نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۹، ص. ۳۰۱-۲۹۲

Journal of Agroecology
Vol. 2, No. 2, Summer 2010, p. 292-301

اثرات کاربرد کودهای بیولوژیک در ترکیب با کود شیمیایی بر رشد ذرت (*Zea mays* L.) در شوشتر

خالد عیدی‌زاده[۱*]، عبدالمجید مهدوی دامغانی[۲]، حسین صباحی[۲] و سعید صوفی‌زاده[۲]

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۹
تاریخ پذیرش: ۸۹/۷/۷

چکیده

کودهای بیولوژیک از جمله نهاده‌های طبیعی هستند که می‌توانند به عنوان مکمل یا جایگزین کودهای شیمیایی در کشاورزی پایدار به کار برده شوند. اثرات کود بیولوژیک نیتروژن و فسفر (نیتروکسین و کود میکروبی فسفاته) و کودهای شیمیایی بر شاخص‌های رشد ذرت (*Zea mays* L.) در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در شوشتر به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل تلفیق کاربرد کودهای بیولوژیک و شیمیایی در چهار سطح: ۱۰۰٪ شیمیایی (A1)، ۵۰٪ شیمیایی+ بیولوژیک (A2)، ۲۵٪ شیمیایی+ بیولوژیک (A3) و فقط بیولوژیک (A4) بود. نتایج نشان داد کاربرد تلفیقی کودهای بیولوژیک با کود شیمیایی باعث افزایش ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ، تولید ماده خشک، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، شاخص دوام سطح برگ و نسبت سطح برگ در مقایسه با کاربرد کودهای شیمیایی به تنهایی شد. ارتفاع گیاه در تیمار تلفیقی ۵۰٪ شیمیایی+ بیولوژیک نسبت به سایر تیمارهای آزمایش بیشتر بود و بیشترین ارتفاع در ۱۱۵ روز پس از کاشت در این تیمار (۱۸۶ سانتی‌متر) و کمترین آن در تیمار کاربرد کود شیمیایی به تنهایی (۱۷۸ سانتی‌متر) به دست آمد. حداکثر و حداقل شاخص سطح برگ در ۷۱ روز پس از کاشت به ترتیب در تیمارهای ۲۵٪ شیمیایی+ بیولوژیک (۴/۷۱) و بیولوژیک (۲/۳) مشاهده شد. همین روند در مورد تولید ماده خشک در ۹۴ روز پس از کاشت (به ترتیب ۲۰/۳۷ و ۱۲/۴۸ تن در هکتار) میزان جذب خالص در ۹۴ پس از کاشت (۱۹/۴ و ۱۱/۳ گرم در متر مربع) و سرعت رشد محصول در ۷۱ روز پس از کاشت (۴۴/۸ و ۲۶/۵ گرم در متر مربع)مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های محرک رشد، شاخص‌های رشد، فسفر، نیتروژن

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) به دلیل اهمیت فزاینده‌ای که در تغذیهٔ انسان و دام داشته و سازگاری گسترده‌ای نیز با مناطق آب و هوایی معتدل و گرمسیری دارد، یکی از گیاهان زراعی راهبردی محسوب می‌شود (Yazdani et al., 2009). افزایش سطح زیر کشت ذرت طی چند دههٔ گذشته، فشرده‌سازی سیستم‌های کشت این گیاه به همراه نیاز بالای ذرت به عناصر غذایی موجب شده است که علاوه بر مصرف مفرط نهاده‌های شیمیایی، هزینه‌های تولید افزایش یافته و خطرات زیست‌محیطی ایجاد شود (Biari et al., 2008). به همین علت در دو دههٔ گذشته با توجه به این پیامدها، کاربرد باکتری‌های خاکزی در تغذیهٔ خاک و گیاه زراعی در نظام‌های کشاورزی پایدار در سراسر جهان افزایش یافته است. این باکتری‌ها که فعالانه ریشه‌های گیاه را اشغال کرده و باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شوند (Wu et al., 2005)، شامل آزوسپریلوم، ازتوباکتر، باسیلوس و سودموناس‌ها هستند (Bashan et al., 2004).

مکانیسم‌های عمدهٔ افزایش رشد ناشی از این باکتری‌ها کاملاً شناخته نشده است، اما بسیاری از پژوهشگران، این پدیده را به دو گروه اثرات مستقیم و غیر مستقیم تقسیم‌بندی می‌کنند (Glick, 1995; Vessy, 2003). در اثرات مستقم، این باکتری‌ها رشد گیاه را با تولید ترکیبات مختلف، تسهیل جذب عناصر، تثبیت نیتروژن اتمسفری، حل کردن مواد معدنی مانند فسفات، تولید سیدروفور، تولید هورمون‌های گیاهی از قبیل اکسین‌ها و جیبرلین‌ها که باعث افزایش رشد گیاه در مراحل مختلف رشدی گیاه می‌شود و یا از طریق ساخت آنزیم‌های دخیل در رشد و نمو گیاه، افزایش می‌دهند (Lucy & Glick, 2004; Gray & Smith, 2005). در تحریک غیر مستقیم،

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و عضو هیأت علمی گروه اگرواکولوژی پژوهشکدهٔ علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: khaled.edi@gmail.com)

اغلب این باکتری‌ها از قبیل سودوموناس‌ها با کاهش یا حذف اثرات زیان‌بار عوامل بیماری‌زا از طریق مکانیزم‌های مختلفی همچون القای سیستم مقاومت به گیاه در مقابل عوامل بیماری‌زا، رشد و نمو گیاه را بهبود می‌بخشند (Van Loon, 2007).

علاوه بر اثرات مثبت این باکتری‌ها بر عملکرد گیاهان مختلف، نقش این ریزموجودات بر میزان تجمع مواد فتوسنتزی در طول دوره رشد و تغییرات شاخص‌های مختلف فیزیولوژیک نیز مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Yasari & Patwardhan, 2007). اصغر و همکاران (Asghar et al., 2002) گزارش دادند که تلقیح بذور خردل هندی (*Brassica juncea* L.) با باکتری‌های محرک رشد گیاه، رشد این گیاه را به طور معنی‌داری افزایش داد. باشان و همکاران (Bashan et al., 2004) نشان دادند کاربرد کودهای بیولوژیک، به ویژه آزوسپریلوم می‌تواند موجب بهبود قابل‌توجه مادهٔ خشک، جذب عناصر غذایی، ارتفاع گیاه، اندازه برگ و طول ریشه در غلات شود. هرناندز و همکاران (Hernandez et al., 1995) افزایش وزن تر بخش هوایی بوته، تعداد برگ و ارتفاع بوته را در اثر تلقیح بذر ذرت با باکتری‌های سودوموناس گزارش کردند. تیالک و همکاران (Tialk et al., 1982) نیز افزایش وزن خشک بوته ذرت را که بذرهای آن با باکتری‌های *Azotobacter chroococcum* و *Azospirillum brasilense* تلقیح شده بودند نشان دادند.

