نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 1، شماره 1، پاییز 1388، ص. 23-13

Journal of Agroecology
Vol. 1, No. 1, Fall 2009, p. 13-23

ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور توسط کانوپی کشت مخلوط ذرت و لوبیا

علیرضا کوچکی[1]، مهدی نصیری محلاتی[2]، فرزاد منذنی*[3]، حسن فیضی[4] و شهرام امیر مرادی[5]

تاریخ دریافت: 88/10/5
تاریخ پذیرش: 88/10/30

چکیده

سیستم‌های کشت مخلوط یکی از روش‌های مدیریت صحیح تولید محصولات زراعی است که منجر به بهبود جذب و کارایی مصرف منابع توسط گیاهان می‌شود. با همین هدف به منظور ارزیابی اثرات کشت مخلوط نواری بر میزان جذب و کارایی مصرف نور ذرت و لوبیا آزمایشی در سال 1388 در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در غالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با 3 تکرار و 6 تیمار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کشت خالص ذرت، کشت خالص لوبیا، عرض نوار 2، 3، 4 و 5 ردیف کاشت ذرت و لوبیا بود. آزمایش در یک سیستم کم نهاده اجرا شد و از مصرف هر گونه مواد شیمیایی (کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها) خود داری شد. هرکرت آزمایشی به ابعاد 4 متر طول در 7/5 متر عرض بود که تیمارهای مورد آزمایش، به صورت جایگزینی در آنها اعمال شد. نتایج آزمایش نشان داد که شاخص سطح برگ، میزان جذب نور، تجمع مادهٔ خشک و کارایی مصرف نور ذرت و لوبیا در تمام تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی افزایش پیدا کرد. افزایش عرض نوار در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تیمار عرض نوار 2 ردیفی، به استثنای کارایی مصرف نور (8/3 و 14/5 درصد) منجر به کاهش شاخص سطح برگ (34/2 و 5/5 درصد)، میزان جذب نور (20/5 و 11/2 درصد) و تجمع مادهٔ خشک (13/1 و 1/5 درصد) به ترتیب در ذرت و لوبیا شد. با افزایش عرض نوار مقادیر صفات نام برده در ردیف‌های مرکزی نسبت به ردیف‌های حاشیه‌ای کاهش بیشتری یافت. اثرات تسهیل و تکمیل‌کنندگی کشت مخلوط بر صفات مورد بررسی هم در ردیف‌های حاشیه‌ای و هم در ردیف‌های مرکزی برای ذرت بیشتر از لوبیا بود. میانگین کارایی مصرف نور ذرت و لوبیا در طول فصل رشد به ترتیب از 1/65 و 0/98 در تیمار کشت خالص تا 1/94 و 1/15 گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی در تیمار عرض نوار 2 ردیفی، متغیر بود.

واژه های کلیدی: کشت مخلوط نواری، جذب نور، شاخص سطح برگ، مادهٔ خشک کل

مقدمه

از زمان شروع انقلاب صنعتی رشد جمعیت بطور چشمگیری افزایش یافته است و این موضوع همراه با افزایش سطح انتظارات بشر منجر به بهره برداری شدیدتر و نامطلوب‌تر از زمین‌های قابل کشت شده است. با این حال در سیستم‌های مدرن تولید گیاهان زراعی روش‌های مدیریتی بکار رفته توسط کشاورزان، برای رسیدن به تولیدی بالاتر در حال بهبود است. از رایج‌ترین این روش‌ها افزایش کارایی مصرف منابعی همچون آب، عناصر غذایی، سطح زمین، تشعشع خورشید و دی‌اکسیدکربن اتمسفر است. در بین منابع مصرفی برخی از آنها، همچون نور خورشید، دارای اهمیت بیشتری می‌باشد. شدت نور خورشید در یک منطقه نسبتاً ثابت است و می‌توان از آن بعنوان منبعی نام برد که بطور کارآمدتری نسبت به سایر منابع مصرفی بر تولید محصولات زراعی تأثیر گذار است. فراوانی شدت نور خورشید در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری یک فرصت مناسب برای افزایش مصرف آن در تولید بهتر محصولات زراعی می‌باشد (Awal et al., 2006.).

یکی از روش‌های مدیریت صحیح تولید محصولات زراعی که منجر به بهبود کارایی مصرف منابع می‌شود، سیستم‌های کشت مخلوط است (Black & Ong, 2000). در کشورهای در حال توسعه کشت مخلوط نقش مهمی در تولید غذا و معیشت مردم ایفا می‌کند. در این کشورها سیستم‌های کشت مخلوط اغلب بطور سنتی در مزارع کوچک توسط کشاورزان مدیریت می‌شوند (Tsubo & Walker, 2002). کشت مخلوط به کشت دو یا تعداد بیشتری محصولات زراعی با یکدیگر در یک قطعه زمین در یک زمان گفته می‌شود (Xin & Tong, 1986). نتایج برخی آزمایشات نشان دهندهٔ افزایش کارایی مصرف نور (Awal et al., 2006; Tsubo et al., 2001)، عناصر

1 و 2- اعضای هیأت علمی گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
3، 4 و 5- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email:fa_mo300@stu-mail.um.ac.ir)

غذایی (Rowe et al., 2005)، آب (Walker & Ogindo, 2003) و زمین (Dhima et al., 2007) در سیستم‌های کشت مخلوط نسبت به تک کشتی می‌باشد. نور جزء مهمترین منابع مصرفی در رشد و نمو گیاهان می‌باشد. نور رسیده به بالای کانوپی توسط برگ‌ها و دیگر اندام‌های سبز گیاهان جذب شده و سپس در فرایند فتوسنتز به کار رفته و منجر به تولید مواد فتوسنتزی و درنهایت تجمع ماده خشک می‌شود. تجزیه و تحلیل این فرایند در شرایط محیطی مختلف برای ارزیابی میزان رشد و تولید گیاهان زراعی بسیار مهم می‌باشد (Tsubo et al., 2001). کشت مخلوط یکی از راهکارهای زراعی برای افزایش جذب و مصرف نور است که منجر به بهبود تولید محصولات زراعی و افزایش عملکرد اقتصادی می‌شود (Gao et al., 2008).

در بین سیستم‌های کشت مخلوط، ترکیب گیاهان غلات و بقولات از جمله معمول ترین و قدیمی‌ترین این سیستم‌ها در نقاط مختلف دنیا به ویژه در کشورهای در حال توسعه می‌باشد (Ofori & Stern, 1987). به سیستم‌های کشت مخلوطی که در آنها یکی از گونه‌های مخلوط دارای تثبیت بیولوژیکی نیتروژن است، کشت مخلوط کلاسیک نیز گفته می‌شود. در این شرایط گیاه غیر بقولات از نیتروژن تثبیت شده در غده‌های موجود در ریشه گیاه بقولات استفاده خواهد کرد. از آنجا که یک رابطه مستقیم بین میزان نیتروژن برگ، فعالیت آنزیم‌های کربوکسیلازکننده و میزان فتوسنتز در گیاهان وجود دارد، بنابراین نیتروژن تثبیت شده در سیستم‌های مخلوط نقش فراوانی بر میزان کارایی فیزیولوژی گیاه غیربقولات و در نتیجه میزان تولید آنها ایفا می‌کند. شاید در اینجا این موضوع مطرح شود که می‌توان به این ویژگی از طریق مصرف مستقیم کودهای‌شیمیایی نیتروژنه دست یافت. اما باید به این نکته اشاره کرد که نیتروژنی که توسط فرایند تثبیت بیولوژیکی تولید و فرآهم می‌شود، به علت اینکه بطور تدریجی آزاد شده و میزان فراهمی آن نیز تا حدود زیادی با نیاز گیاه غیر بقولات (در صورت انتخاب صحیح گیاهان) منطبق است، بنابراین به مراتب تأثیر بسیار بیشتری بر کارایی مصرف منابع و تولید گیاهان خواهد داشت. به نظر می‌رسد در بین کارایی‌های مصرف منابع، کارایی مصرف نور به علت اینکه بطور مستقیم با محتوای نیتروژن برگ در ارتباط است، تأثیر بیشتری از همجواری یک گیاه بقولات و غیر بقولات می‌پذیرند.

یکی از عوامل موثر بر میزان تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط گیاهان خانوادهٔ بقولات میزان فراهمی نیتروژن در خاک است که هرچه میزان نیتروژن در خاک بیشتر باشد، میزان تثبیت بیولوژیکی نیتروژن کمتر می‌شود. مشاهده شده است که در سیستم‌های کشت مخلوط یک گیاه بقولات با غیربقولات، مصرف نیتروژن توسط گیاه غیربقولات به علت تهی شدن نیتروژن خاک، منجر به تحریک فعالیت باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن شده و در نتیجه میزان تثبیت نیتروژن توسط گیاهان بقولات در سیستم‌های کشت مخلوط در مقایسه با تک کشتی افزایش می‌یابد (Gao et al., 2008).

در مجموع کشت مخلوط نسبت به تک کشتی دارای تولید بالاتری است. اما انتخاب نادرست گیاهان در سیستم‌های کشت مخلوط منجر به افزایش رقابت بین گونه‌ای و در نتیجه کاهش تولید می‌شود. یکی از مهمترین اصول کشت مخلوط برای رسیدن به یک میزان عملکرد مطلوب بدون استفاده از نهاده‌های خارجی، کاهش فشار رقابت بین گونه‌ای از طریق افزایش رقابت درون گونه‌ای است. دسترسی به این هدف تنها با انتخاب گیاهان مناسب در کشت مخلوط امکان پذیر است. از دیر باز کشت مخلوط ذرت و لوبیا در نقاط مختلف دنیا توسط کشاورزان اجرا می‌شده است. به نظر می‌رسد یکی از دلایل موفقیت و ماندگاری این سیستم، کاهش رقابت بین گونه‌ای از طریق انتخاب صحیح ذرت و لوبیا در کنار همدیگر باشد (Gliessman S.R, 1995). کشت مخلوط ذرت و لوبیا ثبات عملکرد را بهبود بخشیده و منجر به افزایش کارایی مصرف منابع شده، در نتیجه کاهش مصرف نهاده‌های خارجی در سیستم‌های تولید محصولات زراعی را به همراه دارد (Keatings & Carberry, 1993).

در طی 3 دهه گذشته مطالعات زیادی روی کارایی مصرف نور در سیستم‌های کشت مخلوط با دامنهٔ وسیعی از ترکیب گیاهان زراعی در سایر نقاط دنیا صورت گرفته است (Corlett et al., 1992; Carberry, 1993; Black & Ong, 2000). با این حال کمبود این نوع مطالعات در ایران کاملاً محسوس است. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، این تحقیق با هدف ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط نواری ذرت و لوبیا در شرایط آب و هوایی مشهد اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال 1388 در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، واقع در 10 کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد (عرض جغرافیایی، 36 درجه و 15 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی، 56 درجه و 28 دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا 985 متر) انجام شد. متوسط بارندگی سالیانه 286 میلی‌متر و حداکثر و حداقل دمای مطلق سالانه در این منطقه به ترتیب 42 و 27/8- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. آب و هوای منطقه بر طبق روش تقسیم بندی اقلیمی آمبرژه سرد و خشک می‌باشد (Hossienpanahi F, 2008).

آماده سازی مزرعه شامل شخم نیمه عمیق، سپس دیسک و کودپاشی (30 تن کود دامی کاملاً پوسیده در هکتار) در بهار 1388 انجام گرفت. آزمایش در یک سیستم کم نهاده اجرا شد و از مصرف هر گونه مواد شیمیایی (کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها) در هنگام آماده سازی زمین و طی فصل رشد خود داری شد. وجین علف‌های‌هرز بصورت دستی و در هنگام لزوم انجام گرفت.

