی محیط کشت آگار کنترل می‌کنند (سابارائو، ۱۹۸۸).

در آزمایش دیگری اثر سینرژیستی میکوریزا آرباسکولار (AM) با ازتوباکتر و یا آزوسپیریلیوم تلقیح شده با ذرت، جو و چاودار مشاهده شد (باریا و همکاران، ۱۹۸۳؛ سابارائو و همکاران، ۱۹۸۵). قارچ‌های AM می‌توانند از طریق افزایش جذب فسفر و سایر عناصر معدنی رشد گیاه را به خصوص در خاک‌های با حاصلخیزی کم افزایش دهند. در واقع محتوای نیتروژن و فسفر گیاهان تلقیح یافته با آزوسپیریلیوم برازیلنس و میکوریزا آرباسکولار در شرایط بدون استفاده از کود، با گیاهان تلقیح نیافته که کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر دریافت کرده بودند، معادل بود (باریا و همکاران، ۱۹۸۳). باکتری‌های محرک رشد با تأمین ویتامین‌ها در ریزوسفر به افزایش تأثیر میکوریزا کمک می‌نمایند زیرا این قارچ‌ها به ویتامین‌ها وابسته هستند. بنابراین تلقیح با میکوریزا به همراه باکتری‌های محرک رشد تولیدکننده ویتامین منجر به افزایش و بهبود رشد گیاه می‌شود.

۲-۲۲- تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد گیاه بر جنبه‌های مختلف رشد و نمو گیاهان زراعی

با استفاده از میکروارگانیسم‌های خاک و مخصوصاً باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه می‌توان رشد گیاهان را بهبود بخشید. تأثیر گونه‌های مختلف باکتری ازتوباکتر بر رشد و نمو گیاهان از

طریق توانایی تثبیت نیتروژن مولکولی، تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی نظیر اکسین، جیبرلین و سیتوکینین و ترشح این مواد به محیط ریشه و محیط اطراف بذر، همچنین تولید متابولیت‌های ضد قارچی و محلول کردن فسفر خاک شناخته شده است. همچنین اثرات مفید تلقیح با باکتری ازتوباکتر کروکوکوم بر عملکرد غلات، بقولات، دانه‌های روغنی، سبزیجات، صیفیجات و گیاهان مختلف دیگر توسط بسیاری از محققین بررسی و گزارش شده است (مرکواکی و میلیک، ۲۰۰۱). باکتری‌های جنس آزوسپیریلیوم نیز از طریق همیاری با ریشه، موجب تثبیت زیستی نیتروژن، تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی و مهار زیستی بیمارگرهای گیاهی می‌شوند. اثرات مثبت تلقیح با این باکتری‌ها بر رشد و عملکرد برخی از گیاهان زراعی از جمله ذرت بررسی و گزارش گردیده است (باشان و هولگوئین، ۱۹۹۷).

۲-۲۳- تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد گیاه بر جوانه‌زنی بذر و ظهور گیاهچه

نخستین شواهد در مورد تأثیر افزاینده مواد مترشحه از باکتری‌ها بر جوانه‌زنی بذر را حسین و وانکورا (۱۹۷۰) بدست آوردند. آنها مشاهده کردند که برخی از باکتری‌های محیط اطراف ریشه به طور معنی‌داری درصد جوانه‌زنی بذرها از جمله بذر ذرت را افزایش می‌دهند. در آزمایش دیگری ازتوباکتر با تولید انواع هورمون‌های گیاهی مانند اسید ایندول استیک، جوانه‌زنی در ذرت را به میزان ۷۰ درصد افزایش داده است و نیز باعث افزایش تحریک رشد ریشه‌های موئین و جذب سطحی عناصر غذایی گردیده است (فورلانی و همکاران، ۱۹۹۵). برای نخستین بار کلوپر و همکاران (۱۹۸۶) سویه‌هایی از این باکتری‌ها را یافتند که در شرایط گلخانه درون گلدان‌های حاوی محیط کشت خاکی و نیز در مزرعه موجب افزایش ظهور گیاهچه‌های سویا و کلزا می‌شدند. آنها این باکتری‌ها را باکتری‌های افزاینده ظهور گیاهچه نامیدند. این باکتری‌ها سرعت ظهور گیاهچه‌ها و استقرار بوته‌ها را افزایش دادند. بررسی‌های انجام شده بر روی کلزا مشخص ساخت که تحت شرایط مزرعه نیز این باکتری‌ها سرعت ظهور گیاهچه را افزایش می‌دهند. این افزایش همراه با توسعه قابل ملاحظه سطح برگ گیاهچه‌ها بوده است. همچنین، مشخص گردید که باکتری‌های افزاینده ظهور گیاهچه به کار برده

شده برای سویا و کلزا چنین اثری را در سایر محصولات زراعی از قبیل ذرت، گندم، گوجه فرنگی، هویج، یونجه و لوبیا سفید نیز نشان دادند. تحقیقات حافظ و همکاران (۲۰۰۴) نیز ظهور سریعتر گیاهچه‌های ارقام پنبه بر اثر تلقیح بذر با باکتری‌های افزاینده رشد گیاه از جمله ازتوباکتر را گزارش کردند. آنها ترشح اسید ایندول ۳- استیک توسط این باکتری را در بروز این پاسخ موثر دانسته‌اند.

۲-۲۴- تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد گیاه بر رشد ریشه و ساقه و ویژگی‌های مرتبط

افزایش طول و سطح ریشه بر اثر کاربرد این باکتری‌ها با توجه به تأثیر این ویژگی‌ها بر توان نفوذ و جستجوی ریشه در حجم زیادتری از خاک، یکی از مهم‌ترین اثرات و سازوکارهای فعالیت این باکتری‌ها محسوب می‌شود (زهیر و همکاران، ۲۰۰۴).

باکتری ازتوباکتر به عنوان یک باکتری هتروتروف، نیازمند مقادیر زیادی کربن قابل استفاده برای بقا در خاک می‌باشد که این نیازمندی خود را از طریق ترشحات بذر و ریشه تأمین می‌نماید. به طوری که طی پژوهشی مارتینز- تولدو و همکاران (۱۹۸۸) نشان دادند که ترشحات ریشه ذرت، در صورت اضافه شدن ازتوباکتر کروکوکوم به محیط کشت، سنتز اکسین، جیبرلین و سیتوکنین به وسیله باکتری را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد و علت آن را به مناسب بودن ترشحات ریشه‌ای به عنوان یک منبع کربنی برای رشد ازتوباکتر نسبت دادند. مشخص گردیده که ترشحات ریشه ذرت شامل قندهای ساکارز، ریبوز، گلوکز، فروکتوز و انواع اسیدهای کربوکسیلیک مانند اسید سیتریک، لاکتیک، مالیک، تارتاریک و غیره می‌باشد. بایودوین و همکاران (۲۰۰۲) مشاهده کردند که بر اثر تغییرات مواد مترشحه از ریشه ذرت در محیط اطراف ریشه در سه ناحیه نوک ریشه، ناحیه طویل شدن تارهای موئین و ناحیه پیدایش تارهای موئین توانمندی‌های متابولیک باکتری‌ها در مراحل مختلف رشد و نموی ذرت افزایش یافت. تحقیقات نشان داده است که تلقیح گیاهان با آزوسپیریلیوم باعث افزایش تقسیم سلولی در ریشه‌ها، تغییر مورفولوژی ریشه، افزایش تارهای کشنده و افزایش جذب آب و مواد غذایی توسط گیاهان شده است (اسپاینک، ۲۰۰۰). کارلتی (۲۰۰۲) نشان داد که این باکتری‌ها از

طریق سنتز هورمون‌های محرک رشد مثل ایندول استیک اسید، جیبرلین‌ها و سیتوکنین‌ها باعث افزایش رشد گیاه، درصد جوانه‌زنی بذرها، ریشه‌زایی و گسترش ریشه‌ها می‌گردند. نتایج پژوهش دیگری نشان می‌دهد که ازتوباکتر با ترشح اسید ایندول استیک باعث افزایش طول ریشه گیاهان می گردد (احمد و همکاران، ۲۰۰۵). فالیک و همکاران (۱۹۹۴) گزارش کردند که تلقیح بذر با باکتری آزوسپیریلیوم برازیلنس سبب افزایش تعداد تارهای موئین ریشه و در نتیجه افزایش سطح ریشه شد. طی تحقیقاتی زهیر و همکاران (۲۰۰۰) افزایش طول و وزن خشک ریشه ذرت را بر اثر کاربرد باکتری‌های تولیدکننده اکسین گزارش کردند. همچنین افزایش ۱۸ درصدی وزن خشک ساقه ذرت بر اثر تلقیح با ازتوباکتر را گزارش کردند. تحقیقات مولا و همکاران (۲۰۰۱) نشان داد که تلقیح ریشه سویا با باکتری آزوسپیریلیوم برازیلنس موجب افزایش ۶۳ درصدی وزن خشک ریشه می‌شود. طی تحقیقی باشان (۱۹۹۰) نیز مشاهده کرد که تلقیح آزوسپیریلیوم، وزن خشک ریشه و اندام هوایی را در سویا و گندم افزایش داد و باعث بهبود جذب عناصر معدنی در آنها شد. برخی محققان معتقدند که آزوسپیریلیوم موجب افزایش رشد ریشه شده و در نتیجه باعث افزایش دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی می‌گردد، بدین ترتیب رشد بخش هوایی را افزایش می‌دهد (رائو، ۱۹۸۶؛ پاکووسکی، ۱۹۹۰).

۲-۲۵- تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد گیاه بر عملکرد علوفه، دانه، اجزای آن و ویژگی‌های مرتبط

طی پژوهشی روهیتاشاو-سینگ و همکاران (۱۹۹۳) بذرهای ذرت را با باکتری ازتوباکتر کروکوکوم تلقیح کرده و با کشت آنها در مزرعه همراه با بذرهای تلقیح نشده به عنوان شاهد طی یک آزمایش مزرعه‌ای دو ساله تحت تیمارهای مختلف مصرف یا عدم مصرف نیتروژن ملاحظه کردند که بر اثر تلقیح، عملکرد ماده خشک علوفه، نسبت برگ‌های سبز هر بوته و میزان فسفات ساقه افزایش یافته است. مطالعات مزرعه‌ای اجرا شده توسط کاپولنیک و همکاران (۱۹۸۲) نیز نشان داد که تحت شرایط تلقیح بذر با باکتری آزوسپیریلیوم، رشد رویشی و زایشی ذرت تحت تأثیر قرار گرفته و ارتفاع بوته، وزن تر و خشک علوفه تولیدی، تعداد بلال‌های هر بوته و عملکرد بلال افزایش یافتند. ناندا و همکاران

(۱۹۹۵) با اجرای آزمایش مزرعه‌ای مشاهده کردند که تلقیح بذر ذرت با باکتری های ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم سبب افزایش عملکرد علوفه سبز در تیمارها شد. پژوهش‌های اخیر، تأثیر مثبت کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد گیاه را بر کمیت و کیفیت دانه ذرت مشخص ساخته‌اند به طوری که حسین و همکاران (۱۹۸۷)، استانچیوا و همکاران (۱۹۹۲) و جاوید و همکاران (۱۹۹۸)، افزایش عملکرد دانه ذرت را در اثر تلقیح بذر با باکتری‌های ازتوباکتر کروکوکوم، آزوسپیریلیوم برازیلنس و سودوموناس فلورسنس گزارش نمودند. بررسی‌های حسین و همکاران (۱۹۸۷) نیز افزایش ۱۶ درصدی عملکرد دانه ذرت بر اثر تلقیح بذر با باکتری‌های جنس ازتوباکتر را نشان داد. گزارش شده است که یکی از دلایل افزایش رشد گیاهان مختلف تحت تأثیر ازتوباکتر، تولید انواع هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، سیتوکنین، جیبرلین و کنترل بیماری‌های گیاهی توسط این باکتری می‌باشد (کارلتی، ۲۰۰۲). همچنین فولچیری و فریونی (۱۹۹۴) افزایش ۵۹ درصدی عملکرد دانه ذرت را با افزایش تعداد دانه‌های بلال تا دو برابر نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) در اثر تلقیح بذر با مایه تلقیح دارای دو سویه باکتری آزوسپیریلیوم برازیلنس و یک سویه آزوسپیریلیوم لیپوفروم گزارش کردند. هرناندز و همکاران (۱۹۹۵) افزایش عملکرد توأم با افزایش تعداد بلال را در اثر تلقیح بذر ذرت با باکتری سودوموناس فلورسنس گزارش نمودند. بر طبق نتایج بدست آمده از شیندی و آپته (۱۹۸۲) در رابطه با واکنش گیاه ذرت نسبت به تلقیح توسط *A.chroococcum* در هندوستان، افزایش عملکرد از ۳۵/۵ تا ۷۱/۷ درصد بدست آمد. پاندی و همکاران (۱۹۹۸) نیز افزایش عملکرد حاصل از تأثیر ازتوباکتر را در گیاه ذرت گزارش نمودند. میشرا و همکاران (۱۹۹۸)، همچنین پاندی و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که تلقیح با آزوسپیریلیوم عملکرد و وزن خشک دانه را در گیاه ذرت افزایش داد. ساریج و همکاران (۱۹۸۸) نیز در مطالعه دیگری گزارش کردند که تلقیح با آزوسپیریلیوم ۲۵ تا ۲۸ درصد محصول سورگوم را افزایش داد. ماستیهولی و ایتنال (۱۹۹۷) افزایش در وزن صد دانه سورگوم تلقیح یافته با سویه‌های آزوسپیریلیوم را گزارش کردند. بررسی زهیر و همکاران (۱۹۹۸) نیز مشخص کرد که در اثر

تلقیح بذرهای ذرت با باکتری‌های ازتوباکتر و سودوموناس وزن هزار دانه به میزان ۹/۶ درصد افزایش یافت.

گزارش شده است که افزایش در وزن کل گیاه به وسیله ریزوباکترها به واسطه افزایش در جذب عناصر غذایی و در نتیجه رشد بهتر گیاه می‌باشد (زاید و همکاران، ۲۰۰۳). کوهن و همکاران (۱۹۸۰) افزایش در وزن خشک بخش هوایی ذرت در اثر تلقیح با آزوسپیریلیوم را گزارش کردند. تأثیر تلقیح با آزوسپیریلیوم در افزایش عملکرد کل، در گیاهان رشد یافته در مزرعه به طور معمول در حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد گزارش شد (رائو و همکاران، ۱۹۸۳؛ واتاناب و لین، ۱۹۸۴). همچنین تیلاک و همکاران (۱۹۸۲) اثرات تلقیح توأم ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم را روی ماده خشک ذرت و سورگوم به طور مثبت و معنی‌دار گزارش کردند.

افزایش ارتفاع گیاه در اثر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد گیاه در گونه‌های غلات و غیرغلات توسط برخی محققین گزارش شده است (میلت و فلدمن، ۱۹۸۶؛ وارمبورگ و همکاران، ۱۹۸۷). طی آزمایشی زهیر و همکاران (۱۹۹۸) افزایش ۸/۵ درصدی ارتفاع بوته ذرت را که بذرهای آن با باکتری ازتوباکتر و سودوموناس تلقیح شده بودند را گزارش کردند. کاپولنیک و همکاران (۱۹۸۲) نیز افزایش ارتفاع بوته ذرت را با تلقیح بذر توسط باکتری آزوسپیریلیوم گزارش کردند. بورد و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که ریزوباکترهای محرک رشد می‌توانند ارتفاع بوته و توانایی تولید در گیاه را از طریق تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش دسترسی به عناصر غذایی، تسهیل در جذب مواد غذایی توسط گیاه، کاهش سمیت فلزات سنگین و القاء مقاومت سیستمیک علیه عوامل بیماری‌زا افزایش دهند. در تحقیقی زهیر و همکاران (۱۹۹۸) افزایش ۲۰/۶ درصدی طول بلال را در اثر تلقیح بذر با باکتری‌های جنس ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم نسبت به شاهد (عدم تلقیح بذر) گزارش کردند. برخی محققین در بررسی اثر انواع باکتری‌های محرک رشد، افزایش ۳۱/۴۱ تا ۲۱۸/۰۹ درصدی طول سنبله گندم در مقایسه با شاهد را گزارش کردند (شاکات و همکاران، ۲۰۰۶).

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱- زمان و محل اجرای آزمایش

این آزمایش در سال ۱۳۸۹- ۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود در منطقه بسطام به اجرا درآمد.

۳-۲- موقعیت شهرستان شاهرود از نظر جغرافیایی

شهرستان شاهرود در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه شمالی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۴۹/۱ متر است.

جدول ۳-۱- مختصات جغرافیایی محل مورد آزمایش

مختصات مملکتی			موقعیت جغرافیایی	
X	Y	Z	عرض(λ)	طول(φ)
۵۲۶/۸	۱۳۲۵	۱۳۴۹/۱	۳۶ درجه، ۲۵ دقیقه شرقی	۵۴ درجه، ۵۷ دقیقه شمالی

۳-۳- خصوصیات خاک مزرعه مورد آزمایش

قبل از انجام عملیات آماده سازی زمین و اجرای نقشه آزمایش، به منظور تعیین بافت خاک و وضعیت عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم از عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری در ۱۰ نقطه از خاک مزرعه نمونه برداری‌هایی به طور تصادفی صورت گرفت. برای این منظور از هر نقطه معادل یک

کیلوگرم خاک جدا گردید، سپس نمونه‌های جمع آوری شده را روی هم ریخته و مخلوط کرده و نهایتاً یک نمونه مرکب یک کیلوگرمی که در برگیرنده کل نمونه‌هاست جهت تجزیه به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک در جدول (۳-۲) نشان داده شده است . با توجه به تجزیه فیزیکی و درصد هر یک از اجزای خاک، بافت خاک از نوع لومی تعیین گردید.

جدول ۳-۲- نتایج تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه

عوامل مورد تجزیه	نتیجه آزمون
قابلیت هدایت الکتریکی(EC) (دسی زیمنس)	۰/۶۹
اسیدیته خاک (pH)	۷/۹۹
درصد کربن آلی	۰/۱۹
درصد مواد آلی	۰/۳۳
کلسیم و منیزیم (me/l)	۵۵
کلسیم قابل جذب (me/l)	۳۳
منیزیم قابل جذب (me/l)	۲۲
نیتروژن قابل جذب (ppm)	۰/۰۴
فسفر قابل جذب (ppm)	۱۰
پتاسیم قابل جذب (ppm)	۶/۴

۳-۴- نوع و قالب طرح آزمایشی

آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار اجرا شد. هر تکرار شامل ۱۲ کرت بود که با احتساب ۴ تکرار تعداد کرت‌ها ۴۸ عدد بود. عوامل مورد بررسی عبارت بودند از: کود گاوی در سه سطح: A_1، A_2 و A_3 به ترتیب ۰، ۵ و ۱۰ تن در هکتار، ازتوباکتر در دو سطح: بدون تلقیح B_1 و با تلقیح B_2 و آزوسپیریلیوم در دو سطح: بدون تلقیح C_1 و با تلقیح C_2.

۳-۵- مشخصات مواد آزمایشی

رقم ذرت دانه‌ای مورد استفاده در این آزمایش دابل کراس ۳۷۰ بود که از بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه گردید. باکتری‌های مورد استفاده در این آزمایش *Azotobacter chroococcum* و *Azospirillum lipoferum* بودند که هر دو از باکتری‌های طبیعی و بومی خاک‌های کشور بوده که از بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شد که دارای 10^8 CFU/ml باکتری بود. عامل بعدی کود گاوی کاملاً پوسیده بود.

جدول ۳-۳- نتایج تجزیه شیمیایی کود دامی مورد استفاده در آزمایش

Ca mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg	Cu mg/kg	K mg/kg	P mg/kg	N %	o.c %	PH
3419	5431	424	96	32	6937	4123	0.53	15.9	7.8

۳-۶- عملیات اجرایی

۳-۶-۱- نقشه کشت

همان‌طور که اشاره شد این آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی در این طرح عبارت بودند از:

کود گاوی در سه سطح: A_1، A_2 و A_3 به ترتیب ۰ ، ۵ و۱۰ تن در هکتار

ازتوباکتر در دو سطح: بدون تلقیح B_1 و با تلقیح B_2

آزوسپیریلیوم در دو سطح: بدون تلقیح C_1 و با تلقیح C_2.

هر کرت آزمایشی از ۴ ردیف ۶ متری به فواصل ۰/۷ متر از یکدیگر تشکیل گردید و فاصله بذور روی ردیف‌ها ۰/۲ متر در نظر گرفته شد.

شکل ۳-۱- نقشه کشت

A1 B1 C1	A3 B2 C2	A2 B1 C1	A1 B1 C2	A2 B1 C2	A2 B2 C1	A3 B1 C2	A1 B2 C2	A3 B2 C1	A1 B2 C1	A3 B1 C1	A2 B2 C2
A2 B1 C2	A1 B1 C1	A3 B1 C2	A2 B1 C1	A1 B1 C2	A3 B2 C1	A1 B2 C2	A2 B2 C2	A3 B2 C2	A3 B1 C1	A2 B2 C1	A1 B2 C1
A3 B1 C2	A2 B1 C2	A1 B1 C2	A3 B2 C1	A2 B2 C1	A1 B2 C1	A2 B2 C2	A1 B1 C1	A2 B1 C1	A1 B2 C2	A3 B2 C2	A3 B1 C1
A1 B1 C2	A2 B2 C2	A3 B2 C2	A1 B2 C2	A3 B2 C1	A3 B1 C2	A2 B1 C1	A2 B1 C2	A3 B1 C1	A1 B1 C1	A1 B2 C1	A2 B2 C1

۳-۶-۲- عملیات آماده سازی زمین و کاشت بذور

به منظور آماده سازی زمین یک شخم عمیق در پاییز و یک شخم سطحی در بهار زده شد و پس از آن دو بار دیسک عمود بر هم زده و تسطیح شد. به وسیله فاروئر پشته‌هایی به فواصل ۷۰ سانتی‌متر ایجاد گردید. سپس اندازه کرت‌ها در آن مشخص شد و پس از آن جوی‌های آبیاری تعبیه گردیدند. به منظور عدم اختلاط آب آبیاری تیمارها با یکدیگر بین هر دو تیمار یک خط نکاشت در نظر گرفته شد و محل تیمارهای مورد نظر به صورت تصادفی مشخص شد. همچنین به منظور عدم اختلاط آب هر تکرار با تکرار بعدی، دو جوی در نظر گرفته شد که یکی از آنها به منظور تخلیه آب اضافی تکرار بالایی و دیگری به منظور ورود آب از نهر کنار زمین به تکرار بعدی تعبیه شده بود. کود دامی کاملاً پوسیده قبل از کاشت به شکل ردیفی طبق مقادیر تعیین شده برای هر تیمار به خاک

تمام کرت‌های مورد نظر اضافه و به طور کامل با خاک مخلوط شدند. پس از انجام عملیات زراعی، در زمان مناسب و در وسط هر پشته، کاشت بذور به فاصله ۲۰ سانتی‌متر در تاریخ ۷ تیر انجام گرفت.

۳-۶-۳- عملیات داشت

الف- آبیاری: نخستین آبیاری بلافاصله پس از کاشت بذور انجام شد به صورتی که پشته‌ها کاملاً خیس شدند. آبیاری‌های بعدی هم در طول فصل رشد هر هفت روز یک بار انجام گردید.

ب- واکاری: بعد از جوانه‌زنی و ظهور گیاه، در نقاطی که سبز شدن بذور با مشکل مواجه شده بود اقدام به واکاری شد.

ج- تنک: با توجه به اهمیت تراکم بوته، تنک کردن در مرحله ۷-۴ برگی گیاهچه‌ها و با حفظ یک بوته سالم و قوی و حذف دیگر بوته‌ها اجرا شد.

د- مبارزه با علف‌های هرز: جهت دفع علف‌های هرز روی خطوط کاشت و بین ردیف‌ها هر دو هفته یکبار وجین به وسیله کارگر انجام گرفت.

۳-۶-۴- نمونه برداری و اندازه‌گیری‌ها

با توجه به زمان کاشت، اولین نمونه برداری بوته‌ها در تاریخ ۸ مرداد ماه، حدوداً یک ماه پس از کاشت صورت پذیرفت و نمونه گیری‌های بعدی هر ۱۵ روز یکبار انجام شد. در زمان نمونه برداری از ابتدا و انتهای هر کرت ۰/۵ متر به عنوان حاشیه حذف گردید و در هر مرحله نمونه برداری از هر کرت آزمایشی، ۴ بوته به صورت تصادفی از دو ردیف وسط برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. قطع بوته ها از سطح خاک و از ناحیه طوقه انجام گرفت. در آزمایشگاه بوته‌ها به اجزای آن تفکیک و با ترازوی حساس با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. وزن خشک بوته‌ها و اندام‌های آن پس از خشک شدن در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا مرحله رسیدن به وزن ثابت، توزین و ثبت شد. جهت تعیین میزان سطح برگ از فرمول (بیشترین طول × بیشترین عرض برگ × ۰/۷۵) استفاده شد.

۳-۶-۵- برداشت نهایی

بوتـه‌ها در انتهای دوره رشد پس از رسیدگی فیزیولوژیکی از مساحت ۱/۵ متـر مربع جهت اندازه‌گیری عملکرد نهایی و اجزای عملکرد برداشت شدند و سپس به آزمایشگاه انتقال یافتند. در آخرین نمونه برداری برخی صفات مانند تعداد دانه در بلال، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، وزن بلال، عملکرد بیولوژیک ، طول بلال، ارتفاع گیاه، شاخص برداشت، تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، وزن و قطر چوب بلال نیز اندازه‌گیری شد.

۳-۶-۶- برآورد شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد

شاخص سطح برگ از نسبت کل سطح برگ به سطح زمین پوشش داده شده بدست می‌آید. به همین منظور با تعیین سطح برگ بوته‌ها در هر مرحله و با توجه به مساحت نمونه برداری، میزان LAI محاسبه گردید. واژه شاخص سطح برگ توسط واتسون در سال ۱۹۷۴ ارائه گردید و طبق تعریف عبارت است از نسبت سطح برگ گیاه به سطح زمینی که روی آن سایه می‌اندازد. از آنجا که تشعشع خورشیدی به طور یکنواختی روی سطح زمین پخش می‌شود لذا LAI یک معیار تقریبی از مساحت برگ‌ها در واحد سطح است که تشعشع خورشید برای آنها قابل‌دسترس می‌باشد. به عبارت ساده‌تر، LAI نشان می‌دهد که در یک متر مربع زمین چند متر مربع برگ وجود دارد. میزان سطح برگ تعیین کننده ظرفیت فتوسنتزی گیاه است و افزایش شاخص سطح برگ به دلیل ارتباط تنگاتنگ و مثبتی که با جذب تشعشع دارد، عملکرد ماده خشک را افزایش می‌دهد و این همبستگی تا رسیدن به شاخص سطح برگ بحرانی ادامه دارد. ناموکو و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که افزایش سطح برگ تعیین‌کننده سرعت رشد گیاه و قابلیت رقابت گیاهان در ابتدای فصل رشد می‌باشد. در واقع افزایش سطح برگ یک عامل مهم سازگاری به منظور استقرار سریع‌تر قسمت‌های فتوسنتزی گیاه است که باعث رشد سریع‌تر و رقابت بهتر با گیاهان همجوار گیاه اصلی می‌شود. اندازه‌گیری شاخص سطح برگ در طول دوره رشد گیاه در شش مرحله صورت گرفت.