تغییرات رشد گیاه زراعی در شرایط مزرعه با شاخص‌های رشدی گوناگونی اندازه‌گیری می‌شود که مطالعهٔ آنها می‌تواند به ما در تجزیه و تحلیل مناسب‌تر رشد گیاه یاری کند. هدف از این پژوهش، بررسی اثرات مختلف کاربرد کودهای بیولوژیک (نیتروکسین و کود میکروبی فسفاته) به تنهایی و یا در تلفیق با کودهای شیمیایی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک ذرت در شرایط آب و هوایی خوزستان بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در شهرستان شوشتر (عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۹۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۷۷ دقیقه شرقی) در فاصله ۹۰ کیلومتری اهواز، مرکز استان خوزستان انجام شد. قبل از اجرای طرح از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در آزمایشگاه تعیین شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سطوح مختلف کاربرد کود شیمیایی به تنهایی و در تلفیق با کود بیولوژیک (A) در چهار سطح A_1 (۱۰۰٪ کود شیمیایی (نیتروژن و فسفر)، A_2 (۲۵٪ کود شیمیایی+ کود بیولوژیک)، A_3 (۵۰٪ کود شیمیایی+ کود بیولوژیک)، A_4 (کود بیولوژیک) بود. بر اساس آزمایش خاک و نیاز غذایی ذرت، کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر به ترتیب اوره (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در سه نوبت، قبل از کاشت به صورت خاک کاربرد، ۸ برگی و قبل از ظهور تاسل به همراه آب آبیاری) و سوپر فسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت و به صورت خاک کاربرد) استفاده شد. به علت بالا بودن مقدار پتاسیم قابل جذب در آزمایش خاک، از کود پتاسیم استفاده نشد. کود بیولوژیک مورد استفاده شامل نیتروکسین (*Azotobacter chroococcum*، *Pseudomonas fluorescens*، *Azospirillum brasilense*، *Azospirillum lipoform*) و کود میکروبی فسفاته (*Bacillus coagulans*) به ترتیب به عنوان منبع تامین نیتروژن و فسفر بود.

بذر مورد استفاده هیبرید دیررس سینگل کراس ۷۰۴ بود. قبل از تلقیح بذور با کود بیولوژیک، بذور با صمغ عربی آغشته و سپس مایه تلقیح به آنها افزوده شد. پس از مخلوط کردن، بذور در سایه خشک و جهت کشت به زمین منتقل گردیدند؛ بعد از کشت مزرعه آبیاری شد. ابعاد هر کرت ۴/۵ ×۸ متر بود. در هر کرت شش ردیف کاشت به فواصل ۷۵ سانتی‌متری بین ردیف و ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از تداخل کودهای شیمیایی و باکتری‌ها، دو خط نکاشت بین کرت‌های اصلی قرار گرفت و آب اضافی هر کرت توسط یک جوی خروجی از مزرعه خارج شد.

ذرت بر اساس تاریخ کاشت بهینهٔ منطقه در نیمه اول مرداد کشت شد. طی فصل رشد، عملیات داشت از قبیل آبیاری، تنک کردن و کنترل علف‌های هرز (در مرحله ۶ برگی) انجام شد. اولین نمونه‌برداری ۱۹ روز پس از سبز شدن آغاز و نمونه‌برداری‌های بعدی هر یک به فاصله ۱۵ روز صورت گرفت، به طوری که در مجموع ۵ مرحله نمونه‌برداری انجام شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک در هر نمونه‌برداری، بوته‌ها به اجزاء تقسیم و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت درون آون قرار گرفته، سپس وزن آنها با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. جهت سنجش سطح برگ از معادله ۱ استفاده شد:

$$A = L \times W \times 0.75 \quad \text{معادله (۱)}$$

استفاده شد که در آن L طول برگ، W عرض آن و ۰/۷۵ ضریب ثابت سطح برگ برای ذرت است (Shi et al., 1981). در کلیهٔ نمونه‌گیری‌ها، ماده خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. با اندازه‌گیری سه عامل سطح برگ، وزن خشک برگ و کل اندام هوایی، مقادیر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد شامل شاخص سطح برگ[1] (LAI)، سرعت رشد محصول[2] (CGR)، سرعت رشد نسبی[3] (RGR)، سرعت

1- Leaf Area Index
2- Crop Growth Rate
3- Relative Growth Rate

جذب خالص[1] (NAR) و شاخص دوام سطح برگ[2] (LAID) با استفاده از معادلات ۲ تا ۶ بدست آمد (Shi et al., 1981):

معادله(۲) $\mathbf{LAI} = (LA_1+LA_2)/2) \times 1/GA$

معادله(۳) $\mathbf{CGR} = W_2-W_1/GA(t_2-t_1)$

معادله(۴) $\mathbf{NAR} = (W_2-W_1/t_2-t_1) \times (\ln LA_2-\ln LA_1/LA_2-LA_1)$

معادله(۵) $\mathbf{RGR} = (\ln W_2-\ln W_1/t_2-t_1)$

معادله(۶) $\mathbf{LAID} = (LAI_1+LAI_2)/2) \times (t_2-t_1)$

که در این معادلات، LA_1 و LA_2 به ترتیب سطح برگ اولیه و ثانویه، GA سطح زمینی که توسط گیاه اشغال شده است (متر مربع)، W_1 و W_2 به ترتیب وزن خشک کل اولیه و ثانویه (گرم در متر مربع)، t_1 و t_2 زمان نمونه‌برداری اولیه و ثانویه (روز)، است. تمام شاخص‌های رشد براساس تاریخ پس از کاشت بیان شده‌اند. برای تجزیهٔ آماری و مقایسه میانگین‌ها از نرم‌افزار SAS 9.9 و جهت رسم شکل‌ها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع ساقه

بررسی روند تغییرات ارتفاع ساقه در پاسخ به سطوح مختلف کودی در طول فصل رشد نشان داد که ارتفاع ساقه ذرت، در حضور کودهای بیولوژیک در مقایسه با تیمار شاهد نه تنها کاهش پیدا نکرد، بلکه افزایش نیز یافت. البته تا ۳۴ روز پس از کاشت ذرت تیمار شاهد اختلاف معنی داری با دیگر تیمارها داشته است که می‌تواند به علت عدم استقرار کافی ریشه یا ساقه و فرصت کافی باکتری‌ها در تحریک رشد گیاهان باشد. علاوه بر این ممکن است دمای بالا در آغاز فصل رشد همراه با تشدید تبخیر و تعرق می‌تواند موجب بروز تنش در آغاز رشد برای باکتری‌ها و کاهش تاثیرات مفید آنها بر رشد گیاه ذرت شده باشد. با ادامهٔ فصل رشد، نتایج این آزمایش نشان داد که حضور کود بیولوژیک، در افزایش ارتفاع ساقه در مقایسه با شاهد آشکارتر بوده است، به طوری که در ۱۱۵ روز پس از سبز شدن کمترین و بیشترین ارتفاع ساقه به ترتیب برای تیمار A_1 با ۹۴/ ۱۷۷ و A_3 با ۱۸۶/۴۵ سانتی‌متر به دست آمد (شکل ۱).

