نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۸، شماره ۶ ، بهمن - اسفند ۱۳۸۹، ص ۸۹۰-۸۷۸

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 8, No. 6, Jan. – Feb. 2011, p. 878-890

کارآیی جذب و مصرف نور در کشت مخلوط تأخیری و کشت متوالی گندم زمستانه و ذرت

مهدی نصیری محلاتی*[۱]- علیرضا کوچکی[۲]- محسن جهان[۳]

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۱/۲
تاریخ پذیرش: ۸۸/۳/۱۹

چکیده

در اغلب مناطق کشور همزمان بودن تاریخ کاشت محصولات بهاره با دوره پر شدن دانه در غلات پاییزه مشکلاتی را در تنظیم تاریخ کاشت در بهار ایجاد کرده بعلاوه رقابت دو محصول برای آب نیز بر این مشکلات خواهد افزود. در این پژوهش استفاده از کشت مخلوط تأخیری دو محصول پاییزه و بهاره بعنوان راهکاری برای این مسئله مورد بررسی قرار گرفت. چهار تیمار مخلوط با نسبت‌های ۳:۱، ۳:۲، ۴:۲ و ۶:۲ (ذرت:گندم) همرا با کشت خالص گونه ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار به اجرا در آمد. بذور ذرت بر روی ردیف‌های از پیش آماده شده بین ردیف‌های گندم و در فاصله ۳۲ روز قبل از برداشت گندم کشت شدند. در طی دوره رشد گونه ها در تمامی تیمارهای آزمایش شاخص سطح برگ، میزان تشعشع عبور کرده از کانوپی، میزان تولید ماده خشک و در نهایت عملکرد در واحد سطح اندازه گیری شد. با استفاده از این داده ها میزان تشعشع جذب شده توسط هر گونه در طی دوره رشد، کارآیی مصرف نور، شاخص برداشت و نسبت برابری زمین محاسبه گردید. نتایج نشان داد که تشعشع جذب شده توسط کانوپی در کشت‌های مخلوط تأخیری به میزان قابل توجهی نسبت به کشت‌های خالص بهبود یافت؛ در حالیکه کارآیی مصرف نور گونه تحت تأثیر مخلوط تغییر نکرد. مشابه کشت‌های خالص بود. مقایسه مقادیر نسبت برابری زمین نشان داد که عملکرد مخلوط‌های تأخیری در مقایسه با کشت‌های خالص بین ۲۷ تا ۳۱ درصد افزایش یافت و این افزایش عمدتاً ناشی از جذب بهتر نور در کانوپی مخلوط بود. با وجودی که تأثیر عرض نوارهای گندم بر عملکرد مخلوط‌های تأخیری چندان بارز نبود؛ ولی در مجموع بهترین نتیجه در مخلوط ۳:۲ (ذرت:گندم) بدست آمد. بر اساس یافته‌های این تحقیق به نظر می‌رسد که استفاده از مخلوط‌های تأخیری راهکار مناسبی برای استفاده بهتر از منابع و افزایش عملکرد در مقایسه با کشت متوالی گونه‌های پاییزه و بهاره باشد.

واژه‌های کلیدی: کشت مخلوط تأخیری، جذب تشعشع، کارآیی مصرف نور، رقابت، نسبت برابری زمین، عملکرد

مقدمه

کشت مخلوط یا زراعت همزمان دو یا چند محصول در یک زمین از جمله قدیمی‌ترین نظام‌های زراعی جهان محسوب می‌شود که از نظر تاریخی در مناطق گرم و مرطوب پیدایش و تکامل یافته است (۱۵). مطالعات گسترده در مورد این نوع زراعت نشان داده است که کارآیی بالاتر استفاده از نهاده ها (نور، آب و مواد غذایی) مهمترین ویژگی کشت‌های مخلوط بوده (۲۱ و۴۲) بعلاوه امکان کنترل علفهای هرز (۱۲)، کاهش خسارت آفات و بیماری ها (۳۵) و افزایش تنوع زیستی (۳ و ۵)، خصوصیات کارکردی منحصر بفردی را فراهم می‌سازد؛ که باعث شده این نوع نظام‌های زراعی قرن ها در کشاورزی معیشتی نقش مهمی‌در تأمین مواد غذایی داشته باشند (۴۰) و در حال حاضر نیز جایگاه خاصی را در طراحی بوم نظام‌های زراعی پایدار به خود اختصاص دهند (۱۰).

باوجودی که کشت‌های مخلوط درهم بویژه مخلوط‌های شبدر/گراس با هدف تأمین علوفه، در مناطق معتدله سابقه ای طولانی دارد (۳) ولی افزایش آگاهی از مزایای کشت مخلوط باعث شده که در این مناطق نیز بخشی از اراضی زراعی به این نوع کشت اختصاص یابد (۳۷). البته باید توجه داشت که گسترش کشت‌های مخلوط در مناطق خشک و نیمه خشک جهان به دلیل پایین بودن حاصلخیزی بالقوه و محدودیت آب چندان قابل توجه نمی‌باشد (۱۰).

۱، ۲ و ۳- به ترتیب استاد، استاد و استادیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: imnassir @ferdowsi.um.ac.ir)

برای مثال مطالعات انجام شده در ایران نشان می‌دهد که تنها ۰/۲ درصد از کل اراضی زراعی کشور به کشت‌های مخلوط اختصاص دارد (۱).

کنولی و همکاران (۱۴) با بررسی مقالات انتشار یافته در طی یک دوره زمانی ۲۰ ساله، پژوهش های انجام شده در مورد کشت‌های مخلوط را مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند که بخش عمده ای از این تحقیقات تنها به مقایسه عملکرد مخلوط ها با کشت‌های خالص پرداخته اند و در نتیجه سایر مزایای اکولوژیکی این نوع نظام‌های زراعی از نظر دور مانده است. به نظر می‌رسد که توجه به ویژگی‌های کارکردی کشت‌های مخلوط و بهره گیری از آن‌ها راهکارهای مناسبی را برای بالابردن بهره وری منابع در مناطق خشک نظیر ایران فراهم سازد.

کشت مخلوط تأخیری[1] یا کشت توام دو گونه در یک زمین به‌طوری‌که بخشی از دوره رشد آن‌ها بر هم منطبق باشد (۴۰)؛ نوعی از زراعت‌های مخلوط است که با اهداف خاص در مناطقی از جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از رایج ترین انواع این نوع مخلوط، کشت تأخیری گیاهان زراعی زمستانه، برای مثال غلات یا کلزا، در پاییز و کاشت گونه (یا گونه‌های) زراعی بهاره پیش از برداشت محصول پاییزه در بین نوارهای آن می‌باشد. این نوع کشت در مناطقی از جهان از جمله هندوستان (۳۴) و چین (۴۴، ۲۶) در سطوح وسیع با موفقیت انجام شده و مزایای مختلفی را برای تولیدکنندگان به همرا دارد. برای مثال در شمال غربی چین که منطقه اصلی تولید گندم زمستانه این کشور است، در حدود ۴۵٪ از کل محصول گندم از طریق کشت تأخیری این گونه با گیاهان بهاره تأمین می‌شود (۴۵). نوع محصول بهاره بسیار متنوع بوده و گونه‌هایی نظیر لوبیا (۱۱)، نخود (۲۵)، سویا (۷، ۱۳)، شبدر (۲۷)، پنبه (۴۳) و ذرت (۲۶) و حتی گیاهان دارویی نظیر نعناع (۲۳) بعنوان همراه مناسب برای گندم معرفی شده اند. البته دستیابی به حداکثر مزیت مخلوط به انتخاب مناسب تعداد ردیف‌های کاشت (پهنای نوارها) بستگی دارد (۱۷، ۳۷، ۴۴).

نتایج اغلب آزمایشات نشان داده است که مهمترین مزیت کشت‌های مخلوط که از طریق شاخص‌هایی نظیر نسبت برابری زمین[2] (LER) سنجیده می‌شود، بالاتر بودن کارآیی استفاده از منابع بویژه نور، آب و نیتروژن، در مقایسه با کشت‌های خالص می‌باشد (۶، ۹). در الگوهای رایج کشت در ایران، تاریخ کاشت محصولات بهاره معمولا با زمان پر شدن دانه در گونه‌های پاییزه منطبق است. همزمانی دوره‌های حساس از نظر آبیاری در این گونه ها اغلب به دلیل محدودیت منابع آبی مشکلاتی را برای زارعین ایجاد می‌کند به‌طوری‌که کشت محصول بهاره به ناچار تا برداشت گیاه پاییزه به تأخیر می‌افتد. بر این اساس به نظر می‌رسد که طراحی کشت‌های مخلوط تأخیری با ترکیب گونه‌های پاییزه/بهاره راه حل مناسبی برای غلبه بر این مشکل و افزایش بهره وری منابع باشد.

بررسی‌های انجام شده در مورد برتری عملکرد کشت‌های مخلوط نسبت به خالص نشان داده است که افزایش عملکرد ممکن است ناشی از افزایش جذب یا تسخیر منابع، افزایش کارآیی مصرف منابع یا هر دو مورد بصورت توأم باشد (۳۹). بر این اساس هدف از این پژوهش ارزیابی جذب و کارآیی مصرف نور در کشت مخلوط تأخیری گندم/ذرت در شرایط آب و هوایی مشهد و مقایسه آن با کشت متوالی این گونه ها می‌باشد.

