Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 52, No 2, Summer 2021 (109-120)
DOI: 10.22059/ijfcs.2020.261722.654496

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۰ (ص۱۲۰-۱۰۹)

واکنش مورفوفیزیولوژیکی و عملکردی ذرت به کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و باکتری‌های محرک رشد گیاه

مجتبی حسینیان[۱]، علی احمدی*[۲]، بابک متشرع زاده[۳]، جعفر نباتی[٤]

۱و۲- دانشجو و استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۳- دانشیار، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ٤- استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۳۰)

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی به همراه باکتری‌های محرک رشد گیاه بر پاسخ‌های ذرت، آزمایشی در سال ۱۳۹٦ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای تغذیه‌ای شامل بدون استفاده از کود، کاربرد باکتری‌های محرک رشد، کاربرد کودهای شیمیایی و کاربرد کودهای شیمیایی به همراه باکتری‌های محرک رشد در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار وزن خشک کل (۳/۹ کیلوگرم در مترمربع)، سرعت رشد محصول (۷۹/۸ گرم در مترمربع در روز)، سرعت جذب خالص (۱۵/۳ گرم در مترمربع در روز) و عملکرد دانه (۱۸/۲۹ تن در هکتار)، در تیمار کاربرد کودهای شیمیایی به همراه باکتری‌های محرک رشد مشاهده شد و بالاترین شاخص سطح برگ (۵/۳)، دوام سطح برگ (۲۰۵/۲) و وزن ویژه برگ (۷۸/۵ گرم در مترمربع) در تیمار کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌دست آمد. همچنین کمترین مقدار در تمام صفات، در تیمار شاهد مشاهده شد. نتایج نشان داد که حضور باکتری‌های محرک رشد گیاه در برنامه غذایی ذرت، باعث افزایش رشد و شاخص‌های رشدی گیاه شد و بیشترین مقادیر رشدی و عملکرد نهایی، از کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی به همراه باکتری‌های محرک رشد گیاه به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: ذرت، رشد گیاه، شاخص‌های رشد، عملکرد دانه، کود شیمیایی.

Morpho-physiological and functional response of corn to combined application of chemical fertilizers and rhizobactria plant growth promoting

Mojtaba Hosseinian[1], Ali Ahmadi*[2], Babak Motesharezadeh[3], Jafar Nabati[4]

1,2. Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, 3. Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, 4. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.

(Received: September 29, 2018 - Accepted: June 19, 2020)

ABSTRACT

To investigate the response of corn to combined application of chemical fertilizers with rhizobacteria plant growth promoting, an experiment was conducted in 2017 at Research farm of Agricultural and Natural Resources Campus of Tehran University, Karaj, Iran, in a randomized complete block design with four replications. Four nutritional treatments including T_1 (Control treatment without applying fertilizer), T_2 (Just PGPRs), T_3 (Use chemical fertilizers based on soil test) and T_4 (T_3 + PGPRs) were considered. According to the results, the highest total dry weight (3.9 kg/m^2), crop growth rate (79.8 g.m^{-2}.day^{-1}), net assimilation rate (15.3 g.m^{-2}.day^{-1}) and grain yield (18.2 ton.ha^{-1}) were observed in T_4 treatment and T_2 treatment produced the highest leaf area index (5.3), leaf area duration (205.2) and specific leaf weight (78.5 g.m^{-2}) . Also, the lowest value of all traits was observed in in T_1 (control) treatment. The results showed that the presence of rhizobacteria plant growth promotioninduction in the corn nutrition program increased the growth and growth indices of the plant. Combined application of chemical fertilizers with rhizobacteria plant growth promoting resulted in the highest growth and final grain yield of corn.

Keywords: Corn, Fertilizer, Growth Analysis, Growth Indices, Grain Yield

* Corresponding author E-mail: ahmadia@ut.ac.ir

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) از جمله گیاهان زراعی مهم برای تغذیه انسان و دام می‌باشد و پس از گندم، بیشترین سطح زیر کشت اراضی کشاورزی جهان را به خود اختصاص داده است. طبق آمارنامه جهاد کشاورزی، میزان تولید ذرت در ایران برابر با ۱/۱۷ میلیون تن می‌باشد (Anonymous, 2015)، اما تولید ذرت با محدودیت‌های رشدی متأثر از عوامل مدیریتی مانند تغذیه گیاهی مواجه است. نیاز به افزایش تولید ذرت در واحد سطح و نیاز بالای ذرت به عناصر غذایی برای رسیدن به عملکرد مطلوب، موجب شده است که علاوه بر مصرف بیش از اندازه نهاده‌های شیمیایی، هزینه‌های تولید افزایش یابد و خطرات زیست‌محیطی ایجاد شود. با وجود تأثیرات منفی زیست‌محیطی، پیش‌بینی می‌شود مقدار استفاده از کودها در سطح جهان همچنان افزایش یابد؛ چراکه با رشد روزافزون جمعیت جهان، نیاز به غذای بیشتر افزایش می‌یابد. کارایی پایین جذب کودها و عناصر غذایی آن توسط گیاه، شاخص اصلی تشدید مخاطرات زیست‌محیطی است (Barlog *et al*., 2004).

استفاده از کودهای زیستی، روش مناسبی برای حل این مشکلات است، زیرا کاربرد این کودها، باعث افزایش دسترسی و جذب عناصر غذایی توسط گیاه و حفظ سلامت گیاه و محیط‌زیست می‌شود (Adesemoye *et al*., 2008; Weller, 2007). باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR[1])، از مهم‌ترین و مؤثرترین کودهای زیستی می‌باشند. فواید استفاده از باکتری‌های محرک رشد شامل افزایش عملکرد، سطح برگ، جذب عناصر توسط گیاه و تحمل تنش‌های غیرزنده می‌باشد (Mantelin and Touraine, 2004; Yang *et al*., 2009). مطالعه سه نوع کود زیستی بر رشد ذرت شامل باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، تجزیه‌کننده فسفر و تجزیه‌کننده پتاسیم نشان داد که تلقیح میکروبی، باعث افزایش رشد و جذب عناصر در ذرت شد و همچنین بهبود ویژگی‌های خاک را به دنبال داشت (Wu *et al*., 2005).

