بررسی تأثیر تاریخ کاشت، تراکم بوته و رقم روی مؤلفه‌های دریافت تشعشع خورشیدی در چغندرقند – ب. کارآیی مصرف تشعشع[1]

Effect of sowing date, planting density and cultivar on solar radiation interception indices in sugar beet. II. Radiation use efficiency

سعید صادق‌زاده حمایتی*[2]، داریوش فتح‌اله طالقانی[2]، علی کاشانی[3]، سیدعطاءاله سیادت[4] و قربان نورمحمدی[5]

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۱/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۶/۶

س. صادق‌زاده حمایتی، د. فتح‌اله طالقانی، ع. کاشانی، س.ع. سیادت و ق. نورمحمدی. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر تاریخ کاشت، تراکم بوته و رقم روی مؤلفه‌های دریافت تشعشع خورشیدی در چغندرقند – ب. کارآیی مصرف تشعشع. **مجله چغندرقند ۲۵(۱): ۶۹-۵۳.**

چکیده

به‌منظور بررسی نحوه تأثیر دریافت تشعشع خورشیدی در رقم‌های مختلف چغندرقند در تاریخ‌های کاشت و تراکم بوته، این تحقیق طی سال‌های ۱۳۸٤ و ۱۳۸۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کمال‌آباد کرج انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. دو تاریخ کاشت متداول (به ترتیب ۲٤ فروردین و سوم اردیبهشت در سال‌های ۱۳۸٤ و ۱۳۸۵) و چهل روز بعد (به ترتیب سوم خرداد و ۱۱ خرداد در سال‌های ۱۳۸٤ و ۱۳۸۵) به کرت‌های اصلی، چهار سطح تراکم بوته ٦/۰، ۷/۵، ۹/۰ و ۱۰/۵ بوته در مترمربع به کرتچه‌ها و سه رقم چغندرقند به نام‌های منوژرم جلگه، هیبرید ٤۲۸ و دی اس ٤۰۲۷ به کرتچه‌های فرعی اختصاص داده شد. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد کشت چغندرقند در منطقه کرج طی دهه سوم فروردین در مقایسه با به تعویق انداختن زمان کاشت به مدت چهل روز، موجب می‌شود تا میزان تشعشع خورشیدی دریافت شده معادل ٤۲۵ مگاژول بر مترمربع کاهش یابد. این در حالی بود که کارآیی مصرف تشعشع برای تولید ماده‌خشک در هر دو تاریخ کاشت (۱/٤۸-۱/٤۳ گرم در مترمربع در مگاژول) تفاوت معنی‌دار آماری با هم نداشت. افزایش تراکم بوته از ٦ به ۱۰/۵ بوته در مترمربع گرچه موجب افزایش دریافت تشعشع شد ولی، این تأثیر معنی‌دار نبود و کارآیی مصرف تشعشع نیز واکنش خطی نسبت به تراکم بوته نشان نداد. کارآیی مصرف تشعشع در رقم‌های جلگه و ٤۲۸ (۱/٤۳ گرم بر مترمربع بر مگاژول) کم‌تر از رقم دی‌اس ٤۰۲۷ (۱/۸۵ گرم بر مترمربع بر مگاژول) بود. این تفاوت عمدتاً ناشی‌از بالا بودن کارآیی مصرف تشعشع برای تولید اندام‌های زیرزمینی در رقم دی‌اس ٤۰۲۷ (۱/۵٤ گرم بر مترمربع بر مگاژول) نسبت به رقم‌های جلگه و ٤۲۸ (۱/۱۰ گرم بر مترمربع بر مگاژول) بود. کارآیی مصرف تشعشع برای تولید اندام‌های هوایی (۰/۳٤ – ۰/۳۲ گرم بر مترمربع بر مگاژول) تفاوت معنی‌دار بین رقم‌های موردآزمایش نداشت. از نتایج حاصل چنین استنباط می‌شود که در تحقیقات به‌نژادی باید در زمینه بهبود نسبت ریشه به اندام هوایی گام برداشته شود.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، تراکم بوته، چغندرقند، رقم، کارآیی مصرف تشعشع، کرج

۱- بخش الف این مقاله در مجله چغندرقند جلد ۲۴، شماره ۱ صفحات ۴۲-۲۳ به چاپ رسیده است.

۲- استادیار مؤسسه تحقیقات چغندرقند- کرج *- نویسنده مسئول S_S_Hemayati@yahoo.com

۳- استاد دانشگاه شهید چمران – اهواز

۴- استاد دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین

۵- استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

مقدمه

گیاهان جهت رشد نیازمند جذب و تحلیل (آسیمیلاسیون) گازکربنیک با استفاده‌از تشعشع خورشیدی هستند و بنابراین، عملکرد گیاهان زراعی در بیشتر موارد رابطه خطی با مقدار تشعشع خورشیدی دریافت شده دارد (Clover et al. 2001). مطالعه رشد و تجمع زیست‌توده در گیاهان زراعی مختلف نشان داده است تولید زیست‌توده به شاخص سطح برگ و مقدار تشعشع دریافت شده در طول دوره رشد (Webb et al. 1997; Cadersa and Govinden, 1999; Asseng et al. 2004; Wolf et al. 2002; Yano et al. 2007) و کارآیی گیاه در تبدیل تشعشع دریافت شده به زیست‌توده جدید (کارآیی مصرف تشعشع یا *RUE*) وابسته است (Sinclair and Muchow, 1999). در چغندرقند نیز بین مجموع تشعشع دریافتی و مقدار ماده خشک ریشه با عملکردقند و عیارقند، همبستگی مثبت و معنی‌داری گزارش شده است (Ohtake et al. 1997).

درصورت عدم بروز تنش‌های زیستی و غیرزیستی، انباشت ماده خشک گیاهی به کمیت تشعشع دریافت شده توسط سایه‌انداز بستگی دارد (Monteith, 1977; Kiniry et al. 1989; Sinclair and Muchow, 1999; Lindquist et al. 2005). بر همین اساس، ارتباط بین ماده خشک گیاه و تشعشع دریافت‌شده به کارآیی مصرف تشعشع (برحسب گرم بر مگاژول) (*RUE*) موسوم است (Monteith, 1977; Kiniry et al. 1998) که در تعدادی از مدل‌های شبیه‌سازی رشد از مفهوم آن جهت پیش‌بینی رشد و عملکرد گیاه زراعی در محیط‌های مختلف استفاده می‌شود (Rosenthal et al. 1993; Brisson et al. 2003). این مدل‌ها، عموماً تولید روزانه زیست‌توده را بر اساس میزان تشعشع دریافت‌شده و کارآیی مصرف تشعشع برآورد می‌کنند (Lecoeur and Ney 2003). وجود رابطه خطی بین تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده (*iPAR*) در زمان بسته‌شدن سایه‌انداز گیاه و عملکرد نهایی محصول چغندرقند در گزارش‌های متعددی مورد تأکید قرار گرفته است (Damay and Gouis 1993; Clevers 1997; Clover et al. 2001).

مانتیث (Monteith 1977) رابطه خطی بین ماده خشک و مجموع تشعشع دریافت شده برای چهار گیاه زراعی سه‌کربنه (شامل چغندرقند) را محاسبه و شیب خط را کارآیی مصرف تشعشع (*RUE*) نامید و دلایل تئوریکی فراوانی جهت اثبات ثابت بودن مقدار آن ارایه کرد. یکی از روش‌های پیشنهاد شده برای تخمین *RUE* تعیین آهنگ رشد گیاه زراعی (*CGR*) و تقسیم آن بر مقدار تشعشع دریافت شده در حدفاصل دو اندازه‌گیری متوالی است. این روش باتوجه به مستقل بودن مقادیر *CGR*، اریب کمتری دارد (Lindquist et al. 2005). روش معمول تخمین *RUE* براساس شیب رابطه خطی بین انباشت زیست‌توده و تشعشع دریافت شده تجمعی (Sinclair and Muchow 1999) نیز به عنوان یک برآورد مناسب مورد استفاده گسترده‌ای قرار می‌گیرد.