مواد و روش ها

روش اجرای آزمایش

آزمایش در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی °۳۶ و ´۱۶ شمالی و طول جغرافیایی °۵۹ و ´۳۶ شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا اجرا شد. بافت خاک مزرعه لومی و زمین آزمایش در تابستان سال شروع آزمایش بصورت آیش بود که با انجام عملیات شخم و دیسک در پاییز آماده شد.

آزمایش در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی و شامل ۶ تیمار و ۳ تکرار بود. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: کشت خالص ذرت و گندم و چهار نوع کشت مخلوط تأخیری گندم و ذرت که بر اساس تعداد ردیف‌های اختصاص یافته به هر گونه طراحی شدند. مخلوط ها بصورت سه ردیف گندم/یک ردیف ذرت (مخلوط ۳:۱)، سه ردیف گندم/دو ردیف ذرت (مخلوط ۳:۲)، چهار ردیف گندم/دو ردیف ذرت (مخلوط ۴:۲) و شش ردیف گندم/دو ردیف ذرت (مخلوط ۶:۲) کشت شدند. عرض نوارهای گندم در مخلوط‌های ۳:۱ و ۳:۲ معادل ۴۰ سانتی متر و در مخلوط‌های ۴:۲ و ۶:۲ به ترتیب ۶۰ و ۱۰۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. فضای بین نوارهای گندم برای کشت ذرت در مخلوط‌های ۳:۱، ۳:۲، ۴:۲ و ۶:۲ به ترتیب ۶۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ سانتی متر تنظیم گردید (شکل ۱).

گندم، رقم گاسکوژن، در تاریخ ۱۸ مهر ماه سال ۸۷ بر روی نوارهای مربوط به این گیاه بنحوی کشت گردید که تراکم کاشت در کلیه تیمارهای خالص و مخلوط یکسان ومعادل ۴۰۰ بوته در متر مربع باشد. کود مورد نیاز گندم بر اساس آزمایش خاک به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۹۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص محاسبه شد. تمامی‌کود فسفر و ۳۰ درصد از کود نیتروژن همزمان با کشت و باقیمانده نیتروژن در طی دو نوبت بصورت سرک مصرف گردید. آبیاری و سایر عملیات داشت بگونه ای انجام گرفت که

1- Relay intercopping
2- Land Equivalent Ratio

گیاهان بدون هیچگونه محدویت دوره رشد را کامل کنند.

ذرت، سینگل کراس ۴۰۷ در تاریخ ۲۴ اردیبهشت سال ۸۸ در روی ردیف‌های از پیش مشخص شده در بین نوارهای گندم و نیز در کرت‌های مربوط به کشت خالص با فاصله ۲۰ سانتیمتر روی ردیف ها کاشته شد. تاریخ کاشت ذرت طوری انتخاب شد که با زمان آبیاری گندم انطباق داشته و در نتیجه سبز شدن بوته ها بخوبی انجام شود. بوته‌های ذرت در حدود یک هفته پس از کاشت روی ردیف ها استقرار یافتند.

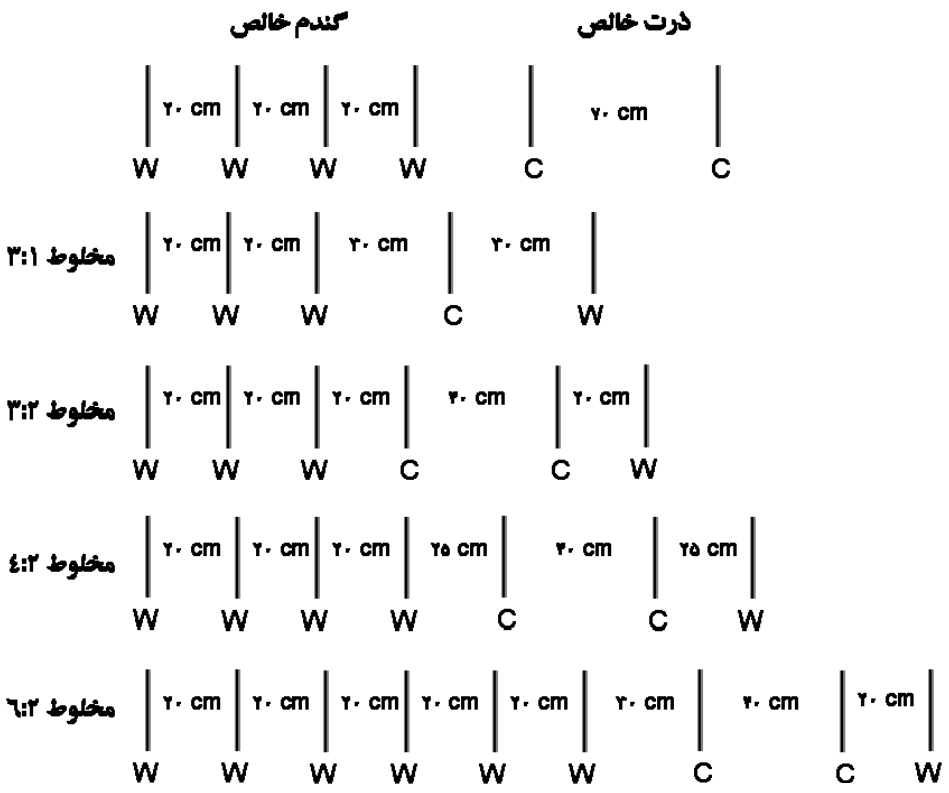
ردیف‌های گندم در کلیه تیمارهای آزمایشی در تاریخ ۳۱ خرداد ماه سال ۸۸ برداشت شدند. ردیف‌های ذرت در کلیه تیمارها بعد از آخرین آبیاری گندم تا زمان برداشت این محصول آبیاری نشدند. پس از برداشت گندم آبیاری، توزیع کود سرک به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و سایر عملیات داشت بر روی بوته ذرت انجام گرفت و در نهایت محصول ذرت در تاریخ ۱۹ مهرماه ۸۸ برداشت شد.

اندازه گیری ها

اندازه گیری شاخص سطح برگ و میزان ماده خشک قسمت‌های هوایی گندم از نیمه اشفند ماه سال ۸۸ آغاز و تا ۲۰ روز قبل از برداشت در ۸ نوبت انجام شد. در هر نمونه گیری بوته‌های گندم در یک کادر ۰/۵ متر مربعی از تمامی‌تیمارهای آزمایش برداشت و پس از تعیین مساحت برگ ها بوسیله دستگاه اندازه گیری سطح برگ، وزن مواد برداشت شده بعد از خشک کردن آن‌ها بمدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد تعیین شد.

اندازه گیری شاخص سطح برگ و وزن خشک قسمت‌های هوایی ذرت نیز ۱۵ روز بعد از سبز شدن در طی ۸ نوبت انجام گرفت. به این منظور ۴ بوته ذرت از هر تیمار برداشت و پس از تعیین سطح برگ، وزن خشک بوته ها به روشی مشابه آنچه در مورد گندم ذکر شد تعیین گردید.

میزان عبور نور از کانوپی با استفاده از سپتومتر خطی مدل SunScan در هر یک از ۸ نوبت نمونه گیری در ۳ نقطه از هر کرت و در ۴ جهت عمود بر هم در بالا و پایین کانوپی ذرت و گندم اندازه گیری شد. در مخلوطهای تأخیری گندم و ذرت بمدت ۳۲ روز بطور توام حضور داشتند. اندازه گیری نور در این دوره بر روی ردیف‌های گندم و ذرت مجاور هم (شکل ۱) یعنی در موقعیتی که کانوپی مخلوط تشکیل شده بود انجام گرفت.



شکل ۱- نحوه قرار گیری و فاصله بین ردیف ها در کشت خالص و مخلوطهای تأخیری گندم (W) و ذرت (C)

در پایان دوره رشد هر یک از گونه ها کل ماده خشک تولیدی پس از حذف حاشیه ها از مساحتی معادل ۴ متر مربع برداشت و عملکرد در واحد سطح پس از خشک کردن دانه ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد بمدت ۴۸ ساعت تعیین و در نهایت عملکرد دانه گندم و ذرت بر مبنای ۱۴ درصد رطوبت؛ و شاخص برداشت (نسبت عملکرد به کل ماده خشک) برای هر تیمار تعیین شد.

محاسبه میزان جذب و کارآیی مصرف نور

کسر نور جذب شده توسط کانوپی (I_a) از طریق معادله ۱ محاسبه شد:

$$I_a = 1 - \frac{I_t}{I_0} \qquad (۱)$$

که در آن I_t نور عبور کرده از کانوپی (اندازه گیری شده در سطح زمین) و I_0 نور اندازه گیری شده در بالای کانوپی می‌باشد. با برازش معادلات رگرسیون چند جمله ای بین مقادیر I_0 (معادله ۱) و زمان، کسر نور جذب شده در طی فصل رشد محاسبه گردید. مقادیر ضریب تبیین معادلات برازش شده در تیمارهای مختلف بین ۰/۹۲ تا ۰/۹۶ و همگی معنی دار ($P<۰/۰۵$) بودند.