سرعت رشد محصول نمایانگر میزان تجمع ماده خشک در گیاهان در یک واحد زمانی مشخص در واحد سطح خاک می‌باشد و از رابطه $CGR=(w_2-w_1)/\{S_A(t_2-t_1)\}$ حاصل می‌شود که در آن w_1 و w_2 وزن خشک گیاه در زمان‌های t_1 و t_2 و S_A مساحت خاک است (آسکوا، ۲۰۰۲). برای محاسبه این شاخص رشد هر ۱۵ روز یکبار نمونه‌برداری انجام گرفت. بدین صورت که ۴ بوته ذرت که نمایانگر کل کرت بود با حذف حاشیه‌ها از خطوط میانی واحدهای آزمایشی برداشت شدند و بوته‌های مذکور در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند و پس از ۴۸ ساعت وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد و سپس با استفاده از رابطه فوق سرعت رشد گیاه برای آنها محاسبه شد.

سرعت رشد نسبی بیان‌کننده وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در یک فاصله زمانی معین است که در هر بار نمونه برداری طبق معادله زیر محاسبه گردید.

$$RGR=(\ln w_2-\ln w_1)(T_2-T_1)$$

سرعت جذب خالص عبارت است از سرعت تجمع ماده خشک در واحد سطح برگ در زمان معین. در واقع این صفت معیاری از مدل کارایی فتوسنتزی برگ‌ها در یک جامعه گیاهی می‌باشد که از تقسیم سرعت رشد محصول بر شاخص سطح برگ در هر بار نمونه برداری محاسبه گردید.

$$NAR=CGR/LAI$$

وزن خشک کل بیانگر کل بیوماس گیاه به صورت خشک می‌باشد و به عنوان کمیتی که مشخص کننده رشد گیاه است به کار می‌رود.

$TDW=$ مجموع وزن خشک تک تک اجزاء بوته

۳-۶-۷- تجزیه آماری داده‌ها

در این تحقیق تجزیه واریانس اعداد خام با استفاده از نرم افزارهای MSTATC و SAS انجام شد و سپس مقایسه میانگین صفات مورد بررسی به روش آزمون LSD در سطح ۵ درصد انجام گرفت. نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار Excell ترسیم شدند.

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴- نتایج و بحث

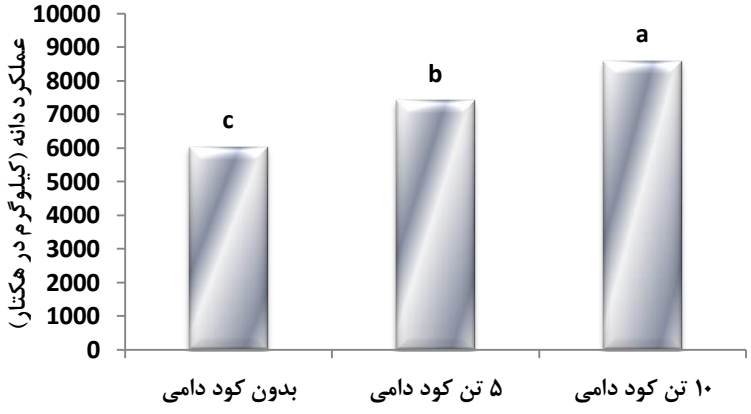
این بخش شامل نتایج حاصل از تجزیه واریانس ۱۲ صفت اندازه‌گیری شده و بررسی اثر تیمارها بر روند تغییرات برخی از شاخص‌های رشد می‌باشد. صفات مورد بررسی شامل عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بلال وزن بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، طول بلال، ارتفاع گیاه، وزن چوب بلال، قطر چوب بلال، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت می‌باشند. همچنین شاخص‌های رشد مورد بررسی شامل شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، تجمع ماده خشک و سرعت جذب خالص بودند.

۴-۱- نتایج حاصل از تجزیه واریانس

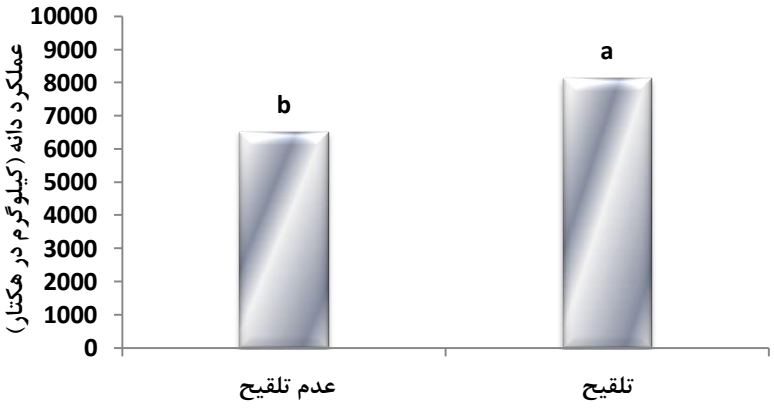
۴-۱-۱- عملکرد دانه

مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۴) بین سطوح مختلف کود دامی از نظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود دارد. مقایسه میانگین عملکرد دانه در سطوح مختلف کود دامی (شکل۴-۱) نشان داد که با افزایش کود دامی، عملکرد دانه نیز افزایش یافت به طوری که بالاترین میزان عملکرد دانه مربوط به سطح کودی ۱۰ تن کود دامی در هکتار بود. مجیدیان و همکاران (۱۳۸۷) نیز افزایش عملکرد دانه ذرت را در اثر کاربرد ۱۵ تن کود دامی در هکتار در یک سیستم ارگانیک گزارش کردند. حسن‌زاده قورت تپه و قلاوند (۱۳۸۴) گزارش کردند که در سیستم تغذیه تلفیقی کودهای ارگانیک و شیمیایی، افزایش کود دامی از ۶ به ۳۰ تن در هکتار باعث افزایش عملکرد دانه آفتابگردان شد.

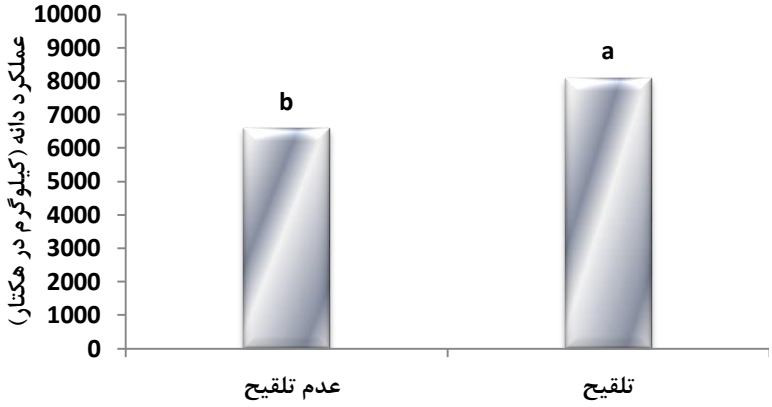
نتایج تجزیه واریانس (جدول۴-۴) نشان داد که تأثیر تلقیح بذر با باکتری ازتوباکتر بر عملکرد دانه در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. مقایسه میانگین عملکرد دانه (شکل۴-۲) نشان می‌دهد که تلقیح بذر با ازتوباکتر به طور قابل ملاحظه‌ای عملکرد دانه را افزایش می‌دهد. بررسی‌های حسین و همکاران (۱۹۸۷) نیز افزایش ۱۶ درصدی عملکرد دانه ذرت بر اثر تلقیح بذر با باکتری‌های جنس ازتوباکتر را نشان داد. پاندی و همکاران (۱۹۹۸) افزایش عملکرد حاصل از تأثیر ازتوباکتر را در گیاه ذرت گزارش نمودند. بر طبق نتایج بدست آمده از شیندی و آپته (۱۹۸۲) در رابطه با واکنش گیاه ذرت نسبت به تلقیح توسط *A.chroococcum* در هندوستان، افزایش عملکرد از ۳۵/۵ تا ۷۱/۷ درصد بدست آمد. گزارش شده است که یکی از دلایل افزایش رشد و عملکرد دانه ذرت تحت تأثیر ازتوباکتر، تولید انواع هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، سیتوکنین و جیبرلین می‌باشد (مارتین و همکاران، ۱۹۷۶). البته نظر به قابلیت تثبیت زیستی نیتروژن و محلول کردن فسفر خاک توسط این باکتری‌ها، نمی‌توان افزایش عملکرد در اثر بهبود تغذیه گیاه را نادیده گرفت. همچنین نتایج تجزیه واریانس (جدول۴-۴) نشان می‌دهد که تأثیر تلقیح بذر با باکتری آزوسپیریلیوم بر عملکرد دانه در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. مقایسه میانگین عملکرد دانه (شکل۴-۳) نشان می‌دهد که تلقیح بذر با آزوسپیریلیوم به طور معنی‌داری عملکرد دانه را افزایش می‌دهد. میشرا و همکاران (۱۹۹۸) نیز گزارش کردند که تلقیح بذر با آزوسپیریلیوم عملکرد و وزن خشک دانه را در گیاه ذرت افزایش داد.



شکل ۴-۱- تأثیر کود دامی بر عملکرد دانه



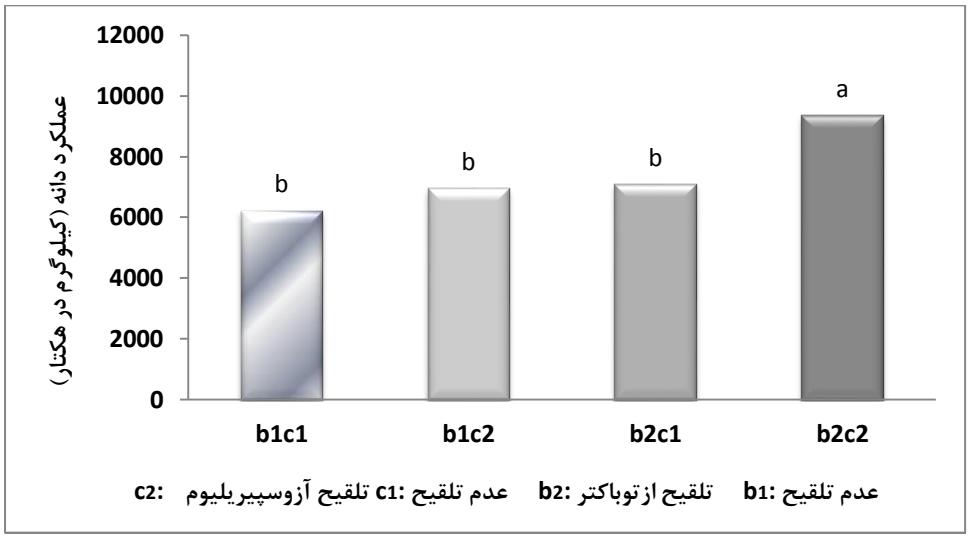
شکل ۴-۲- تأثیر ازتوباکتر بر عملکرد دانه



شکل ۴-۳- تأثیر آزوسپیریلیوم بر عملکرد دانه

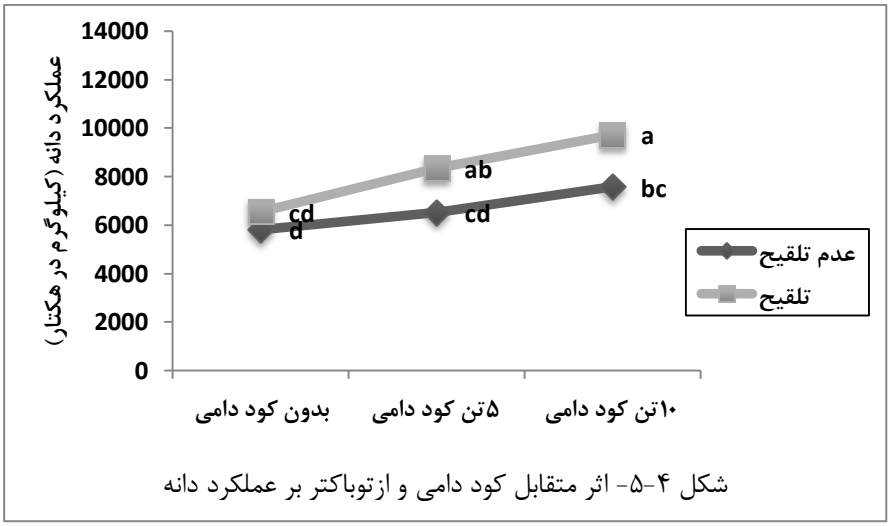
مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۴) اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر عملکرد دانه در سطح ۱٪ معنی‌دار شد به طوری که کاربرد توأم این دو باکتری موجب افزایش ۵۰ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) گردید (شکل۴-۴). رای و گاور در سال ۱۹۸۸ در یک آزمایش گلدانی اثرات منفرد و توأم این دو باکتری را بر رشد و عملکرد گندم مورد مطالعه قرار داده و مشاهده کردند که اثرات توأم دو باکتری بیشتر از تأثیر منفرد هر باکتری است که می‌تواند نشان‌دهنده اثرات تشدیدکنندگی بین باکتری‌ها باشد. تیلاک و همکاران (۱۹۸۲) افزایش عملکرد دانه در اثر تلقیح بذر با باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم را گزارش کردند. حسین و همکاران (۱۹۸۷) و استانچیوا و همکاران (۱۹۹۲)، افزایش عملکرد دانه ذرت را در اثر تلقیح بذر با باکتری‌های ازتوباکتر کروکوکوم و آزوسپیریلیوم برازیلنس گزارش نمودند. جاوید و همکاران (۱۹۹۸) نیز با اجرای یک آزمایش مزرعه‌ای

افزایش ۱۸/۹ درصدی عملکرد دانه ذرت را در اثر تلقیح بذر با ۱۱ سویه از باکتری‌های افزاینده رشد گیاه مشاهده کردند.

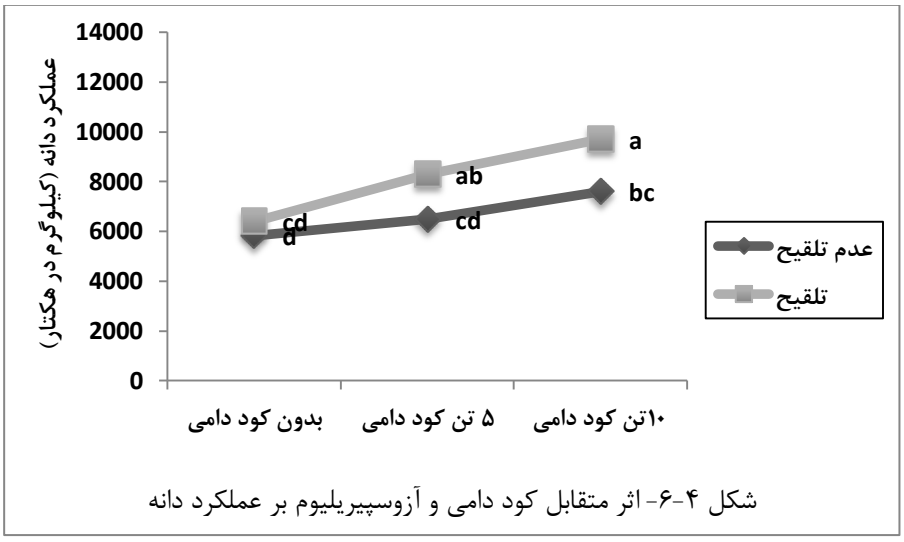


شکل ۴-۴- اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر عملکرد دانه

مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۴) اثر متقابل کود دامی و ازتوباکتر و کود دامی و آزوسپیریلیوم بر عملکرد دانه در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد و مطابق شکل (۴-۵) و (۴-۶) مشاهده می‌گردد که با افزایش میزان کود دامی عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد اما این افزایش در گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم به مراتب بیشتر از گیاهان تلقیح نشده می‌باشد. در یک آزمایش مزرعه‌ای تلقیح ازتوباکتر همراه با کود دامی، عملکرد گندم را به میزان ۳۷/۲ درصد افزایش داد (ساندرا و همکاران، ۱۹۶۲). همچنین مارتین و همکاران (۱۹۷۶) به این نتیجه رسیدند که تلقیح ازتوباکتر به ویژه همراه با کود دامی روی عملکرد ذرت تأثیر مثبت می‌گذارد. در بررسی اثرات سه‌گانه کود دامی، ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر عملکرد دانه (جدول۴-۴) مشاهده می‌شود که اثرات سه‌گانه این عامل ها در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین ها (جدول۴-۱) نشان می‌دهد که بیشترین عملکرد دانه در گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم در سطح ۱۰ تن کود دامی با میزان تولید ۱۱۲۹۷/۳ کیلوگرم در هکتار حاصل شد و کمترین عملکرد دانه در گیاهان تلقیح نشده با این باکتری‌ها و بدون کاربرد کود دامی (شاهد) مشاهده گردید.



شکل ۴-۵- اثر متقابل کود دامی و ازتوباکتر بر عملکرد دانه



شکل ۴-۶- اثر متقابل کود دامی و آزوسپیریلیوم بر عملکرد دانه

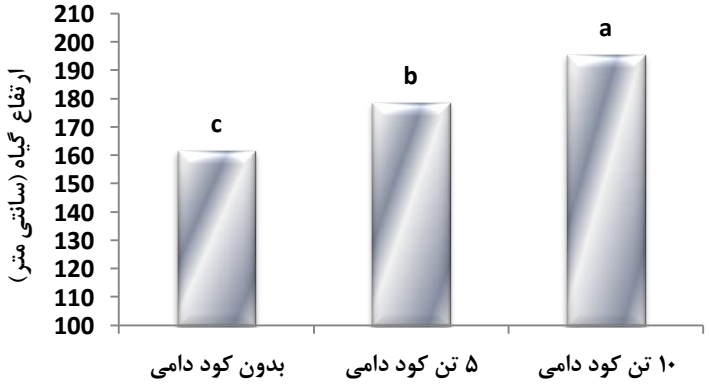
جدول ۴-۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کود دامی، ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)

بدون کود دامی	بدون ازتوباکتر	بدون آزوسپیریلیوم	d	۵۴۵۴/۸
		تلقیح آزوسپیریلیوم	cd	۶۱۶۵/۶
	تلقیح ازتوباکتر	بدون آزوسپیریلیوم	cd	۶۱۷۹/۷
		تلقیح آزوسپیریلیوم	cd	۶۳۱۸
۵ تن کود دامی	بدون ازتوباکتر	بدون آزوسپیریلیوم	cd	۵۸۸۱/۴
		تلقیح آزوسپیریلیوم	bcd	۶۵۵۶/۳
	تلقیح ازتوباکتر	بدون آزوسپیریلیوم	bcd	۶۸۰۵/۳
		تلقیح آزوسپیریلیوم	a	۹۹۸۳/۳
۱۰ تن کود دامی	بدون ازتوباکتر	بدون آزوسپیریلیوم	b	۷۳۰۹/۶
		تلقیح آزوسپیریلیوم	b	۸۰۳۷/۲
	تلقیح ازتوباکتر	بدون آزوسپیریلیوم	b	۸۲۰۳/۵
		تلقیح آزوسپیریلیوم	a	۱۱۲۹۷/۳

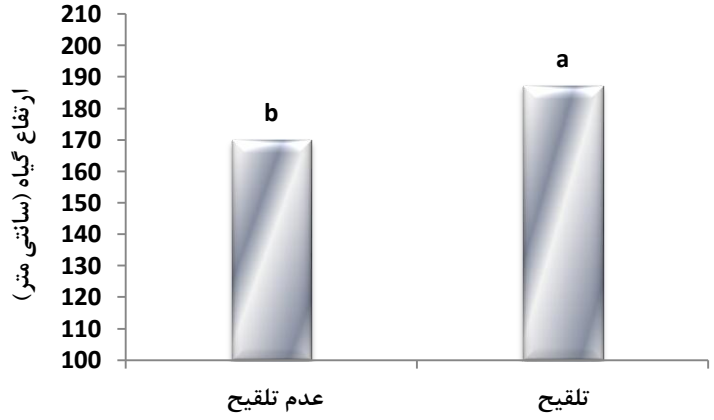
۴-۱-۲- ارتفاع گیاه

مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۴) بین سطوح مختلف کود دامی از نظر ارتفاع گیاه اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود دارد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۷) حاکی از این است که حداکثر میانگین ارتفاع گیاه در تیمار ۱۰ تن کود دامی در هکتار به میزان ۱۹۵/۶ سانتی‌متر مشاهده گردید. کود دامی به علت افزایش عناصر غذایی قابل‌دسترس، اصلاح خواص فیزیکی خاک و بهبود جذب عناصر غذایی باعث افزایش فعالیت‌های رشدی گیاه می‌شود که در نتیجه این افزایش رشد، ارتفاع گیاه نیز افزایش و نهایتاً عملکرد کل افزایش می‌یابد.

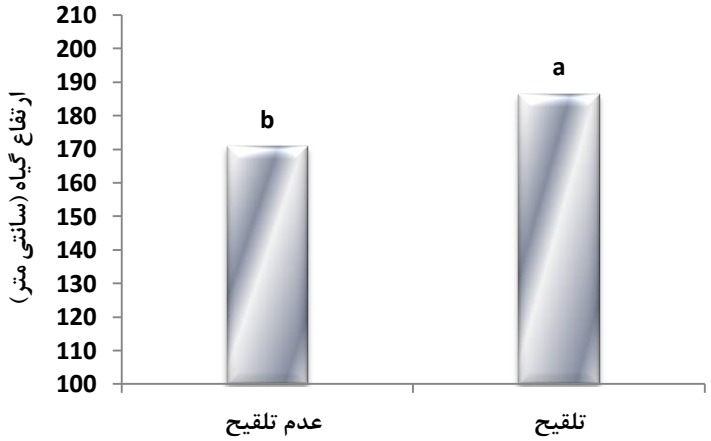
اثر تلقیح بذر با ازتوباکتر بر ارتفاع گیاه در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول۴-۴). در مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۸) مشخص گردید که گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر نسبت به گیاهان تلقیح نشده از ارتفاع بیشتری برخوردار بودند. در تحقیقی زهیر و همکاران (۱۹۹۸) افزایش ۸/۵ درصدی ارتفاع بوته ذرت را که بذرهای آن با باکتری ازتوباکتر تلقیح شده بودند را گزارش کردند. مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۴) اثر تلقیح بذر با آزوسپیریلیوم بر ارتفاع گیاه در سطح ۱٪ معنی‌دار شد. همچنین در مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۹) مشخص گردید که گیاهان تلقیح شده با آزوسپیریلیوم نسبت به گیاهان تلقیح نشده از ارتفاع بیشتری برخوردار بودند. کاپولنیک و همکاران (۱۹۸۲) نیز افزایش ارتفاع بوته ذرت را با تلقیح بذر توسط باکتری آزوسپیریلیوم گزارش کردند. جاکود و همکاران (۱۹۹۸) افزایش ارتفاع ذرت را در گیاهان تلقیح یافته با باکتری آزوسپیریلیوم لیپوفروم مشاهده نمودند.



شکل ۴-۷- تأثیر کود دامی بر ارتفاع گیاه



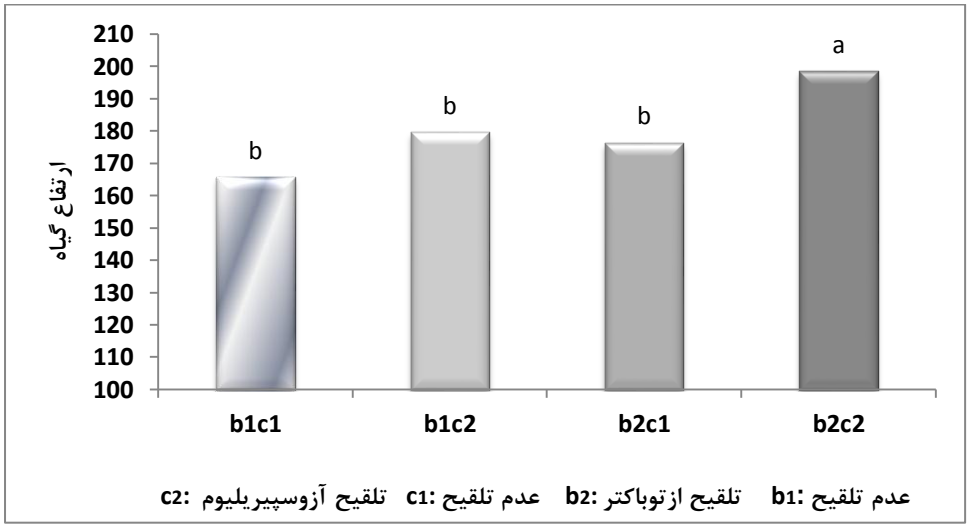
شکل ۴-۸- تأثیر ازتوباکتر بر ارتفاع گیاه



شکل ۴-۹- تأثیر آزوسپیریلیوم بر ارتفاع گیاه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۴) نشان می‌دهد که اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر ارتفاع گیاه در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. در مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۱۰) مشخص گردید که اثرات متقابل این دو باکتری نیز افزایش معنی‌داری بر ارتفاع گیاه داشت به طوری که مشاهده شد که اثرات توأم دو باکتری بیشتر از تأثیر منفرد هر باکتری بود که می‌تواند نشان دهنده اثرات تشدیدکنندگی بین باکتری‌ها باشد. افزایش ارتفاع گیاه در اثر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد گیاه در گونه‌های غلات و غیر غلات توسط برخی محققین گزارش شده است (میلت و فلدمن، ۱۹۸۶؛ وارمبورگ و همکاران، ۱۹۸۷). بورد و همکاران (۲۰۰۰) نیز نشان دادند که ریزوباکترهای محرک رشد می‌توانند ارتفاع بوته و توانایی تولید در گیاه را از طریق تولید هورمون‌های گیاهی،

افزایش دسترسی به عناصر غذایی، تسهیل در جذب مواد غذایی توسط گیاه، کاهش سمیت فلزات سنگین و القاء مقاومت سیستمیک علیه عوامل بیماری‌زا افزایش دهند. اثر متقابل کود دامی، ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر ارتفاع گیاه در سطح ۵٪ معنی‌دار بود (جدول۴-۴) و در مقایسه میانگین‌ها (جدول۴-۲) نیز مشخص شد که بیشترین ارتفاع گیاه در شرایط تلقیح ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم در سطح ۱۰ تن کود دامی در هکتار به میزان ۲۱۹/۷۵ سانتی‌متر حاصل گردید. با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۴) مشاهده شد که اثر متقابل کود دامی و ازتوباکتر و کود دامی و آزوسپیریلیوم بر ارتفاع گیاه معنی‌دار نمی‌باشد.