از طرح بلوک‌های کامل تصادفی با 3 تکرار و 6 تیمار استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل کشت خالص ذرت، کشت خالص لوبیا، عرض نوار 2، 3، 4 و 5 ردیف کاشت ذرت و لوبیا در هر کرت بود. در این آزمایش از ذرت علوفه‌ای سینگل گراس 704 و لوبیا رقم درخشان استفاده شد. هرکرت آزمایشی به ابعاد 4 متر طول در 7/5 متر عرض بود که تیمارهای مورد آزمایش به صورت جایگزینی در آنها اعمال شدند، بگونه‌ای که در تمام تیمارهای کشت مخلوط نصف تراکم بوتهٔ هر کرت مربوط به ذرت و نصف دیگر آن به لوبیا مربوط بود. فاصله ردیف‌های کاشت ذرت و لوبیا به ترتیب 75 و 35 سانتیمتر و فاصلهٔ بوته‌ها روی ردیف 12 و 20 سانتیمتر بود. بذور بصورت دستی و در عمق یکسان روی ردیف‌ها در تاریخ 88/2/20، کاشته شدند. تراکم نهایی در تیمارهای کشت خالص به ترتیب برای ذرت و لوبیا 111 و 143 هزار بوته در هکتار بود و برای کشت مخلوط نصف این تراکم برای هر 2 گیاه بود، در نتیجه تراکم نهایی تیمارهای کشت مخلوط با توجه به جایگزینی بودن طرح، با کشت خالص یکسان بود.

برای نمونه برداری از 2 هفته پس از کاشت تا مرحله رسیدگی، نمونه‌های تصادفی (در هر کرت و برای هر کدام از گیاهان 2 بوته) جهت محاسبات تغییرات سطح برگ و وزن خشک، برداشت شد. جهت تعیین اثر خطوط حاشیه (مجاورت ذرت و لوبیا)، 2 بوته از هر گیاه، از خطوط حاشیه و 2 بوته از خطوط مرکز هر تیمار برداشت و سپس بطور جداگانه شاخص سطح برگ و مادهٔ خشک آنها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه Leaf Area Meter (مدل Licow) استفاده شد و جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها در آون در دمای 70 درجه سانتی‌گراد به مدت زمان کافی قرار گرفتند.

میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی مشهد به روش ارائه شده توسط Goudriaan & Van Laar (1993) محاسبه گردید. سپس این مقادیر بر اساس تعداد ساعات آفتابی استخراج شده از داده‌های ایستگاه هواشناسی مرکز اقلیم‌شناسی خراسان (سایت هواشناسی استان خراسان رضوی، 1388) اصلاح و نور جذب شده روزانه برای هر دو گونه بر اساس معادلات 1 تا 3 محاسبه شد (Tsubo et al., 2005):

$$I_{abs} = I_0 * (1 - P) * (1 - \exp(-K_C * LAI_C) + (-K_B*LAI_B)))$$ معادلهٔ (1)

$$I_C = I_{abs} * ((K_C * LAI_C) / ((K_C * LAI_C) + (K_B*LAI_B))$$ معادلهٔ (2)

$$I_B = I_{abs} - I_C$$ معادلهٔ (3)

I_{abs}؛ نور جذب شده توسط کانوپی مخلوط (مگاژول بر مترمربع)، I_0؛ نور رسیده به بالای کانوپی (مگاژول بر مترمربع)، P؛ ضریب انعکاس که برای ذرت و لوبیا 0/08 منظور شد، K_C و K_B؛ به ترتیب ضریب خاموشی نور ذرت (0/6) و لوبیا (0/65)، و LAI_C و LAI_B؛ به ترتیب شاخص سطح برگ ذرت و لوبیا است. برای برآورد مقادیر شاخص سطح برگ روزانه از برازش معادله زیر استفاده شد:

$$LAI = a + b * 4 * (\exp(-(x-c)/d))/(1+\exp(-(x-c)/d))^2$$ معادلهٔ (4)

که در آن a؛ عرض از مبداء، b؛ زمان رسیدن به حداکثر LAI، c؛ حداکثر LAI و d؛ نقطه عطف منحنی است که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود و x؛ زمان بر حسب روزهای پس از کاشت است.

سپس تشعشع جذب شده در هر مرحله از حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در درصد نور جذب شده بدست آمد و مقدار کل تشعشع جذب شده به صورت تجمعی از طریق حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در انتگرال کسر تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR[1]) جذب شده نسبت به زمان محاسبه شد. کارایی مصرف نور (RUE[2]) بر حسب گرم بر مگاژول، از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک (گرم بر مترمربع) و میزان تشعشع فعال تجمعی (مگاژول بر مترمربع) محاسبه شد.

برای برآورد مقادیر تجمع مادهٔ خشک روزانه نیز از برازش معادله زیر استفاده شد:

$$TDM = a / (1 + b * \exp(-c * x))$$ معادلهٔ (5)

در اینجا TDM؛ تجمع مادهٔ خشک بر حسب گرم در مترمربع، a؛ حداکثر تجمع ماده خشک، b؛ ثابت معادله، c؛ سرعت رشد نسبی و x؛ زمان بر حسب روز پس از کاشت است. داده‌های آزمایش توسط نرم افزار SAS آنالیز و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح 5 درصد انجام شد. برای رسم اشکال نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

نتایج این آزمایش حاکی از روند مشابه تغییرات شاخص سطح برگ ذرت و لوبیا در طول فصل رشد صرفنظر از عرض نوار، برای تمامی تیمارها بود (شکل1). بطوری‌که در ابتدای دورهٔ رشد با گذشت زمان شاخص سطح برگ به کندی افزایش یافت و در ادامه افزایش شاخص سطح برگ روند خطی پیدا کرد و به ترتیب برای ذرت و لوبیا در حدود 75 و 60 روز پس از کاشت به حداکثر مقدار خود رسید. پس از آن به دلیل پیری و ریزش برگها روند نزولی در پیش گرفت. کانوپی کشت مخلوط نسبت به حالت تک‌کشتی هر یک از گیاهان، دارای شاخص سطح برگ بالاتری بود (شکل 1). وجود اثرات تسهیل کنندگی و تکمیل کنندگی ذرت و لوبیا در کنار یکدیگر منجر به

1- Photosyntheticaly Active Radiation
2- Radiation Use Efficiency

افزایش شاخص سطح برگ هر یک از گیاهان به تنهایی شد. Rostami et al. (2010) نیز نشان دادند که کشت مخلوط ذرت و لوبیا منجر به افزایش شاخص سطح برگ می‌شود. محققان دیگر نیز افزایش شاخص سطح برگ گیاهان مخلوط شده نسبت به حالت تک کشتی آنها را گزارش کردند (Mukhala et al., 1999).

شاخص سطح برگ ذرت نسبت به لوبیا بیشتر تحت تأثیر تیمارهای مختلف کشت مخلوط قرار گرفت (شکل 1). به نظر می‌رسد علت این موضوع فراهمی نیتروژن برای ذرت از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط لوبیا بود (Tsubo et al., 2001). از آنجا که این آزمایش در یک سیستم کم نهاده اجرا شد، بنابراین این موضوع دور از انتظار نبود. البته لازم به ذکر است که علت افزایش شاخص سطح برگ لوبیا در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی نیز به علت توزیع مطلوب‌تر نور توسط کانوپی ذرت و استفادهٔ لوبیا از ذرت به عنوان قیم بود. اما با افزایش عرض نوار به تدریج این اثرات کاهش یافته و شاخص سطح برگ ذرت و لوبیا نیز کاهش می‌یابد (شکل 1). کاهش شاخص سطح برگ ذرت بسیار شدیدتر از لوبیا بود به گونه‌ای که حداکثر شاخص سطح برگ لوبیا در تیمار عرض نوار 5 ردیفی نسبت به 2 ردیفی، 5/5 درصد کاهش یافت، این در حالی بود که حداکثر شاخص سطح برگ ذرت 34/2 درصد کاهش یافت. در تمامی تیمارهای کشت مخلوط بیشترین شاخص سطح برگ کانوپی مخلوط به تیمار عرض نوار 2 ردیفی (3/3) و کمترین آن به تیمار عرض نوار 5 ردیفی (2/6) مربوط بود (شکل 1).

ردیف‌های حاشیه‌ای نسبت به مرکزی دارای شاخص سطح برگ بالاتر بودند، بطوری‌که با افزایش فاصلهٔ ردیف‌های مرکزی از ردیف اول حاشیهٔ هر تیمار، شاخص سطح برگ کاهش بیشتری یافت (شکل 1). شاخص سطح برگ در ردیف‌های حاشیه‌ای در تیمارهای مختلف کشت مخلوط به میزان بسیار کمی (12/1 درصد کاهش) نسبت به ردیف‌های مرکزی (21/2 درصد کاهش) تحت تأثیر قرار گرفت که این کاهش عمدتاً مربوط به شاخص سطح برگ ذرت بود. شکل 1 همچنین نشان می‌دهد که شاخص سطح برگ ذرت نسبت به لوبیا در انتهای دورهٔ رشد کاهش کمتری یافته است، بنابراین این موضوع منجر به افزایش طول دورهٔ جذب نور توسط کانوپی مخلوط نسبت به تک کشتی شد (شکل 2).

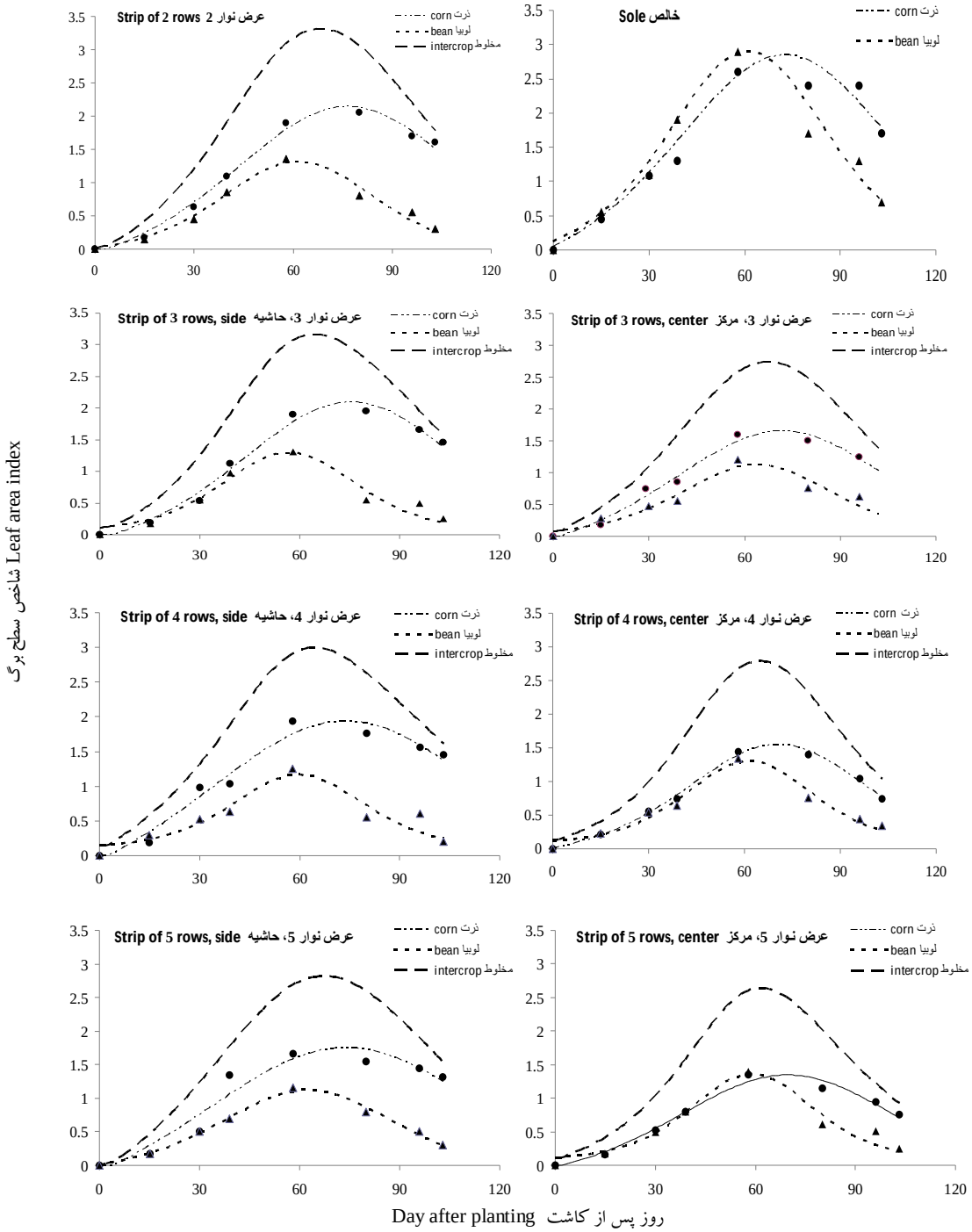
تیمارهای عرض نوار 4 و 5 خطی از نظر شاخص سطح برگ با کشت خالص ذرت تفاوت چندانی نداشتند. از آنجا که سطح برگ هر گیاه مهمترین عضو دریافت کنندهٔ نور توسط آن گیاه می‌باشد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کشت مخلوط یکی از مدیریت‌های زراعی مناسب جهت افزایش سطح برگ گیاهان زراعی است. Morgado & Willey (2003) در بررسی کشت مخلوط ذرت و لوبیا بیان کردند که شاخص سطح برگ در کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی بیشتر بود.