میزان تشعشع ورودی روزانه (I_d) به روش ارائه شده توسط خودریان و فان لار (۲) با احتساب ساعات آفتابی هر روز برآورد گردید و ۵۰٪ آن بعنوان تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) در نظر گرفته شد. سپس میزان تشعشع روزانه جذب شده ($I_{a,d}$) از طریق معادله ۲ محاسبه شد:

$$I_{a,d} = I_d \cdot I_a \qquad (۲)$$

در طی دوره ای که گندم و ذرت همزمان در کانوپی مخلوط حضور داشتند، سهم هر گونه از تشعشع روزانه جذب شده از طریق معادله ۳ بدست آمد (۲۴):

$$I_{a,i} = \frac{K_i \cdot L_i}{K_i \cdot L_i + K_j \cdot L_j} \qquad (۳)$$

$$I_{a,j} = 1 - I_{a,i}$$

که در آن $I_{a,i}$ و $I_{a,j}$ به ترتیب کسر نور جذب شده توسط گونه i و j، K و L به ترتیب ضریب خاموشی نور و شاخص سطح برگ گونه ها می‌باشد. مقدار K برای گندم ۰/۵ (۳۳) و برای ذرت ۰/۶ (۳۸) در نظر گرفته شد.

در نهایت برای هر یک از تیمارها میزان کل تشعشع جذب شده از مجموع مقادیر $I_{a,d}$ در طی فصل رشد ($\Sigma I_{a,d}$، مگاژول در متر مربع) و کارآیی مصرف نور (RUE، گرم بر مگاژول) با تقسیم کردن کل ماده خشک تولید شده (گرم در متر مربع) بر کل تشعشع جذب شده در طی فصل رشد محاسبه شد.

جهت مقایسه عملکرد کشت‌های مخلوط با خالص، نسبت برابری زمین (LER) از طریق معادله ۴ محاسبه شد:

$$LER = \sum \frac{Y_{i,m}}{Y_{i,s}} \qquad (۴)$$

که در آن $Y_{i,m}$ و $Y_{i,s}$ به ترتیب عملکرد گونه ها در کشت مخلوط و خالص می‌باشند.

داده ها در معرض تجزیه واریانس قرار گرفت و میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) مقایسه شدند.

نتایج و بحث

رشد سطح برگ

بالاترین مقدار شاخص سطح برگ (به ترتیب ۴/۱ و ۴/۹ در مورد گندم و ذرت) در کشت‌های خالص دو گونه مشاهده شد. شاخص سطح برگ (LAI) گندم در تمامی‌تیمارهای مخلوط تأخیری بطور معنی داری ($P <۰/۰۵$) کمتر از کشت‌های خالص بود. البته در هیچیک از گونه ها تفاوت معنی داری در حداکثر شاخص سطح برگ بین تیمارهای مخلوط مشاهده نشد (شکل ۲).

در کلیه تیمارهای آزمایشی حداکثر شاخص سطح برگ گندم در اواخر اردیبهشت و برای ذرت در نیمه مرداد ماه ظاهر شد. این امر یعنی تطابق زمانی بین حداکثر شاخص سطح برگ با حداکثر تشعشع خورشیدی نقش تعیین کننده ای در جذب بهتر نور توسط کانوپی و تولید ماده خشک دارد (۴).

در کشت‌های مخلوط تأخیری شروع رشد سطح برگ ذرت با حداکثر LAI گندم انطباق داشت. بنابراین رشد اولیه گیاهچه‌های ذرت در زیر کانوپی تقریبا بسته گندم (LAI >۳) صورت گرفت. مدت زمان رشد توام دو گونه در کلیه مخلوطها بین ۳۲ تا ۳۵ روز بود، بنابراین بوته‌های ذرت پس از طی این دوره از سایه اندازی کانوپی گندم خارج شدند. البته در طی این دوره با کاهش تدریجی شاخص سطح برگ گندم، فشار رقابتی این گونه بر ذرت تقلیل یافت (شکل ۱).

این نتایج نشان می‌دهد که دوره رشد کند گیاهچه‌های ذرت، یعنی دوره ای که در کشت خالص به علت پایین بودن LAI بخش عمده تشعشع ورودی جذب نمی‌شود (۳۰)؛ در پوشش کانوپی گندم سپری شده است. بعلاوه مطالعات نشان داده است که دوره رشد کند ذرت در کشت‌های خالص شرایط مطلوبی را برای ظهور و رشد علف‌های هرز ایجاد خواهد کرد (۳۶)؛ در حالی که در مخلوط‌های تأخیری این مشکل به دلیل سایه اندازی کانوپی گندم تا حد زیادی برطرف خواهد شد.

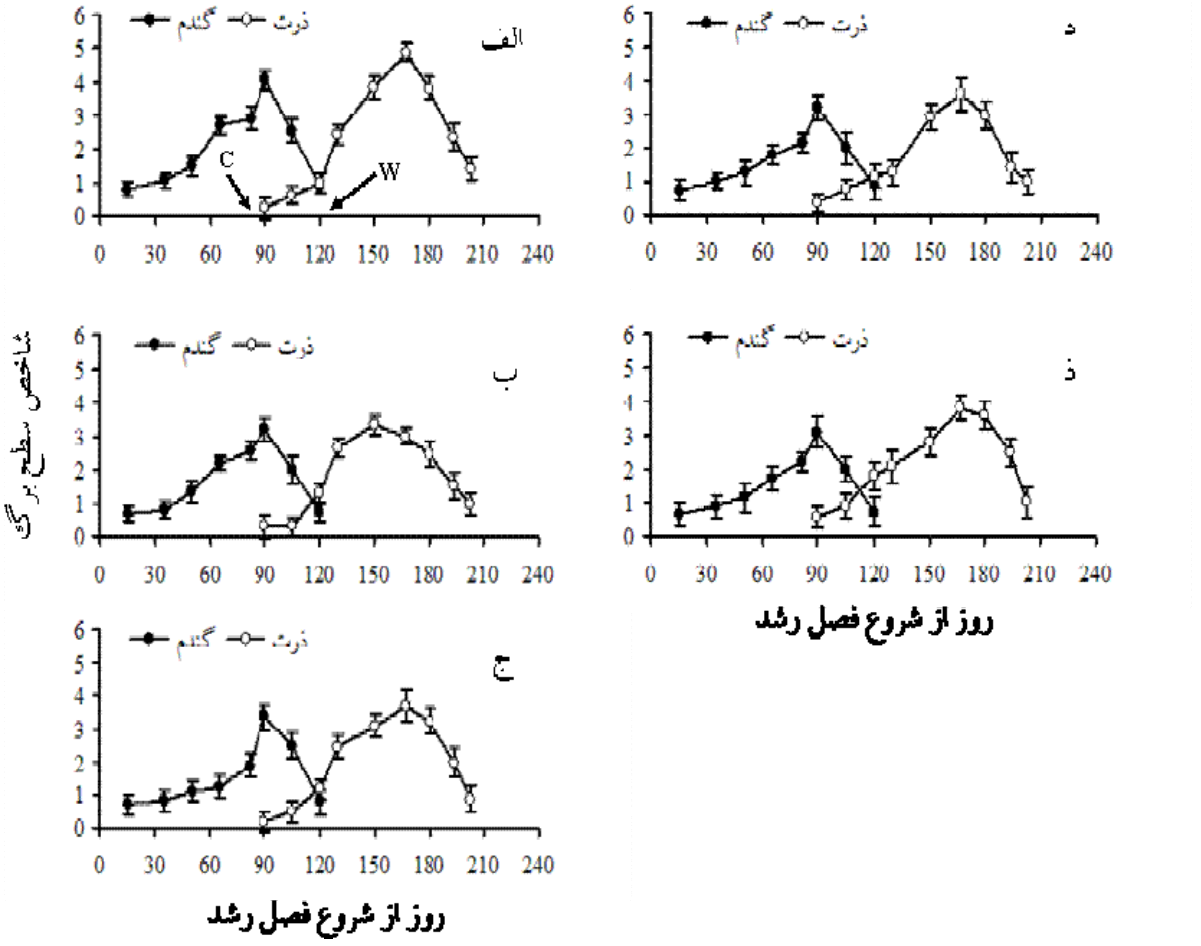
جذب تشعشع

در شکل ۳ کسر نور جذب شده توسط کانوپی گندم و ذرت در کشت‌های خالص و مخلوط ارائه شده است. تغییرات زمانی جذب نور در تمامی‌تیمارها از الگوی رشد سطح برگ تبعیت داشت. حداکثر کسر نور جذب شده در کانوپی مخلوط ذرت و گندم در حدود ۱۰-۸ درصد کمتر از کشت خالص این دو گونه بود. البته در کشت‌های مخلوط مجموع نور جذب شده توسط گندم و ذرت در دوره همزمانی رشد، یعنی فاصله زمانی سبز شدن ذرت تا برداشت گندم، به میزان قابل ملاحظه ای بیشتر از کشت‌های خالص بود.

در شکل ۴ میزان تشعشع جذب شده روزانه در تیمارهای مختلف با کل تشعشع ورودی روزانه مقایسه شده است. این نتایج به وضوح نشان می‌دهد که کانوپی مخلوط شرایطی را ایجاد کرده است؛ که در طی فصل رشد تشعشع ورودی به نحو مطلوب تری توسط گونه ها جذب شود. در واقع خلاء سطح جذب کننده نور که در کشت متوالی دو گونه در فاصله زمانی بین برداشت گندم و دوره کند رشد گیاهچه‌های ذرت ایجاد می‌شود؛ به نحو مطلوبی توسط کانوپی مخلوط بسته شده است.