مطابق گزارش‌های محققان مختلف، کودهای زیستی نمی‌توانند به‌طور کامل نیاز غذایی گیاه را تأمین کنند (Zodape, 2001; Olivera *et al*., 2002; Ghasemi *et al*., 2011)؛ به این دلیل در سال‌های اخیر، سازمان کشاورزی و خواروبار جهانی (F.A.O)، طرح توسعه نظام‌های تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی را برای کشورهای درحال‌توسعه پیشنهاد نموده است. اخیراً گزارش‌شده است که اعمال کودهای شیمیایی در ترکیب با کودهای زیستی، به‌عنوان یک‌راه کارآمد برای تنظیم جمعیت میکروبی خاک به‌وسیله افزایش باکتری‌های مفید در نظر گرفته‌شده است (Tao *et al*., 2015; Zhao *et al*., 2016).

با توجه به اثرات نامساعد زیست‌محیطی کودهای شیمیایی و خلأ عملکرد، هدف از این مطالعه، تعیین تأثیر کاربرد هم‌زمان کودهای شیمیایی مورد استفاده در کشور و کودهای باکتریایی سویه‌های بومی، بر شاخص‌های رشدی و عملکرد ذرت بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، واقع در کرج (با طول جغرافیایی ۵۰/۹۷ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵/۸۲ درجه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۱۲ متر)، با میانگین بارندگی سالیانه کرج حدود ۲۵۱ میلی‌متر انجام گرفت. این منطقه بر اساس طبقه‌بندی دومارتن، جزو مناطق نیمه‌خشک و سرد محسوب می‌شود. . آزمایش به‌صورت طرح بلوک کامل تصادفی و با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای تغذیه‌ای شامل T_1 (بدون استفاده از کود یا شاهد)، T_2 (کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه)، T_3 (کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک) و T_4 (کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک همراه با باکتری‌های محرک رشد گیاه) بود.

باکتری‌های محرک رشد مورد استفاده در این آزمایش، از "شرکت دانش‌بنیان خوشه پروران زیست فناور" تهیه شد که شامل کودهای نیتروپاورباکتر

[1]- Plant Growth-Promoting Rhizobacteria

(آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن)، فسفوپاورباکتر (تسهیل‌کننده عرضه فسفر) و پتاس‌پاورباکتر (تسهیل‌کننده عرضه پتاسیم) با برند "دایان" بود. تراکم جمعیت باکتری‌ها 10^7 سلول در میلی‌لیتر مایه تلقیح بود. باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، مجموعه‌ای از سویه‌های *Azotobacter sp.*، *Azospirillum sp.* و *Bacillus sp.*، باکتری‌های تجزیه‌کننده فسفات مجموعه‌ای از سویه‌های *Bacillus sp.* و *Pseudomonas sp.* و باکتری‌های تجزیه‌کننده پتاسیم مجموعه‌ای از سویه‌های *Thiobacillus sp.* بودند که بومی ایران هستند و از نقاط مختلف جمع‌آوری و تکثیر شده‌اند. مقدار کودهای شیمیایی مصرفی بر اساس آزمون خاک تا عمق ۴۰ سانتی‌متری (جدول ۱) نیز شامل ۱۵۰ کیلوگرم اوره و ۲۷۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم (K_2SO_4) در هکتار بود و با توجه به مقدار مطلوب فسفر در خاک، از کودهای حاوی فسفر استفاده نشد. همچنین در بین عناصر کم‌مصرف نیز فقط کمبود آهن مشاهده شد که ۱۶ کیلوگرم در هکتار کود سکوسترن آهن در مراحل رویشی مصرف شد. هر کرت شامل پنج ردیف کشت با فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1. Physiochemical properties of experimental soil

Mn	Cu	Zn	Fe	Available Potassium	Available Phosphorous	Total nitrogen	Organic carbon	pH	EC	Soil texture
($mg.kg^{-1}$)	($mg.kg^{-1}$)	($mg.kg^{-1}$)	($mg.kg^{-1}$)	(ppm)	(ppm)	(%)	(%)		($dS.m^{-1}$)	
7.15	1.11	1.97	4.32	123	21.5	0.07	0.63	8.6	1.16	Clay Loam

با توجه به اهمیت عناصر غذایی در این مطالعه، از قطعه زمینی که دو سال آیش بود استفاده شد. کاشت در اوایل خردادماه ۹۶ پس از عملیات خاک‌ورزی و تسطیح زمین انجام گرفت. در این آزمایش، رقم هیبرید تری وی کراس ماکسیما[1] با وزن هزار دانه حدود ۲۶۰ گرم کشت شد. برای تیمارهایی که نیاز به باکتری بود، قبل از کشت، بذرها توسط باکتری‌های حل‌کننده عناصر بذر مال شد. بدین‌صورت که بذرها در سایه پهن‌شدند و باکتری‌ها به‌صورت مایع روی بذرها به‌گونه‌ای اسپری شدند که تمام بذرها مرطوب شدند. عملیات کاشت به‌صورت دستی و با فواصل بسیار نزدیک انجام شد و پس‌ازآن آبیاری توسط سیستم قطره‌ای انجام گرفت. پس از سبز شدن، با تنک نمودن بوته‌های اضافی، تراکم مورد نظر به‌دست آمد و وجین علف‌های‌هرز، سه مرتبه به‌صورت مکانیکی در طول فصل رشد انجام شد.

جهت اندازه‌گیری روند تغییرات وزن خشک کل بوته و سطح برگ، چهار مرحله نمونه‌گیری شامل مراحل شش برگی، ۱۲ برگی، شیری شدن دانه‌ها و رسیدگی فیزیولوژیک دانه در طول فصل رشد انجام گرفت. برای اندازه‌گیری اجزای عملکرد در هر مرحله، سه بوته از هر کرت برداشت و به اجزاء آن‌ها تفکیک شدند. در نهایت پس از حذف حاشیه‌ها، باقی‌مانده کرت جهت بررسی عملکرد برداشت شد. نمونه‌ها در آونی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا زمان خشک شدن کامل قرار داده شدند و پس از آن، وزن آن‌ها با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. برای سنجش سطح برگ نیز از معادله ۱ استفاده شد.