روند جذب نور

نتایج نشان داد که متناسب با افزایش شاخص سطح برگ میزان نور جذب شده توسط کانوپی ذرت، لوبیا و کشت مخلوط نیز به تدریج افزایش یافت و در حدود 60 روز پس از کاشت به حداکثر میزان خود رسید و سپس به علت کاهش شاخص سطح برگ تا انتهای دورهٔ رشد روند نزولی در پیش گرفت (شکل 2). بیشترین میزان جذب نور به تیمار عرض نوار 2 ردیفی (حدود 95 درصد) و کمترین آن به کشت خالص (به ترتیب حدود 71 و 63 درصد برای ذرت و لوبیا) مربوط بود. جذب نور توسط کانوپی کشت مخلوط نسبت به خالص بیشتر بود که به نظر می‌رسد به علت تغییر ساختار کانوپی ذرت و لوبیا از طریق مجاورت در کنار یکدیگر باشد (شکل 2). حضور لوبیا در زیر کانوپی ذرت منجر به جذب طول موج‌های انتقال یافته و منعکس شده توسط کانوپی ذرت می‌شود و این موضوع باعث افزایش جذب نور کانوپی کشت مخلوط نسبت به خالص در تمامی تیمارهای کشت مخلوط نواری، در تمام طول دورهٔ رشد شد. از آنجا که در انتهای دورهٔ رشد شاخص سطح برگ ذرت بالاتر از لوبیا بود (شکل 1)، بنابراین این موضوع منجر به افزایش طول دورهٔ جذب نور کانوپی مخلوط نسبت به تک کشتی شد (شکل 2).

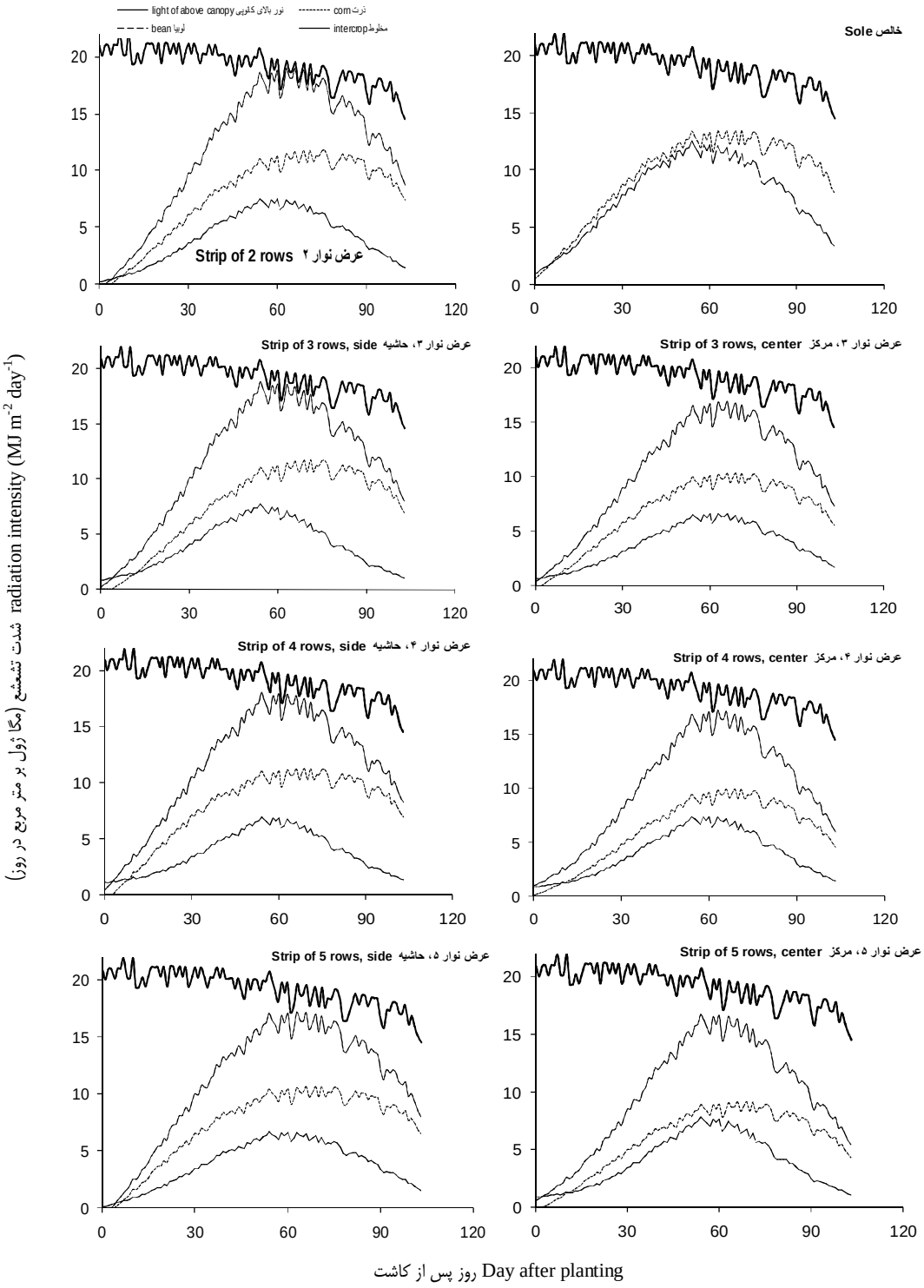
محققان دیگر نیز افزایش جذب سایر منابع مصرفی از جمله نور را در کشت مخلوط نسبت به خالص گزارش کردند (Rodrigo et al., 2001; Willey,1990). نامبردگان اظهار داشتند استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط یک امر ضروری برای بهبود کارایی جذب و مصرف منابع برای توسعه پایدار تولید محصولات زراعی می‌باشد. بنابراین در سیستم‌های کشت مخلوط منابعی همچون زمین، عناصر غذایی، آب و نور خورشید می‌تواند با کارایی بیشتر در زمان و مکان بکار برده شوند. از آنجا که در بین منابع مورد نیاز برای رشد گیاهان، نور دارای نقش اساسی است، بنابراین مطالعه چگونگی جذب و مصرف نور توسط گیاهان دارای اهمیت بیشتری است (Tsubo et al., 2001).

نتایج نشان داد که در تمامی تیمارهای کشت مخلوط نواری، ردیف‌های مرکزی نسبت به ردیف‌های حاشیه‌ای دارای جذب نور کمتری می‌باشند. بطوری‌که با افزایش فاصلهٔ ردیف‌های مرکزی از ردیف اول حاشیهٔ هر تیمار، جذب نور توسط ردیف‌های مرکزی به تدریج کاهش یافت و در تیمارهای عرض نوار 4 و 5 ردیفی نسبت به تیمارهای عرض نوار 2 و 3 ردیفی میزان جذب نور در مقایسه با تیمار کشت خالص تفاوت چندانی نکرد (شکل 2). از آنجا که در تیمارهای عرض نوار 4 و 5 ردیفی، خطوط مرکزی از مجاورت گیاهان در کنار یکدیگر تأثیری نمی‌پذیرند، بنابراین این موضوع دور از انتظار نیست. اما در تیمارهای عرض نوار 2 و 3 ردیفی چون تأثیر مجاورت گیاهان کاملاً مشهود است، بنابراین گونه‌های مخلوط شده از طریق تغییر ساختار کانوپی یکدیگر (لوبیا در پائین کانوپی جذب نور کرده و ذرت در بالا) منجر به افزایش جذب نور کانوپی مخلوط شدند.



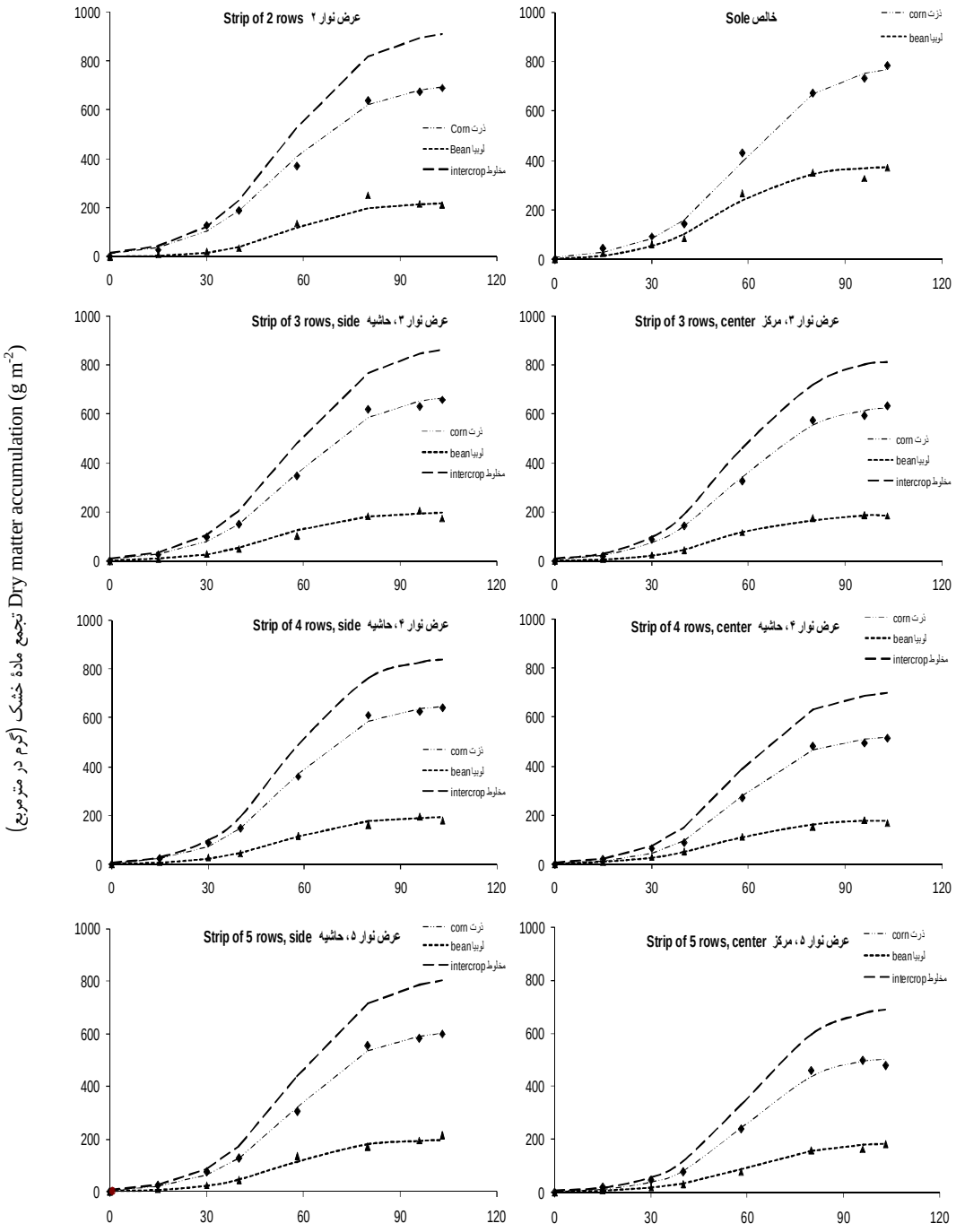
شکل1- اثر تیمارهای کشت مخلوط بر روند شاخص سطح برگ ذرت و لوبیا طی روزهای بعد از کاشت، در خطوط حاشیه و مرکزی