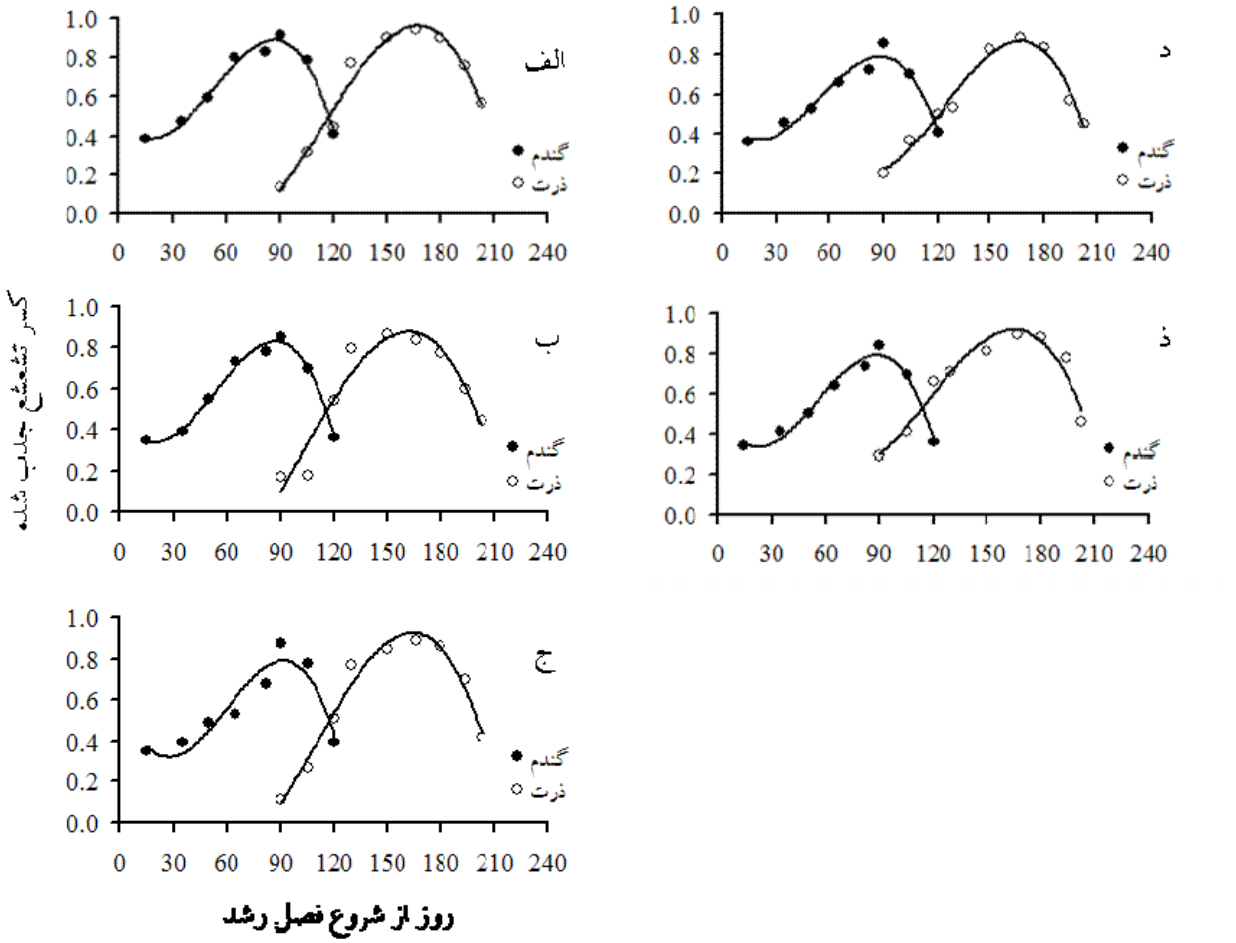
مقایسه نتایج ارائه شده در شکل ۴ نشان می‌دهد که در کشت متوالی، دوره زمانی حداکثر شدن تشعشع روزانه خورشیدی با مرحله گیاهچه ای ذرت منطبق شده است؛ در حالیکه کشت‌های مخلوط تأخیری در طی این دوره میزان بیشتری از تشعشع ورودی را جذب کرده اند.

میزان کل تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) جذب شده توسط کانوپی گندم و ذرت در کشت خالص به ترتیب ۶۷۹ و ۶۶۹ مگاژول در مترمربع و بطور معنی داری بیشتر از میزان PAR جذب شده بوسیله هر یک از گونه ها در کشت‌های مخلوط بود (جدول ۱).



شکل۲- روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) گندم و ذرت در کشت خالص هر گونه (الف) و مخلوطهای تأخیری

۳:۱ (ب)، ۳:۲ (ج)، ۴:۲ (د) و ۶:۲ (ذ) ذرت:گندم، تاریخ کاشت ذرت (C) و تاریخ برداشت گندم (W) در شکل بوسیله فلش مشخص شده است. خطوط عمودی انحراف معیار میانگین نقاط اندازه گیری می‌باشند. شروع فصل رشد برای گندم نیمه اسفند ماه و برای ذرت تاریخ کاشت آن است.



شکل ۳- روند تغییرات کسر تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده توسط کانوپی گندم و ذرت در کشت خالص هر گونه (الف) و مخلوط‌های تأخیری ۳:۱ (ب)، ۳:۲ (ج)، ۴:۲ (د) و ۶:۲ (ذ) ذرت:گندم و معادلات چند جمله ای (پلی نومیال) برازش شده به داده‌های مربوط به هر گونه. شروع فصل رشد برای گندم نیمه اسفند ماه و برای ذرت تاریخ کاشت آن است.

البته نتایج نشان داد که جذب نسبی PAR توسط گندم در کشت‌های مخلوط بین ۰/۸۷-۰/۸۳ و در مورد ذرت بین ۰/۷۶-۰/۷۰ بود. بنابراین نسبت برابری زمین برای PAR جذب شده در تمامی‌کشت‌های مخلوط تأخیری بزرگتر از یک بود و بین ۱/۵۸ تا ۱/۶۳ قرار داشت (جدول ۱).

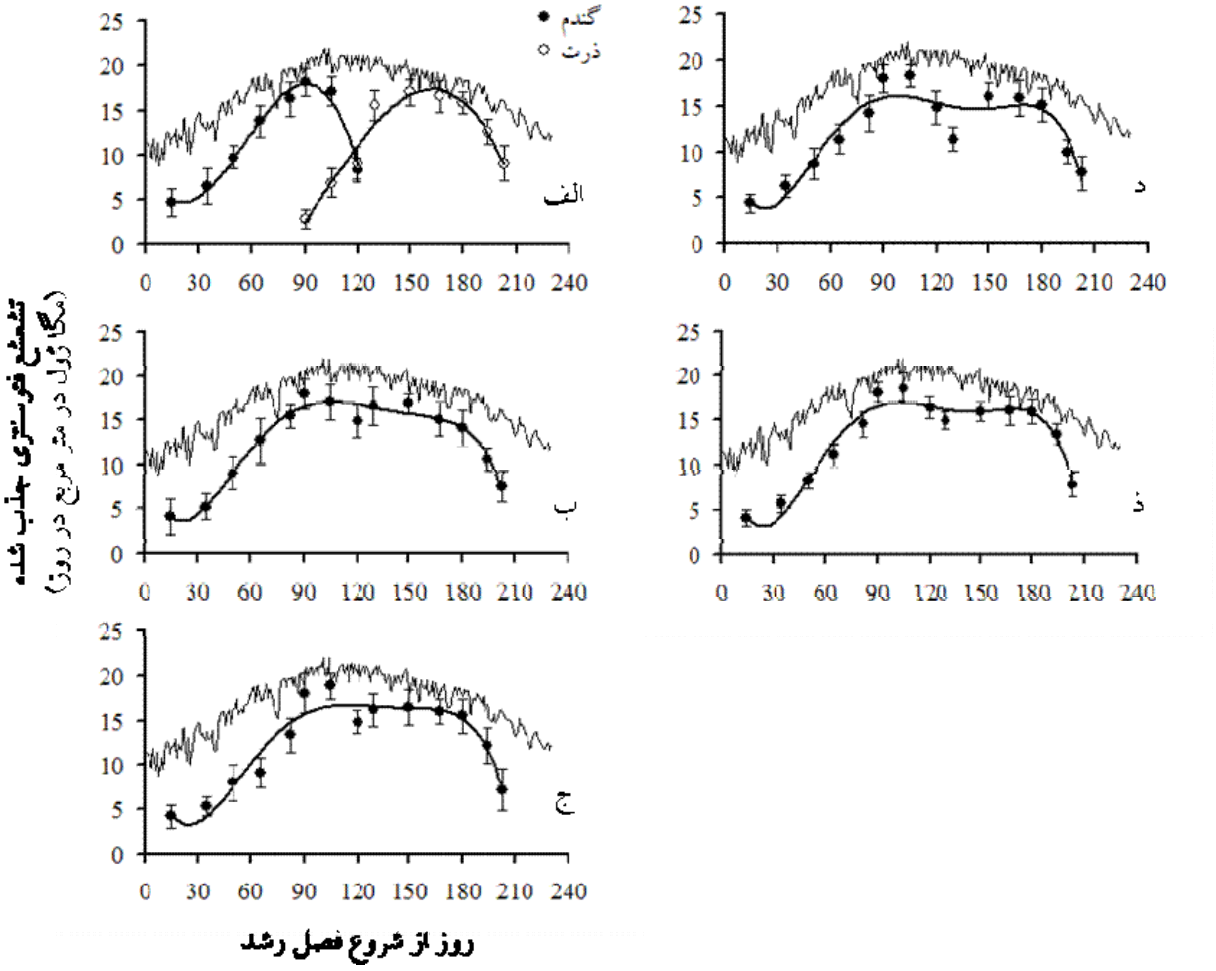
این امر نشان می‌دهد که کشت‌های مخلوط تأخیری در مقایسه با کشت خالص دو گونه در حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد PAR بیشتری را در طی فصل رشد جذب کرده اند و این برتری با مقایسه میزان کل PAR جذب شده در تیمارهای مخلوط و خالص دو گونه کاملا مشهود می‌باشد (شکل ۴، جدول ۱).

