نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵، ص. ۵۵۷-۵۳۹

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 4, Winter. 2017, p. 539-557

بررسی کارآیی جذب و مصرف نور و عملکرد در کشت مخلوط تأخیری گندم زمستانه (*Triticum aestivum*) و چغندرقند (*Beta vulgaris*)

علیرضا کوچکی[۱*]- مهدی نصیری محلاتی[۲]- هادی زرقانی[۳]- علی نوروزیان[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۰۸

چکیده

به‌منظور ارزیابی کارایی مصرف نور، عملکرد و ماده خشک در کشت مخلوط تأخیری گندم زمستانه و چغندرقند، آزمایشی در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از چهار تیمار کشت مخلوط با نسبت‌های ۳:۱، ۳:۲، ۴:۲، ۶:۲ (چغندرقند: گندم) همراه با کشت خالص گونه‌ها. نتایج نشان داد در طی دوره رشد شاخص سطح برگ، میزان تشعشع عبور کرده از کانوپی، کارایی مصرف نور، میزان تولید ماده خشک و در نهایت عملکرد در واحد سطح تحت تأثیر کشت مخلوط تأخیری قرار گرفتند و بیش‌ترین عملکرد گندم و چغندرقند به‌ترتیب (۱۹۴۲ و ۲۰۶۳گرم در مترمربع) در کشت ۴:۲ و کشت خالص چغندر قند مشاهده گردید و کارایی مصرف نور برای گندم و چغندرقند در کشت مخلوط ۴:۲ که بیش‌ترین مقدار بود به‌ترتیب (۱/۶۵ و ۲/۳۸) به‌دست آمد. بر اساس یافته‌های این تحقیق به‌نظر 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: جذب تشعشع، کارآیی مصرف نور، عملکرد

مقدمه

یکی از راهکارهای حرکت به‌سمت کشاورزی پایدار، به‌کارگیری مخلوطی از گیاهان گونه‌های مختلف، ارقام و یا ایزولاین‌های مختلف در زراعت می‌باشد (Mazaheri, 1996). اهداف متنوعی برای کشت مخلوط قابل‌ذکر است که عمده‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از استفاده بهتر از شرایط محیطی موجود و افزایش عملکرد در واحد سطح، ثبات عملکرد در شرایط نامطلوب محیطی، افزایش کیفیت و کمیت محصول، افزایش راندمان مصرف آب، کنترل فرسایش خاک، کاهش مصرف سموم و آفت‌کش‌های شیمیایی، ایجاد تنوع و ثبات در اکوسیستم‌های زراعی و استفاده از فواید آن(Jahan, 2004). در بسیاری از سیستم‌های کشت مخلوط شامل ذرت (*Zea mays* L.)/ لوبیا (*phaseolus vulgaris* L) (Tsubo *et al.*, و Kochaki, 2000) 2005) گندم (*Triticum aestivum*) / ذرت (*Zea mays* L.) (Li *et al.*, 2001)، گندم/ نخود (*Cicer arietinum*) (Mandel *et al.*, 1996)، گندم/ پنبه (*Gossypium herbaceum*) (Zhang *et al.*, 2007 و Zhang *et al.*, 2008) عدس (*Lens culinaris*) و زیره سبز (*Cuminum cyminum*) (Jahani, 2008) عملکرد بالاتری نسبت به تک‌کشتی ثبت شده است. هم‌چنین کشت مخلوط نواری گندم/ ذرت، که یک سیستم کشت معمول در شمال چین است باعث افزایش عملکرد به‌میزان ۴۰- ۴۷درصد می‌شود (Rajcan and Swanton, 2001).

کشت مخلوط تأخیری یا کشت توام دو گونه در یک زمین به‌طوری‌که بخشی از دوره رشد آن‌ها بَرهم منطبق باشد، نوعی از زراعت‌های مخلوط است که با اهداف خاص در مناطقی از جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از رایج‌ترین انواع این نوع مخلوط، کشت تأخیری گیاهان زراعی زمستانه، برای مثال غلات، در پاییز و کاشت گونه‌های زراعی بهاره پیش از برداشت محصول پاییزه در بین نوارهای آن می‌باشد (Nasiri Mohalati *et al.*, 2000). این نوع کشت در مناطقی از جهان از جمله هندوستان (Padhi *et al.*, 1993) و چین (Zhang *et al.*, 2007) در سطوح وسیع با موفقیت انجام شده و مزایای مختلفی را برای تولیدکنندگان به‌همراه دارد. مطالعات زیادی در مورد کشت‌های تأخیری انجام شده است که گندم به‌عنوان گیاه زمستانه و ذرت و سویا (*Glycine max*) (Li *et al.*, 2001)، پنبه (Zhang *et al.*, 2008)، نخود (Mandel *et al.*, 1996) به‌عنوان

۱ و ۲- اساتید گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
۳ و ۴- دانشجویان دکتری گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: akooch@um.ac.ir
DOI: 10.22067/gsc.v14i4.51159

گیاه بهاره مطالعه شده است، که نتایج آن تأییدکننده‌ی اثرات مثبت کشت مخلوط تأخیری در استفاده از منابع می‌باشد، به‌طوری‌که بیوماس ذرت و سویا در کشت تأخیری با گندم به‌ترتیب ۴۵ و ۳۹درصد نسبت به کشت خالص برتر بودند (Li *et al.*, 2001). در مطالعه‌ای (Nasiri Mohalati *et al.*, 2000) گزارش کردند که تشعشع جذب شده توسط کانوپی در کشت‌های مخلوط تأخیری به‌میزان قابل‌توجهی نسبت به کشت‌های خالص بهبود یافت و عملکرد مخلوط‌های تأخیری در مقایسه با کشت خالص ۲۷ تا ۳۱درصد افزایش یافت که این افزایش ناشی از جذب بهتر نور بود.

در الگوهای رایج کشت در ایران ، تاریخ کاشت محصولات بهاره، معمولا با زمان پُرشدن دانه در گونه‌های پاییزه منطبق است. هم‌زمانی دوره‌های حساس از نظر آبیاری در این گونه‌ها اغلب به‌دلیل محدودیت منابع آبی مشکلاتی را برای زارعین ایجاد می‌نماید به‌طوری‌که کشت محصول بهاره به‌ناچار تا برداشت گیاه پاییزه به تأخیر می‌افتد. بر این اساس به‌نظر می‌رسد که طراحی کشت‌های مخلوط تأخیری با ترکیب گونه‌های پاییزه/بهاره راه حل مناسبی بر این مشکل و افزایش بهره‌وری منابع می‌باشد.

گندم در استان خراسان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین کشت‌های آبی منطقه موردتوجه می‌باشد و هم‌چنین کشت چغندرقند در بین کشاورزان این استان قدمت زیادی دارد. یکی از مشکلات کشت چغندرقند هم‌زمانی فاصله زمانی پُرشدن دانه‌های گندم تا برداشت آن با مراحل اولیه رشد چغندرقند می‌باشد. این تحقیق به‌منظور بررسی امکان کشت این دو محصول به‌صورت کشت مخلوط تأخیری و تأثیر آن بر عملکرد، ماده خشک و کارایی مصرف نور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه آموزشی و تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰کیلومتری شرق مشهد (طول‌جغرافیایی ۵۹درجه و ۱۵دقیقه تا ۶۰درجه و ۳۶دقیقه شرقی و عرض‌جغرافیایی ۳۵درجه و ۴۳دقیقه تا ۳۷درجه و هشت‌دقیقه شمالی شرقی و ارتفاع ۹۸۵متر از سطح دریا) اجرا شد. قبل از انجام آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰سانتی‌متری خاک و از نقاط مختلف محل تحقیق نمونه‌برداری و خصوصیات فیزیکی-شیمیایی آن تعیین گردید جدول(۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of field soil used in experiment

بافت Texture	نیتروژن کل (٪) Total N (٪)	فسفر قابل‌دسترس P (ppm)	پتاسیم قابل‌دسترس K (ppm)	هدایت الکتریکی EC ($dS\ m^{-1}$)	اسیدیته pH
Silty Loam سیلتی لوم	0.16	4.5	320.1	2.1	7.47

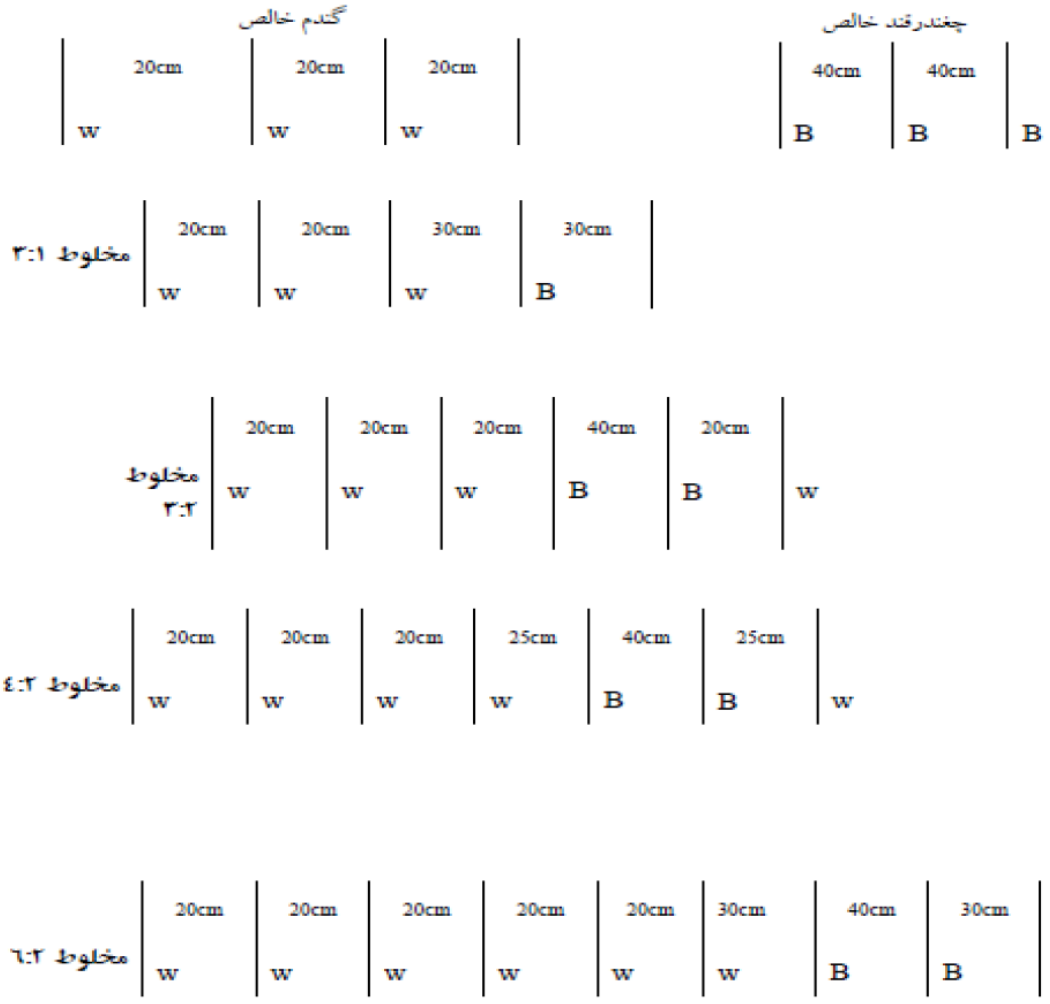
آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار و شش تیمار (شامل آرایش‌های مختلف کاشت :کشت خالص چغندرقند، کشت خالص گندم، مخلوط‌های تأخیری: یک ردیف چغندر قند و سه ردیف گندم (۳:۱)، دو ردیف چغندر قند و سه ردیف گندم (۳:۲)، دو ردیف چغندر قند و چهار ردیف گندم(۴:۲) و دو ردیف چغندر قند و شش ردیف گندم (۶:۲) به‌اجرا در آمد. عرض نوارهای گندم در مخلوط‌های ۳:۱ و ۳:۲ معادل ۴۰ و ۶۰سانتی‌متر و در مخلوط‌های ۴:۲ و ۶:۲ به‌ترتیب ۸۵ و ۱۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فضای بین نوارهای گندم برای کشت چغندر قند در مخلوط‌های ۳:۱، ۳:۲، ۴:۲ و ۶:۲ به‌ترتیب ۶۰، ۸۰ ، ۹۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر تنظیم گردید و ابعاد کرت‌ها ۴×۳ در نظر گرفته شد وکشت به‌صورت فارویی انجام گرفت (شکل ۱).