درمجموع، جهت کمی کردن ظرفیت تجزیه و تحلیل و رشد گیاهـان زراعـی از دو مفهوم میزان تعرق و تشعشع جذب شده جهت تـولید ریست‌تـوده (به ترتیب کارآیی مصرف آب و تشـعشـع) استفـاده می‌شـود (Jabloun et al. 2005).

چغندرقند کارآیی زیادی در تبدیل تشعشع خورشیدی به ماده خشک دارد (Scott and Jaggard 1993). این گیاه در مقایسه با گندم دوروم کارآیی بیش‌تری دارد و در عین حال، نسبت به ذرت و سورگوم کارآیی مصرف تشعشع کم‌تری دارد (Rinaldi and Vonella 2006). کارآیی مصرف تشعشع چغندرقند با مقادیر گزارش شده از ذرت (۱/۶ گرم بر مگاژول، Muchow et al. 1990)، پنبه (۱/۳ تا ۱/۵ گرم بر مگاژول، Rosenthal and Gerik 1991) و سویا (۱/۳ تا ۲/۵ گرم بر مگاژول، Sinclair and Muchow 1999) قابل مقایسه و کمتر از سورگوم (۳/۵ گرم بر مگاژول، Rosenthal et al. 1993) است.

عوامل متعددی بر تفاوت در مقادیر گزارش شده *RUE* تأثیر دارند. نحوه اندازه‌گیری تشعشع (مجموع تشعشع یا بخش فعال آن در فتوسنتز) (Sinclair and Muchow 1999)، نحوه محاسبه تشعشع فعال فتوسنتزی (*PAR*) از مجموع تشعشع (Bonhomme 2000)، تفاوت بین تشعشع دریافت شده توسط گیاه زراعی با مقدار تشعشع جذب شده (Lindquist et al. 2005)، تغییرات نسبت جذب تشعشع دریافت شده در طول فصل رشد (Sinclair and Muchow 1999; Bonhomme 2000)، تفاوت در نحوه محاسبه زیست‌توده (درنظر گرفتن زیست‌تودهٔ ریشه یا صرفاً قسمت‌های هوایی بوته)، خطا در اندازه‌گیری زیست‌توده و تشعشع دریافت‌شده به دلیل اندازهٔ کوچک نمونه‌ها و غیریکنواختی توزیع بوته‌ها و درنهایت، وضعیت آب و موادغذایی گیاه (Sinclair and Muchow 1999) را می‌توان به عنوان عوامل دخیل در تفاوت *RUE* گزارش شده برای چغندرقند در مطالعه‌های مختلف پنداشت.

مقدار *RUE* با توجه به گونه گیاهی، شرایط آب و هوایی، مدیریت زراعی، مرحله رشد گیاه، نحوه اندازه‌گیری و ترکیبات گیاهی تغییر می‌کند (O'Connell et al. 2004). نوسان ضریب رگرسیون بین تشعشع دریافتی و ماده خشک تولیدشده در سال‌های مختلف (Ohtake et al. 1997) نشان داد که *RUE* بیش از آن‌که از عوامل اقلیمی متأثر شود به عوامل فیزیکی و زراعی وابسته است (Damay and Gouis 1993). تغییر در متغیرهای محیطی در سال‌های مختلف می‌تواند از طریق تأثیر روی *RUE*، عملکرد چغندرقند را تحت تأثیر قرار دهد.

در ارتباط با تأثیر تاریخ کاشت بر *RUE*، مقادیر برآورد شده *RUE* طی تاریخ‌های مختلف کاشت پاییزه و بهاره چغندرقند همبستگی معنی‌داری با طول دوره رشد نشان نداده است (Rinaldi and Vonella 2006) که این موضوع مؤید واکنش ضعیف گونه‌های سه‌کربنه جهت ایجاد ارتباط بین *RUE* و متغیرهای اقلیمی است (Kiniry et al. 1998). اولین اثر افزایش

تراکم بوته، کاهش در سطح نور خورشید به‌ازای هر بوته و از آن‌جا، کاهش پتانسیل تولید مواد فتوسنتزی در هر بوته است. دست‌یابی به پوشش کامل سایه‌انداز با ممانعت از روند افزایش تولید مواد فتوسنتزی به‌ازای هر بوته همراه است (Clark and Loomis 1978). البته، بیشترین *RUE* هم‌زمان با حداکثر پوشش سایه‌انداز به‌دست می‌آید (Rinaldi and Vonella 2006).

ساختار سایه‌انداز، نحوه پخش تشعشع در آن و شاخص سطح برگ، *RUE* را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اختلاف در آرایش فضایی سایه‌انداز که به وسیله ضریب استهلاک نوری (*K*) در قانون لامبرت ـ بیر بیان می‌شود، همراه‌با شاخص سطح برگ می‌تواند دلایل اختلاف گونه‌ها در *RUE* را هویدا کند (Kiniry et al. 1999). شیب خط رگرسیون (*RUE*)، توانایی رقم‌های مختلف را در استفاده از تشعشع جهت تولید ماده خشک و عملکرد شکر نشان می‌دهد (Damay and Gouis 1993).

بروز خشکی به‌واسطه بسته شدن نسبی روزنه‌ها جهت حفظ آب گیاه، به‌طور متوسط *RUE* را از ۱/۳۲ به ۱/۱۱ گرم بر مگاژول رساند (Clover et al. 1999a). در انگلستان ضریب تبدیل تشعشع دریافت شده به ماده خشک در مزارع فاریاب چغندرقند معادل ۱/۷۲ گرم بر مگاژول است (Glauert 1983; Scott and Jaggard 1993). با این‌همه، در سال‌های خشک که معمولاً سال‌های آفتابی نیز هستند، این ضریب تبدیل در مزارع دیم ثابت نیست و رشد چغندرقند بیش از آن‌که وابسته به تشعشع دریافت شده باشد، به مقدار تبخیر و تعرق بستگی دارد و مقدار ماده خشک تولید شده معادل ۷–۵ گرم بر لیتر آب تعرق‌یافته است (Werker and Jaggard 1998). *RUE* در کشت بهاره چغندرقند بیش از کشت‌های پاییزه است (Rinaldi and Vonella 2006) و هم‌چنین برای چغندرقند دیم (۱/۴۴) کمتر از چغندرقند فاریاب (۱/۶۶) گزارش شده است (Brown et al. 1987). البته افزایش *RUE* همواره با افزایش عملکرد قند در هکتار همراه نیست (Pechenov and Okanenko 1974). این مطالعه با هدف بررسی و تعیین نحوهٔ تأثیر تاریخ کاشت و تراکم بوته بر کارآیی مصرف تشعشع در رقم‌های مختلف چغندرقند در منطقه کرج در یک دورهٔ دوساله اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در قالب آزمایش کرت‌های دو بار خردشده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در دو سال زراعی ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کمال‌آباد کرج با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۶ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۱۳۰۰ متر از سطح دریا انجام شد. به منظور بررسی اثر عوامل زراعی، دو تاریخ کاشت در محدوده متداول (به ترتیب ۲۴ فروردین و سوم اردیبهشت در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵) و چهل روز بعد (به ترتیب سوم خرداد و ۱۱ خرداد در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵) در چهار سطح تراکم بوته ۶۰، ۷۵، ۹۰ و ۱۰۵هزار بوته در هکتار برای سه رقم چغندرقند منوژرم جلگه، هیبرید ۴۲۸ و دی‌اس ۴۰۲۷ مورد بررسی قرار گرفت. سطوح تاریخ کاشت به کرت‌های اصلی، تراکم

بوته به کرتچه‌ها و رقم به کرتچه‌های فرعی اختصاص داده شد. هر کرتچه فرعی شامل هشت خط کاشت به فاصله ۰/۵ متر و طول ۱۰ متر بود. فاصله بین تکرارها یک و نیم متر و فاصله بین کرت‌های اصلی یک متر بود.