ژانگ و همکاران (۴۳) با بررسی انواع کشت‌های مخلوط تأخیری گندم/پنبه که از نظر عرض نوارهای کاشت اختلاف داشتند، نشان دادند که میانگین ۳ ساله میزان کل تشعشع جذب شده در کشت خالص گندم و پنبه به ترتیب ۵۹۰ و ۴۵۰ مگاژول در مترمربع بود. میزان جذب نسبی نور در مخلوط‌های تأخیری به عرض نوارها وابسته بود و در هر دو گونه با زیاد شدن عرض نوارها کاهش یافت؛ به‌طوری‌که بسته به عرض نوار در مورد گندم بین ۰/۷۱ تا ۰/۸۳ و برای ذرت بین ۰/۶۷ تا ۰/۹۶ قرار داشت.

نتایج بسیاری از مطالعات نشان داده است که جذب بیشتر تشعشع خورشیدی از مهمترین مزایای کشت‌های مخلوط نسبت به کشت خالص می‌باشد. البته این برتری زمانی بارز خواهد بود که گونه‌های موجود در مخلوط از نظر قدرت رقابت مشابه باشند (۱۵). برای مثال در مخلوط ذرت با گونه‌هایی نظیر لوبیا یا سویا، ارتفاع بیشتر ذرت باعث برتری این گونه در جذب نور شده و در نتیجه سهم نسبی آن از کل تشعشع جذب شده بیشتر خواهد بود. تسوبو و همکاران (۳۹) نیز نتایج مشابهی را در مخلوط ذرت/لوبیا گزارش کردند. این در حالی

است که در مخلوطهای تأخیری به دلیل عدم همزمانی دوره رشد سریع سطح برگ گونه ها، حتی با ترکیب گونههایی که دارای قدرت رقابتی متفاوتی میباشند، نیز میزان کل تشعشع جذب شده بوسیله کانوپی مخلوط افزایش مییابد. چنین نتیجه ای در کشت تأخیری گندم/پنبه (۴۳) و گندم/سویا (۲۷، ۴۱) گزارش شده و یافتههای این تحقیق نیز موید همین وضعیت میباشد.

در کشتهای مخلوط تأخیری با نسبت ۴:۲ و ۶:۲ (ذرت:گندم) در مقایسه با سایر کشتهای مخلوط در طی دوره حضور توام دو گونه و بعد از برداشت گندم، کاهشی در میزان کل PAR جذب شده بروز کرده است (شکل ۴ د و ۴ ذ). به نظر میرسد که این وضعیت با نسبت ردیفهای کشت دو گونه مرتبط باشد. نتایج تحقیقات مختلف (۱۷، ۲۸، ۴۳) نشان داده است که در کشتهای مخلوط نواری حداکثر جذب نور در ردیفهایی بروز خواهد کرد که دو گونه در مجاورت یکدیگر قرار دارند و با فاصله گرفتن از این ردیف ها اثرات مثبت کشت مخلوط در جذب نور کاهش مییابد. بعلاوه تأثیر مثبت ردیفهای مجاور صرفاً مربوط به نور نبوده و بهبود جذب عناصر غذایی و آب نیز در ردیفهایی که دو گونه مجاور هم قرار دارند گزارش شده است (۱۳). بر این اساس میتوان نتیجه گیری کرد که در تیمارهایی که فاصله بین نوارهای گندم افزایش یافته، تعداد ردیفهایی که دو گونه مجاور هم بوده اند کمتر خواهد شد به عبارت دیگر بیشترین تعداد ردیفهای مجاور دو گونه در مخلوطهای ۳:۱ و ۳:۲ (ذرت:گندم) وجود دارد و به همین دلیل جذب تشعشع در این مخلوط ها در مقایسه با دو مخلوط دیگر مطلوب تر بوده است (شکل ۴ ب و ۴ ج).



شکل ٤- روند تغییرات میزان تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) جذب شده در طی دوره رشد گندم و ذرت در کشت خالص هر گونه (الف) و مخلوطهای تأخیری

۳:۱ (ب)، ۳:۲ (ج)، ۴:۲ (د) و ۶:۲ (ذ) ذرت:گندم همراه با معادلات چند جمله ای (پلی نومیال) برازش شده بر دادههای مربوط به هر گونه، در شکل میزان کل PAR ورودی روزانه نیز جهت مقایسه نشان داده شده است. خطوط عمودی انحراف معیار میانگین نقاط اندازه گیری میباشند. شروع فصل رشد برای گندم نیمه اسفند ماه و برای ذرت تاریخ کاشت آن است.

جدول ۱- میزان کل تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) جذب شده، میزان جذب نسبی و نسبت برابری زمین برای PAR جذب شده (LER_{PAR}) گندم و ذرت در کشت خالص و مخلوط‌های تأخیری

	گندم			ذرت		مخلوط
	تشعشع جذب شده ($MJ\ m^{-2}$)	جذب نسبی[1] (-)	تشعشع جذب شده ($MJ\ m^{-2}$)	جذب نسبی (-)	LER_{PAR}[2] (-)	تشعشع جذب شده ($MJ\ m^{-2}$)
کشت خالص	۶۷۹ a	۱	۶۶۹ a	۱	–	–
مخلوط ۳:۱	۵۶۳ b	۰/۸۳ a	۵۱۷ bc	۰/۷۶ a	۱/۵۹ a	۱۱۰۰ a
مخلوط ۳:۲	۵۷۳ b	۰/۸۴ a	۵۱۱ bc	۰/۷۵ a	۱/۶۰ a	۱۰۹۸ a
مخلوط ۴:۲	۵۸۸ b	۰/۸۷ a	۵۲۲ b	۰/۷۷ a	۱/۶۳ a	۱۱۲۵ a
مخلوط ۶:۲	۵۹۴ b	۰/۸۷ a	۴۷۷ c	۰/۷۰ a	۱/۵۸ a	۱۰۸۰ a

میزان جذب نسبی هر گونه برابر با نسبت PAR جذب شده در کشت خالص به PAR جذب شده در مخلوط می‌باشد.

LER برای PAR جذب شده در کشت‌های مخلوط برابر با مجموع جذب نسبی گونه هاست.

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری تفاوت معنی داری ندارند ($P<0/05$).

تولید ماده خشک

با وجودی که تولید ماده خشک گندم و ذرت در کشت‌های مخلوط و خالص روند مشابهی داشت؛ ولی میزان کل ماده خشک تولید شده در کشت خالص هر دو گونه بطور معنی داری بیشتر از مخلوط بود؛ بعلاوه تفاوت میزان کل ماده خشک تولیدی گندم در بین مخلوط ها نیز مشهود بود. به‌طوری‌که در کشت مخلوط با نسبت ۳:۱ (ذرت:گندم) کمترین و در مخلوط ۳:۲ بیشترین میزان ماده خشک بدست آمد، البته در مورد ذرت از نظر تولید ماده خشک تفاوتی بین مخلوط ها مشاهده نشد (شکل ۵، جدول ۲).

فاصله زمانی بین شروع رشد گیاهچه تا مرحله رشد خطی تولید ماده خشک یعنی دوره ای که به دلیل پایین بودن مقدار LAI ، جذب نور توسط کانوپی بطور کامل انجام نمی‌شود به "زمان از دست رفته[1]" موسوم است (۱۸) و طولانی شدن این دوره باعث اتلاف منابع بویژه تشعشع خورشیدی و آب خواهد شد (۲۷). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که این دوره از رشد ذرت در حدود ۳۰ تا ۴۰ روز ادامه داشته است (شکل ۴). درکشت‌های مخلوط تأخیری در مقایسه با کشت‌های خالص، دوره کند رشد گیاهچه‌های ذرت در طی دوره پر شدن دانه‌های گندم سپری شده و در نتیجه رشد خطی ذرت بلافاصله بعد از برداشت گندم آغاز گردید. به نظر می‌رسد که طی شدن دوره رشد نمایی ذرت (زمان از دست رفته) در سایه انداز گندم بنوبه خود مزیتی برای کشت مخلوط این دو گونه محسوب شود. برتری کشت‌های مخلوط در استفاده بهتر از منابع، توسط بسیاری از محققین به تایید رسیده است. برای مثال مطالعات انجام شده در مورد مخلوط تأخیری گندم/پنبه که در بخش وسیعی از مناطق کشت گندم کشور چین رایج می‌باشد نشان داده است که تولید بیشتر ماده خشک مخلوط ها ناشی از جذب بهتر نیتروژن و نور بوده است (۴۳،۴۵). نتایج این مطالعه نیز موید آن است که در مخلوط‌های تأخیری در صورت انطباق مناسب مراحل رشدی گونه‌های همراه، بهره وری منابع بهبود خواهد یافت.