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

که در آن، L: طول برگ، W: عرض برگ و ۰/۷۵: ضریب ثابت برای ذرت است (Shi *et al*., 1981). با اندازه‌گیری سه عامل سطح برگ و وزن خشک برگ و کل اندام هوایی، مقادیر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد شامل شاخص سطح برگ[2] (LAI)، سرعت رشد

[1] Maxima 3V-Cross

[2] Leaf Area Index

محصول[1] (CGR)، سرعت جذب خالص[2] (NAR)، دوام سطح برگ[3] (LAD) و وزن ویژه برگ[4] (SLW) با استفاده از معادلات ۲ تا ۶ به دست آمد (Shi *et al*., 1981).

$LAI = LA / GA$ معادله (۲)

$CGR = (W_2-W_1) / (t_2-t_1)$ معادله (۳)

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

$LAD = ((LAI_1+LAI_2)/2) \times (t_2-t_1)$ معادله (۵)

$SLW = LW / LAI$ معادله (۶)

که در این معادلات، LA_1 و LA_2: به‌ترتیب سطح برگ اولیه و ثانویه (مترمربع)، W_1 و W_2 به‌ترتیب وزن خشک کل اولیه و ثانویه (گرم در مترمربع)، t_1 و t_2: زمان نمونه‌برداری اولیه و ثانویه (روز)، GA: سطح زمینی که توسط گیاه اشغال شده (مترمربع) و LW: وزن خشک برگ (گرم در مترمربع) است. در پایان و به‌منظور محاسبات آماری مورد نیاز، از نرم‌افزار SPSS 24 و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. همچنین مقایسه میانگین‌ها بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

وزن خشک کل[5] (TDW)

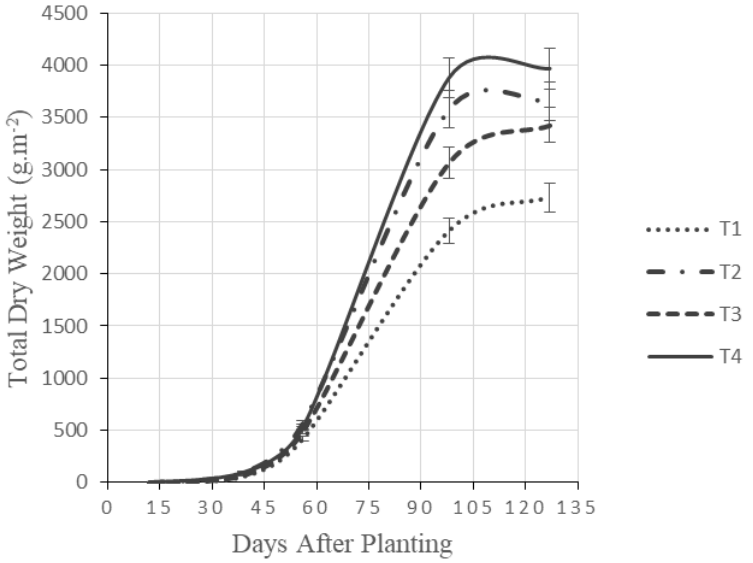
همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، میزان تغییرات در اوایل رشد در تمام تیمارها تقریباً یکسان بود، ولی با گذشت زمان، تفاوت‌ها افزایش یافت، به‌طوری‌که در مراحل انتهایی، بیشترین مقدار آن در تیمار T_4 (کاربرد هم‌زمان کودهای شیمیایی و باکتری‌های محرک رشد) و کمترین مقدار آن در تیمار T_1 (عدم مصرف کود) مشاهده شد که اختلاف آن ۴۵ درصد بود. تفاوت در تیمارها، به‌وضوح تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد را بر وزن خشک کل گیاه نشان می‌دهد، به‌طوری‌که کاربرد باکتری‌های محرک رشد به همراه کودهای شیمیایی، باعث افزایش ۱۶ درصدی وزن ماده خشک گیاه نسبت به زمانی شد که فقط کودهای شیمیایی به‌کار رفتند. در آزمایش های دیگر محققان نیز گزارش شد که بالاترین عملکرد زیستی در ذرت، با مصرف هم‌زمان باکتری‌های محرک رشد و کودهای شیمیایی به دست آمد (Yazdani *et al*., 2009). نتایج تحقیقات نشان داده است که باکتری‌های محرک رشد در حضور کودهای شیمیایی، از طریق بهبود دسترسی و حلالیت ، عناصر غذایی بیشتری را در اختیار گیاه قرار می دهند که این موضوع درنهایت، باعث افزایش تجمع ماده خشک در ذرت شده است. این موضوع با نتایج زیدان نیز مطابقت دارد (Zeidan, 2007).

شاخص سطح برگ (LAI)

برگ‌ها مهم‌ترین اندام فتوسنتز کننده گیاهان زراعی هستند و نحوه رشد، توزیع و تغییرات سطح برگ، اهمیت بالایی در جذب مناسب نور دارد. روند تغییرپذیری شاخص سطح برگ بین تیمارهای مختلف در شکل (۲) ارائه شده است. مطابق شکل و با گذشت زمان، شاخص سطح برگ افزایش یافت و در انتهای رشد به دلیل پیری و ریزش برگ‌های پایینی، روند کاهشی پیدا کرد. مقادیر بالای LAI در تیمارهای T_2 (باکتری‌های محرک رشد) و T_4 (کاربرد هم‌زمان کودهای شیمیایی و باکتری‌های محرک رشد) مشاهده شد. علاوه بر این، شاخص سطح برگ در این تیمارها در ابتدای رشد نیز با سرعت بیشتری افزایش یافت. تفاوت این دو تیمار با سایر تیمارها، حضور باکتری‌های محرک رشد بود که احتمالاً دلیل شاخص سطح برگ بالاتر نیز همین می‌باشد. همچنین زمانی که باکتری‌های محرک رشد به‌تنهایی استفاده شد (T_2)، گیاهان به دلیل افزایش سرعت رشد محصول (CGR) در مراحل اولیه، در زمان کمتری به بیشترین LAI رسیدند. کمترین میزان شاخص سطح برگ نیز در تیمار T_1 (بدون مصرف کود) به‌دست آمد.