کارآیی مصرف تشعشع از طریق برآورد شیب خط رگرسیون بین مجموع زیست‌توده (W, g.m^{-2}) در فاصله زمانی بین دو نمونه‌برداری متوالی با مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده ($APAR$, MJ.m^{-2}.gdd) محاسبه شد. مجموع تشعشع با استفاده از ضریب ۰/۵ (Sinclair and Muchow 1999) به تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) تبدیل و مقدار تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده ($APAR$, MJ.m^{-2}.gdd) معادل ۸۵ درصد تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده (PAR, MJ.m^{-2}.gdd) درنظر گرفته شد (Monteith 1977; Kiniry et al. 1998; Sinclair and Muchow 1999; Bonhomme 2000). جهت برآورد کارآیی مصرف تشعشع (RUE، برحسب گرم بر مگاژول) از نسبت مجموع ماده‌خشک (TDW، برحسب گرم در مترمربع) نسبت به تشعشع خورشیدی دریافت شده به‌وسیله گیاه طی دوره رشد (Rg_i، برحسب مگاژول بر مترمربع) استفاده به‌عمل آمد (رابطه ۱) (Ronaldi and Vonella 2006):

$$RUE=\frac{TDW}{Rg_i}$$ رابطه (۱)

مقدار Rg_i با استفاده از رابطه ۲ برآورد شد:

$$Rg=Rg_0\left[1-e^{(-KGLA)}\right]$$ رابطه (۲)

با وجود آن‌که در بیشتر منابع، RUE به میزان تولید ماده خشک کل در قبال مجموع تشعشع دریافت شده اطلاق می‌شود؛ در این مطالعه، RUE بر اساس وزن خشک اندام‌های هوایی ($RUEsdw$)، زیرزمینی ($RUErdw$) و کل ($RUEtdw$) و هم‌چنین عملکرد ریشه ($RUEry$)، شکر ($RUEsy$) و شکر سفید ($RUEwsy$) محاسبه و مورد آزمون آماری قرار گرفت.

داده‌های حاصل‌از آزمایش جهت تجزیه واریانس مرکب ابتدا با بهره‌گیری از آزمون بارتلت مورد آزمون متجانس بودن واریانس‌ها واقع شد و پس‌از احراز مشابهت واریانس اشتباه آزمایشی صفات در سال‌های آزمایش، تجزیه شد. تجزیه واریانس مرکب با توجه به سطح معنی‌دار شدن میانگین مربعات اثرات متقابل سال و عوامل اصلی (تاریخ کاشت، تراکم بوته و رقم) محاسبه و مورد آزمون F قرار گرفت (یزدی‌صمدی و همکاران، ۱۳۷۶). مقایسه میانگین‌های حاصل با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($DMRT$) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

میانگین کل کارآیی مصرف تشعشع ($RUEtdw$) در این آزمایش معادل ۱/۴۶ گرم در مترمربع بر مگاژول برآورد شد (جدول ۱) که با مقادیر ۱/۶۷ (Clover et al. 2001)، ۱/۷ (Scott and Jaggard 1993)، ۱/۰ تا ۱/۵ (Black and Ong 2000)، ۱/۴۴ برای چغندرقند دیم (در اروپا) و ۱/۶۶ برای چغندرقند فاریاب (Brown et al. 1987) و ۱/۳–۱/۶ (Werker and Jaggard 1988; Wright et al. 1997)، ۱/۲–۱/۸ (Kropff et al. 1992; Werker and Jaggard 1998)، ۱/۳–۲/۵ (Sinclair and Muchow 1999) قابل مقایسه؛ بیشتر از ۱/۳۲ (Clover et al. 1999a)، ۱/۲۸ (Clover et al. 1999b)، ۱/۰۰–۱/۱۴ (Rinaldi

and Vonella 2006)، ۱/۳ (سلطانی و همکاران ۱۳۸۴)، و کم‌تر از ۲/۹۶–۳/۷۶ (Damay and Le Gouis 1993)، ۳/۱۶–۴/۱۲ (Milford et al. 1980)، ۳/۵ (Biscoe and Gallagher 1977)، ۱/۹۳ (Scott et al. 1973) بود.

جدول ۱ مقایسه میانگین کارآیی مصرف تشعشع در سطوح موردمطالعه تاریخ کاشت، تراکم بوته و رقم در چغندرقند طی دو سال ۸۵–۱۳۸۴

سطوح موردمطالعه	کارآیی مصرف تشعشع ($RUE, g.m^{-2}.MJ$)					
	وزن خشک			عملکرد		
	اندام هوایی (RUE_{sdw})	اندام زیرزمینی (RUE_{rdw})	کل (RUE_{tdw})	ریشه (RUE_{ry})	شکر (RUE_{sy})	شکر سفید (RUE_{wsy})
سال						
سال ۱۳۸۴	۰/۳۵ a	۱/۳۴ a	۱/۵۸ a	۴/۸۷ b	۰/۵۱ a	۰/۳۶ a
سال ۱۳۸۵	۰/۳۲ a	۱/۱۱ b	۱/۳۳ b	۶/۶۷ a	۰/۶۴ a	۰/۴۶ a
تاریخ کاشت						
اولین فرصت ممکن	۰/۳۱ b	۱/۲۲ a	۱/۴۳ a	۵/۸۴ a	۰/۵۴ a	۰/۳۷ a
چهل روز بعد	۰/۳۶ a	۱/۲۲ a	۱/۴۸ a	۵/۷۰ a	۰/۶۱ a	۰/۴۵ a
تراکم بوته						
۶۰ هزار بوته در هکتار	۰/۲۸ b	۱/۱۹ a	۱/۳۶ a	۶/۰۱ a	۰/۶۱ a	۰/۴۴ a
۷۵ هزار بوته در هکتار	۰/۳۳ ab	۱/۱۲ b	۱/۳۴ a	۵/۷۲ a	۰/۵۵ a	۰/۳۸ a
۹۰ هزار بوته در هکتار	۰/۳۳ ab	۱/۲۹ b	۱/۵۱ a	۵/۶۷ a	۰/۵۶ a	۰/۳۹ a
۱۰۵ هزار بوته در هکتار	۰/۴۰ a	۱/۳۰ a	۱/۶۲ a	۵/۶۸ a	۰/۵۸ a	۰/۴۲ a
رقم						
جلگه	۰/۳۴ ab	۱/۱۰ a	۱/۳۶ b	۵/۵۳ a	۰/۵۵ a	۰/۴۰ a
۴۲۸	۰/۳۶ a	۱/۰۴ a	۱/۲۷ b	۵/۴۷ a	۰/۵۲ a	۰/۳۵ a
دی‌اس۴۰۲۷	۰/۳۲ b	۱/۵۴ a	۱/۷۳ a	۶/۳۱ a	۰/۶۶ a	۰/۴۸ a
میانگین کل آزمایش	۰/۳۴	۱/۲۲	۱/۴۶	۵/۷۷	۰/۵۸	۰/۴۱