به طور کلی دسترسی آب و عناصر غذایی به وسیله کودهای بیولوژیک (به ویژه فسفر) از طریق تولید اسیدهای حل‌کننده فسفات بهبود می‌یابد که با آزادسازی فسفر معدنی و آلی، موجب افزایش دسترسی به عناصر غذایی، بهبود ریشه‌زایی و در نهایت افزایش تعداد گره و میان‌گره می‌شود (Sarmadnia & Koocheki, 1991). علاوه بر این گزارش شده است که کودهای بیولوژیک از طریق تولید هورمون‌های محرک رشد (به ویژه اکسین) رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Vessy, 2003). زهیر و همکاران (Zahir et al., 1998) افزایش ۸/۵ درصدی ارتفاع بوته ذرت را که بذرهای آن با باکتری‌های ازتوباکتر و سودموناس تلقیح شده بودند، گزارش کردند. روستا و همکاران (Rusta et al., 1999) نیز افزایش ارتفاع بوته ذرت هیبرید ۷۰۴ را در حضور کودهای بیولوژیک گزارش دادند. حضور کودهای بیولوژیک باعث بهبود خصوصیات خاک نظیر محتوای ماده آلی و افزایش دسترسی عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و همچنین عناصر میکرو می‌شود. این اثرات در حضور کودهای شیمیایی تشدید شده است.

شاخص سطح برگ

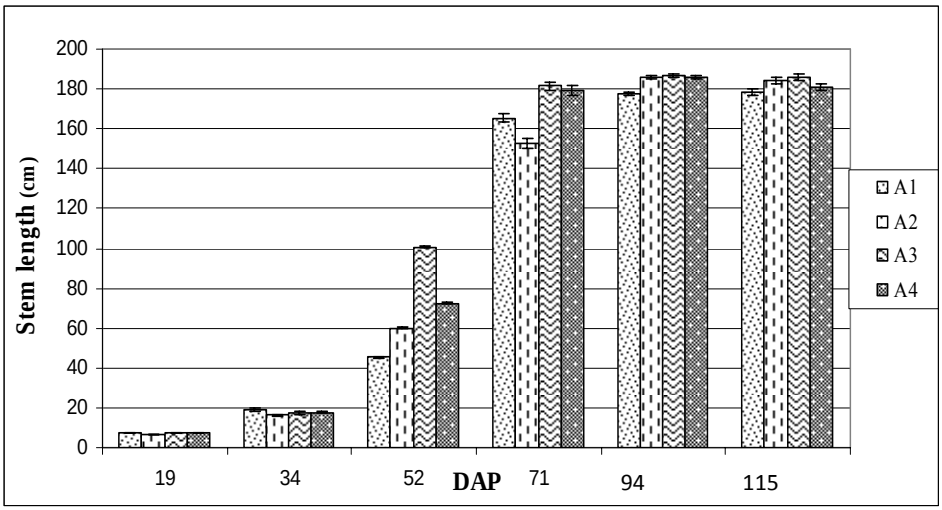
افزایش سطح برگ تعیین‌کننده ظرفیت فتوسنتزی گیاه است. تغییر در سطح برگ که تحت تاثیر ژنوتیپ، تراکم بوته، آب و هوا و حاصلخیزی خاک قرار دارد، بر عملکرد نیز تاثیر خواهد گذاشت (Nezarat & Gholami, 2008). نتایج نشان داد که تغییرات شاخص سطح برگ در پاسخ به سطوح مختلف کودی در طول فصل رشد برای تمامی تیمارها روند مشابهی داشت. تیمارهای مختلف در مراحل اولیه رشد بر LAI تاثیر نداشتند. در ابتدای فصل رشد، LAI ذرت به کندی افزایش یافت، به طوری که این روند تا ۳۴ روز پس از کاشت ادامه داشت. یکی از دلایل مهم آن این است که میانگین ماهانه درجه حرارت در این زمان در منطقه مورد آزمایش بیش از ۴۰ درجه سانتی‌گراد بوده است، زیرا بالا بودن درجه حرارت باعث متوقف شدن بسیاری از آنزیم‌های فتوسنتزی می‌شود، به طوری که گیاه بعد از مدتی ذخیره‌ای برای سرمایه‌گذاری بر روی برگ ندارد و در این مواقع گیاه بیشتر انرژی خود را صرف نگهداری می‌کند. بریچ و همکاران (Brich et al., 1998) گزارش کردند که درجه حرارت‌های پایین‌تر از ۸ و بالاتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد فعالیت بسیاری از آنزیم‌های فتوسنتز کننده از جمله فسفو انول پیروات کربوکسیلاز و رابیسکو را کاهش می‌دهد و انتظار می‌رود گیاه در این شرایط رشد کندی داشته باشد. در ادامه فصل و با کاهش میانگین درجه حرارت، افزایش این شاخص روند خطی پیدا کرد و در مرحله تاسل‌دهی ذرت (تقریباً ۷۱ روز پس از کاشت ذرت) به حداکثر مقدار خود و سپس در انتهای فصل رشد به دلیل زرد شدن و همچنین ریزش برگ‌ها روند نزولی پیدا کرد. همان طور که گفته شد در ابتدای مراحل رشد و تا ۳۴ روز از کاشت ذرت به علت بالا بودن درجه حرارت روند افزایش LAI برای همه تیمارها به استثناء تیمار A_3 مشابه بود. با ادامه فصل رشد (۵۲ روز از کاشت ذرت)، حضور کودهای بیولوژیک و به خصوص در تلفیق با کودهای شیمیایی، کاملاً ملموس بود. در این مرحله از رشد به دلیل کاهش درجه حرارت LAI با شیب بیشتری افزایش یافت (شکل۲).

1- Net Assimilation Rate
2- Leaf Area Index Duration

جدول۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه قبل از کاشت

Table 1- Physical and chemical properties of experimental soil before planting

بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی ($ds.m^{-1}$)	اسیدیته pH	درصدکربن آلی ٪OC	درصد نیتروژن کل % Total N	فسفر قابل جذب P (ppm)	پتاسیم قابل جذب K (ppm)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}$)	مس Cu ($mg.kg^{-1}$)	منگنز Mn ($mg.kg^{-1}$)
Sandy-Loam	4.82	7.7	1.2	0.1	11	320	2.2	1.2	1.2	4



شکل ۱- ارتفاع ساقه سطوح مختلف کودی در روزهای مختلف پس از کاشت (DAP)

Fig. 1- Stem length in different fertilization levels during growth season (day after planting)

میانگین‌های دارای دامنه همپوشانی یکسان براساس خطای استاندارد تفاوت معنی‌داری ندارند.