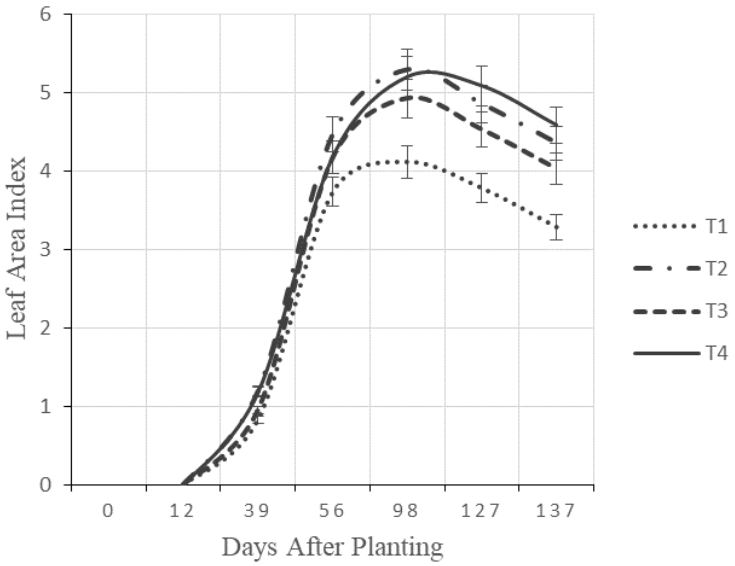
بررسی Hamidi *et al.*(2007) نشان داد که تلقیح بذرهای ذرت با کودهای زیستی، تعداد برگ‌های بالایی و تعداد برگ در هر بوته را افزایش داد. آن‌ها نیز

[1] Crop Growth Rate
[2] Net Assimilation Rate
[3] Leaf Area Duration
[4] Specific Leaf Weight
[5] Total dry weight



شکل ۱- تغییرات وزن خشک کل ذرت در طول فصل رشد تحت تاثیر تیمارهای مختلف کودی. T_1: بدون استفاده از کود (شاهد). T_2: کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه. T_3: کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک. T_4: کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک همراه با باکتری‌های محرک رشد گیاه.

Figure 1. Corn total dry weight changes during the growing season under different fertilizer treatments. T_1: control treatment without applying fertilizer, T_2: just PGPRs, T_3: use chemical fertilizers based on soil test and T_4: T_3 + PGPRs.



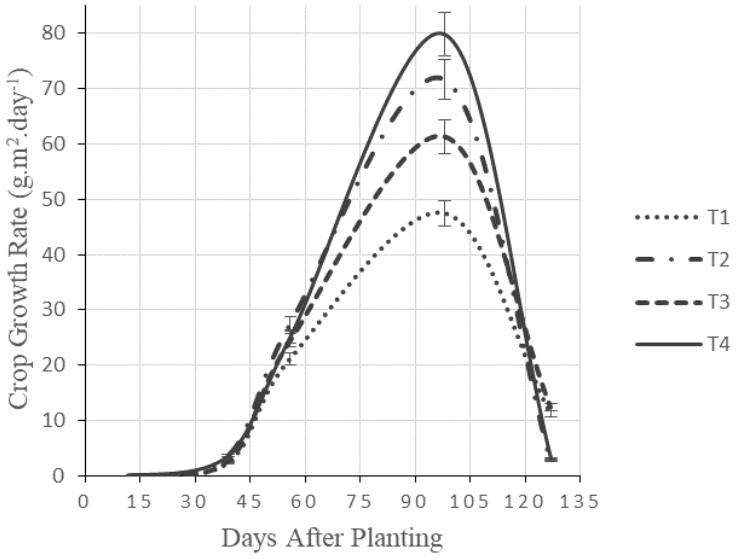
شکل ۲- تغییرات شاخص سطح برگ ذرت در طول فصل رشد، تحت تیمارهای مختلف کودی.T_1 : بدون استفاده از کود (شاهد). T_2: کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه. T_3: کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک. T_4: کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک همراه با باکتری‌های محرک رشد گیاه.

Figure 2. Corn leaf area index changes during the growing season under different fertilizer treatments. T_1: control treatment without applying fertilizer, T_2: just PGPRs, T_3: use chemical fertilizers based on soil test and T_4: T_3 + PGPRs.

دلیل این امر را وجود روابط مثبت بین گیاه با باکتری دانستند و اعلام داشتند که این موضوع در نهایت موجب افزایش سطح برگ گیاه و عملکرد علوفه شده است. آن‌ها همچنین بیان کردند که احتمالاً کودهای زیستی از طریق تولید هورمون‌های محرک رشد، عملکرد و ویژگی‌های مرتبط با آن را در ذرت تحت تأثیر قرار داده است. همچنین Glick (2012) بیان کرد باکتری‌های محرک رشد، سطح برگ گیاهان تلقیح شده را در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده به‌صورت معنی‌داری افزایش دادند. این افزایش به‌ویژه در مراحل ابتدایی رشد مشهودتر است. از سوی دیگر، در مراحل انتهایی رشد، حضور این باکتری‌ها موجب به تأخیر افتادن ریزش برگ‌ها و حفظ سطح سبز برگی به مدت طولانی‌تر شد.