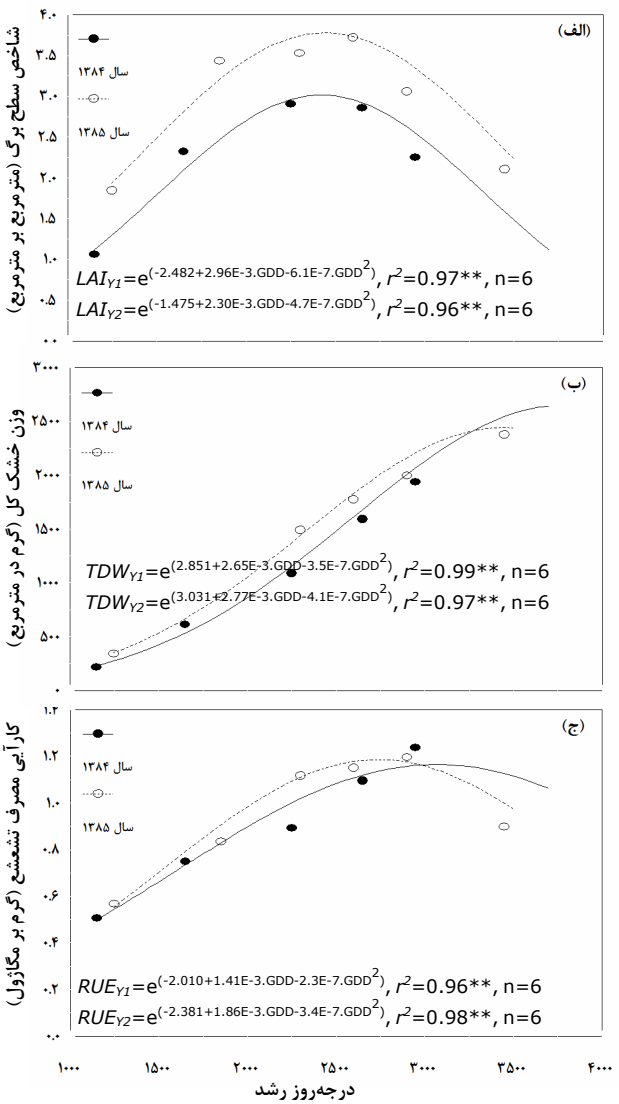
در هر ستون، اعدادی که حروف مشابهی دارند در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

با وجود آن‌که، *RUE* بیش‌از آن‌که از عوامل اقلیمی متأثر شود به عوامل فیزیکی و زراعی وابسته است (Sinclair and Muchow 1999)؛ اما در این مطالعه، عامل سال در سطح احتمال پنج درصد روی *RUErdw*، *RUEtdw* و *RUEry* تأثیر معنی‌داری گذاشت (جدول ۱). *RUE* جهت تولید وزن خشک اندام‌های زیرزمینی و کل در سال ۱۳۸۴ (به ترتیب معادل ۱/۳۴ و ۱/۵۸ گرم در مترمربع بر مگاژول) به ترتیب معادل ۲۱/۰۵ و ۱۸/۶۴ درصد بیش‌از سال ۱۳۸۵ و کارآیی مصرف تشعشع جهت تولید عملکرد ریشه در سال ۱۳۸۵ (۶/۶۷ گرم در مترمربع بر مگاژول) معادل ۳۶/۷۸ درصد بیش از سال ۱۳۸۴ بود (جدول ۱). تفاوت در *RUE* بین سال‌های مختلف توسط پژوهش‌گران دیگر نیز گزارش شده است. در یک مطالعه دوساله، *RUE* که به‌طور متوسط برای هلند معادل ۲/۱۰ گرم بر مگاژول بود در سال آفتابی (سال ۱۹۸۶) معادل ۲/۵۰ گرم بر مگاژول برآورد شد (Smith 1993). در یک مطالعه دیگر سه ساله در فرانسه نیز مقادیر *RUE* بین ۳/۷۶–۳/۰۷ گرم بر مگاژول در سال ۱۹۸۸، ۳/۴۳–۲/۹۶ گرم بر مگاژول در سال ۱۹۸۹ و ۳/۴۳–۲/۹۷ گرم بر مگاژول در سال ۱۹۹۰ متفاوت بود (Damay and Gouis 1993). در آلمان، ضریب رگرسیون خطی بین مجموع تشعشع خورشیدی دریافت شده و ماده خشک (*RUE*) بین

۰/۷۴–۱/۸۸ و ۰/۳۰–۰/۷۵ گرم بر مگاژول طی دو سال آزمایش متفاوت بود (Rover 1994). در ژاپن، *RUE* در دو سال آزمایش به ترتیب بین ۰/۴۳–۰/۶۵ و ۱/۱۵–۱/۳۷ متغیر بود (Kitamura 1975). بنابراین، ضریب رگرسیون بین تشعشع دریافتی و ماده خشک تولید شده طی سال‌های مختلف متغیر است (Ohtake et al. 1997).

روند تغییرات شاخص سطح برگ، ماده خشک کل و کارآیی مصرف تشعشع در دو سال اجرای آزمایش (شکل ۱) نشان داد که در سال ۱۳۸۵ همراه با افزایش *LAI* (۳/۰۲ و ۳/۷۸ به ترتیب در سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵)، بر مقدار *TDW* (۲۴۴۰ و ۲۶۴۳ گرم در مترمربع به ترتیب در سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵) و نیز *RUE* (۱/۱۷ و ۱/۱۹ گرم بر مگاژول به ترتیب در سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵) افزوده شده است (شکل ۱). بیش‌ترین کارآیی مصرف تشعشع (شکل ۱ج) در سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ به ترتیب پس از دریافت ۳۰۵۰ و ۲۷۵۰ درجه‌روز رشد حاصل شد که حدود ۶۰۰–۳۰۰ درجه‌روز رشد پس از زمان دست‌یابی به حداکثر شاخص سطح برگ (شکل ۱الف) روی داد. از آنجایی‌که، چغندرقند جهت بسته شدن سایه‌انداز خود نیازمند دریافت ۳۶۰ تا ۷۵۰ درجه‌روز دما است (Milford et al. 1985) و پس از دریافت ۷۰۰ درجه‌روز رشد، افزایش نمایی ماده‌خشک ریشه آغاز می‌شود (Kenter et al. 2006)؛ در سال ۱۳۸۵، مجموع دمای مؤثر رشد حدود ۱۴روز زودتر از سال ۱۳۸۴ به این آستانه دست یافت. این درحالی است که در گزارش‌ها هم‌زمانی حداکثر *RUE* با حداکثر پوشش سایه‌انداز مورد تأکید قرار گرفته است (Rinaldi and Vonella 2006).

اثر تاریخ کاشت بر *RUE* وزن خشک اندام‌های هوایی و عملکرد شکر در سطح احتمال پنج درصد و روی *RUE* عملکرد شکر سفید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). به تعویق انداختن تاریخ کاشت به مدت چهل روز موجب شد تا کارآیی مصرف تشعشع در تولید ماده خشک اندام‌های هوایی، عملکرد شکر و شکر سفید به‌ترتیب معادل ۰/۰۴۷، ۰/۰۶۸ و ۰/۰۸۶ گرم بر مگاژول افزایش یابد (جدول ۱). تغییر *RUE* با توجه به گونه گیاهی، شرایط آب و هوایی، مدیریت زراعی، مرحله رشد گیاه، نحوه اندازه‌گیری و



شکل ۱ رابطه تغییرات (الف) شاخص سطح برگ (*LAI*)، (ب) وزن خشک کل (*TDW*) و (ج) کارآیی مصرف تشعشع (*RUE*) طی طول دوره رشد چغندرقند در سال ۱۳۸۴ (*Y1*) و ۱۳۸۵ (*Y2*)

ترکیبات گیاهی پیش‌تر نیز گزارش شده بود (O'Connell et al. 2004).