.کاشت گندم، رقم گاسکوژن، در تاریخ ۲۰ مهر ماه سال ۸۹ بر روی نوارهای مربوط به این گیاه بنحوی انجام گردید که تراکم کاشت در کلیه تیمارهای خالص و مخلوط یکسان و معادل ۴۰۰ بذر بود. کود مورد نیاز گندم بر اساس آزمایش خاک به‌میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۹۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص محاسبه شد. تمامی کود فسفر و یک سوم از کود نیتروژن هم زمان با کشت و مابقی نیتروژن در طی دو نوبت به‌صورت سرک مصرف گردید. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر هفت روز یک‌بار تا پایان فصل رشد به شیوه نشتی انجام شد و سایر عملیات داشت به گونه‌ای انجام گرفت که گیاهان بدون هیچ‌گونه محدویت، دوره رشد را کامل کنند.

کشت چغندرقند در ۱۰اردیبهشت سال ۱۳۹۰ انجام شد، بذور بر روی ردیف‌های آماده شده از قبل کشت گردید و بلافاصله بعد از کاشت، به‌منظور تسهیل در سبزشدن یکنواخت، آبیاری به‌صورت نشتی و توسط سیفون انجام گردید، و بعد از سبز شدن با فاصله ۲۰سانتی‌متری تنک گردید. در زمان داشت و در طول دوره رشد

هیچ‌نوع آفت کشی استفاده نشد. بعد از استقرار کامل گیاهان، علف‌های‌هرز زمین به روش دستی در سه نوبت وجین شد.

ردیف‌های گندم در کلیه تیمارهای آزمایشی در تاریخ پنجم تیرماه سال ۹۰ برداشت شدند. ردیف‌های چغندرقند در کلیه تیمارها بعد ازآخرین آبیاری گندم تا زمان برداشت این محصول هر هفت‌روز آبیاری شدند. پس از برداشت گندم توزیع کود سرک به‌میزان ۱۵۰کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و سایر عملیات داشت بر روی بوته چغندرقند انجام گرفت و در نهایت، محصول چغندرقند در تاریخ ۲۵ آبان‌ماه ۹۰ برداشت شد.



شکل ۱- نحوه قرارگیری و فاصله بین ردیف‌ها در کشت خالص و مخلوط تأخیری گندم (W) و چغندرقند (B)

Figure 1– placement of and distance between the rows of sole cropping and delay mixed of wheat (W) and sugar beet (B)

عملیات اندازه‌گیری میزان جذب و محاسبه کارآیی مصرف نور

اندازه‌گیری شاخص سطح برگ و میزان ماده خشک قسمت‌های هوایی گندم از نیمه اسفندماه سال۸۹ آغاز و تا ۲۰روز قبل از برداشت هر دو هفته در هشت نوبت انجام شد .در هر نمونه‌گیری بوته‌های گندم در یک کادر ۰/۵متر مربعی از تمامی تیمارهای آزمایش برداشت و پس از تعیین مساحت برگ‌ها به‌وسیله دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ، وزن مواد برداشت شده بعد از خشک‌کردن آن‌ها به‌مدت ۴۸ساعت دردمای ۷۰درجه سانتی‌گراد تعیین شد.

در گیاه چغندرقند ۱۵روز بعد از سبزشدن هر دو هفته وزن تَر و خشک اندام هوایی و زمینی شامل پهنک برگ، دمبرگ، شاخص سطح برگ، طوقه و ریشه در سطح ۰/۵مترمربع اندازه‌گیری شد. برای تعیین درصد ماده خشک از اندام‌های مختلف شامل ریشه، برگ و دمبرگ ۱۰۰گرم از هر قسمت، به‌طور جداگانه به‌مدت ۷۲ساعت در آون در دمای ۷۰درجه سانتی‌گراد قرار داده شد.

ابتدا برآورد مقادیر LAI روزانه از طریق برازش معادله (۱) به‌دست آمد.

$$y = \frac{a+b\times 4e^{\frac{-(x-c)}{d}}}{(1+e^{\frac{-(x-c)}{d}})^2} \quad (۱)$$

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

میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی مشهد به روش ارائه شده توسط Goudriaan and Monteith, 1990 با احتساب ساعات آفتابی هر روز (استخراج شده از داده‌های ایستگاه هواشناسی مرکز اقلیم‌شناسی مشهد) برآورد گردید و ۵۰درصد آن به‌عنوان تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) در نظر گرفته شد، سپس میزان تشعشع روزانه جذب شده برای هر دو گونه بر اساس معادلات ۲ تا ۵ محاسبه شد (Rinaldi and Vonella, 2006):

$$I_{abs}= I_0\left(1 - e^{(-K_m.LAI_m)+(-K_b.LAI_b)}\right) \quad (۲)$$

$$I_m= I_{abs}\frac{(-K_m.LAI_m)}{(-K_m.LAI_m)+(-K_b.LAI_b)} \quad (۳)$$

$$I_b=I_{abs} - I_m \quad (۴)$$

نور جذب شده توسط کانوپی در کشت خالص از معادله (۵) محاسبه می‌شود.

$$Iabc=Io*(1 -e-K*LAIt) \quad (۵)$$

I_0، میزان تشعشع در بالای کانوپی؛ I_{abs}، نور جذب شده توسط کانوپی مخلوط؛ I_m، نور جذب شده توسط گیاه گندم؛ I_b، نور جذب شده توسط گیاه چغندرقند؛ LAI_m و LAI_b به‌ترتیب شاخص سطح برگ گندم و چغندرقند و در کشت خالص، LAI_t شاخص سطح برگ روزانه و K_m و K_b، به‌ترتیب ضریب خاموشی نور گندم (۰/۷) و چغندرقند (۰/۵۶) می‌باشد.

با به‌دست آوردن میزان نور جذب شده توسط هر گیاه و رسم معادله رگرسیونی ساده بین نور جذب شده و ماده خشک، کارایی مصرف نور (که شیب این معادله می‌باشد) به‌دست آمد.

برداشت نهایی گندم پس از حذف اثرات حاشیه‌ای از سطح ۲مترمربع به‌وسیله دست انجام گرفت و عملکرد کل، دانه و کاه تعیین گردید. برای برداشت نهایی چغندرقند نیز سطح ۲مترمربع ریشه و برگ‌های آن برداشت گردید و در آون به‌صورتی که شرح داده شد خشک گردید. محاسبات آماری موردنیاز با استفاده از نرم‌افزارهای EXCEL و MSTAT-C انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

رشد سطح برگ

بالاترین مقدار شاخص سطح برگ گندم (۳/۹) و چغندرقند (۳/۴) به‌ترتیب در کشت مخلوط ۴:۲ و کشت خالص چغندرقند مشاهده شد. شاخص سطح برگ (LAI) گندم در تیمار مخلوط تأخیری۴:۲ نسبت به کشت‌های تأخیری دیگر بیش‌تر بود، ولی با کشت خالص تفاوت زیادی نداشت (شکل ۱).

در کلیه تیمارهای آزمایشی حداکثر شاخص سطح برگ گندم در اواخر اردیبهشت و برای چغندرقند در اوایل مردادماه ظاهر شد که این مقدار در کشت خالص، برای گندم ۸۵روز پس از شروع فصل رشد (۳/۸۵) و ۶۰روز پس از سبزشدن چغندرقند (۳/۶۶) به‌دست آمد. این شاخص با گذشت زمان در انتهای فصل رشد کاهش یافت و الگوی آن به‌صورت سیگموئیدی مشاهده شد(شکل ۱). کم‌ترین میزان میانگین شاخص سطح برگ گندم و چغندرقند در تیمار ۳:۱ به‌ترتیب با ۱/۸ و ۲/۲۱ به‌دست آمد.

Jaggard, and Clark, 2000 نیز اظهار داشتند که منحنی رشد برگ چغندرقند به‌صورت لگاریتمی است که در اواسط فصل رشد به حداکثر خود می‌رسد و سپس با از بین رفتن برگ‌های پیر و جایگزینی آن‌ها توسط برگ‌های کوچک کاهش می‌یابد.