کارآیی مصرف نور

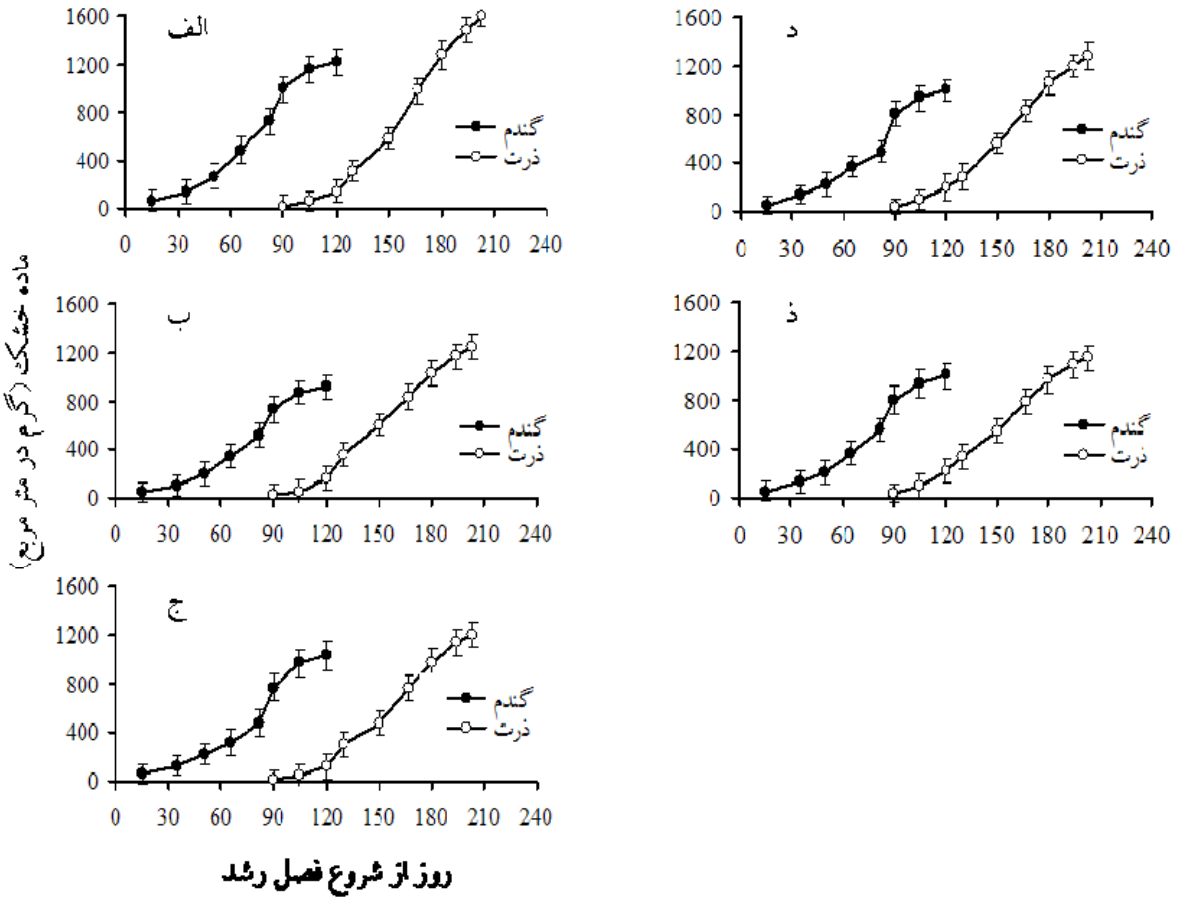
میزان کل تولید ماده خشک گندم و ذرت در کشت خالص بطور معنی داری بیشتر از مخلوط‌های تأخیری بود و در نتیجه مجموع ماده خشک برداشت شده از هر دو گونه در کشت مخلوط نیز کمتر از مجموع ماده خشک گونه ها در کشت خالص بود (جدول ۲). این در حالیست که کارآیی مصرف نور گندم و ذرت در کشت‌های مخلوط تفاوت معنی داری با کشت‌های خالص دو گونه نداشت (جدول ۲).

کارآیی مصرف نور گندم در تیمارهای آزمایشی بین ۱/۶۳ تا ۱/۸۰ گرم بر مگاژول قرار داشت و در مخلوط تأخیری ۳:۱ تا حدودی کمتر از سایر مخلوط ها بود. بطور کلی کارآیی مصرف نور گونه‌های C۴ به دلیل خصوصیات مسیر فتوسنتزی آن‌ها بالاتر از گونه‌های C۳ می‌باشد (۳۰).

نتایج این تحقیق نیز نشان داد که کارآیی مصرف نور ذرت در تمامی‌تیمارها بالاتر از گندم و در دامنه ۲/۳۴ تا ۲/۴۶ گرم بر مگاژول بود (جدول ۲).

مقادیر گزارش شده برای کارآیی مصرف نور گندم در مطالعات مختلف بسته به شرایط آزمایش متفاوت می‌باشد. برای مثال اولسون و همکاران (۳۳) و اوکونل و همکاران (۳۲) کارآیی مصرف نور گندم را در آزمایشات مختلف بین ۱/۸ تا ۴/۲ و با میانگین ۲/۷ گرم بر مگاژول بدست آوردند. ژانگ و همکاران (۴۳) کارآیی مصرف نور را در کشت خالص و مخلوط تأخیری با پنبه در محدوده ۱/۹۴ تا ۲/۲۹ مگاژول بر مترمربع گزارش کردند. این مقادیر نسبت به کارآیی مصرف نور گندم در این آزمایش بیشتر است. البته جهانسوز و همکاران (۲۰) کارآیی مصرف نور گندم را در کشت خالص و در مخلوط با نخود به ترتیب ۱/۴۳ و ۱/۵۹ گرم بر مگاژول محاسبه کردند.

1 -Lost time



شکل ۵- روند تغییرات میزان تولید ماده خشک گندم و ذرت در کشت خالص هر گونه (الف) و مخلوطهای تأخیری

۳:۱ (ب)، ۳:۲ (ج)، ۴:۲ (د) و ۶:۲ (ذ) ذرت:گندم، خطوط عمودی انحراف معیار میانگین نقاط اندازه گیری می‌باشند. شروع فصل رشد برای گندم نیمه اسفند ماه و برای ذرت تاریخ کاشت آن است.

جدول ۲- میزان کل ماده خشک تولید شده و کارآیی مصرف نور (RUE) گندم و ذرت در کشت خالص و مخلوطهای تأخیری

	گندم		ذرت		مخلوط	
	کل ماده خشک ($g\ m^{-2}$)	RUE ($g\ MJ^{-1}$)	کل ماده خشک ($g\ m^{-2}$)	RUE ($g\ MJ^{-1}$)	کل ماده خشک ($g\ m^{-2}$)	RUE ($g\ MJ^{-1}$)
کشت خالص	۱۲۱۴ a	۱/۷۹ a	۱۶۰۰ a	۲/۳۹ a	–	–
مخلوط ۳:۱	۹۱۵ c	۱/۶۳ a	۱۲۴۰ b	۲/۴۰ a	۲۱۵۵ b	۱/۹۶ a
مخلوط ۳:۲	۱۰۲۹ b	۱/۸۰ a	۱۱۹۸ b	۲/۳۴ a	۲۲۲۷ ab	۲/۰۳ a
مخلوط ۴:۲	۱۰۰۱ bc	۱/۷۰ a	۱۲۸۲ b	۲/۴۶ a	۲۲۸۳ a	۲/۰۳ a
مخلوط ۶:۲	۱۰۰۷ bc	۱/۷۰ a	۱۱۴۶ b	۲/۴۰ a	۲۱۵۳ b	۱/۹۹ a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری تفاوت معنی داری ندارند ($P<0/05$).

کارآیی مصرف نور ذرت نیز در این آزمایش در مقایسه با سایر تحقیقات پایین تر بود. کینری و همکاران (۲۲) کارآیی مصرف نور ذرت را بین ۲/۷ تا ۳/۴ گرم بر مگاژول گزارش کردند. آوال و همکاران (۶) نیز در تیمارهای مختلف کشت خالص و مخلوط ذرت و بادام زمینی، میانگین کارآیی مصرف نور ذرت را به ترتیب ۳/۲۶ و ۳/۰۳ گرم بر مگاژول بدست آوردند. به نظر می‌رسد که پایین بودن

نسبی مقادیر کارآیی مصرف نور در این آزمایش تا حدودی ناشی از عملکرد پایین گونه ها، بویژه ذرت باشد زیرا برای مثال در آزمایش کینری و همکاران (۲۲) عملکرد ذرت در محدوه ۱۰/۵ تا ۱۲/۳ تن در هکتار بوده است.