تأثیر معنی‌دار تاریخ کاشت بر *RUE* اندام‌های هوایی و عدم تأثیر آماری روی *RUE* اندام‌های زیرزمینی و وزن خشک کل نشان داد که کوتاه شدن طول دوره رشد (به واسطه به تأخیر افتادن تاریخ کاشت)، موجب رجحان رشد قسمت‌های هوایی بوته شده است و به‌عبارت دیگر، گیاه در زمان کوتاه فصل رشد بیش از آن‌که، انرژی تشعشعی دریافت شده را صرف انباشت ماده خشک در اندام‌های زیرزمینی کند، متوجه تولید اندام‌های هوایی می‌کند. ازسوی دیگر، با توجه به تفاوت زیاد عملکرد شکر و شکر سفید طی دو تاریخ کاشت موردمطالعه (به ترتیب ۱۳/۷۳ و ۹/۷۸ تن در هکتار در تاریخ کاشت اولین فرصت ممکن و ۱۲/۰۳ و ۹/۱۲ تن در هکتار در تاریخ کاشت چهل روز بعد طی دو سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵) (جدول ۱)، افزایش کارآیی مصرف تشعشع به میزان ۱۲/۶ و ۲۳/۶ درصد جهت تولید شکر و شکر سفید نیز نتوانست موجب شود تا بوته‌های دیرکاشت از عملکرد قابل قیاسی با تاریخ کاشت به‌هنگام برخوردار شوند. بنابراین، از یک‌سو افزایش کارآیی مصرف تشعشع همواره با افزایش عملکرد قند در هکتار همراه نیست؛ زیرا افزایش *RUE* احتمال دارد به‌واسطه کاهش میزان قند محتوی ریشه و عدم تأثیر بر عملکرد ریشه از میزان عملکرد قند در واحد سطح بکاهد (Pechenov and Okanenko 1974) و از سوی دیگر، چنان‌که ارزیابی تأثیر تاریخ کاشت بر دریافت تشعشع خورشیدی و تولید محصول چغندرقند در نیوزیلند (Martin 1986) نشان داد، در این مطالعه نیز کاهش ۲۳ درصدی دریافت تشعشع در دو تاریخ کاشت، موجب شد تا عملکرد شکر و شکر سفید به ترتیب معادل ۱۲/۴ و ۶/۸ درصد کاهش یابد (نشان داده نشده است).

نظر به ارتباط بین مجموع تشعشع دریافت شده و عملکرد گیاه زراعی (Damay and Gouis 1993; Clevers 1997; Clover et al. 2001)، میزان این ارتباط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و در تاریخ کاشت اولین فرصت ممکن (r^2=0.60**) بیش از کشت چغندرقند حدود چهل روز بعد (r^2=0.54**) به‌دست آمد (جدول ۲). با توجه به تعریف *RUE*، شیب خط رگرسیون خطی بین تشعشع دریافت شده و عملکرد ریشه در تاریخ کاشت اول (۴/۲۵ گرم بر مگاژول بر مترمربع) به نحو جزیی بیش از تاریخ کاشت دیرهنگام (۴/۱۷ گرم بر مگاژول بر مترمربع) شد، ولی این تفاوت معنی‌دار نبود (جدول ۱). ضریب همبستگی پایین تحت تأثیر تعداد اندازه‌گیری‌ها قرار گرفته و در سطح یک درصد معنی‌دار شده است ولی مقدار عددی آنها نشان‌دهنده سهم مجموع تشعشع دریافت شده در عملکرد است زیرا عملکرد محصول صفت پیچیده‌ای بوده و عوامل بسیار زیادی در بروز آن نقش دارند و هرکدام دارای سهمی هستند که تشعشع دریافت شده خود شامل عوامل بسیار زیادی است و سهم بالایی را به خود اختصاص داده است. *RUE* در تاریخ کاشت اولین فرصت ممکن تفاوتی با کشت دیرهنگام نشان نداد و در هر دو تاریخ کاشت معادل ۱/۱۷ گرم بر مگاژول بر مترمربع برآورد شد؛ گرچه، ضریب همبستگی مجموع تشعشع دریافت شده با تولید ماده خشک در تاریخ کاشت اول (r^2=0.65**) بیش از کشت دیرهنگام (r^2=0.59**) شد (جدول ۲).

جدول ۲ شیب خط رگرسیون بین عملکرد ریشه و ماده خشک کل با مجموع تشعشع دریافت شده در سطوح مورد آزمایش تاریخ کاشت، تراکم بوته و رقم در منطقه کرج (میانگین دو سال ۸۵-۱۳۸۴)

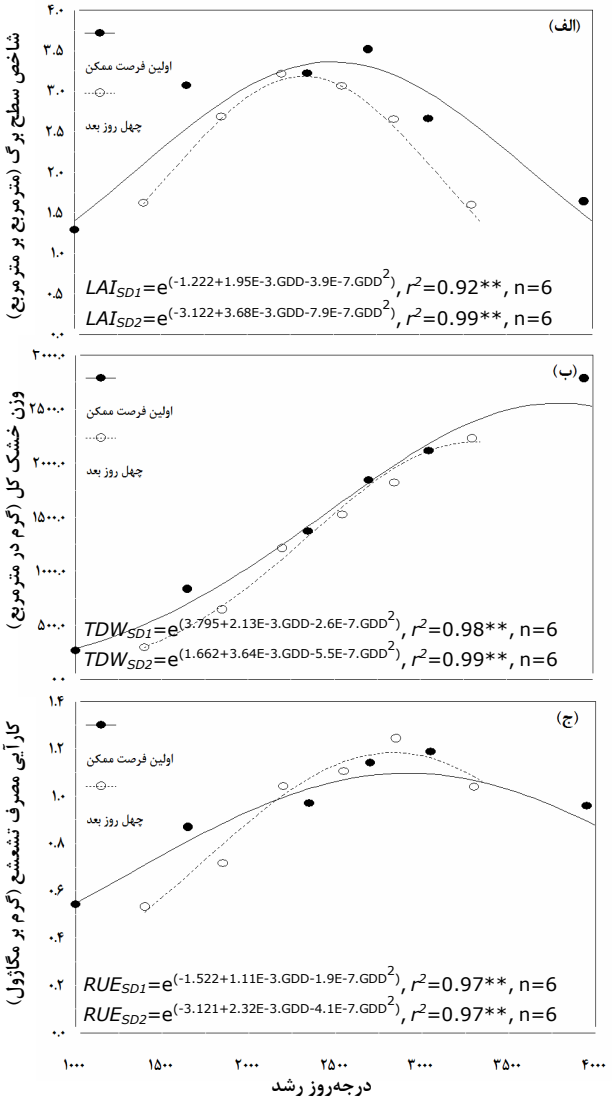
صفت	عامل	سطوح مورد مطالعه	مشخصات شیب خط رگرسیون			
			شیب خط	اشتباه استاندارد	ضریب تبیین	تعداد مشاهده
عملکرد ریشه	تاریخ کاشت	اولین فرصت ممکن	۴/۲۵	±۰/۱۰	۰/۶۰**	۲۸۸
		چهل روز بعد	۴/۱۷	±۰/۰۹	۰/۵۴**	۲۸۸
	تراکم بوته	۶/۰ بوته در مترمربع	۳/۸۰	±۰/۱۳	۰/۵۷**	۱۴۴
		۷/۵ بوته در مترمربع	۳/۹۶	±۰/۱۴	۰/۵۴**	۱۴۴
		۹/۰ بوته در مترمربع	۴/۲۸	±۰/۱۳	۰/۶۰**	۱۴۴
		۱۰/۵ بوته در مترمربع	۴/۷۶	±۰/۱۳	۰/۶۶**	۱۴۴
	رقم	جلگه	۳/۷۱	±۰/۱۱	۰/۶۱**	۱۹۲
		هیبرید ۴۲۸	۳/۸۶	±۰/۰۹	۰/۶۲**	۱۹۲
		دی اس ۴۰۲۷	۵/۱۷	±۰/۱۳	۰/۶۶**	۱۹۲
ماده خشک کل	تاریخ کاشت	اولین فرصت ممکن	۱/۱۷	±۰/۰۲	۰/۵۹**	۲۸۸
		چهل روز بعد	۱/۱۷	±۰/۰۹	۰/۵۴**	۲۸۸
	تراکم بوته	۶/۰ بوته در مترمربع	۱/۰۶	±۰/۰۳	۰/۶۰**	۱۴۴
		۷/۵ بوته در مترمربع	۱/۰۸	±۰/۰۳	۰/۶۰**	۱۴۴
		۹/۰ بوته در مترمربع	۱/۱۹	±۰/۰۳	۰/۶۴**	۱۴۴
		۱۰/۵ بوته در مترمربع	۱/۳۴	±۰/۰۳	۰/۷۳**	۱۴۴
	رقم	جلگه	۱/۰۷	±۰/۰۳	۰/۶۶**	۱۹۲
		هیبرید ۴۲۸	۱/۱۰	±۰/۰۲	۰/۶۵**	۱۹۲
		دی اس ۴۰۲۷	۱/۳۶	±۰/۰۳	۰/۶۸**	۱۹۲