Fig 1- The effect of intercropping treatments on maize and bean leaf area index at days after planting in the side and the centeral rows



شکل2- اثر تیمارهای کشت مخلوط بر روند جذب نور ذرت و لوبیا طی روزهای بعد از کاشت، در خطوط حاشیه و مرکزی

Fig 2- The effect of intercropping treatments on maize and bean light absorption at days after planting in the side and the centeral rows



شکل3- اثر تیمارهای کشت مخلوط بر روند تجمع مادهٔ خشک کل ذرت و لوبیا طی روزهای بعد از کاشت، در خطوط حاشیه و مرکزی

Fig 1- The effect of intercropping treatments on maize and bean total dry weight at days after planting in the side and the centeral rows

تجمع مادهٔ خشک

در ابتدای دورهٔ رشد به دلیل کوچک بودن بوته‌ها تفاوت چندانی بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط از نظر روند افزایش وزن خشک کل ذرت و لوبیا مشاهده نشد. ولی از حدود 30 روز پس از کاشت، تجمع مادهٔ خشک کل وارد مرحلهٔ رشد خطی شده و به سرعت شروع به افزایش نمود و در حدود 80 روز پس از کاشت (مرحله حصول حداکثر مادهٔ خشک کل)، به حداکثر میزان خود رسید و سپس روند تقریباً ثابتی را در پیش گرفت (شکل 3).

نتایج نشان داد که تجمع مادهٔ خشک ذرت و لوبیا تحت تأثیر تیمارهای مختلف کشت مخلوط قرار گرفت. بیشترین میزان تجمع مادهٔ خشک به تیمار عرض نوار 2 ردیفی (مجموع تجمع مادهٔ خشک ذرت و لوبیا،910 گرم در مترمربع بود) و کمترین آن در کشت خالص (به ترتیب770 و 370/5 گرم در مترمربع برای ذرت و لوبیا) بود، بنابراین با افزایش عرض نوار به تدریج تجمع مادهٔ خشک کاهش یافت (شکل 3). کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دارای تجمع مادهٔ خشک بیشتری بود که این موضوع می‌تواند به علت جذب نور بیشتر توسط کانوپی کشت مخلوط (شکل 2) از طریق مجاورت در کنار یکدیگر باشد (شکل 3). محققان دیگر نیز افزایش تجمع مادهٔ خشک را در کشت مخلوط نسبت به تک کشتی گزارش کردند (Hossienpanahi, 2008; Rostami et al., 2010). افزایش مادهٔ خشک گیاهان زراعی در سیستم‌های کشت مخلوط، اغلب از طریق بهبود ظرفیت گونه‌های مخلوط برای افزایش جذب و مصرف فیزیولوژیکی منابع توسط آنها حاصل می‌شود (Jahansooz et al., 2007).

افزایش تجمع ماده خشک در کشت مخلوط نسبت به تک کشتی را می‌توان به افزایش فراهمی نیتروژن از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط لوبیا نسبت داد. از آنجا که نیتروژن یکی از عناصر غذایی موثر بر میزان فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و در نتیجه میزان تجمع ماده خشک گیاهان می‌باشد، بنابراین حضور لوبیا در کنار ذرت منجر به افزایش تجمع مادهٔ خشک کل در کانوپی کشت مخلوط شد. در تمام تیمارهای مختلف کشت مخلوط سهم نسبی ذرت در افزایش تجمع مادهٔ خشک بیشتر از لوبیا بود که این نتایج تأئیدی بر یافته‌های دیگر محققان است (Anil et al., 1998; Wall et al., 1991).

در تمامی تیمارهای کشت مخلوط نواری، ردیف‌های مرکزی نسبت به ردیف‌های حاشیه‌ای دارای تجمع مادهٔ خشک کمتری بودند (شکل 3). با افزایش فاصلهٔ ردیف‌های مرکزی از ردیف اول حاشیهٔ هر تیمار تجمع مادهٔ خشک ردیف‌های مرکزی به تدریج کاهش یافت، به گونه‌ای که در تیمارهای عرض نوار 4 و 5 ردیفی، میزان تجمع مادهٔ خشک تقریباً با کشت خالص یکسان بود (شکل 3). کاهش تجمع مادهٔ خشک در این تیمارها به علت عدم مجاورت گیاهان بود. اما در تیمارهای عرض نوار 2 و 3 ردیفی چون تأثیر مجاورت گیاهان کاملاً مشهود است، بنابراین گونه‌های مخلوط شده از طریق تغییر ساختار کانوپی یکدیگر (لوبیا در پائین کاوپی جذب نور کرده و ذرت در بالا) منجر به افزایش جذب نور و فتوسنتز شده و در نتیجه تجمع ماده خشک در این تیمارها افزایش یافت. Rezvan-bidokhti, (2004) نیز گزارش کردند هرچه از سمت کشت مخلوط ردیفی به سمت کشت مخلوط نواری که به شرایط تک کشتی نزدیک‌تر است نزدیک می‌شویم، عملکرد مادهٔ خشک به تدریج کاهش می‌یابد.

کارایی مصرف نور

در تمامی تیمارهای کشت مخلوط تجمع مادهٔ خشک ذرت و لوبیا ارتباط خطی با میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی داشت و در همه موارد ضریب همبستگی بیشتر از 0/9 بود. شیب این ارتباط بیانگر کارایی مصرف نور است که میانگین آن در طول فصل رشد برای ذرت و لوبیا به ترتیب از 1/65 و 0/98 در تیمار کشت خالص تا 1/94 و 1/15 گرم بر مگاژول در تیمار کشت مخلوط عرض نوار 2 خطی متغیر بود و کارایی مصرف نور سایر تیمارها حد واسط این دو تیمار بود (جدول 1 و 2). افزایش عرض نوار منجر به کاهش معنی دار کارایی مصرف نور شد، به گونه‌ای که در ذرت و لوبیا بیشترین کارایی مصرف نور به تیمار عرض نوار 2 (به ترتیب 1/94 و 1/15) و کمترین آن به تیمار عرض نوار 5 ردیفی (به ترتیب 1/74 و 0/98) مربوط بود (جدول 1 و 2).

نتایج نشان داد که در تمام تیمارهای کشت مخلوط نواری کارایی مصرف نور ذرت و لوبیا در ردیف‌های حاشیه‌ای (جدول 1) نسبت به ردیف‌های مرکزی (جدول 2) بیشتر می‌باشند. با افزایش عرض نوار کارایی مصرف نور ذرت و لوبیا در ردیف‌های مرکزی به میزان 10/5 و 14/8 درصد در تیمار عرض نوار 2 نسبت به عرض نوار 5 ردیفی کاهش یافت (جدول 2). این در حالی بود که افزایش عرض نوار در خطوط حاشیه به ترتیب میزان 6/5 و 13/5 درصد کارایی مصرف نور را در ذرت و لوبیا کاهش داد (جدول1). جدول 1 و 2 همچنین نشان می‌دهند که تیمارهای عرض نوار 2 و 3 ردیفی از نظر کارایی مصرف نور نسبت به تیمارهای عرض نوار 4 و 5 ردیفی، از نظر آماری اختلاف معنی داری هم در ردیف‌های حاشیه‌ای و هم در ردیف‌های مرکزی با یکدیگر ندارند.

Awal et al. (2006) نشان دادند که در مخلوط ذرت با گیاهانی که ارتفاع کمتری نسبت به ذرت دارند، ساختار هندسی کانوپی ذرت و میزان جذب نور آن تحت تأثیر گیاه همراه قرار نمی‌گیرد. چون ذرت گیاه غالب بوده و بخش عمده جذب نور خود را در لایه‌های بالای کانوپی گیاه همراه جذب می‌کند، بنابراین کارایی مصرف نور ذرت در

مخلوط مشابه با تک‌کشتی است که این یافته‌ها مغایر با نتایج این آزمایش می‌باشد. به نظر می‌رسد در تیمارهای عرض نوار 2 و 3 خطی افزایش کارایی مصرف نور از طریق اثرات تکمیل کنندگی کشت مخلوط بدست می‌آید، بگونه‌ای که سایه اندازی ذرت روی لوبیا باعث کاهش اشباع نوری و تنفس نوری شده و فراهمی نیتروژن از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن لوبیا نیز منجر به بهبود میزان فتوسنتز ذرت و درنتیجه تجمع مادهٔ خشک نسبت به نور جذب شده می‌شود که این موضوع منجر به افزایش کارایی مصرف نور ذرت و لوبیا در کشت مخلوط می‌شود. Beheshti, (2002) نیز گزارش کردند که توزیع بهتر نور در کانوپی سبب افزایش کارایی مصرف نور می‌شود.

تولید ماده خشک گیاهان اغلب همبستگی مثبت با مقدار تشعشع جذب شده توسط گیاهان زراعی هم در تک کشتی (Monteith, 1977) و هم در سیستم‌های کشت مخلوط (Sinclair & Muvhow, 1999) دارد. بنابراین یکی از راهکارهای مدیریت محصولات زراعی که ممکن است باعث تغییرات کارایی مصرف نور در گیاهان شود کشت مخلوط می‌باشد. مطالعات مختلفی افزایش و یا کاهش کارایی مصرف نور اجزای گیاهی در مخلوط را گزارش کرده‌اند و برخی مطالعات نیز تأثیر کشت مخلوط بر کارایی مصرف نور را ناچیز دانسته‌اند. اما در هر صورت آنچه که بسیار اهمیت دارد بهبود بهره‌وری تولید در سیستم‌های مخلوط، در ارتباط با نور می‌باشد. بهره‌وری می‌تواند از طریق افزایش جذب تشعشع خورشیدی (شکل 2)، کارایی مصرف نور (جدول 1 و 2) یا ترکیبی از هر دو بهبود یابد (Zhang et al., 2008). البته در مجموع اعتقاد بر این است که کشت‌های مخلوط بیشتر به واسطه افزایش جذب نور، از طریق افزایش طول دوره جذب نور (شکل 2) یا در نتیجه پوشش بیشتر سطح خاک (Awal et al. 2006) سبب افزایش بهره‌وری سیستم‌های زراعی می‌شوند. در واقع در زراعت‌های تک‌کشتی همواره مقادیری از تشعشع فتوسنتزی به دلیل وجود فضاهای خالی در کانوپی تلف می‌شود. مقدار این تلفات در زراعت‌های مخلوط به دلیل پوشش بیشتر سطح خاک کاهش یافته و در نتیجه میزان جذب تشعشع کل نسبت به تک‌کشتی بیشتر می‌شود که این مسئله به تنهایی می‌تواند سبب افزایش عملکرد گردد، گرچه ممکن است کارایی مصرف نور تحت تأثیر قرار نگرفته و یا حتی در مواردی نیز دچار کاهش گردد (Hossienpanahi, 2008).