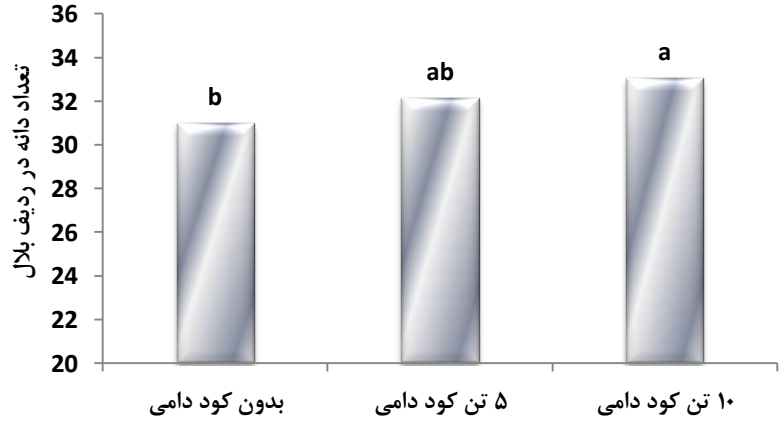
شکل ۴-۱۰- اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر ارتفاع گیاه

جدول۴-۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کود دامی، ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)

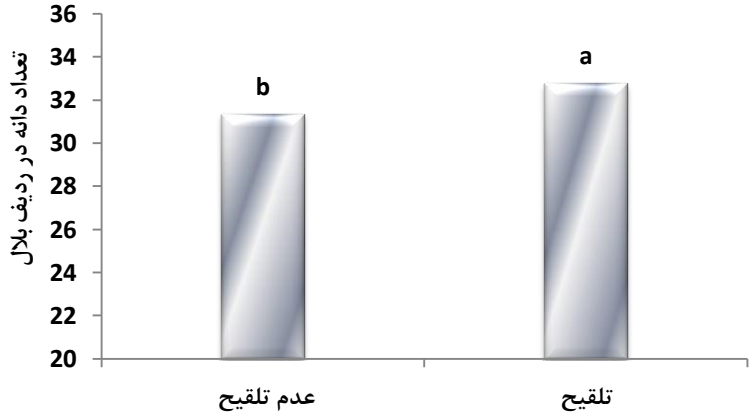
بدون کود دامی	بدون ازتوباکتر	بدون آزوسپیریلیوم	d	۱۴۶
		تلقیح آزوسپیریلیوم	cd	۱۶۱/۷۵
	تلقیح ازتوباکتر	بدون آزوسپیریلیوم	c	۱۶۶/۵۰
		تلقیح آزوسپیریلیوم	c	۱۷۳
۵ تن کود دامی	بدون ازتوباکتر	بدون آزوسپیریلیوم	cd	۱۵۷/۷۵
		تلقیح آزوسپیریلیوم	cd	۱۶۳/۲۵
	تلقیح ازتوباکتر	بدون آزوسپیریلیوم	c	۱۶۸/۲۵
		تلقیح آزوسپیریلیوم	ab	۲۰۴/۵۰
۱۰ تن کود دامی	بدون ازتوباکتر	بدون آزوسپیریلیوم	b	۱۸۹
		تلقیح آزوسپیریلیوم	b	۱۹۴
	تلقیح ازتوباکتر	بدون آزوسپیریلیوم	b	۱۹۸/۷۵
		تلقیح آزوسپیریلیوم	a	۲۱۹/۷۵

۴-۱-۳- تعداد دانه در ردیف بلال

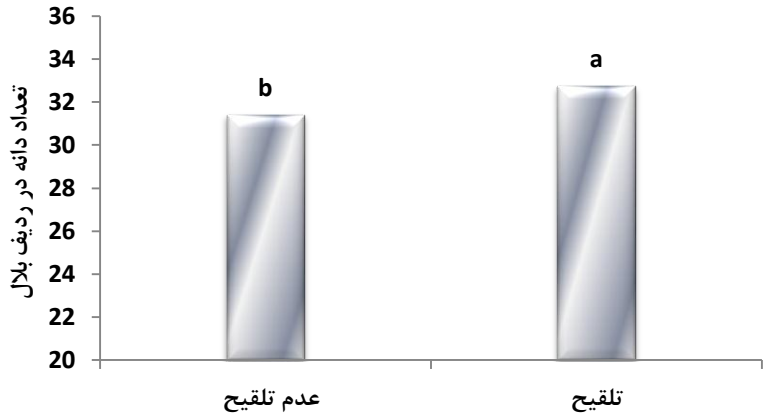
نتایج این آزمایش مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۴) نشان داد که تعداد دانه در ردیف بلال به طور معنی‌داری در سطح ۵٪ متأثر از سطوح مختلف کود دامی بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۱۱) نشان می‌دهد که بیشترین میانگین تعداد دانه در ردیف بلال در تیمار ۱۰ تن کود دامی در هکتار حاصل گردید. مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۴) اثر ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر تعداد دانه در ردیف بلال در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۱۲ و شکل۴-۱۳) نشان می‌دهد که گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم نسبت به گیاهان تلقیح نشده از تعداد دانه در ردیف بلال بیشتری برخوردار می‌باشند. اثر متقابل و کاربرد توأم این دو باکتری بر تعداد دانه در ردیف بلال در سطح ۵٪ معنی‌دار شد (جدول۴-۴) به طوری که کاربرد توأم این دو باکتری سبب افزایش ۱۱ درصدی تعداد دانه در ردیف بلال در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) گردید (شکل۴-۱۴). اثر متقابل کود دامی و ازتوباکتر، کود دامی و آزوسپیریلیوم و اثر متقابل سه‌گانه این عامل‌ها بر تعداد دانه در ردیف بلال معنی‌دار نمی‌باشد (جدول۴-۴). نتایج نشان داد که اثرات انفرادی مصرف کود دامی، تلقیح بذر با ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم و همچنین کاربرد توأم این دو باکتری موجب افزایش طول بلال شد و در نتیجه باعث افزایش تعداد دانه در ردیف گردید.



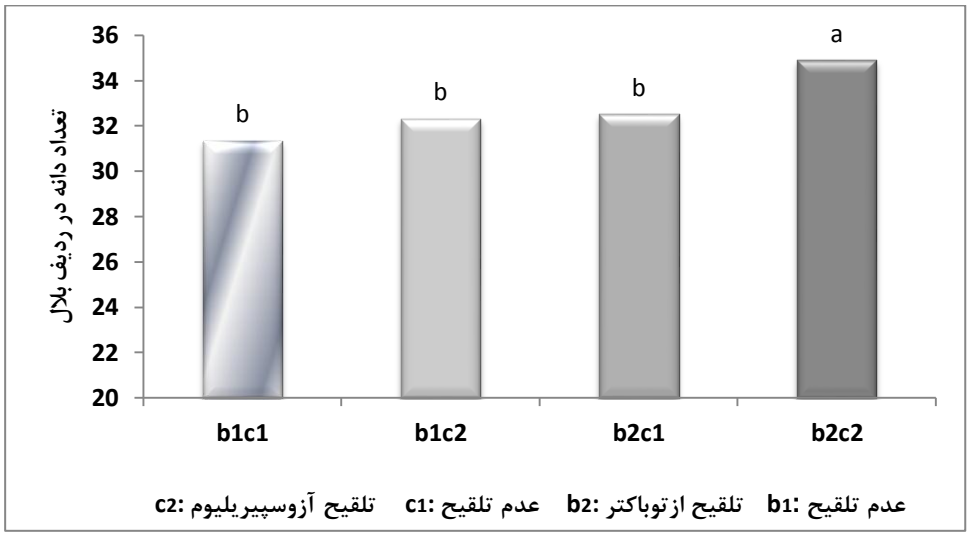
شکل ۴-۱۱- تأثیر کود دامی بر تعداد دانه در ردیف بلال



شکل ۴-۱۲- تأثیر ازتوباکتر بر تعداد دانه در ردیف بلال



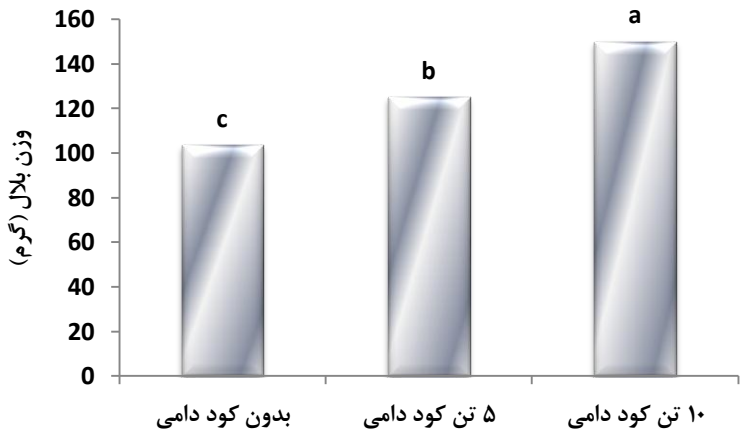
شکل ۴-۱۳- تأثیر آزوسپیریلیوم بر تعداد دانه در ردیف بلال



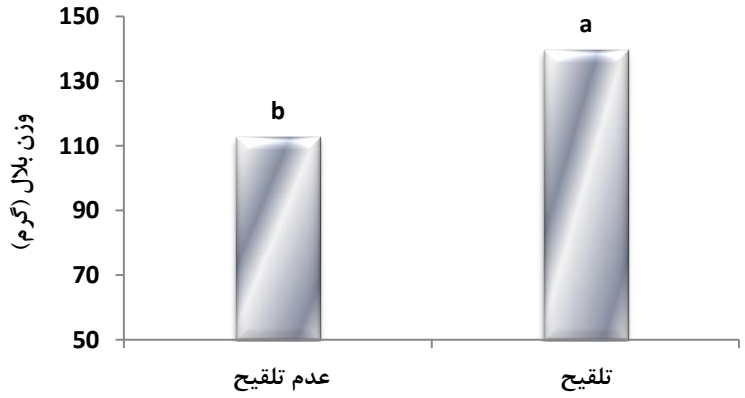
شکل ۴-۱۴- اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر تعداد دانه در ردیف بلال

۴-۱-۴- وزن بلال

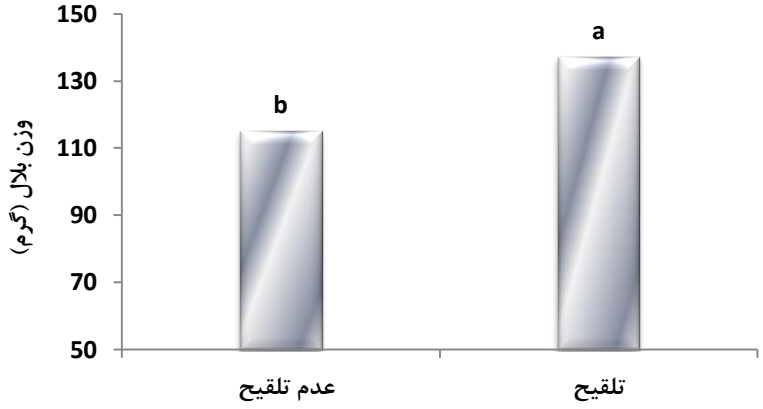
مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۴) بین سطوح مختلف کود دامی از نظر وزن بلال اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود دارد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۱۵) حاکی از این است که بیشترین وزن بلال مربوط به سطح کودی ۱۰ تن کود دامی در هکتار می‌باشد به طوری که موجب افزایش ۴۴ درصدی وزن بلال در مقایسه با شاهد گردید. نتایج تجزیه واریانس (جدول۴-۴) نشان می‌دهد که تأثیر تلقیح بذر با باکتری ازتوباکتر بر وزن بلال در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. مقایسه میانگین وزن بلال (شکل۴-۱۶) نشان می‌دهد که تلقیح بذر با ازتوباکتر به طور قابل ملاحظه‌ای وزن بلال را افزایش می‌دهد. مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۴) اثر تلقیح بذر با باکتری آزوسپیریلیوم بر وزن بلال در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. در مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۱۷) مشخص گردید که گیاهان تلقیح شده با آزوسپیریلیوم نسبت به گیاهان تلقیح نشده از وزن بلال بیشتری برخوردار می‌باشند. جاوید و همکاران (۱۹۹۸) با انجام یک آزمایش مزرعه‌ای مشاهده کردند که وزن بلال، طول بلال، وزن هزار دانه و وزن بخش هوایی بوته بدون بلال در اثر تلقیح بذر با ۱۱ سویه از باکتری‌های افزاینده رشد گیاه به ترتیب ۶/۸، ۲/۲۰، ۱۷/۱۱ و ۲۷/۱ درصد افزایش یافت.



شکل ۴-۱۵- تأثیر کود دامی بر وزن بلال



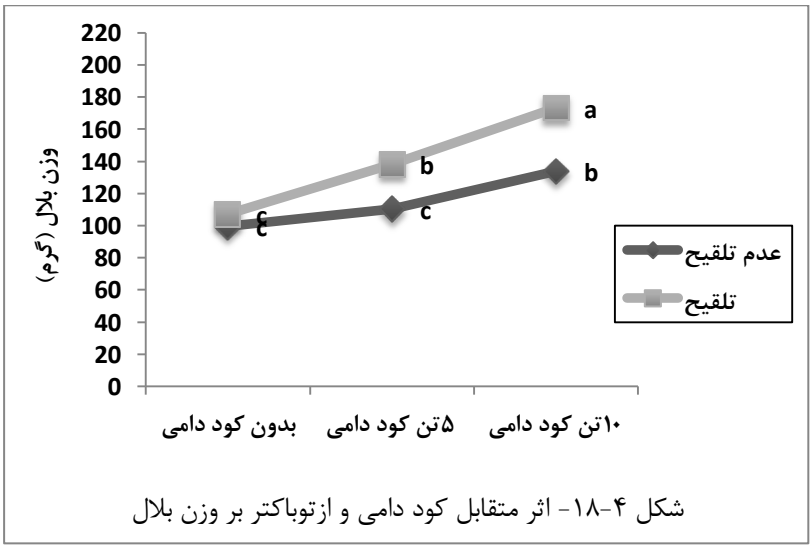
شکل ۴-۱۶- تأثیر ازتوباکتر بر وزن بلال



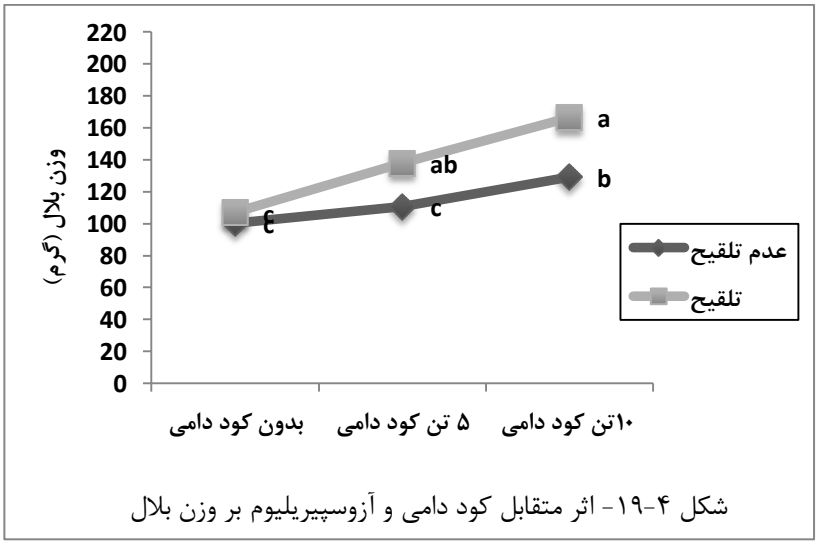
شکل ۴-۱۷- تأثیر آزوسپیریلیوم بر وزن بلال

مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۴) اثر متقابل کود دامی و ازتوباکتر بر وزن بلال در سطح ۵٪ معنی‌دار بود و مطابق شکل (۴-۱۸) مشاهده گردید که با افزایش میزان کود دامی وزن بلال نیز افزایش یافت اما این افزایش در گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر به مراتب بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود. بیشترین وزن بلال در گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر در سطح ۱۰ تن کود دامی در هکتار به میزان ۱۷۳/۲۱ گرم حاصل گردید که موجب افزایش ۷۳ درصدی وزن بلال در مقایسه با شاهد شد. نتایج تجزیه واریانس (جدول۴-۴) نشان داد که اثر متقابل کود دامی و آزوسپیریلیوم بر وزن بلال در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۱۹) حاکی از این است که با افزایش میزان کود دامی وزن بلال نیز افزایش می‌یابد ولی این افزایش در گیاهان تلقیح شده با آزوسپیریلیوم بیشتر از گیاهان تلقیح نشده می‌باشد.

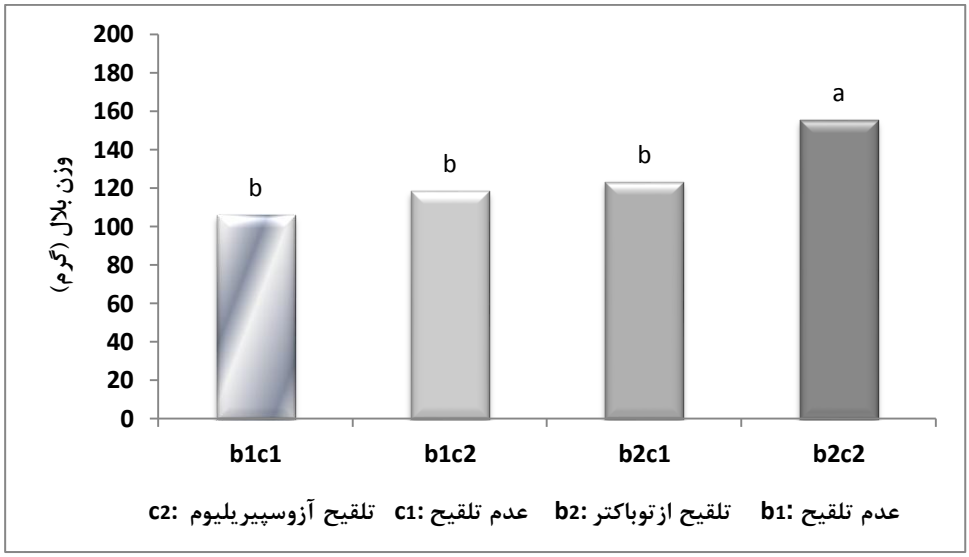
مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۴) اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر وزن بلال در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۲۰) نشان داد که کاربرد توأم این دو باکتری موجب افزایش ۴۶ درصدی وزن بلال در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) گردید. با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۴) مشاهده می‌شود که اثر متقابل سه‌گانه این عامل‌ها بر وزن بلال معنی‌دار نمی‌باشد.



شکل ۴-۱۸- اثر متقابل کود دامی و ازتوباکتر بر وزن بلال



شکل ۴-۱۹- اثر متقابل کود دامی و آزوسپیریلیوم بر وزن بلال



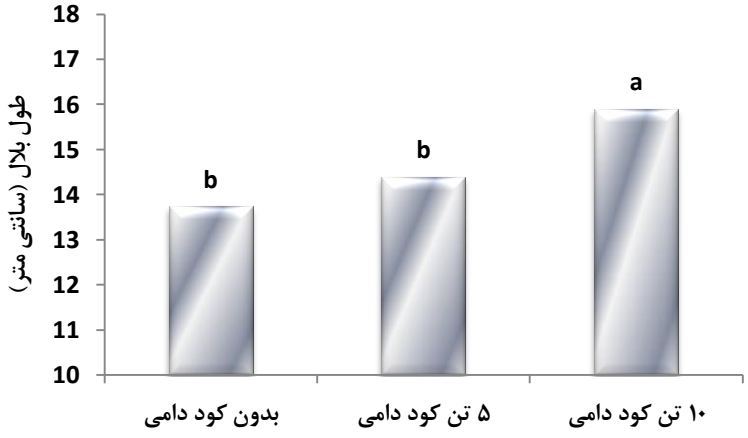
شکل ۴-۲۰- اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر وزن بلال

۴-۱-۵- طول بلال

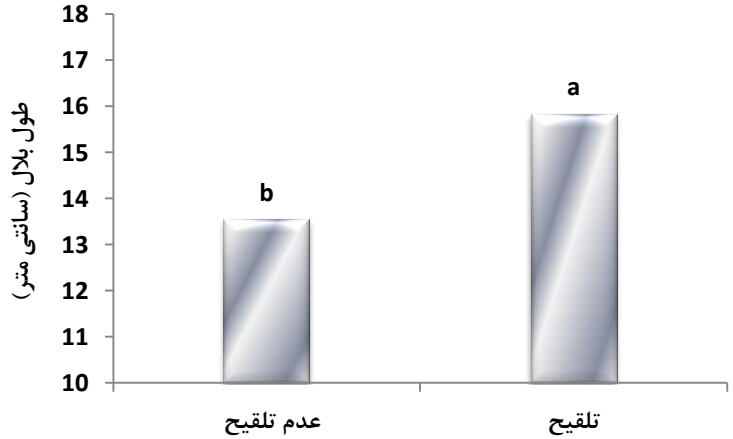
نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۴) معنی‌دار بودن اثر مقادیر مختلف کود دامی بر طول بلال را در سطح ۱٪ نشان می‌دهد. به طوری که حداکثر میانگین طول بلال در تیمار ۱۰ تن کود دامی در هکتار، ۱۵/۹ سانتی‌متر مشاهده گردید (شکل۴-۲۱). نتایج تجزیه واریانس (جدول۴-۴) نشان می‌دهد که اثر تلقیح بذر با ازتوباکتر بر طول بلال در سطح ۱٪ و تلقیح بذر با آزوسپیریلیوم در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۲۲ و شکل۴-۲۳) نشان داد که گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده از طول بلال بیشتری برخوردار بودند. زاید و همکاران (۲۰۰۷) نیز در تحقیق دیگری اظهار داشتند که طول بلال بوته‌های ذرت تلقیح یافته با باکتری محرک رشد در مقایسه با بوته‌های تلقیح نیافته افزایش یافتند.

مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۴) اثر متقابل کود دامی و ازتوباکتر در سطح ۵٪ معنی‌دار گردید و مطابق شکل (۴-۲۴) مشاهده شد که با افزایش میزان کود دامی طول بلال نیز افزایش یافت اما این افزایش در گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر به مراتب بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود. بیشترین طول بلال در گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر در سطح ۱۰ تن کود دامی در هکتار به میزان ۱۷/۷۶ سانتی‌متر حاصل شد که موجب افزایش ۳۶ درصدی طول بلال در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح)

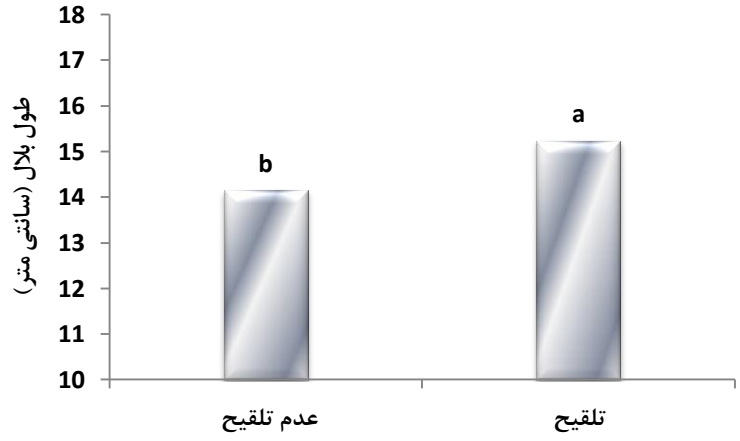
گردید. همچنین اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر طول بلال در سطح ۵٪ معنی‌دار شد (جدول۴-۴) به طوری که کاربرد توأم این دو باکتری موجب افزایش ۲۵ درصدی طول بلال در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) گردید (شکل۴-۲۵). در تحقیقی زهیر و همکاران (۱۹۹۸) نیز افزایش ۲۰/۶ درصدی طول بلال را در اثر تلقیح بذر با باکتری‌های جنس ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم نسبت به شاهد (عدم تلقیح بذر) گزارش کردند. با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۴) مشاهده شد که اثر متقابل کود دامی و آزوسپیریلیوم و اثر متقابل سه‌گانه این عامل‌ها بر طول بلال معنی‌دار نبود.



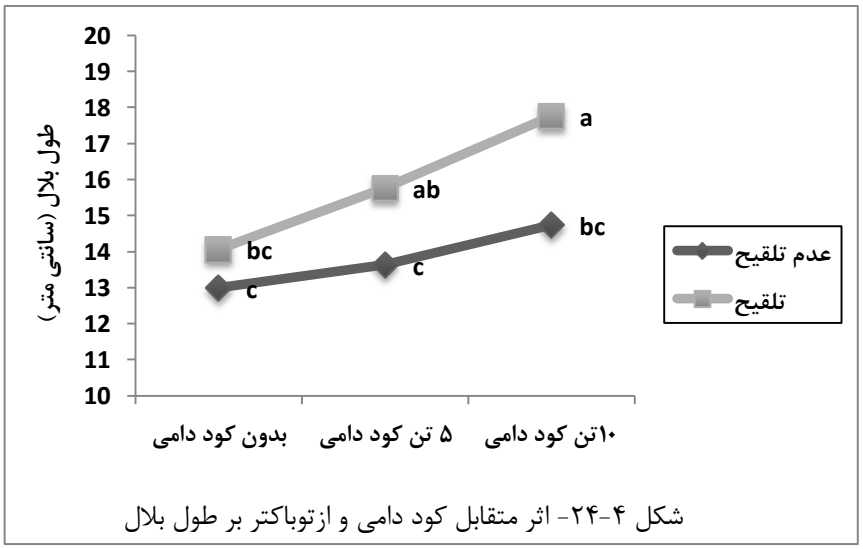
شکل ۴-۲۱- تأثیر کود دامی بر طول بلال



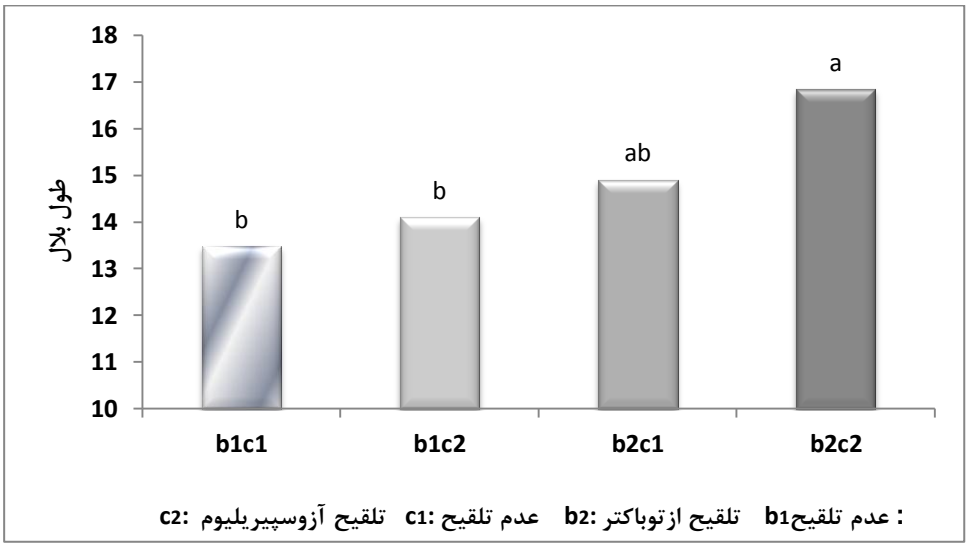
شکل ۴-۲۲- تأثیر ازتوباکتر بر طول بلال



شکل ۴-۲۳- تأثیر آزوسپیریلیوم بر طول بلال



شکل ۴-۲۴- اثر متقابل کود دامی و ازتوباکتر بر طول بلال

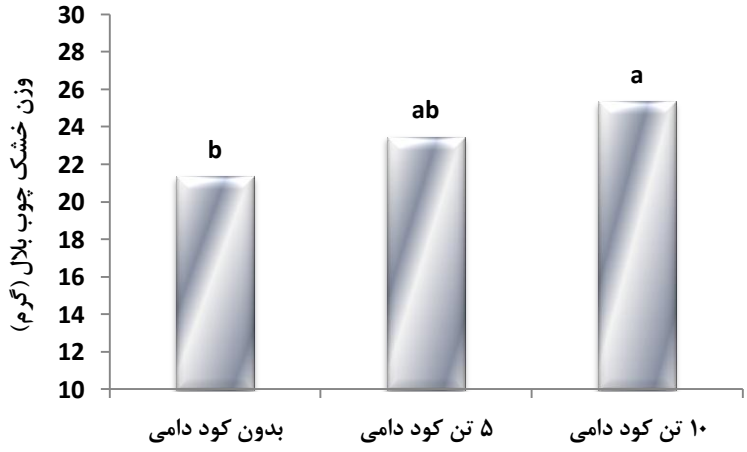


شکل ۴-۲۵- اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر طول بلال

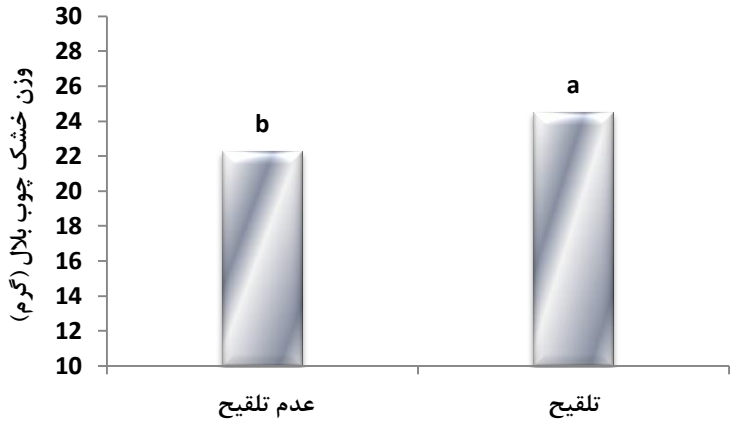
۴-۱-۶- وزن خشک چوب بلال

نتایج تجزیه واریانس (جدول۴-۴) نشان داد که وزن خشک چوب بلال به طور معنی‌داری (سطح ۱٪) تحت تأثیر مقادیر مختلف کود دامی قرار گرفت. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۲۶) نشان داد که حداکثر میانگین وزن خشک چوب بلال در سطح ۱۰ تن کود دامی در هکتار، ۲۵/۳۶ گرم حاصل گردید که موجب افزایش ۱۸ درصدی وزن خشک چوب بلال در مقایسه با شاهد شد.