چنان‌که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، با وجود آن‌که شاخص سطح برگ در تاریخ کاشت اولین فرصت ممکن بیش از کشت دیرهنگام بود (شکل ۲الف) اما عدم تفاوت قابل توجه در تولید ماده خشک (شکل ۲ب) موجب شد تا کارآیی مصرف تشعشع در تاریخ کاشت دیرهنگام (۱/۱۸ گرم بر مگاژول) معادل ۶/۸ درصد بیش از تاریخ کاشت اولین فرصت ممکن (۱/۱۰ گرم بر مگاژول) باشد (شکل ۲ج). البته با توجه به ۲۳ درصد کاهش مجموع تشعشع دریافت شده در تاریخ کاشت دیرهنگام افزایش ۶/۸ درصدی *RUE* نتوانست در خصوص جبران افت میزان تشعشع دریافت شده افاقه کند.

تغییرات تراکم بوته صرفاً در سطح احتمال یک درصد روی کارآیی مصرف تشعشع جهت تولید ماده خشک اندام‌های هوایی تأثیر معنی‌داری گذاشت (جدول ۱). افزایش تراکم بوته از ۶/۰ بوته در مترمربع به ۷/۵، ۹/۰ و ۱۰/۵ بوته در مترمربع موجب شد تا *RUEsdw* از ۰/۲۸ گرم بر مگاژول به ترتیب به ۰/۳۳، ۰/۳۳ و ۰/۴۰ گرم بر مگاژول افزایش یابد (جدول ۱). این در حالی بود که تغییرات تراکم بوته، نه تنها بر مجموع تشعشع دریافت شده، بلکه روی کارآیی مصرف تشعشع در تولید اندام‌های زیرزمینی، ماده خشک کل و عملکرد ریشه، شکر و شکر سفید تأثیر معنی‌داری نگذاشت (جدول ۱). مرور منابع مختلف نشان می‌دهد که تغییرات تراکم بوته شاید از طریق تغییر در مقدار تشعشع دریافت شده روی *RUE* اثر بگذارد. چنین تأثیری در ذرت (Westgate et al. 1997) و جو (Kemanian et al. 2004) وجود ندارد، اما در سویا (Purcell et al. 2002) با افزایش تراکم بوته از مقدار *RUE* کاسته شد.

کارآیی مصرف تشعشع برای تولید عملکرد ریشه با افزایش تراکم بوته بیش‌تر شد (جدول ۲).

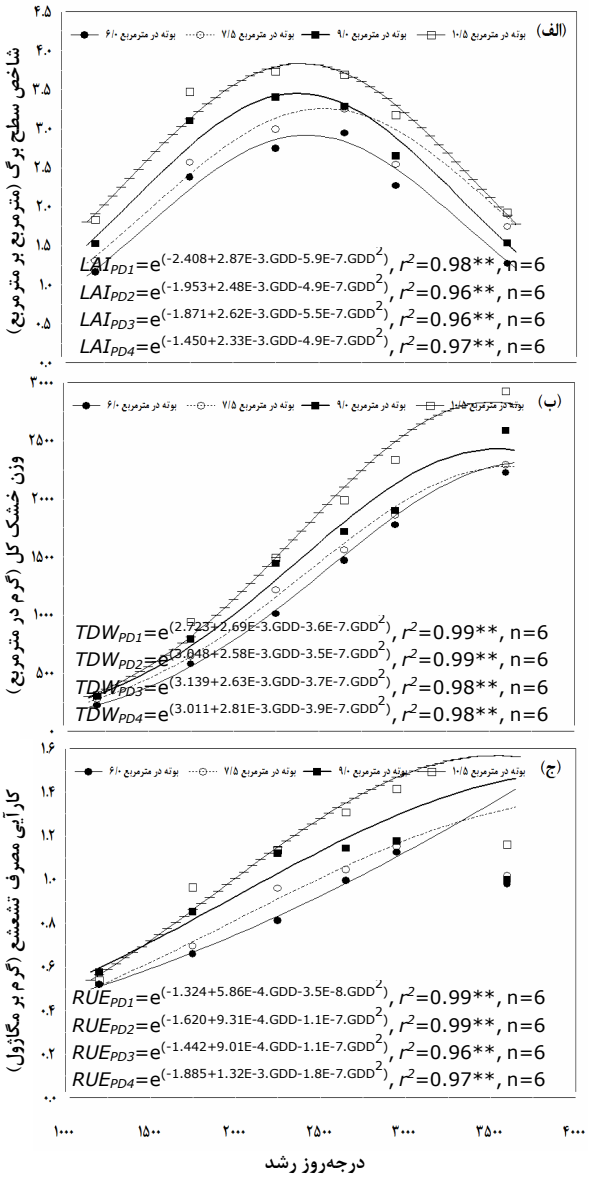
گرچه این افزایش *RUE* معنی‌دار نشد (جدول ۱). به



شکل ۲ رابطه تغییرات (الف) شاخص سطح برگ (*LAI*)، (ب) وزن خشک کل (*TDW*) و (ج) کارآیی مصرف تشعشع خورشیدی (*RUE*) طی دوره رشد چغندرقند در تاریخ کاشت اولین فرصت ممکن (*SD1*) و چهل روز بعد (*SD2*) در طی دو سال زراعی ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ در منطقه کرج

هرحال، با افزایش تراکم بوته از ۶/۰ بوته در مترمربع به ۷/۵، ۹/۰ و ۱۰/۵ بوته در مترمربع، کارآیی مصرف تشعشع عملکرد ریشه از ۳/۸۰ گرم بر مگاژول به ترتیب به ۳/۹۶، ۴/۲۸ و ۴/۷۶ گرم بر مگاژول افزایش یافت (جدول ۲). چنین تأثیری در خصوص افزایش کارآیی مصرف تشعشع جهت تولید ماده خشک کل نیز روی داد (جدول ۲). در این رابطه، افزایش تراکم بوته از ۶/۰ بوته در مترمربع به ۷/۵، ۹/۰ و ۱۰/۵ بوته در مترمربع موجب شد تا کارآیی مصرف تشعشع نیز از ۱/۰۶ گرم بر مگاژول به ترتیب به ۱/۰۸، ۱/۱۹ و ۱/۳۴ گرم بر مگاژول افزایش یابد (جدول ۲).

فرض مطالعات پیشین مبنی بر ثبات *RUE* و عدم تأثیر تراکم بوته بر طول دوره رشد گیاه و درنتیجه، انتظار کاهش زمان موردنیاز برای دست‌یابی به دریافت بیشترین تشعشع و افزایش مجموع کل *PAR* دریافت شده در طول فصل و تولید زیست‌تودهٔ بیش‌تر در زمان بلوغ گیاه همراه با افزایش تراکم بوته (Purcell et al. 2002) در این مطالعه نیز محقق شد (شکل ۳). چنان‌که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، افزایش تراکم بوته با افزایش شاخص سطح برگ (تا اواسط دوره رشد) و مجموع ماده خشک کل و کارآیی مصرف تشعشع در طول دوره رشد همراه بود. نشان داده شده است که عمده‌ترین واکنش رویشی چغندرقند نسبت به محدودیت نور و سایر عوامل میکروکلیمایی تغییر در رشد ریشه ذخیره‌ای، توسعه سطح‌برگ و نحوه تسهیم ماده خشک بین پهنک و دمبرگ است (Clark and Loomis 1978).