بطور کلی نتایج نشان داد که کشت مخلوط نواری ذرت و لوبیا منجر به بهبود شاخص سطح برگ، میزان جذب نور، تجمع مادهٔ خشک و کارایی مصرف نور ذرت و لوبیا می‌شود. در تمامی صفات مورد بررسی کشت مخلوط اثر بیشتری بر ذرت نسبت به لوبیا داشت که این نشان‌دهندهٔ تأثیر مثبت لوبیا بر ذرت است. از آنجا که این آزمایش در سیستم کم نهاده اجرا شد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کشت مخلوط یکی از راهکارهای مناسب برای دسترسی به عملکرد مطلوب با حداقل مصرف یا بدون مصرف نهاده‌های خارجی است که این در طولانی مدت منجر به کاهش یا عدم وابستگی سیستم‌های زراعی به انرژی‌های فسیلی و افزایش پایداری آنها می‌شود. در پایان برای اطمینان بیشتر از نتایج بدست آمده از این تحقیق، پیشنهاد می‌شود این آزمایش در یک سال دیگر و در مناطق دیگر نیز اجرا شود.

جدول 1- اثر تیمارهای کشت مخلوط بر کارایی مصرف نور ذرت و لوبیا در خطوط حاشیه‌ای بر حسب گرم بر مگاژول

Table 1- The effect of intercropping treatments on maize and bean radiation use efficiency (g MJ^{-1}) in the side rows

عرض نوار (Width of strip)					
خالص (sole)	5-5	4-4	3-3	2-2	
1.65 c	1.81 b	1.85 b	1.89 a	1.94 a	ذرت (Corn)
0.98 B	0.99 B	1.02 B	1.11 A	1.15 A	لوبیا (Bean)

توضیح: مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد و میانگین‌های با حروف مشترک در هر ردیف در سطح 5 درصد دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشند

Statement Means with same letters for each row are not significantly different at α=0.05 by Duncan's Multiple Range.

جدول 2- اثر تیمارهای کشت مخلوط بر کارایی مصرف نور ذرت و لوبیا در خطوط مرکزی بر حسب گرم بر مگاژول

Table 2. The effect of intercropping treatments on maize and bean radiation use efficiency (g MJ^{-1}) in the central rows

عرض نوار (Width of strip)					
خالص (sole)	5-5	4-4	3-3	2-2	
1.65 c	1.74 b	1.74 b	1.89 a	1.94 a	ذرت (Corn)
0.98 B	0.98 B	0.99 B	1.01 B	1.15 A	لوبیا (Bean)

توضیح: مقایسه میانگینها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شده و میانگین‌های با حروف مشترک در هر ردیف در سطح 5 درصد دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشند

Statement Means with same letters for each row are not significantly different at α=0.05 by Duncan's Multiple Range.

منابع

1- Anil, L., Park, J., Phipps, R.H., Miller, F.A., 1998. Temperate intercropping of cereals for forage: a review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. Grass. Forage. Sci. 53, 301-317.
2- Awal, M.A., Koshi, H., Ikeda, T., 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. Agr. Forest. Meteorol. 139, 74–83.
3- Black, C., Ong, C., 2000. Utilization of light and water in tropical agriculture. Agr. Forest. Meteorol. 104, 25–47.
4- Beheshti, A., 2002. Effect of pattern of planting on light absorption and use efficiency in the corn canopy. Ph.D. Thesis. Fac. Agric. Ferdowsi Univ_ Mashhad., Iran. (In Persian with English summary).
5- Corlett, J.E., Black, C.R., Ong, C.K., Monteith, J.L., 1992. Above- and below-ground interactions in a leucaena/millet alley cropping system. II. Light interception and dry matter production. Agr. Forest. Meteorol. 60, 73–91.
6- Gao, Y., Duan, A., Sun, J., Li, F., Liu, Z., Liu, H., Liu, Z., 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. Field. Crops. Res. 111, 65-73.
7- Gliessman, S.R., 1995. Agroecology, Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture. Springer-Verlag, New York, Inc. 380 pp.
8- Goudriaan, J., Van Laar, H.H., 1993. Modelling potential crop growth processes. Kluwer Academic Press.
9- Hossienpanahi, F., 2008. Evaluation of yield and component yield in the corn and bean intercropping. Ms.C. Thesis. Fac. Agric. Ferdowsi Univ_ Mashhad., Iran. (In Persian with English summary).
10- Jahansooz, M.R., Yunusa, I.A.M., Coventry, D.R., Palmer, A.R., Eamus, D., 2007. Radiation- and water-use associated with growth and yields of wheat and chickpea in sole and mixed crops. Eur. J. Agron. 26, 275–282.
11- Keating, B.A., Carberry, P.S., 1993. Resource capture and use in intercropping: solar radiation. Field. Crop. Res. 34, 273–301.
12- Monteith, J.L., 1977. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. J. Appl. Ecol. 9, 747-766.
13- Morgado, L.B., Willey, R.W., 2003. Effects of plant population and nitrogen fertilizer on yield and efficiency of maize-bean intercropping. Pesq. Agropec. Bras., Brasilia, 38: 1257-1264.
14- Mukhala, E., Juger, J.M., Vanrensburg, L.D., 1999. Dietary nutrient deficiency in small-scale farming communities in South Africa benefits of intercropping maize and beans. Nutr. Res. 19, 629-641.
15- Ofori, F., Stern, W.R., 1987. Cereal–legume intercropping systems. Adv. Agron. 41, 41–90.
16- Rezvan-bidokhti, S., 2004. Comparison to compounds of intercropping in corn and bean intercropping. Ms.C. Thesis. Fac. Agric. Ferdowsi Univ_ Mashhad., Iran. (In Persian with English summary).
17- Rodrigo, V.H.L., Stirling, C.M., Teklehaimanot, Z., Nugawela, A., 2001. Intercropping with banana to improve fractional interception and radiation-use efficiency of immature rubber plantations. Field. Crop. Res. 69, 237–249.
18- Rostami, L., Mondani, F., Khuramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., 2010. Effect of various corn and bean intercropping densities on weed populations. Weed. Res. J. Article in press. (In Persian with English summary).
19- Rowe, E.C., Noordwijk, M.V., Suprayogo, D., Cadisch, G., 2005. Nitrogen use efficiency of monoculture and hedgerow intercropping in the humid tropics. Plant. Soil. 268, 61–74.
20- Sinclair, T.R., Muvhow, R.C., 1999. Radiation use efficiency. Adv. Agron. 65, 215-265.
21- Tsubo, M., Walker, S., Ogindo, H.O. 2005. A simulation model of cereal–legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. Field. Crop. Res. 93, 10-22.
22- Tsubo, M., Walker, S., 2002. A model of radiation interception and use by a maize–bean intercrop canopy. Agr. Forest. Meteorol. 110, 203–215.
23- Tsubo, M., Walker, S., Mukhala, E., 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. Field. Crop. Res. 71, 17–29.
24- Walker, S., Ogindo, H.O., 2003. The water budget of rainfed maize and bean intercrop. Phys. Chem. Earth. 28, 919–926.
25- Wall, G.J., Pringle, E.A., Sheaed, R.W., 1991. Intercropping red-clover with silage corn for soil erosion control. Can. J. Plant Sci. 71, 137-145.
26- Willey, R.W., 1990. Resource use in intercropping systems. Agric. Water. Manage. 17, 215–231.
27- Xin, N.Q., Tong, P.Y., 1986. Multiple cropping system and its development orientation in China (a review). Sci. Agric. Sinica. 4, 88–92.
28- Zhang, L., Vander Werf, W., Bastiaans, L., Zhang, S., Li, B., Spiertz, J.H., 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. Field Crops Res. 107: 29-42.

Journal of Agroecology
Vol. 1, No. 1, Fall 2009, p. 13-23

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 1، شماره 1، پاییز 1388، ص. 23-13

Evaluation of radiation interception and use by maize and bean intercropping canopy

A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati, F. Mondani*, H. Feizi and S. Amirmoradi[1]

Abstract

Intercropping is one of the management methods for crop production and leads to improvement of resource absorption and use by plants. Based on this purpose the present field study was conducted to evaluate radiation absorption and uses efficiency in corn and bean strip intercropping at the farm of the Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran during 2009. The experiment was set up in completely randomized block with three replications. The experiment constituted 6 treatments: sole crops of maize and bean, maize/bean strip intercropping of 2, 3, 4 and 5 rows of maize and bean plants. This experiment was conducted in the low input production system. Each plot was 4×7.5 m in which within each plot the experimental treatments were based on replacement design. Results indicated that leaf area index, light absorption, total dry matter and radiation use efficiency of maize and bean increased in all intercropping treatments in comparison with sole cropping. Increasing of width of strip in the intercropping treatments in comparison with strip of 2 rows, with the exception of the radiation use efficiency (14.5% and 8.3%), lead to decreased leaf area index (34.2% and 5.5%), light absorption (20.5% and 11.2%) and total dry matter (1.5% and 13.1%) in maize and bean, respectively. With increasing width of strip, all of the measured traits decreased more in the central rows than the side rows. In both side rows and the central rows intercropping complementary effects was more on maize than bean in the measured traits. Average of maize and bean radiation use efficiency was from 1.65 & 0.98 in the sole cropping to 1.94 & 1.15 gMJ^{-1} in the strip of 2 rows, respectively.

Keywords: Strip intercropping, Light absorption, Leaf area index, Total dry

1- A Contribution from College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
(* - Corresponding author Email: fa_mo300@stu-mail.um.ac.ir)

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 1، شماره 1، پاییز 1388، ص. 32-25

Journal of Agroecology
Vol. 1, No. 1, Fall 2009, p. 25-32

نقش تلقیح مضاعف باکتری‌های آزوسپریلوم و سودوموناس در بهبود جذب عناصر غذایی در ذرت

سمیه نظارت[1] و احمد غلامی[*2]

تاریخ دریافت: 88/9/25
تاریخ پذیرش: 88/10/30

چکیده

باکتری‌های محرک رشد گیاه به عنوان مکمل و جایگزین کودهای شیمیایی شناخته می‌شوند که می‌توانند سبب افزایش حاصلخیزی خاک و تولید محصول شوند. این مطالعه با هدف بررسی اثرات منفرد و دو گانه سویه‌های باکتری آزوسپیریلوم و سودوموناس بر رشد گیاه و جذب عناصر غذایی ذرت به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی اجرا گردید. عامل اول سویه‌های مختلف باکتری *Azospirillum* شامل سه سطح A_1: شاهد (بدون تلقیح)، A_2: *A.lipoferum*DSM1691 و A_3 : *A.brasilense*DSM1690 و عامل دوم سویه‌های مختلف باکتری *Pseudomonas* شامل پنج سطح P_1 : شاهد (بدون تلقیح) ، P_2: *P.putida* strain R-168، P_3: *P. fluorescens* strain R-93، P_4: *P.fluorescens* DSM 50090 و P_5: *P.putida* DSM 291 بود. نتایج نشان داد تیمارهای آزمایش وزن خشک کل بوته، وزن خشک بلال، وزن خشک دانه، وزن صد دانه و تعداد دانه در هر بوته ذرت را در مقایسه با شاهد به طور معنی داری افزایش داد. میزان جذب عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی و مس نیز به طور معنی داری با کاربرد باکتری‌های محرک رشد افزایش یافت. همچنین نتایج آزمایش نشان داد که تلقیح توأم باکتری‌ها در مقایسه با کاربرد منفرد هر یک از آنها موثرتر بود.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های محرک رشد گیاه، کود بیولوژیک، همزیستی

مقدمه

در اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی وجود رابطه‌ی متقابل میان گیاهان و ریزموجودات خاک تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر ساختار خاک، چرخه زیست زمین شیمیایی عناصر غذایی، رشد گیاه و سازگاری آن با تغییرات محیط دارد (Bashan et al., 2004). در بین ریزجانداران خاک به آن دسته از باکتری‌های ریزوسفری که فعالیت آنها بر رشد و تغذیه گیاه تأثیر مثبتی داشته و می‌توانند تضمین کننده سلامت گیاه و حاصلخیزی خاک باشند باکتری‌های محرک رشد گیاه[3] اطلاق می‌گردد (Wue et al., 2005). عمده باکتری‌های محرک رشد گیاه که استفاده از آنها در تحقیقات سال‌های اخیر مورد توجه بوده به جنس‌های *Pseudomonas*، *Azospirillum*، *Azotobacter* و *Bacillus* مربوط می‌باشند (Yasari and ardhan, 2007) .