سرعت رشد گیاه (CGR)

سرعت رشد گیاه، افزایش وزن خشک یک اجتماع گیاهی در واحد سطح مزرعه در واحد زمان می‌باشد. روند تغییرات CGR در تیمارهای مختلف در شکل (۳) مشاهده می‌شود. در ابتدای رشد، به دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و درصد کم جذب نور، CGR پایین بود، ولی در طول رشد گیاه و به دلیل افزایش توسعه برگ و پوشش گیاهی، راندمان جذب نور بیشتر شد و سرعت رشد گیاه به حداکثر رسید و پس از آن، مجدداً کاهش پیدا کرد. بیشترین سرعت رشد گیاه در تیمار T_4 (کاربرد هم‌زمان کودهای شیمیایی و باکتری‌های محرک رشد) مشاهده شد؛ یعنی زمانی که از تلفیقی باکتری‌های محرک رشد با کودهای شیمیایی استفاده شد. بالاترین سطح سرعت رشد گیاه، به‌ترتیب در تیمارهای T_4، T_2، T_3 و T_1 بود که حدود ۱۰۰ روز پس از کاشت به دست آمد. مقادیر حاصل به‌دست آمده برای CGR متناظر با مقادیر حاصل شده از LAI بود و این نشان دهنده آن است که احتمالاً سرعت رشد محصول در تیمار T_4 (کاربرد هم‌زمان کودهای شیمیایی و باکتری‌های محرک رشد) و T_2 (باکتری‌های محرک رشد)، به دلیل شاخص سطح برگ بالا در این تیمارهاست. تفاوت بین تیمارهای T_2 با T_1 (۵۱ درصد افزایش CGR) و تیمارهای T_4 با T_3 (۳۰ درصد افزایش CGR)، نشان‌دهنده تأثیر حضور باکتری‌های محرک رشد در افزایش سرعت رشد محصول است.



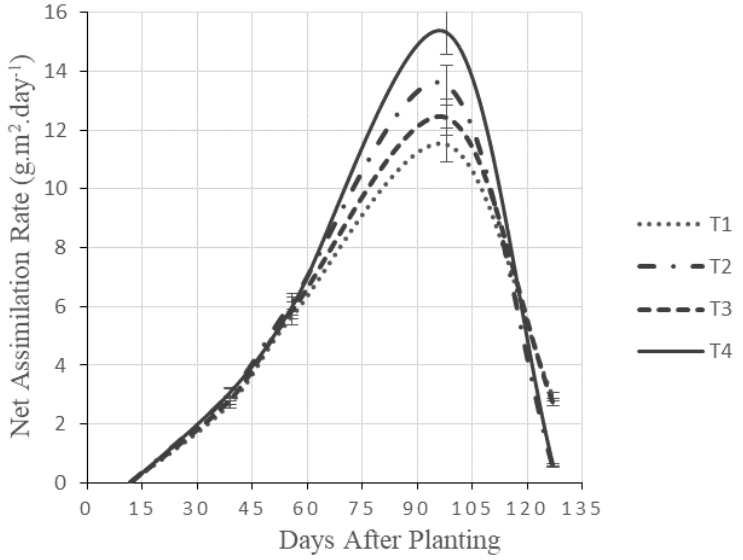
شکل ۳- تغییرات سرعت رشد گیاه ذرت در طول فصل رشد تحت تیمارهای مختلف کودی. T_1 : بدون استفاده از کود (شاهد). T_2: کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه. T_3: کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک. T_4: کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک همراه با باکتری‌های محرک رشد گیاه.

Figure 3. Corn growth rate changes during the growing season under different fertilizer treatments. T_1: control treatment without applying fertilizer, T_2: just PGPRs, T_3: use chemical fertilizers based on soil test and T_4: T_3 + PGPRs.

Wu *et al* (2005) گزارش کردند که تلقیح بذرهای ذرت با کودهای زیستی، باعث افزایش سرعت رشد محصول شد. آنان دلیل این امر را افزایش دسترسی عناصر غذایی و بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه دانستند که توسط باکتری‌های محرک رشد محقق شد. بسیاری از پژوهشگران اظهار داشته‌اند که کودهای زیستی به‌تنهایی قادر به تأمین کل نیاز غذایی گیاه نیستند و بیشتر اثرات مثبت کودهای زیستی، از طریق افزایش حلالیت عناصر و همچنین افزایش جذب در واحد سطح است که در اثر تولید انواع هورمون‌های محرک رشد ایجاد می‌شود (Vessy, 2003)؛ به عبارتی تولید هورمون‌های محرک رشد به‌خصوص اکسین، از طریق تحریک سیستم ریشه‌زایی، باعث افزایش جذب در واحد سطح می‌شود و در حضور مقادیر مناسبی از کودهای شیمیایی، باعث تشدید این اثرات می‌شوند که این امر در نهایت موجب افزایش رشد محصول می‌شود.

سرعت جذب خالص (NAR)

NAR، شاخص بیان رشد بر اساس سطح برگ، به‌عنوان عمده‌ترین اندام فتوسنتز کننده گیاه است. این شاخص، سرعت تجمع ماده خشک در واحد سطح برگ در زمان را نشان می‌دهد و معیاری از کارایی فتوسنتزی برگ‌ها در یک جامعه گیاهی است. روند تغییرات NAR در پاسخ به تیمارهای مختلف در شکل (۴) نشان داده شده است. روند کلی NAR در تمام تیمارها مشابه بود، به‌طوری‌که در ابتدای فصل رشد و به دلیل سرعت کم رشد گیاه، NAR کم بود و با گذشت زمان، روند افزایشی پیدا کرد تا به حداکثر مقدار خود رسید و پس‌ازآن به دلیل سایه‌اندازی برگ‌ها روی‌هم و پیری برگ‌ها، روند کاهشی پیدا کرد. بیشترین مقدار سرعت جذب خالص در تیمار T_4 (تلفیق کودهای شیمیایی و باکتری‌های محرک رشد) و کمترین آن در تیمار T_1 (شاهد بدون مصرف کود) مشاهده شد که حدود ۱۰۰ روز پس از کاشت به‌دست آمد. بهترین نتیجه برای سرعت جذب خالص در برگ، نتیجه کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی به همراه باکتری‌های محرک رشد گیاه بود.