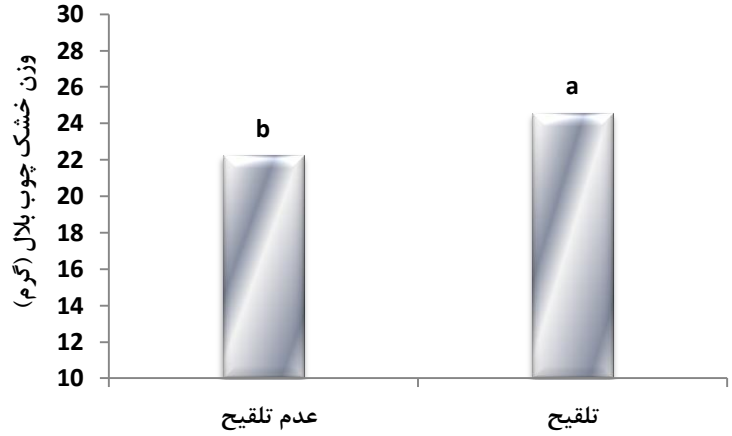
اثر تلقیح بذر با ازتوباکتر بر وزن خشک چوب بلال در سطح ۵٪ معنی‌دار شد (جدول۴-۴). همچنین در مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۲۷) مشخص گردید که گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر نسبت به گیاهان تلقیح نشده از وزن خشک چوب بلال بیشتری برخوردار بودند. نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۴) نشان داد که اثر تلقیح بذر با آزوسپیریلیوم بر وزن خشک چوب بلال در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد و مطابق شکل (۴-۲۸)، گیاهان تلقیح شده با آزوسپیریلیوم در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده از وزن خشک چوب بلال بالاتری برخوردار هستند. محققین نیز تأثیر مثبت و افزایشی باکتری آزوسپیریلیوم برازیلنس را بر وزن خشک چوب بلال و همچنین عملکرد گیاه ذرت گزارش نمودند (اسودرزینسکا و ساویکا، ۲۰۰۰). مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول ۴-۴) اثر متقابل کود دامی و ازتوباکتر، کود دامی و آزوسپیریلیوم، ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم و اثر متقابل سه‌گانه این عامل‌ها بر وزن خشک چوب بلال معنی‌دار نشد.



شکل ۴-۲۶- تأثیر کود دامی بر وزن خشک چوب بلال



شکل ۴-۲۷- تأثیر ازتوباکتر بر وزن خشک چوب بلال



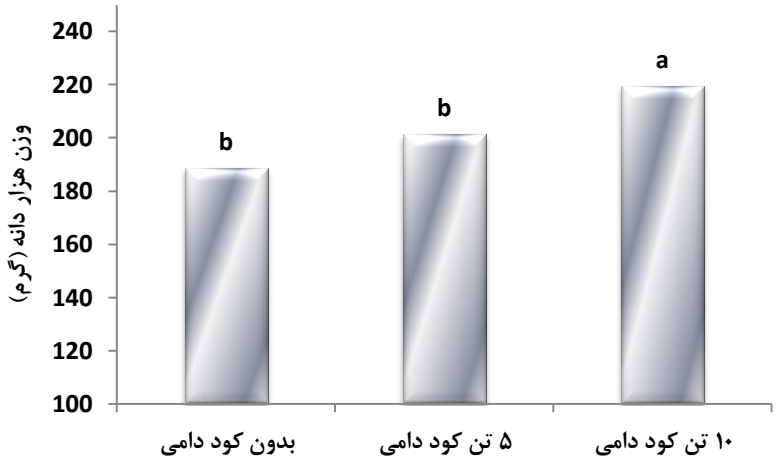
شکل ۴-۲۸- تأثیر آزوسپیریلیوم بر وزن خشک چوب بلال

۴-۱-۷- وزن هزار دانه

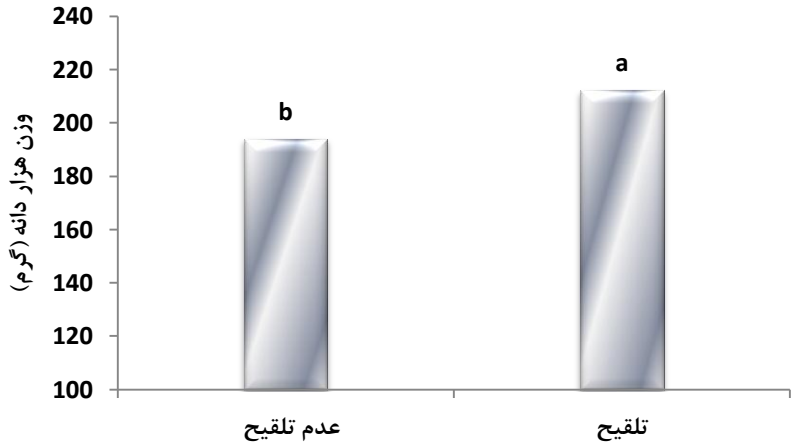
نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۵) معنی‌دار بودن اثر مقادیر مختلف کود دامی بر وزن هزار دانه در سطح ۱٪ را نشان می‌دهد. به طوری که حداکثر میانگین وزن هزار دانه در تیمار ۱۰ تن کود دامی در هکتار به میزان ۲۱۸/۲۶ گرم مشاهده گردید (شکل۴-۲۹). به نظر می‌رسد، کود دامی با افزایش میزان عناصر غذایی قابل‌دسترس و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک (گلیسمن، ۲۰۰۶)، ظرفیت منبع را برای تولید آسیمیلات‌ها افزایش داده و باعث افزایش وزن دانه‌ها می‌شود.

نتایج تجزیه واریانس (جدول۴-۵) نشان داد که اثر تلقیح بذر با ازتوباکتر بر وزن هزار دانه در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۳۰) نشان داد که گیاهان تلقیح شده با

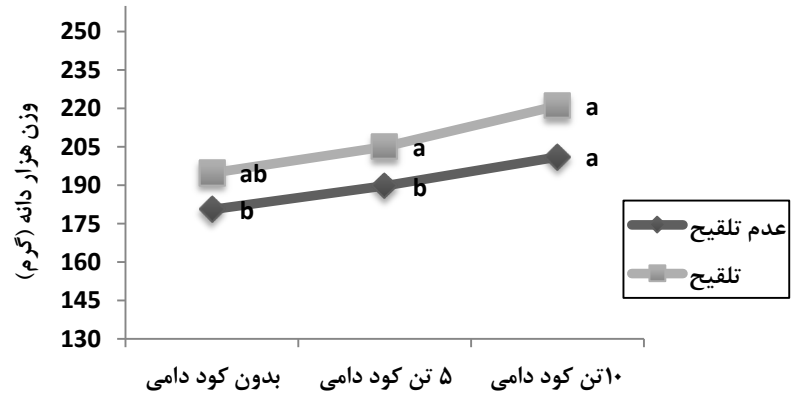
ازتوباکتر در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده از وزن هزار دانه بیشتری برخوردار بودند. بررسی زهیر و همکاران (۱۹۹۸) مشخص کرد که در اثر تلقیح بذرهای ذرت با باکتری ازتوباکتر وزن هزار دانه به میزان ۹/۶ درصد افزایش یافت. یاسری و پتواردهان (۲۰۰۷) نیز نشان دادند که در اثر تلقیح بوته‌های کلزا با سویه‌های مختلف ازتوباکتر، وزن هزار دانه در مقایسه با شاهد، ۲/۹۲ درصد افزایش یافت. مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۵) اثر آزوسپیریلیوم بر وزن هزار دانه در مقایسه با شاهد معنی‌دار نشد و در بین اثرات متقابل دوگانه تنها اثر متقابل کود دامی و ازتوباکتر در سطح ۵٪ معنی‌دار شد. با توجه به شکل (۴-۳۱) مشاهده شد که با افزایش میزان کود دامی وزن هزار دانه نیز افزایش یافت اما این افزایش در گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر به مراتب بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود. به عبارتی بیشترین وزن هزار دانه در گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر در سطح ۱۰ تن کود دامی در هکتار به میزان ۲۲۰/۹ گرم حاصل گردید که موجب افزایش ۲۲ درصدی وزن هزار دانه در مقایسه با شاهد شد. مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۵) اثر متقابل کود دامی و آزوسپیریلیوم، ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم و اثر متقابل سه‌گانه این عامل‌ها بر وزن هزار دانه معنی‌دار نمی‌باشد.



شکل ۴-۲۹- تأثیر کود دامی بر وزن هزار دانه



شکل ۴-۳۰- تأثیر ازتوباکتر بر وزن هزار دانه



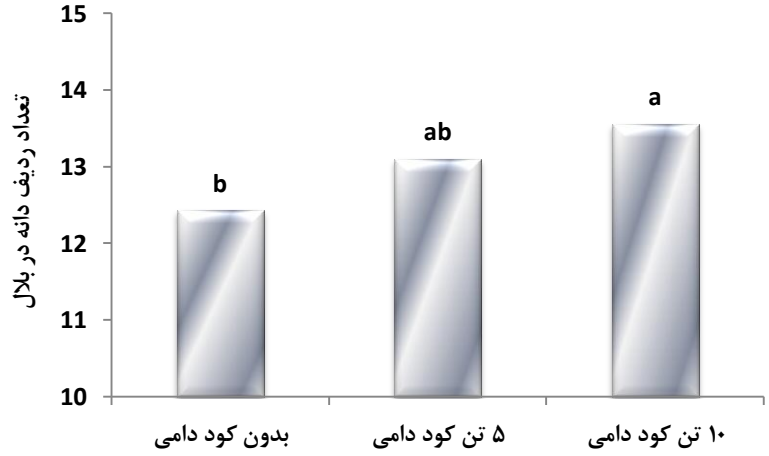
شکل ۴-۳۱- تأثیر کود دامی و ازتوباکتر بر وزن هزار دانه

۴-۱-۸- تعداد ردیف دانه در بلال

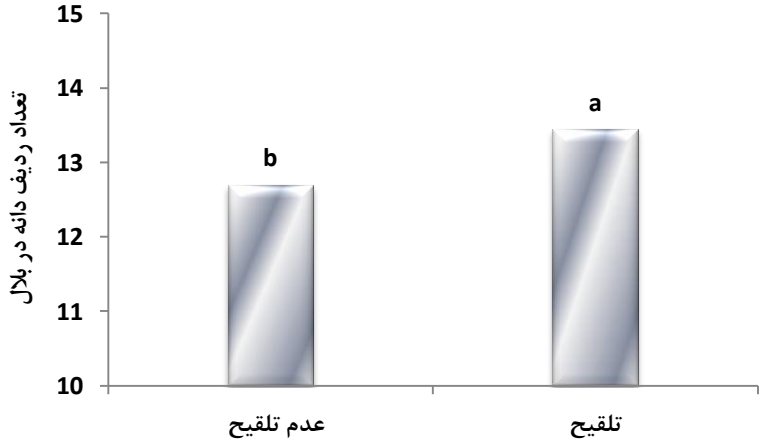
مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۵) اثر سطوح مختلف کود دامی بر تعداد ردیف دانه در بلال در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین (شکل۴-۳۲) برای صفت مذکور نشان داد که بیشترین تعداد ردیف دانه در بلال مربوط به تیمار ۱۰ تن کود دامی در هکتار بود که موجب افزایش ۹ درصدی تعداد ردیف دانه در بلال در مقایسه با شاهد گردید.

نتایج تجزیه واریانس (جدول۴-۵) نشان داد که اثر تلقیح بذر با آزوسپیریلیوم بر تعداد ردیف دانه در بلال در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۳۳) نشان داد که

گیاهان تلقیح شده با آزوسپیریلیوم در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده از تعداد ردیف دانه در بلال بیشتری برخوردار بودند. در این بررسی تلقیح بذر با باکتری ازتوباکتر تأثیر معنی‌داری بر تعداد ردیف دانه در بلال نداشت (جدول۴-۵). پیائو و همکاران (۲۰۰۵) نیز در تحقیقی گزارش کردند که تلقیح گیاه برنج با دو سویه ازتوباکتر، تأثیر معنی‌داری بر تعداد خوشه و تعداد دانه در هر خوشه نداشت. با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۵) اثر متقابل کود دامی و ازتوباکتر، کود دامی و آزوسپیریلیوم، ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم و اثر متقابل سه‌گانه این عامل‌ها بر تعداد ردیف دانه در بلال معنی‌دار نبود.



شکل ۴-۳۲- تأثیر کود دامی بر تعداد ردیف دانه در بلال

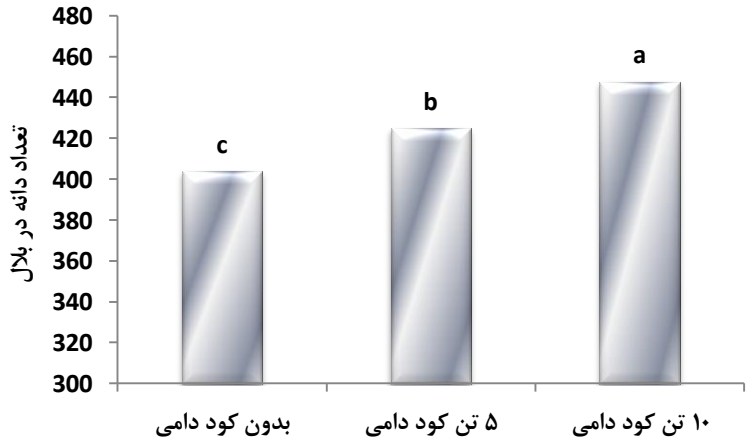


شکل ۴-۳۳- تأثیر آزوسپیریلیوم بر تعداد ردیف دانه در بلال

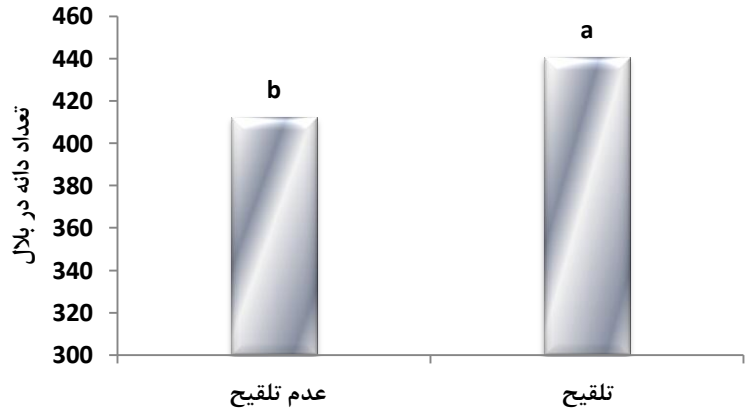
۴-۱-۹- تعداد دانه در بلال

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۵) نشان داد که بین سطوح مختلف کود دامی از نظر تعداد دانه در بلال اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود داشت. نتایج مقایسه میانگین (شکل۴-۳۴) برای صفت مذکور نشان داد که بیشترین تعداد دانه در بلال مربوط به تیمار ۱۰ تن کود دامی در هکتار بود که موجب افزایش ۱۰ درصدی تعداد دانه در بلال در مقایسه با شاهد گردید.

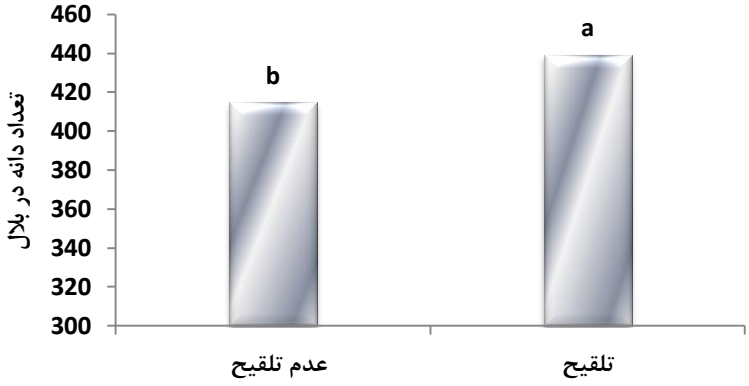
نتایج تجزیه واریانس (جدول۴-۵) نشان داد که اثر تلقیح بذر با ازتوباکتر بر تعداد دانه در بلال در سطح ۱٪ و تلقیح بذر با آزوسپیریلیوم در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۳۵ و شکل۴-۳۶) نشان داد که گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده از تعداد دانه در بلال بیشتری برخوردار بودند. فولچیری و فریونی (۱۹۹۴) افزایش ۵۹ درصدی عملکرد دانه ذرت را با افزایش تعداد دانه‌های بلال تا دو برابر نسبت به شاهد در اثر تلقیح بذر با باکتری آزوسپیریلیوم گزارش نمودند. با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۵) اثر متقابل کود دامی و ازتوباکتر، کود دامی و آزوسپیریلیوم، ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم و اثر متقابل سه‌گانه این عامل‌ها بر تعداد دانه در بلال معنی‌دار نبود. معنی‌دار شدن اثرات ساده هر یک از عامل‌ها نشان‌دهنده این است که کاربرد هر عامل به تنهایی، نتایج مطلوب‌تری از کاربرد دوگانه و سه‌گانه عامل‌ها دارد.



شکل ۴-۳۴- تأثیر کود دامی بر تعداد دانه در بلال



شکل ۴-۳۵- تأثیر ازتوباکتر بر تعداد دانه در بلال

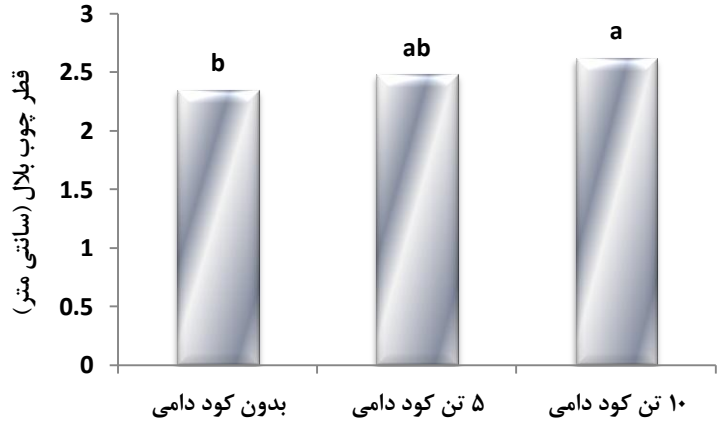


شکل ۴-۳۶- تأثیر آزوسپیریلیوم بر تعداد دانه در بلال

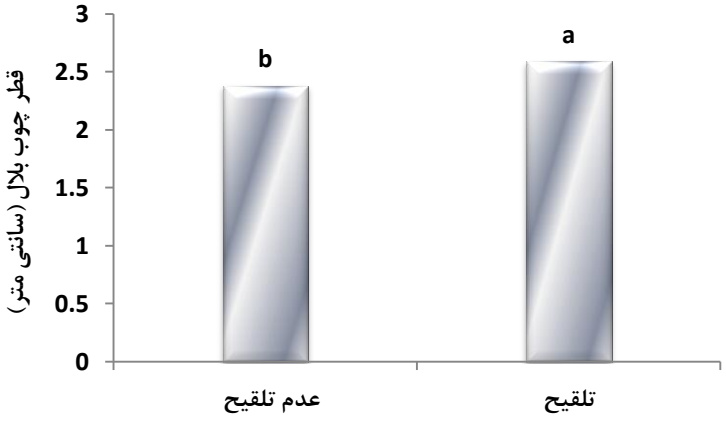
۴-۱-۱۰- قطر چوب بلال

نتایج تجزیه واریانس (جدول۴-۵) نشان می‌دهد که اثر مقادیر مختلف کود دامی بر قطر چوب بلال در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۳۷) حاکی از این است که حداکثر میانگین قطر چوب بلال در سطح ۱۰ تن کود دامی در هکتار حاصل گردید. همچنین نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۵) نشان می‌دهد که اثر تلقیح بذر با ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر قطر چوب بلال در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. در مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۳۸ و شکل۴-۳۹) مشخص گردید که گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم نسبت به گیاهان تلقیح نشده از قطر چوب بلال بالاتری برخوردار بودند.

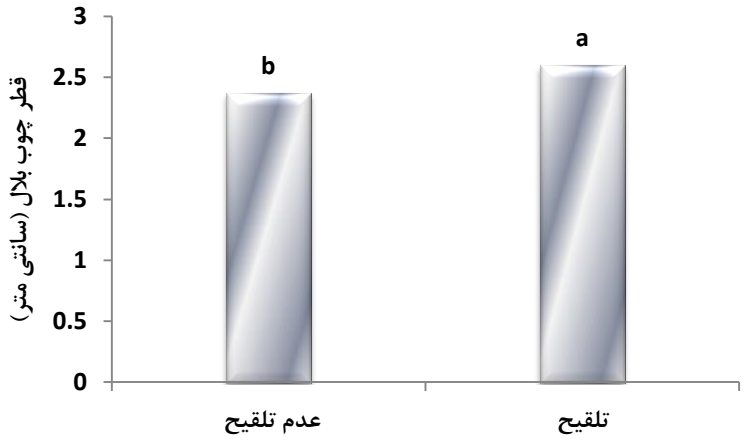
نتایج این آزمایش مطابق جدول (۴-۵) نشان می‌دهد که اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر قطر چوب بلال در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. در مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۴۰) نیز مشخص گردید که اثرات متقابل این دو باکتری افزایش معنی‌داری بر قطر چوب بلال داشتند به طوری که بیشترین قطر چوب بلال با کاربرد توأم این دو باکتری حاصل گردید و موجب افزایش ۲۱ درصدی قطر چوب بلال در مقایسه با شاهد شد. مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۵) اثر متقابل کود دامی و ازتوباکتر، کود دامی و آزوسپیریلیوم و اثر متقابل سه‌گانه این عامل ها بر قطر چوب بلال معنی‌دار نبود.



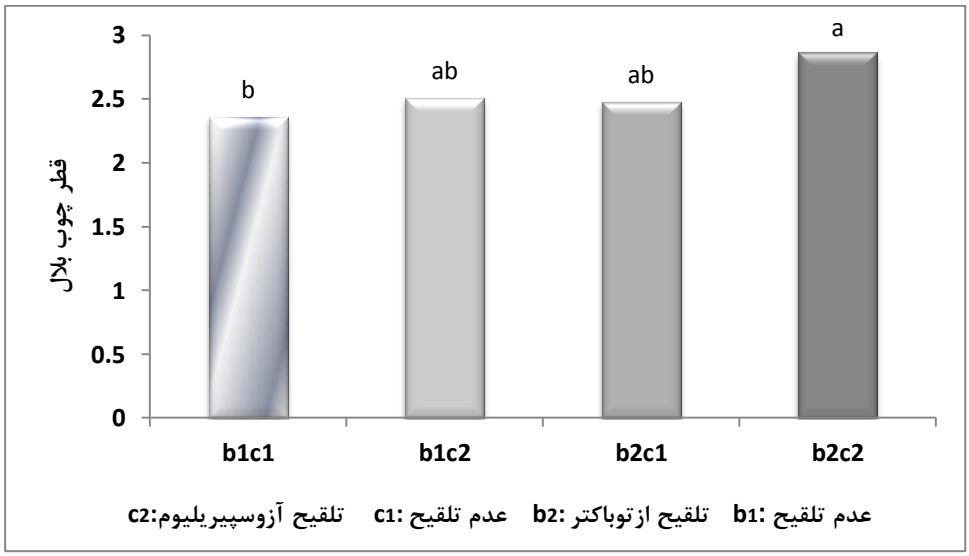
شکل ۴-۳۷- تأثیر کود دامی بر قطر چوب بلال



شکل ۴-۳۸- تأثیر ازتوباکتر بر قطر چوب بلال



شکل ۴-۳۹- تأثیر آزوسپیریلیوم بر قطر چوب بلال



شکل ۴-۴۰- اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر قطر چوب بلال

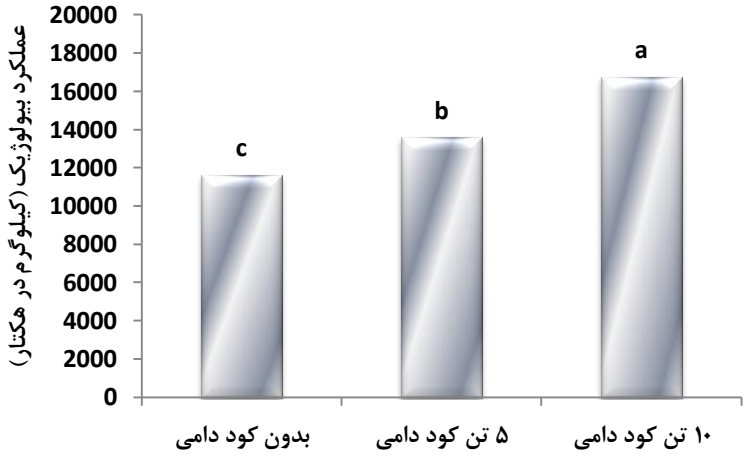
۴-۱-۱۱- عملکرد بیولوژیک

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۵) نشان داد که بین سطوح مختلف کود دامی از نظر عملکرد بیولوژیک اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود دارد، به طوری که بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک در سطح ۱۰ تن کود دامی در هکتار حاصل گردید (شکل۴-۴۱). کود دامی می‌تواند تمام و یا بخش اعظم نیتروژن مورد نیاز گیاه و همچنین فسفر، پتاسیم و عناصر ریزمغذی را نیز تأمین نماید و علاوه بر تأمین نیاز تغذیه‌ای گیاه، می‌تواند منجر به بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی

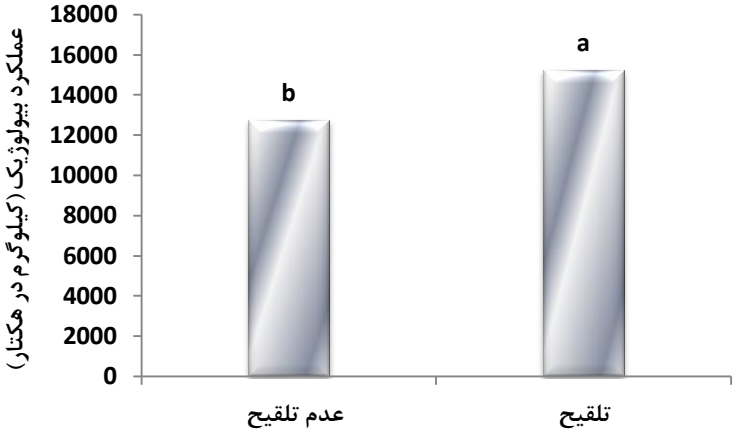
خاک شود (پرات، ۱۹۸۲). در آزمایشی بر روی کدو تنبل (*Cucurbita maxima* L.) کاربرد کودهای حاصل از گاو، بز و مرغ باعث افزایش زیست توده محصول نسبت به تیمارهای شاهد و کاربرد سطح کم کود شیمیایی شد، ضمن اینکه با افزایش سطوح کودهای دامی، عملکرد ماده خشک نیز به صورت خطی افزایش پیدا کرد (عزیز و همکاران، ۲۰۱۰). در مطالعه شیرانی و همکاران (۲۰۰۲) تأثیر کود گاوی در افزایش عملکرد ماده خشک ذرت معنی‌دار بود. حیدری و رمرودی (۱۳۸۹) نیز گزارش کردند که ۲۰ تن کود دامی باعث افزایش عملکرد بیولوژیک عدس از ۱۲۸۸/۹ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد به ۱۶۹۵/۹ کیلوگرم در هکتار در تیمار ۲۰ تن کود دامی شد.