کارآیی مصرف نور معیاری از فتوسنتز خالص گیاه بوده و کارآیی گونه ها را در تبدیل تشعشع جذب شده به ماده خشک نشان می‌دهد (۳۰). تسوبو و واکر (۳۸) با مطالعه مخلوط ردیفی ذرت/لوبیا نشان دادند که کارآیی مصرف نور ذرت در کشت خالص نسبت به مخلوط تغییر معنی داری نداشت در حالی که در لوبیای مخلوط ۱۲/۵٪ بیشتر از کشت خالص این گونه بود. در آزمایش مارشال و وایلی (۲۹) نیز کارآیی مصرف نور ارزن در مخلوط با بادام زمینی مشابه با کشت خالص بود در حالیکه کارآیی مصرف نور بادام زمینی در کشت مخلوط نسبت به خالص ۴۵٪ افزایش یافت. بنابراین برتری مخلوط‌های بررسی شده در این آزمایشات عمدتاً ناشی از افزایش کارآیی مصرف نور می‌باشد. با این وجود نتایج تحقیق حاضر نشان داد که کارآیی مصرف نور ذرت و گندم در کشت‌های خالص تفاوت معنی داری با مخلوط‌های تأخیری نداشته است (جدول ۲). به نظر می‌رسد که افزایش کارآیی مصرف نور در کشت‌های مخلوط زمانی بارز خواهد بود که رقابت بین گونه ای قابل توجهی بوجود آید. در مخلوط‌هایی که گونه‌های همراه دوره رشد خود را بصورت همزمان تکمیل می‌کنند، غالبیت یک گونه باعث افزایش رقابت نوری شده و این امر موجب خواهد شد تا کارآیی مصرف نور گونه ای که در شرایط محدودیت نوری قرار دارد افزایش یابد، وضعیتی که در مثال‌های فوق در مخلوط‌های ارزن/بادام زمینی (۲۹)، ذرت/لوبیا (۳۸) به آن اشاره شد. بعلاوه افزایش میزان تشعشع پخشی[1] در پایین کانوپی نیز در افزایش کارآیی مصرف نور گو.نه‌هایی که در سایه قرار دارند موثر خواهد بود (۱۹). بنابراین به نظر می‌رسد که یکسان بودن کارآیی مصرف نور گونه ها در کشت‌های تأخیری و خالص که در این آزمایش دیده شد و قبلا نیز در مخلوط‌های تأخیری گندم/پنبه گزارش شده بود (۴۳)، ناشی از عدم رقابت شدید نوری بین گونه‌های مخلوط است.

عملکرد و نسبت برابری زمین

عملکرد گندم و ذرت در تمامی‌تیمارهای مخلوط بطور معنی داری کمتر از کشت خالص بود. پایین بودن عملکرد گونه ها در مخلوط نسبت به خالص که در اکثر مطالعات گزارش شده است در برخی موارد بسیار چشمگیر بوده، به‌طوری‌که باعث خواهد شد مزایای مخلوط از نظر عملکرد کل پنهان بماند (۲۰). بالاترین عملکرد گندم و ذرت در مخلوط ۳:۲ (ذرت: گندم) مشاهده شد و با افزایش تعداد ردیف‌های گندم به ۴ و ۶ عملکرد ذرت تا حدودی کاهش یافت (جدول۳). ژانگ و همکاران (۴۴) نیز در کشت مخلوط تأخیری گندم/پنبه تغییرات مشابهی را در عملکرد پنبه در پاسخ به افزایش عرض نوارهای گندم مشاهده کردند.

شاخص برداشت گندم و ذرت نیز در کشت خالص بیشتر از مخلوط بود و اختلافی بین شاخص برداشت دو گونه در تیمارهای مخلوط مشاهده نشد (جدول ۳). با وجودیکه شاخص برداشت گونه ها در کشت خالص با مقادیر گزارش شده برای ذرت (۲۲) و گندم (۳۳) قابل مقایسه بود ولی مقدار این شاخص در کشتهای مخلوط تا حدودی کاهش نشان داد.

عملکرد نسبی گندم و ذرت در کشت‌های مخلوط افزایش نشان داد که این امر نشان دهنده مزیت مخلوط برای هر دو گونه بوده و نتیجه آن در نسبت برابری زمین (LER) بین ۱/۲۷ تا ۱/۳۱ ظاهر گردید (جدول ۳). ژانگ و همکاران (۴۴) برتری نسبت برابری زمین در مخلوط تأخیری گندم/پنبه را عمدتا با بهبود عملکرد نسبی گندم مرتبط دانستند و نشان دادند که با افزایش عرض نوارهای گندم، LER نسبت به نوارهای باریکتر گندم کاهش می‌یابد. تورستد و همکاران (۳۷) نیز تأثیر عرض نوارهای گندم را در عملکرد مخلوط گندم/شبدر مورد تاکید قرار دادند. به نظر می‌رسد که تأثیر عرض نوارها زمانی بارز خواهد بود که گونه همراه بعد از برداشت گندم قادر به تشکیل کانوپی کامل نباشد. نتایج این تحقیق نشان داد که ذرت در تمامی‌تیمارهای مخلوط با افزایش شاخص سطح برگ پس از برداشت گندم (شکل ۲) کانوپی بسته ای را ایجاد کرده و در نتیجه جذب تشعشع توسط کانوپی (شکل ۳) ذرت مطلوب بوده است.

مقایسه نسبت برابری زمین برای میزان تشعش جذب شده (جدول ۱) و کارآیی مصرف نور گونه ها (جدول ۲) نشان می‌دهد که مزیت مخلوط‌های تأخیری گندم/ذرت عمدتاً به دلیل بهبود جذب نور بوده وکارآیی مصرف تشعشع جذب شده تحت تأثیر تیمارهای مخلوط قرار نگرفته است. فوکایی و ترنبث (۱۵) اظهار داشتند کارآیی مصرف نور در مخلوط‌هایی که دوگونه همراه از نظر دوره رشد متفاوت هستند چندان تغییر نخواهد کرد، زیرا در این شرایط رقابت بین گونه ضعیف می‌باشد. به نظر می‌رسد چنین وضعیتی در مورد سایر منابع نیز صادق باشد زیرا برای مثال لی و همکاران (۲۶) نشان دادند که در مخلوط‌های تأخیری گندم/ذرت و گندم/سویا علیرغم قدرت رقابتی بیشتر گندم در طی دوره رشد توأم گونه ها، عملکرد و کارآیی جذب عناصر غذایی در مخلوط ها بیشتر از کشت‌های خالص بود. یافته‌های گائو و همکاران (۱۶) نیز موید افزایش کارآیی مصرف آب در کشت مخلوط نواری گندم زمستانه و ذرت می‌باشد.

1- Diffuse radiation

نتیجه گیری

بطور کلی مهمترین مزیت کشت‌های مخلوط بالا بردن کارآیی جذب و مصرف منابع است که در مطالعات مختلف در مورد تشعشع (۳۹، ۶)، عناصر غذایی (۸، ۲۶، ۴۵)، آب (۲۸، ۳۱) و نیز زمین (۴۴) به تایید رسیده است. البته استفاده از این مزایا مستلزم طراحی صحیح مخلوط و انتخاب مناسب گونه‌های همراه می‌باشد. در این پژوهش کشت مخلوط تأخیری گراس/گراس که در مقایسه با کشت‌های مخلوط لگوم/گراس کمتر رایج است مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملکرد مخلوط‌های تأخیری در حدود ۳۰٪ بیشتر از کشت خالص گونه ها بود. کارآیی مصرف نور گونه ها تحت تأثیر شرایط کشت مخلوط قرار نگرفت و این برتری عملکرد از طریق جذب بهتر تشعشع حاصل گردید. با وجودی که عرض نوارهای گندم تأثیر قابل توجهی بر عملکرد مخلوط نداشت؛ ولی در مجموع بهترین نتیجه از مخلوط تأخیری ۳:۲ (ذرت:گندم) حاصل شد. تحقیقات بیشتر در مورد تغییر عرض نوارهای کاشت، جایگزینی ذرت با سایر گونه‌های بهاره و تغییر واریته گونه‌های مخلوط و ارزیابی کارآیی مصرف سایر منابع نظیر آب و نیتروژن، اطلاعات مفیدی را در مورد امکان استفاده از این مخلوط ها بعنوان جایگزینی برای کشت متوالی غلات پاییزه و محصولات بهاره فراهم خواهد ساخت.

سپاسگزاری

بودجه این طرح از محل اعتبار پژوهه معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

جدول ۳- عملکرد دانه، شاخص برداشت، عملکرد نسبی گندم و ذرت در کشت خالص و مخلوطهای تأخیری و نسبت برابری زمین (LER) تیمارهای مخلوط

	گندم			ذرت			
	عملکرد دانه ($t\ ha^{-1}$)	شاخص برداشت (-)	عملکرد نسبی (-)	عملکرد دانه ($t\ ha^{-1}$)	شاخص برداشت (-)	عملکرد نسبی (-)	LER (-)
کشت خالص	۵/۱۴ a	۰/۴۲ a	–	۴/۸۰ a	۰/۳۰ a	–	–
مخلوط ۳:۱	۳/۲۹ b	۰/۳۶ ab	۰/۶۴ a	۳/۱۰ b	۰/۲۵ a	۰/۶۵ a	۱/۲۹ a
مخلوط ۳:۲	۳/۴۱ b	۰/۳۳ ab	۰/۶۶ a	۳/۱۱ b	۰/۲۶ a	۰/۶۵ a	۱/۳۱ a
مخلوط ۴:۲	۳/۳۸ b	۰/۳۴ ab	۰/۶۶ a	۳/۰۷ b	۰/۲۴ a	۰/۶۴ a	۱/۳۰ a
مخلوط ۶:۲	۳/۲۱ b	۰/۳۲ b	۰/۶۲ a	۳/۰۹ b	۰/۲۷ a	۰/۶۴ a	۱/۲۷ a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری تفاوت معنی داری ندارند ($P<0/05$).

