نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۲، شماره ۱، بهار ۱۳۸۹، ص. ۵۴-۴۵

Journal of Agroecology
Vol. 2, No. 1, Spning 2010, p. 45-54

ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)

فرزاد حسین پناهی[۱*]، علیرضا کوچکی[۲]، مهدی نصیری محلاتی[۲] و رضا قربانی[۳]

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۱/۲۷
تاریخ پذیرش: ۸۹/۳/۲۲

چکیده

تجمع مادهٔ خشک گیاهان ارتباط خطی با تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) تجمعی دارد و یکی از راههای افزایش جذب تشعشع در سیستم‌های زراعی استفاده از کشت مخلوط است. بعلاوه کشت مخلوط ممکن است کارایی مصرف نور گیاهان را نیز بهبود ببخشد. این مطالعه با هدف ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور ذرت (*Zea mays* L.) و سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در کشت مخلوط انجام گرفته است. تیمارهای آزمایش شامل: تک‌کشتی ذرت (MC)، تک‌کشتی سیب‌زمینی (MP)، کشت مخلوط نواری (S)، کشت مخلوط I_{25}، I_{50}، I_{75} (به ترتیب با ۲۵٪ ، ۵۰٪ و ۷۵٪ همپوشانی ردیف‌های ذرت و سیب‌زمینی در تیمار نواری) و کشت مخلوط ردیفی(R) بودند. نتایج آزمایش نشان داد که کارایی مصرف نور ذرت در تمام تیمارهای مخلوط نسبت به تک‌کشتی افزایش پیدا کرد، در حالیکه کارایی مصرف نور سیب‌زمینی در کشت مخلوط کاهش یافت. میانگین کارایی مصرف نور ذرت در طول فصل رشد از ۲/۶۵ در تیمار MC تا ۳/۲۷ گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی در تیمار R و میانگین کارایی مصرف نور سیب‌زمینی نیز از ۱/۲۷ در تیمار R تا ۱/۴۷ گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی در MP متغیر بود. در کل هر چه مخلوط از آرایش ردیفی، که فاصلهٔ ردیف‌های ذرت در آن دو برابر کشت خالص بود، به سمت آرایش نواری، که فاصلهٔ ردیف‌های ذرت در آن مشابه تک‌کشتی بود، تمایل پیدا کرد (یعنی به ترتیب تیمار کشت مخلوط ردیفی، I_{75}، I_{50}، I_{25}، و کشت مخلوط نواری) کارایی مصرف نور نیز به تدریج کاهش یافت، زیرا تعداد ردیف‌هایی که فاصلهٔ آنها دو برابر کشت خالص شد کاهش پیدا کرد. هرچه آرایش مخلوط از نواری به سمت ردیفی تمایل پیدا کرد (یعنی به ترتیب تیمارهای I_{25}، I_{50}، I_{75}، و کشت مخلوط ردیفی) تعداد ردیف‌های بیشتری از سیب‌زمینی در زیر سایهٔ مستقیم ذرت قرار گرفت و این مسئله سبب کاهش تدریجی کارایی مصرف نور شد. جهت حصول نتایج بهتر پیشنهاد می‌شود که تراکم‌های مختلف این دو گیاه و همچنین سیستم‌های تأخیری مورد ارزیابی قرار بگیرد.

واژه‌های کلیدی: تشعشع فعال فتوسنتزی، سایه‌اندازی، کشت مخلوط ردیفی، کشت مخلوط نواری

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) بعد از گندم (*Trriticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza Sativa* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) چهارمین محصول مهم غذایی در دنیا می‌باشد (Khajeh-Pour, 2004) که عملکرد بالایی در واحد سطح در مناطق معتدل تولید می‌کند. نیاز به این محصول مهم غذایی در همه جای دنیا به چشم می‌خورد و با وجود اینکه کشت وکار آن در مناطق گرمسیر و نیمه‌گرمسیر نیز به صورت گسترده صورت می‌گیرد، اما عملکرد آن در این نواحی به واسطهٔ دماهای بالا کم می‌باشد (Krauss & Marschner, 1984; Vander Zaag & Demagante, 1990). کشاورزان این مناطق از راهکارهای مختلف مدیریتی و زراعی برای تعدیل دما و ایجاد شرایط بهتر رشدی برای سیب‌زمینی بهره‌گیری کرده‌اند که یکی از بهترین راهکارهای زراعی کشت مخلوط آن با گیاهان سایه‌اندازی مثل ذرت و نیشکر می‌باشد (Ebwongu et al., 2001; Midmore, 1990; Vander Zaag & Demagante, 1990; Midmore et al., 1986a). در کشت مخلوط ذرت و سیب‌زمینی، آرایش کانوپی به گونه‌ای است که امکان توزیع بهتر نور و کاهش تلفات آن فراهم می‌شود. زیرا ذرت که یک گیاه چهارکربنه است و برای حصول حداکثر میزان فتوسنتز خالص خود به تشعشعات بالاتری نسبت به گیاهان سه کربنه نیاز دارد، در لایه‌ی بالایی کانوپی قرار می‌گیرد و در چنین شرایطی اجازه نفوذ بخشی از نور به لایه‌های پایین‌تر کانوپی را می‌دهد که می‌تواند توسط سیب‌زمینی مورد استفاده قرار بگیرد.

نور یکی از مولفه‌های اصلی رشد و تولید زیست‌توده در گیاهان بوده، و تولید ماده خشک در شرایط بدون تنش بر اساس معادله زیر تابعی از زمان و تلفیقی از میزان تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری رشتهٔ فیزیولوژی گیاهان زراعی، استاد و دانشیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: E-mail: Agro_expert@yahoo.com)

(I)، کسری از تشعشع که توسط گیاه جذب می‌شود (F) و کارایی استفاده از تشعشع جذب شده در تبدیل به ماده خشک (E) می‌باشد (Tsubo et al., 2001).

$$Y= I. F. E$$

در گیاهان زراعی که عملکرد اقتصادی اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند، جزء شاخص برداشت (HI) نیز به معادله فوق اضافه می‌شود.

