نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۰، شماره ۲ ، تابستان ۱۳۹۱، ص. ۲۶۹-۲۵۶

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 10, No. 2, Summer. 2012, p. 256-269

مقایسه راندمان جذب، مصرف و بهره‌وری تشعشع در سیستم‌های تک‌کشتی و چندکشتی کلزا (*Brassica napus* L.)، لوبیا (*Phaseous vulgaris* L.) و ذرت (*Zea mays* L.)

سمانه نجیب‌نیا[1*]- علیرضا کوچکی[2]- مهدی نصیری محلاتی[3]- حسن پرسا[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۵/۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۰/۱۴

چکیده

به‌منظور بررسی راندمان جذب، مصرف و بهره‌وری تشعشع در سیستم‌های تک‌کشتی و چندکشتی سه گیاه کلزا (*Brassica napus* L.)، لوبیا (*Phaseous vulgaris* L.) و ذرت (*Zea mays* L.)، آزمایشی در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در منطقه مشهد به اجرا درآمد. در این بررسی، ۶ تیمار کشت شامل سه تیمار تک‌کشتی برای هر یک از سه گیاه (کلزا در اول مهر، ذرت و لوبیا در ۱۰ اردیبهشت) و سه تیمار چندکشتی شامل چندکشتی دوگانه (کشت هم‌زمان لوبیا و ذرت در ۱۰ اردیبهشت)، چندکشتی تأخیری دومرحله‌ای (کلزا در اول مهر و لوبیا و ذرت در ۱۰ اردیبهشت) و چندکشتی تأخیری سه‌مرحله‌ای (کلزا در اول مهر، لوبیا در ۲۰ فروردین و ذرت در ۱۰ اردیبهشت) در نظر گرفته شد. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. بر اساس نتایج، ترکیب کشت تأثیر معنی‌داری بر راندمان جذب، مصرف و بهره‌وری تشعشع داشت ($p\leq$۰/۰۵). در بین تیمارهای چندکشتی، چندکشتی دوگانه بیشترین راندمان جذب (۰/۵۴)، بیشترین راندمان مصرف و بهره‌وری بر اساس عملکرد دانه (به‌ترتیب با ۰/۲۳ و ۰/۱۳ گرم بر مترمربع بر مگاژول) و بیشترین بهره‌وری بر اساس عملکرد بیولوژیک (۰/۵۰ گرم بر مترمربع بر مگاژول) و چندکشتی تأخیری سه‌مرحله‌ای بیشترین راندمان مصرف بر اساس عملکرد بیولوژیک (۰/۹۲ گرم بر مترمربع بر مگاژول) را نشان دادند. در بین تیمارهای تک‌کشتی، لوبیا بیشترین راندمان جذب (۰/۴۹) و ذرت بیشترین راندمان مصرف بر اساس عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه (به‌ترتیب با ۱/۸۰ و ۰/۶۵ گرم بر مترمربع بر مگاژول) و نیز بیشترین بهره‌وری بر اساس عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه (به‌ترتیب با ۰/۷۲ و ۰/۲۶ گرم بر مترمربع در میلی‌متر) را دارا بودند. در مجموع، تیمار چندکشتی دوگانه از نظر راندمان جذب و تک‌کشتی ذرت از نظر راندمان مصرف بر اساس عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه و بهره‌وری بر اساس عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه برتر بودند. با توجه به نتایج این آزمایش به‌نظر می‌رسد چنین ترکیب‌هایی از کشت به‌علل مختلف از جمله سایه‌اندازی کلزا روی گیاهچه‌های جوان لوبیا و ذرت، نتیجه مطلوب حاصل ننماید و لذا پیشنهاد می‌شود در آزمایش‌های بعدی، تاریخ‌های کاشت به نحوی اصلاح شوند که تلاقی دوره رشد گیاهان همراه با کلزا، کوتاه‌تر گردد.

واژه‌های کلیدی: تک‌کشتی، چندکشتی، راندمان جذب تشعشع، راندمان مصرف تشعشع، بهره‌وری تشعشع

مقدمه

افزایش راندمان و بهره‌وری استفاده از منابع، مهم‌ترین اقدام برای حصول پایداری است (۱۲). تشعشع خورشید نخستین منبع انرژی در اکوسیستم‌ها بوده و انرژی لازم برای فرآیندهای جذب و تعرق آب را فراهم می‌کند (۷). در همین رابطه، مقدار و چگونگی تثبیت انرژی تشعشعی در گیاهان از مهم‌ترین شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و نمو است (۲۳) و در این رابطه شاخص‌هایی چون راندمان جذب، مصرف و نیز بهره‌وری تشعشع مطرح می‌شوند. راندمان جذب تشعشع به‌معنای نسبت بین تشعشع فعال فتوسنتزی جذب‌شده تجمعی[5] به‌وسیله گیاه‌زراعی و میزان تشعشع فعال فتوسنتزی ورودی به سیستم در طول فصل یا سال است (۱۲) و ساده‌ترین تعریف راندمان مصرف تشعشع عبارت از مقدار زیست‌توده گیاهی تولید شده به انرژی تشعشعی جذب‌شده توسط گیاه می‌باشد (۲۸).

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری و استادان گروه زراعت دانشکده‌کشاورزی، دانشگاه‌فردوسی‌مشهد
۴- کارشناس‌ارشد پژوهشی پژوهشکده علوم‌گیاهی دانشگاه‌فردوسی‌مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: s_best2005@yahoo.com)

5- Cummulative Intercepted Photosynthetically Active Radiation

بهره‌وری استفاده از تشعشع خورشید عبارت است از نسبت بین خروجی سیستم (زیست‌توده یا دانه تولید شده) و میزان تشعشع فعال فتوسنتزی وارد شده به سیستم[1] (در طول فصل یا در طول سال)، که از طریق حاصل‌ضرب راندمان مصرف تشعشع و راندمان جذب تشعشع محاسبه می‌شود. راندمان جذب تشعشع در مورد گندم به ترتیب از ۰/۵۸ تا ۰/۶۸ در طول فصل زراعی و از ۰/۲۴ تا ۰/۲۷ در طول سال گزارش شده است. مقدار راندمان مصرف تشعشع در مورد گندم، از ۰/۶۴ تا۰/۷۲ گرم بر مگاژول بر اساس عملکرد دانه است (۱۲). مقدار راندمان مصرف تشعشع بر اساس کل تشعشع برای بادام‌زمینی بین ۱/۰۲ تا ۱/۳۷ (۱۰) و برای چغندرقند بین ۰/۹ تا ۱/۸۴ (۳۱) گرم ماده خشک بر مگاژول گزارش شده است. سینکلر و ماچو (۳۴)، حداکثر راندمان مصرف تشعشع در گیاهان چهارکربنه را برای نیشکر، ذرت و سورگوم به‌ترتیب مقدار ۲، ۱/۷۷ و ۱/۴۰ گرم بر مگاژول و برای گیاهان سه‌کربنه سیب‌زمینی، آفتابگردان و برنج به‌ترتیب ۱/۷، ۱/۵۶ و ۱/۴۶ گرم بر مگاژول گزارش کرده‌اند. در همین رابطه مقدار بهره‌وری تشعشع در محدوده زمانی فصل زراعی از ۰/۴۲ تا۰/۴۴ گرم بر مگاژول بر اساس عملکرد دانه گندم و در محدوده زمانی سال از ۰/۱۷ تا ۰/۱۸ گرم بر مگاژول بر اساس عملکرد دانه است (۱۲).

گرچه راندمان استفاده از تشعشع در اکوسیستم‌های زراعی می‌تواند برحسب روش‌های مدیریتی تغییر داده شود (۴۰)، ولی راندمان مصرف تشعشع ماهیت متغیر داشته و مقدار آن در مکان‌ها و زمان‌های مختلف در یک سال متفاوت است (۷). از جمله عوامل گیاهی موثر بر مقدار راندمان مصرف تشعشع می‌توان به مسیر فتوسنتزی (۳۰)، گونه گیاهی (۲۵، ۳۳ و ۳۵)، رقم (۱۱) و مرحله رشد (۱۳ و ۲۷) اشاره نمود. برخی ابزارهای مدیریتی مانند تغییر تراکم (۲)، تغییر ساختار کانوپی و نیز سیستم‌های چندکشتی می‌توانند بر مقدار این شاخص تأثیر داشته باشند (۱۵ و ۱۸).