هرچند چگونگی ارتباط و تحریک رشد گیاهان توسط این باکتری‌ها به طور کامل شناخته شده نیست اما اثرات سودمند آنها می‌تواند در نتیجه عواملی همچون سنتز آنتی بیوتیک‌ها و سیدروفورها، هورمون‌های گیاهی، تثبیت زیستی N_2، کاهش پتانسیل الکتریکی غشاء ریشه ها، تولید انواع آنزیم‌ها مانند Acc deaminas و افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی باشد (Egamberdiyeva, 2007., Bashan et al., 2004). Glick et al. (2001) نشان دادند که باکتری‌های PGPR از طریق تولید هورمون‌ها باعث افزایش رشد گیاهان، درصد جوانه زنی بذور وگسترش ریشه می‌شوند. در ذرت تلقیح بذر با سویه هایی از آزوسپیریلوم سبب افزایش سطح ریشه، وزن خشک اندام‌های هوایی و در نهایت عملکرد گردید (Fulchieri & Frioni, 1994). Saatovich (2006) با بررسی تأثیر سویه‌های مختلف آزوسپیریلوم نشان داد که این باکتری‌ها می‌توانند مقاومت گندم را به شوری افزایش داده و عملکرد گیاه را تا 63/4 درصد نسبت به شاهد افزایش دهند. بررسی‌ها نشان دادندکه کاربرد سویه‌های باکتری سودوموناس می‌تواند سبب افزایش طول ریشه و اندام‌های هوایی در کلزا، کاهو و گوجه فرنگی گردد (Glick et al., 1997). در بسیاری از مطالعات مشخص شده است که تلقیح توأم باکتری‌های

1 و 2 - به‌ترتیب کارشناس ارشد مرکز تحقیقات کشاورزی شاهرود و عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی شاهرود
(* - نویسنده مسئول: (Email: gholami@shahroodut.ac.ir

3- Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)

محرک رشد اثرات بیشتر و سودمندتری بر رشد و عملکرد گیاهان در مقایسه با کاربرد منفرد آنها دارد (Bashan & Holguin, 1997). Piao et al. (2005) نیز گزارش کردند که در نتیجه تلقیح توأم دو باکتری *Azotobacter armeniacus* و *Azotobacter nigricans* ، عملکرد برنج در مقایسه با شاهد و تلقیح هر یک از سویه ها، افزایش معنی داری یافت. Sharaan & El-Samie (1999) گزارش کردند که کاربرد توأم باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپیریلوم، سبب افزایش تعداد و طول سنبله، تعداد و وزن دانه در هر سنبله و عملکرد گندم شد. بررسی‌ها نشان داده اند که تلقیح همزمان دو یا چند سویه از باکتری‌های سودوموناس نیز سبب افزایش تحریک رشد گیاه در مقایسه با تلقیح هر یک از آنها می‌شود (Siddiqui & Shaukat, 2002). براساس نتایج تحقیقات پیشین به نظر می‌رسد ترکیب انواع باکتری‌های محرک رشد می‌تواند امکان برقراری رابطه‌ای سینرژیست و تشدید کننده را فراهم نماید که نتیجه آن افزایش اثرات مفید باکتری‌ها بر رشد گیاه و در نهایت تولید بیشتر محصول در گیاه باشد. برهمین اساس تحقیق حاضر به منظور ارزیابی تأثیر سویه‌های مختلفی از آزوسپیریلوم و سودوموناس و تلقیح توأم آنها بر رشد و جذب عناصر غذایی در گیاه ذرت اجرا شد.

مواد و روش ها

آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شاهرود، به صورت فاکتوریل با دو عامل در قالب طرح پایه بلوکهای کامل تصادفی و با سه تکرار انجام شد. عامل اول سویه‌های باکتری *Azospirillum* شامل سه سطح A_1 : شاهد (بدون تلقیح)، A_2: *A.lipoferumDSM1691* و A_3 : *A.brasilenseDSM1690* و عامل دوم سویه‌های باکتری *Pseudomonas* شامل پنج سطح P_1: شاهد، P_2: *P.putida* strain R-168، P_3: *P. fluorescens* strain R-93، P_4: *P.fluorescens* DSM 50090 و P_5: *P.putida* DSM 291 بود.

پیش از اقدام به کاشت بذور ذرت رقم 647، برای اطمینان از عدم آغشته بودن بذور به هر گونه آلودگی، چندین بار شستشو و ضدعفونی شدند. ضدعفونی سطحی بذرها به مدت 10 دقیقه با محلول هیپوکلریت سدیم 2 درصد انجام شد. سپس مایه تلقیح هر باکتری (با جمعیت تقریبی 10^8 cfu) به بذور افزوده و با استفاده از صمغ عربی 20 درصد بطور کامل با بذور مخلوط شدند. به منظور جلوگیری از کاهش جمعیت باکتری‌ها بلافاصله پس از تلقیح نسبت به کشت بذور اقدام شد. در این آزمایش هر کرت شامل 4 ردیف کاشت به طول 9 متر و با فواصل 0/7 متر از یکدیگر بود. فاصله بذور روی ردیفها 20 سانتی متر و عمق کشت 5 سانتی متر در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از عمل تداخل و آلودگی باکتری‌ها یک خط به صورت نکاشت به عنوان محافظ بین کرت‌های اصلی قرار گرفت. بعلاوه جوی‌های آبیاری به نحوی تعبیه شد که آب آبیاری اضافی هر کرت توسط یک جوی خروجی در انتهای هرکرت از مزرعه خارج شود. در زمان تهیه بستر بذر بر اساس نتایج حاصل از آزمون خاک، کودهای سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم و اوره به ترتیب هر کدام 150 ، 50 و130 کیلوگرم در هکتار به خاک اضافه و 170 کیلو گرم از اوره باقیمانده نیز در آغاز رشد زایشی به زمین اضافه شد. آبیاری مزرعه با فواصل 10 روز یکبار بصورت نشتی انجام شد. در انتهای دوره رشد برای اندازه گیری عملکرد و اجزای عملکرد بوته‌های ذرت از دو خط وسط با حذف نیم متر از طرفین هر خط برداشت شدند. به منظور تعیین مقدار عناصر موجود در بذر نمونه آسیاب شده بذور به آزمایشگاه موسسه تحقیقات آب و خاک تهران ارسال شد. به این منظور نیتروژن با روش کجلدال، پتاسیم و فسفر با روش اسپکتروفوتومتری و همچنین مقدار آهن، منگنز، روی و مس با دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد. برای تجزیه واریانس اعداد خام از نرم افزار SAS استفاده و مقایسات میانگین داده‌ها با استفاده از روش دانکن، با سطح احتمال 0/05 درصد انجام شد.

نتایج و بحث

خصوصیات رشدی ذرت : در جدول 1 نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از صفات رشدی ذرت در زمان برداشت آورده شده است. نتایج نشان داد که اثر کاربرد باکتری‌های آزوسپیریلوم و سودوموناس بر وزن خشک کل بوته و وزن خشک بلال معنی دار ($p<0/01$) بود (جدول1). تلقیح توأم سویه‌های آزوسپیریلوم و سودوموناس نیز به طور معنی داری ($p<0/01$) این دو صفت را افزایش دادند. مطابق مقایسه میانگین صفات در جدول 2، تلقیح با تیمارهای مختلف باکتری، وزن خشک کل بوته را از 66/5 درصد در ترکیب A.lipoferumDSM1691× P.fluorescens strainR-93 (تیمار A2P3) تا 129/4 درصد در ترکیب *A.lipoferum*DSM1691× *P.putida* strain R-168 (تیمار A_2P_2) در مقایسه با شاهد افزایش داد. نتایج این بررسی نشان داد که تمام سویه‌های باکتری وزن خشک بلال را در مقایسه با شاهد افزایش دادند. بیشترین وزن خشک بلال از تلقیح همزمان *A.brasilenseDSM1690* و *P.fluorescens* DSM 50090 (A_3P_4) به میزان 323/3 گرم در بوته و کمترین مقدار از شاهد به مقدار 133/7 گرم در بوته بدست آمد. براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر باکتری‌های آزوسپیریلوم و سودوموناس و اثر تلقیح توأم سویه‌های باکتری‌ها بر وزن خشک دانه و وزن صد دانه معنی دار بود (جدول1). بررسی مقایسات میانگین کاربرد همزمان باکتری‌ها نشان داد که ترکیب *A.brasilenseDSM1690* و *P.fluorescens* DSM

50090 (تیمار A_3P_4) بیشترین و شاهد کمترین مقدار وزن خشک دانه را تولید نمودند (به ترتیب 271 و 109 گرم در بوته). نتایج این تحقیق نشان داد که تیمار A_1P_4 بیشترین تأثیر را بر وزن صد دانه در بوته‌های ذرت داشت و مقدار این صفت را 44/8 درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد (جدول2). براساس نتایج این آزمایش مشخص شد که اثرکاربرد منفرد دو باکتری بر تعداد دانه در بوته معنی دار نبود (جدول1). اما این صفت به طور معنی داری تحت تأثیر کاربرد توأم باکتری‌های آزوسپیریلوم و سودوموناس قرار گرفت ($p<0/01$). بیشترین تعداد دانه از ترکیب *P.putida* strain R-168 و *A.lipoferum*DSM1691 (تیمار A_2P_2) بدست آمد (81/4 درصد افزایش در مقایسه با شاهد - جدول2). Carlier et al. (2008) نشان دادند که تلقیح گندم با باکتری‌های محرک رشد می‌تواند سبب افزایش 6 درصدی وزن هزار دانه، 13 درصدی تعداد سنبله و 30 درصدی تعداد دانه در هر سنبله شود. مطالعات محققین دیگر نیز نشان دادکه باکتری‌های ریزوسفری سبب افزایش رشد و عملکرد ذرت می‌شود (Egamberdiyeva, 2007). Zaied et al. (2007) اظهار داشتند که سویه‌های آزوسپیریلوم می‌توانند با ترشح هورمون‌های گیاهی شرایط مناسبی برای رشد ذرت فراهم آورند. Shaharoona et al. (2006) با مطالعه اثر سویه‌های مختلف سودوموناس بر رشد ذرت و در شرایط مختلف کودی نشان دادند که سویه‌های مختلف این باکتری می‌توانند وزن خشک بلال را با توجه به میزان کود نیتروژن بین 15/2 تا 19/7 درصد در مقایسه با شاهد افزایش دهند. افزایش میزان تولید در گیاهان می‌تواند در نتیجه توانایی باکتری‌ها در حذف عوامل بیماریزای خاکزی، تولید تنظیم کننده‌های رشد گیاهی مانند جیبرلینها، سیتوکینین‌ها و اکسین، افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی و توسعه سیستم ریشه‌ای به منظور دستیابی بیشتر به منابع آب و مواد غذایی باشد Rudresha et al., 2005).