There are no significant differences between averages with similar overlap range according to standard error.

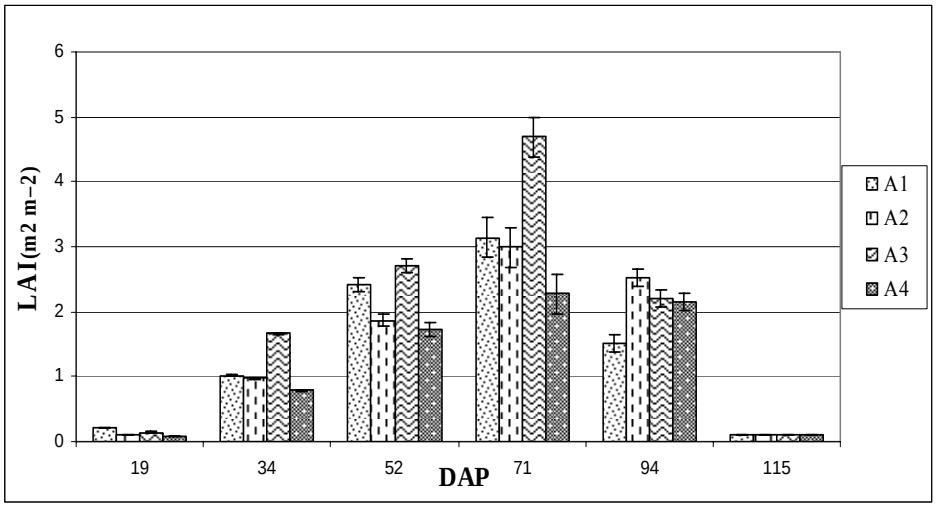
با این حال در این مرحله، تیمار A_3 اختلاف کاملاً معنی داری با دیگر تیمارها داشت. پایین بودن LAI در تیمار کاربرد کود بیولوژیک به تنهایی در مقایسه با دیگر تیمارها می تواند ناشی از کاهش ذخیره گیاه طی مرحله تنش گرمایی باشد که صرف هزینه نگهداری شده است. بنابراین، وجود عناصر غذایی در این مرحله نقشی حیاتی دارد. بیشترین و کمترین میزان LAI در ۷۱ روز پس از کاشت، به ترتیب در تیمارهای A_3 با ۴/۶۹ (اختلاف معنی دار با تیمار شاهد) و A_4 با ۲/۲۷ مشاهده شد (شکل ۲).

بالا بودن شاخص سطح برگ سبب افزایش میانگین سرعت رشد محصول (CGR) در دوره رشد گیاه می‌شود که این امر در نهایت منجر به افزایش تولید ماده خشک (بیوماس) و افزایش عملکرد می‌گردد (Karimi & Siddique, 1991). کوپولنیک و همکاران (Kupulnik et al., 1982) اظهار داشتند که تلقیح بذرهای ذرت با باکتری‌های آزوسپریلیوم باعث افزایش تعداد برگ‌های این گیاه و در نهایت افزایش عملکرد در مقایسه با شاهد شده است. همچنین بررسی حمیدی و همکاران (Hamidi et al., 2007) نشان داد که تلقیح بذور ذرت با کودهای بیولوژیک، تعداد برگ‌های بالایی و تعداد برگ در هر بوته را افزایش داد. آنها نیز دلیل این امر را وجود روابط مثبت بین گیاه با باکتری دانسته و اعلام داشتند که این موضوع در نهایت موجب افزایش عملکرد سیلویی شده است. آنها همچنین بیان کردند که احتمالاً کودهای بیولوژیک از طریق تولید هورمون محرک رشد، عملکرد و ویژگی‌های مرتبط با آن را در ذرت علوفه‌ای تحت تاثیر قرار داده است.

تولید ماده خشک

روند تغییرات ماده خشک در پاسخ به سطوح مختلف کودی در اوایل فصل رشد از الگوی نسبتاً یکسانی در تیمارها پیروی کرد. در ادامه فصل (۳۴ روز بعد از کاشت) مشاهده شد به دلیل عدم تشابه روند افزایش LAI در تیمارهای مختلف کودی، تغییرات ماده خشک از الگوی یکسانی پیروی نکرد، به طوری که در این زمان بیشترین وزن خشک در تیمارهای A_3 و شاهد به ترتیب با مقادیر ۶۲/۷۷ و

۴۹/۵۱ گرم در متر مربع مشاهده شد (شکل ۳). این روند افزایشی ادامه داشت تا این که حداکثر و حداقل میزان ماده خشک در ۹۴ روز پس از کاشت به ترتیب برای تیمار A_3 (۲۰/۳۷ تن در هکتار) و برای تیمار A_4 (۱۲/۴۸ تن در هکتار) به دست آمد. پس از این زمان، منحنی ماده خشک به دلیل ریزش برگ‌ها در تمام تیمارها روند کاهشی داشت. در مقایسه تیمار A_3 با شاهد باید اشاره کرد که این تیمار ماده خشک کل را ۵ درصد افزایش داد. این امر می‌تواند به دلیل افزایش سطح ریشه در پاسخ به ترشح هورمون‌های مختلف گیاهی به وسیله کودهای بیولوژیک باشد که موجب افزایش سطح تماس ریشه با خاک و در کل جذب بیشتر عناصر غذایی شود. همچنین تولید اسیدهای مختلف بوسیله باکتری‌ها می‌تواند موجب محلول‌سازی بیشتر فسفر معدنی و آلی خاک شده که همین امر، کاهش ۵۰ درصد کاربرد کود شیمیایی را در این آزمایش توجیه‌پذیر می‌کند. بررسی استانچوا و همکاران (Stancheva et al., 1992) نشان داد که در اثر تلقیح ذرت با کودهای بیولوژیک وزن خشک بوته افزایش یافت. آنان دلیل این موضوع را بهبود دسترسی و جذب عناصر غذایی ذکر کردند و بیان داشتند که این موضوع در نهایت باعث افزایش تجمع ماده خشک در ذرت شده است.