در الگوهای زراعی چندکشتی با کاهش زمان هدررفت منابع[2] (مدت زمان بین کاشت تا مرحله‌ای که گیاه بتواند از طریق تکمیل سایه‌انداز خود ۸۰ درصد تشعشع ورودی را جذب کند)، می‌تواند باعث افزایش راندمان جذب و مصرف تشعشع شود (۱۲)، که این اثر از طریق افزایش توسعه سطح برگ در اوایل فصل و افزایش شاخص سطح برگ ماکزیمم حاصل می‌شود (۱۱). منابع متعددی بهبود میزان جذب، مصرف و بهره‌وری تشعشع در سیستم‌های چندکشتی در مقایسه با تک‌کشتی را گزارش کرده‌اند (۲۴، ۳۷ و ۳۸). تنوع در ساختار سایه‌انداز (۶، ۲۱ و ۳۶) تغییر رابطه مبدأ و مخزن (۳۰) و افزایش تشعشع پخش شده (۹) می‌تواند از عوامل موثر در این رابطه باشد. کیامانیوا و آمپوفو (۲۱) با بررسی اثر چندکشتی لوبیای چشم‌بلبلی و ذرت بر شدت تشعشع در پوشش گیاهی دریافتند که پوشش گیاهی چندکشتی لوبیای چشم‌بلبلی- ذرت در مقایسه با تک‌کشتی لوبیا، تشعشع کمتری را عبور می‌دهد. زانگ و همکاران (۴۳)، پس از بررسی جذب و مصرف تشعشع در چندکشتی تأخیری گندم و پنبه، مشاهده کردند که میزان جذب تشعشع توسط گندم در الگوهای چندکشتی به مراتب بیشتر از تک‌کشتی گندم و پنبه است.

سان و همکاران (۳۶) نشان دادند که جذب تشعشع در چندکشتی واریته‌های غیر مشابه سویا بیشتر از تک‌کشتی است. تسوبو و والکر (۳۹) گزارش کردند که اختلافی بین راندمان مصرف تشعشع ذرت در تک‌کشتی و چندکشتی وجود نداشت، اما راندمان مصرف تشعشع لوبیا در چندکشتی ۱۲ درصد افزایش یافت. با توجه به اهمیت اکولوژیکی و زراعی نظام‌های چندکشتی و نیز با توجه به لزوم ارزیابی دقیق این نظام‌ها از حیث شاخص‌های علمی، این آزمایش با هدف بررسی نظام‌های تک‌کشتی و چندکشتی سه محصول مهم کلزا، لوبیا و ذرت از نظر راندمان جذب تشعشع، راندمان مصرف تشعشع و نیز میزان بهره‌وری آن، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده‌کشاورزی دانشگاه‌فردوسی‌مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا به مرحله اجرا درآمد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و سه تکرار انجام شد. تیمارهای این آزمایش شامل تک‌کشتی[3] هر یک از گیاهان کلزا (*Brassica napus* L.) در اول مهر ماه، ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseous vulgaris* L.) در ۱۰ اردیبهشت بودند. چندکشتی دوگانه[4] شامل کشت هم‌زمان ذرت و لوبیا در ۱۰ اردیبهشت، چندکشتی تأخیری[5] دومرحله‌ای شامل کشت کلزا در اول مهرماه و لوبیا و ذرت در ۱۰ اردیبهشت و چندکشتی تأخیری سه‌مرحله‌ای شامل کشت کلزا در اول مهرماه، لوبیا در ۲۰ فروردین و ذرت در ۱۰ اردیبشت‌ماه بودند. عملیات آماده‌سازی بستر بذر مطابق معمول منطقه انجام شد و تیمارها در کرت‌هایی به ابعاد ۵×۳ متر قرار گرفتند. بین کرت‌ها یک متر فاصله وجود داشت. در داخل هر کرت، ۶ ردیف با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر ایجاد شدند. در تیمارهای چندکشتی، گیاهان مختلف به طور یک ردیف در میان کشت شدند. ارقام مورد استفاده در این آزمایش عبارت بودند از رقم دیررس ذرت ۷۰۴، رقم

1- Incident Photosynthetically Active Radiation (IPAR)
2- Time Lost
3- Monoculture
4- Double Cropping
5- Relay Cropping

لوبیای معمولی ایستاده درخشان و رقم کلزای مدنا[1] که به‌ترتیب با تراکم مطلوب ۷، ۱۴ و ۲۰ بوته در مترمربع کشت شدند.

به‌منظور برآورد سهم هر گیاه در جذب تشعشع ورودی، سطح برگ گیاهان مختلف در هر کرت با برداشت سه بوته از هر گیاه و با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ Delta-T در مورد کلزا در ۱۰ نوبت و در مورد لوبیا و ذرت در ۶ نوبت در طول فصل رشد اندازه‌گیری شد. مقادیر شاخص سطح برگ روزانه با برازش تابع لجستیک پیک به مقادیر LAI اندازه‌گیری‌شده تعیین گردید.

$LAI=a_0+a_1*4*(\exp(-(x-a_2)/a_3))/(1+\exp(-(x-a_2)/a_3))^2$

که در آن a_0 عرض از مبدا (مقدار LAI در زمان t=0)، a_1 زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، a_2 میانگین سرعت نسبی رشد سطح برگ، a_3 زمان شروع مرحله خطی رشد شاخص سطح برگ و t زمان (روز بعد از رزت یا سبزشدن) می‌باشند. مقادیر تشعشع ورودی روزانه (I) بر اساس روش توصیف‌شده توسط خودریان و ون‌لار برای مشهد محاسبه گردید (۴). سپس این مقادیر بر اساس تعداد ساعات آفتابی اخذ شده از ایستگاه هواشناسی مشهد و بر اساس معادله آنگستروم تصحیح گردید (۴۲):

$I/I0=A+B\,(n/N)$

در این معادله I میزان تشعشع روزانه شبیه‌سازی شده، I_0 میزان تشعشع روزانه بالای کانوپی با توجه به ساعات آفتابی، n و N به‌ترتیب تعداد ساعات آفتابی و طول روز و A و B ضرایب آنگستروم می‌باشند. در این معادله، مقادیر A و B برای مشهد به‌ترتیب معادل ۰/۳ و ۰/۳۷ در نظر گرفته شد. با داشتن مقادیر شاخص سطح برگ روزانه (LAI_t) و تشعشع ورودی روزانه (I_0)، مقادیر تشعشع جذب شده روزانه (I_{abs}) توسط گیاه بر حسب مگاژول بر مترمربع در روز برای هر گیاه محاسبه شد.

$I_{abs}=I_0\times(1-e^{-k\times LAIt})$

در این معادله، K ضریب خاموشی تشعشع برای هر گیاه است که به‌ترتیب برای کلزا، ۰/۶ (19)، لوبیا، ۰/۷ و ذرت ۰/۶ در نظر گرفته شد (39 و 40). مقدار تشعشع تجمعی جذب‌شده روزانه با استفاده از اعداد تجمعی حاصل از این معادله از زمان سبزشدن تا رسیدگی نهایی، محاسبه شد (۵). وزن هر گونه گیاهی پس از برداشت با جمع‌آوری اندام‌های گیاه از هر کرت در انتهای فصل اندازه‌گیری شد. راندمان جذب تشعشع (C_{RAD}) بر اساس نسبت میزان کل تشعشع جذب شده (RAD_{abs}) و کل تشعشع ورودی (RAD_{inc}) محاسبه شد:

$C_{RAD} = RAD_{abs}/RAD_{inc}$

راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیک (RUE_{DM}) بر اساس نسبت کل ماده خشک تولیدی (TDM) بر میزان کل تشعشع جذب شده (RAD_{abs}) به‌دست آمد:

$RUE_{DM} = TDM/RAD_{abs}$

محاسبه راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد دانه (RUE_{SY}) از تقسیم عملکرد دانه (SY) بر میزان کل تشعشع جذب شده (RAD_{abs}) حاصل شد:

$RUE_{SY} = SY/RAD_{abs}$

میزان بهره‌وری تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیک (RPDM) از حاصل‌ضرب مقدار راندمان جذب (CRAD) و راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیک (RUE_{DM}) محاسبه گردید (۱۲):

$RP_{DM} = C_{RAD} \times RUE_{DM} = RAD_{abs}/RAD_{inc} \times TDM/RAD_{abs} = TDM/RAD_{inc}$

میزان بهره‌وری تشعشع بر اساس عملکرد دانه (WP_{SY}) از حاصل‌ضرب مقدار راندمان جذب (C_{RAD}) و راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد دانه (RUE_{SY}) به‌دست آمد:

$WP_{SY} = C_{RAD} \times WUE_{SY} = RAD_{abs}/RAD_{inc} \times SY/RAD_{abs} = SY/RAD_{inc}$

محاسبه راندمان جذب، مصرف و بهره‌وری تشعشع برای هر گونه از گیاهان در ترکیب‌های کشت و نیز هر نوع ترکیب کشت (انواع تک‌کشتی و چندکشتی) انجام شد. محاسبات آماری و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای Excel، SlideWrite، Mstat-C انجام گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده گردید.