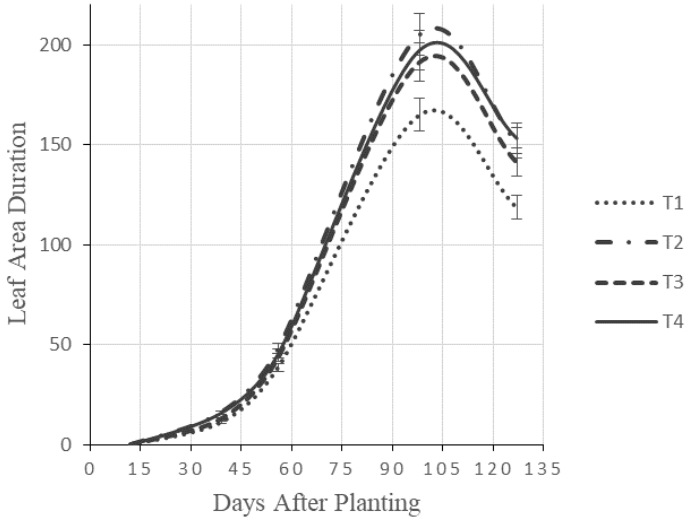
شکل ۴- تغییرات سرعت جذب خالص ذرت در طول فصل رشد، تحت تیمارهای مختلف کودی. T_1 : بدون استفاده از کود (شاهد). T_2: کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه. T_3: کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک. T_4: کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک همراه با باکتری‌های محرک رشد گیاه.

Figure 4. Corn net assimilation rate changes during the growing season under different fertilizer treatments. T_1: control treatment without applying fertilizer, T_2: just PGPRs, T_3: use chemical fertilizers based on soil test and T_4: T_3 + PGPRs.

روند تغییرپذیری NAR به عوامل زیادی بستگی دارد؛ با این‌وجود، حضور باکتری‌های محرک رشد گیاه باعث افزایش NAR شد. یکی از انواع کودهای مصرفی طرح حاضر به‌عنوان باکتری‌های محرک رشد، کودهای حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن است که نیتروژن مورد نیاز گیاه را تأمین می‌کند. در گزارش های بسیاری بیان شده است که تأمین نیتروژن برای گیاه می‌تواند از راه افزایش میزان کلروفیل، افزایش جذب نور، سرعت رشد گیاه و شاخص سطح برگ، سبب افزایش سرعت جذب خالص گیاه شود (Uhart and Andrade, 1995; Sepehri *et al*., 2008). در نتایج تحقیقی دیگر، به نقش تأمین نیتروژن در افزایش معنی‌دار سرعت رشد گیاه و سرعت جذب خالص در ذرت اشاره شده است (Sajedi and Ardekani, 2008).

دوام سطح برگ (LAD)

این شاخص، بیان‌کننده میزان و دوام سطح برگ یا پربرگی در طول زمان رشد محصول است و وسعت یا جمع نور دریافت شده در طول فصل را نشان می‌دهد. روند تغییرات در اوایل رشد در تمام تیمارها تقریباً برابر و رو به افزایش بود و در انتهای رشد، این روند کاهش یافت (شکل ۵). تیمار T_2 (مصرف باکتری‌های محرک رشد گیاه)، بیشترین مقدار LAD را داشت و کمترین مقدار آن نیز در تیمار T_1 (شاهد بدون مصرف کود) مشاهده شد. این روند، نشان‌دهنده تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد بر دوام سطح برگ است. آزمایش‌های انجام‌شده در ارتباط با دوام سطح برگ نشان داده است که دوام سطح برگ و شاخص سطح برگ، در اثر کمبود نیتروژن پیش از موعد کاهش می‌یابند (Sadeghi *et al*., 2015). خارج شدن نیتروژن از برگ، باعث تحریک پیری در برگ‌ها می‌شود. در تیمارهای تلفیق کودهای شیمیایی با زیستی، به دلیل حضور باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، عنصر نیتروژن همیشه در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و برگ‌ها دیرتر پیر می‌شوند و در نتیجه دوام سطح برگ دیرتر کاهش می‌یابد. Aidyzadeh *et al* (2010) نشان دادند که حضور کودهای زیستی، نقش مهمی در دوام سطح برگ به‌خصوص در اواخر دوره رشد ذرت داشت. آن‌ها دلیل ماندگاری بیشتر سطح برگ در تیمارهای کاربرد کود زیستی را از طریق ترشح هورمون‌های مختلف رشد توجیه کردند.

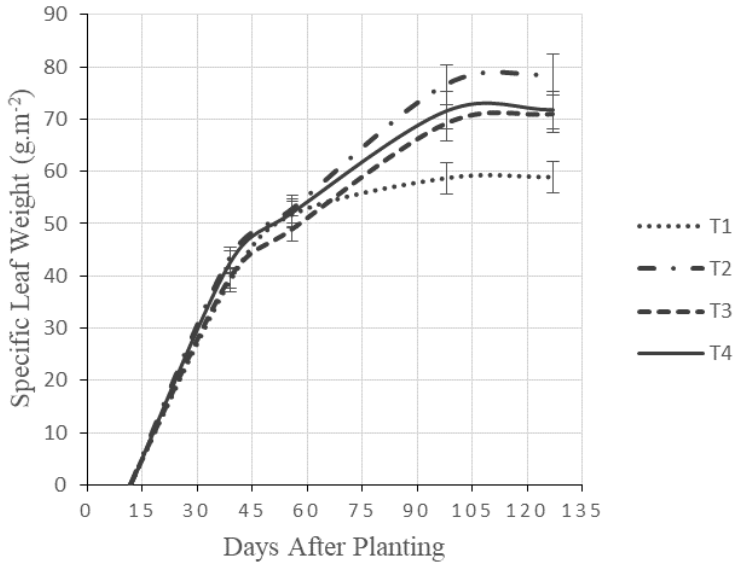


شکل ۵- تغییرات دوام سطح برگ ذرت در طول فصل رشد، تحت تیمارهای مختلف کودی. T_1 : بدون استفاده از کود (شاهد). T_2: کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه. T_3: کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک. T_4: کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک همراه با باکتری‌های محرک رشد گیاه.