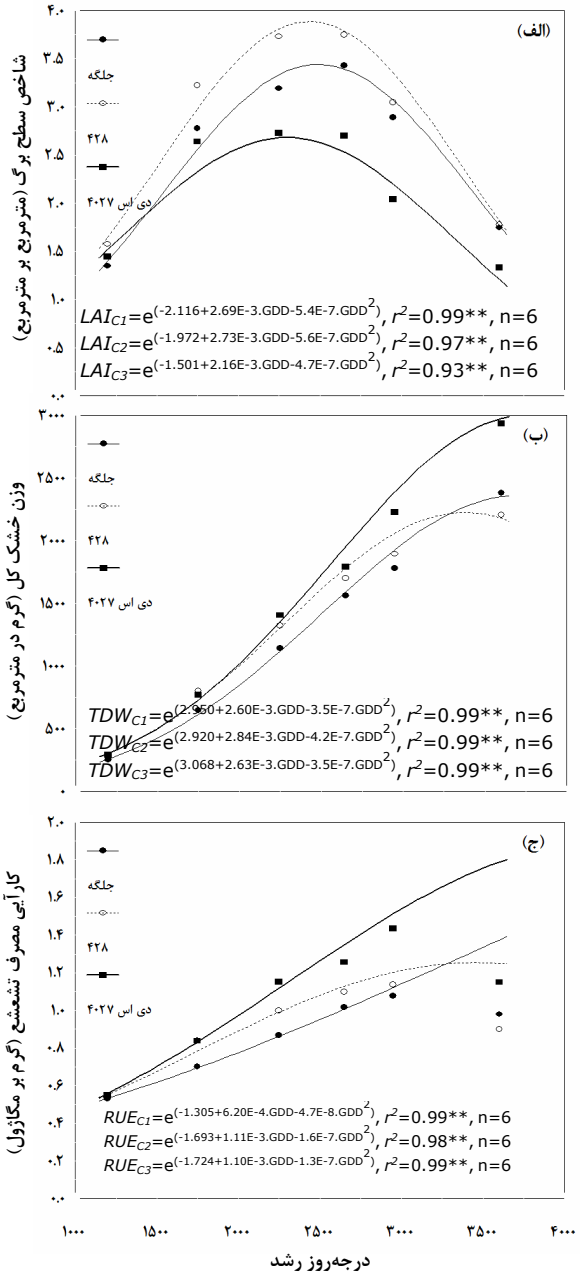


شکل ۳ رابطه تغییرات (الف) شاخص سطح برگ (*LAI*)، (ب) وزن خشک کل (*TDW*) و (ج) کارآیی مصرف تشعشع خورشیدی (*RUE*) طی دوره رشد چغندرقند در تراکم‌های معادل ۶/۰ (*PD1*)، ۷/۵ (*PD2*)، ۹/۰ (*PD3*) و ۱۰/۵ بوته در مترمربع (*PD4*) در دو سال زراعی ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ در منطقه کرج

رقم در سطح احتمال پنج و یک درصد بر کارآیی مصرف تشعشع برای تولید ماده خشک اندام‌های هوایی و وزن خشک کل تأثیر معنی‌داری گذاشت (جدول ۱). این تأثیر به نحوی بود که *RUE*sdw در رقم دی‌اس۴۰۲۷ (۰/۳۲ گرم بر مگاژول) به نحو معنی‌داری کم‌تر از دو رقم جلگه (۰/۳۴ گرم بر مگاژول) و ۴۲۸ (۰/۳۶ گرم بر مگاژول) بود (جدول ۱). در رابطه با استفاده از تشعشع در تولید ماده خشک کل، کارآیی رقم دی‌اس۴۰۲۷ (۱/۷۳ گرم بر مگاژول) به ترتیب معادل ۲۱/۴ و ۲۶/۷ درصد بیش از رقم‌های جلگه (۱/۳۶ گرم بر مگاژول) و ۴۲۸ (۱/۲۷ گرم بر مگاژول) شد (جدول ۱). نحوه واکنش رقم‌های موردآزمایش نشان می‌دهد که رقم دی‌اس۴۰۲۷ هر واحد تشعشع دریافتی را بیش از آن‌که صرف تولید اندام‌های هوایی کند، به تولید اندام‌های زیرزمینی (اقتصادی) اختصاص داد. این موضوع منجر شد تا کارآیی مصرف تشعشع جهت تولید عملکرد ریشه، شکر و شکر سفید به نحو غیرمعنی‌دار (جدول ۱) در رقم دی‌اس۴۰۲۷ (به ترتیب معادل ۶/۳۱، ۰/۶۶ و ۰/۴۸ گرم بر مگاژول) بیش از دو رقم جلگه و ۴۲۸ باشد (جدول ۱). با عنایت به این که، شیب خط رگرسیون (*RUE*)، توانایی رقم‌های مختلف را در استفاده از تشعشع جهت تولید ماده خشک و عملکرد نشان می‌دهد (Damay and Gouis 1993)؛ در این مطالعه نیز کارآیی مصرف تشعشع در تولید عملکرد ریشه در رقم دی‌اس۴۰۲۷ (۵/۱۷ گرم بر مگاژول) بیش از دو رقم جلگه (۳/۷۱ گرم بر مگاژول) و ۴۲۸ (۳/۸۶ گرم بر مگاژول) بود (جدول ۲). مطالعات دامای و گویس (Damay and Gouis 1993) نیز نشان داد که بین رقم‌های مختلف چغندرقند از نظر کارآیی مصرف تشعشع جهت تولید ماده خشک اختلاف وجود داشت. بنابراین، بهتر است در مدل‌های رشد به‌جای استفاده از مقدار ثابت برای کارآیی مصرف تشعشع، اختلافات

ژنتیکی درنظر گرفته شود (Rosenthal and Gerik 1991).

کارآیی مصرف تشعشع جهت تولید ماده خشک نیز در رقم دی‌اس۴۰۲۷ (۱/۳۶ گرم بر مگاژول) به نحو معنی‌داری بیش از رقم‌های جلگه (۱/۰۷ گرم بر مگاژول) و ۴۲۸ (۱/۱۰ گرم بر مگاژول) بود (جدول ۱ و شکل ۴). بنابراین، رقم‌های مختلف از طریق تأثیر روی کارآیی مصرف تشعشع، عملکرد محصول چغندرقند را تحت تأثیر قرار داده‌اند (Repa 2000).



شکل ٤ رابطه تغییرات (الف) شاخص سطح برگ (*LAI*)، (ب) وزن خشک کل (*TDW*) و (ج) کارآیی مصرف تشعشع خورشیدی (*RUE*) طی دوره رشد چغندرقند در رقم‌های جلگه (C1)، ۴۲۸ (C2) و دی‌اس۴۰۲۷ (C3) طی دو سال زراعی ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ در منطقه کرج

منابع مورداستفاده: References:

سلطانی، ا. قلی‌پور م. و حاجی‌زاده آزاد ح. ۱۳۸۴. SBEET: یک مدل ساده برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد چغندرقند. مجله علوم و صنایع کشاورزی، ۱۹(۲): ۲۶-۱۱.

کوچکی، ع. و نصیری‌محلاتی، م. ۱۳۷۱. اکولوژی گیاهان‌زراعی. انتشارات جهاددانشگاهی مشهد. ۲۶۹ صفحه.