$$Y= I. F. E. HI$$

در بین عوامل ذکر شده میزان تشعشع قابل دسترس (I) تحت کنترل زارع نبوده و تابع عرض جغرافیایی، ارتفاع و ویژگی‌های اتمسفری منطقه مورد نظر می‌باشد (Emam & Seghateleslami, 2005). کسری از تشعشع فعال فتوسنتزی که توسط گیاه جذب می‌شود (F)، بسیار وابسته به شاخص سطح برگ و آرایش برگها در کانوپی بوده که اهمیت آرایش برگها در کانوپی، بیشتر از میزان شاخص سطح برگ می‌باشد (Zhang et al., 2008). افزایش شاخص سطح برگ امکان جذب بیشتر نور را فراهم می‌آورد و در گیاهانی که برگها آرایش عمودی‌تری دارند تشعشع موجود به میزان موثرتری جذب گیاه می‌شوند و چنین آرایشی اجازه می‌دهد تا مقادیر بیشتری نور به لایه‌های پایین‌تر کانوپی رسیده و فتوسنتز برگهای پایین کانوپی در بالاتر از نقطه جبران حفظ شود (Awal et al., 2006). بنابراین آرایش برگها در کانوپی بسیار مهم بوده و تغییر در ساختار کانوپی از طریق تغییر در زاویه برگها و بهبود آرایش عمودی آنها به همراه افزایش دوام سطح برگ راهی موثر برای افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد (Stewart et al., 2003).

مولفه سوم یا کارایی استفاده از نور بیانگر مقدار ماده خشک تولید شده به ازاء هر واحد نور جذب شده است و واحد آن گرم ماده خشک تولید شده بر مگاژول تشعشع جذب شده می‌باشد. در شرایط بدون تنش تولید ماده خشک در گیاه یک ارتباط خطی با میزان تشعشع جذب شده توسط گیاه دارد که شیب این ارتباط بیانگر کارایی مصرف نور می‌باشد (Zhang et al., 2008; John et al., 2005). اگرچه قبلاً اعتقاد بر این بود که کارایی مصرف نور ثابت و بیشتر از طریق ژنتیکی کنترل می‌شود (Monteith, 1977)، اما عوامل محیطی و عملیات مدیریتی نظیر تاریخ کاشت، تراکم و فواصل بوته‌ها، رقم، تغییرات آب و هوایی و حاصلخیزی خاک به ویژه نیتروژن قابل دسترس به سبب نقش ویژه‌ای که در فتوسنتز دارد، این عامل را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Rosati et al., 2004; Ceotto & Castelli, 2002; Akmal & Janssens, 2004). مونتیث (Monteith, 1977) گزارش کرد که کارایی مصرف نور می‌تواند نسبتاً ثابت باشد. وی این ضریب را برای گیاهان مختلف زراعی ۱/۴ گرم ماده خشک به ازاء هر مگاژول تشعشع جذب شده خورشیدی اعلام کرد. در حالیکه مطالعات دیگر نشان داده‌اند که این ضریب برای گونه‌های مختلف و شرایط مختلف رشدی تغییر می‌کند (Faurie et al., 2005; Kiniry et al., 1998; John et al., 2005).

یکی از مدیریت‌های 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 تاثیر 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، کارایی مصرف نور 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 (مثل کشتهای تاخیری، برتری زمانی) یا در نتیجه پوشش بیشتر سطح خاک (برتری مکانی) سبب افزایش بهره‌وری سیستم‌های زراعی می‌شوند (Zhang et al., 2008). 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 به نسبت تک‌کشتی بیشتر می‌شود. همین مسئله به تنهایی می‌تواند سبب افزایش عملکرد گردد، اگرچه ممکن است کارایی مصرف نور تحت تاثیر قرار نگرفته و یا حتی در مواردی نیز دچار کاهش گردد. این مطالعه نیز با هدف ارزیابی میزان جذب و کارایی مصرف نور گیاهان ذرت و سیب زمینی در کشت مخلوط انجام گرفته است.

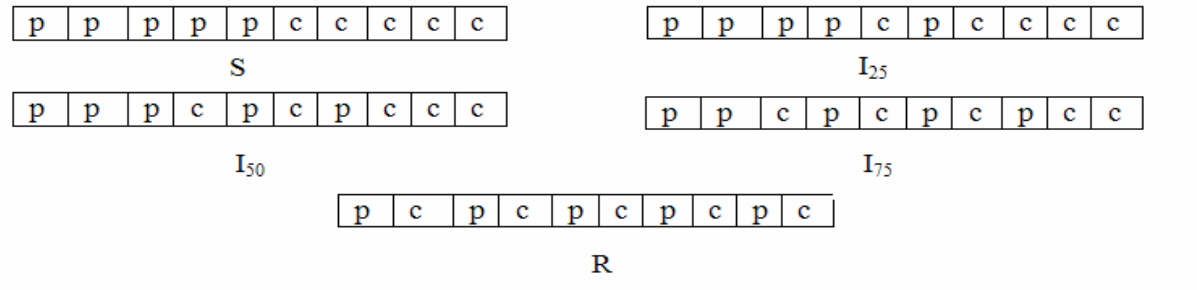
مواد و روش‌ها

مشخصات محل اجرای آزمایش

آزمایش در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد (عرض جغرافیایی: ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی: ۵۶ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا: ۹۸۵ متر) انجام شد. متوسط بارندگی سالیانه ۲۸۶ میلی‌متر و حداکثر و حداقل دمای مطلق سالانه در این منطقه به ترتیب ۴۲ و ۲۷/۸- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. آب و هوای منطقه بر اساس روش آمبرژه سرد و خشک می‌باشد.

طرح آماری و تیمارهای آزمایش

آزمایش با هفت تیمار و سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل: MC (تک‌کشتی ذرت)، MP (تک‌کشتی سیب‌زمینی)، S (کشت نواری)، I_{25}، I_{50}، I_{75} (به ترتیب با ۲۵٪ ، ۵۰٪ و ۷۵٪ همپوشانی ردیف‌های ذرت و سیب‌زمینی در تیمار نواری) و R (کشت مخلوط ردیفی) بودند (شکل ۲-۱). بدین ترتیب از همپوشانی ردیف‌ها در تیمار کشت مخلوط نواری، کشت مخلوط ردیفی حاصل شد.