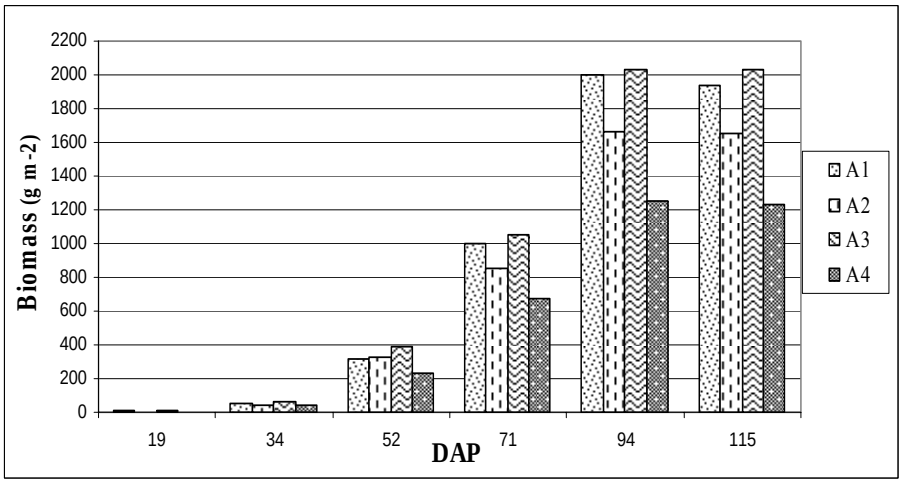


شکل ۲- شاخص سطح برگ(LAI) سطوح مختلف کودی در روزهای مختلف پس از کاشت (DAP)

Fig. 2- Leaf area index in different fertilization levels during growth season (day after planting).

میانگین‌های دارای دامنه همپوشانی یکسان براساس خطای استاندارد تفاوت معنی‌داری ندارند.

There are no significant differences between averages with similar overlap range according to standard error.



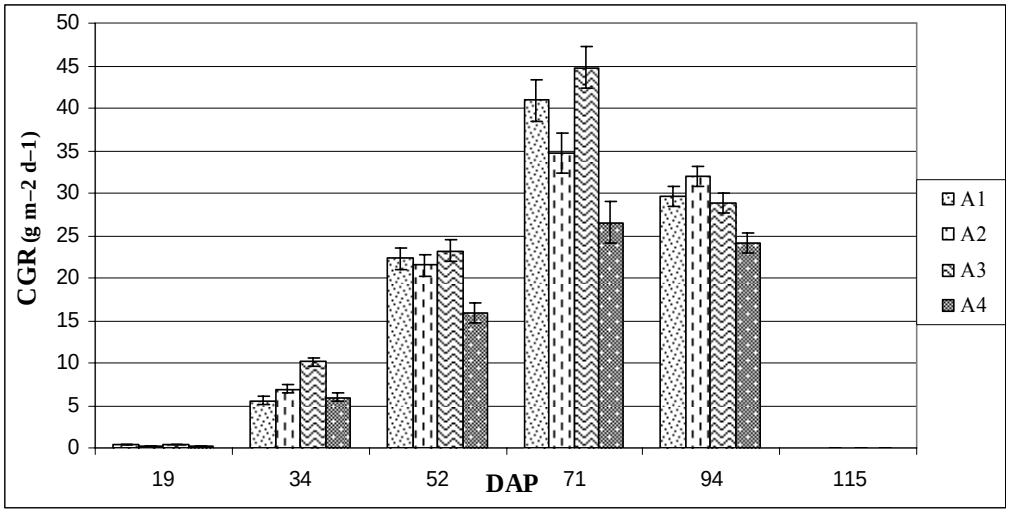
شکل۳ - وزن کل ماده خشک سطوح مختلف کودی در روزهای مختلف پس از کاشت (DAP)

Fig. 3- Dry mater production in different fertilization levels during growth season (day after planting).

سرعت رشد محصول

سرعت رشد محصول شاخصی است که میزان تجمع ماده خشک را در واحد زمان و سطح زمین نشان می‌دهد. سرعت رشد محصول در مراحل اولیه رشد به دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی، بالا بودن میانگین درجه حرارت و جذب درصد کمی از نور خورشید، پایین و با گذشت زمان و نمو گیاه و توسعه سطح برگ و نفوذ کمتر نور به سطح خاک افزایش یافت. در ادامه فصل رشد (۳۴ روز پس از کاشت) روند تغییرات سرعت رشد محصول در تیمارهای مختلف اختلاف قابل‌توجهی پیدا کرد، به طوری که در تیمارA_3 اختلاف رشد کامل ملموس بوده تا این که CGR در ۷۱ روز بعد از کاشت (مرحله تاسل‌دهی) به حداکثر خود رسید. در این زمان بیشترین و کمترین CGR به ترتیب در تیمارهای A_3 با ۴۴/۷۸ و A_4 با ۲۶/۵۴ گرم در متر مربع در روز (عدم اختلاف معنی‌دار با شاهد) به دست آمد (شکل ۴)، در حالی که مقدار CGR در تیمار شاهد در این زمان ۴۰/۸ گرم در مترمربع در روز ثبت شد.

روند افزایش سرعت رشد محصول در ادامه فصل رشد به رشد و نمو سریع برگ‌ها (LAI) و ساقه نسبت داده می‌شود، که این امر مستلزم تامین آب و عناصر غذایی کافی جهت رشد و نمو گیاه، به ویژه در مراحل بحرانی رشد است (Latifi et al., 2004). ناندا و همکاران (Nanda et al., 1995) اظهار داشتند که تلقیح بذرهای ذرت با کودهای بیولوژیک آزوسپریلوم و ازتو باکتر موجب افزایش عملکرد علوفه‌ای ذرت شد. ویو و همکاران (Wu et al., 2005) گزارش کردند که تلقیح بذور ذرت با کودهای بیولوژیک باعث افزایش CGR شد. آنان دلیل این امر را افزایش دسترسی عناصر غذایی و بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه دانستند. کلارک و سیمپسون (Clarcke & Simpson, 1978) اظهار داشتند که هم‌زمانی حداکثر میزان CGR با مراحل نمو بلال (۷۱روز پس از کاشت) به دلیل وجود اندام‌های فتوسنتزکنندهٔ جدید است که حضور کودهای بیولوژیک نقش مهمی در افزایش دوام اندام‌های فتوسنتزکننده دارد. باید اشاره کرد که بسیاری از پژوهشگران اظهار داشته‌اند که کودهای بیولوژیک به تنهایی قادر به تامین کل نیتروژن مورد نیاز گیاه نیستند و بیشتر اثرات مثبت کودهای بیولوژیک در دسترسی دیگر عناصر از طریق افزایش حلالیت عناصری نظیر فسفر و همچنین افزایش جذب در واحد سطح است که در اثر تولید انواع هورمون‌های محرک رشد ایجاد می‌شود (Vessy, 2003). به عبارت دیگر، تولید هورمون‌های محرک رشد به خصوص اکسین از طریق تحریک سیستم ریشه‌زایی باعث افزایش جذب در واحد سطح شده و در حضور مقادیر مناسبی از کودهای شیمیایی باعث تشدید این اثرات می‌شوند که این امر در نهایت موجب افزایش رشد محصول شده است.در ادامهٔ فصل رشد، روند سرعت رشد محصول به دلیل کاهش شاخص سطح برگ و زرد شدن برگ‌ها کاهشی بود.