نتایج تجزیه واریانس (جدول۴-۵) نشان می‌دهد که تأثیر تلقیح بذر با باکتری ازتوباکتر بر عملکرد بیولوژیک در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. مقایسه میانگین (شکل۴-۴۲) نشان داد که تلقیح بذر با ازتوباکتر به طور قابل ملاحظه‌ای عملکرد بیولوژیک را افزایش داد. زهیر و همکاران (۱۹۹۸) نیز افزایش ۱۸ درصدی وزن خشک بوته‌های ذرت تلقیح یافته با ازتوباکتر را گزارش کردند.

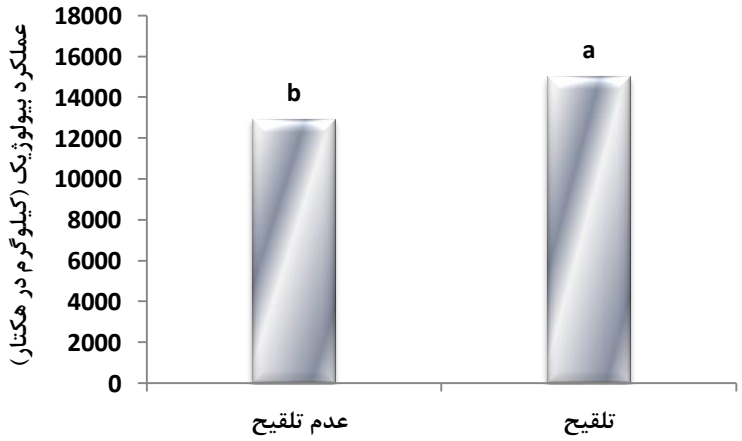
مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۵) تأثیر تلقیح بذر با باکتری آزوسپیریلیوم در افزایش عملکرد بیولوژیک در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک (شکل۴-۴۳) نشان داد که تلقیح بذر با آزوسپیریلیوم به طور معنی‌داری عملکرد بیولوژیک را افزایش داد. کوهن و همکاران (۱۹۸۰) نیز افزایش در وزن خشک بخش هوایی ذرت در اثر تلقیح بذر با آزوسپیریلیوم را گزارش کردند. تأثیر تلقیح با آزوسپیریلیوم در افزایش عملکرد کل، در گیاهان رشد یافته در مزرعه به طور معمول در حدود ۳۰-۱۰ درصد گزارش شد (رائو و همکاران، ۱۹۸۳؛ واتاناب و لین، ۱۹۸۴). برخی محققین معتقدند که آزوسپیریلیوم موجب افزایش رشد ریشه شده و در نتیجه باعث افزایش دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی می‌گردد و بدین ترتیب رشد بخش هوایی را افزایش می‌دهد (رائو، ۱۹۸۶؛ پاکووسکی، ۱۹۹۰).



شکل ۴-۴۱- تأثیر کود دامی بر عملکرد بیولوژیک

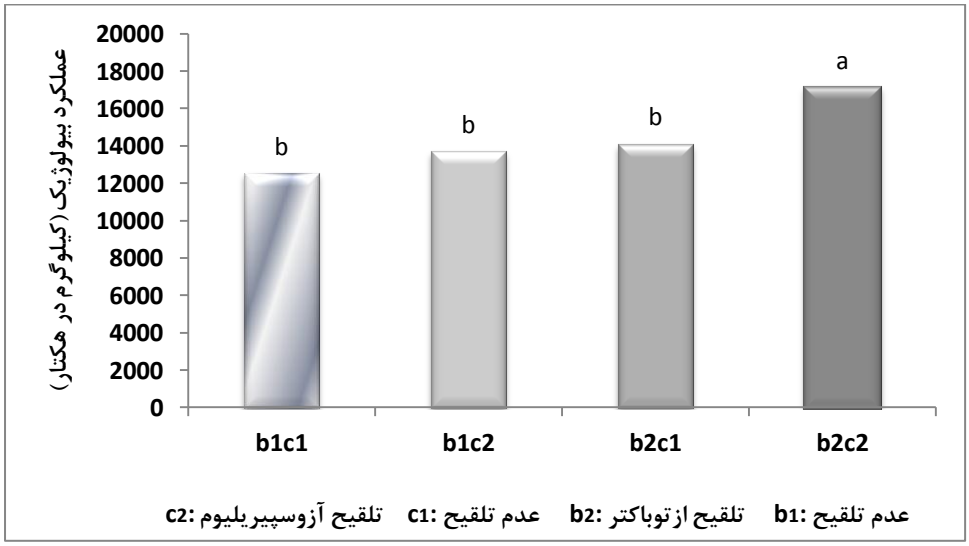


شکل ۴-۴۲- تأثیر ازتوباکتر بر عملکرد بیولوژیک



شکل ۴-۴۳- تأثیر آزوسپیریلیوم بر عملکرد بیولوژیک

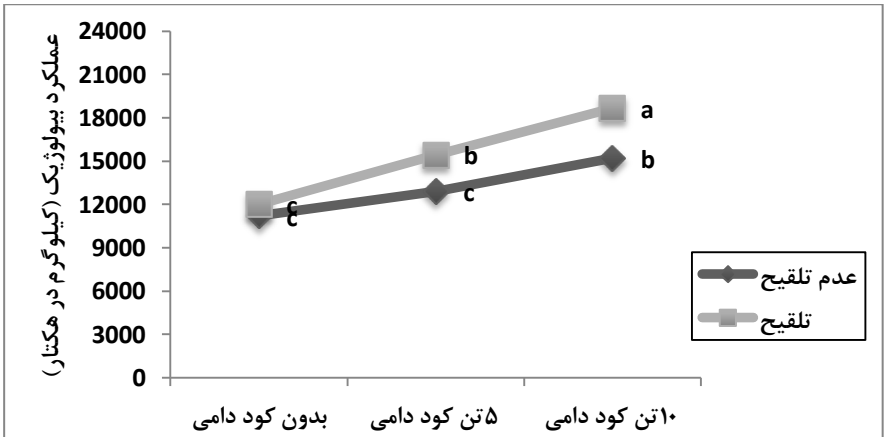
مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۵) اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر عملکرد بیولوژیک در سطح ۱٪ معنی‌دار شد به طوری که کاربرد توأم این دو باکتری موجب افزایش ۳۶ درصدی عملکرد بیولوژیک در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) گردید (شکل۴-۴۴). تیلاک و همکاران (۱۹۸۲) اثرات تلقیح توأم ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم را روی ماده خشک ذرت و سورگوم به طور مثبت و معنی‌دار گزارش کردند. زاید و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که افزایش در وزن کل گیاه بوسیله ریزوباکترها به واسطه افزایش در جذب عناصر غذایی و در نتیجه رشد بهتر گیاه می‌باشد.



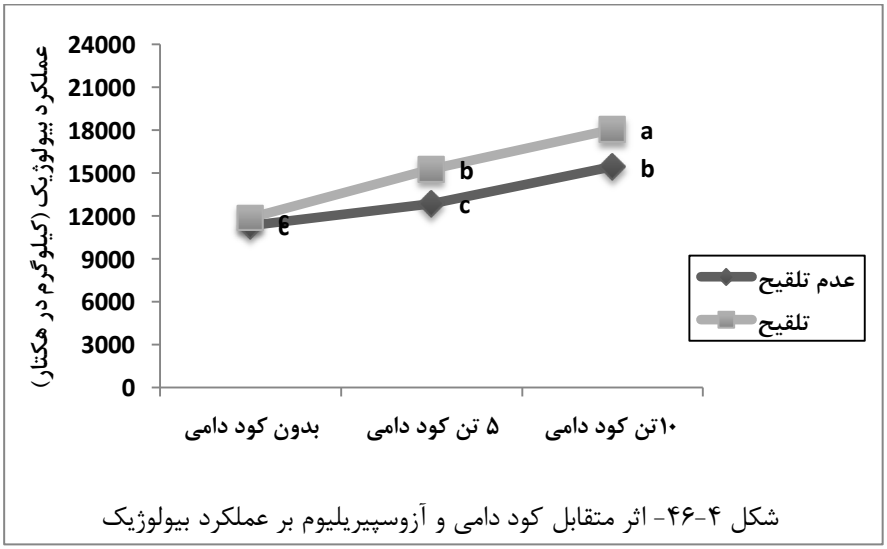
شکل ۴-۴۴- اثر متقابل ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر عملکرد بیولوژیک

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۵) اثر متقابل کود دامی و ازتوباکتر و کود دامی و آزوسپیریلیوم بر عملکرد بیولوژیک در سطح ۵٪ معنی‌دار شد و مطابق شکل (۴-۴۵) و (۴-۴۶) مشاهده گردید که با افزایش میزان کود دامی عملکرد بیولوژیک نیز افزایش یافت اما این افزایش در گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم به مراتب بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود. به عبارتی عملکرد بیولوژیک در گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر در سطح ۱۰ تن کود دامی در هکتار، ۱۸۴۰۲/۸ کیلوگرم در هکتار و گیاهان تلقیح شده با آزوسپیریلیوم در سطح ۱۰ تن کود دامی در هکتار، ۱۸۰۷۵/۴ کیلوگرم در هکتار حاصل گردید که به ترتیب موجب ۶۴ و ۵۹ درصد افزایش عملکرد بیولوژیک در مقایسه با شاهد شد.

در بررسی اثرات سه‌گانه کود دامی، ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر عملکرد بیولوژیک (جدول۴-۵) مشخص گردید که اثرات سه‌گانه این عامل‌ها بر عملکرد بیولوژیک در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. مطابق نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (جدول۴-۳) بیشترین عملکرد بیولوژیک در گیاهان تلقیح شده با این دو باکتری در سطح ۱۰ تن کود دامی با میزان تولید ۲۰۱۲۰/۷ کیلوگرم در هکتار حاصل گردید. کاربرد توأم این دو باکتری در سطح ۱۰ تن کود دامی موجب افزایش ۸۰ درصدی عملکرد بیولوژیک در مقایسه با شاهد شد.



شکل ۴-۴۵- اثر متقابل کود دامی و ازتوباکتر بر عملکرد بیولوژیک



شکل ۴-۴۶- اثر متقابل کود دامی و آزوسپیریلیوم بر عملکرد بیولوژیک

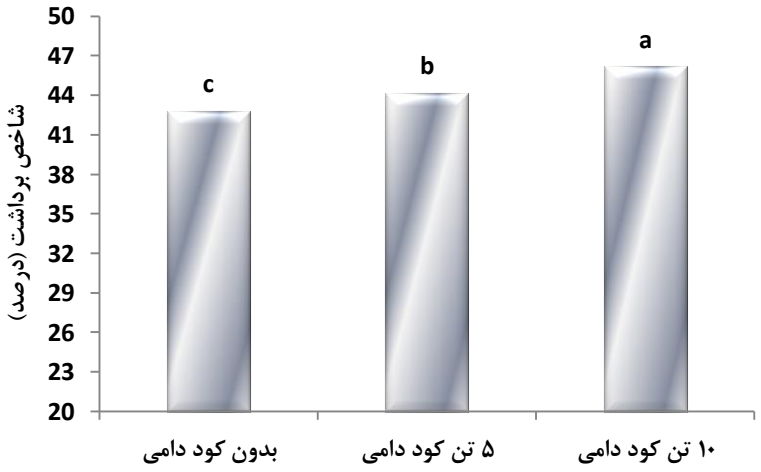
جدول۴-۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کود دامی، ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)

بدون کود دامی	بدون ازتوباکتر	بدون آزوسپیریلیوم	۱۱۱۳۴/۳ c
		تلقیح آزوسپیریلیوم	۱۱۸۹۵/۴ c
	تلقیح ازتوباکتر	بدون آزوسپیریلیوم	۱۲۱۸۲/۳ c
		تلقیح آزوسپیریلیوم	۱۲۵۷۲/۲ c
۵ تن کود دامی	بدون ازتوباکتر	بدون آزوسپیریلیوم	۱۱۶۸۷/۸ c
		تلقیح آزوسپیریلیوم	۱۲۴۲۷/۳ c
	تلقیح ازتوباکتر	بدون آزوسپیریلیوم	۱۳۳۱۸ c
		تلقیح آزوسپیریلیوم	۱۸۰۲۹/۷ a
۱۰ تن کود دامی	بدون ازتوباکتر	بدون آزوسپیریلیوم	۱۵۲۲۱ b
		تلقیح آزوسپیریلیوم	۱۵۴۵۰/۲ b
	تلقیح ازتوباکتر	بدون آزوسپیریلیوم	۱۵۷۶۵ b
		تلقیح آزوسپیریلیوم	۲۰۱۲۰/۷ a

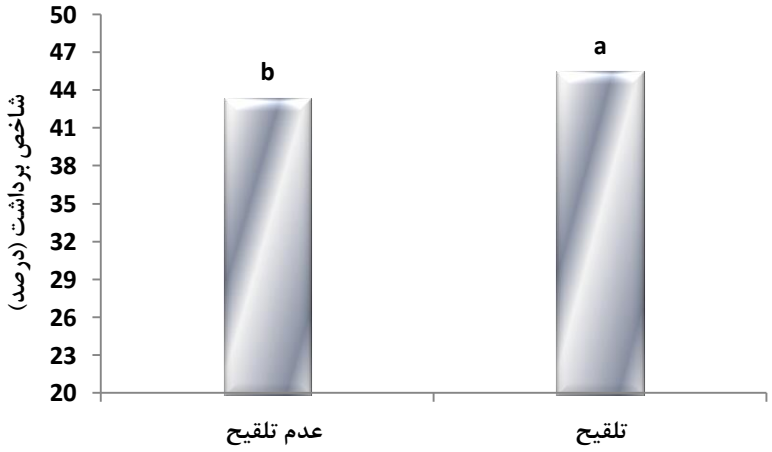
۴-۱-۱۲- شاخص برداشت

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۵) نشان داد که مقادیر مختلف کود دامی بر شاخص برداشت تأثیر معنی‌داری در سطح ۵٪ داشت. به طوری که بیشترین میانگین شاخص برداشت در تیمار ۱۰ تن کود دامی در هکتار حاصل شد (شکل۴-۴۷).

مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۵) اثر تلقیح بذر با ازتوباکتر بر شاخص برداشت در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل۴-۴۸) نشان داد که گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده از شاخص برداشت بالاتری برخوردار بودند. با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول۴-۵) اثر تلقیح بذر با آزوسپیریلیوم بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود. همچنین مشاهده شد که سایر ترکیبات تیماری نیز تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت نداشتند.



شکل ۴-۴۷- تأثیر کود دامی بر شاخص برداشت



شکل ۴-۴۸- تأثیر ازتوباکتر بر شاخص برداشت

۴-۲- بررسی روند آنالیزهای رشد

به منظور بررسی تأثیر عوامل آزمایش بر پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه ذرت و تجزیه و تحلیل رشد آن، برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی مورد ارزیابی قرار گرفت.

۴-۲-۱- شاخص سطح برگ (LAI)[1]

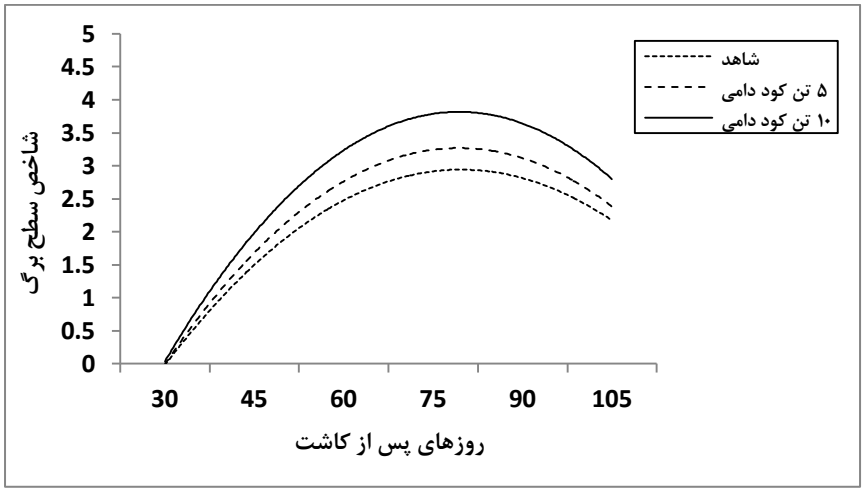
شاخص سطح برگ از نسبت کل سطح برگ به کل سطح زمین پوشش داده شده توسط گیاه بدست می‌آید (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸). از آنجا که افزایش وزن خشک محصول بستگی زیادی به توسعه سطح برگ آن دارد، لذا سطح برگ یکی از پارامترهای اصلی در اندازه‌گیری رشد گیاه است (علیزاده و کوچکی، ۱۳۶۸). معمولاً LAI مساوی با ۵-۳ جهت تولید حداکثر ماده خشک برای اغلب محصولات کاشته شده لازم است (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸). در ذرت حداکثر LAI در هنگام باز شدن گل‌های نر بوجود می‌آید (شیرانی راد، ۱۳۷۹). تئورر (۱۹۷۹) نشان داد که منحنی تغییرات سطح برگ یک منحنی لگاریتمی رشد است که در اواسط فصل رشد به حداکثر رسیده و سپس با مرگ برگ‌های پیرتر کاهش می‌یابد. با توجه به شکل‌های (۴-۴۹، ۴-۵۰ و ۴-۵۱) مشاهده می‌شود که تغییرات شاخص سطح برگ در تمام تیمارها از روند مشابهی برخوردار است به طوری که با رشد گیاه افزایش یافته و پس از رسیدن به حداکثر مقدار خود با از بین رفتن برگ‌های پیرتر کاهش می‌یابد (شاخص سطح برگ کمی قبل از گلدهی به بیشترین میزان خود می‌رسد و بعد از آن به علت پژمرده شدن برگ‌های پایین‌تر رو به کاهش می‌گذارد).

در این پژوهش تأثیر مقادیر مختلف کود دامی بر شاخص سطح برگ مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در شکل (۴-۴۹) مشاهده می‌شود با افزایش سطح کود دامی، شاخص سطح برگ نیز افزایش یافت. نتایج این بررسی نشان داد که در ۸۰ روز پس از کاشت بوته‌های ذرت به حداکثر میزان LAI در طول دوره رشد رسیدند. در این زمان بیشترین شاخص سطح برگ از مصرف ۱۰ تن کود دامی در هکتار و کمترین میزان آن از تیمار شاهد بدست آمد. غنی بودن کودهای آلی از عناصر غذایی

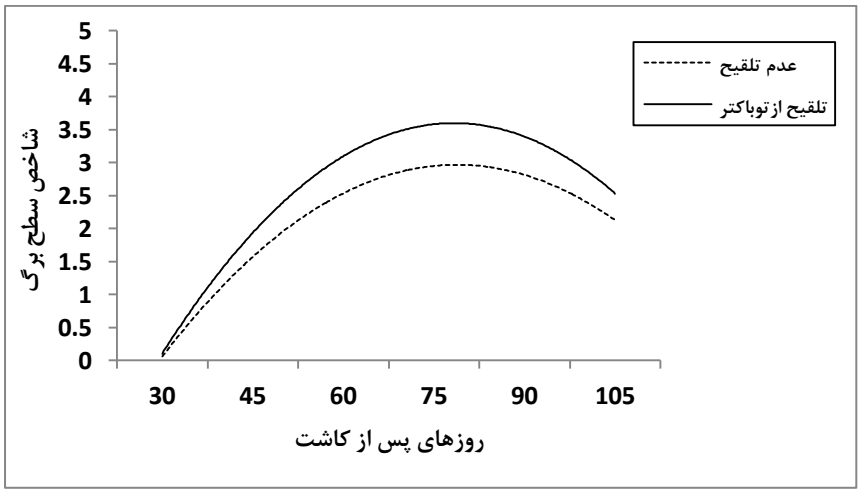
1- Leaf Area Index

و آزاد سازی آهسته و مداوم آنها باعث بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شده و با فراهم آوردن شرایط جهت ایجاد سیستم ریشه‌ای گسترده و کارآمد در خاک، در نهایت موجب افزایش رشد رویشی گیاه خواهد شد (خلید و همکاران، ۲۰۰۶).

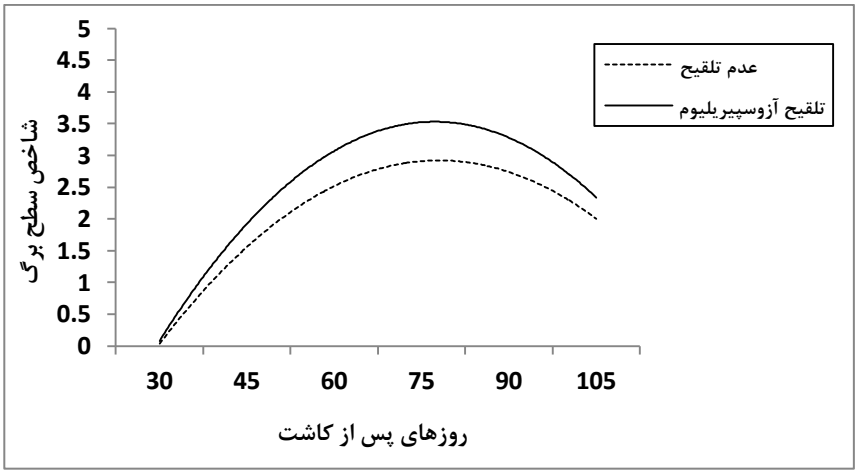
تأثیر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد گیاه (ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم) بر شاخص سطح برگ نشان داد که گیاهان تلقیح شده با این باکتری‌ها نسبت به گیاهان تلقیح نشده از شاخص سطح برگ بیشتری برخوردار بودند (شکل۴-۵۰ و شکل۴-۵۱). فواید رشد گیاه به همراه PGPR شامل افزایش میزان جوانه‌زنی، افزایش سطح برگ، محتوای کلروفیل II، محتوای نیتروژن، محتوای پروتئین و تأخیر در پیری برگ می‌باشد (دبلیر و همکاران، ۲۰۰۳؛ کاکمکسی، ۲۰۰۵a، ۲۰۰۵b).



شکل۴-۴۹- روند تغییرات شاخص سطح برگ در سطوح مختلف کود دامی



شکل۴-۵۰- روند تغییرات شاخص سطح برگ در شرایط تلقیح ازتوباکتر



شکل۴-۵۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ در شرایط تلقیح آزوسپیریلیوم

۴-۲-۲- تجمع ماده خشک (TDM)[1]

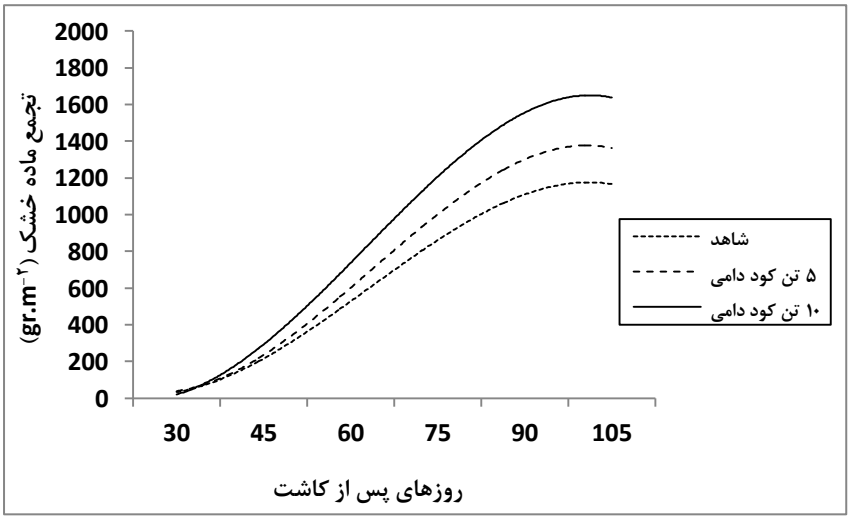
معمولاً تجمع ماده خشک گیاه به عنوان کمیتی که مشخص‌کننده رشد گیاه است به کار می‌رود. وزن خشک کل در طول فصل رشد به صورت تجمعی افزایش می‌یابد و یکی از فاکتورهای مهمی است که در محاسبه مربوط به شاخص‌های رشد گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. منحنی روند تجمع ماده خشک به صورت سیگموئیدی است، بدین صورت که تجمع ماده خشک در مراحل اولیه رشد گیاه به دلیل کوچک بودن گیاه، کم بودن سطح برگ به عنوان سطوح دریافت‌کننده تشعشع خورشیدی و ظرفیت فتوسنتزی کمتر، دارای شیب آهسته‌ای است اما با گسترش سطح برگ، سرعت تجمع ماده خشک نیز افزایش می‌یابد و به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

همان‌گونه که در شکل (۴-۵۲) مشاهده می‌شود تولید ماده خشک در طی فصل رشد در تمامی سطوح کود دامی افزایش یافت. در این تحقیق سطوح بالاتر کود دامی، عملکرد کل ماده خشک بیشتری را در طول فصل رشد نشان دادند و این اختلاف در پایان فصل به بیشترین مقدار خود رسید. نتایج نشان داد که در تمام تیمارهای کودی حداکثر تجمع ماده خشک در گیاه در ۱۰۵ روز پس از کاشت مشاهده شد. در تحقیق دیگری نیز نتایج مشابهی در مورد روند تغییرات TDM در ذرت گزارش شد. نتایج این مطالعه نشان داد که در شرایط مطلوب محیطی نظیر میزان رطوبت خاک،

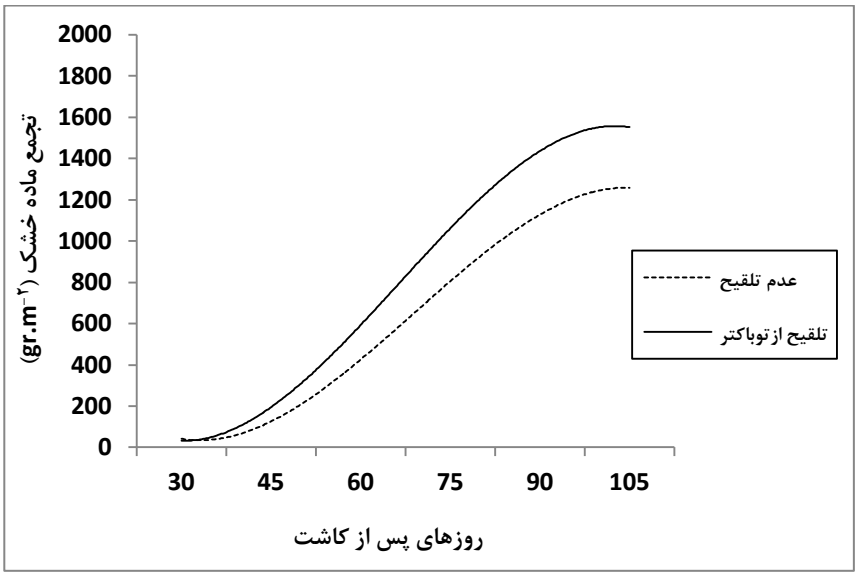
1- Total Drying Material

مقدار وزن خشک ذرت در ابتدای فصل رشد به آرامی افزایش یافت. با گذشت زمان برگ‌های بیشتری در معرض نور خورشید قرار گرفتند و میزان تجمع ماده خشک روند افزایشی نشان داد (قوش، ۲۰۰۴). کود دامی می‌تواند تمام و یا بخش اعظم نیتروژن مورد نیاز گیاه و همچنین فسفر، پتاسیم و عناصر ریزمغذی را نیز تأمین نماید و علاوه بر تأمین نیاز تغذیه‌ای گیاه منجر به بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌شود (پرات، ۱۹۸۲). در آزمایشی بر روی کدو تنبل (*Cucurbita maxima* L.) کاربرد کودهای حاصل از گاو، بز و مرغ باعث افزایش زیست توده محصول نسبت به تیمار شاهد شد، ضمن اینکه با افزایش سطوح کودهای دامی، عملکرد ماده خشک نیز به صورت خطی افزایش پیدا کرد (عزیز و همکاران، ۲۰۱۰).