Kochaki *et al*, 2009 گزارش کردند که روند تغییرات سطح برگ چغندرقند پس از کاهش نسبتاً شدید در اواخر مردادماه از (۳/۵ به ۲/۹۶)، در طول شهریورماه نسبتاً ثابت باقی ماند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

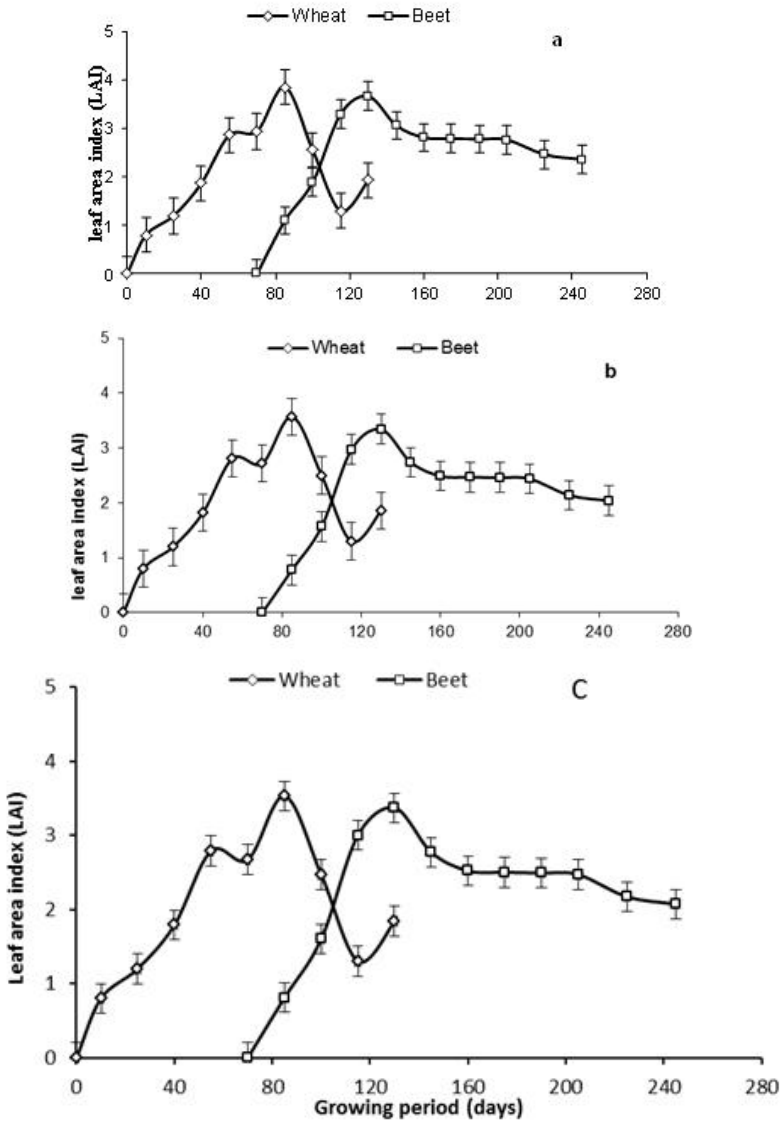
در کشت‌های مخلوط تأخیری شروع رشد سطح برگ چغندرقند با حداکثر LAI گندم انطباق داشت. بنابراین رشد اولیه گیاهچه‌های چغندرقند همزمان با حداکثرکانوپی گندم (LAI > 3) صورت گرفت. مدت‌زمان رشد توأم دو گونه در کلیه مخلوط‌ها بین ۴۵ تا ۵۰روز بود، بنابراین بوته‌های چغندرقند پس از طی این دوره که برداشت گندم انجام گرفت، از سایه‌اندازی کانوپی گندم خارج شدند. البته در طی این دوره نیزکاهش تدریجی شاخص سطح برگ گندم، باعث تقلیل فشار رقابتی این گونه بر چغندرقند شد (شکل۲).

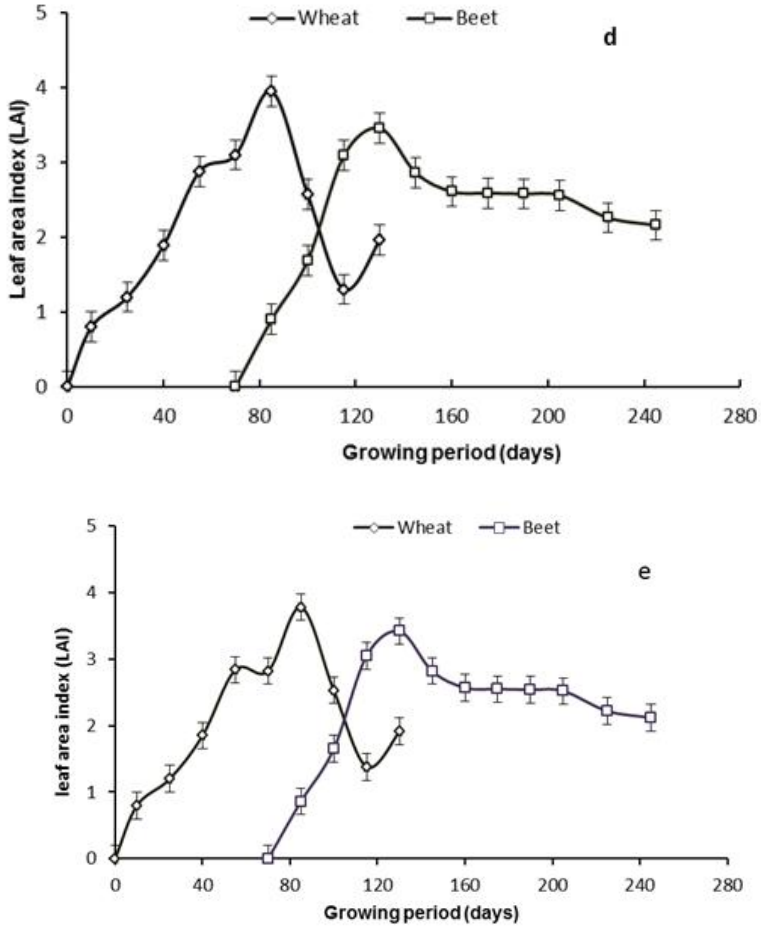
این نتایج نشان می‌دهد که دوره رشد کُند گیاهچه‌های چغندرقند در اوایل فصل رشد در کشت خالص، به‌علت پایین‌بودن LAI بخش عمده‌ای از تشعشعات ورودی جذب نمی‌شود (Rinaldi and Vonella, 2006)، ولی در تیمارهای کشت مخلوط، افزایش LAI موجب افزایش جذب تشعشعات خورشید می‌گردد.

تشعشع جذب شده

در شکل ۲ نور و تشعشع فعال فتوسنتزی بالای کانوپی، کل PAR جذب شده توسط دو گونه و PAR تجمعی جذب شده توسط کانوپی گندم و چغندرقند در کشت‌های خالص و مخلوط ارائه شده است.

تغییرات زمانی جذب نور برای هر دو گونه گندم و چغندرقند در تمامی تیمارها از روند تغییرات شاخص سطح برگ تبعیت داشت. در کشت‌های مخلوط مجموع نور جذب شده توسط گندم و چغندرقند در دوره هم‌زمانی رشد، یعنی فاصله زمانی سبزشدن چغندرقند تا برداشت گندم، حدود ۱۵ تا ۲۰درصد بیشتر از کشت خالص بود. هم‌چنین مقایسه میزان تشعشع جذب شده روزانه در تیمارهای مختلف با کل تشعشع ورودی نشان داد که کانوپی مخلوط با بهبود شرایط منجر به جذب مطلوب‌تر تشعشع ورودی به‌میزان ۱۲۰مگاژول در مترمربع (شکل ۲) در طول فصل رشد توسط گونه‌ها شده است. چنین به‌نظر می‌رسد که خلاء سطح جذب‌کننده نور که در کشت متوالی دو گونه در فاصله زمانی بین برداشت گندم و دوره کند رشد گیاهچه‌های چغندرقند ایجاد می‌شود، به‌نحو مطلوبی توسط کانوپی مخلوط بسته شده است که این امر بهبود تشعشع جذب شده را به‌دنبال داشته است.





شکل ۲- روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) گندم و چغندرقند در کشت خالص(a) و مخلوط‌های تأخیری ۳:۱ (b)، ۳:۲ (c)، ٤:۲ (d) و ٦:۲ (e) چغندرقند و گندم

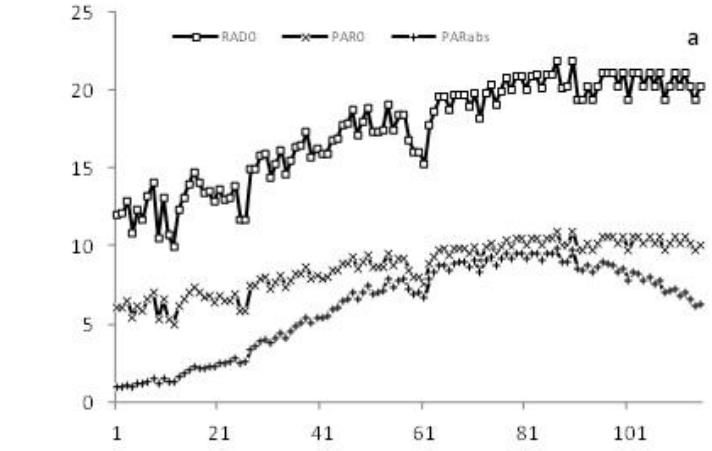
خطوط عمودی انحراف معیار نقاط اندازه‌گیری می‌باشد. شروع فصل رشد برای گندم اول اسفندماه و برای چغندرقند ۷۰روز پس از شروع فصل رشد گندم، ۱۰اردیبهشت‌ماه است.

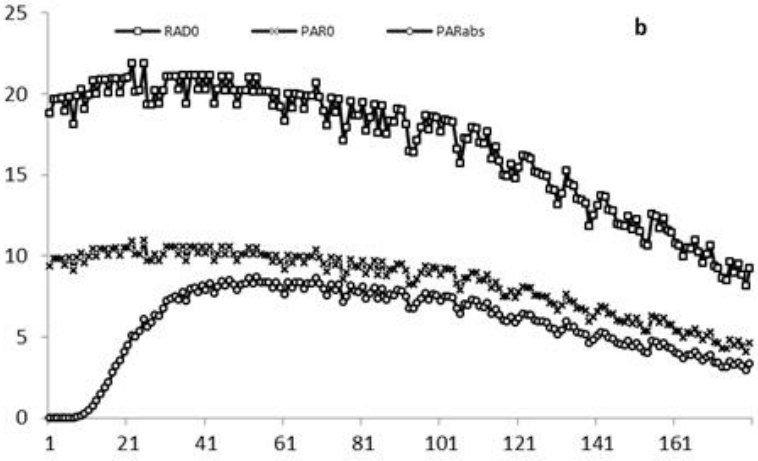
Figure 2- The trends of leaf area index (LAI) wheat and sugar beet pure cultures (a) mixture Delayed 3: 1 (b), 3: 2 (c), 4: 2 (d) and 6: 2 (e) of sugar beet and wheat

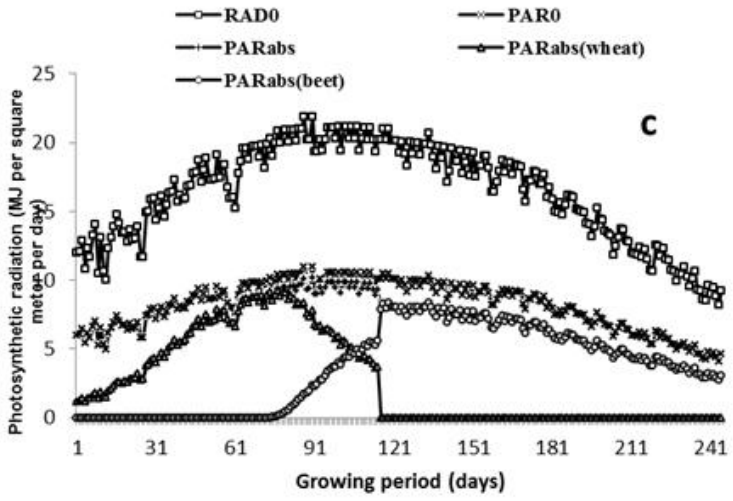
Standard deviation of measurement points are vertical lines. first start of the growing season for wheat and sugar beet February, 70 days after the start of the growing season for wheat, 10 is May.