شکل ٤- سرعت رشد محصول(CGR) سطوح مختلف کودی در روزهای مختلف پس از کاشت (DAP)

Fig. 4- Crop growth rate (CGR) in different fertilization levels during growth season (day after planting).

میانگین‌های دارای دامنه همپوشانی یکسان براساس خطای استاندارد تفاوت معنی‌داری ندارند.

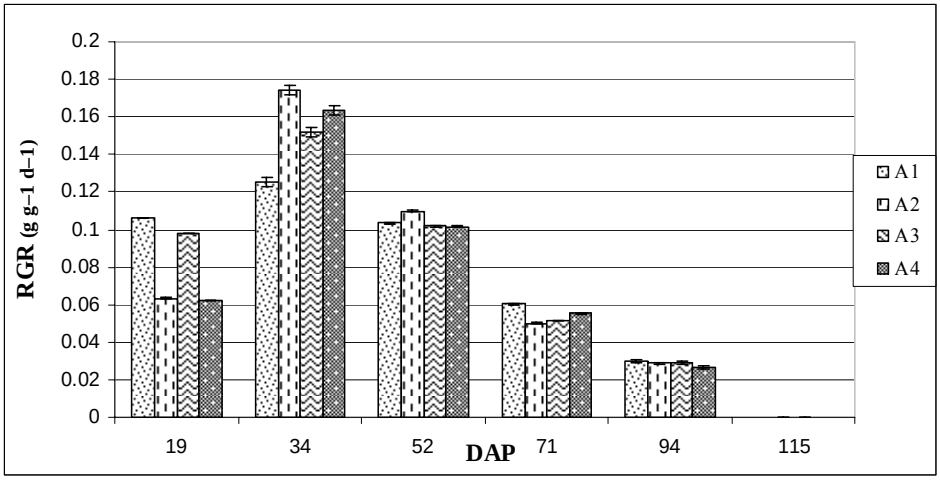
There are no significant differences between averages with similar overlap range according to standard error.

سرعت رشد نسبی

نتایج آزمایش نشان داد که سرعت رشد نسبی با گذشت زمان و رشد گیاه به علت افزایش سایه‌اندازی کاهش یافت. بیشترین مقدار RGR در ابتدای فصل رشد و در ۳۴ روز پس از کاشت به دست آمد، که بیشترین آن در تیمارهای A_2 با ۰/۱۷ گرم بر گرم در روز ثبت شد (شکل۵)، در حالی که کمترین مقدار RGR در این زمان در تیمار شاهد با مقدار ۰/۱۲ گرم بر گرم در روز به دست آمد. به عبارت دیگر، تیمار شاهد در مقایسه با دیگر تیمارها در ابتدای فصل رشد کمترین مقدار RGR را به خود اختصاص داده بود و با ادامه فصل رشد با شیب سریع‌تری کاهش یافته است. دیویدسون و کمبل (Davidson & Campbell, 1984) گزارش کردند که میزان سرعت رشدنسبی در گندم در اوایل فصل رشد بالا است و با گذشت زمان کاهش می‌یابد، به طوری که در مرحله خمیری مقدار آن منفی می‌شود. حضور کودهای بیولوژیک به تنهایی و در تلفیق با کودهای شیمیایی باعث شد که RGR در طول دوره رشد با شیب کمتری کاهش یابد. باید اشاره کرد که در تیمار شاهد عکس این پدیده رخ داد. این امر می‌تواند ناشی از زرد شدن سریع برگ‌ها و به دنبال آن کاهش LAI باشد. در انتهای دوره رشد رویشی(۷۱ روز پس از کاشت) حضور کودهای بیولوژیک سبب کاهش روند نزولی RGR در مقایسه با شاهد شد.

سرعت جذب خالص

نتایج روند تغییرات سرعت جذب خالص گیاه در پاسخ به سطوح مختلف کودی در طول فصل رشد در شکل ۶ نشان داده شده است. تغییرات NAR در تمامی تیمارها روند افزایشی نسبتاً مشابهی داشت، به طوری که سرعت جذب خالص در ابتدای فصل رشد به علت بالا بودن میانگین درجه حرارت در مقایسه با روند طبیعی تغییرات NAR کاهشی و منفی بوده و با ادامه فصل رشد و کاهش میانگین درجه حرارت تغییرات NAR افزایشی بود تا اینکه بیشترین و کمترین NAR در ۹۴ روز پس از کاشت ذرت به ترتیب در تیمارهای شاهد با ۱۹/۴ و A_4 با ۱۱/۳ گرم بر مترمربع برگ در روز به دست آمد. سپس با ادامه فصل رشد و نزدیک شدن به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و همچنین پیر شدن برگ‌ها روند نزولی داشت. اشاره می‌شود که احتمالاً نقش سایه‌اندازی برگ‌ها به علت بالا بودن شدت تشعشع در منطقه در کاهش NAR کمتر بوده و دلیل اصلی کاهش NAR در ۹۴ روز پس از کاشت ذرت، کاهش LAI و زرد شدن برگ‌ها است. آلن و همکاران (Allen et al., 1980) گزارش کردند که حضور کودهای بیولوژیک مقادیر سیتوکینین و کلروفیل را در گیاه افزایش می‌دهد و در نهایت موجب افزایش رشد گیاه می‌شود.

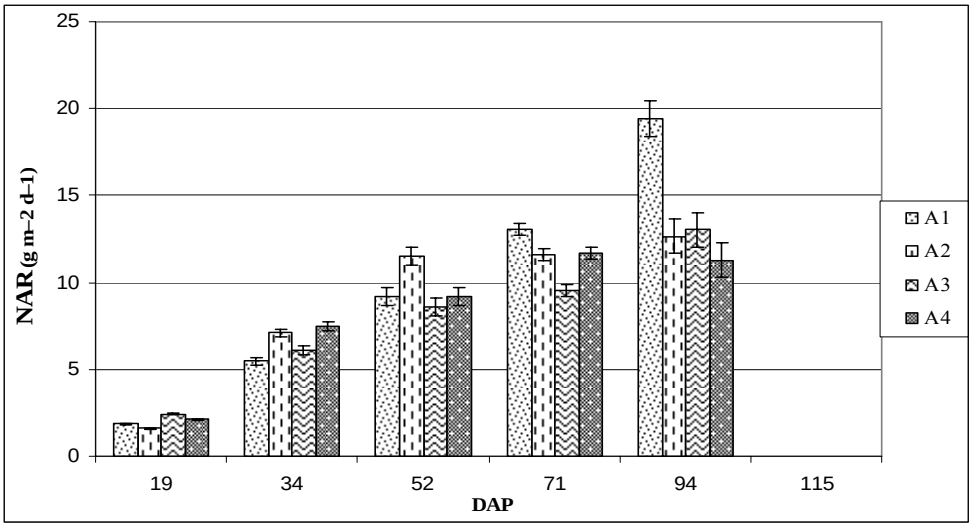


شکل۵- سرعت رشد نسبی(RGR) سطوح مختلف کودی در روزهای مختلف پس از کاشت (DAP)

Fig. 5- Relative growth rate (RGR) in different fertilization levels during growth season (day after planting).