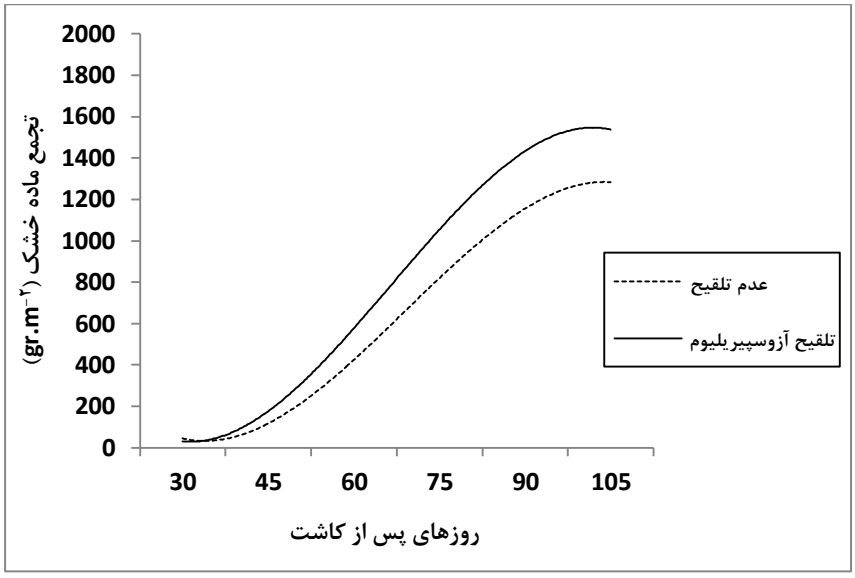
نتایج این تحقیق نشان داد که گیاهان تلقیح شده با باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم از تجمع ماده خشک بیشتری برخوردار بودند (شکل۴-۵۳ و شکل۴-۵۴). میزان تجمع ماده خشک در طی فصل رشد در بوته‌های ذرت تلقیح یافته بیشتر از شاهد بود و این برتری تا انتهای دوره رشد حفظ شد. در این منحنی‌ها مقدار TDM در طی فصل رشد روند افزایشی را نشان داد و در ۱۰۵ روز پس از کاشت به بالاترین میزان خود رسید. تحقیقات نشان داده است که باکتری‌های محرک رشد قادر به بهبود شرایط رطوبتی و غذایی برای گیاه هستند و بنابراین می‌توانند از این طریق مقدار TDM بوته‌های ذرت را در مقایسه با بوته‌های تلقیح نیافته افزایش دهند (ساریج و همکاران، ۱۹۹۰؛ راجر و لادها، ۱۹۹۲).



شکل۴-۵۲- روند تغییرات تجمع ماده خشک در سطوح مختلف کود دامی



شکل۴-۵۳- روند تغییرات تجمع ماده خشک در شرایط تلقیح ازتوباکتر



شکل۴-۵۴- روند تغییرات تجمع ماده خشک در شرایط تلقیح آزوسپیریلیوم

۴-۲-۳- سرعت رشد محصول (CGR)[1]

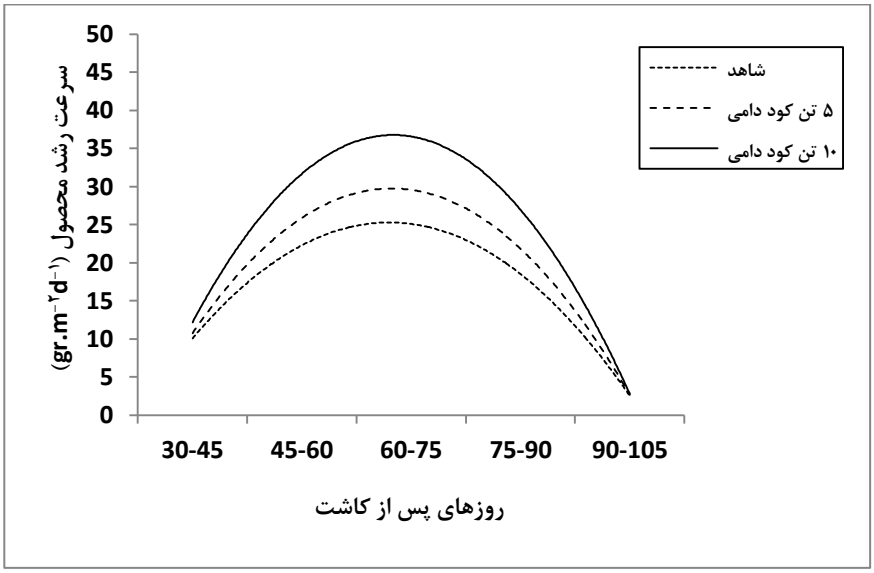
سرعت رشد محصول نمایانگر میزان تجمع ماده خشک در گیاهان در یک واحد زمانی مشخص در واحد سطح زمین می‌باشد. به عبارت دیگر سرعت رشد محصول، افزایش وزن خشک یک اجتماع گیاهی در واحد سطح زمین و در واحد زمان می‌باشد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸). در مراحل اولیه

1- Crop Growth Rate

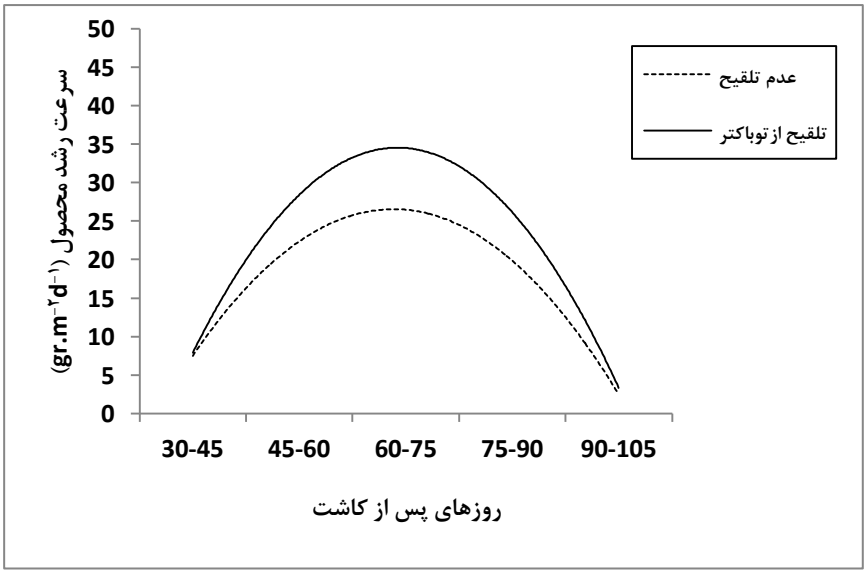
رشد به دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و درصد کم نور خورشید که توسط گیاهان جذب می‌شود، سرعت رشد محصول کم می‌باشد. با نمو گیاهان افزایش سریعی در CGR پدید می‌آید، زیرا سطح برگ توسعه یافته و نور کمتری از لابلای شاخ و برگ به سطح خاک نفوذ می‌کند (کوچکی و همکاران، ۱۳۶۷). با توجه به شکل‌های (۴-۵۵، ۴-۵۶ و ۴-۵۷) مشاهده می‌شود که در اوایل فصل رشد CGR همراه با افزایش شاخص سطح برگ به سرعت افزایش یافته و پس از رسیدن به حداکثر مقدار خود روند نزولی نشان می‌دهد. مشاهده چنین روندی به علت افزایش تدریجی و فزاینده جذب تشعشع همزمان با افزایش سطح برگ در اوایل فصل رشد و در نتیجه افزایش سرعت تجمع ماده خشک در گیاهان می‌باشد به طوری‌که با گذشت زمان، سرعت تجمع ماده خشک پس از رسیدن به حد نهایی خود در اثر سایه اندازی اندام‌های فوقانی روی برگ‌ها، کاهش قدرت فتوسنتزی گیاه و پیر شدن و اتلاف برگ‌ها کاهش یافته و CGR رو به تنزل می‌گذارد (کوچکی و همکاران، ۱۳۶۷). کافی و همکاران (۱۳۸۴) گزارش کردند که در اغلب گیاهان زراعی سرعت رشد محصول با شروع دوره زایشی به حداکثر مقدار خود می‌رسد و با رسیدگی گیاه، به دلیل توقف رشد و بویژه پیری برگ‌ها کاهش می‌یابد. هر قدر حداکثر سرعت رشد محصول از نظر فنولوژیکی در مرحله دیرتری حاصل شود، از نظر تطبیق بهتر آن با نیازهای مقصد و استفاده مستقیم از تولیدات فتوسنتزی جاری، برای رشد دانه‌ها مناسب‌تر خواهد بود. به عنوان مثال لباسچی و همکاران (۱۳۷۳) در مورد ارقام جو نشان دادند که هر اندازه از زمان سنبله رفتن تا وقوع حداکثر سرعت رشد فاصله بیشتری وجود داشته باشد، عملکرد بیشتری نیز حاصل می‌شود.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با افزایش سطح کود دامی، سرعت رشد محصول نیز افزایش می‌یابد که این امر می‌تواند به علت افزایش شاخص سطح برگ و جذب بیشتر نور توسط کانوپی باشد. همان‌گونه که در شکل (۴-۵۵) مشاهده می‌شود، تیمار ۱۰ تن کود دامی بیشترین سرعت رشد گیاه را به خود اختصاص داده است.

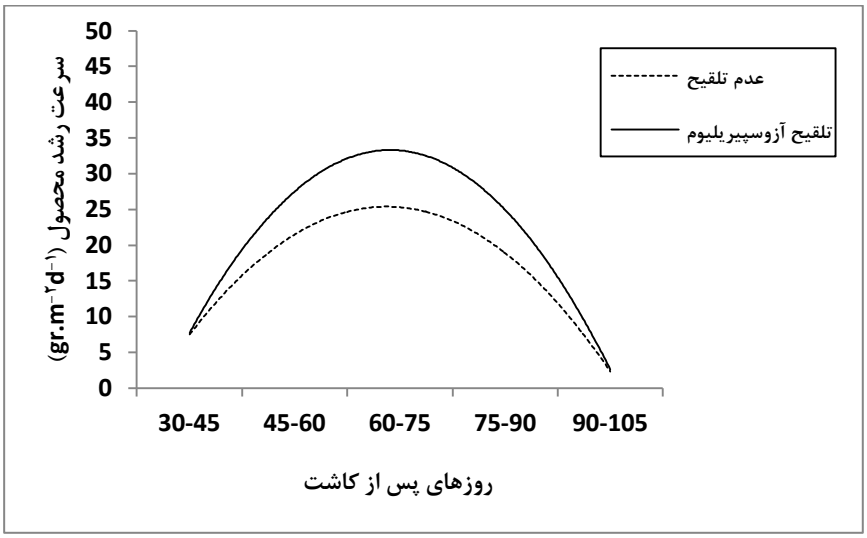
نتایج آزمایش نشان داد که گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم نسبت به گیاهان تلقیح نشده از سرعت رشد بیشتری برخوردار بودند (شکل۴-۵۶ و شکل۴-۵۷) که این افزایش میزان سرعت رشد در گیاهان تلقیح شده را می‌توان به افزایش کارایی جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط گیاه، افزایش و توسعه سطح ریشه، جذب بیشتر آب و عناصر غذایی و افزایش راندمان گیاه در تولید و توزیع مواد فتوسنتزی به بخش‌های مختلف گیاه نسبت داد.



شکل۴-۵۵- روند تغییرات سرعت رشد محصول در سطوح مختلف کود دامی



شکل۴-۵۶- روند تغییرات سرعت رشد محصول در شرایط تلقیح ازتوباکتر



شکل۴-۵۷- روند تغییرات سرعت رشد محصول در شرایط تلقیح آزوسپیریلیوم

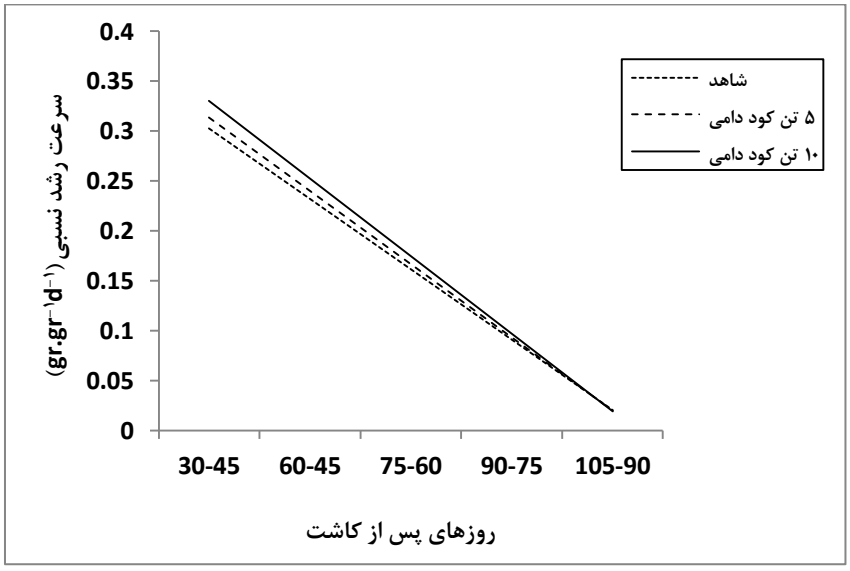
۴-۲-۴- سرعت رشد نسبی (RGR)[1]

سرعت رشد نسبی بیانگر وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در یک فاصله زمانی است و معمولاً بر حسب گرم بر گرم در روز بیان می‌شود (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸). تغییرات سرعت رشد نسبی بر مبنای روزهای پس از کاشت در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که در تمام تیمارها، RGR با افزایش سن گیاه کاهش یافته است (۴-۵۸، ۴-۵۹ و ۴-۶۰). کاهش سرعت رشد نسبی گیاه در طی فصل رشد، می‌تواند به پیری برگ‌های پایینی، در سایه قرار گرفتن آنها و همچنین افزایش بافت‌های ساختمانی (که در فتوسنتز نقشی ندارند) نسبت به بافت‌های متابولیکی فعال نسبت داده شود (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸). به عبارت دیگر با توجه به اینکه میزان RGR تابع سطح کل فتوسنتز کننده گیاه است به همین دلیل با افزایش سن گیاه و افزایش مقدار تنفس، در اواخر فصل رشد کاهش می‌یابد. سارکر (۲۰۰۳) نشان داد که سرعت رشد نسبی با گذشت زمان کاهش می‌یابد که چنین روندی به دلیل افزایش شاخص سطح برگ و به طور کلی افزایش تعداد برگ‌هایی است که منجر به سایه اندازی بر روی برگ‌های قبلی می‌شوند. افزایش سن برگ‌های پایین‌تر گیاه نیز موجب کاهش فتوسنتز می‌گردد. این مسئله توسط محققین دیگر نیز در مورد گندم گزارش شد (دیویدسون و

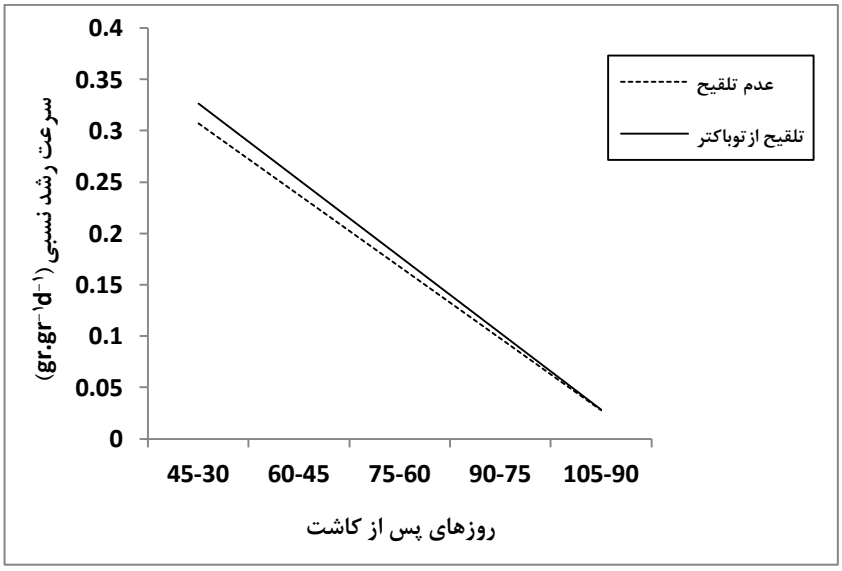
1- Relative Growth Rate

کامپبل، ۱۹۸۴؛ کریمی و سیدیکیو، ۱۹۹۱). این محققین گزارش کردند که میزان سرعت رشد نسبی که یکی از شاخص‌های مهم در توجیه عملکرد است در گندم در اوایل فصل رشد بالا بوده و با گذشت زمان کاهش می‌یابد، به طوری که در مرحله خمیری مقدار آن منفی می‌شود. با مسن‌تر شدن گیاهان رقابت بین آنها برای آب، مواد غذایی و نور افزایش یافته و به این ترتیب RGR کاهش می‌یابد (کوچکی و همکاران، ۱۳۶۷).

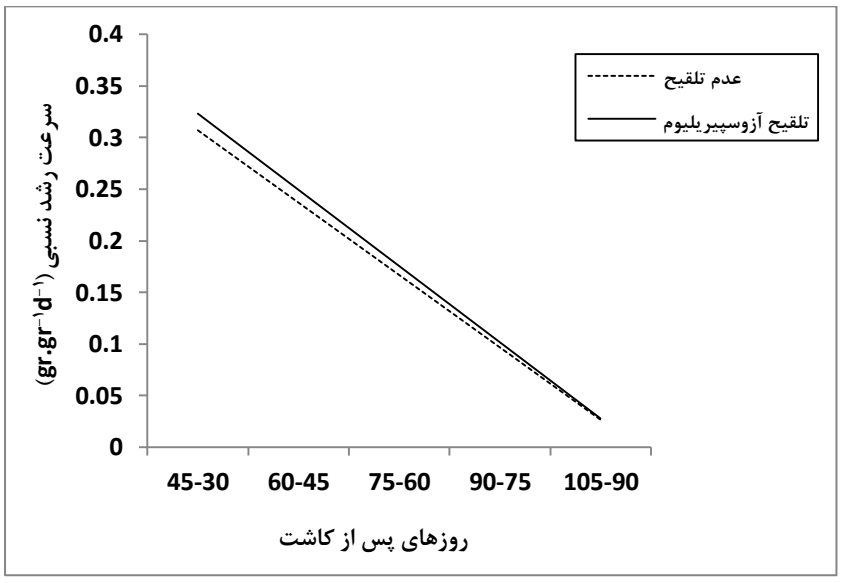
با توجه به شکل۴-۵۸ مشاهده می‌شود که با افزایش سطح کود دامی RGR نیز در طی مراحل رشد گیاه افزایش نشان داده است. علت این امر را می‌توان به شاخص سطح برگ بیشتر در سطوح کودی بالاتر نسبت داد. سرعت رشد نسبی در پاسخ به تلقیح با باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم روند مشابهی داشت (شکل۴-۵۹ و شکل۴-۶۰) به طوری‌که مقدار سرعت رشد نسبی در اوایل دوره رشد بیشترین مقدار بوده و در طول دوره رشد کاهش یافت. تأثیر تلقیح بذر بر سرعت رشد نسبی نشان داد که گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم نسبت به گیاهان تلقیح نشده در اوایل دوره رشد از سرعت رشد نسبی بالاتری برخوردار بودند ولی در مراحل انتهایی رشد دارای RGR نسبتاً برابر بودند.



شکل۴-۵۸- روند تغییرات سرعت رشد نسبی در سطوح مختلف کود دامی



شکل۴-۵۹- روند تغییرات سرعت رشد نسبی در شرایط تلقیح ازتوباکتر



شکل۴-۶۰- روند تغییرات سرعت رشد نسبی در شرایط تلقیح آزوسپیریلیوم

۴-۲-۵- سرعت جذب خالص (NAR)[1]

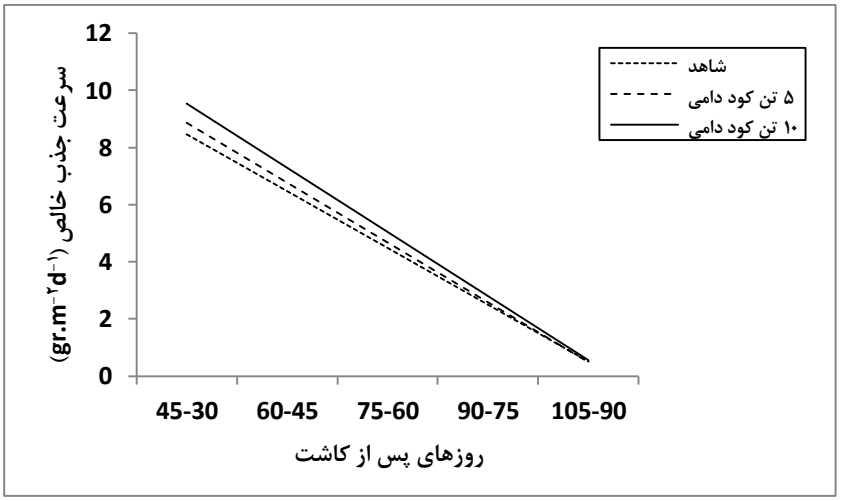
سرعت جذب خالص عبارت است از سرعت تجمع ماده خشک در واحد سطح برگ در زمان معین. در حقیقت میـزان جذب خالص بیانگر مقدار مواد ساختـه شده خالص در واحد سطح برگ در واحد زمان می‌باشد و معمولاً بر حسب گرم بر متر مربع در روز بیان می‌شود. NAR تخمینی از

1- Net Assimilation Rate

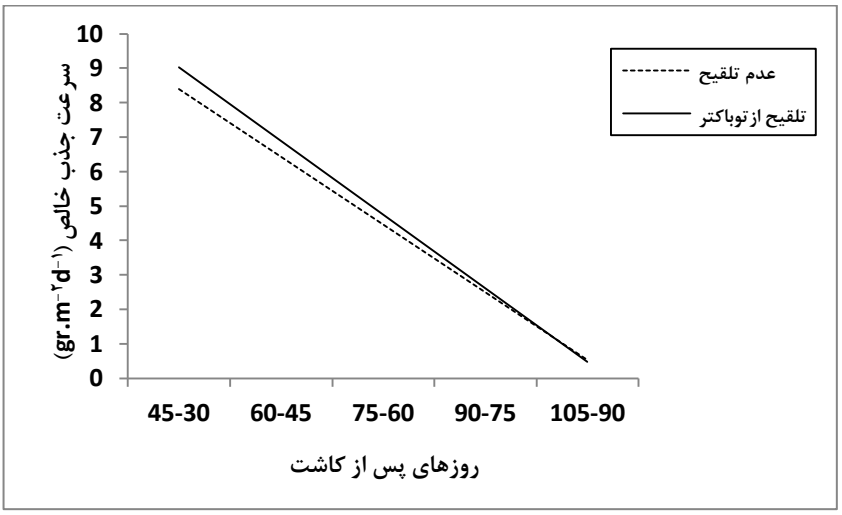
میانگین کارایی فتوسنتزی برگ‌ها در یک گیاه یا در یک جامعه گیاهی است (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸) و هر عاملی که باعث کاهش فتوسنتز شود میزان NAR را کاهش می‌دهد. NAR در ابتدای رشد که برگ گیاه جوان است و رقابت و سایه اندازی وجود ندارد و نور کامل به برگ می‌رسد، مقدارش بالا ولی با گذشت زمان به دلیل سایه اندازی و همچنین ساختمانی شدن بعضی از اندام‌های فتوسنتزکننده میزان فتوسنتز صورت گرفته در واحد سطح برگ کاهش یافته و در نتیجه مقدار آن کاهش می‌یابد. تغییرات میزان جذب خالص بر حسب روزهای پس از کاشت در سطوح مختلف کود دامی و در شرایط تلقیح با ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم در شکل‌های (۴-۶۱، ۴-۶۲ و ۴-۶۳) نشان داده شده است. در این پژوهش سرعت جذب خالص در اوایل فصل رشد بیشترین مقدار را دارد اما با افزایش شاخص سطح برگ کاهش می‌یابد.

شکل(۴-۶۱) تأثیر سطوح مختلف کود دامی را بر تغییرات سرعت جذب خالص در طی فصل رشد نشان می‌دهد. با توجه به منحنی مشاهده می‌شود که با افزایش سطح کود دامی میزان جذب خالص در طی مراحل رشد گیاه افزایش یافته است.

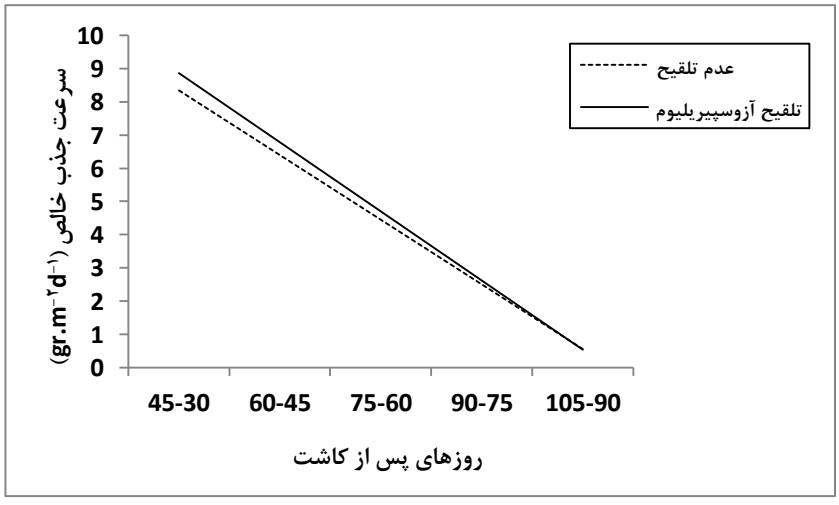
تأثیر تلقیح بذر بر سرعت جذب خالص نشان داد که گیاهان تلقیح شده با ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم نسبت به گیاهان تلقیح نشده در اوایل دوره رشد از سرعت جذب خالص بالاتری برخوردار بودند ولی در مراحل انتهایی رشد دارای NAR نسبتاً برابر بودند (شکل۴-۶۲ و شکل۴-۶۳). همان‌طور که مشاهده می‌شود، NAR با گذشت زمان روند نزولی داشته است. کاهش جذب خالص با گذشت زمان به افزایش سایه اندازی برگ‌ها به علت افزایش سطح برگ نسبت داده می‌شود (باتری و بازل، ۱۹۷۴). هانت (۱۹۷۸) ملاحظه کرد هنگامی که برگ‌های جدید گیاه اضافه می‌شوند وزن خشک بدست آمده به ازای هر واحد سطح برگ کاهش می‌یابد.