شکل ۱ – نقشه تیمارهای کاشت در مزرعه
Fig. 1- Treatments scheme in field

عملیات مزرعه‌ای

کشت دو گیاه ذرت (هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴) و سیب زمینی (رقم آگریا) در ۲۰ اردیبهشت به وسیلهٔ دست و به صورت خشکه‌کاری هم‌زمان انجام شد. فاصله بین ردیف‌ها (۷۵ سانتی‌متر) و روی ردیف‌ها (۲۵ سانتی‌متر) برای هر دو گیاه و در تمام تیمارها، برابر در نظر گرفته شد. هر کرت آزمایش شامل ۱۰ پشته با فاصلهٔ ۷۵ سانتی متر از همدیگر و طول ۴ متر بود. در نتیجه تراکم کل تیمارهای آزمایش حدود ۵۳۳۳۳ بوته در هکتار بدست آمد، که در تمام تیمارهای مخلوط نصف این تراکم (۲۶۶۶۶ بوته در هکتار) مربوط به ذرت و نصف دیگر مربوط به سیب‌زمینی بود. ذرت به صورت کپه‌ای در عمق ۴ تا ۵ سانتی‌متری کشت شد. در هر کپه ۳ بذر قرار داده شد که پس از سبز شدن، عملیات تنک انجام گرفت و در هر کپه یک بوته باقی ماند. غده‌های یک‌دست سیب‌زمینی (متوسط وزن غده‌ها؛ ۱۰ ± ۷۰ گرم) نیز در عمق ۸ تا ۱۰ سانتی‌متری کشت شدند. اولین آبیاری دو روز بعد از کاشت شروع، و تا آخر فصل رشد هر هشت روز یکبار آبیاری انجام شد. در طول فصل رشد علف‌های هرز مزرعه به صورت دستی کنترل شدند و با هدف اجرای یک سیستم کم‌نهاده از نظر مواد شیمیایی، تا آخر فصل رشد از هیچ‌گونه کود شیمیایی و یا آفت‌کش استفاده نشد. برداشت هر دو گیاه در تاریخهای ۲۷ و ۲۸ شهریور ماه صورت گرفت.

داده‌برداری در طول فصل رشد و محاسبات

نمونه‌گیری‌های تخریبی

از یک ماه پس از کاشت تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، نمونه‌ها به صورت تصادفی (در هر کرت و برای هر کدام از گیاهان دو بوته) به فواصل تقریبی دو هفته یکبار جهت محاسبات تغییرات سطح برگ و وزن خشک، برداشت شد. برای سطح برگ از دستگاه Leaf Area Meter (مدل LiCor) استفاده شد و جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت زمان کافی قرار می‌گرفتند.

محاسبه کارایی مصرف نور

برآورد مقادیر LAI روزانه از طریق برازش معادله زیر بدست آمد.

y = a + b * 4 * (exp(-(x-c)/d))/(1+exp(-(x-c)/d))^2

که a: عرض از مبداء، b: زمان رسیدن به حداکثر LAI ، c: حداکثر LAI و d: نقطه عطف منحنی که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود.

میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی مشهد به روش ارائه شده توسط گودریان و وان لار (Gouadriaan & Van Laar 1993) محاسبه گردید. سپس این مقادیر بر اساس تعداد ساعات آفتابی استخراج شده از داده‌های ایستگاه هواشناسی مرکز اقلیم‌شناسی خراسان (Khorasan Razavi Meteorology Organization, 2007) اصلاح و نور جذب شده روزانه برای هر دو گونه بر اساس معادلات ۱ تا ۳ محاسبه شد (Tsubo et al., 2005).

$$I_i = I_0 \left(1 - \exp^{\left((-K_p L_p)+(-K_c L_c)\right)}\right) \quad (۱$$

$$I_c = I_i \left(\frac{(k_c L_c)}{\left((K_c L_c)+(K_p L_p)\right)}\right) \quad (۲$$

$$I_p = I_i - I_c \quad (۳$$

I_0: مقدار تشعشع رسیده به بالای کانوپی، Ii: مقدار تشعشع جذب شده در کل مخلوط، Ic: مقدار تشعشع جذب شده توسط ذرت، Ip: مقدار تشعشع جذب شده توسط سیب‌زمینی، k_c: ضریب خاموشی نور ذرت که ۰/۶ منظور شد (Boons-Prinz et al., 1993)، k_p: ضریب خاموشی نور سیب‌زمینی که ۰/۸ منظور شد. در منابع ضریب خاموشی نور برای سیب‌زمینی ۰/۷ (Haj-Sayyed-Hadi, 2006)، ۰/۵۷ تا ۰/۷ (Caldiz et al., 2002) و ۱ (Boons-Prinz et al., 1993) گزارش شده است. لذا در این آزمایش به طور میانگین ۰/۸ برای سیب‌زمینی در نظر گرفته شد. L_c: شاخص سطح برگ ذرت، L_p:

شاخص سطح برگ سیب‌زمینی.

سپس تشعشع جذب شده در هر مرحله از حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در درصد نور جذب شده بدست آمد. نهایتاً مقدار کل تشعشع جذب شده به صورت تجمعی از طریق حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در انتگرال کسر PAR جذب شده نسبت به زمان محاسبه گردید. کارایی مصرف نور از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک (گرم بر متر مربع) و میزان تشعشع تجمعی (مگاژول بر متر مربع) محاسبه شد.

نتایج و بحث

کارایی مصرف نور ذرت

نتایج آزمایش نشان داد که در تمام تیمارها، تجمع ماده خشک ذرت ارتباط خطی با تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) تجمعی داشت و در همه موارد ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹ بود (شکل ۲). شیب این ارتباط بیانگر کارایی مصرف نور می‌باشد که میانگین آن در طول فصل رشد از ۲/۶۵ در تیمار کشت خالص تا ۳/۲۷ گرم بر مگاژول در تیمار کشت مخلوط ردیفی متغیر بود و کارایی مصرف نور سایر تیمارها حد واسط این دو تیمار بود (شکل ۲).