جذب عناصر غذایی : نتایج تجزیه واریانس عناصر غذایی در دانه ذرت در جدول 3 آمده است. نتایج نشان داد که تأثیر سطوح آزوسپیریلوم و سودوموناس بر مقدار نیتروژن در دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. بیشترین میزان نیتروژن در دانه از تلقیح با سویه‌های *A.brasilense* DSM1690 (به میزان 5/78 گرم در کیلوگرم دانه) بدست آمد که 35/8 درصد بیشتر از مقدار نیتروژن در بوته‌های شاهد بود (جدول4). بیشترین مقدار نیتروژن در دانه در بین سویه‌های سودوموناس از تلقیح با باکتری *P.putida* strainR-168 و کمترین مقدار از شاهد بدست آمد (به ترتیب به میزان 6/46 و 3/97 گرم در کیلوگرم). تلقیح توأم باکتری‌های آزوسپیریلوم و سودوموناس بر مقدار نیتروژن در دانه ذرت معنی دار نبود (جدول3). Baldani et al. (1987) در سه آزمایش مزرعه‌ای نشان دادند که بیشترین میزان نیتروژن در اندامهای هوایی و دانه از تلقیح گندم با باکتری *A. brasilense* Sp245 حاصل شد. برخی محققین معتقدند افزایش میزان نیتروژن و عملکرد دانه به سه دلیل عمده شامل ترشح انواع هورمون‌ها که سبب افزایش رشد ریشه و جذب نیتروژن از خاک می‌شود (De Salomone&Dobereiner,1996)، تأثیر بر جذب NO_3^- با احیاء این ترکیب توسط باکتری‌ها در ناحیه ریشه (Ferreira et al,1987) و در نهایت از طریق تثبیت N_2 (Okon *et al*,1983) صورت می‌گیرد.

اثر تلقیح با سویه‌های آزوسپیریلوم بر مقدار فسفر دانه معنی دار نبود (جدول3). اما سویه‌های سودوموناس مقدار فسفر دانه را به طور معنی داری ($p<0/01$) افزایش دادند. در بین سویه‌های سودوموناس بیشترین مقدار فسفر دانه از تلقیح با *P. putida* strain R-168 حاصل شد که 54/3 درصد بیشتر از مقدار آن در شاهد بود (جدول4). اثر کاربرد توأم سویه‌های آزوسپیریلوم و سودوموناس بر مقدار فسفر دانه معنی دار بود (جدول 3). بیشترین میزان فسفر دانه به میزان 0/98 گرم در کیلوگرم وزن خشک دانه از کاربرد همزمان *P.fluorescens* DSM 50090 × A. brasilense DSM 1690 (تیمار A_3P_4) و کمترین مقدار (0/31 گرم در کیلوگرم وزن خشک در دانه) از شاهد بدست آمد (جدول4). تأثیر مثبت تلقیح با باکتری بر مقدار فسفر و وزن خشک دانه می‌تواند در نتیجه توانایی سویه‌های مورد بررسی در این آزمایش بر انحلال فسفات‌های غیرمحلول و یا تولید انواع مختلفی از هورمون‌های گیاهی باشد. مطالعات نشان داده‌اند باکتری‌های PGPR می‌توانند با استفاده از روش‌هایی چون اسیدیفیکاسیون، تشکیل کلات و انواع واکنش‌های تبادلی، فسفات نامحلول را به فرم محلول درآورند(Bhattacharya, 1986).

مقدار پتاسیم در دانه به طور معنی داری ($p<0/01$) تحت تأثیر سویه‌های آزوسپیریلوم قرار گرفت. میزان پتاسیم در سویه‌های *A.brasilense* DSM1690 و *A. lipoferum* DSM1691 با مقدار 0/73 گرم در کیلوگرم با مقدار این عنصر در شاهد(0/59 گرم در کیلوگرم) اختلاف معنی دار نشان داد (جدول4). اثر باکتری سودوموناس بر مقدار پتاسیم در دانه معنی دار نبود (جدول3). مقدار پتاسیم در دانه به طور معنی داری تحت تأثیر تلقیح توأم دو باکتری قرار گرفت (جدول3). تأثیر سطوح مختلف تیمارهای تلقیحی بر میزان پتاسیم دانه ذرت سبب شد تا میزان این عنصر 106 تا 178 درصد در مقایسه با شاهد افزایش یابد (جدول4). نتایج تجزیه واریانس آزمایش نشان داد اثر عامل آزوسپیریلوم بر مقدار آهن در سطح احتمال 5 درصد معنی دار بود(جدول 3). بیشترین مقدار آهن در دانه به میزان 13/29 میلی گرم در کیلوگرم از تلقیح توسط سویه‌های *A.brasilense* DSM1690 وکمترین مقدار از شاهد (10/24 میلی‌گرم در کیلوگرم) بدست آمد (جدول 4). تأثیر کاربرد سو یه‌های سودوموناس بر مقدار آهن در دانه معنی دار بود ($p<0/01$). مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین مقدار آهن دانه از تلقیح با باکتری

P. putida strain R-168 و کمترین میزان از بوته‌های شاهد بدست آمد (به ترتیب با مقادیر 14/36 و 9/61 میلی گرم در کیلوگرم). نتایج نشان داد اثر تلقیح توأم سویه‌های سودوموناس و آزوسپیریلوم بر مقدار آهن در دانه ذرت در سطح 5 درصد معنی دار بود(جدول3). براساس مقایسات میانگین در جدول 4 به جز تیمار A_1P_3 سایر تیمارهای تلقیحی مقدار آهن دانه را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌دار افزایش دادند. محققین نشان دادند سویه هایی از *Azotobacter*، *Pseudomonas* و *Bacillus* توانایی تولید ترکیبی به نام سیدروفور دارند. سیدروفورها کلاتها یا ترکیبات آلی با وزن مولکولی پایین و با میل ترکیبی شدید و اختصاصی برای کمپلکس شدن با برخی کاتیونها از جمله آهن هستند. گیاهان می‌توانند از سیدروفورهای تولید شده توسط باکتری‌ها به عنوان عاملی برای تأمین آهن مورد نیاز خود استفاده کنند(Ahmad et al, 2006).

هرچند سویه‌های باکتری آزوسپیریلوم مقدار روی در دانه را در مقایسه با شاهد افزایش دادند ولی این افزایش از نظر آماری معنی دار نبود و مقدار این عنصر تحت تأثیر تلقیح با سویه‌های آزوسپیریلوم قرار نگرفت (جدول3). اثر تلقیح با باکتری سودوموناس بر مقدار روی دانه در سطح احتمال 5 درصد معنی دار بود (جدول 3). مقایسات میانگین نشان داد بیشترین مقدار روی از تلقیح بذور ذرت با سویه *P.putida* strain R-168 (به میزان 7/67 میلی گرم در کیلوگرم) و کمترین مقدار از شاهد (به مقدار 5/17 میلی گرم در کیلوگرم) بدست آمد (جدول4). مطالعه اثر تلقیح منفرد و توأم *Azotobacter* و قارچ *Glomus* بر رشد و غلظت عناصر در گوجه فرنگی نشان داد که غلظت روی در گیاه تنها درترکیب *Azotobacter + Glomus* در مقایسه با شاهد افزایش یافت. اثر سینرژیستی این دو میکروارگانیسم سبب شد تا علاوه بر میزان روی، بیشترین وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه حاصل شود (Bagyaraj et al, 1987).

نتایج تجزیه واریانس آزمایش نشان داد اثر باکتری آزوسپیریلوم بر مقدار مس در دانه در سطح احتمال 5 درصد معنی دار بود (جدول 3). براساس مقایسات میانگین در جدول 4 بیشترین مقدار مس در دانه از تلقیح بذور با سویه‌های *A.brasilense* DSM1690 (به مقدار2/52 میلی گرم در کیلوگرم) بدست آمد که با شاهد (به میزان 1/62 میلی گرم در کیلوگرم دانه) اختلاف معنی دار نشان داد. اثر تلقیح توسط باکتری سودوموناس بر مقدار مس دانه معنی دار بود (جدول3). بیشترین مقدار مس در دانه از کاربرد باکتری *P.fluorescens* DSM 50090 و کمترین میزان از شاهد حاصل شد (به ترتیب با مقادیر 2/70 و 1/55 میلی گرم در کیلوگرم). مطالعه اثر سویه‌های مختلف آزوسپیریلوم بر مقدار یونهای موجود در بافت‌های گندم و سویا نشان داد که سویه‌های *A.brasilense* قادرند مقادیر یون‌های مختلف را در بافت‌های گیاهان تغییر داده و بر تعادل موجود بین یونها موثر باشند. بر این اساس باکتری‌ها بر مقدار یون‌هایی مانند K^+ , Mg^{2+}, P, Ca^{2+} Fe^{2+}, S, B تأثیر مثبت داشته ولی بر مقدار یون‌های Na^+ ، Mn^{2+}، Cu^{2+} و Zn^{+2} تأثیری نداشتند(Bashan et al., 1990).

در مجموع نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش رشد ومیزان عناصر غذایی در دانه شد. این افزایش عمدتا به دلیل تولید تنظیم کننده‌های رشد گیاه توسط باکتری و اثر آنها بر رشد ریشه بوده که جذب آب و مواد غذایی را از خاک بهبود می‌بخشد (Egamberdiyevaa *et al*, 2003). بنظر می‌رسد که افزایش در میزان جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌تواند منجر به افزایش تجمع ماده خشک و مواد معدنی در ساقه‌ها و برگهای گیاه شود. به این ترتیب در طول دوره زایشی مواد معدنی تجمع یافته می‌توانند به اندامهای زایشی منتقل و در نهایت منجر به افزایش عملکرد شوند.

جدول 1- تجزیه واریانس صفات زراعی در ذرت

Table1- Analysis of variance of agronomic traits for maize

		میانگین مربعات (MS)				
منابع تغییر SOV	درجه آزادی Df	وزن خشک کل بوته TDM	وزن خشک بلال EDM	وزن خشک دانه SDM	وزن 1000 دانه 100DM	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant
بلوک (R)	2	1838.3 ^{ns}	814.23 ^{ns}	797.07 ^{ns}	4.793 ^{ns}	6609.37 ^{ns}
آزوسپیریلوم (A)	2	20157.4**	11887.9**	7789.10**	22.743*	29941.63 ^{ns}
سودوموناس (P)	4	9129.49**	5139.99*	3283.78*	17.014*	27697.80 ^{ns}
A×P	8	7328.99**	5.12.12**	4120.21**	24.156**	45899.9**
خطا (E)	28	2176.15	1487.41	1206.43	5.891	10265.24

**، * و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیر معنی دار

** : P<0.01, * : P<0.05, ns: non-significan

جدول2- میانگین اثرات متقابل سطوح آزوسپیریلوم و سودوموناس بر صفات زراعی در ذرت

Table2- Interaction effects of *Azospirillum* and *Pseudomonas* on agronomic traits.