شکل۴-۶۱- روند تغییرات سرعت جذب خالص در سطوح مختلف کود دامی



شکل۴-۶۲- روند تغییرات سرعت جذب خالص در شرایط تلقیح ازتوباکتر



شکل۴-۶۳- روند تغییرات سرعت جذب خالص در شرایط تلقیح آزوسپیریلیوم

۴-۳- جمع بندی نتایج

در یک جمع بندی کلی می‌توان گفت که کاربرد کودهای زیستی از نوع باکتری‌های افزاینده رشد به صورت تلقیح با بذر با تأثیر مثبت بر جنبه‌های مختلف رشد و نمو گیاه ذرت می‌توانند از طریق اثر هم افزایی برای عوامل تقویت‌کننده رشد و نمو و اثر آنتاگونیستی برای عوامل کاهنده رشد و نمو موجب افزایش سرعت و میزان رشد و نمو و در نتیجه افزایش عملکرد محصول گردند.

به طور کلی نتایج این تحقیق حاکی از این است که کاربرد کود دامی و این باکتری‌ها، به تنهایی و یا استفاده توأم از آنها در بهبود ویژگی‌های رشدی و عملکرد گیاه ذرت تاثیر مثبتی داشت. با توجه به ضرورت تولید این گیاهان در نظام‌های زراعی و لزوم توجه به کشت این گیاهان در نظام‌های کم نهاده، به نظر می‌رسد استفاده از کود دامی و این باکتری‌ها و سایر کودهای بیولوژیک می‌توانند در برخی موارد به عنوان جایگزین و در اکثر موارد به عنوان مکمل کودهای شیمیایی، پایداری تولید را در نظام های کشاورزی تضمین کنند.

۴-۴- توصیه‌ها و پیشنهادات

قبل از اقدام برای تولید انبوه و کاربرد این مواد در مقیاس وسیع، انجام آزمایشات بیشتر در مناطق مختلف ضروری می‌باشد. در این راستا پیشنهادات زیر برای مطالعات بیشتر سایر پژوهشگران در تحقیقات بعدی توصیه می‌گردد:

- مطالعات گسترده‌تر در مورد اثر تلقیح باکتری‌های محرک رشد بر روی دیگر گیاهان زراعی بویژه غلات
- بررسی تأثیر باکتری‌های به کار گرفته شده با مصرف مقدار بیشتر کود دامی
- بررسی اثرات متقابل این باکتری‌ها با انواع دیگر ریزموجودات خاکزی برای شناسایی مناسب‌ترین ترکیب
- مطالعه و بررسی تأثیر انواع نهاده‌های کشاورزی بر نحوه فعالیت باکتری‌های محرک رشد در خاک

- انجام آزمایشات مزرعه‌ای در مناطق جغرافیایی مختلف برای تعیین سویه‌های سازگار با شرایط محیطی هر منطقه

- تحقیق بر روی خصوصیات فیزیولوژیکی باکتری‌های مورد آزمایش و تعیین ارتباط آنها با ویژگی‌های رشدی گیاه میزبان

جدول۴-۴- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه ذرت تحت شرایط کود دامی و تلقیح باکتری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		عملکرد دانه	ارتفاع گیاه	تعداد دانه در ردیف بلال	وزن بلال	طول بلال	وزن چوب بلال
تکرار (R)	۳	۵۵۲۷/۲۵۲ ns	۴۳۴/۸۰۵ *	۱۰/۰۰۰ ns	۱۷۹/۷۰۸ ns	۰/۲۴۵ ns	۱۰/۱۱۶ ns
کود دامی (A)	۲	۲۶۱۷۶۵/۲۴۹ **	۶۳۲۸/۱۴۵ **	۱۷/۱۴۵ *	۸۶۰۵/۸۱۶ **	۱۹/۴۳۰ **	۶۳/۴۱۱ **
ازتوباکتر (B)	۱	۳۱۶۳۶۶/۴۴۹ **	۳۵۷۰/۷۵۰ **	۲۴/۰۸۳ *	۸۶۸۳/۳۲۰ **	۶۲/۱۰۷ **	۶۰/۴۵۷ *
آزوسپیریلیوم (C)	۱	۲۷۳۸۲۴/۴۰۷ **	۲۹۱۴/۰۸۳ **	۲۱/۳۳۳ *	۵۸۲۸/۲۵۷ **	۱۴/۳۰۰ *	۶۴/۷۹۷ *
اثر متقابل (AB)	۲	۴۳۴۸۷/۰۲۷ *	۲۵۵/۴۳۷ ns	۷/۶۴۵ ns	۱۱۳۲/۶۰۰ *	۷/۹۳۰ *	۱۲/۰۸۳ ns
اثر متقابل (AC)	۲	۳۵۷۶۶/۵۱۱ *	۱۵۱/۳۹۵ ns	۰/۱۴۵ ns	۹۳۳/۷۲۴ *	۲/۰۴۰ ns	۳/۰۸۳ ns
اثر متقابل (BC)	۱	۹۲۱۱۴/۰۳۰ **	۵۲۰/۰۸۳ *	۱۸/۷۵۰ *	۱۲۳۸/۰۹۷ *	۱۰/۲۶۷ *	۰/۳۲۱ ns
اثر متقابل (ABC)	۲	۴۰۵۴۷/۳۷۶ *	۴۳۱/۲۷۰ *	۲/۳۱۲ ns	۴۴۴/۵۸۹ ns	۲/۶۲۷ ns	۱۵/۹۲۴ ns
خطای آزمایشی(E)	۳۳	۱۰۶۲۶/۴۰۵	۱۱۷/۹۴۱	۴/۴۵۴	۲۷۰/۷۵۴	۲/۲۱۲	۹/۲۰۰

ns ، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم معنی دار بودن و معنی دار بودن در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول۴-۵- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه ذرت تحت شرایط کود دامی و تلقیح باکتری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن هزار دانه	تعداد ردیف دانه در بلال	تعداد دانه در بلال	قطر چوب بلال	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت
تکرار (R)	۳	۳۰۷/۴۵۰ ns	۲/۰۰۰ ns	۳۶۵/۵۷۶ ns	۰/۰۴۸ ns	۱۰۱۶۶/۹۲۷ ns	۲/۹۴۸ ns
کود دامی (A)	۲	۴۱۰۲/۷۵۶**	۵/۳۹۵ *	۷۷۷۳/۰۶۲ **	۰/۲۹۱ *	۱۰۷۶۹۴۷/۸۵۱ **	۴۱/۲۷۸ *
ازتوباکتر (B)	۱	۳۹۹۸/۵۷۵**	۱/۳۳۳ ns	۹۶۶۱/۶۸۷ **	۰/۵۳۱ *	۷۴۲۲۰۸/۹۳۹ **	۵۱/۸۶۷ *
آزوسپیریلیوم (C)	۱	۱۲۲۹/۱۷۵ns	۶/۷۵۰ *	۷۱۲۹/۶۸۷ *	۰/۶۲۳ *	۵۳۲۳۱۹/۸۰۹ **	۲۸/۴۲۸ ns
اثر متقابل (AB)	۲	۱۲۵۳/۸۵۰*	۰/۷۷۰ ns	۵۸۰/۵۶۲ ns	۰/۰۲۹ ns	۱۲۳۲۲۸/۷۳۸ *	۲/۳۷۹ ns
اثر متقابل (AC)	۲	۲۸۵/۱۷۰ ns	۰/۰۶۲ ns	۹۰۹/۸۱۲ ns	۰/۰۳۲ ns	۱۰۰۷۲۳/۰۸۰ *	۰/۵۴۸ ns
اثر متقابل (BC)	۱	۲۳/۱۰۱ ns	۰/۷۵۰ ns	۳۰۵۶/۰۲۰ ns	۰/۴۱۲ *	۳۴۶۶۴۳/۹۵۸ **	۰/۶۹۸ ns
اثر متقابل (ABC)	۲	۳۰/۸۸۳ ns	۱/۱۸۷ ns	۱۱۵۹/۱۴۵ ns	۰/۱۸۵ ns	۹۳۳۳۲/۵۱۹ *	۰/۱۲۶ ns
خطای آزمایشی(E)	۳۳	۳۴۷/۵۸۱	۱/۳۹۳	۹۷۴/۳۰۳	۰/۰۸۶	۲۴۰۲۳/۶۰۲	۱۲/۲۶۱

ns ، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم معنی دار بودن و معنی دار بودن در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

منابع مورد استفاده

اسدی رحمانی، ه. ه خسروی، ز. علی پور، م.ج. ملکوتی. ۱۳۸۳. نقش باکتری‌های محرک رشد (PGPR) در رشد و سلامت گیاه، نشریه شماره ۳۰۹. انتشارات سنا، تهران، ایران.

اسدی رحمانی ه، خاوازی ک، اصغرزاده ا. و رجالی ف. ۱۳۸۴. کودهای بیولوژیک، مکمل یا جایگزین کودهای شیمیایی. مجموعه مقالات ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور (چاپ دوم با بازنگری بنیادی)، ۴۱-۳۲.

امید بیگی، ر. ۱۳۷۸. رهیافت‌های تولید و فرآوری گیاهان دارویی. انتشارات آستان قدس رضوی.

ایران نژاد، ح. و شهبازیان، ن. ۱۳۸۴. زراعت غلات (جلد دوم). انتشارات کارنو.

پورموسوی، س.م. ۱۳۸۸. اثر استفاده از کود دامی در شرایط تنش خشکی، بر عملکرد کمی و کیفی سویا. مجله علوم گیاهان زراعی ایران، دوره ۴۰، شماره ۱.

توحیدلو، ق. ۱۳۸۰. گزارش پژوهشی سالانه بخش تحقیقات به‌زراعی مؤسسه تحقیقات چغندرقند. ۱۱۴ صفحه.

حسن‌زاده قورت تپه، ع. و قلاوند، ا. ۱۳۸۴. بررسی سیستم‌های مختلف تغذیه بر عملکرد دانه و کارایی نیتروژن در برخی از ارقام آفتابگردان در آذربایجان غربی. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ویژه نامه زراعت و اصلاح نباتات، ۱۲(۵): ۲۷-۲۰.

حیدری، ف و رمرودی خسته دل، م. ۱۳۸۹. تأثیر کود دامی و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد عدس بومی زابل. خلاصه مقالات یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشگاه شهید بهشتی تهران. ۲ الی ۴ مرداد.

حق نیا، غ، ۱۳۷۰، خاک شناخت، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

خدابنده، ن. ۱۳۷۷. غلات. انتشارات دانشگاه تهران.

خواجه پور، م، ۱۳۷۴، اصول و مبانی زراعت، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان.

راشد محصل م.ح، حسینی م، عبدی م و ملافیلابی ع. ۱۳۷۶. زراعت غلات. ترجمه و تدوین. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۰۶ صفحه.

روستا، م.، ج. ، صالح راستین، ن.، و مظاهری اسدی، م. ۱۳۷۷. بررسی و فعـالیت آزوسپیریلیوم در برخی از خاک‌های ایران. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۲۹ ، شماره ۲ ، صفحه ۲۹۸-۲۸۵.

سالاردینی، ع. الف و م مجتهدی (مترجمین)، ۱۳۷۸، اصول تغذیه گیاه جلد دوم، مرکز نشر دانشگاهی.

سرمدنیا غ. و کوچکی ع. ۱۳۶۸، فیزیولوژی گیاهان زراعی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

شهیدی، الف. و فروزان، ک. ۱۳۷۶. کلزا. انتشارات شرکت سهامی خاص توسعه کشت دانه‌های روغنی.

شیرانی راد، ا. ح. ۱۳۷۹. فیزیولوژی گیاهان زراعی. مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران. ۳۶۰ صفحه.

صالح راستین، ن. ۱۳۸۴. مدیریت پایدار از دیدگاه بیولوژی خاک. صفحه ۳۲-۵، مجموعه مقالات ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور (چاپ دوم با بازنگری بنیادی)، خاوازی، ک.، اسدی رحمانی، ه.، ملکوتی، م.،ج. (تدوین‌کنندگان)، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، انتشارات سنا.

صالح راستین، ن. ۱۳۸۰. کودهای بیولوژیک و نقش آنها در راستای نیل به کشاورزی پایدار. مجله علوم خاک و آب، ویژه نامه کودهای بیولوژیک.

علیزاده ا. و کوچکی ع. ۱۳۶۸. کشاورزی آب و هوا. انتشارات جاوید مشهد.

فتح‌اله طالقانی، د.، صادق‌زاده، س.، نوشاد، ح.، دهقانشعار، م.، توحیدلو، ق. و حمدی، ف. ۱۳۸۵. تأثیر مقادیر مختلف کود دامی بر خصوصیات کمی و کیفی چغندرقند در تناوب گندم و چغندرقند، ۲۲(۲). ۷۸-۶۷.

فلاحی، ج. ۱۳۸۸. تأثیر کودهای بیولوژیک و شیمیایی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی بابونه آلمانی. پایان نامه کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

قلاوند، ا.، حمیدی، آ.، دهقان شعار، م ، ج.، اصغرزاده، ا. و چوگان. ر. ۱۳۸۵. کاربرد کودهای زیستی، راهبردی بوم شناختی برای مدیریت پایدار بوم نظام‌های زراعی. نهمین گنکره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. مقالات کلیدی: ۲۰۰-۲۲۴. دانشگاه تهران.

کافی، م.، قاسمی، ع. و اصفهانی، م. ۱۳۸۴. بررسی تأثیر سطوح کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای در منطقه گیلان. علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲ (۵): ۵۵-۶۲.

کریمی، ه. ۱۳۸۳. گیاهان زراعی، انتشارات دانشگاه تهران.

کوچکی ع، راشد محصل م.ح، نصیری ور م. صدر آبادی، ر. ۱۳۶۷. مبانی فیزیولوژی رشد و نمو گیاهان زراعی. انتشارات آستان قدس رضوی. ۴۰۴ صفحه.

کوچکی، ع.، ع. نخ فروش و ح. ظریف کتابی. ۱۳۷۶. کشاورزی ارگانیک. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۳۳۱ص.

کوچکی، ع.، ا. غلامی، ع. مهدوی دامغانی و ل. تبریزی. ۱۳۸۴. اصول کشاورزی زیستی (ارگانیک). (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

لباسچی، م.، ع. رضایی.، م. کریمی. ۱۳۷۳. بررسی شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد مؤثر بر عملکرد یولاف و جو. مجله پژوهش و سازندگی. ۲۴: ۴۶-۵۱.

مجیدیان، م، قلاوند، ا، کامکار حقیقی، ع.ا و کریمیان، ن. ۱۳۸۷. استفاده از کود دامی و تأثیر آن در کاهش تنش خشکی، کمیت و کیفیت گیاه ذرت. سومین کنگره ملی بازیافت و استفاده از منابع آلی تجدید شونده در کشاورزی. اصفهان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، دانشکده کشاورزی، ۲۴ الی ۲۶ اردیبهشت ماه ۱۳۸۷.

مطیعی، الف، ۱۳۷۰، بررسی تأثیر میزان و شیوه توزیع کود نیتروژنی بر عملکرد کمی و کیفی و منحنی رشد ذرت دانه‌ای، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

ملکوتی م. و غیبی م. ۱۳۷۹. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی مؤثر در خاک، گیاه و میوه در راستای افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات استراتژیک کشور، چاپ دوم با بازنگری، نشر آموزش کشاورزی، سازمان تات، کرج، ایران.

ملکوتی م. و بلالی م. ۱۳۸۳. مصرف بهینه کود راهی برای پایداری در تولیدات کشاورزی، نشر آموزش کشاورزی به سفارش مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

ملکوتی، م. ج.، ز. خوگر و ز. خادمی. ۱۳۸۳. روش‌های نوین در تغذیه گندم (مجموعه مقالات)، انتشارات سنا، تهران.

ملکوتی، م.، ج. ، نفیسی، م. و خاوازی، ک. ۱۳۸۳. مصرف بهینه کود، گامی ارزنده به سوی امنیت غذایی و دستیابی به کشاورزی پایدار. مجموعه مقالات اصول تغذیه ذرت، بهینه سازی مصرف کود، گامی به سوی خودکفایی در تولید ذرت در کشور. ملکوتی، م. ، ج. و غیبی، م. ، ن. (تدوین کنندگان)، صفحات: ۳۷-۱۲، انتشارات سنا.

میرهاشمی، م.، کوچکی، ع.، پارسا، م. و نصیری محلاتی، م. ۱۳۸۸. بررسی شاخص‌های فیزیولوژیک رشد زنیان و شنبلیله در کشت‌های خالص و مخلوط مبتنی بر اصول کشاورزی زیستی (ارگانیک). پژوهش‌های زراعی ایران، ۷(۲): ۶۸۵-۶۹۳.

هوشیارفرد، م. و قرنجیکی، ع. ۱۳۸۸. اثر نوع و مقدار کود دامی بر میزان وقوع و شدت بیماری های مهم، عملکرد و اجزای عملکرد پنبه. علوم زراعی ایران، ۱۱(۳): ۲۴۷-۲۳۸.

وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۷۵. برنامه افزایشی تولید محصولات کشاورزی، کتاب چهارم (علوفه)، جلد سوم، ذرت.

وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۵. آمارنامه کشاورزی، جلد اول محصولات زراعی و باغی (سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳)، نشریه ۸۵/۰۹ دفتر آمار و فناوری اطلاعات معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی، تهران.

یوسفی، م. و دانشیان، ج. ۱۳۸۹. خلاصه مقالات یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشگاه شهید بهشتی تهران. ۲ الی ۴ مرداد.

References

Acquaah, G. 2002. Principals of crop production (theory, technical and technology). Prentice–Hall of India, New Delhi.pp:460.

Ahmad, F. Ahmad, I. and khan, M. S. 2005. "Indole acetic acid production by the indigenous isolated of Azotobacter and Fluorescent Psedomonas in the presence and absence of Tryphtophan". Turk. J. Biol. 29:29-34.

Alexandratos, N. 2003. World agriculture: towards 2015-30. Congress on Global Food Security and Role of Sustainable Fertilization. 26-28 March. 2003. Rome, Italy.

Alizadeh, G. G., Asadi-Kangharshahi, S. and Tavakoli, A. 2005. Study of effects of different amounts of organic fertilizer on yield and quality of soybean. In: Proceeding of the 9th Iran Soil Science Congress.PP. 7-9.

Anonymus, 2005. 20 selected indicators of food and agriculture development in asia-pacific region (1994-2004). FAO, Rome, Italy.

Arshad, M. and Frankenberger, W.T.J. 1998. Plant growth-regulating substances in the rhizosphere: microbial production and functions. Adv Agron. 62, 145-151.

Ashraf, M., and Foolda, M. R. 2006. Pre-sowing seed treatment: A shotgun approach to improve germination, plant growth and crop yield under saline and non-saline conditions Adv. Agron. 88:223-271.

Azeez, J.O., Van Averbeke, W. and Okorogbona, A.O.M. 2010. Differential responses in yield of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) and nightshade (*Solanum retroflexum* Dun.) to the application of three animal manures. *Bioresource Technology*, 101:2499–2505.

Bachhawat, A.K. and Ghosh, S. 1987. Iron transport in *Azospirillum brasilense*: role of the siderophores spirilobactin. *J. Gen. Microbiol.* 133: 1759-1765.

Banerjee, M., Yesmin, R. L. and Vessey, J. K. 2006. Plant-growth promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides., pp.137-181. in:Handbook of microbial biofertilizers.Ed.,Rai, M., K., Food Production Press, U.S.A.

Barber, S.A. 1985. Potassium availability at the soil-root interface and factors influencing potassium uptake. In: Potassium in Agriculture, pp. 309-324, Munson, R.D., Ed., ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.

Barea, J.M., Bonis, A.F. and Olivares, J. 1983. Interactions between *Azospirillum* and VA mycorrhiza and their effects on growth and nutrition of maize and ryegrass. *Soil. Biol. Biochem.* 15: 705-709.

Bashan, Y. 1986. Enhancement of wheat root colonization and plant development by *Azospirillum brasilense* Cd. Following temporary depression of rhizosphere micro flora. *Appl. Environ. Microbiol.* 51(5): 1067-1077.

Bashan, Y. 1990. Enhanced growth of wheat and soybean plants inoculated with *Azospirillum* not necessary due to general enhancement of mineral uptake. *Microbiol*. 56: 769-775.

Bashan, Y. 1998. Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. Biotechnology Advance, 16: 729-770.

Bashan, Y. and Levanony, H. 1990. Current status of Azospirillum inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture. *Can. J. Microbiol*. 36: 591-607.

Bashan, Y., Harison, S. K. and Whitmoyer, R. E. 1990. Enhanced growth of wheat and soybean plants inoculated with *Azospirillum brasilense* is not necessarily due to general Enhancement of mineral uptake. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 769-775.

Bashan, Y. and Holguin, G. 1994. Root-to-root travel of the beneficial bacterium *Azospirillum brasilense. Appl. Environ. Microbiol.* 60(6): 2120-2131.

Bashan, Y. and Holguin, G. 1997. *Azospirillum*-plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). *Can. J. Microbiol.* 36: 591-607.

Baudoin, E., Benizri, E. and Guckert, A. 2002. Impact of growth stage on bacterial community structure along maize roots, as determined by metabolic and genetic fingerprinting. Applied Soil Ecology, 19: 135-145.

Belimov, A.A., Safronova, V.I. and Mimura, T. 2002. Response of spring rape (*Brassica napus* var. *oleifera* L.) to inoculation with plant growth promoting rhizobacteria containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase depends on nutrient status of the plant. Can. *J. Microbi0l.* 48, 189-199.

Bewley, J. D., and Black, M. 1994. Seeds: physiology of Development and Germination, Plenum Press, New York.

Biswas, J. C., Ladha, J. K. and Dazzo, F. B. 2000. Rhizobia inoculation improves nutrient uptake and growth of lowland rice. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 1644-1650.

Bowers, J.H and Parke, J.L. 1993. Colonization of pea (*Pisum sativum)* taproots by Pseudomonas fluorescens: effect of soil temperature and bacteria mobility. Soil. Biol. Biochem. 25: 1693-1701.

Burd, G.I., Dixon, D.G. and Glick, B.R. 2000. Plant growth promoting rhizobacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. *Can.J.Microbiol.* 33: 237-245.

Burdman, S., Volpin, H., Kigel, J., Kapulnik, Y. and Okon, Y. 1996. Promotion of nod gen inducers and nodulation in common bean (*Phaseolus vulgaris*) roots inoculated with *Azospirillum brasilense Cd. Appl. Environ. Microbiol.* 62: 3030-3033.

Buttery, B.R., and Buzzell. R.I. 1974. Evaluation of methods used in cumpoting net assimilation rates of soybean. Crop Sci. 14: 41-44.

Cakmakci, R., Kantar, F. and Fiahin, F. 2001. Effect of N_2-fixing bacterial inoculations on yield of sugar beet and barley. J. Plant Nutr. Soil Sci. 164: 527-531.

Cakmakci, R. 2005a. Bitki geliflimin‌de fosfat cozucu bakterilerin onemi. Selcuk Univ. Ziraat Fakultesi Dergisi. 35: 93-108.

Cakmakci, R. 2005b. Bitki geliflimini teflvik eden rizobakterilerintarimda kullanimi. Ataturk Univ. Ziraat Fakultesi Dergisi. 36: 97-107.

Callan, N. W., and Mathre, D. E. 2000. Biopriming Seed Treatment. Encyclopedia of Plant Pathology. John Wiley and Sons, New York.

Canestrino, J. G., Rooney, K. R., and Walsh, J. F. 1998. Coated alfalfa seed establishment and yield trials in commercial fields in central Minnesota. In Proceedings of American Forage and Grassland Council, pp. 16-20.

Carletti, S. 2002. Use of plant growth-promoting rhizobacteria in plant micro propagation. Available in URLL: http: //www. ag. Auburn. Edu/ arjentina/pdf. Manusceipts/corlett.pdf.

Cohen, E., Okon, Y., Kigel , J., Nur, I. and Henis, Y. 1980. Increase in dry weight and total nitrogen content in Zea mays and *Setaria italica* associated with nitrogen-fixing *Azospirillum.* Plant Physio. 66: 746-749.

Covarrubias, A. A., Ayala, J. W., Reyes, J. L., Hernandez, M. & Garciarrubio, A. 1995. Cell-wall proteins induced by water deficit in Bean (*Phaseoulus vulgaris* L.) seedling. *Plant Physiology*, 107, 1119-1128.

Creus, C.M., Sueldo, R.J. and Barassi, C.A. 1998. Water relations in Azospirillum-inoculated wheat seedling under osmotic stress. *Can. J. Bot.* 76: 238-244.

Damodar Reddy, D., Subba Rao, A. and Rupa, T.R. 2000. Effects of continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a Vertisol. *Bioresource Technology*, 75: 113-118.

Davidson, H.R. and Campbell, C.A. 1984. Growth rates, harvest index and moisture use of manitu spring wheats influenced by nitrogen, tempreture and moisture. *Can. J. Plant Sci.* 64: 825-839.

Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., and Yaacov Okon, Y. 2003. Plant growth promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. Critical Rev. Plant Sci. 22:107-149.

Doneche, B. and Marcantoni, G. 1992. The inhibition of *Botrytis cinerea* by soil bacteria-A new opportunity for biological control of gray rot. *Comptes Rendus de L'Academie des Sciences Serie III- Sciences de la Vie.* 314: 279-283.

Fallik, E., Sarig, S. and Okon, Y. 1994. Morphology and physiology of plant roots associated with *Azospirillum*., pp. 77-86. in: *Azospirillum* plant associations, Ed., Okon, Y., CRC Press, Boca Raton, Fla.

FAO. 2000. Tropical maize, Improvement and Production. Food and Agriculture Organization of the United nations Production and Protection Series. No. 28. 363pp.

Forlani, G. Mantelli, M. Branzoni, M. Nielsen, E. and Favilli, F. 1995. Differential sensitivity of plant –associated bacteria to sulfonylurea and imidazolinone herbicides. Plant soil. 176:243-253.

Foster, R.C. 1988. Microenvironments of soil microorganisms. Biol. Fertil. Soils. 6:189-203.

Fulchieri, M. and Frioni, L. 1994. Azospirillum inoculation on maize (*Zea mays* L.): effect on yield in a field experiment in central Argentina. Soil Biology and Biochemistry, 26: 921-923.

Gaind, S. and Gaur, A.C. 1989. Effects of pH on phosphate solubilization by microbes. Curr. Sci. 58, 1208-1211.

Gammack, S.M., Paterson, E. Kemp, J.S., Cresser, M.S. and Killhan, K. 1992. Factors affecting the movement of microorganisms in soils. Soil.biol. Biochem. 7: 263-305.

Ghosh, P.K. 2004. Growth, yield, competition and economics of groundnut/cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. *Field. Crop. Res.* 88: 227-237.

Glick, B.R. 1995. The enhancement of plant-growth by free-living bacteria. Canadian Journal of Microbiology 41, 109-117.

Glick, B.R., Penrose, D.M. and Li, J. 1998. A model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growth-promoting bacteria. *J. Theor. Biol.* 190: 63-68.