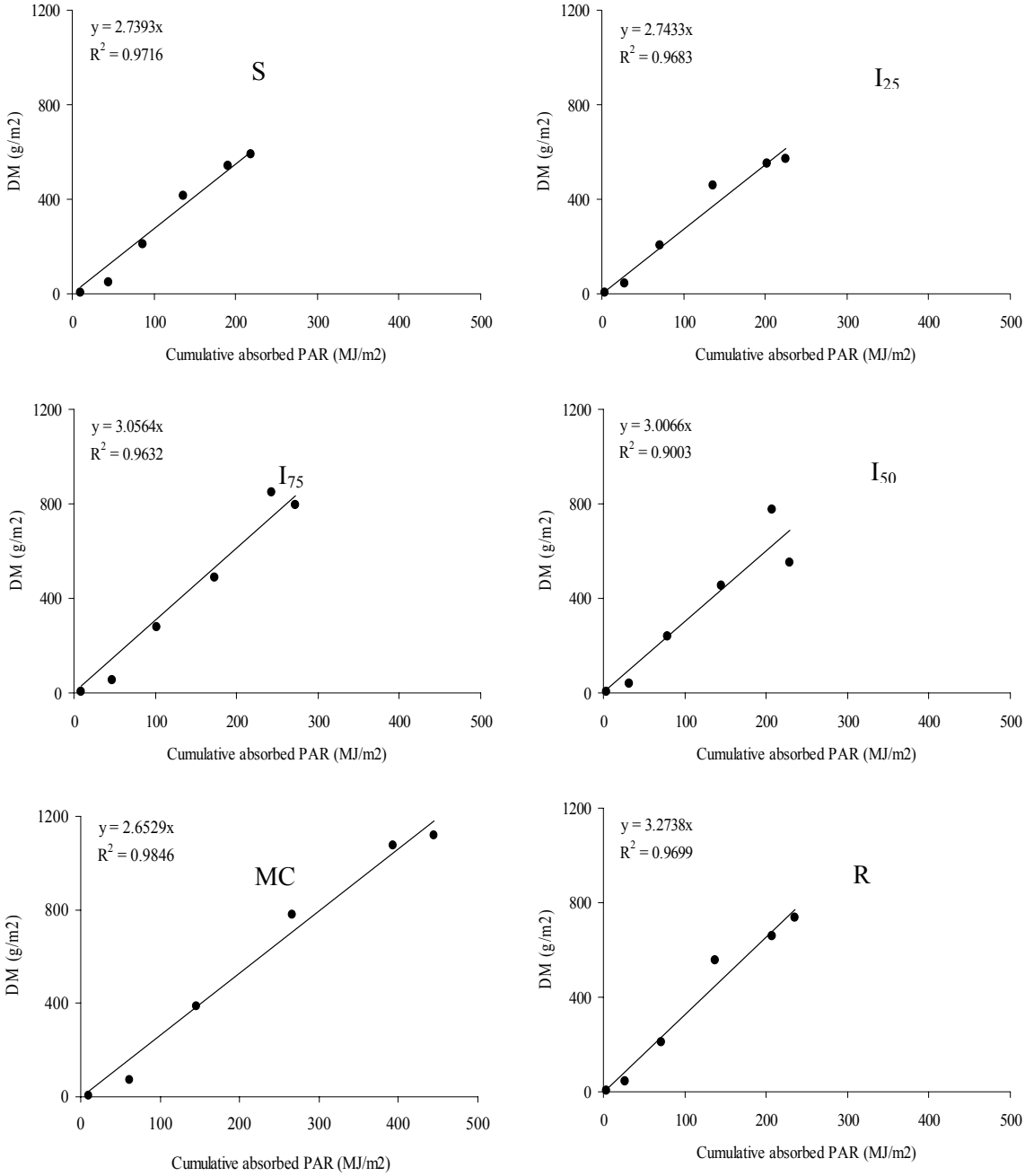
مقادیر کارایی مصرف نور در این آزمایش تا حدودی مشابه با مقادیر گزارش شده در سایر آزمایشات می‌باشد. Kiniry et al. (1998) دریافتند که میانگین کارایی مصرف نور ذرت در شرایط بدون تنش پیش از پر شدن دانه معادل ۳/۵ گرم به ازاء هر مگاژول انرژی دریافتی توسط سایه‌انداز، با ۱۹٪ ضریب تغییرات بود. از طرفی Tollenaar & Aguilera (1992) گزارش کردند که کارایی مصرف نور در خلال پر شدن دانه در یک هیبرید ذرت اصلاح شده ۳ گرم بر مگاژول بود. جان و همکاران (John et al., 2005) نیز کارایی مصرف نور ذرت را تحت شرایط مطلوب رشدی ۳/۷ گرم به ازاء هر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی گزارش کردند. در شرایط آب و هوایی مشهد نیز، بهشتی و همکاران (Beheshti et al., 2002) در مقایسهٔ تاثیر آرایش‌های مختلف کاشت بر کارایی مصرف نور ارقام مختلف ذرت، نتیجه گرفتند که بالاترین مقدار کارایی مصرف نور (۳/۸ گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی) در آرایش مربعی و در ۸۵ روز پس از کاشت بدست آمد و میانگین کارایی مصرف نور ارقام مختلف ذرت در طول فصل رشد از ۲/۴۲ تا ۲/۶۸ گرم بر مگاژول متغیر بود.

اختلافاتی که بین اعداد گزارش شده در آزمایشات مختلف وجود دارد ناشی از تاثیر عوامل مختلف محیطی و مدیریتی از قبیل دما، میزان رطوبت قابل دسترس، میزان تشعشع محل مورد آزمایش، تراکم، حاصلخیزی خاک و عوامل دیگر بر کارایی مصرف نور می‌باشد (Rosati et al. 2004; Ceotto & Castelli, 2002; Akmal & Janssens, 2004). در این آزمایش نیز با هدف اجرای کشت مخلوط در قالب یک سیستم کم‌نهاده از نظر مواد شیمیایی، از کودهای شیمیایی استفاده نگردید و این مسئله سبب شد که در مراحل آخر فصل رشد علائم کلروزه ناشی از کمبود نیتروژن در گیاه مشاهده شود و از آنجا که نیتروژن نقش مهمی در فرایند فتوسنتز دارد و کارایی مصرف نور نیز تحت تاثیر آن قرار می‌گیرد، لذا به احتمال زیاد کمبود نیتروژن در مراحل آخر فصل رشد سبب شد که مقادیر کارایی مصرف نور در این آزمایش تا حدودی پایین‌تر از آزمایشات دیگران باشد.

کارایی مصرف نور ذرت در تیمارهای مخلوط بیشتر از تک‌کشتی بود (شکل ۲). یک دلیل احتمالی برای این مسئله افزایش فاصله ردیف‌های ذرت در تیمارهای مخلوط بود که سبب توزیع بهتر نور در کانوپی آن شد. این نتیجه‌گیری از آنجا ناشی شد که هر چه مخلوط از آرایش ردیفی، که فاصله ردیف‌های ذرت در آن دو برابر کشت خالص بود، به سمت آرایش نواری، که فاصله ردیف‌های ذرت در آن مشابه تک‌کشتی بود، تمایل پیدا کرد (یعنی به ترتیب تیمار کشت مخلوط ردیفی، I_{75}، I_{50}، I_{25}، و کشت مخلوط نواری) کارایی مصرف نور نیز به تدریج کاهش یافت، زیرا تعداد ردیف‌هایی که فاصله آنها دو برابر کشت خالص شد کاهش پیدا کرد. به گونه‌ای که نهایتاً تیمار کشت مخلوط ردیفی بیشترین (۳/۲۷) و تیمار کشت مخلوط نواری کمترین (۲/۷۳ گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی) مقدار کارایی مصرف نور را داشتند (شکل ۲).