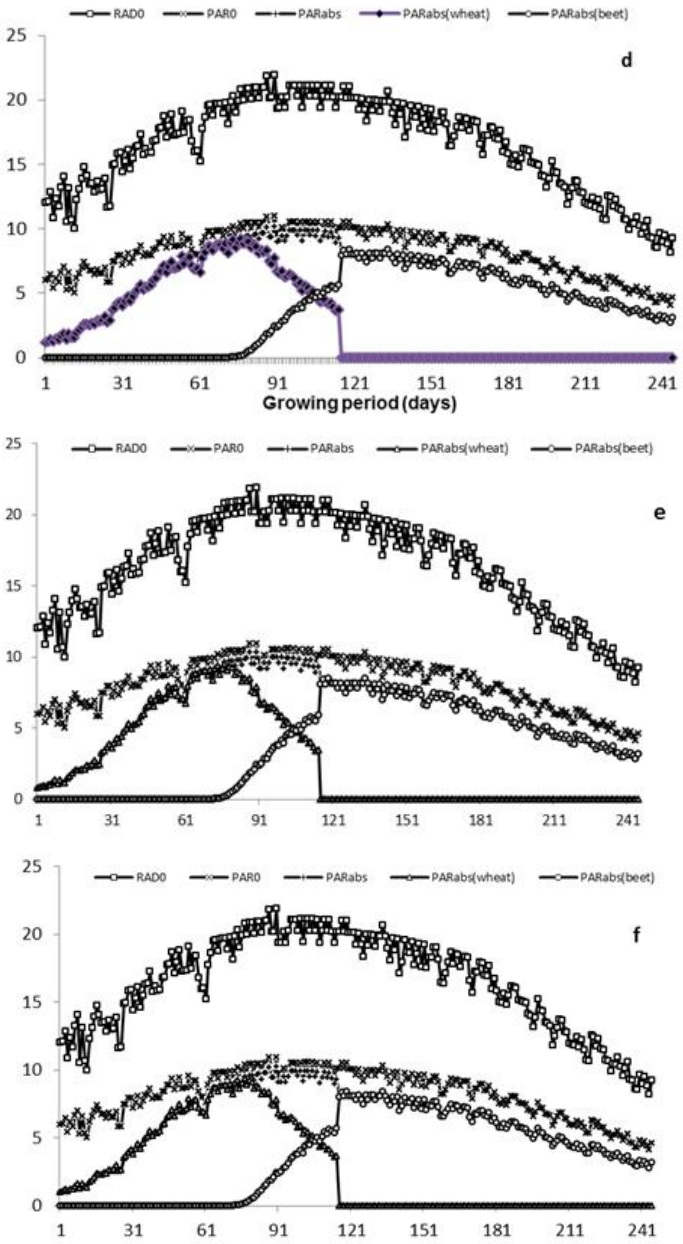
بدین‌ترتیب مشخص است که در کشت متوالی، دوره زمانی حداکثر شدن تشعشع روزانه خورشیدی با مرحله گیاهچه‌ای چغندرقند منطبق بوده است؛ در حالی‌که در کشت‌های مخلوط تأخیری در طی این دوره میزان بیش‌تری از تشعشع ورودی را جذب کرده‌اند و گیاه در خردادماه و مردادماه در حداکثر LAI و حداکثر زمان تشعشع ورودی می‌باشد که سبب می‌گردد روند افزایش ماده خشک نسبت به کشت متوالی سرعت گیرد.

بررسی روند تغییرات کل تشعشع رسیده به سطح زمین و میزان تشعشع جذب شده توسط کانوپی چغندرقند نشان داد که در ابتدای رشد میزان کل تشعشع ورودی، ۱۰۱۳مگاژول بر مترمربع (شکل ۲) زیاد بود، ولی رشد آهسته برگ‌های جوان و بازبودن کانوپی، عامل محدودکننده‌ای در جذب نور بوده است. در کشت‌های متوالی علاوه‌بَر این‌که نمی‌تواند از این مقدار تشعشع ورودی استفاده کند در ۴۰روز بعد از برداشت و ابتدای کشت نیز چغندرقند در مرحله گیاهچه بوده و نمی‌تواند به‌خوبی جذب نماید. Milford *et al*, 1988 نیز بر عامل محدودکننده جذب نور در ابتدای رشد تأییدکردند. Scott, and Jaggard, 2000 نیز اظهار داشتند که در طی دهه‌های گذشته میزان نور جذب شده توسط کانوپی، مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد چغندرقند در انگلستان بوده است.


RAD0
PAR0
PARabs
a
25
20
15
10
5
0
1
21
41
61
81
101


RAD0
PAR0
PARabs
b
25
20
15
10
5
0
1
21
41
61
81
101
121
141
161


RAD0
PAR0
PARabs
PARabs(wheat)
PARabs(beet)
C
Photosynthetic radiation (MJ per square meter per day)
25
20
15
10
5
0
1
31
61
91
121
151
181
211
241
Growing period (days)



شکل ۲- RAD0: تشعشع بالای کانوپی، PAR0 تشعشع فعال فتوسنتزی بالای کانوپی، PARabs تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده کل توسط دو گیاه و تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی جذب شده توسط کانوپی گندم (wheat) PARabs ، تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی جذب شده توسط کانوپی چغندرقند (Sugar beet) PARabs ، گندم (a) و چغندرقند(b) در کشت خالص هر گونه و مخلوطهای تأخیری ۳:۱ (c)، ۳:۲ (d)، ٤:۲ (e) و ٦:۲ (f) چغندرقند و گندم. شروع فصل رشد برای گندم اول اسفندماه و برای چغندرقند ۷۰روز پس از شروع فصل رشد گندم، ۱۰ اردیبهشت ماه است.

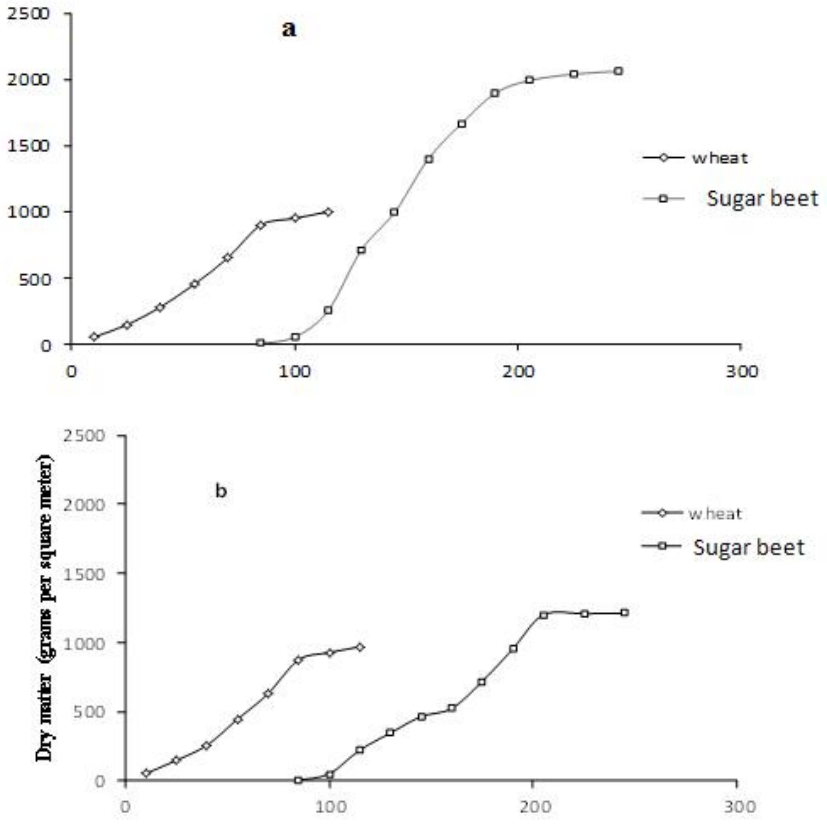
Figure 2- RAD0: radiation above the canopy, PAR0 photosynthetically active radiation above the canopy, PARabs of photosynthetically active radiation absorbed by the plant and PARabs (wheat) cumulative photosynthetically active radiation absorbed by wheat canopy, PARabs (Sugar beet) cumulative photosynthetically active radiation absorbed by the canopy of sugar beet, wheat (a) and sugar beet (b) mixture pure cultures any delay 3: 1 (c), 3: 2 (d), 4: 2 (e) and 6: 2 (f) sugar beet and wheat. Start growing season for wheat and sugar beet March first 70 days after the start of the growing season of plants, 10 of May.