نتایج و بحث

راندمان جذب تشعشع گونه‌های گیاهی در ترکیب‌های کشت

نتایج به‌دست‌آمده در رابطه با میزان راندمان جذب تشعشع گونه‌های گیاهی در ترکیب‌های مختلف کشت نشان داد که در میان تیمارهای مختلف، کلزا در چندکشتی تأخیری دومرحله‌ای (۰/۶۰) و لوبیا و ذرت در چندکشتی دوگانه (به‌ترتیب با ۰/۵۱ و ۰/۴۶) بیشترین مقادیر میزان راندمان جذب تشعشع را دارا بودند، به‌طوری‌که میزان آن در کلزا نسبت به تک‌کشتی و در لوبیا و ذرت نسبت به چندکشتی‌های تأخیری دومرحله‌ای و سه‌مرحله‌ای دارای تفاوت معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود (جدول ۱). بر این اساس میزان برتری شاخص راندمان جذب تشعشع در کلزا در چندکشتی تأخیری دومرحله‌ای نسبت به تک‌کشتی و چندکشتی تأخیری سه‌مرحله‌ای، به‌ترتیب ۲۷/۷ و ۱۵/۴ درصد بود. مقدار برتری این شاخص در لوبیا در چندکشتی دوگانه نسبت به تک‌کشتی و چندکشتی‌های تأخیری دومرحله‌ای و سه‌مرحله‌ای به‌ترتیب ۴/۱، ۳۰/۸ و ۹۶/۱ درصد بود. ذرت نیز در چندکشتی دوگانه نسبت به تک‌کشتی و چندکشتی‌های تأخیری دومرحله‌ای و سه‌مرحله‌ای به‌ترتیب ۱۲/۲، ۷۶/۹ و ۵۸/۶ درصد برتری نشان داد (جدول ۱).

1- Modena

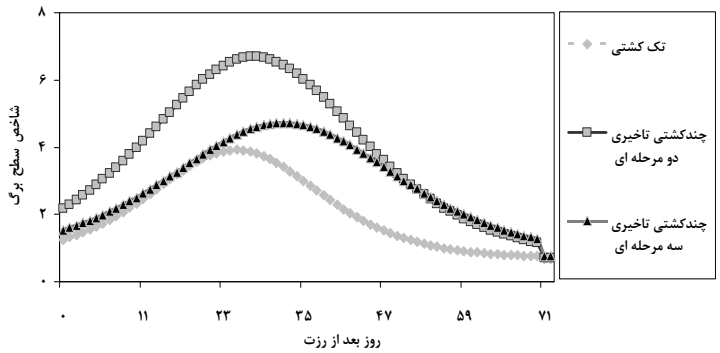
جدول ۱- راندمان جذب تشعشع گونه‌های مختلف گیاهی در انواع ترکیب‌های کشت (مگاژول بر مگاژول)

ترکیب کشت	نوع گیاه		
	کلزا	لوبیا	ذرت
تک‌کشتی	0/47 b*	0/49 ab	0/41 a
چندکشتی دوگانه	-	0/51 a	0/46 a
چندکشتی تأخیری دومرحله‌ای	0/60 a	0/39 b	0/26 b
چندکشتی تأخیری سه‌مرحله‌ای	0/52 ab	0/26 c	0/29 b

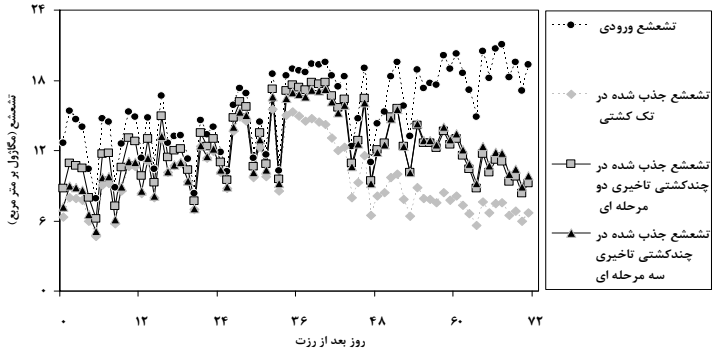
* - در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف غیرمشابه، از نظر آماری تفاوت معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) دارند.

احتمالاً علت راندمان جذب بیشتر تشعشع در کلزا در سیستم‌های چندکشتی تأخیری نسبت به تک‌کشتی، شاخص سطح برگ بیشتر این گیاه در چندکشتی‌های تأخیری نسبت به تک‌کشتی است (شکل ۱) که افزایش جذب تشعشع در این سیستم‌ها نسبت به تک‌کشتی را در پی داشته است (شکل ۲).

در این بررسی حصول حداکثر شاخص سطح‌برگ در کلزا در تیمار تک‌کشتی، حدود ۲۵ روز بعد از خروج از مرحله رزت روی داده است (شکل ۱)، که در آن زمان میزان تشعشع ورودی به مقدار کمتری بوده است (شکل ۲)، در حالی که حصول حداکثر شاخص سطح‌برگ این گیاه در چندکشتی‌های تأخیری دومرحله‌ای و سه‌مرحله‌ای در حدود ۳۰ تا ۳۵ روز پس از خروج از مرحله رزت بوده است (شکل۱)، که در این هنگام میزان تشعشع ورودی به مقدار بیشتری بوده است (شکل ۲) و لذا قابلیت جذب تشعشع در گیاه کلزا در تیمارهای چندکشتی تأخیری دومرحله‌ای و سه‌مرحله‌ای نسبت به تک‌کشتی آن افزایش یافته است.



شکل ۱- شاخص سطح برگ کلزا در ترکیب‌های مختلف کشت



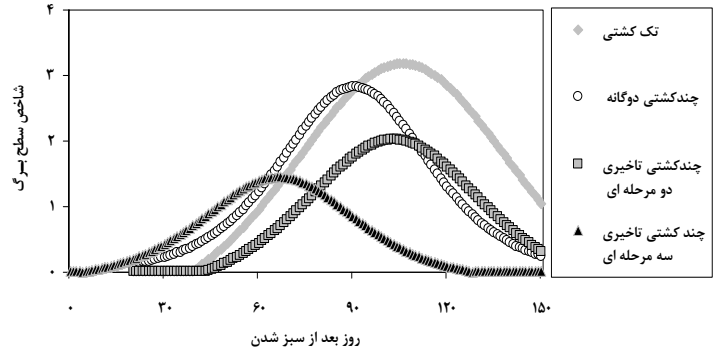
شکل۲- تشعشع ورودی و جذب‌شده روزانه در کلزا در ترکیب‌های مختلف کشت

به‌نظر می‌رسد یکی از علت‌های افزایش راندمان جذب در لوبیا در چندکشتی دوگانه نسبت به تک‌کشتی این باشد که حداکثر میزان شاخص سطح‌برگ این گیاه در تک‌کشتی، حدود ۱۱۵ روز بعد از سبزشدن حاصل شده است (شکل ۳)، که در این زمان، میزان تشعشع ورودی نسبت به روزهای قبل کاهش یافته بود (شکل ۴)، در حالی‌که حداکثر میزان شاخص سطح‌برگ این گیاه در چندکشتی دوگانه در حدود ۹۰ روز پس از سبزشدن حاصل شده (شکل ۳)، که در این زمان تشعشع ورودی در سطح بالاتری قرار داشته است (شکل ۴) و همین امر موجب شده است که علی‌رغم کمتر بودن میزان شاخص سطح برگ لوبیا در چندکشتی دوگانه (شاخص سطح برگ ۲/۸) نسبت به تک‌کشتی آن (شاخص سطح برگ ۳/۲) (شکل ۳) راندمان جذب در این گیاه در چندکشتی دوگانه نسبت به تک‌کشتی افزایش یابد.

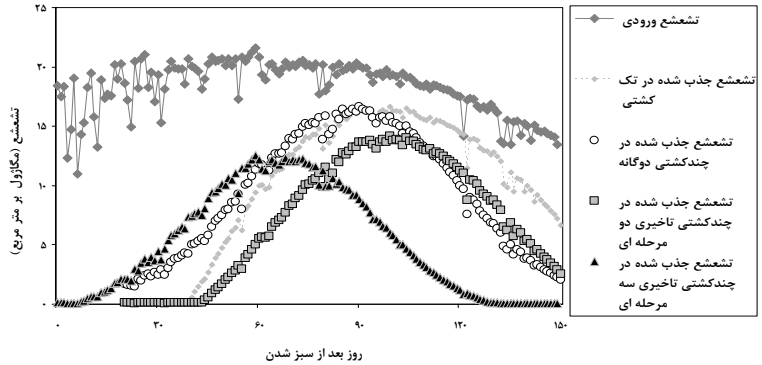
به‌نظر می‌رسد علت کمتربودن راندمان جذب لوبیا در چندکشتی‌های تأخیری دومرحله‌ای و سه‌مرحله‌ای نسبت به تک‌کشتی و چندکشتی دوگانه این گیاه نیز کمتربودن شاخص سطح‌برگ آن در چندکشتی‌های تأخیری (شکل ۳) باشد که کاهش جذب تشعشع در لوبیا در این تیمارها را موجب شده است (شکل ۴).

یکی از علت‌های افزایش راندمان جذب در ذرت در چندکشتی دوگانه نسبت به تک‌کشتی این است که شاخص سطح‌برگ این گیاه در تک‌کشتی در مدت کوتاهی به ماکزیمم رسیده در حالی که در چندکشتی دوگانه مدت بیشتری به طور ثابت زیاد بوده است. بیشتربودن شاخص سطح‌برگ ذرت در چندکشتی دوگانه نسبت به چندکشتی‌های تأخیری دومرحله‌ای و سه‌مرحله‌ای نیز موجب بیشترشدن راندمان جذب این گیاه در چندکشتی دوگانه نسبت به چندکشتی‌های تأخیری شده است (شکل ۵). روند مشابهی نیز در وضعیت جذب تشعشع در ترکیب‌های مختلف کشت این گیاه مشاهده می‌گردد (شکل ۶).