منابع

۱- کوچکی، ع.، م. نصیری محلاتی، ا. زارع فیض آبادی و م. جهان بین. ۱۳۸۳. ارزیابی تنوع نظامهای زراعی ایران. پژوهش و سازندگی. شماره ۶۳. ص. ۸۳-۷۰.

۲- نصیری محلاتی، م. ۱۳۷۹. مدلسازی فرآیندهای رشد گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۲۸۰ صفحه.

۳- نصیری محلاتی، م.، ع. کوچکی، پ.، رضوانی مقدم و ع. بهشتی. ۱۳۸۰. اگرواکولوژی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۵۹ صفحه.

4- Acreche, M.M., and G.A., Slafer. 2009. Grain weight, radiation interception and use efficiency as affected by sink-strength in Mediterranean wheats released from 1940 to 2005. Field Crops Research 110: 98-105.

5- Altieri, M.A., and Liebman, M. 1986. Insect, weed, and plant disease management in multiple cropping systems. In: Francis, C.A. (Ed.), Multiple Cropping Systems. MacMillan, New York, pp. 182–218.

6- Awal, M.A., H., Koshi, and T., Ikeda. 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. Agricultural and Forest Meteorology 139: 74–83.

7- Ayisi, K.K., D.H., Putman, C.P. Vance, M.P., Russelle and D.I., Allan. 1997. Strip intercropping and nitrogen effects on seed oil, and protein yield of canola and soybean. Agronomy Journal, 89: 23-39.

8- Benites, J.R., R.E., McCollum and C.C., Naderman. 1993. Production efficiency of intercrops relative to sequentially planted sole crops in a humid tropical environment, Field Crops Research, 31: 1-18.

9- Berntsena, J., H., Hauggard-Nielsen, J.E., Olesen, B.M,. Petersena, E.S., Jensenb, and A. Thomsen. 2004. Modelling dry matter production and resource use in intercrops of pea and barley. Field Crops Research, 88: 69–83.

10- Black, C., and C., Ong, 2000. Utilisation of light and water in tropical agriculture.

11- Bulson, H.A.J., Snaydon, and R.W., and C.E., Stopes. 1997. Effects of plant density on intercropped wheat and field beans in an organic farming system. Journal of Agricultural Science, Camb. 128: 59-71.

12- Carruthers, K., Q., Fe, D. Cloutier and D.L. Smith. 1992. Intercropping corn with soybean, lupin and forages: weed control by intercrops combined with interrow cultivation. European Journal of Agronomy, 8: 225-238.
13- Caviglia, O.P., V.O., Sadrasc, and F.H., Andrade, 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat–soybean. Field Crops Research, 87: 117–129.
14- Connolly, J., H.C., Goma, and K., Rahim. 2001. The information content of indicators in intercropping research. Agriculture, Ecosystems and Environment 87: 191–207.
15- Fukai, S., and B.R., Trenbath, 1993. Processes determining intercrop productivity and yields of component crops. Field Crops Research, 34: 247–271.
16- Gao., Y., A. Duan, J., Sun, F., Li, Z., Liu, H., Liu and Z. Liu. 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter whaet/spring maize strip intercropping. Field Crops Research, 111: 65-73.
17- Ghaffarzadeh, M., Prechac, F.G., and R.M., Cruse. 1994. Grain yield response of corn, soybean, and oat grown in a strip intercropping system. American Journal of Alternative Agriculture, 9: 171–177.
18- Goudriaan, J., Monteith, J.L., 1990. A mathematical function for crop growth based on light interception and leaf-area expansion. Annals of Botany, 66: 695–701.
19- Healey, K.D., Rickert, K.G., Hammer, G.L., and M.P., Bange. 1998. Radiation use efficiency increases when the diffuse component of incident radiation is enhanced under shade. Australian Journal of Agricultural Research, 49: 665–672.
20- Jahansooz , M.R., I.A.M., Yunusa, D.R., Coventry, A.R., Palmer and D., Eamus. 2007. Radiation- and water-use associated with growth and yields of wheat and chickpea in sole and mixed crops. European Journal of Agronomy, 26: 275–282.
21- Keating, B.A., and P.S., Carberry. 1993. Resource capture and use in intercropping: solar radiation. Field Crops Research, 34: 273–301.
22- Kiniry, G.A., B., Bean, Y., Xie, and P., Chen. 2004. Maize yield potential: critical processes and simulation modeling in a high-yielding environment. Agricultural Systems, 82: 45–56
23- Kumar, S., J.R., Bahl, R.P., Bansal, A.K., Gupta, V., Singh, and S. Sharma, 2002. High economic returns from companion and relay cropping of bread wheat and menthol mint in the winter–summer season in north Indian plains. Industrial Crops and Products 15: 103–114.
24- Lantinga, E.A., Nassiri, M., and M.J., Kropff. 1999. Modelling and measuring vertical light absorption within grass–clover mixtures. Agricultural and Forest Meteorology, 96: 71–83.
25- Launay, M., Brisson, N., Satger, S., Hauggaard-Nielsen, H., Corre-Hellou, G., Kasynova, E., Ruske, R., Jensen, E.S., and M., Gooding. 2009. Exploring options for managing strategies for pea-barley intercropping using a modeling approach. European Journal of Agronomy, 31: 85–98
26- Li, L., Sun, J.H., Zhang, F.S., Li, X.L., Yang, S.C., and Z., Rengel. 2001. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping I. Yield advantage and interspecific interactions on nutrients. Field Crops Research, 71: 123–137.
27- Li, L., Sun, J., Zhang, F., Li., X., Rengel, Z. and S. Yang. 2001. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping II. Recovery or compensation of maize and soybean after wheat harvesting. Field Crops Research, 71: 173-181.
28- Mandal, B.K., D. Das, A., Saha, and M., Mohsin. 1996. Yield advantage of wheat (*Triticum aestivum*) and chickpea (*Cicer arietinum*) under different spatial arrangements in intercropping. Indian Journal of Agronomy, 41 (1): 17-21.
29- Marshall, B., and R.W., Willey, 1983. Radiation interception and growth in an intercrop of pearl millet–groundnut. Field Crops Research. 7: 141–160.
30- Monteith, J.L., 1994. Principles of resource capture by crops stands. In: Monteith, J.L., Scott, R.K., Unsworth, M.U. (Eds.), Resource Capture by Crops. Nottingham University Press, Loughborough, UK, pp. 1–15.
31- Morris R.A., and D.P., Carrity, 1993. Resource capture and utilization in intercropping: water. Field Crops Research, 34: 303-317.
32- O'Connell, M.G., O'Leary, G.J., Whitfield, D.M., and D.J., Connor. 2004. Interception of photosynthetically active radiation and radiation use efficiency of wheat, field pea and mustard in a semi-arid environment. Field Crops Research 85, 111–124.
33- Olesen, J.E., Berntsen, J., Hansen, E.M., Petersen, B.M., and J., Petersen. 2002. Crop nitrogen demand and canopy area expansion in winter wheat during vegetative growth. European Journal of Agronomy 16: 279–294.
34- Padhi, A.K., Sahoo, B.K., Das, K.C., 1993. Production potential, economic and energetics of upland cotton (*Gossypium hirsutum*)-based intercropping systems under upland, rain-fed situation. Indian Journal of Agricultural Science, 63: 160–165.
35- Parajulee, M.N., R., Montandon, and J.E., Slosser. 1997. Relay intercropping to enhance abundance of insect predators of cotton aphid (*Aphis gossypii* Glover) in Texas cotton. International Journal of Pest Management, 43: 227–232.
36- Rajcan, I., C.J., Swanton, 2001. Understanding maize-weed competition: resource competition, light quality and the

whole plant. Field Crops Research, 71: 139-150.
37- Thorsted, M.D., J.E., Olesen, and J., Weiner. 2006. Width of clover strips andwheat rows influence grain yield in winter wheat/white clover intercropping. Field Crops Research, 95: 280–290.
38- Tsubo, M., and S. Walker. 2002. A model of radiation interception and use by a maize–bean intercrop canopy. Agricultural and Forest Meteorology, 110: 203–215.
39- Tsubo, M., Walker, S., and E., Mukhala, 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. Field Crops Research, 71: 17–29.
40- van der Meer, J., 1989. The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press, New York, p. 237.
41- Wallace, **S**.U., M., Bacanamwo, J.H., Palmer and S.A., Hull. 1996. Yield and yield components of relay-intercropped wheat and soybean. Field Crops Research, 161-168.
42- Willey, R.W. 1990. Resource use in intercropping systems. Agricultural Water Management, 17: 215–231.
43- Zhang, L., van der Werf, W., L. Bastiaans, S. Zhangc, B. Li , and J.H.J. Spiertz. 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. Field Crops Research, 107: 29–42.
44- Zhang, L., W., van der Werf, S., Zhang, B., Li, and J.H.J., Spiertz. 2007. Growth, yield and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems. Field Crops Research, 103: 178–188.
45- Zhang, L., J.H.J., Spiertz, S., Zhang, Li, B., W., van der Werf. 2008. Nitrogen economy in relay intercropping systems of wheat and cotton. Plant and Soil, 303: 55–68.