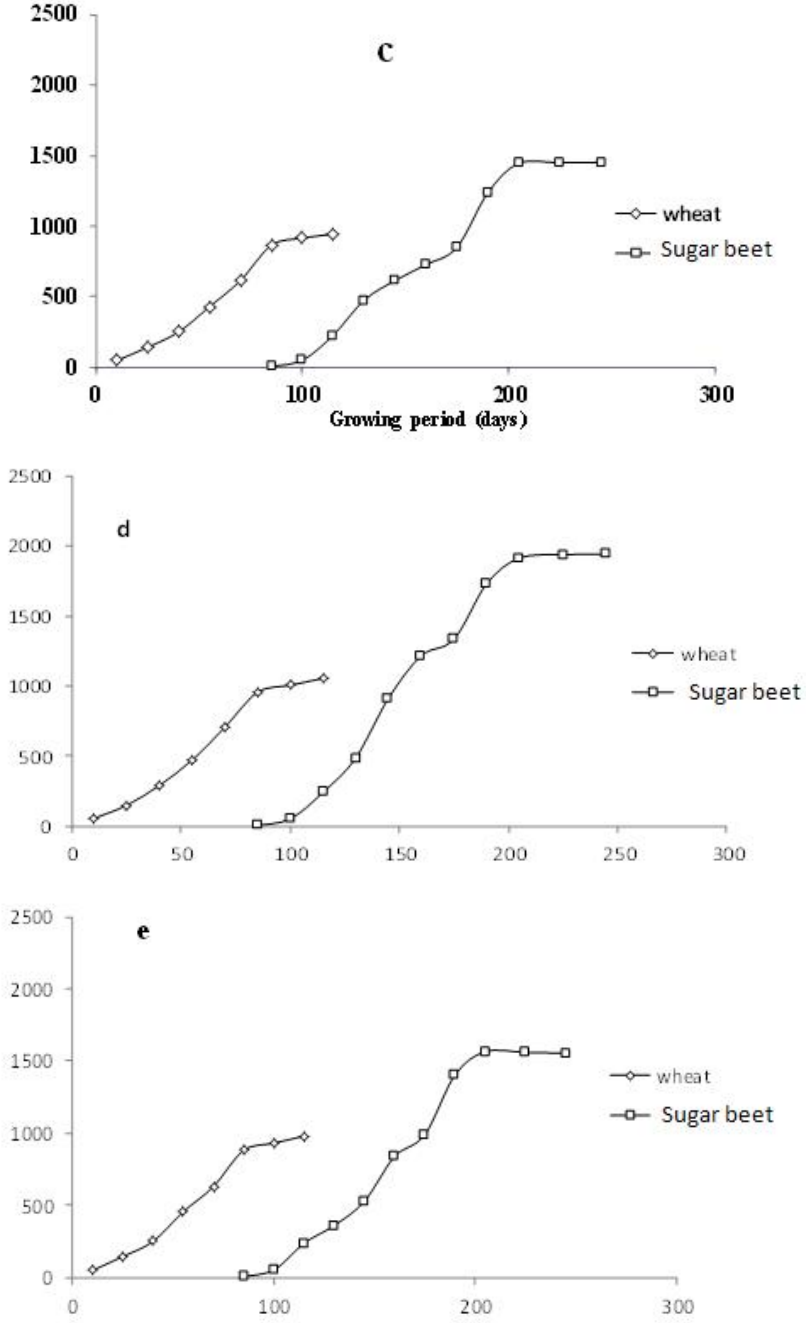
نتایج برخی بررسی‌ها نشان داده است که افزایش میزان تشعشع جذب شده و به تبع آن بهبود سرعت رشد گیاه هنگامی اتفاق می‌افتد که کانوپی گیاهی بسته شده و مرحله خطی رشد برگ شروع شده باشد. در این نوع کشت تأخیری سرعت رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ برای چغندرقند نسبت به کشت متوالی خیلی بیش‌تر است، زیرا در زمان برداشت گندم میانگین شاخص سطح برگ حدود ۱/۱ (شکل ۲) می‌باشد و پس از برداشت گندم شاخص سطح برگ به‌شدت افزایش می‌یابد و این عامل می‌تواند یکی از دلایل افزایش میزان جذب تشعشع فعال فتوسنتزی باشد.

میزان تولید ماده خشک

با وجودی‌که تولید ماده خشک گندم و چغندرقند در کشت‌های مخلوط و خالص روند مشابهی داشت؛ ولی همان‌طور که انتظار می‌رفت میزان کل ماده خشک تولید شده چغندرقند در کشت خالص ۷۰درصد نسبت به کشت مخلوط ۳:۱ برتری داشت و عملکرد گندم در کشت مخلوط ۴:۲ نسبت به کشت مخلوط ۳:۲ ، ۱۱درصد برتری داشت. به‌علاوه میزان کل ماده خشک تولیدی چغندرقند و گندم در بین مخلوط ها نیز متفاوت بود. کم‌ترین میزان تولید ماده خشک با ۲۱۸۳گرم در مترمربع برای کشت مخلوط سه ردیف گندم: یک ردیف چغندرقند و در تیمار مخلوط دو ردیف چغندرقند و چهار ردیف گندم بیش‌ترین میزان ماده خشک(۲۹۹۷گرم در مترمربع) به‌دست آمد (شکل ۳، جدول ۲).

فاصله زمانی بین شروع رشد گیاهچه تا مرحله رشد خطی تولید یعنی دوره‌ای که به‌دلیل پایین بودن مقدار نور، تولید توسط کانوپی به‌طور کامل انجام نمی‌شود به" زمان از دست‌رفته "موسوم است (Goudriaan, Monteith, 1990) و طولانی‌شدن این دوره باعث اتلاف منابع به‌ویژه تشعشع خورشیدی و آب خواهد شد (Li *et al.*, 2001). نتایج این تحقیق نشان داد که این دوره از رشد چغندرقند در حدود ۳۰ تا ۴۰ روز ادامه داشته است (شکل ۳). با این‌وجود از آنجاکه درکشت‌های مخلوط تأخیری در مقایسه با کشت خالص، دوره کند رشد گیاهچه‌های چغندرقند در طی دوره پرشدن دانه‌های گندم سپری شده و در نتیجه رشد خطی چغندرقند بلافاصله بعد از برداشت گندم رخ داده است.





شکل ۳- روند تغییرات میزان ماده خشک تولید شده گندم و چغندرقند در شرایط کشت خالص (a) و مخلوط‌های تأخیری ۳:۱ (b)، ۳:۲ (c)، ٤:۲ (d) و ٦:۲ (e) چغندرقند: گندم

شروع فصل رشد برای گندم اول اسفندماه و برای چغندرقند ۷۰ روز پس از شروع فصل رشد گندم، ۱۰ اردیبهشت ماه است.

Figure 3- in changes of dry matter, sugar beet and wheat in monoculture (a) delay mixture 3: 1 (b), 3: 2 (c), 4: 2 (d) and 6: 2 (e) of sugar beet: wheat

First start of the growing season for wheat and sugar beet February, 70 days after the start of the growing season for wheat, 10 is May.

لذا چنین به‌نظر می‌رسد که طی شدن دوره رشد نمایی چغندرقند (زمان از دست رفته) در سایه‌انداز گندم به نوبه خود مزیتی برای کشت مخلوط این دو گونه محسوب شود که این امر افزایش نور جذب شده را در شرایط مخلوط در مقایسه با خالص به‌دنبال داشته است. برتری الگوهای مختلف کشت مخلوط از نظر استفاده بهتر از منابع، توسط بسیاری از محققین به تأیید رسیده است. برای مثال مطالعات انجام شده در مورد مخلوط تأخیری گندم/پنبه که در بخش وسیعی از مزارع کشور چین رایج می‌باشد، نشان داده است که تولید بیشتر ماده خشک در شرایط مخلوط ناشی از جذب بهتر نیتروژن و نور بوده است (Zhang *et al.*, 2008) که در نتیجه بهبود عملکرد را به‌دنبال داشته است. نتایج این مطالعه نیز مؤید آن است که در مخلوط‌های تأخیری در صورت انطباق مناسب مراحل رشدی گونه‌های همراه، کارایی مصرف و بهره‌وری نور بهبود می‌یابد که این امر موجب افزایش عملکرد می‌شود.

کارآیی مصرف نور

شیب خط رگرسیونی برازش یافته برای تغییرات تجمعی ماده خشک طی فصل رشد و مقدار تشعشع تجمعی جذب شده نشان‌دهندهٔ کارایی مصرف نور درتیمارهای مورد آزمایش است (شکل‌های ۴ و ۵). میانگین کارایی مصرف نور برای تیمارهای مختلف متفاوت بود و دامنه آن برای چغندرقند بین ۱/۴۴ و ۲/۳۸گرم بر مگاژول بود. نتایج برخی بررسی‌ها نشان داده است که میانگین کارایی مصرف نور برای چغندرقند ۱/۷۲گرم بر مگاژول می‌باشد (Scott, and Jaggard, 2000). Webb *et al*, 1997 نیز با استفاده از مدل‌سازی کارایی مصرف نور چغندرقند را برابر ۱/۸گرم بر مگاژول برآورد نمودند. با این‌وجود، برخی محققان (Kemanian *et al.*, 2004 و Lecoeur and Ney, 2003) معتقدند کارایی مصرف نور ثابت نبوده و طی فصل رشد گیاه تغییر می‌کند.