مطالعات قبلی (Awal et al. 2006; Tsubo & Walker, 2002) نشان داده بودند که در مخلوط ذرت با گیاهانی که ارتفاع کمتری از ذرت دارند، ساختار هندسی کانوپی ذرت و میزان جذب نور آن تحت تاثیر گیاه همراه قرار نمی‌گیرد. چون ذرت گیاه غالب بوده و بخش عمده جذب نور خود را در لایه‌های بالای کانوپی گیاه همراه جذب می‌کند. نامبردگان گزارش کردند که کارایی مصرف نور ذرت در مخلوط مشابه با تک‌کشتی بود که مغایر با نتایج این آزمایش می‌باشد. یک دلیل احتمالی برای این مسئله این است که در آزمایش آنها گیاهان همراه به صورت افزایشی با ذرت مخلوط شدند و در نتیجه فاصله ردیف‌های ذرت در تیمارهای مخلوط مشابه با تک‌کشتی بود و از آنجا که جذب نور آن تحت تاثیر گیاه همراه قرار نمی‌گیرد بنابراین تشابه کارایی مصرف نور در مخلوط و تک‌کشتی دور از انتظار نیست. اما در این آزمایش هر چه مخلوط از آرایش نواری به سمت ردیفی تمایل پیدا کرد تعداد ردیفهایی که فاصله آنها از هم دو برابر کشت خالص شد، افزایش یافت و این مسئله سبب توزیع بهتر نور در کانوپی شد و به احتمال زیاد کارایی مصرف نور در اثر همین عامل، در مخلوط افزایش پیدا کرد.

بهشتی و همکاران (Beheshti et al., 2002) نیز گزارش کردند که توزیع بهتر نور در کانوپی سبب افزایش کارایی مصرف نور می‌شود.



شکل ۲- ارتباط بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی جذب شده و وزن خشک ذرت در تیمارهای مخلوط

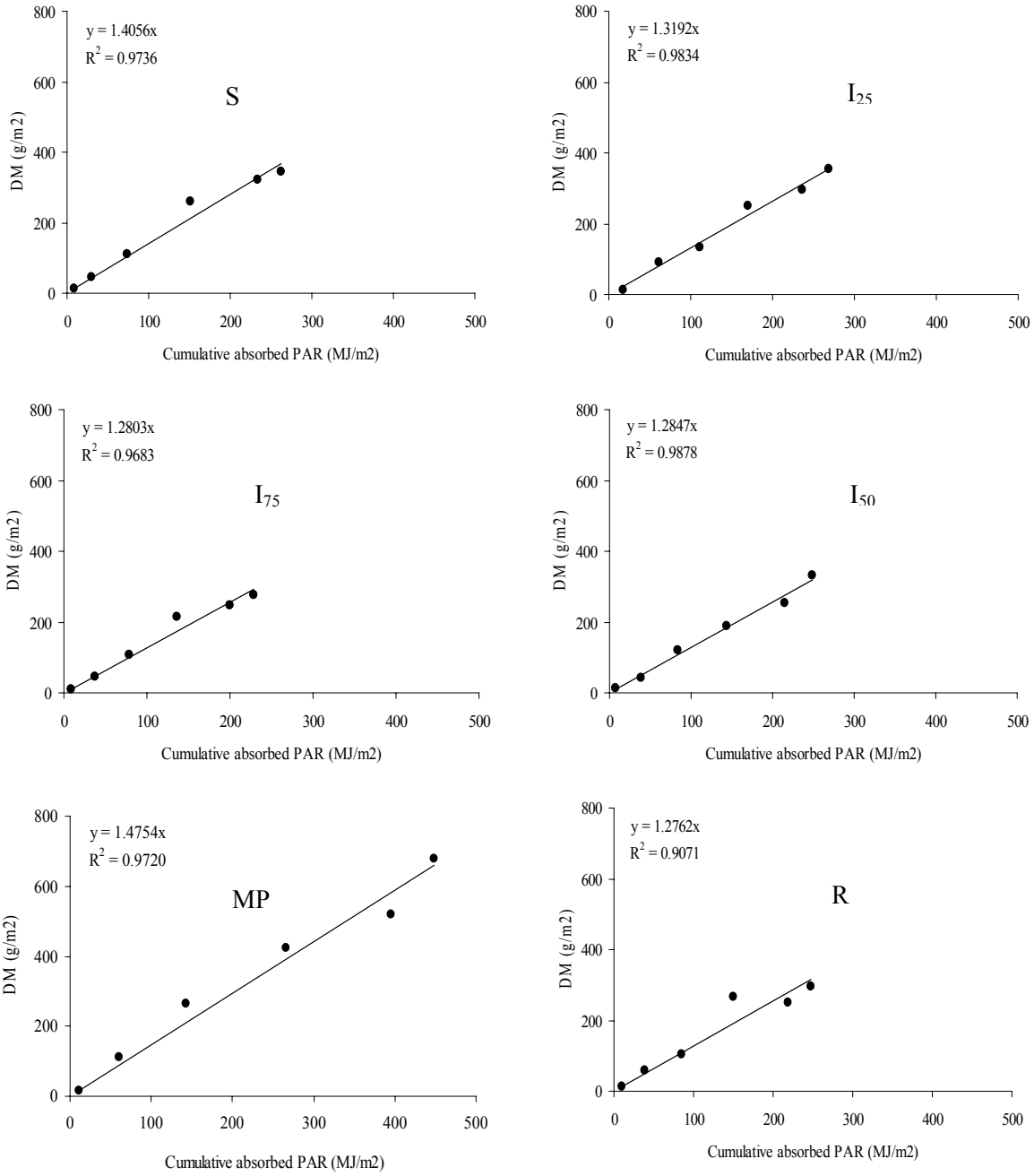
Fig. 2- Relationship between cumulative absorbed PAR and corn dry matter in intercropping treatments.