میانگین‌های دارای دامنه همپوشانی یکسان براساس خطای استاندارد تفاوت معنی‌داری ندارند.

There are no significant differences between averages with similar overlap range according to standard error.



شکل ٦- سرعت اسیمیلاسیون خالص(NAR) سطوح مختلف کودی در روزهای مختلف پس از کاشت (DAP)

Fig. 6- Net assimilation rate (NAR) in different fertilization levels during growth season (day after planting)

میانگین‌های دارای دامنه همپوشانی یکسان براساس خطای استاندارد تفاوت معنی‌داری ندارند.

There are no significant differences between averages with similar overlap range according to standard error.

دوام شاخص سطح برگ

بررسی نتایج دوام شاخص سطح برگ نشان داد که حضور کودهای بیولوژیک نقش مهمی در دوام سطح برگ به خصوص در اواخر دوره رشد ذرت داشت. که بسته به مقدار کاربرد کود شیمیایی در تلفیق با کودهای بیولوژیک اثرات آن بر شاخص دوام سطح برگ متغییر و همبستگی مستقیمی با درصد کاربرد کود شیمیایی داشت. در بررسی دوام سطح برگ از زمان کاشت تا مرحله ۱۰ برگی ذرت مشاهده گردید که نقش کودهای بیولوژیک در تحریک دوام شاخص سطح برگ به مراتب کمتر از کودهای شیمیایی بود. بیشترین و کمترین مقدار دوام شاخص سطح برگ در این مرحله به ترتیب در تیمار A_1 و A_4 با مقادیر ۶۸/۶۵ و ۳۰/۶۳ روز به دست آمد. محاسبه شاخص دوام سطح برگ از زمان کاشت تا مرحله قهوه‌ای شدن ابریشم‌ها نشان داد که، بیشترین شاخص دوام سطح برگ در تیمار A_3 با مقدار ۱۲۵/۷۹ روز به دست آمد، در حالی که تیمار A_4 با ۶۸/۵۳ روز کمترین شاخص دوام سطح برگ را به خود اختصاص داد.

دوام سطح برگ مشخص‌کننده میزان نور دریافتی در طول دوره رشد گیاه است (Cox, 1996). عملکرد ماده خشک با دوام سطح برگ ارتباط نزدیکی دارد و دوام سطح برگ می‌تواند شاخصی از تولید باشد. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که حضور کودهای بیولوژیک به تدریج توانست دوام شاخص سطح برگ را در مقایسه با شاهد افزایش دهد. در حالی که تا مرحله ۱۰ برگی بیشترین دوام سطح برگ متعلق به تیمار شاهد بود، اما با ادامه فصل رشد جای خود را به تیمار تلفیقی کود بیولوژیک+ شیمیایی (تیمارA_3) داد. احتمالاً گذشت زمان همراه با عواملی چون کاهش درجه حرارت و افزایش فعالیت باکتری‌ها، نقش مهمی در افزایش جمعیت باکتری‌ها و اثرات مثبت آنها بر ذرت داشته است. علاوه بر آن بررسی دوام شاخص سطح برگ از مرحله قهوه‌ای شدن ابریشم تا برداشت ذرت که نقش مهمی بر روی عملکرد و اجزاء عملکرد دارد، نشان می‌دهد که حضور کود بیولوژیک به طورمعنی داری دوام سطح برگ را افزایش داد. نتایج نشان داد که در تیمار عدم حضور کود بیولوژیک (شاهد) شاخص سطح برگ پس از مرحله قهوه‌ای شدن ابریشم‌ها در مقایسه با دیگر تیمارهای کاربرد کودهای بیولوژیک به سرعت دوام و ماندگاری خود را از دست داد (جدول ۲). ماندگاری بیشتر سطح برگ در تیمارهای کاربرد کود بیولوژیک از طریق ترشح هورمون‌های مختلف رشد قابل توجیه است. در این مرحله بیشترین و کمترین دوام شاخص سطح برگ به ترتیب در تیمارهای A_3 و A_1 با مقادیر ۱۰۳/۶ و ۷۱/۶ روز مشاهده شد. بالا بودن عملکرد بیولوژی با مشاهده این نتایج کاملاً قابل توجیه است. بنابراین، بالا بودن دوام سطح برگ بعد از مرحله زایشی بسیار مهم و حیاتی است، زیرا بالا بودن آن ارتباط مستقیمی با افزایش عملکرد گیاه دارد. شکوفا و امام (Shekoofa & Emam, 2008) گزارش کردند که حفظ سطح فتوسنتزی برگ ذرت، هم‌زمان با انتهای فصل رشد تاثیر مستقیمی بر عملکرد دارد.

جدول ۲- اثرات کودهای شیمیایی بر دوام شاخص سطح برگ در مراحل مختلف رشد ذرت

Table 2- Effect of chemical fertilizer on the leaf area index duration in different maize growth stages

بعد از گرده افشانی Time after pollination	کاشت تا قبل از گرده افشانی Sowing to pollination	کاشت تا ۱۰ برگی Sowing to 10 leaves	تیمارها Treatment
71.6 c	121.47 a	68.65 a*	A_1 ۱۰۰٪ کود شیمیایی 100% Chemical F.
82.3 b	82.54 b	36.37 c	A_2 ۵۰٪ شیمیایی+ بیولوژیک 50% Chemical F.+ Biological F.
103.6 a	125.79 a	55.49 b	A_3 ۲۵٪ شیمیایی+ بیولوژیک 25% Chemical F.+ Biological F.
74.23 c	68.53 c	30.63 d	A_4 ۱۰۰٪ بیولوژیک 100% Biological F.

*میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵٪ از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at α=0.05.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد کودهای بیولوژیک توانست شاخص‌های مختلف رشد، به ویژه دوام سطح برگ را افزایش دهد؛ از این رو کاربرد کودهای بیولوژیک ضمن کاهش قابل‌توجه مصرف کودهای شیمیایی و پیامدهای احتمالی اقتصادی و زیست‌محیطی آن، توانست در مقایسه با کاربرد کودهای شیمیایی به تنهایی اثرات مطلوب‌تری را بر رشد ذرت به همراه داشته باشد.