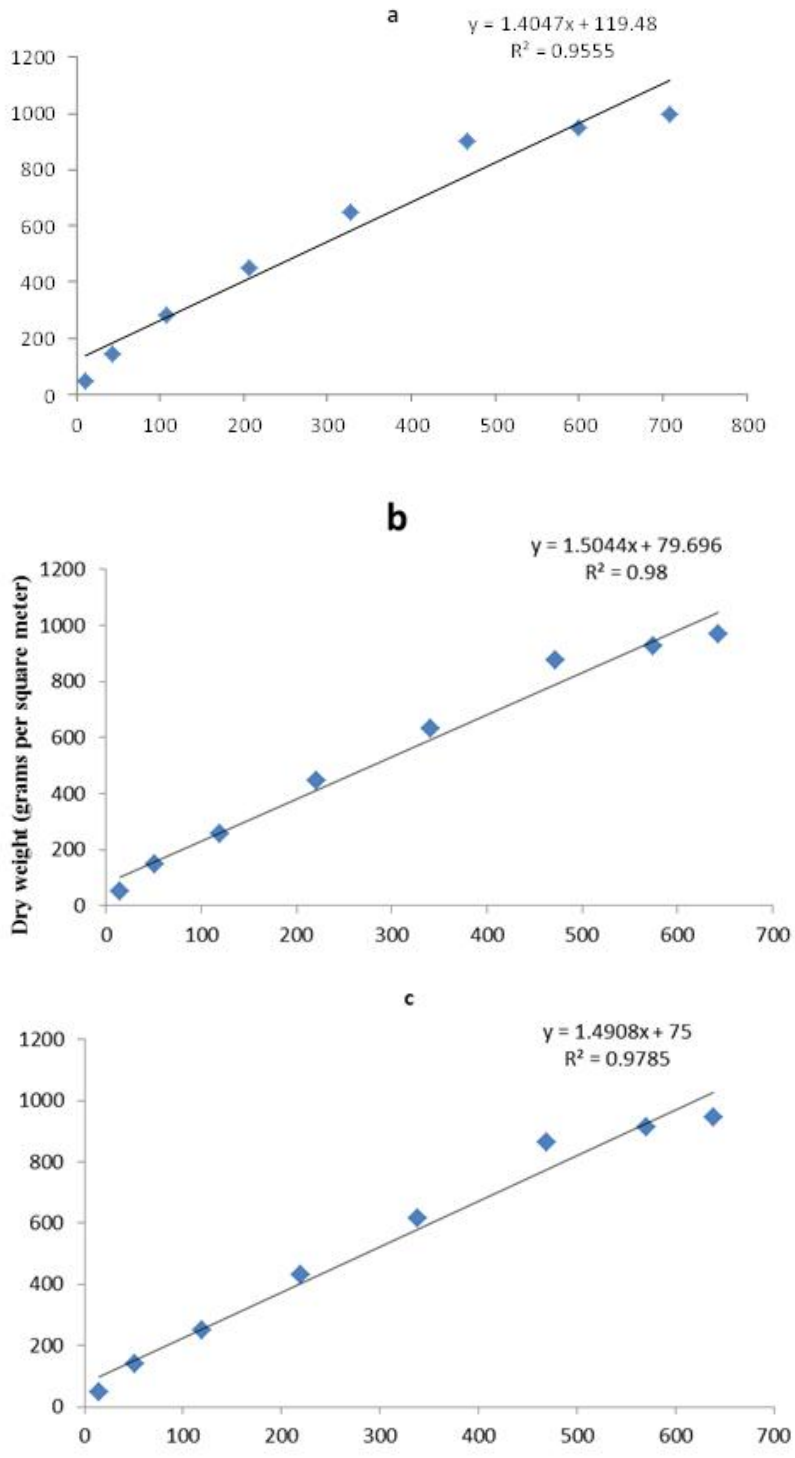
دامنه کارآیی مصرف نور گندم در تیمارهای مختلف بین ۱/۴۴ و ۱/۶۵ گرم بر مگاژول قرار داشت و دراین میان کم‌ترین مقدار برای مخلوط تأخیری سه ردیف گندم و یک ردیف چغندرقند تا حدودی کمتر از سایر تیمارها بود. مقادیر گزارش شده برای کارآیی مصرف نور گندم در مطالعات مختلف بسته به شرایط آزمایش متفاوت می‌باشد . برای مثال Olesen *et al*, 2002 و O'Connell *et al*, 2004 کارآیی مصرف نور گندم را در آزمایشات مختلف بین ۱/۸ تا ۴/۲گرم بر مگاژول و با میانگین ۲/۷گرم بر مگاژول گزارش نمودند. Zhang *et al*, 2008 کارآیی مصرف نور گندم را در کشت خالص و مخلوط تأخیری با پنبه در محدوده ۱/۹۴ تا ۲/۲۹مگاژول بر مترمربع گزارش کردند. این مقادیر نسبت به کارآیی مصرف نور گندم در این آزمایش بیشتر است. البته Jahansooz *et al*, 2007 کارآیی مصرف نور گندم را در کشت خالص و در شرایط کشت مخلوط با نخود به‌ترتیب ۱/۴۳ و ۱/۵۹گرم بر مگاژول محاسبه کردند.

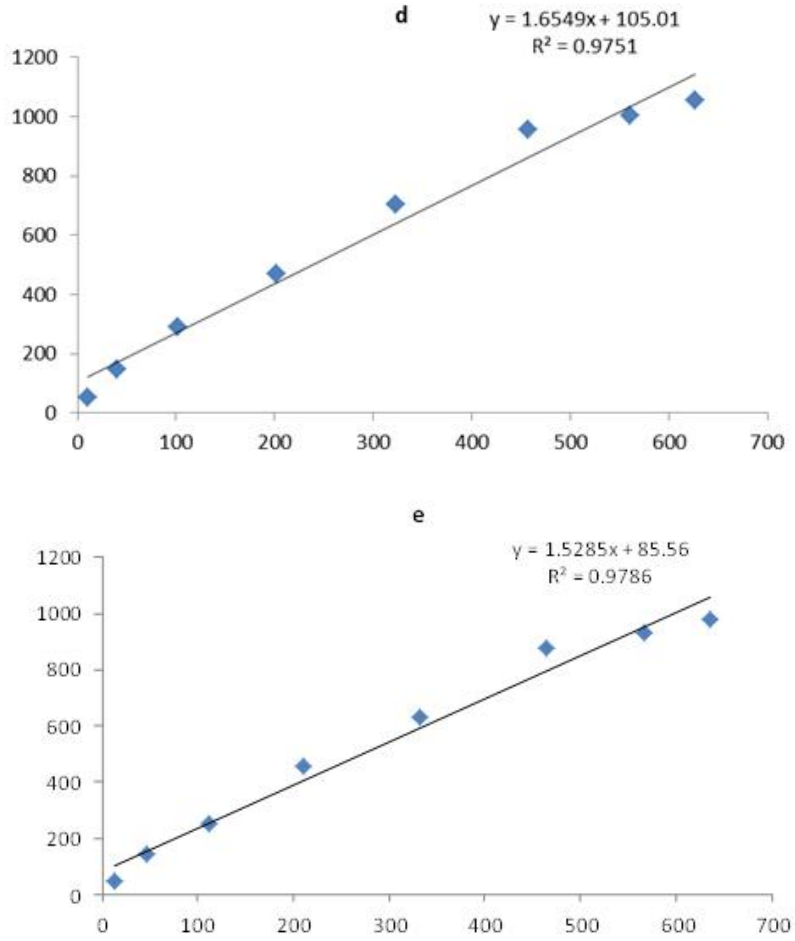
مقدار عددی کارایی مصرف نور ممکن است تحت تأثیر ژنوتیپ، محیط و مدیریت زراعی تغییرکند، بدین‌ترتیب، به‌نظر می‌رسد که سرعت ظهور، رشد و نهایتاً پیری اندام‌های گیاهی برگ و ریشه و هم‌چنین متغیرهای اقلیمی مؤثر بر ظرفیت فتوسنتزی گیاه مقدار عددی کارایی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Lecoeur and Ney, 2003).

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

Table 2- The total amount of dry matter and radiation use efficiency (RUE) in monoculture and delayed mixed wheat and sugar beet

تیمار Treatment	کارایی مصرف نور Light use efficiency (g MJ^{-1})		کل ماده خشک Total dry matter (g m^{-2})		مجموع ماده خشک Total dry matter (g m^{-2})
	چغندرقند Sugar beet	گندم Wheat	چغندرقند Sugar beet	گندم Wheat	
کشت خالص Monoculture	2.32	1.4	2063	1000	3063
مخلوط ۳:۱ Mixed 3: 1	1.44	1.5	1213	970	2183
مخلوط ۳:۲ Mixed 3: 2	1.74	1.49	1452	945	2457
مخلوط ۴:۲ Mixed 4: 2	2.38	1.65	1942	1055	2997
مخلوط ۶:۲ Mixed 6: 2	1.93	1.52	1555	980	2532


a
y = 1.4047x + 119.48
R² = 0.9555
b
y = 1.5044x + 79.696
R² = 0.98
Dry weight (grams per square meter)
c
y = 1.4908x + 75
R² = 0.9785