در آزمایش‌هایی نیز کاهش کارایی مصرف نور در مخلوط نسبت به تک‌کشتی گزارش شده است (Tsubo et al., 2001). این مسئله نشان می‌دهد که عوامل مختلفی کارایی مصرف نور را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

کارایی مصرف نور سیب‌زمینی

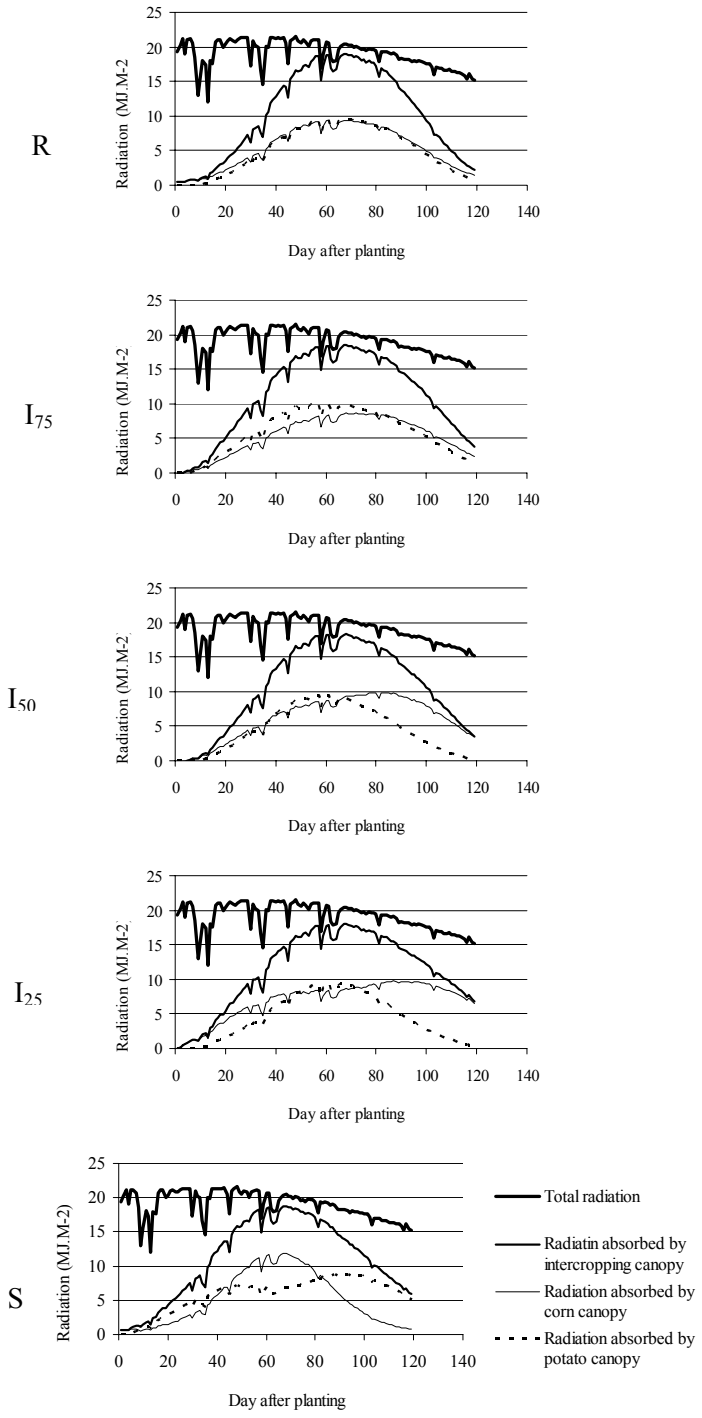
نتایج نشان داد که در تمام تیمارها ارتباط بین تولید ماده خشک سیب‌زمینی و تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی به صورت خطی بود و در همه موارد ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹ بود (شکل ۳). کمترین و بیشترین مقدار کارایی مصرف نور به ترتیب مربوط به تیمار کشت مخلوط ردیفی (۱/۲۷) و کشت خالص (۱/۴۷ گرم بر مگاژول) بود (شکل ۳). این مقادیر مشابه با نتایج بدست آمده توسط اپکو-آمیا و هاریس (Opeku-Ameyaw & Harris, 2001) در مطالعه کشت

مخلوط سیب‌زمینی و کاهو بود که مقادیر کارایی مصرف نور در آزمایش آنها نیز بین ۰/۸۶ و ۱/۴۳ گرم بر مگاژول حاصل شد. در برخی منابع (Emam & Seghateleslami, 2005) اشاره شده که کارایی مصرف نورسیب‌زمینی در شرایط بدون تنش بین ۲ تا ۳ گرم به ازاء مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی با میانگین ۲/۵ متغییر است.



شکل۳- ارتباط بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی جذب شده و وزن خشک سیب‌زمینی در تیمارهای مخلوط

Fig. 3- Relationship between cumulative absorbed PAR and potato dry matter in mono and intercrop treatments



شکل ٤- میزان تشعشع کل و تشعشع جذب توسط کانوپی مخلوط، سیب‌زمینی و ذرت در تیمارهای مخلوط

Fig. 4- Amount of total radiation and absorbed radiation by intercrop, corn and potato canopy during growing season.

بوته‌های سیب‌زمینی در این آزمایش در معرض دو تنش عمده سایه و کمبود نیتروژن بودند که این مسئله سبب کاهش کارایی مصرف نور آن شد. در بخشهای قبلی ذکر شد که مقدار تشعشع رسیده به کانوپی سیب‌زمینی در تمام تیمارهای مخلوط کمتر از ۵۰٪ کل تشعشع موجود بود (شکل ۴) که این مسئله سبب کاهش قابل توجه زیست‌توده سیب‌زمینی شد. کاهش تشعشع سبب کاهش

اسیمیلاسیون CO_2 و در نتیجه کاهش تولید کربوهیدراتها در سیب-زمینی می‌شود (Nachigera et al., 2008; Sale, 1976; Chen & Setter, 2003).

میدمور و همکاران (Midmore et al., 1988) نشان دادند که تجمع بیشتر وزن خشک به ازاء هر واحد تشعشع جذب شده در ۷۵٪ تشعشع کامل بیشتر از تشعشع کامل بود ولی کاهش تشعشع در کانوپی سیب‌زمینی به نصف تشعشع موجود سبب شد که نسبت بیشتری از برگهای سیب‌زمینی در زیر نقطه جبران قرار گیرند و همین مسئله باعث کاهش کارایی تبدیل گیاه شد. نامبردگان گزارش کردند که زمانیکه میزان کاهش تشعشع رسیده به کانوپی سیب‌زمینی در اثر سایه‌اندازی ذرت بیشتر از ۲۵٪ نباشد، کارایی مصرف نور نه تنها دچار کاهش نمی‌شود بلکه بهبود نیز پیدا می‌کند، زیرا سیب‌زمینی در مناطق گرم از تشعشع بالا به نحو موثری استفاده نمی‌کند و سایه-اندازی مناسب در این مناطق سبب تعدیل میکروکلیما و در نتیجه بهبود شرایط رشدی سیب‌زمینی می‌شود.