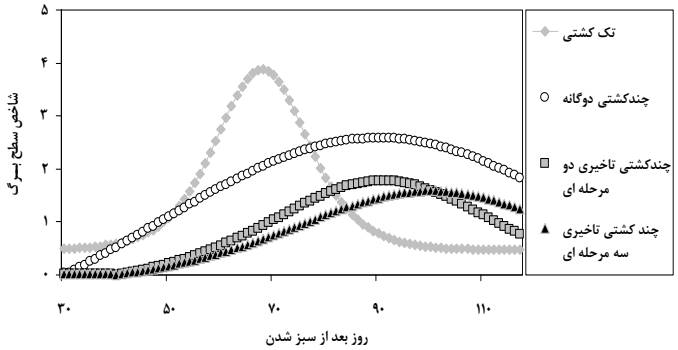
برخی بررسی‌ها نشان می‌دهند اعمال روش‌های مدیریتی مانند آرایش کاشت اثر معنی‌داری بر میزان جذب تشعشع فعال فتوسنتزی دارند، از جمله در یک بررسی (۱) شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی تشعشع تحت تأثیر آرایش کاشت قرار گرفت و در نتیجه بر میزان تشعشع فعال فتوسنتزی جذب‌شده تأثیر گذاشت. همچنین افزایش تجمع ماده‌خشک در آرایش کاشت مربع حاصل شده است که ناشی از جذب بیشتر تشعشع فعال فتوسنتزی در این آرایش کاشت نسبت به آرایش کاشت لوزی و مستطیل بوده است.



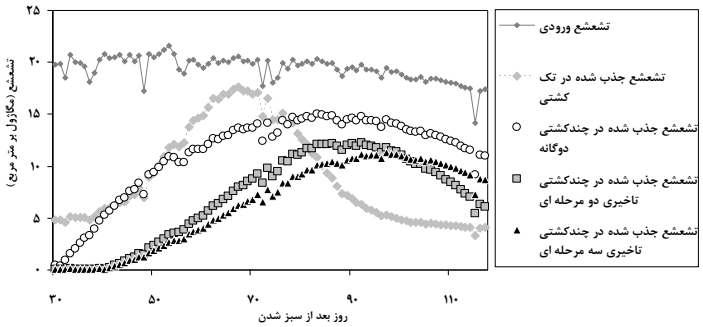
شکل۳- شاخص سطح‌برگ لوبیا در ترکیب‌های مختلف کشت



شکل٤- تشعشع ورودی و جذب‌شده روزانه در لوبیا در ترکیب‌های مختلف کشت



شکل ۵- شاخص سطح برگ ذرت در ترکیب‌های مختلف کشت



شکل ٦- تشعشع ورودی و جذب‌شده روزانه در ذرت در ترکیب‌های مختلف کشت

در مطالعه‌ای که به‌منظور بررسی تأثیر کاهش زمان بسته‌شدن کانوپی بر روی میزان تولید ذرت در ایالات متحده انجام شد (۱۱)، افزایش شاخص سطح‌برگ، موجب افزایش جذب تشعشع ورودی به سیستم در اول فصل شد. نصیری و الگرسما (۲۹) در بررسی میزان جذب تشعشع در چندکشتی شبدر-گراس گزارش کردند که شبدر (رقم رتور[1]) در مقایسه با ارقام دیگر، سطح برگ و سطح مخصوص برگ کمتری داشت. از آنجا که با کاهش شاخص سطح برگ، میزان جذب تشعشع کاهش می‌یابد (۳۲)، بنابراین در چندکشتی‌های دارای این رقم، جذب تشعشع کمتر بود (۲۹).

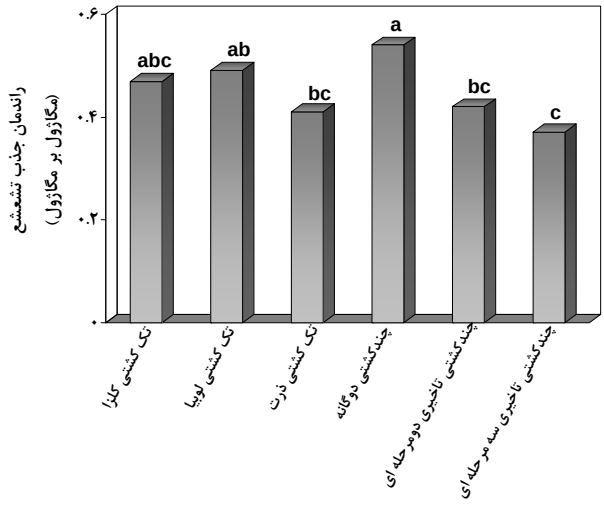
زانگ و همکاران (۴۳)، جذب و مصرف تشعشع را در چندکشتی تأخیری گندم و پنبه با تغییر تعداد ردیف‌های مربوط به هر یک از اجزا (۳:۱، ۳:۲، ۴:۲ و ۶:۲ به‌ترتیب پنبه و گندم) بررسی کردند و دریافتند که میزان جذب تشعشع فعال فتوسنتزی توسط گندم در الگوهای چندکشتی مورد بررسی به‌ترتیب ۸۳، ۷۳ و ۷۵ درصد بیشتر از تک‌کشتی گندم بود. پنبه نیز در چندکشتی‌های ذکر شده به‌ترتیب، ۷۳، ۹۳، ۸۶ و ۶۷ درصد بیشتر از تک‌کشتی، تشعشع فعال فتوسنتزی را جذب کرد.

راندمان جذب تشعشع در ترکیب‌های کشت

در بین تیمارهای ترکیب کشت، چندکشتی دوگانه بیشترین راندمان جذب تشعشع (۰/۵۴) را دارا بود و از این نظر تفاوت معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۵) با سایر چندکشتی‌ها داشت. در بین تیمارهای تک‌کشتی نیز تیمار تک‌کشتی لوبیا (۰/۴۹) بیشترین راندمان جذب را نشان داد و از این نظر تفاوت معنی‌داری با سایر تک‌کشتی‌ها مشاهده نشد (شکل ۷).

به‌نظر می‌رسد، علت راندمان جذب تشعشع بالاتر در چندکشتی دوگانه نسبت به تک‌کشتی‌ها (شکل ۷) ورود گیاهان جدید از طریق افزودن لایه‌های متعدد برگی و سپس افزایش شاخص سطح‌برگ باشد که به‌دنبال آن پوشش سایه‌انداز گیاهی کامل‌تر شده است. کیامانیوا و آمپوفو (۲۱) با بررسی اثر چندکشتی لوبیای چشم‌بلبلی و ذرت بر شدت تشعشع در پوشش گیاهی دریافتند که پوشش گیاهی چندکشتی لوبیای چشم‌بلبلی-ذرت در مقایسه با تک‌کشتی لوبیا تشعشع کمتری را عبور داده است. مظاهری (۳) بیان داشته است که پوشش گیاهی سطح زمین در زراعت چندکشتی بیش از زراعت تک‌کشتی است و به همان نسبت میزان تشعشع جذب‌شده بیشتر است.

1- Retor



شکل۷- راندمان جذب تشعشع در ترکیب‌های کشت

در چندکشتی‌ها اگر گیاهان تشکیل‌دهنده چندکشتی از نظر فیزیولوژی و مورفولوژی با یکدیگر اختلاف داشته باشند، تشعشع به نحو بهتری مورد استفاده قرار می‌گیرد. تسوبو و همکاران (۴۱)، بیان داشتند که در چندکشتی ذرت و لوبیا جذب تشعشع بیشتر از تک‌کشتی بود. آبراهام و سینگ (۶) با اندازه‌گیری میزان جذب تشعشع در تک‌کشتی سورگوم و چندکشتی آن با لوبیا چشم‌بلبلی، ماش‌سبز، بادام‌زمینی و سویا دریافتند که جذب تشعشع در تمامی چندکشتی‌های گیاهی بیشتر از تک‌کشتی سورگوم بود. سان و همکاران (۳۶) نشان دادند که عملکرد چندکشتی واریته‌های غیرمشابه سویا بیشتر از تک‌کشتی است و این موضوع ناشی از پوشش گیاهی نامنظم (موجی) چندکشتی است که باعث جذب بهتر تشعشع می‌گردد.

احتمالاً علت این‌که راندمان جذب تشعشع در چندکشتی دوگانه بیشتر از چندکشتی تأخیری دومرحله‌ای و سه‌مرحله‌ای می‌باشد، این است که در چندکشتی‌های تأخیری، لوبیا و ذرت به علت قرارگرفتن در سایه کلزا نتوانستند میزان تراکم مطلوب و نیز زمان سریع سبز داشته باشند و در نتیجه نتوانستند کانوپی بسته مناسبی را تشکیل بدهند. نتیجه این امر نیز عدم قابلیت در جذب مناسب تشعشع بوده است.

راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیکی گونه‌های گیاهی در ترکیب‌های کشت

در میان تیمارهای مختلف، کلزا، لوبیا و ذرت در تک‌کشتی (به‌ترتیب با ۱/۰۹، ۰/۲۸ و ۱/۸ گرم بر مترمربع بر مگاژول) بیشترین مقادیر راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیکی را دارا بودند، به‌طوری‌که میزان آن در کلزا نسبت به چندکشتی تأخیری دومرحله‌ای و در ذرت نسبت به سایر ترکیب‌های کشت این گیاه دارای تفاوت معنی‌دار ($p\leq ۰/۰۱$) بود (جدول ۲). میزان برتری راندمان مصرف تشعشع (بر اساس عملکرد بیولوژیک) در کلزا در تک‌کشتی نسبت به چندکشتی تأخیری دومرحله‌ای و سه‌مرحله‌ای به‌ترتیب ۸۴/۷ و ۲۶/۷ درصد بود، در صورتی‌که مقدار برتری این شاخص در لوبیا در تک‌کشتی نسبت به چندکشتی‌های دوگانه، تأخیری دومرحله‌ای و سه‌مرحله‌ای به‌ترتیب ۱۳۳/۳، ۳۰۰ و ۶۰۰ درصد بود. ذرت نیز در تک‌کشتی نسبت به چندکشتی‌های دوگانه، تأخیری دومرحله‌ای و سه‌مرحله‌ای، به‌ترتیب ۷۶/۵، ۱۱۹/۵ و ۱۶۸/۷ درصد برتری نشان داد (جدول ۲).

راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیک در کلزا در سیستم تک‌کشتی (۱/۰۹ گرم بر مترمربع بر مگاژول) از مقدار به‌دست آمده در بررسی وفابخش و همکاران (۵) کمتر می‌باشد. آن‌ها در آزمایشی که بر روی مقدار راندمان مصرف تشعشع در ارقام مختلف کلزا انجام دادند، مقدار راندمان مصرف تشعشع را در تیمار شاهد در ارقام مختلف کلزا از ۱/۰۳ تا ۲/۱۶ گرم بر مگاژول به‌دست آوردند. به‌نظر می‌رسد کاهش شدید دما و نیز تداوم این کاهش در سال انجام آزمایش حاضر، دلیل کاهش مقدار راندمان مصرف تشعشع نسبت به آزمایش وفابخش و همکاران (۵) باشد.

جدول ۲- راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیک گونه‌های گیاهی در ترکیب‌های مختلف‌کشت (گرم بر مترمربع بر مگاژول)

ترکیب کشت	نوع گیاه		
	کلزا	لوبیا	ذرت
تک‌کشتی	۱/۰۳ a *	۰/۲۸ ab	۱/۸۰ a
چندکشتی دوگانه	–	۰/۱۲ b	۱/۰۲ b
چندکشتی تأخیری دومرحله‌ای	۰/۵۹ b	۰/۰۷ b	۰/۸۲ b
چندکشتی تأخیری سه‌مرحله‌ای	۰/۸۶ ab	۰/۰۴ b	۰/۶۷ b

*–در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف غیرمشابه، از نظر آماری تفاوت معنی‌دار (p≤۰/۰۱) دارند.

در این بررسی مقدار راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیکی در گیاه کلزا در سیستم تک‌کشتی، بر اساس تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR)[1] حدود ۲/۱۸ گرم ماده خشک بر مترمربع بر مگاژول حاصل شد (جدول ۲) که از مقدار به‌دست آمده در آزمایش موریسون و استوارت (۲۶) کمتر بود. این محققان در بررسی که بر روی تغییر تراکم در کلزا انجام دادند، مقدار شاخص راندمان مصرف تشعشع در گیاه کلزای تابستانه را بر اساس تشعشع فعال فتوسنتزی ۲/۸۳ گرم بر مگاژول در شرایط مطلوب و بدون تنش گزارش کردند. می‌توان دلیل این تفاوت را به تابستانه‌بودن کاشت کلزا در آزمایش ایشان و پاییزه‌بودن کاشت این گیاه در بررسی حاضر نسبت داد. ضمن این‌که کاهش شدید دما و امتداد آن در سال انجام آزمایش حاضر نیز می‌تواند دلیل دیگر این امر باشد.

بر اساس اطلاعات سازمان هواشناسی در طی ماه‌های پاییز و زمستان در سال انجام این آزمایش، ۶۶ روز دمای کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد وجود داشت و حداقل دما تا ۲۱- درجه سانتی‌گراد کاهش یافت که در تاریخ ۱۸ دی‌ماه ۱۳۸۶ به‌وقوع پیوست و کاهش دما حتی تا تاریخ ششم اسفند ۱۳۸۶ ادامه داشت و در این زمان به ۱- درجه سانتی‌گراد رسید. بر اساس تحقیقات انجام شده، راندمان مصرف تشعشع ماهیتی متغیر داشته و تحت تأثیر شرایط محیطی تغییر می‌کند (۲۳، ۷)، لذا مقدار این شاخص در مکان‌های مختلف و نیز زمان‌های مختلف در یک سال متفاوت می‌باشد (۷). دما از جمله شرایط محیطی تأثیرگذار بر این شاخص است (۸، ۱۲، ۲۰، ۲۲ و ۳۳). لافیت و ادمیدز (۲۲)، در بررسی خود بر روی تأثیر دما بر مصرف تشعشع و تخصیص بیومس در ارقام متنوع ذرت نتیجه گرفتند که دما از طریق تأثیر بر یک سری فرآیندها نظیر جذب تشعشع (از طریق تأثیر بر توسعه و دوام سطح برگ) و راندمان استفاده از تشعشع بر عملکرد تأثیر می گذارد، به‌عنوان مثال در محیط‌هایی که دما بالا است، تسریع در پیری برگ‌ها موجب کاهش جذب تشعشع در زمان گل‌دهی می‌شود. اندراد و همکاران (۸) در مطالعه‌ای که بر روی تأثیر دما بر راندمان مصرف تشعشع در ذرت انجام دادند، مشاهده نمودند که در هیبریدهای مناطق معتدله، راندمان استفاده از تشعشع با کاهش دما از ۲۱ به ۱۶ درجه سانتی‌گراد، کاهش می‌یابد.

در این بررسی همچنین راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیکی در تک‌کشتی کلزا بیش از تیمارهای چندکشتی آن بود (جدول ۲). تسوبو و همکاران (۴۱)، بیان داشتند که در چندکشتی ذرت و لوبیا جذب تشعشع بیشتر از تک‌کشتی بود، ولی راندمان مصرف تشعشع تک‌کشتی ذرت بیشتر از چندکشتی بود. زانگ و همکاران (۴۳) نیز در آزمایش خود روی کشت تأخیری کتان در گندم به این نتیجه رسیدند که اختلافی در راندمان مصرف تشعشع تک‌کشتی و چندکشتی وجود نداشت و افزایش تشعشعات جذب شده سبب افزایش تولید عملکرد بیشتر در چندکشتی شد. تسوبو و والکر (۳۹) نیز نتایج مشابهی در چندکشتی ذرت و لوبیا به‌دست آوردند. اما راندمان مصرف تشعشع لوبیا در چندکشتی نسبت به تک‌کشتی این گیاه، ۱۲ درصد افزایش یافت. آن‌ها همچنین گزارش کردند که اختلافی بین راندمان مصرف تشعشع ذرت در تک‌کشتی و چندکشتی وجود نداشت. در حالی که در بررسی ایشان راندمان مصرف تشعشع ذرت در تک‌کشتی بیشتر از چندکشتی بود. آوال و همکاران (۹) در آزمایش خود روی چندکشتی ذرت و بادام زمینی نتیجه گرفتند که راندمان مصرف تشعشع ذرت و تغییرات آن در چندکشتی مشابه با تک‌کشتی بود، به اعتقاد آن‌ها ضریب خاموشی نور ذرت در چندکشتی مشابه تک‌کشتی بود، چون ساختار هندسی کانوپی آن‌ها تحت تأثیر بادام‌زمینی قرار نگرفت.

از آنجا که در بررسی حاضر در تیمارهای چندکشتی طی زمان زیادی از حضور کلزا در زمین، گیاه دیگری وجود نداشت و لذا این گیاه در تیمار تک‌کشتی در فضایی متراکم‌تر از چندکشتی آن به سر بُرد، راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیک این گیاه در تراکم بیشتر، بیش از تراکم کمتر آن بود و این بر خلاف نتیجه بررسی موریسون و استوارت (۲۶) است. این محققان که بر روی تغییر تراکم در کلزا انجام دادند، اظهار داشتند که با افزایش تراکم، راندمان مصرف تشعشع کاهش می‌یابد.

در آزمایشی که روی چندکشتی سویا و گندم صورت گرفت نیز مشاهده شد که راندمان مصرف تشعشع در تولید ماده خشک و عملکرد در چندکشتی بالاتر از تک‌کشتی هر یک از دو محصول بود (۱۲). فوکی (۱۵) نیز در بررسی خود به نتایج مشابهی دست یافت.