سپاسگزاری

از موسسه آب و خاک، به ویژه جناب آقای دکتر اصغرزاده، برای تامین کودهای بیولوژیک آزمایش سپاس‌گزاری می‌شود. همچنین از همکاری دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، به ویژه جناب آقای دکتر لرزاده، رئیس دانشکده کشاورزی، تشکر و قدردانی می‌شود. نویسندگان از داوران ارجمندی که نظرات ارزشمندی را در بررسی نسخهٔ اولیهٔ مقاله ارائه کردند، صمیمانه سپاسگزاری می‌کنند.

منابع

1- Allen, M.F., Moore, T.S., and Cheristenses, M. 1980. Phytohormone, changes in Bouteloua gracilis infected by vesicular-arbuscular mycorrhizae. I. Cytokine increase in the host plant. Canadian Journal of Botany 58: 371-374.
2- Asghar, H.N., Zahir, Z.A., Arshad, M., and Khaliq, A. 2002. Relationship between in vitro production of auxins by rhizobacteria and their growth promoting activities in *Brassica juncea* L. Journal of Biology and Fertility of Soils 35: 231-237.
3- Bashan, Y., Holguin, G., and De-Bashan, L.E. 2004. *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agriculture and environmental advances (1997-2003). Canadian Journal of Microbiology 50: 521-577.
4- Biari, A., Gholami, A., and Rahmani, H.A. 2008. Growth promotion and enhanced nutrient uptake of maize by application of plant growth promoting rhizobacteria in arid region of Iran. Journal of Biological Sciences 8(6): 1015-1020.
5- Brich, C.J., Hammer, G.L., and Rickert, K.G. 1998. Temperature and photoperiod sensitivity of development in five cultivars of maize from emergence to tassel initiation. Journal of Field Crop Research 55: 93-107.
6- Clarcke, J.M., and Simpson, G.M. 1978. Growth and analysis of *Brassica napus* cv. Tower. Canadian Journal of Plant Science 58: 587-595.
7- Cox, W.J. 1996. Whole-plant physiological and yield responses of maize to plant density. Agronomy Journal 88: 489-496.
8- Davidson, H.R., and Campbell, C.A. 1984. Growth rates, harvest index and moisture use of manitu spring wheats influenced by nitrogen, temperature and moisture. Canadian Journal of Plant Science 64: 825-839.
9- Glick, B.R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. Canadian Journal of Microbiology 41: 109-117.
10- Gray, E.J., and Smith, D.L. 2005. Interacellular and extracellular PGPR: Commonalities and distinctions in the plant-bacterium signaling processes. Soil Biology and Biochemistry Journal 37: 395-412.

11- Hernandez, A.N., Hernandez, A., and Heydrich, M. 1995. Selection of rhizobacteria for use maize cultivation. Journal of Cultivos Tropicales 6: 5-8.
12- Hamidi, A., Asqarzadeh, A., Chokan, R., Dehghan Shoar, M., Ghalavand, A., and Jafarmalakoti, M. 2007. Study of plant growth promoting rihizobacteria (PGPR) biofertilizers application in maize cultivation by adequate input. Journal of Environmental Science 4: 1-20. (In Persian with English Summary)
13- Karimi, M.M., and Siddique, K.H.M. 1991. Crop growth and relative growth rates of old and modern wheat cultivars. Australian Journal of Agriculture Research 42: 13-20.
14- Kupulnik, Y., Sarig, S., Nur, A., Okan, Y., and Henis, Y. 1982. Effect of Azospirillum inoculation on growth and yield maize. Israel Journal of Botany 31: 247-255.
15- Latifi, N., Navabpoor, S., and Ghaderi, A. 2004. Evaluation sunflower growth index, under dry condition. Agriculture Science Journal 17(1): 61-67. (In Persian with English Summary)
16- Lucy, M. and Glick, B.R. 2004. Application of free living plant growth promoting rhizobacteria. Journal of Antonie van Leeuwenhoek 86: 1-25.
17- 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 *Oriza*. Current Agriculture Research 8:45-47.
18- Nezarat, S., and Gholami, A. 2008. Evaluation of *Azospirillum* and *Pseudomonas* on maize growth. 2nd National Congress of Ecological Agriculture in Iran, pp. 2037-2049. (In Persian)
19- Rosta, M., Rastin, N., and Mazaheri Asadi, M. 1999. Investigation effect of *Azospirillum lipoform* activity in some soils Iran. Iran Agriculture Science Journal 29: 285-298. (In Persian with English Summary)
20- Sarmadnia, G., and Koochaki, A. 1991. Physiology of Crop Plants. Mashhad, Iran. 400 pp. (In Persian)
21- Shekoofa, A., and Emam, Y. 2008. Plant growth regulator (Ethephon) alters maize growth, water use and grain yield under water stress. Journal of Agronomy 7(1): 41-48. (In Persian with English Summary)
22- Shi, S.F., Goscho, G.J., and Rahil, G.S. 1981. Biomass production o sweet sorghum. Agronomy Journal 173:1027-1031.
23- Stancheva, I., Dimitrev, I., Kuloyanova, N., Dimitrova, A., and Anyelove, M. 1992. Effect of inoculation with *Azospirillum brasilense*, photosynthetic enzyme activities and grain yield in maize. Agronomie Journal 12: 319-324.
24- Tialk, K.V.B.R., Singh, C.S., Roy, V.K., and Roa, N.S.S. 1982. *Azosprillum brasilense* and *Azotobacter chroococcum* inoculums: Effect of yield maize and sorghum. Soil Biology and Biochemistry 14:417-418.
25- Van Loon, L.C. 2007. Plant response to plant growth promoting rhizobacteria. European Journal of Plant Pathology 119: 243-254.
26- Vessy, K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizars. Plant and Soil 255: 571-586.
27- Wu, S.C., Cao, Z.H. Li, Z.G., Cheung, K.C., and. Wong, M.H. 2005. Effect of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. Geoderma 125: 155-166.
28- Yasari, E., and Patwardhan, A.M. 2007. Effect of *Aztobacter* and *Azospirillum* inoculations and chemical fertilizers on growth and productivity of canola. Asian Journal of Plant Science 6(1): 77-82.
29- Yazdani, M., Bahmanyar, M.A., Pirdashti, H., and Esmaili, M.A. 2009. Effect of phosphate solubilization microorganisms and plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of corn. International Journal of Biological and Life Sciences 1: 2-7. (In Persian with English Summary)
30- Zahir, A.Z., and Khalid, M.A. 1998. Improving maize yield by inoculation with plant growth promoting rhizobacteria. Pakistan Journal of Soil Science 15: 7-11.