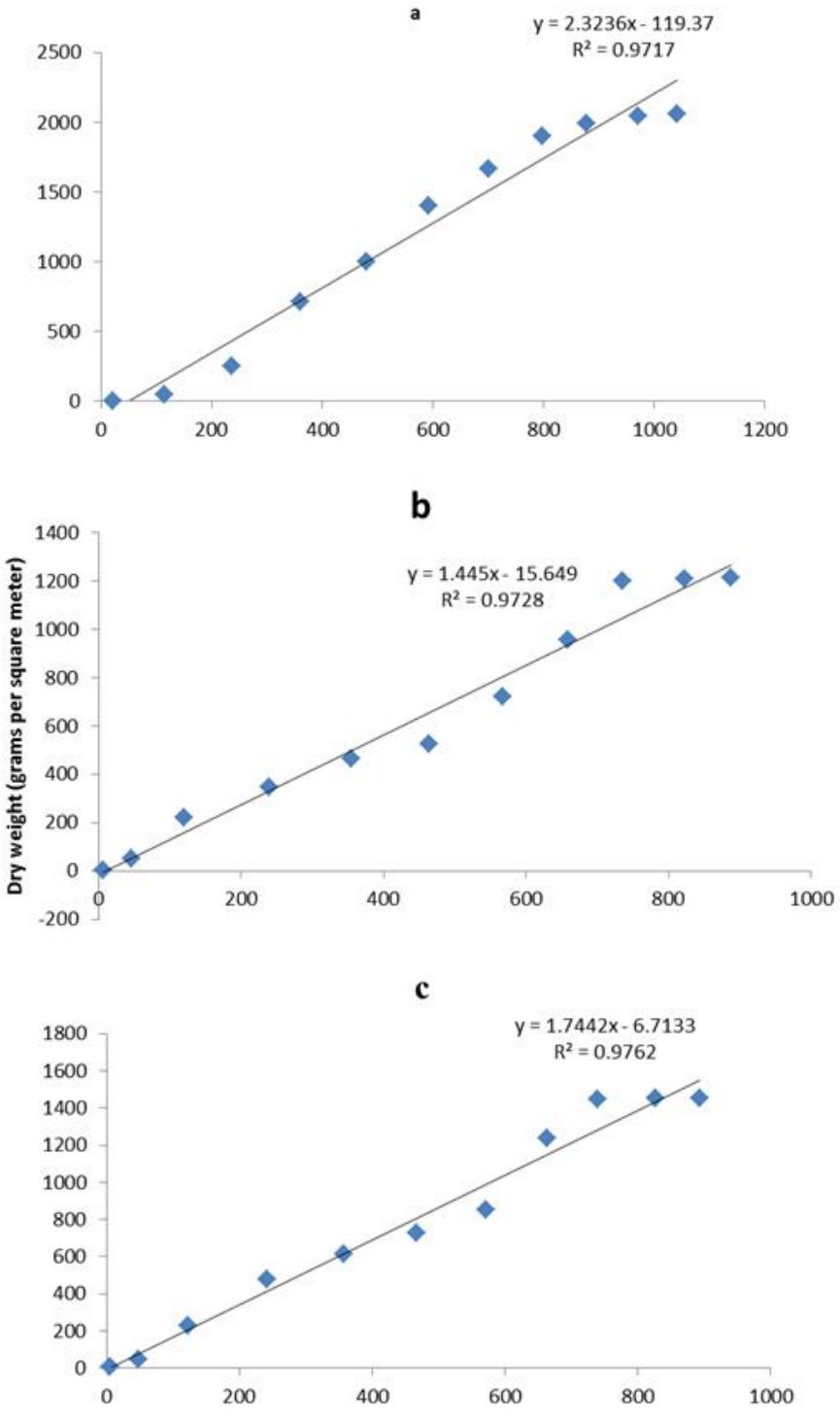


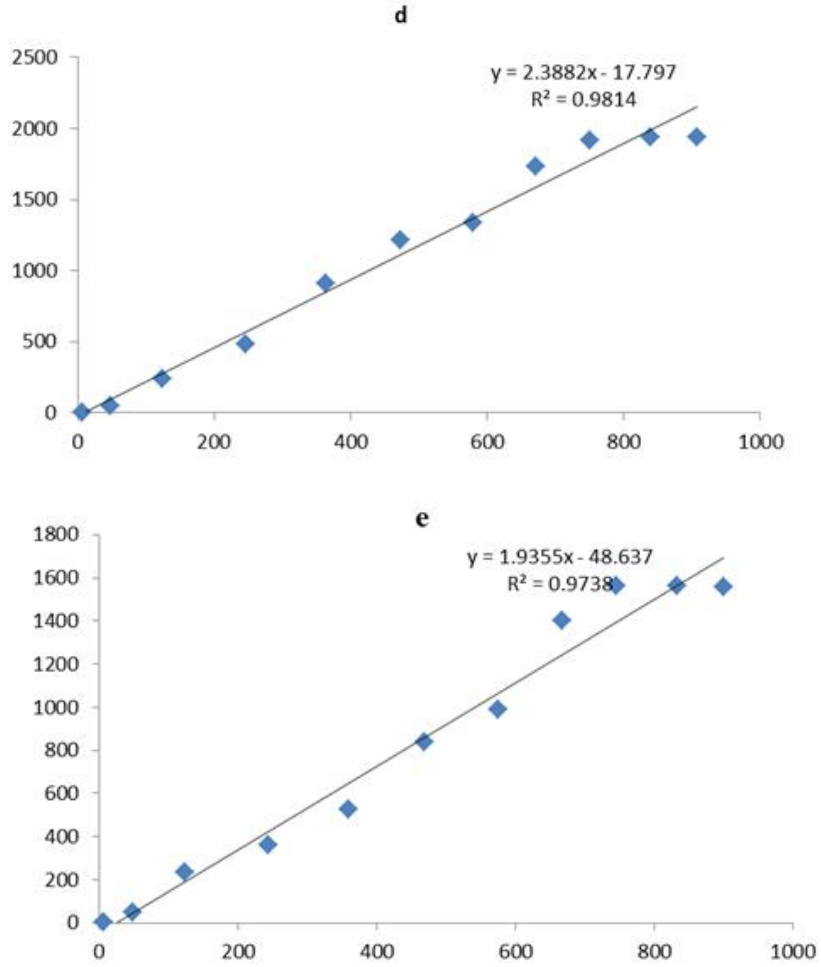
شکل٤- رابطه ماده خشک تولیدی و تشعشع دریافتی گندم در کشت خالص (a) ، مخلوط‌های تأخیری ۳:۱ (b)، ۳:۲ (c)، ٤:۲ (d) و ٦:۲ (e) چغندرقند: گندم

Figure 4- Relationship between dry matter and radiation wheat pure cultures any (a) delay mixture 3: 1 (b), 3: 2 (c), 4: 2 (d) and 6: 2 (e) of sugar beet: wheat

عملکرد دانه گندم

کشت خالص و مخلوط (۴:۲) گندم دارای بالاترین عملکرد دانه (۳۸۴ و۴۰۳گرم در مترمربع) بود. کم‌ترین مقدار عملکرد دانه گندم مربوط به کشت مخلوط نواری سه ردیف گندم و دو ردیف چغندرقند با ۳۲۵گرم در متر مربع بود. عملکرد گندم در کشت خالص با مخلوط‌های ۱:۳، ۲:۴ و ۲:۶ تفاوت معنی‌داری نداشتند که، به‌نظر می‌رسد که فاصله کشت بین دو گیاه روی عملکرد تأثیر داشته است، هم‌چنین زمانی که تعداد ردیف های گندم بیش‌تر شده است و به سمت تک‌کشتی رفته است، عملکرد افزایش داشته است و سیستم کشت ۲:۴ بهترین عملکرد را داشت، زیرا دارای فاصله کشت مناسب بین گندم و چغندرقند و تعداد ردیف مناسب برای گندم داشته است (شکل۶). Zhang *et al*, 2008 نیز در آزمایشی، کشت مخلوط تأخیری گندم و پنبه گزارش کردند که کشت خالص گندم بیش‌ترین عملکرد و نسبت ۳ به ۱ گندم/پنبه به نسبت دیگر ترکیب‌های کشت آن (۲/۳، ۲/۴ و ۲/۶) عملکرد بیش‌تری داشت. در آزمایش دیگری Nasiri Mohalati *et al*, 2000 گزارش کردند که در کشت مخلوط ۲/۳ گندم و ذرت بالاترین عملکرد گندم به‌دست آمد که با نتایج این تحقیق مطابقت ندارد، احتمالاً به‌دلیل نوع گیاه همراه می‌باشد. زیرا ذرت از نظر کانوپی و سیستم رشدی با چغندرقند متفاوت می‌باشد.


a
y = 2.3236x - 119.37
R² = 0.9717
2500
2000
1500
1000
500
0
0
200
400
600
800
1000
1200
b
Dry weight (grams per square meter)
y = 1.445x - 15.649
R² = 0.9728
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
-200
0
200
400
600
800
1000
c
y = 1.7442x - 6.7133
R² = 0.9762
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
200
400
600
800
1000

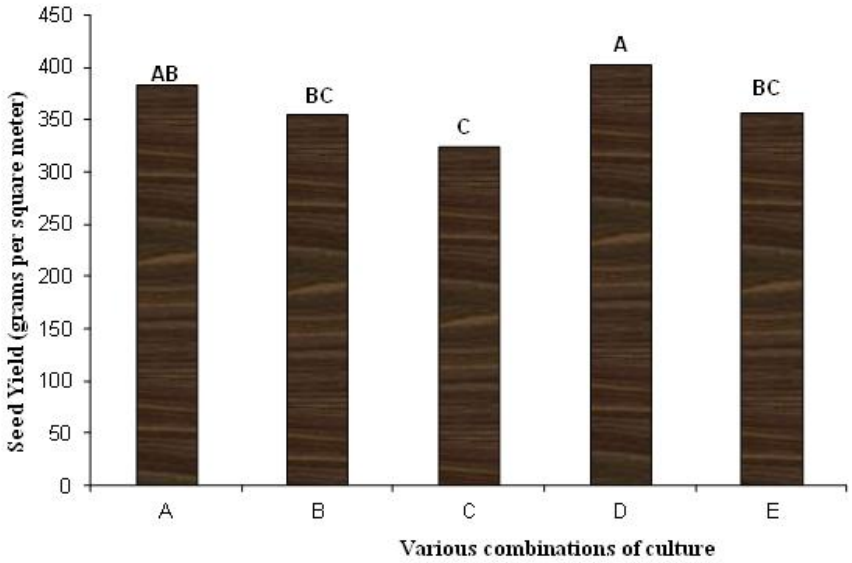


شکل ۵- رابطه ماده خشک تولیدی و تشعشع دریافتی چغندرقند در کشت خالص هر گونه (a) و مخلوط‌های تأخیری ۳:۱ (b)، ۳:۲ (c)، ٤:۲ (d) و ٦:۲ (e) چغندرقند: گندم

Figure 5- Relationship between dry matter and radiation sugar beet cropping any (a) delay mixture 3: 1 (b), 3: 2 (c), 4: 2 (d) and 6: 2 (e) of sugar beet: wheat

عملکرد ریشه چغندرقند

بین الگوهای مختلف کشت مخلوط تأخیری و کشت خالص در مورد عملکرد چغندرقند اختلاف معنی‌داری وجود داشت، به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار مربوط به تیمار کشت خالص چغندرقند (۶۶ تن در هکتار) و کم‌ترین آن مربوط به تیمار مخلوط تأخیری سه ردیف گندم و یک ردیف چغندرقند (۳۴/۴تن در هکتار)کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۷). اثر ترکیب‌های مختلف کشت ذرت و لوبیا اثر معنی‌داری بر عملکرد لوبیا ($p<0.05$) داشت و با جابه‌جایی از کشت‌های خالص به سمت مخلوط از عملکرد لوبیا به‌میزان ۳۶درصد کاسته شد (Koocheki *et al.*, 2009). در این مطالعه نیز به‌نظر می‌رسد که در ترکیب ۱:۳ گندم و چغندرقند به‌دلیل فاصله کم بین ردیف‌های چغندرقند و گندم و بسته‌بودن کانوپی و سایه‌اندازی در زمان کشت چغندرقند، این گیاه دوره رشد کندی داشته است و تا زمان برداشت گندم نتوانسته است کانوپی خود را گسترش دهد. پس از برداشت گندم، ابتدا کانوپی را گسترش و سپس شروع به ذخیره مواد در ریشه کرده است، ولی در این مدت‌زمان نتوانسته است سرعت رشد بالای ابتدای فصل را جبران کند و نسبت به سایر کشت‌های مخلوط و کشت خالص کاهش عملکرد چشم‌گیری داشته است.



شکل ٦- اثر ترکیب های مختلف کشت مخلوط تأخیری چغندرقند و گندم بر عملکرد دانه گندم

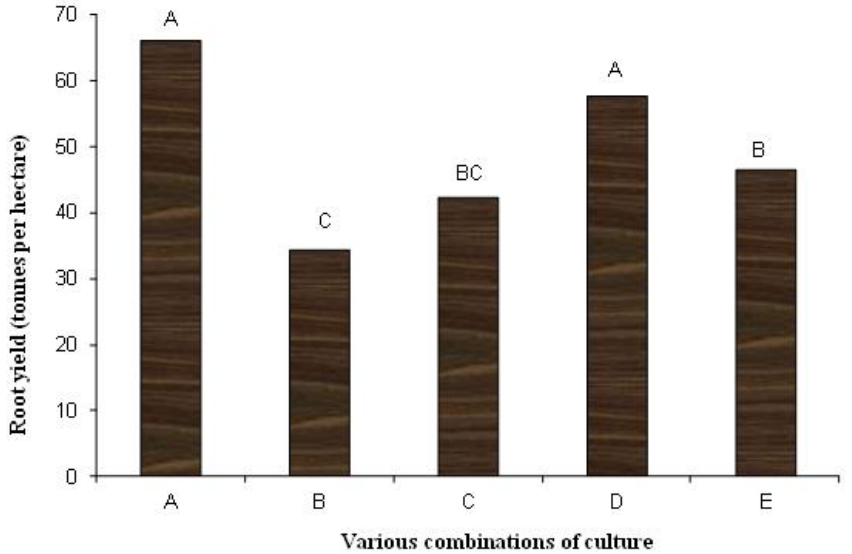
a: کشت خالص گندم، b: مخلوطهای تأخیری۱:۳ ،c: ۲:۳، d: ۲:۴ وe: ۲:۶ چغندرقند: گندم.

* میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج‌درصد ندارند.

Figure 6– relay intercropping effects of different combinations of sugar beet and wheat on wheat grain yield

A: sole cropping wheat, B: delayed mixtures 3: 1, C: 3: 2, D: 4: 2 andE: 6: 2 beet wheat.

*Average common letters are significant differences with Duncan's multiple range test at the 5% level whatsoever.



شکل ۷- اثر ترکیب های مختلف کشت مخلوط تأخیری چغندرقند و گندم بر عملکرد ریشه چغندرقند

A: کشت خالص چغندرقند، B: مخلوطهای تأخیری ۱:۳ ،C: ۲:۳، D: ۲:۴ وE: ۲:۶ چغندرقند: گندم.

* میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 7- Effects of different combinations of sugar beet and wheat relay intercropping on the yield of sugar beet roots

A: sole cropping sugar beet, B: mixtures delayed 3: 1, C: 3: 2, D: 4: 2 and E: 6: 2 beet wheat.

* Average of common letters differ significantly according to Duncan's multiple range test at the 5% level are not.

نتیجه‌گیری

کشت مخلوط تأخیری گندم به‌عنوان گیاه زمستانه و چغندرقند به‌عنوان گیاه بهاره می‌تواند کاربرد زیادی داشته باشد. در این آزمایش کارایی مصرف نور به‌طور چشم‌گیری در تمام تیمارهای مخلوط افزایش داشته است. سیستم آب‌وهوایی متنوع و میزان نور متفاوت در طول فصل، در سرتاسر ایران می‌تواند کمک زیادی به این روش کشت نماید، تا مشکل دوره زمانی بین برداشت گندم و کاشت چغندرقند را کاهش دهد. بنابراین، با استفاده از توسعه کانوپی در ابتدای فصل رشد در زمان حداکثر میزان تشعشع خورشیدی بیش‌ترین استفاده از نور را داشته باشد و خیلی از مناطق را برای کشت چغندرقند در ابتدای فصل رشد مطلوب نماید و دوره رشدی آن را افزایش دهد.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهه طرح شماره ۱۶۱۸۱/۲ مصوب ۱۳۸۹/۹/۱۶ معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Acreche, M. M., and Slafer, G. A. 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(2): 98-105.
2. Zhang, L., van der Werf, W., Zhang, S., Li, B., and Spiertz, J. H. J. 2007. Growth, yield and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems. Field Crops Research 103(3): 178–188.
3. Ghaemi, A. 2002. Physiological and morphological indices effective in increasing the yield and quality of sugar beet. Dissertations. College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.
4. Goudriaan, J., and Monteith, J. L., 1990. A mathematical function for crop growth based on light interception and leafarea expansion. Annals of Botany 66(6): 695–701.
5. Jaggard, K., and Clark. C. 2000. Growth of sugar beet crops in 1999. British Sugar Beet Review 68(1): 6-11.
6. Jahan, M. 2004. Ecological aspects of intercropping chamomile (*Matricaria chamomilla* L) and marigold (*Calendula officinalis* L.) with manure. Master thesis of Agriculture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.
7. Jahani, M., Kochaki, A., and Nasiri Mohalati, M. 2008. Evaluation of different intercropping arrangements of cumin (Cuminum cyminum) and lentils (*Lens culinaris*) in low-input agricultural systems. Iranian Journal of Crop Research, 6 (1): 67-78. (In Persian with English Abstract).
8. Jahansooz, M. R., Yunusa, I. A. M., Coventry, D. R., Palmer, A. R., and Eamus. D. 2007. Radiation- and water-use associated with growth and yields of wheat and chickpea in sole and mixed crops. European Journal of Agronomy 26(3): 275–282. (In Persian with English Abstract).
9. Kemanian, A. R., Stockle, C. O., and Huggins. D. R. 2004. Variability of barley radiation use efficiency. Crop Science 44: 1662-1672.
10. Kochaki, A., and Khlqany, J. 1988. Sustainable agriculture in temperate regions of Mashhad University Press, 580 p. (In Persian).
11. Kochaki, A. 1997. Sustainable Agriculture, insight or method? Journal of Agricultural Economics and Development, 2 (20): 72-53. (In Persian with English Abstract).
12. Kochaki, A., Gholami, A., Mahdavi Damghan, A., and Tabriz, L. 2005. Principles of organic agriculture. Press Ferdowsi University of Mashhad. 385 p. (In Persian).
13. Kochaki, A., Hosseini, M., and Hashemi, A. 1995. Sustainable Agriculture Jihad University of Mashhad, 118: 6-28.
14. Kochaki, A., Lalegani. B., and Najib Nia, S. 2009. Evaluation of intercropping beans and corn production. Iranian Journal of Crop Research 7 (2): 605- 614. (In Persian with English Abstract).
15. Lecoeur, J., and Ney. B. 2003. Change with time in potential radiation use efficiency in field pea. European Journal of Agronomy 19(1): 91-105.
16. Li, L., Sun, J., Zhang, F., Li, X., Rengel, Z., and Yang, S. 2001. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping II. Recovery or compensation of maize and soybean after wheat harvesting. Field Crops Research 71(3): 173-181.
17. Li, L., Sun, J., Zhang, F., Li, X., Yang, S., and Rengel, Z. 2001. Wheat maize or wheat/soybean strip Intercropping I Yield advantage and interspecific interaction on nutrients, Field Crops Research 71(2): 123-137.
18. Mandel, B. K., Das, D., Saha, A., and Mohasin, M., 1996. Yield advantage of wheat *(Triticum aestivum*) and ckpea (*Cicer arietinum*) under different spatial arrangements in intercropping. Indian. Journal of Agronomy

41(1): 17-21.
19. Milford, G. F. J., Travis, K. Z., Pockock, T. O., Jaggard, K. W., and Day, W. 1988. Growth and dry matter partitioning in sugar beet. The Journal of Agricultural Science 110(2):301-308.
20. Nasiri Mohalati, M., Kochaki, A., and Jahan, M. 2011. Light absorption and use efficiency in winter wheat cropping and relay intercropping and crop research. Iranian Journal of Field Crops Research 8(6): 878-890. (In Persian with English Abstract).
21. O'Connell, M. G., O'Leary, G. J., Whitfield, D. M., and Connor, D. J. 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(2-3): 111–124.
22. Olesen, J. E., Berntsen, J., Hansen, E. M., Petersen, B. M., and Petersen, J. 2002. Crop nitrogen demand and canopy area expansion in winter wheat during vegetative growth. European Journal of Agronomy 16(4): 279–294.
23. Padhi, A. K., Sahoo, B. K., and 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 Sciences 63(3): 160-165.
24. Rajcan, I., and Swanton, C. J. 2001. Understanding maize-weed competition: resource competition, light quality and the whole plant. Field Crops Research 71(2): 139-150.
25. Rinaldi, M., and Vonella. A.V. 2006. The response of autumn and spring sown sugar beet (*Beta vulgaris* L.) toirrigation in southern Italy: water and radiation use efficiency. Field Crops Research 95(2-3): 103-114.
26. Scott, R.K., and Jaggard, K.W. 2000. Impact of weather, agronomy and breeding on yields of sugar beet grown inUK since 1970. The Journal of Agricultural Science 134(4): 341-352.
27. Sinclair, T. R., and Horie, T. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: A Review. Crop Science 29: 90-98.
28. Tsubo, M., Walker, S., and Mukhala, E. 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. Field Crops Research 71(1): 17–29.
29. Van der Meer, J. 1989. The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press, New York, p. 237.
30. Webb, C. R., Werker, A. R., and Gilligan, C. A. 1997. Modelling the dynamical components of sugar beet crop. Annals of Botany 80(4): 427-436.
31. Werker, A. R., and Jaggard, K. W. 1998. Dependence of sugar beet yield on light interception and evapotranspiration. Agricultural and Forest Meteorology 89(3-4): 229-240.
32. Zhang, L., van der Werf, W., Bastiaans, L., Zhangc, S., Li, B., and Spiertz. J. H. J. 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. Field Crops Research 107(1): 29–42.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 4, Winter. 2017, p. 539-557

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵، ص. ۵۵۷-۵۳۹

Evaluation of Yield and Radiation Use Efficiency of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Relay Intercropping

A. Koocheki[1*]- M. Nasiri Mahallati[1]- H. Zarghani[2]- A. Norooziyan[3]
Received: 08-04-2012
Accepted: 29-12-2015

Introduction

Intercropping plays an important role in agriculture because of beneficial interactions. Intercropping of legumes and cereals is an old practice in tropical agriculture dating back to ancient civilization. Cereals and other plant intercrops could substantially increase forage quantity and quality and decrease the requirement for protein supplements. Intercropping of cereals and other plants is important for development of sustainable food production systems. This may be due to some of the potential benefits of intercropping systems such as high productivity and profitability, improvement of soil fertility, efficient use of resources, reducing damage caused by pests, diseases and weeds and improvement of forage quality The main advantage of intercropping is more efficient utilization of the available resources and the increased productivity compared to sole crops of the mixture. Therefore, this experiment was conducted to evaluate agronomic characteristics of wheat and Land Equivalent Ratio (LER) under relay intercropping with sugar beet.

Materials and Methods

In order to evaluate radiation use efficiency (RUE), yield and dry matter accumulation in winter wheat relay intercropping and sugar beet, a field experiment was conducted at Agricultural Research Station of Ferdowsi University of Mashhad, Iran, during 2012 growing season, using a completely randomized block with four replications. The experimental treatments included four treatments intercropping ratios of rows: 3: 1, 3: 2, 4: 2, 6: 2 (beet and wheat) with monocropping beet and monocropping wheat (sole crops), comprised the experimental factors.

Results and Discussion

The results of this experiment showed that the effects of intercropping were significant for many study traits. Also, the results showed that during the growing season, leaf area index, radiation crossing the canopy, radiation use efficiency, the amount of dry matter production and yield per unit area were affected by intercropping. The highest yield of wheat was observed in the intercropping treatments 4: 2 (1942 $g.m^{-2}$) and the highest dry matter of beet sugar was obtained in monoculture (2063 $g.m^{-2}$). Highest radiation use efficiency of wheat and sugar beet) was observed in treatment 4: 2 (65.1 and 38.2), respectively.

Conclusions

In general, results showed that maize-peanut intercropping could be profitable due to use of the available resources. It can be concluded that intercropping was more efficient than sole cropping especially this is the way to make better use of resources and increase efficiency compared with sequential planting species.

Keywords: Radiation absorb, Radiation use efficiency, Relay intercropping, Yield

1, 2- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3, 4- Phd Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
(*- Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)