1- Photosynthetically Active Radiation (PAR)

آوال و همکاران (۹) در آزمایش خود روی چندکشتی ذرت و بادام‌زمینی نتیجه گرفتند که راندمان مصرف تشعشع بادام‌زمینی در چندکشتی، ۷۵ درصد بیشتر از تک‌کشتی آن بود. کمتر بودن ضریب خاموشی نور بادام‌زمینی در چندکشتی نسبت به تک‌کشتی آن سبب شد که گیاهان بادام‌زمینی در چندکشتی تشعشعات کمتری به ازای هر واحد ماده خشک تولید شده، جذب کنند و این مسئله باعث افزایش راندمان مصرف تشعشع آن نسبت به تک‌کشتی شد. تسوبو و والکر (۳۹) نیز نتایج مشابهی در چندکشتی ذرت و لوبیا به‌دست آوردند. آنها نیز گزارش کردند که راندمان مصرف تشعشع لوبیا در چندکشتی، ۱۲ درصد افزایش یافت. به اعتقاد بهشتی و همکاران (۱) دلایل افزایش راندمان مصرف تشعشع در اثر اعمال روش‌های مدیریتی مانند تغییر آرایش کاشت، افزایش میزان تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده است. ایشان دلایل راندمان مصرف تشعشع بالاتر و در نتیجه تولید بیوماس بیشتر در آرایش کاشت مربع را به علت توزیع بهتر جریان فتوسنتزی در طول کانوپی، فتوسنتز ناخالص بیشتر و کاهش تنفس عنوان کردند.

رینولدز و همکاران (۳۰) در طی بررسی که بر روی راه‌های بهبود راندمان مصرف تشعشع در گندم انجام دادند، نتیجه گرفتند که راندمان مصرف تشعشع در یک گیاه زراعی با دستکاری ژنتیکی در هر یک از سطوح متابولیسم فتوسنتزی، فتوسنتز کانوپی، ساختار کانوپی، تعیین اندازه و تعداد دانه (دوام مخزن) که اثرات متقابل آن‌ها تعیین کننده اسیمیلاسیون خالص است، امکان‌پذیر می‌باشد. به اعتقاد این محققان دستکاری توازن بین منبع و مخزن، یک راه احتمالی برای رسیدن به راندمان مصرف تشعشع مطلوب است و در مورد ارقام جدید باید به این نکته توجه کرد که ارقام جدید بیشتر با محدودیت مخزن مواجه هستند و کمتر با محدودیت منبع مواجهند. بنابراین چنانچه مدت زمان مطلوبی از دوام اندام‌های سبز گیاه وجود داشته باشد، بهبود راندمان مصرف تشعشع به وسیله افزایش تقاضای مخزن (برای مثال، تعداد دانه) امکان‌پذیر است. در همین راستا بر اساس برخی شواهد، افزایش دوام مخزن در گندم توسط طولانی کردن دوره رشد خوشه جوان امکان‌پذیر است (۳۰).

راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد دانه گونه‌های گیاهی در ترکیب‌های کشت

در میان تیمارهای مختلف، کلزا در چندکشتی تأخیری دومرحله‌ای و لوبیا و ذرت در تک‌کشتی بیشترین مقادیر راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد دانه (به‌ترتیب با ۲/۰۹، ۰/۰۷ و ۰/۶۵ گرم بر مترمربع بر مگاژول) را دارا بودند، به‌طوری‌که میزان آن در کلزا و ذرت نسبت به سایر ترکیب‌های کشت این گیاهان دارای تفاوت معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود (جدول ۳).

به این ترتیب، میزان راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد دانه کلزا در چندکشتی تأخیری دومرحله‌ای نسبت به تک‌کشتی و چندکشتی تأخیری سه‌مرحله‌ای به‌ترتیب ۱۱ و ۱۷/۴ برابر بود. مقدار این شاخص در لوبیا در تک‌کشتی نسبت به چندکشتی‌های دوگانه، تأخیری دومرحله‌ای و تأخیری سه‌مرحله‌ای به‌ترتیب ۲/۳، ۳/۵ و ۷ برابر بود. این میزان در ذرت نیز در تک‌کشتی نسبت به چندکشتی‌های دوگانه، تأخیری دومرحله‌ای و تأخیری سه‌مرحله‌ای به‌ترتیب ۲/۵، ۳/۴ و ۵/۴ برابر بود (جدول ۳).

راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیکی در ترکیب‌های کشت

بر اساس نتایج در بین تیمارهای چندکشتی، چندکشتی تأخیری سه‌مرحله‌ای با وجود بیشترین راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیک (۰/۹۲ گرم بر مترمربع بر مگاژول) تفاوت معنی‌داری با سایر چندکشتی‌ها نداشت (شکل ۸).

جدول ۳- راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد دانه انواع گونه‌های گیاهی در ترکیب‌های مختلف کشت (گرم بر مترمربع بر مگاژول)

ترکیب کشت	نوع گیاه		
	کلزا	لوبیا	ذرت
تک‌کشتی	۰/۱۹ bc *	۰/۰۷ a	۰/۶۵ a
چندکشتی دوگانه	–	۰/۰۳ a	۰/۲۶ b
چندکشتی تأخیری دومرحله‌ای	۲/۰۹ a	۰/۰۲ a	۰/۱۹ bc
چندکشتی تأخیری سه‌مرحله‌ای	۰/۱۲ c	۰/۰۱ a	۰/۱۲ c

* – در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف غیرمشابه، از نظر آماری تفاوت معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) دارند.

در بین تیمارهای تک‌کشتی نیز تیمار تک‌کشتی ذرت (۱/۸ گرم بر مترمربع بر مگاژول) بیشترین راندمان مصرف را نشان داد و تفاوت

معنی‌داری ($p\leq ۰/۰۱$) با سایر تک‌کشتی‌ها داشت. به‌نظر می‌رسد علت بیشتر بودن راندمان مصرف تشعشع در تک‌کشتی ذرت نسبت به تک‌کشتی لوبیا و کلزا، نوع مسیر فتوسنتزی (چهارکربنه) آن باشد. برخی از محققان بر وجود مقادیر متفاوت راندمان مصرف تشعشع در گونه‌های مختلف گیاهی تأکید کرده‌اند (۱۶). رینولدز و همکاران (۳۰) در بررسی خود بر روی روش‌های بهبود ژنتیکی راندمان مصرف تشعشع در گندم اظهار داشتند که گیاهان چهار کربنه سرمایه‌گذاری کمتری در ساخت آنزیم رابیسکو و سایر آنزیم‌های همراه آن می‌نمایند که این امر موجب کاهش میزان تنفس نوری در این گیاهان شده و بهبود راندمان مصرف تشعشع در آن‌ها را نسبت به گونه‌های سه‌کربنه در پی دارد.

در این آزمایش راندمان مصرف تشعشع در گیاه دانه روغنی کلزا بیشتر از لوبیا بود در حالی که به اعتقاد برخی محققان میزان انرژی که به منظور اسیمیلاسیون ازت هم‌زیستی و تولید بیشتر پروتئین و دانه‌های روغنی مصرف می‌شود، موجب کاهش راندمان مصرف تشعشع در سویا نسبت به گونه‌های غلات دارای مسیرهای فتوسنتزی سه‌کربنه می‌شود (۲۵، ۳۳، ۳۵). شاید به‌توان علت کمتر بودن راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیکی لوبیا نسبت به کلزا را به جذب تشعشع کمتر لوبیا نسبت به کلزا در این آزمایش نسبت داد (شکل‌های ۲ و ۴). در این آزمایش مشابه بررسی تسوبو و همکاران (۴۱) راندمان مصرف تشعشع تک‌کشتی ذرت بیشتر از چندکشتی لوبیا و ذرت بود (شکل ۸).

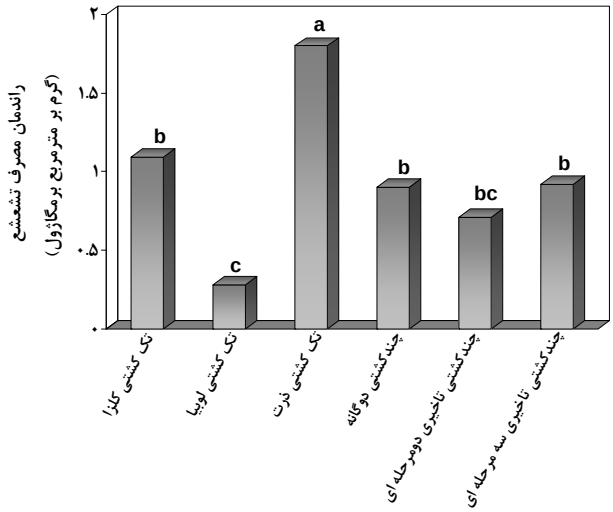
در آزمایشی که بر روی چندکشتی سویا و گندم صورت گرفت، مشاهده شد که راندمان مصرف تشعشع در تولید ماده خشک و عملکرد بیشتر از تک‌کشتی هر یک از دو محصول بود (۱۲). فوکی (۱۵) نیز نتایج مشابهی را در همین رابطه گزارش نموده است.

راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد دانه در ترکیب‌های کشت

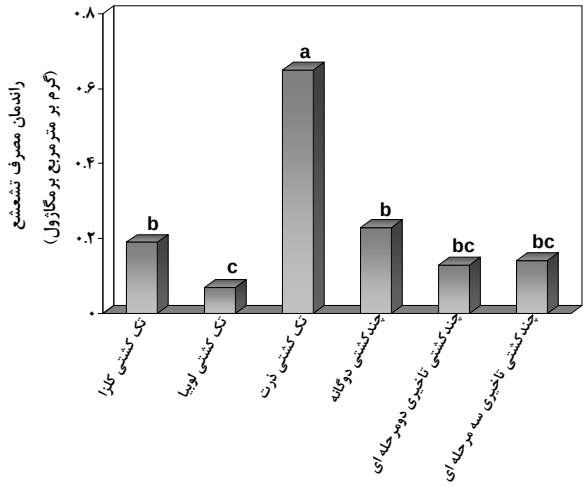
در بین تیمارهای تک‌کشتی، ذرت بیشترین راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد دانه (۰/۶۵ گرم بر مترمربع بر مگاژول) را داشت و تفاوت معنی‌داری ($p\leq ۰/۰۱$) با سایر تک‌کشتی‌ها دارا بود. در بین تیمارهای چندکشتی نیز چندکشتی دوگانه بیشترین راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد دانه (۰/۲۳ گرم بر مترمربع بر مگاژول) را دارا بود، هر چند تفاوت معنی‌داری بین انواع چندکشتی در این رابطه مشاهده نشد (شکل ۹).

بهره‌وری تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیکی گونه‌های گیاهی در ترکیب‌های کشت

در میان تیمارهای مختلف ترکیب کشت برای هر گیاه، کلزا، لوبیا وذرت در تک‌کشتی بیشترین مقادیر بهره‌وری تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیک (به‌ترتیب ۰/۵۱، ۰/۱۳ و ۰/۷۲ گرم بر مترمربع بر مگاژول) را دارا بودند، به‌طوری که میزان آن در کلزا نسبت به چندکشتی تأخیری دومرحله‌ای و در ذرت نسبت به سایر ترکیب‌های کشت این گیاه دارای تفاوت معنی‌دار ($p\leq ۰/۰۵$) بود (جدول ۴).



شکل ۸- راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیکی انواع گونه های گیاهی در ترکیب‌های مختلف کشت



شکل ۹- راندمان مصرف تشعشع بر اساس عملکرد دانه در ترکیب‌های مختلف کشت

به این ترتیب، میزان شاخص بهره‌وری تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیک در کلزا در تک‌کشتی نسبت به چندکشتی تأخیری دومرحله‌ای و سه‌مرحله‌ای به‌ترتیب ۱/۵ و ۱/۱ برابر بود. در مورد لوبیا نیز مقدار این شاخص در تک‌کشتی نسبت به چندکشتی‌های دوگانه، تأخیری دومرحله‌ای و سه‌مرحله‌ای به‌ترتیب ۱/۹، ۴/۳ و ۱۳ برابر بود و این مقدار در ذرت در تک‌کشتی نسبت به چندکشتی‌های دوگانه، تأخیری دومرحله‌ای و تأخیری سه‌مرحله‌ای به‌ترتیب ۱/۶، ۳/۴ و ۳/۶ برابر مشاهده شد (جدول ۴).

بهره‌وری تشعشع بر اساس عملکرد دانه گونه‌های گیاهی در ترکیب‌های کشت

در میان تیمارهای مختلف ترکیب کشت برای هر گیاه، کلزا، لوبیا و ذرت در تک‌کشتی (به‌ترتیب با ۰/۰۹، ۰/۰۳ و ۰/۲۶ گرم بر مترمربع بر مگاژول) بیشترین مقادیر میزان بهره‌وری تشعشع بر اساس عملکرد دانه را دارا بودند (جدول ۵).

جدول ٤- بهروری تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیکی انواع گونه‌های گیاهی در ترکیب‌های مختلف کشت (گرم بر مترمربع بر مگاژول)

ترکیب کشت	نوع گیاه		
	کلزا	لوبیا	ذرت
تک‌کشتی	۰/۵۱ b	۰/۱۳ efg	۰/۷۲ a
چندکشتی دوگانه	–	۰/۰۷ fg	۰/۴۷ bc
چندکشتی تأخیری دومرحله‌ای	۰/۳۴ cd	۰/۰۳ g	۰/۲۱ de
چندکشتی تأخیری سه‌مرحله‌ای	۰/۴۵ bc	۰/۰۱ g	۰/۲۰ ef

* – در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف غیرمشابه، از نظر آماری تفاوت معنی‌دار ($p\leq$ ۰/۰۱) دارند.

جدول ٥- بهروری تشعشع بر اساس عملکرد دانه انواع گونه‌های گیاهی در ترکیب‌های مختلف کشت (گرم بر مترمربع بر مگاژول)

ترکیب کشت	نوع گیاه		
	کلزا	لوبیا	ذرت
تک‌کشتی	۰/۰۹ bc	۰/۰۳ de	۰/۲۶ a
چندکشتی دوگانه	–	۰/۰۱ de	۰/۱۲ b
چندکشتی تأخیری دومرحله‌ای	۰/۰۵ cde	۰/۰۱ e	۰/۰۵ cde
چندکشتی تأخیری سه‌مرحله‌ای	۰/۰۶ cd	۰/۰۰۲ e	۰/۰۴ de

* – در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف غیرمشابه، از نظر آماری تفاوت معنی‌دار ($p\leq$ ۰/۰۱) دارند.

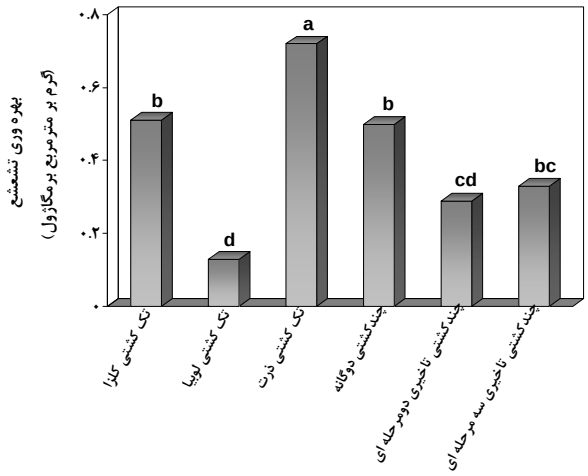
مقدار این شاخص در کلزا در تک‌کشتی نسبت به چندکشتی‌های تأخیری دومرحله‌ای و سه‌مرحله‌ای به‌ترتیب ۱/۸ و ۱/۵ برابر بود. این مقدار در لوبیا در تک‌کشتی نسبت به چندکشتی‌های دوگانه و تأخیری دومرحله‌ای و سه‌مرحله‌ای به‌ترتیب ۳، ۳ و ۱۵ برابر و در ذرت، به‌ترتیب ۲/۲، ۵/۲ و ۶/۵ برابر به‌دست آمد.

بهره‌وری تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیک در ترکیب‌های کشت

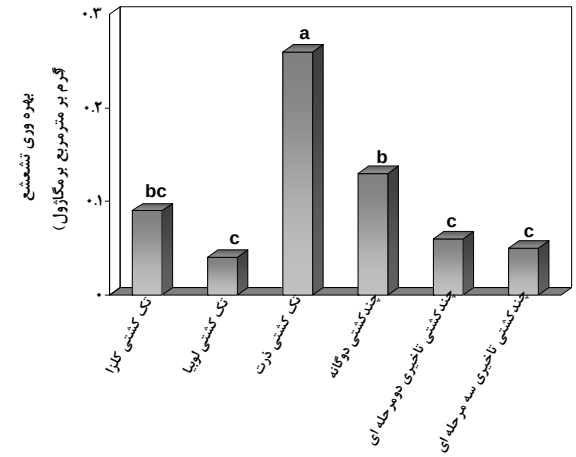
در بین تیمارهای چندکشتی، چندکشتی دوگانه بیشترین بهره‌وری تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیک (۰/۵۰ گرم بر مترمربع بر مگاژول) را دارا بوده و از این نظر تفاوت معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) با چندکشتی تأخیری دومرحله‌ای داشت. در بین تیمارهای تک‌کشتی نیز تیمار تک‌کشتی ذرت بیشترین بهره‌وری تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیک (۰/۷۲ گرم بر مترمربع بر مگاژول) را نشان داده و از این نظر تفاوت معنی‌داری با سایر تک‌کشتی‌ها داشت (شکل ۱۰).

بهره‌وری تشعشع بر اساس عملکرد دانه در ترکیب‌های کشت

در بین تیمارهای تک‌کشتی، ذرت بیشترین بهره‌وری تشعشع بر اساس عملکرد دانه (۰/۲۶ گرم بر مترمربع بر مگاژول) را نشان داده و از این نظر تفاوت معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) با سایر تک‌کشتی‌ها داشت. در بین تیمارهای چندکشتی نیز، چندکشتی دوگانه بیشترین بهره‌وری تشعشع بر اساس عملکرد دانه (۰/۱۳ گرم بر مترمربع بر مگاژول) را دارا بوده و از این نظر تفاوت معنی‌داری با سایر چندکشتی‌ها داشت (شکل ۱۱).