کومان و هاور کرت (Kooman & Haverkort, 1995) نیز گزارش کردند که در دماهای بالای ۲۰ درجه سانتیگراد افزایش هر درجه سانتیگراد دما، کارایی مصرف نور را به میزان ۰/۰۲ گرم بر مگاژول کاهش می‌دهد. بنابراین بالا بودن دمای منطقه مشهد، که بر اساس گزارش سازمان هواشناسی، گاهاً از مرز ۴۰ درجه سانتی‌گراد هم می‌گذرد (Khorasan Razavi Meteorology Organization, 2007)، نیز می‌تواند یکی از دلایل کاهش کارایی مصرف نور سیب-زمینی در این آزمایش باشد.عامل دیگری که به احتمال زیاد سبب کاهش کارایی مصرف نور سیب‌زمینی در این آزمایش شد کمبود نیتروژن بود زیرا همانطوری که قبلاً اشاره شد چون در این آزمایش از کودهای شیمیایی استفاده نگردید، علائم کمبود نیتروژن مخصوصاً در اواخر فصل رشد مشاهده شد. این نتیجه‌گیری از آنجا ناشی شد که کارایی مصرف نور سیب‌زمینی در تک‌کشتی که تحت تاثیر سایه نبود، نیز پایین بود. البته در کل کارایی مصرف نور در تک‌کشتی بیشتر از تیمارهای مخلوط بود و همانطور که اشاره شد سایه ایجاد شده توسط ذرت در تیمارهای مخلوط سبب کاهش بیشتر کارایی مصرف نور نسبت به تک‌کشتی شد. کاهش کارایی مصرف نور در اثر کمبود نیتروژن در مطالعات قبلی گزارش شده است (Ceotto & Castelli, 2002; Akmal & Janssens, 2004).

به طور کلی هرچه آرایش مخلوط از نواری به سمت ردیفی تمایل پیدا کرد (یعنی به ترتیب تیمارهای I_{25}، I_{50}، I_{75} و کشت مخلوط ردیفی) تعداد ردیف‌های بیشتری از سیب‌زمینی در زیر سایه مستقیم ذرت قرار گرفت و به احتمال زیاد این مسئله سبب کاهش تدریجی کارایی مصرف نور شد، به گونه‌ای که در بین تیمارهای مخلوط، تیمار کشت مخلوط نواری و کشت مخلوط ردیفی به ترتیب بیشترین (۱/۴) و کمترین (۱/۲۷ گرم بر مگاژول) مقدار کارایی مصرف نور را داشتند (شکل ۳). اپکو-آمیا و هاریس (Opeku-Ameyaw & Harris, 2001) نیز در کشت مخلوط سیب‌زمینی و کاهو (*Lactuca sativa* L.) گزارش کردند که کارایی مصرف نور سیب‌زمینی در مخلوط نسبت به تک‌کشتی کاهش یافت. که دلیل آن رقابت بین گونه‌ها بر سر آب و عناصر غذایی ذکر گردید.

در آزمایشهای دیگری که گیاهان C_3 مثل بادام‌زمینی و لوبیا با ذرت مخلوط شدند کارایی مصرف نور گیاهان در مخلوط، نسبت به تک‌کشتی افزایش پیدا کرد (Awal et al., 2006; Tsubo & Walker, 2002)، که بر خلاف نتایج این آزمایش می‌باشد. یک دلیل احتمالی برای این اختلاف این است که نامبردگان آزمایش را در شرایط مطلوب از نظر تامین نهاده، مخصوصاً کود انجام دادند، بعلاوه گیاهان همراه ذرت در آزمایش آنها از گیاهان بقولات می‌باشد که از نظر تامین نیتروژن، به عنوان عنصر اصلی محدودکننده فتوسنتز خودکفا هستند اما این آزمایش در شرایط کم‌نهاده از نظر کودهای شیمیایی اجرا گردید و توام بودن سایه و کمبود نیتروژن سبب کاهش کارایی مصرف نور سیب‌زمینی شد.

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که کارایی مصرف نور ذرت در تمام تیمارهای مخلوط نسبت به تک‌کشتی افزایش پیدا کرد، در حالیکه کارایی مصرف نور سیب‌زمینی در کشت مخلوط کمتر بود. به نظر می‌رسد که افزایش فاصله ردیف‌های ذرت در مخلوط سبب توزیع بهتر نور و در نتیجه افزایش کارایی مصرف نور ذرت گردید. اما سایه‌اندازی بیش از حد ذرت روی سیب‌زمینی سبب کاهش کارایی مصرف نور آن شد. دلیل دیگری که سبب کاهش کارایی مصرف نور هر دو گیاه در مقایسه با آزمایشات دیگران شد، کمبود نیتروژن مخصوصاً در اواخر فصل رشد بود که با علائم کلروزه برگها نمایان شد. و این مسئله به وضوح نشان میدهد که اگرچه کارایی مصرف نور پیشتر به عنوان یک فاکتور ژنتیکی مطرح بود اما بسیار تحت تاثیر شرایط محیطی و مدیریتی قرار می‌گیرد. نهایتاً اینکه زمانیکه سیب زمینی با گیاهان سایه‌اندازی مثل ذرت مخلوط می‌شود، تراکم گیاه سایه‌انداز نباید از حدی فراتر رود که سبب کاهش شدید فتوسنتز گردد. بدیهی است که اگر سایه‌اندازی به اندازه‌ای نباشد که برگ‌های پایین سیب‌زمینی زیر نقطه جبران نوری قرار بگیرند، می‌توان امیدوار بود که هم کارایی مصرف نور و هم عملکرد افزایش یابد. زیرا کارایی گیاه در استفاده از هر واحد تشعشع در شدتهای پایین نور بیشتر از شدتهای بالاست. این مسئله مخصوصاً در مناطقی که دمای هوا در طول فصل رشد بیشتر از حد مطلوب است اهمیت بیشتری دارد.