تیمار Treatment	وزن خشک کل بوته TDM (g per plant)	وزن خشک بلال EDM (g per plant)	وزن خشک دانه SDM (g per plant)	وزن 1000 دانه 100DM (g)	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant
A_1P_1	193.0b	1333.7b	109.0b	21.41c	209.6d
A_2P_1	389.0a	281.0a	231.1a	28.41ab	814.8abc
A_3P_1	356.0a	259.6a	205.0a	29.99ab	685.5abcd
A_1P_2	340.7a	241.4a	195.2a	25.84abc	761.4abcd
A_1P_3	351.9a	267.2a	226.4a	2435.abc	867.4abc
A_1P_4	355.5a	258.3a	203.6a	31.00a	769.6abc
A_1P_5	331.2a	235.2a	190.6ab	30.31ab	616.9cd
A_2P_2	442.7a	321.7a	264.2a	28.67ab	924.4a
A_2P_3	321.4a	229.8a	186.9ab	26.35ab	707.6abcd
A_2P_4	345.7a	241.7a	187.3ab	28.74ab	652.0bcd
A_2P_5	352.6a	261.1a	221.2a	26.90abc	826.4abc
A_3P_2	404.4a	298.2a	239.5a	30.55ab	784.4abc
A_3P_3	360.8a	252.3a	202.8a	29.22ab	694.8abcd
A_3P_4	428.7a	323.3a	271.3a	29.97ab	905.1ab
A_3P_5	367.6a	271.6a	224.7a	25.51abc	826.3ab

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار براساس آزمون دانکن می‌باشد

A_1 :Control ،A_2: *A. lipoferum* DSM 1691 ،A_3: *A. brasilense* DSM 1690 و P_1: شاهد، P_2:*P. putida* strain R-168 ،P_3: *P. fluorescens* strain R-93 ، P_4 : *P. fluorescens* 50090، P_5 : *P. putida* DSM 291

جدول 3- تجزیه واریانس مقدار عناصر غذایی در دانه ذرت تحت تأثیر عوامل آزمایش

Table3: Analysis of variance of seed nutrient content of maize.

منابع تغییر SOV	درجه آزادی Df	میانگین مربعات					
		نیتروژن (N)	فسفر (P)	پتاسیم (K)	آهن (Fe)	روی (Zn)	مس (Cu)
بلوک (R)	2	2.215^{ns}	0.015^{ns}	0.036^{ns}	4.291^{ns}	0.287^{ns}	0.203^{ns}
آزوسپیریلوم (A)	2	10.167^{**}	0.071^{ns}	0.101^{**}	45.423^{*}	6.428^{ns}	3.192^{*}
سودوموناس (P)	4	7.464^{**}	0.104^{**}	0.034^{ns}	41.948^{**}	7.702^{*}	2.010^{*}
A×P	8	3.183^{ns}	0.069^{*}	0.064^{**}	22.857^{*}	3.241^{ns}	1.484^{ns}
خطا (E)	28	1.608	0.024	0.017	9.968	2.567	0.695

**، * و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیر معنی دار ** : P<0.01, * : P<0.05, ns: non-significan

جدول4- میانگین سطوح آزوسپیریلوم و سودوموناس و اثرات متقابل آنها برعناصر غذایی در دانه ذرت

Table4- Interaction effects of *Azospirillum* and *Pseudomonas* on seed nutrient content.

مس Cu ($g.kg^{-1}$)	روی Zn ($g.kg^{-1}$)	آهن ($g.kg^{-1}$) Fe	پتاسیم K ($g.kg^{-1}$)	فسفر P ($g.kg^{-1}$)	نیتروژن N ($g.kg^{-1}$)	تیمار Treatment
						Azospirillum
1.62b	5.49	10.24b	0.59b	0.58	4.25b	A_1
2.25a	6.53	13.22a	0.73a	0.65	5.55a	A_2
2.52a	6.70	13.29a	0.73a	0.72	5.78a	A_3
						Pseudomonas
1.55c	5.17b	9.61b	0.59	0.52b	3.97b	P_1
2.45ab	7.67a	14.36a	0.76	0.80a	6.46a	P_2
2.16abc	5.76b	10.29ab	0.70	0.65ab	4.81ab	P_3
2.70a	6.37ab	13.84ab	0.71	0.71ab	5.39.ab	P_4
1.78bc	6.23ab	13.15ab	0.65	0.59ab	5.36ab	P_5
1.08	3.03	3.75c	0.33b	0.31d	2.44	A_1P_1
1.43	6.08	11.91ab	0.80a	0.67bc	5.27	A_2P_1
2.13	6.41	13.15a	0.64ab	0.57cd	4.19	A_3P_1
1.71	6.86	12.47ab	0.60ab	0.74abc	5.22	A_1P_2
1.86	5.83	6.72bc	0.80a	0.75abc	5.04	A_1P_3
2.11	6.60	13.66a	0.62ab	0.62bc	5.17	A_1P_4
1.32	5.12	13.60a	0.60ab	0.49cd	3.40	A_1P_5
3.81	8.48	17.14a	0.92a	0.89ab	7.79	A_2P_2
2.30	5.93	12.72ab	0.58ab	0.58cd	4.15	A_2P_3
2.18	5.13	12.39ab	0.66ab	0.53cd	4.49	A_2P_4
1.52	7.04	11.93ab	0.68a	0.58cd	6.37	A_2P_5
1.83	7.67	12.47ab	0.74a	0.75abc	6.66	A_3P_2
2.33	5.51	11.42ab	0.72a	0.61bc	5.23	A_3P_3
3.80	7.36	15.47a	0.87a	0.98a	6.50	A_3P_4
2.49	6.53	13.91a	0.68a	0.69bc	6.32	A_3P_5

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار براساس آزمون دانکن می‌باشد

Similar letters at each column explain non significancy based on Duncan examination.

A_1 :control ،A_2: *A. lipoferum* DSM 1691 ،A_3: *A. brasilense* DSM 1690 و P_1: شاهد، P_2:*P. putida* strain R-168 ،P_3: *P. fluorescens* strain R-93 ، P_4 : *P. fluorescens* 50090، P_5 : *P. putida* DSM 291

منابع

1- Ahmad, F., Ahmad, I., Khan, M.S., 2006. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. Microbial. Res. 36:1-9.

2- Bagyaraj, D.J., Menge, J.A., 1978. Interaction between a VA mycorrhiza and *Azotobacter* and their effects on rhizosohere microflora and plant growth. New Phytol. 80: 567-573.

3- Baldani, V.L.D., Alvarez, M.A.B., 1987.Establishment inoculated *Azospirillum* Spp. in the rhizosphere and in roots of field grown wheat and sorghum. Plant Soil. 90: 35-45.

4- Bashan, Y., Holguin, G., 1997. *Azospirillum*-plant relationships: environmental and physiological advances. Can. J. Microbiol. 43: 103-121.

5- Bashan, Y., Holguin, G., de-Bashan, L., 2004. *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances. Can. J. Microbiol. 50: 521–577.

6- Bashan, Y., Harrison, S.K., 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(3): 769-775.

7- Carlier**,** E**.**, Rovera, M., Jaume, A. R., Rosas, S. B., 2008. Improvement of growth, under field conditions, of wheat inoculated with *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *Aurantiaca*. World. J. Microbiol. Biotech. 24(11): 2653-2658.

8- De Salomone, G., Dobereiner, J., 1996. Maize genotype effects on the response to *Azospirillum* inoculation. Biol. Fertil. Soils. 21: 193-196.

9- Egamberdiyeva, D., 2007. The effect of plant growth promoting bacteria on growth and nutrient uptake of maize in two different soils. Appl. Soil. Eco. 36: 184-189.

10- Egamberdiyevaa, D., Hoflich. G., 2003. Influence of growth-promoting bacteria on the growth of wheat in different soils and temperatures. Soil Biol. Biochem. 35: 973–978.

11- Ferreira, M.C.B., Fernandes, M.S., Dobereiner, J., 1987. Role of *Azospirillum brasilense* nitrate reductase in nitrate assimilation by wheat plants. Biol. Fertil. Soils. 4: 47-53.
12- Fulchieri, M., Frioni,L., 1994. *Azospirillum* inoculation on maize (*Zea mays*): effect on yield in a field experiment in central Argentina. Soil biol. biochem.26: 921-923.
13- Glick, B.R., Penrose, D., Wendo, M., 2001. Bacterial promotion of plant growth. Biotech. adv. 19:135-138.
14- Glick, B. R., Liu ,C., Ghosh, S., Dumbroff, E. B., 1997. Early development of canola seedlings in the presence of the plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2. Soil Biol. Biochem. 29: 1233–1239.
15- Okon, Y., Heytler, P.G., Hardy, R.W.F., 1983. N_2 fixation by *Azospirillum brasilense* and its incorporation into host *Setaria italica.* Appl.Environ. Microbiol. 46: 694-697.
16- Piao, Z., Cui, Z., Yin, B., Hu, J., Zhou, C., Xie, G., Su, B., Yin, S., 2005. Changes in acetylene reduction activities and effects of inoculated rhizosphere nitrogen-fixing bacteria on rice. Biol. Fertil. Soils.41: 371–378.
17- Rudresha, D.L., Shivaprakasha, M.K., Prasad, R.D., 2005. Effect of combined application of *Rhizobium*, phosphate solubilizing bacterium and *Trichoderma* spp. on growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer aritenium* L.).Appl. Soil. Eco. 28:139–146.
18- Saatovich, S.Z., 2006. *Azospirilli* of Uzbekistan soils and their influence on growth and development of wheat plants. Plant & Soil. 283:137-145.
19- Sharaan, A. N., El-Samie, F.S.A., 1999. Response of wheat varieties to some environmental influences. 1. Effect of seeding rates and N fertilization levels on growth and yield of two wheat varieties (*Triticum aestivum* L.). Ann. Agric. Sci. 44: 589–601.
20- Siddiqui,I. A., Shaukat, S. S., 2002. Mixtures of plant disease suppressive bacteria enhance biological control of multiple tomato pathogens. Biol. Fertil. Soil. 36: 260–268.
21- Wue, 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: 155–166.
22- Yasari, E., Patwardhan, A.M., 2007. Effects of *Aztobacter* and *Azospirillium* inoculations and chemical fertilizers on growth and productivity of Canola. Asi. J. Plant. Sci. 6:77-82.
23- Zaied, K.A., Abd El-Hady, A.H., Sharief, A.E., Ashour, E.H., 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.

Journal of Agroecology
Vol. 1, No. 1, Fall 2009, p. 25-32

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 1، شماره 1، پاییز 1388، ص. 32-25

The effects of co-inoculation of *Azospirillum* and *Pseudomonas* rhizobacteria on nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.)

S. Nezarat[*] and A. Gholami[1]

Abstract

Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) has been identified as an alternative to chemical fertilizer to increase soil fertility and crop production in sustainable agriculture. The objective of this study was to investigate the effects of single and co-inoculation of *Azospirillum* and *Pseudomonas* strains on plant growth and nutrient uptake of maize as a factorial experiment. Treatments included control, *Azospirillum lipoferum* DSM 1691, *A.brasilense* DSM 1690, *Pseudomonas putida* strain R-168, *P.fluorescens* strain R-93, *P.fluorescens* DSM 50090 and *P.putida* DSM291. Bacterial treatment significantly increased shoot, ear and seed dry weight, 100 seed weight and number of seeds per ear. Plants nutrient uptake of N, P, K, Fe and Cu were also significantly influenced by application of PGPR(s). Also, the experimental results show that inoculation consortia apparently work better when different bacteria were combined with each other.

Keywords: Maize, PGPR, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, Nutrient uptake.

1- A Contribution from Agricultural Research station of Shahrood and Industrial University of Shahrood
(* - Corresponding author Email: gholami@shahroodut.ac.ir)