Figure 5. Corn leaf area duration changes during the growing season under different fertilizer treatments. T_1: control treatment without applying fertilizer, T_2: just PGPRs, T_3: use chemical fertilizers based on soil test and T_4: T_3 + PGPRs.

وزن ویژه برگ (SLW)

نسبت وزن برگ به سطح برگ است و نشان‌دهنده ضخامت برگ می‌باشد و هر چه این شاخص بیشتر باشد، نشان‌دهنده ضخامت بیشتر برگ است. روند کلی تغییرات به این صورت است که در ابتدای رشد، SLW کم است و با گذشت زمان، بر وزن برگ نسبت به سطح آن افزوده می‌شود تا زمانی که در مراحل انتهایی، به حداکثر خود می‌رسد (شکل ۶). در مراحل انتهایی رشد، تغییرات بین تیمارها کاملاً مشهود بود، به‌طوری‌که بیشترین مقدار SLW در تیمار T_2 (باکتری‌های محرک رشد گیاه) و کمترین مقدار آن در تیمار T_1 (شاهد بدون مصرف کود) مشاهده شد و اختلاف این دو تیمار، برابر ۳۳ درصد بود. می‌توان این گونه نتیجه گرفت که وجود باکتری‌های محرک رشد در برنامه غذایی، باعث افزایش ضخامت برگ شده است. نتایج پژوهشی که روی ذرت انجام شد نشان داد که حضور مقدار کافی نیتروژن در گیاه، باعث افزایش کلروفیل و ضخامت برگ‌ها شد (Vos *et al*., 2005). حضور باکتری‌های محرک رشد نیز از طریق تثبیت نیتروژن، دسترسی گیاه به عناصر غذایی را افزایش می‌دهد که درنهایت موجب افزایش وزن ویژه برگ می‌شود.



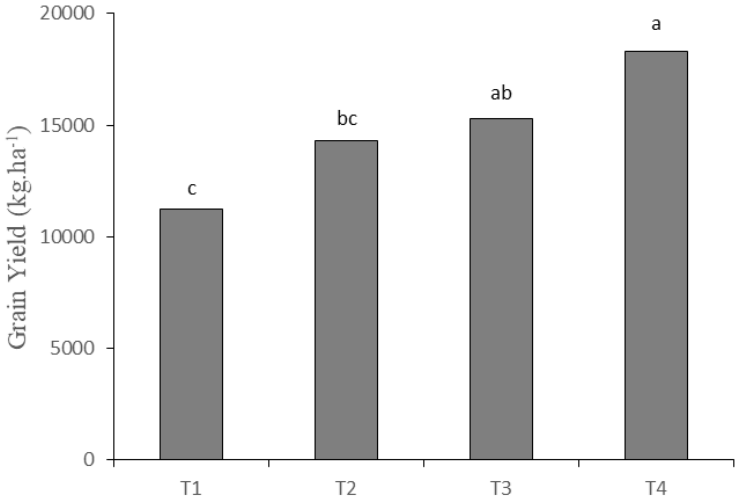
شکل ۶- تغییرات وزن ویژه برگ ذرت در طول فصل رشد، تحت تیمارهای مختلف کودی.T_1 : بدون استفاده از کود (شاهد). T_2: کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه. T_3: کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک. T_4: کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک همراه با باکتری‌های محرک رشد گیاه.

Figure 6. Corn specific leaf weight changes during the growing season under different fertilizer treatments. T_1: control treatment without applying fertilizer, T_2: just PGPRs, T_3: use chemical fertilizers based on soil test and T_4: T_3 + PGPRs.

عملکرد دانه

بنا بر نتایج آزمایش، تفاوت بین تیمارها از نظر عملکرد دانه کاملاً معنی‌دار بود. عملکرد دانه در تیمارهای مختلف و مقایسه آن‌ها در شکل (۷) آورده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت، کمترین عملکرد دانه در تیمار شاهد (بدون مصرف کود) به میزان ۱۱۲۶۸ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که در این تیمار، هیچ‌گونه کودی مصرف نشده بود. پس از آن، تیمارهای کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه، کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک و کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک همراه با باکتری‌های محرک رشد گیاه به‌ترتیب با عملکردهای ۱۴۲۸۵، ۱۵۳۰۴ و ۱۸۲۹۳ کیلوگرم در هکتار، در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. تیمار برتر از نظر عملکرد

دانه، تیمار T_4 (کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و باکتری‌های محرک رشد) بود که افزایش عملکرد آن نسبت به تیمار شاهد (T_1) ۶۲ درصد، نسبت به تیمار T_2 (مصرف کودهای حاوی باکتری‌های محرک رشد) ۲۸ درصد و نسبت به تیمار T_3 (مصرف کودهای شیمیایی) ۲۰ درصد بود. افزایش عملکرد دانه با سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص، ارتباط مستقیمی دارد و این صفات می‌توانند از دلایل افزایش عملکرد باشند. استفاده از باکتری‌های محرک رشد، سبب افزایش عملکرد از طریق افزایش سرعت جوانه‌زنی بذر، توسعه ریشه، سطح برگ، محتوی کلروفیل، محتوی پروتئین، جذب عناصر، فعالیت‌های هیدرولیکی، تحمل تنش‌های غیرزنده و تأخیر در پیری می‌شود (Mantelin and Touraine, 2004;Yang *et al*., 2009). در مطالعه‌ای که روی تأثیر کود زیستی بر رشد ذرت انجام شد، تلقیح میکروبی موجب افزایش رشد و جذب عناصر و در نهایت افزایش عملکرد دانه در ذرت شد (Wu *et al*., 2005).



شکل ۷- مقایسه عملکرد دانه ذرت، تحت تیمارهای مختلف کودی. T_1 : بدون استفاده از کود (شاهد). T_2: کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه. T_3: کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک. T_4: کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک همراه با باکتری‌های محرک رشد گیاه. حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت بین تیمارها در سطح پنج درصد می‌باشد.