منابع

1- Akmal, M., and Janssens, M.J.J. 2004. Productivity and light use efficiency of perennial ryegrass with contrasting water and nitrogen supplies. Field Crops Research 88:143-155.
2- Awal, M.A., Koshi, H., and Ikeda, T. 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. Agricultural and Forest Meteorology 139:74-83.
3- Beheshti, A., Koocheki, A., and Nassiri Mahalati, M. 2002. The effect of planting pattern on light interception and radiation use efficiency in canopy of three maize cultivars. Nahal and Bazr 18(4):417-431. (In Persian with English Summary).
4- Boons-prinz, E.R., De Koning, G.H.J., Van Diepen, C.D., and Penning De Vries, F.W.T. 1993. Crop specific simulation parameters for yield forecasting across the European Community. Simulation Reports, CABO-TT, no: 32.
5- Caldiz, D.O., Haverkort, A.J., and Struik, P.C. 2002. Analysis of a complex crop production system in interdependent agro-ecological zones: a methodological approach for potatoes in Argentina. Agricultural Systems 73: 297–311.
6- Ceotto, E., and Castelli, F. 2002. Radiation use efficiency in flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.): response to nitrogen supply, climatic variability and sink limitation. Field Crops Research 74:117-130.
7- Chen, C.T., and Setter, T.L. 2003. Response of tuber cell division and growth to shade and elevated Co_2. Annals of Botany 91: 373-381.
8- Ebwongu, M., Adipala, E., Kyamanywa, S., Ssekabembe, C.K., and Bhagsari, A.S. 2001b. Effect of intercropping maize and solanum potato on yield of the component crops in central Uganda. African Crop Science Journal 9(1):83-96.
9- Emam, Y., and Seghateleslami, M.J. 2005. Crop Yield: Physiology and Processes. Shiraz University Press, Shiraz. 593 pp. (In Persian with English summary)
10- Faurie, O., Soussana, J.F., and Sinoquet, H. 1996. Radiation interception, partitioning and use in gross-clover mixtures. Annals of Botany 77:35-45.
11- Goudriaan, J., and Van Laar, H.H. 1993. Modelling Potential Crop Growth Processes. Kluwer Academic Press.
12- Haj-Sayyed-Hadi, M.R. 2006. Radiation use efficiency and its relation with potato-weeds competition. PhD dissertation, Faculty of Agriculture, Islamic University of Science and Research Campus, Iran. (In Persian with English Summary).
13- John, L.L., Timothy, J.A., Daniel, T.W., Kenneth, G.C., and Achim, D. 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. Agronomy Journal 97: 72-78.
14- Khajeh-Pour, M.R. 2004. Industrial Plants (Second Edition). J.had Daneshgahi Press, Isfahan. 564 pp. (In Persian).
15- Khorasan Razavi Meteorological Organization. 2007. Statistics Report database. Available at Web site http://www.razavimet.gov.ir/pages.aspx?pageID=95 (verified at 10 may 2007).
16- Kiniry, J.R., Landivar, J.A., Witt, M., Gerik, T.J., and Wade, L.J. 1998. Radiation use efficiency response to vapor pressure deficit for maize and sorghum. Field Crops Research 56: 265-270.
17- Kooman, P.L., and Haverkort, A.J. 1995. Modelling development and growth of the potato crop influenced by temperature and daylength: In. Smith, D.L., and Hamel, C. 2005. Crop Yield (Physiology and Processes), Translate by Emam, Y., and Seghateleslami, M.J. Shiraz University Press, pp. 376.
18- Krauss, A., and Marschner, H. 1984. Growth rate and carbohydrate metabolism of potato tubers exposed to high temperature. Potato Research 27: 297-303.
19- Midmore, D.J. 1990. Scientific basis and scope for further improvement of intercropping with potato in the tropics. Field Crops Research 25: 3-24.
20- Midmore, D.J., Berrios, D., and Roca, J. 1986a. Potato (*Solanum* spp.) in the hot tropics. II. Soil temperature and moisture modification by mulch in contrasting environments. Field Crops Research 15: 97-108.
21- Midmore, D.J., Berrios, D., and Roca, J. 1988b. Potato (*Solanum* spp.) in the hot tropics. V. Intercropping with maize and the influence of shade on tuber yield. Field Crops Research 18: 159-176.
22- Midmore, D.J., Roca, J. and Berrios, D. 1986b. Potato (*Solanum* spp.) in the hot tropics. III. Influence of mulch on weed growth, crop development and yield in contrasting environments. Field Crops Research 15: 109-124.
23- Midmore, D.J., Roca, J. and Berrios, D. 1988a. Potato (*Solanum* spp.) in the hot tropics. IV. Intercropping with maize and the influence of shade on potato microenvironment and crop growth. Field Crops Research 18: 141-157.
24- Monteith, J.L. 1977. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. Journal of Applied Ecology 9: 747-766.
25- Nachigera, G.M., Ledent, J.-F., and Draye, X. 2008. Shoot and root Competition in potato/maize intercropping: effects on growth and yield. Environmental and Experimental Botany 64(2): 180-188.
26- Opoku-Ameyaw, K., and Harris, P.M. 2001. Intercropping potatoes in early spring in a temperate climate. 2:

Radiation utilization. Potato Research 44: 63-74.
27- Rosati, A., Metcalf, S.G., and Lampinen, B.D. 2004. A simple method to estimate photosynthetic radiation use efficiency of canopies. Annals of Botany 93: 567-574.
28- Sale, P.J.M. 1976. Effect of shading at different times on the growth and yield of the potato. Australian Journal of Agricultural Research 27: 557-566.
29- Stewart, D.W., Costa, C., Dwyer, D.L., Smith, R.I., and Hamliton, B.L. 2003. Canopy structure, light interception and photosynthesis in maize. Agronomy Journal 95: 1465-1474.
30- Tollenaar, M., and Aguilera, A. 1992. Radiation use efficiency of an old and a new maize hybrid. Agronomy Journal 84:536-541.
31- Tsubo, M., and Walker, S. 2002. A model of radiation interception and use by a maize/bean intercrop canopy. Agricultural and Forest Meteorology 110:203-215.
32- Tsubo, M., Walker, S., and Mukhalam, E. 2001. Comparison of variation use efficiency of mono/inter-cropping systems with different row orientations. Field Crops Research 71: 17-29.
33- Tsubo, M., Walker, S., and Ogindo, H.O. 2005. A simulation model of cereal–legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. Field Crops Research 93:10-22.
34- Vander Zaag, P., and Demagante, A.C. 1990. Potato (*Solanum* spp.) in an isohyperthermic environment. V. Intercropping with maize. Field Crops Research 25:157-170.
35- Zhang, L., Vander Werf, W., Bastiaans, L., Zhang, S., Li, B., and Spiertz, J.H. 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. Field Crops Research 107: 29-42.