Glick, B. R., Patten, C.L., Holguin, G. and Penrose, D.M. 1999. Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth promoting bacteria. Imperial College Press, London, United Kingdom, p 267.

Glick, B. R., Penrose, D. and Wenbo, M. 2001. Bacterial promoting of plant growth. Biotechnology Advances, 19:135-138.

Gliessman, R. S. 2006. Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems, Second Edition. CRC Press: Boca Raton, FL. USA.

Hafeez, F.Y., Safdar, M.E., Chaudry, A.U. and Malik, K.A. 2004. Rhizobial inoculation improves seedling emergence, nutrient uptake and growth of cotton. Australian Journal of Experimental Agriculture, 44: 617-622.

Hamilton, N.D. 1990. The role of law in promoting sustainable agriculture. Journal of Sustanable. Agriculture vol (2) pp: 111–129.

Hani, **A., C. J. Beauchamp., N. Goussard., R. Chabot and Lalande, R. 1998.** Potential of Rhizobium and Bradyrhizobium species as plant growth promoting rhizobacteria on non-legumes: Effect on radishes (*Raphanus sativus* L.). Plant. Soil. 204: 57-67.

Harris, D., Rashid, A., Ali, S. and Hollington, P. A. 2004. On-farm seed priming with maize in Pakistan. In: G. Srinivasan, P. H. Zaidi, B. M. Prasanna, F. Gonzalez and K. Lesnick, Editors, Proceedings of the 8th Asian Regional Maize Workshop: New Technologies for the New Millennium held Bangkok, Thailand CIMMYT, Mexico, D.F. August 5-8, 2002, pp. 316-324.

Hartman, A. 1988. Ecophysiological aspects of growth and nitrogen fixation in *Azospirillum* Spp. *Plant Soil*. 110: 225-238.

Hasanzadeh-Ghortapa, A. 2000. Evaluation of organic, chemical and incorporate fertilizers effects on quantitative and qualitative characteristics of sunflower cultivars in west Azarbaijan. Ph.D. Theses, Agriculture Faculty of Tarbiat Modars University. (In Farsi).

Hernandez, A. N., Hernandez, A. and Heydrich, M. 1995. Selection of rhizobacteria for use in maize cultivation. Cultivos Tropicals, 6: 5-8.

Heydcker, W. and Gibbins, B. M. 1978. The priming of seeds. Acta Horticulture. 83: 213-215.

Horikawa, Y., and Ohtsuka, H. 1995a. Effects of coating adhesive on the inoculation of *Rhizobium meliloti* to alfalfa (*Medicago sativa* L.) seeds for nodulation and seedling growth. *Grassland Sci.* 41: 275-279.

Horikawa, Y., and Ohtsuka, H. 1995b. Storage conditions and nodule formation of coated alfalfa (*Medicago sativa* L.) seeds inoculated with *Rhizobium meliloti*. *Grassland Sci.* 42: 7-12.

Horikawa, Y., Iwabuchi, K., and Ohtsuka, H. 1996. Establishment and yield of alfalfa (*Medicago sativa* L.) sward using lime-coated seeds. *Grassland Sci.* 42: 211-215.

Hossain, A., Arshad, M. Hussain, A and Hussain, F. 1987. Response of maize (*Zea mays L.*) to *Azotobacter* inoculation under fertilized and unfertilized conditions. Biology and fertility of Soils, 4:73-77.

Hunt, R. 1978. Plant growth analysis. London. Edward Arnold.

Hussain, A. and Vancura, V. 1970. Formation of biologically active substances by rhizosphere bacteria and their effect on plant growth. Folia Microbiology, 15: 468-478.

Jacoud, C., Faure, D., Wadoux, P. and Bally, R. 1998. Development of a strain-specific probe to follow inoculated *Azospirillum lipoferum* CRTI under field conditions and enhancement of maize root development by inoculation. *FEMS Microbiol. Ecol.* 27: 43-51.

Javed, M., Arshad, M. and Ali, K. 1998. Evaluation of rhizobacteria for their growth promoting activity in maize. Pakistan Journal of Soil Science, 14: 36-42.

Kannayan, S. 2002. Biofertilizers for sustainable crop production., pp:9-49. in: Biotechnology of Biofertilizers. Ed., Kannayan, Narosa Publishing House, New Delhi, India.

Kapulnik, Y., Sarig, S., Nur, A., Okon, Y. and Henis, Y. 1982. The effect of *Azospirillum* inoculation on growth and yield of corn. Israel Journal of Botany, 31: 247-255.

Karimi, M.M. and Siddique, H.M. 1991. Crop growth and relative growth rates of old and modern wheat cultivars. *Aust. J. Agric. Res.* 42: 13-20.

Khalid. A., Hendawy., Kh., and S.F.El-Gezawy, E., 2006. Ocimum basilicum L. Production under Organic Farming. *Res J Agri Bio Sci*, 2(1): 25-32.

Khan, A. A. 1992. Preplant physiological seed conditioning. In Horticultural Reviews (J. Janick, Ed.), Pp. 131-181. John Wiley and Sons, New York.

Khan, A. A., Tao, K. L., Knypl, J. S., Borkowska, B., and Powell, L. E. 1978. Osmotic conditioning of seeds: Physiological biochemical changes. Acta Hort. 83: 267-278.

Khavazi, K., Asadi-Rahmani, H., Malakouti, M. J., 2005. Necessity for the production of Biofertilizers in Iran. Ministry-e-Agriculture. Press second Eddition, 439P.

Kloepper, J. W., Scher, F.M., Labiret, E.M. and Tipping, B. 1986. Emergence promoting rhizobacteria: descriptions and implications for agriculture., pp: 155-164. in: Iron, sidrophores and plant disease. Ed., Swinburne, T.R., Plenume, New York.

Kloepper, J. W. 1993. Plant growth promoting rhizobacteria as biological control agents., pp: 255-274. in: Soil Microbiological ecology. Ed., Metting, F.B., Jr., Dekker, New York, USA.

Kloepper, J. W., Lifshitz, R. and Novacky, A. 1988. Pseudomonas inoculation to benefit plant production. Anim.Plant. Sci. 60-64.

Kloepper, J. W., Lifshitz, R. and Zablotowicz, R.M. 1989. Free living bacterial inocula for enhancing crop productivity. Trends in Biotechnology. 7: 39-44.

Kuepper, G. 2000. Manures for organic crop production. ATTRA Fayetteville AR 72702. Available online at: http:// www.attar.org/atrra.job/monuers.Html

Lampkin, N. 1990. Organic Farming. Farming Press, UK.

Latour, X., T.Corberand., G. Laguerre., F.Allard and P.Lemanceau. 1996. The composition of fluorescent pseudomonad populations associated with roots is influenced by plant and soil type. Appl.Enviorn.Microbiol. 62: 2449-2456.

Lauer, D. A. 1975. Limitation of animal waste replacement of inorganic fertilizer. 409-432 P. in W. J. Jewell Energy Agriculture and waste Management proc. Agricuture Waste Management. Conference Annual Arbor, Sci, Ann, Arbor, MI.

Ma, B.L., L.M. Dwyer and E.G. Gregorich. 1999. Soil nitrogen amendment effects on seasonal nitrogen mineralization and nitrogen cycling in maize production. Agron. J. 91:1003-1009.

Manaffee, W. F. and Kloepper, J. W. 1994. Applications of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable agriculture. Pp:23-31. in: C. E. Pankburst, B. M. Doube, V.S. R. Gupta and P.R. Graceeds(eds), soil biota management in sustainable farming system. CSLRO, Pub. East Melbourne, Australia.

Mao, J., Olk, D.C., Fang, X., He, Z. and Schmidt-Rohr, K. 2008. Influence of animal manure application on the chemical structures of soil organic matter as investigated by advanced solid-state NMR and FT-IR spectroscopy. *Geoderma*, 146: 353–362.

Marschner, H., Romheld, V., Horst, W.J. and Martin, P. 1986. Root-induced changes in the rhizoshere: importance for the mineral nutrition of plants. *Z.P flanzenernaehr. Bodenk.* 149: 441-456.

Marschner, H., and Romheld, V. 1994. Strategies of plants for acquisition of iron. *Plant. Soil.* 165: 261-274.

Martin, J.H,. Leonard, W.H. and Stamp, D.L. 1976. Principles of field Crop Production. 3rd edition. Collier Macmillan. 1118pp.

Martinez-Toledo, M. V., de la Rubia, T., Moreno, J. and Gonzalez-Lopez, J. 1988. Root exudates of Zea mays and production of auxins, gibberellins and cytokinins by Azotobacter chroococum. Plant and Soil, 110: 149-152.

Martinez-Toledo, M. V., B. Rodelas., V. Salmeron., C. Pozo and J. Gonzalez-Lopez. 1996. Production of pantothenic acid and thiamine by Azotobacter vinelandi in a chemically defined medium and a dialysed soil medium. Biol. Fertil. Soils. 22: 131-135**.**

Martinez-Toledo, M. V., J. Gonzalez-Lopez., T. De La Rubia and J. Moreno. 1988. Effect of inoculation with *A. chroococcum* on nitrogenase activity of *Zea mays* roots grown in agricultural soil under aseptic and non-steril conditions. Biol. Fertil. Soil. 6: 170-173.

Mastiholi, A.B., and Itnal, C.J. 1997. Response of rabi sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) to application of biofertilizers under dryland conditions. Karnataka Journal of Agricultural Sciences, 10: 302–306.

Mattoo, A.K. and Suttle, C.S. 1991. The Plant Hormone Ethylene. CRC Press, Boca Raton, Fla. P. 337.

Millet, E., and Feldman, M. 1986. Yield response of a common spring wheat cultivar to inoculation with *Azospirillum brasilense* at various levels of nitrogen fertilization. Plant Soil, 80: 255-259.

Mishra, M., Patjoshi, A.K., and Jena, D. 1998. Effect of biofertilization on production (*Zea mays L.*) of maize. Indian J. Agron. 43: 307–310.

Molla, A.H., Shamsuddin, Z.H., Halimi, M.S., Morziah. M. and Puteh, A.B. 2001. Potential for enhancement of root growth and nodulation of soybean co-inoculated with *Azospirillum* and *Bradyrhizobium* in laboratory system. Annals of Microbiology, 33: 457-463.

Monneveux, P., Zaidi, P.H. and Sanehez, C. 2005. Population density and low nitrogen affects yield-associated traits in tropical maize. Crop Sci. 45:535-545.

Mosaddeghi, M.R., Hajabbasi, M.A., Hemmat, A. and Afyni, M. 2000. Soil compactibility as affect by soil moisture content and farmyard manure in central Iran. *Soil Tillage Research,* 55: 87-97.

Mrkovacki, N. and Milic, V. 2001. Use of *Azotobacter chroococcum* as potentially useful in agricultural application. Annals of Microbiology, 51: 145-158.

Murty, M.G. and Ladha, J.K. 1988. Influence of Azospirillum inoculation on the mineral uptake and growth of rice under hydroponic conditions. Plant Soil. 108:281–285.

Naidu, V.S.G.R., Panwar, J.D.S. and Annapurna, K. 2003. Yield response in rice to auxin application and inoculation with *Azospirillum brasilense. Indian J. Plant Physiol.* 8: 96-98.

Namuco, O.S., Cairns, J.E. and Johnson, D.E. 2009. Investigating early vigour in upland rice (*Oryza sativa* L.): part I. seedling growth and grain yield in competition with weeds. Field Crops Res. 113: 197-206.

Nanda, S.S., Swain, K.C., Panda, S.C., Mohanty, A.K. and Alim, M.A. 1995. Effect of nitrogen and biofertilizers in fodder rainfed upland conditions of Orisa. Current Agricultural Research, 8: 45-47.

Nelson, M., Cooper, C. R., Crowley, D. E., Reid, C. P. and Szaniszlo, P. J. 1988. An Escherichia coli bioassay of individual siderophores in soil. J. Plant Nutr. 11: 915-924.

Ozturk, A., Caglar, O. and Sahin F. 2003. Yield response of wheat and barley to inoculation of plant growth promoting rhizobacteria at various levels of nitrogen fertilization. J. Plant Nutr. Soil Sci., 166: 262-266.

Pacovsky, R.S. 1990. Development and growth effects in sorghum-*Azospirillum* association. J. Appl. Bacteriol. 68:555-563.

Pandey, A., Sharma, E., and Palni, L.M.S. 1998. Influence of bacterial inoculation on maize in upland farming systems of the Sikkim Himalaya. Soil Biol. Biochem. 30: 379–384.

Pavlou, G.C., Ehaliotis, C.D. and Kavvadias, V.A. 2007. Effect of organic and inorganic fertilizers applied during successive crop seasons on growth and nitrate accumulation in lettuce. *Scientia Horticulturae, 111: 319–325.*

Peacock, A.D., Mullen, M.D., Ringellberg, D.B., Tyler, D.D., Hedruicl, D.B., Gale, P.M. and Whithe, D.C. 2001. Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate application. *Soil Biochemistry,* 33: 1011-1019.

Piao, Z., Cui, Z., Yin, B., Hu, J., Zhou, C., Xie, G., Su, B. and Yin, S. 2005. Changes in acetylene reduction activities and effects of inoculated rhizosphere nitrogen-fixing bacteria on rice. *Biol Fertil Soils.* 41: 371-378.

Poehlman, J.M. 1959. Breeding Field Crops. Henry Holt and Company, Inc. New York 427pp.

Postage, J.R., 1998. Nitrogen Fixation. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Pratt, P.F. 1982. Fertilizer value of manure. Paper presented at the Agricultural Waste Confrence. March 1982, Mexico City, Mexico.

Rai, S.N. and Gaur, A.C. 1988. Characterization of *Azotobacter* SPP. and effect of *Azotobacter* and *Azospirillum* as inoculant on the yield and N-Uptake of wheat crop. *Plant Soil*. 109: 131-134.

Ramamoorthy, V., R. Viswanathan., T. Raguchander., V. Prakasam and R. Samiyappan. 2001. Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants against pests and diseases. *Crop. Prot.* 20: 1-11.

Rao, V. R., Nayak, D. N., Charyulu, P. B. B. N., and Adhay, T. K. 1983. Yield responses of rice to root inoculation with *Azospirillum*. J. Agric. Sci. 100: 689-691.

Rao, D. L. N., 1986. Nitrogen fixation in free living and associative symbiotic bacteria. In: Rao, S. (Ed.), Soil Microorganisms and Plant Growth. Oxford and IBH Pub., New Delhi, pp. 116– 140.

Revillas, J. J., B. Rodelas., C. Pozo., M. V. Martinez-Toledo and L. J. Gonzalez. 2000. Production of B-group vitamins by two Azotobacter strains with phenolic compounds as sole carbon source under diazotrophic and adiazotrophic conditions. J. Appl. Microbiol. 89:486-493.

Rodelas, B., Gonzalez, Lopez, J., Martinez-Toledo, M. V., Pozo, C. and Salmeron, V. 1999. Influence of *Rhizobium/Azotobacter* and *Rhizobium/Azospirillum* combined inoculation on mineral composition of faba bean (*vicia faba L.*). Biol. Fertil. Soils. 29: 165-169.

Roger, P.A. and Ladha, J.K. 1992. Biological N2 fixation in wetland rice fields: estimation and contribution to nitrogen balance. *Plant Soil.* 141: 41-55.

Rohitashav-Singh, Sood, B.K. Sharma, V.K. and Singh, R. 1993. Response of forage maize (Zea mays L.) to *Azotobacter* inoculation and nitrogen. Indian Journal of Agronomy, 38: 555-558.

Rroco, E., Kosegarten, H., Harizaj, F., Imani, J., and Mengel, K. 2003. The importance of soil microbial activity for the supply of iron to sorghum and rape. Europ. J. Agronomy. 19: 487-493.

Saatovich, S.Z. 2006. Azospirilli of Uzbekistan soil and their influence on growth and development of wheat plants. plant.soil.283:137-145.

Sarige, S., Blum, A. and Okon, Y. 1988. Improvement of the water status and yield of fieldgrown grain sorghum by inoculation with *Azospirillum brasilense*. J. Agric. Sci. 110:271-277.

Sarig, S., Okon, Y. and Blum, A. 1990. Promotion of leaf area development and yield in Sorghum bicolor inoculated with *A.brasilense. Symbiosis.* 9: 235-245.

Sarker, A., Erskin, W. and Sing, M. 2003. Regression models for lentil seed and straw yield in Near East. *Agric.Forest. Meteor.* 116: 61-72.

Scher, F.M., Klopper, J.W. and Singleton, C.A. 1985. Chemotaxis of fluorescent Pseudomonas spp. To soybean seed exudates in vitro and in soil. Can. J. Microbiol. 31: 570-574.

Schippers, B., Bakker, A.W. and Bakker, P.A.H.M. 1987. Interactions of deleterious and beneficial rhizosphere microorganisms and the effect of cropping practices. *Annu. Rev. Phytopathol.* 25: 339-358.

Shah, S., Karkhanis, V. and Desai, A. 1992. Isolation and characterization of siderophore, with antimicrobial activity, from *Azospirillum lipoferum. M.Curr. Microbiol.* 25: 347-351.

Shaharoona, B., Arshad, M., Zahir, Z. A. and Khalid, A. 2006. Performance of *Pseudomonas spp.* containing ACC-deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. Soil. Biol. Biochem. 38: 2971-2975.

Sharma, A. K. 2002. Biofertilizers: For Sustainable Agriculture, Jodhpur, Agrobios, 407 p.

Sharma, A. K. 2003. Biofertilizers For Sustainable Agriculture. Agrobios, India.

Shaukat, K., Affrasayab, S. and Hasnain, S. 2006. Growth response of Triticum aestivum to plant growth promoting rhizobacteria used as a biofertilizer. *Res.J.Microbiol.* 1(4): 330-338.

Sheaffer, C. C., Hall, M. H., Martin, N. P., Rabas, D. L., Ford, J. H., and Warnes, D. D. 1988. Effects of seed coating on forage legume establishment in Minnesota. University of Minnesota. Agric. Exp. stat. Bullet.,no. 584.

Shende, S. T., and Apte, R. 1982. *Azospirillum* inoculation-A highly remunerative input for agriculture, PP. 532-543. In *Biological Nitrogen Fixation*, Proceedings of the National Symposium held at I.A.R.I., New Delhi.

Shirani, H., Hajabasi, M.A. Afyuni, M. and Hemmat, A. 2002. Effect of farmyard manure and tillage systems on soil physical properties and corn yield in centeral Iran. Soil & Tillage Res. 68:101-108.

Sholobi, S., Nawall, L. Fisher, H. 1997. Effect of inoculation of zea mays with Azospirillum brasilense strains under temperate conditions, Can. I.Microbiol, 27: 871-877.

Sierra, S., B. Rodelas., M. V. Martinez-Toledo., C. Pozo and J. Gonzalez-Lopez. 1999. Production of B-group vitamins by two Rhizobium strains in chemically defined media. J. Appl. Microbiol. 86: 851-858.

Singh, Y., Singh, B., Masking, M.S. and Meelu, O.P. 1987. Availability of nitrogen to wetland rice from cattle manure. *IRRI. Newsletter,* 12: 35-36.

Sing, S. and K. K. Kapoor. 1999. Inoculation with phosphate solubilizing microorganisms and a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus improves dry matter yield and nutrient uptake by wheat grown in a sandy soil. Biol.*Fertil.Soils.* 28:139-144.

Skinner, F. A. 1989. Nitrogen Fixation with Non-legums. Kuwer Academic Publisher, 227-234.

Smith, V. L. 1996. Enhancement of snap bean emergence by Gliocladium virens. *Hort Science.* 31: 984-985.

Soderlund, R. and Roswall, T. 1982. The nitrogen cycle., PP: 60-80. in: The handbook of environmental chemistry, the natural environmental and the biogeochemical cycle vol. 1B., Ed., Hutzinger, J., Spriger-Verlag, Berlin, Germany.

Spaink, H. P. 2000. Root noddolation and infection, Factors produced by rhizobial. http://www.Highbean.com.

Stancheva, I., Dimitrev, I. N., Kuloyanova, A., Dimitreva and Anyelov, M. 1992. Effects of inoculation with *Azospirillum brasilense*, photosynthetic enzyme activities and grain yield in maize. Agronomie, 12: 319-324.

Stanhill, H.T., and Moss, D.N. 1990. Some effect of shade upon corn hybrids tolerant and intolerant of dense planting. Agron.J. 52:482-484.

Sturz, A. V. and Christie, B.R. 2003. Beneficial microbial alleloplathies in the root zone: the management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. Soil and Tillage Research, 72:107-123.

Subba Rao, N. S. 1988. Biofertilizers in agriculture. New Delhi, India.

Subba Rao, N. S., Tilak, K. V. B. R. and Singh, C. S. 1985. Synergistic effect of *vesicular-arbuscular mycorrhiza* and *Azospirillum brasilense* on the growth of barley in pots. *Soil. Biol. Biochem.* 17: 119-121.

Sundara, W. V . B., Mann, H. S., Palul, N. B. and Mathur, S. P. 1962. Bacterial inoculation experiments with special reference to *Azotobacter.* Indian. agri. Research inst. New Delhi.

Suneja, S., Narula, N., Anand, R. C. and Lakshminarayana, K. 1996. Relationship of *Azotobacter chroococcum* siderophore with nitrogen fixation. *Folia Microbiol.* 40: 154-158.

Swedrzynska, D. and Sawicka, A. 2000. Effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* on development and yielding of maize (Zea mays ssp. Saccharata L.) under different cultivation conditions. *Polish. J. Environ. Stud.* 9(6): 505-509.

Theurer, J.C. 1979. Growth patterns in sugar beet production. J. Am. Soc. sugar beet Technol. 24: 343-367.

Tien, T. M., Gaskins, M.H., and hubel, D.H. 1977. Plant growth substances produced by *Azospirillum Brasilense* and their effect on the growth of pearl millet. Appl. Environ. Microbial., 37: 1016-1024.

Tilak, K. V. B. R., Singh, C. S., Roy, V. K. and Subba Rao, N. S. S. 1982. *Azospirillum brasilense* and *Azotobacter chroococcum* inoculum: effect on yield of maize (Zea mays L.) and sorghum (sorghum bicolor). *Soil Biology* and *Biochemistry.* 14: 417-418.

Tilak, K. V. B. R. and Singh, G. 2002. Azospirillum biofertilizer for rainfed crops., pp: 65-73. in: Biotechnology of biofertilizers. Ed.,Kannayan, S., Narosa Publishing House, New Delhi, India.

Tindale, A. E., Mehrotra, M., Ottem, D. and Page, W. J. 2000. Dual regulation of catercholate siderophore biosynthesis in *Azotobacter vinelandii* by iron and oxidative stress. Microbiology. 146: 1617-1626.

Tollenaar, M. and Dwyer, L.M. 1999. Physiology of maize. In: D.L. Smith and C.Hamel (eds.). Crop Yield, Physiology and Processes. Springer-Verlag. pp 169-204.

Vessey J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers, Plant and Soil. 255: 571–586.

Wani, S.P., Chandrapalaiah, S., Zambre, M.A., Lee, K.K. 1988. Association between N_2-fixing bacteria and pearlmillet plants. Response, mechanisms and resistance. Plant Soil. 110: 284-302.

Warembourg, F. R., Dreessen, R., Vlassak, K., and Lafont, F. 1987. Peculiar effect of *Azospirillum* inoculation on growth and nitrogen balance of winter wheat (*Triticum aestivum*). Biol. Fertil. Soil, 4: 55-59.

Warren, J. E. and M. A. Bennett. 1997. Seed hydration using the drum priming system. *Hort. Sci.* 32: 1220-1221.

Watanabe, I., and Lin, C. 1984. Response of wetland rice to inoculation with *Azospirillum lipoferum* and *Pseudomonas sp*. Soil Sci. Plant Nutr. 30: 117-124.

Winser, R.N. and Baldwin, E.D. 2004. Corn marketing, pp.735-799. in: Corn, origin, history, technology and production. Eds., Wyne Smith, C., Betran, J. and Runge, E.C.A., John Willey and Sons., Inc.

Yasari, E., and Patwardhan, A.M. 2007. Effects of *Azotobacter* and *Azospirillum* inoculations and chemical fertilizers on growth and productivity of Canola. *Asi.J.Plant.Sci.* 6(1): 77-82.

Zahir, A. Z., Arshad, M. and Khalid, A. 1998. Improving maize yield by inoculation with plant growth promoting rhizobacteria. Pakistan Journal of Soil Science, 15: 7-11.

Zahir, A. Z., Abbas, S.A., Khalid, A. and Arshad, M. 2000. Substrate depended microbially derived plant hormones for improving growth of maize seedlings. Pakistan Journal of Biological Science, 3: 289-291.

Zahir, A. Z., Arshad, M. and Frankenberger, W. F. (Jr). 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. Advances in Agronomy. 81:97-168.

Zaied, K.A., Abd El-Hady, A.H., Afify, Aida.H. and Nassef, M.A. 2003. Yield and Nitrogen Assimilation of Winter Wheat Inoculated with New Recombinant Inoculants of Rhizobacteria. Pakistan Journal of Biological Sciences 6 (4): 344-358.

Zaied, K.A., Abd El-Hady, A.H., Sharief, A.E., Ashour, E.H. and Nassef, M.A. 2007. Effect of Horizontal DNA Transfer in *Azospirillum* and *Azotobacter* Strains on Biological and Biochemical Traits of Non-legume Plants. *J. Appl. Sci. Res.*3(1): 73-86.

The effects of bio-priming with *Azospirillum* and *Azotobacter* and using of manure fertilizer on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.)

Abstract

Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) are beneficial bacteria that colonize plant roots and increased plant growth. PGPRs are able to enhance plant growth by different mechanisms such as nitrogen fixation, production of phytohormones or nutritional status of plants. In order to study of the effects of different manuring levels and bio-priming with *Azospirillum* and *Azotobacter* on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). An experiment was carried out as factorial based on randomized complete block design with four replications. The investigated factors are namely, 1) manure fertilization at three levels: A_1= without using, A_2=5 ton per hectare and A_3=10 ton per hectare. 2) *Azotobacter* at two levels: B_1= non-inoculation, B_2= inoculation and 3) *Azospirillum* at two levels: C_1= non-inoculation and C_2= inoculation. The results of this study showed that PGPR inoculants had the potential to increase maize growth during growth season and in harvest time caused enhance the yield and yield components in comparison with control. *Azotobacter* can be able increased all of the studied parameters (except number of seed row in ear) significantly. *Azospirillum* can be able to affect on all of the studied parameters (1000-seed weight and harvest index) significantly. The results showed that manure fertilizer can be able to affect on yield and yield components in comparison with control, furthermore the best yield gained in level 10 ton per hectare manure fertilizer. This results indicated that in dual inoculation of bacteria had synergistic effects. The interaction between two bacteria on grain yield, biological yield, plant height, number of seed per row, weight of ear, ear length and ear wood diameter at harvest time was significant. The results of this study indicated that application of manure fertilizer with *Azotobacter* significantly affected grain yield, biological yield, 1000-seed weight, weight of ear and ear length. Application of manure fertilizer with *Azospirillum* significantly affected grain yield, biological yield and weight of ear. It was also showed that application of manure fertilizer with *Azotobacter* and *Azospirillum* significantly affected grain yield, biological yield and plant height. Thus according to this results application of manure fertilizer and bacteria alone or simultaneous had positive effects on improvement growth characteristics and yield of corn .

Key words: Maize, *Azospirillum*, *Azotobacter*, manure, yield

Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture

Department of Agronomy

M.Sc. Thesis

The effects of bio-priming with *Azospirillum* and *Azotobacter* and using of manure fertilizer on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.)

mahdi hajiloo

Supervisors:

Dr. H. Abbasdokht

Dr. M. R. Amerian

Advisors:

Dr. A. Gholami

Dr. K. Khavazi

February 2011