Figure 7. Comparison of corn grain yield under different fertilizer treatments. T_1: control treatment without applying fertilizer, T_2: just PGPRs, T_3: use chemical fertilizers based on soil test and T_4: T_3 + PGPRs. Simillar tetters in the same columns show nonsignificant differences at 5% of probability level.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد که حضور باکتری‌های محرک رشد در برنامه غذایی ذرت، باعث افزایش رشد و شاخص‌های رشدی گیاه شد. این باکتری‌ها زمانی که به‌تنهایی به‌عنوان کود مصرف شدند، رشد رویشی بیشتری نسبت به تغذیه با کودهای شیمیایی را در پی داشتند؛ درحالی‌که عملکرد دانه این‌گونه نبود. باوجود عدم تفاوت آماری بین تیمار کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک و کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک همراه با باکتری‌های محرک رشد، ۲۹۸۹ کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد مشاهده شد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از شرکت دانش‌بنیان خوشه‌پروران زیست فناور بابت همکاری همه‌جانبه و ارزشمند این مجموعه سپاسگزاری و قدردانی می‌شود.

REFERENCES

1. Adesemoye, A. O., Torbert, H. A. & Kloepper, J. W. (2008). Enhanced plant nutrient use efficiency with PGPR and AMF in an integrated nutrient management system. *Canadian Journal of Microbiology*, 54(10), 876-886.
2. Aidyzadeh, K. h., Mahdavi, A., Sabahi, H. & Soufizadeh, S. (2010). Effects of application of biological fertilizers in combination with chemical fertilizer on corn (*Zea mays* L.) growth in shushtar. *Journal of Agroecology*, 2(2), 292-301.
3. Anonymous, (2015). *Statistics Agriculture. Horticultural and Agricultural Products*. (In Persian)
4. Barłóg, P. & Grzebisz, W. (2004). Effect of timing and nitrogen fertilizer application on winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). II. Nitrogen uptake dynamics and fertilizer efficiency. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 190(5), 314-323.
5. Ghasemi, S., Siavashi, K., Choukan, R., Khavazi, K. & Rahmani, A. (2011). Effect of biofertilizer phosphate on grain yield and its components of maize (*Zea mays* L.) cv. KSC704 under water deficit stress conditions. *Seed and Plant Production Journal*, 27(2), 219-233. (In Persian with English abstract)
6. Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications. Hindawi Publishing Corporation, *Scientifica*. 1-15
7. Hamidi, A., Asqarzadeh, A., Choukan, R., Dehghan, S. M., Ghalavand, A. & Malakouti, M. J. (2007). Study on plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) biofertilizers application in maize (*Zea mays* L.) cultivation by adequate input. *Journal of Environmental Science* 4: 1-20. (In Persian with English abstract)
8. Mantelin, S. & Touraine, B. (2004). Plant growth-promoting bacteria and nitrate availability: Impacts on root development and nitrate uptake. *Journal of Experimental Botany*, 55(394), 27-34.
9. Olivera, M., Iribarne, C. & Liuch, C. (2002). Effect of phosphorus on nodulation and N fixation by bean (*Phaseolus vulgaris*). *In Proceedings of the 15th International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization. Salamanca University*, 16-19.
10. Sadeghi, S., Heidari, G. & Sohrabi, Y. (2015). Effect of biological fertilizer and fertilization management on some growth indices of two maize varieties. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, (25)3.
11. Sajedi, N. & Ardekani, A. (2008). Effect of nitrogen fertilizer, iron on the physiological indices forage maize in central provinces. *Iranian Studies Journal of Agronomy*, 6, 99-110. (In Persian)
12. Sepehri, E., Malakouti, M. J. & Nougolipour, F. (2008). Evaluation of phosphorus efficiency in Iranian cereal in a deficient calcareous soil. *Agricultural Forest and Meteorology*, 101, 251-263.
13. Shi, S. F., Goscho, G. J. & Rahil, G. S. (1981). Biomass production o sweet sorghum. *Agronomy Journal* 173, 1027-1031.
14. Tao, R., Liang, Y., Wakelin, S. A. & Chu, G. (2015). Supplementing chemical fertilizer with an organic component increases soil biological function and quality. *Applied Soil Ecology*, *96*, 42-51.
15. Uhart, S. A. & Andrade, F. H. (1995). Nitrogen defeciency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Science*, 35(5), 1376-1383.
16. Vessy, K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizars. *Plant and Soil*, 255, 571-586.
17. Vos, J., Putten, P. E. L. & Birch, C. J. (2005). Effect of nitrogen supply on leaf appearance, leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in maize (*Zea mays* L.). *Field Crops Research*, 93(1), 64-73.
18. Weller, D. M. (2007). Pseudomonas biocontrol agents of soilborne pathogens: Looking back over 30 years. *Phytopathology*, 97(2), 250-256.
19. Wu, S. C., Cao, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C. & Wong, M. H. (2005). Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: A greenhouse trial. *Geoderma*, 125(1-2), 155-166.
20. Yang, J., Kloepper, J. W, & Ryu, C. M. (2009). Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends in Plant Science*, 14(1), 1-4.
21. Yazdani, M., Bahmanyar, M. A., Pirdashti, H. & Esmaili, M. A. (2009). Effect of phosphate solubilization microorganisms and plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 49, 90-92.
22. Zeidan, M. S. (2007). Effect of organic manure and phosphorus fertilizers on growth, yield and quality of lentil plants in sandy soil. Res. *Journal of Agricultural and Biological* Science. 3(6): 748-752.

23. Zhao, J., Ni, T., Li, J., Lu, Q., Fang, Z., Huang, Q. & Shen, Q. (2016). Effects of organic–inorganic compound fertilizer with reduced chemical fertilizer application on crop yields, soil biological activity and bacterial community structure in a rice–wheat cropping system. *Applied Soil Ecology*, 99, 1-12.
24. Zodape, S. T. (2001). Sea weeds as a biofertilizer. *Indian Journal of Scientific Research*. 60, 378-382.