شکل ۱۰- بهره‌وری تشعشع بر اساس عملکرد بیولوژیکی انواع گونه های گیاهی در ترکیب‌های مختلف کشت



شکل ۱۱- بهره‌وری تشعشع بر اساس عملکرد دانه انواع گونه های گیاهی در ترکیب‌های مختلف کشت

در مجموع، تیمار چندکشتی دوگانه از نظر راندمان جذب و تک‌کشتی ذرت از نظر راندمان مصرف بر اساس عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه و بهره‌وری بر اساس عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه برتر بودند. با توجه به نتایج این آزمایش به‌نظر می‌رسد چنین ترکیب هایی از کشت به‌علل مختلف از جمله سایه‌اندازی کلزا روی گیاهچه های جوان لوبیا و ذرت نتیجه مطلوب حاصل ننماید و به‌همین دلیل لازم است آزمایش‌های بعدی به نحوی طراحی گردند که تلاقی دوره رشد گیاهان همراه با کلزا بسیار کمتر از آنچه در این آزمایش بود، تنظیم شود و تاریخ‌های کاشت به نحو دیگری تنظیم گردند.

منابع

۱- بهشتی، ع.، ع.، کوچکی، و م. نصیری‌محلاتی. ۱۳۸۱. تأثیر آرایش کاشت بر جذب و راندمان تبدیل تشعشع در کانوپی سه رقم ذرت. مجله نهال و بذر، ۱۸: ۴۱۷ تا ۴۳۱.

۲- پورامیر، ف. ۱۳۸۷. بررسی اثر آرایش‌های کاشت در الگوهای جایگزینی و افزایشی بر روی اجزای عملکرد کنجد و نخود در کشت مخلوط. پایان‌نامه دوره کارشناسی‌ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

۳- مظاهری، د. ۱۳۷۳. زراعت مخلوط. چاپ اول انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

۴- نصیری محلاتی، م. ۱۳۷۹. مدل‌سازی فرآیندهای رشد گیاهان‌زراعی (فصلی از کتاب زراعت‌نوین، کوچکی، ع. و م. خواجه‌حسینی). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۲۷۴ صفحه.

۵- وفابخش، ج.، م. نصیری‌محلاتی، و ع. کوچکی. ۱۳۸۷. اثر تنش خشکی بر عملکرد و راندمان مصرف تشعشع در ارقام کلزا (*Brassica napus* L.). مجله پژوهش‌های زراعی ایران، (۱) ۶: ۱۹۳ تا ۲۰۴.

6- Abraham, C.T., and S.P. Singh. 1984. Weed management in sorghum legume intercropping systems. Journal Agriculture Science Camb, 103: 103-115.

7- Albrizio, R., and P. Steduto. 2005. Resource use efficiency of field-grown sunflower, sorghum, wheat and chickpea. Radiation use efficiency. Agricultural and Forest Meterology, 130: 254-268.

8- Andrade, F.H., S.A., Uhart, and A. Cirilo. 1993. Temperature affects radiation use efficiency in maize. Field Crops Research, 32: 17-25.

9- 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.

10- Bell, M.J., R.C. Muchow, and G.L. Wilson. 1987. The effect of plant population on peanuts (Arachis hypogaea) in a monsoonal tropical environment. Field Crops Research, 17: 91-107.

11- Boote, K.J., and R.S. Loomis. 1991. The prediction of canopy assimilation. In: Modeling Crop Photosynthesis: From Biochemistry to Canopy. Boote, K.J., and Loomis, R.S. (Eds.). CSSA Spec. Publ. 19. CSSA and ASA, Madison, WI, pp. 109-140.

12- Caviglia, O.P., V.O. Sadras, 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.

13- Cirilo, A.G., and F.H. Andrade. 1994. Sowing date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. Crop Science, 34: 1039–1043.

14- Connoly, J., H.C. Goma, and K. Rahim. 2001. The information content of indicators in intercropping research. Agriculture, Ecosystem and Environment, 87: 191-207.

15- Fukai, S. 1993. Intercropping-bases of productivity. Field Crops Research, 34: 239–245.

16- Gallo, K.P., S.T. Craig, and C.L. Wiegand. 1993. Errors in the measuring absorbed radiation and computing crop radiation use efficiency. Agronomy Journal, 85: 1222-1228.

17- Hiebsch, C.K., and Mc R.E. Collum. 1987. Area X time equivalency ratio. A method for evaluating the productivity of intercrops. Agronomy Journal, 79: 15-22.

18- Hook, J.E., and Gascho, G.J. 1988. Multiple cropping for efficient use of water and nitrogen. In: Cropping Strategies for Efficient Use of Water and Nitrogen. Hargrove, W.L. (Ed.). ASA–CSSA–SSSA, Madison, WI, pp. 7–20.

19- Justes, E., P. Denoroy, B. Gabrielle, and G. Gosse. 2000. Effect of crop nitrogen status and temperature on the radiation use efficiency of winter oilseed rape. European Journal of Agronomy, 13:165-177.

20- Kiniry, J.R., J.A., Landivar, M., Witt, T.J., Gerik, J., Cavero, and L.J. Wade. 1998. Radiation-use efficiency response to vapor pressure deficit for maize and sorghum. Field Crops Research, 56:265-270.

21- Kyamanywa, S., and J.K.O. Ampofo. 1988. Effect of cowpea/maize mixed cropping on the incident light at the cowpea canopy and flower trips (Thysanoptera Thripidae) population density. Crop Protection, 7: 186-187.

22- Lafitte, H.R., and G.O. Edmeades., 1997. Temperature effects on radiation use and biomass partitioning in diverse tropical maize cultivars. Field Crops Research, 49:231-247.
23- Lindquist, J.L., T.J. Arkebauer, D.T. Walters, K.G. Cassman, and A. Dobermann. 2005. Maize Radiation Use Efficiency under Optimal Growth Conditions. Agron., 97: 72-78.
24- Loomis, R.S., and W.G. Duncan. 1986. Quantitative descriptions of foliage display and light absorption in field communities of corn plants. Crop Science, 80: 332-336.
25- Matthews, R., D. Harris, J. Williams, and R. Nageswara Rao. 1988. The physiological basis for yield differences between four genotypes of groundnut (*Arachis hypogaea*) in response to drought. II. Solar radiation interception and leaf movement. Exp. Agric., 24: 203–213.
26- Morrison, M.J., and D.W. Stewart. 1995. Radiation use efficiency in summer rape. Agronomy Journal, 87: 1139-1142.
27- Muchow, R.C., and R. Davis. 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment: II. Radiation interception and biomass accumulation. Field Crops Research, 18:17–30.
28- Muchow, R.C., and T.R. Sinclair. 1994. Nitrogen response of leaf photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field grown maize and sorghum. Crop Science, 34: 721-727.
29- Nassiri, M., and Elgersma, A. 1998. Competition in perennial ryegrass- white clover mixtures under cutting. 2. Leaf characteristics, light interception and dry matter production during regrowth. Grass and Forage Science, 53: 367-379.
30- Reynolds, M.P., M.V. Ginkel, and J.M. Ribaut. 2000. Avenues for genetic modification of radiation use efficiency in wheat. Journal of Experimental Botany, 51: 459-473.
31- Richter, M.G., K.W. Jaggard and R.A.C. Mitchell. 2001. Modeling radiation interception and radiation use efficiency for sugar beet under variable climatic stress. Agric. For. Meteorol., 109: 13-25.
32- Ritchie, J.T., and B. Basso. 2007. Water use efficiency is not constant when crop water supply is adequate or fixed: the role of agronomic management. European Journal of Agronomy, 28 (3):273-281.
33- Sinclair, T.R. and T. Horie. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation-use efficiency: a review. Crop Science, 29: 90–98.
34- Sinclair, T.R., and R.C. Muchow. 1999. Radiation use efficiency. Adv. Agron., 65:215–265.
35- Squire, G.R., R.J., Gregory, J.L., Monteith, M.B., Russell, and P. Singh. 1984. Control of water use by pearl millet (*Pennisetum typhoides* S&H). Exp. Agric., 20:135–139.
36- Sun, S.G., M. Jividen, W.H. Wessling, and M.L. Ervin. 1978. Cotton cultivar and boll maturity effect on aflatoxin production. Crop Science, 18:224-227.
37- Trenbath, B.R. 1976. Plant interactions in mixed crop communities. In: Multiple Cropping. Papendick, R.I., Sanchez, P.A., and Tripplet, G.B. (Eds.). ASA–CSSA–SSSA, Madison, WI, pp. 129–169.
38- Trenbath, B.R. 1986. Resource use by intercrops. In: Multiple Cropping Systems. Francis, C.A. (Ed.). Macmillan, New York, pp. 57–81.
39- 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.
40- Tsubo, M., S. Walker, and E. Mukhala. 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono/intercropping system with different row orientation. Field Crops Research, 71: 17-29.
41- Tsubo, M., S., Walker, and H.O. Ogindo. 2005. A simulation model of cereal- legume intercropping systems for semi-arid regions I. model development. Field Crops Research, 93: 10-22.
42- Van Laar, H.H., J., Goudriaan, and Van H. Keulen. 1997. SUCROS97: Simulation of crop growth for potential and water-limited production situations. C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology and Resource Conservation, Wageningen, The Netherlands, pp. 52.
43- Zhang, L., W. Vander Werf, L., Bastiaans, S. Zhang, B. Li, and J.H. Spiertz. 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. Field Crops Research, 107: 29-42.