یزدی‌صمدی، ب. رضایی، ع. و ولی‌زاده، م. ۱۳۷۶. طرح‌های آماری در پژوهش‌های کشاورزی. انتشارات دانشگاه تهران.

Asseng, S, Jamieson PD, Kimball B, Pinter P, Sayre K, Bowden JW, Howden SM (2004) Simulated wheat growth affected by rising temperature, increased water deficit and elevated atmospheric CO_2. Field Crops Res. 85:85-102.

Biscoe PV, Gallagher JN (1977) Weather, dry matter production and yield. *In*: Landsberg, JJ, and Cutting CV (*Eds.*). Environmental Effects on Crop Physiology. Academic Press, London, pp. 75-100.

Black C, Ong C (2000) Utilization of light and water in tropical agriculture. Agric. Forest Meteor. 104:25-47.

Bonhomme R (2000) Beware of comparing RUE values calculated from PAR vs. solar radiation or observed vs. intercepted radiation. Field Crop Res. 68:247-252.

Brisson N, Gary C, Justes E, Roche R, Mary B, Ripoche D, Zimmer D, Sierra J, Bertuzzi P, Burger P, Bussiere F, Cabidoche YM, Cellier P, Debacke P, Gaudillere JP, Hanault C, Maraux F, Seguin B, Sinoquet H (2003) An overview of the crop model STICS. Eur. J. Agron. 18:309-332.

Brown KF, Messem AB, Dunham RJ, Biscoe PV (1987) Effect of drought on growth and water use of sugar beet. J. Agr. Sci. (Camb.). 109:421-435.

Cadersa Y, Govinden N (1999) Relatonship between canopy cover and light interception in potato in a tropical climate. Food and Agric. Res. Council, 137-144.

Clark EA, Loomis RS (1978) Dynamics of leaf growth and development in sugar beets. Journal of the A.S.S.B.T. 20 (2):97-113.

Clevers JGPW (1997) A simplified approach for yield prediction of sugar beet based on optical remote sensing data. Remote Sensing of Environment. 61(2):221-228.

Clover GRG, Smith HG, Azam-Ali SN, Jaggard KW (1999a) The effects of drought on sugar beet growth in isolation and in combination with beet yellow virus infection. J. of Agric. Sci. Camb. 133:251-261.

Clover GRG, Azam-Ali SN, Jaggard KW, Smith HG (1999b). The effects of beet yellows virus on the growth and physiology of sugar beet (*Beta vulgaris*). Plant Path. 48:129-138.

Clover GRG; Jaggard KW; Smith HG, Azam SN (2001) The use of radiation interception and transpiration to predict the yield of healthy, droughted and virus-infected sugar beet. J. of Agric. Sci. Camb. 136(2):169-178.

Damay N, Le Gouis J (1993) Radiation use efficiency of sugar beet in Northern France. Europ. J. of Agron. 2(3):179-184.

Glauert W (1983) Carbon exchange of sugar beet crop through a season. Ph.D. Thesis, University of Nottingham, 207 p.

Jabloun M, Rezig M, Ben Abdollah H, Sahli A (2005) Relation between radiation interception and water use by potato and green pepper. The 2nd Int. Conf. on Integrated Approaches to Sustain and Improve Plant Production under Stress, Rome, Italy, 24-28 Sept.

Kemanian AR, Stöckle CO, Huggins DR (2004) Variability of barley radiation-use efficiency. Crop Sci. 44:1662-1672.

Kenter C, Hoffmann CM, Märländer B (2006) Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.). Europ. J. of Agron. 24(1):62-69.

Kiniry JR, Tischler CR, Van Esbroeck GA (1999) Radiation use efficiency and leaf CO_2 exchange for diverse. C4 grasses. Biomass and Bioenergy. 17:95-112.

Kiniry JR, Jones CA, O'Toole JC, Blanchet R, Cabelguenne M, Spanel DA (1989) Radiation-use efficiency in biomass accumulation prior to grain-filling for five grain-crop species. Field Crops Res. 20:51-64.

Kiniry JR, Landivar JA, Witt M, Gerik TJ, Cavero J, Wade LJ (1998) Radiation-use efficiency response to vapour pressure deficit for maize and sorghum. Field Crops Res. 56:265-270.

Kitamura T (1975) Studies on utilization of solar energy in sugar beet plants. 1. The relationship between transpiration and photosynthesis with differences in structure of community in sugar beet under field conditions. Proc. of Sugar Beet Res. Ass. 17:211-221.

Kropff MJ, Spitters CJT, Schnieders BJ, Joenje W, de Groot W (1992) An eco-physiological model for interspecific competition applied to the influence of *Chenopodium album* L. on sugarbeet: II. Model evaluation. Weed Res. 32:451-463.

Lecoeur J, Ney B (2003) Change with time in potential radiation use efficiency in field pea. Eur. J. Agron. 19:91-105.

Lindquist JL, Arkebauer TJ, Walters DT, Cassman KG, Dobermann A (2005) Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. Agron. J. 97:72-78.

Martin RJ (1986) Radiation interception and growth of sugar beet at different sowing dates in Canterbury. New Zealand J. of Agric. Res. 29(3):381-390.

Milford GFJ, Pocock TO, Riley J, Messem AB (1985) An analysis of leaf growth in sugar beet. Part III. Leaf expansion in field crops. Ann. App. Biol. 106: 187-203.

Milford GFJ, Biscoe PV, Jaggard KW, Scott RK, Draycott AP (1980) Physiological potential for increasing yields of sugar beet. In: Hurd, R.G., P.V. Biscoe and C. Dennis (*Eds.*). Opportunities for increasing yields of sugar beet. Pitman, London, pp. 71-83.

Monteith JL (1977) Climate and efficiency of crop production in Britain. Phil. Trans. R. Soc. Pub. London, 281:277-294.

Muchow RC, Sinclair TR, Bennett JM (1990) Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. Agron. J., 82:338-343.

O'Connell MG, O'Leary GJ, Whitfield DM, Connor DJ (2004) Interception of photosynthetically active radiation and radiation-use efficiency of wheat, field pea and mustard in a semi-arid environment. Field Crops Res. 85:111-124.

Ohtake M, Saito H, Kanzawa K (1997) Relation between root dry matter production and cumulative solar radiation. Proc. of Jap. Soc. Of Sugar Beet Technologists. 39:108-114.

Pechenov VA, Okanenko AS (1974) Photosynthesis and productivity of sugar beet grown under irrigated conditions in Kirgizia. Fiziologiya I Biokhimiya Kul'turnykh Rastenii. 6(3):227-231.

Purcell LC, Ball RA, Reaper JD, Vories ED (2002) Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities. Crop Sci. 42:172-177.

Repa S (2000) Evaluation of the production potential of sugar beet in 1998 and 1999 due to photosyntetically active radiation in Nitra. 13th Bioclimatological meeting of the Slovak Bioclimatological Society and the Czech Bioclimatological Society. Proceedings. 7 p.

Rinaldi M, Vonella AV (2006) The response of autumn and spring sown sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to irrgation in Southern Italy: water and radiation use efficiency. Field Crops Res. 95:103-114.

Rosenthal WD, Gerik (1991) Radiation use efficiency among cotton cultivars. Agron. J. 83:655-658.

Rosenthal WD, Gerik TJ, Wade LJ (1993) Radiation use efficiency among grain sorghum cultivars and plant densities. Agron. J. 85:703-705.

Rover A (1994) Light interception and yield as influenced by leaf area index of sugarbeet. Zuckerindustrie. 119(8):664-670.

Scott RK, Jaggard KW (1993) Crop physiology. pp. 279-309. *In*: D.A. Cooke and R.K. Scott (*ed.*) The sugar beet crop: Science into Practice. Chapman and Hall, London.

Scott RK, English SD, Wood DW, Unsworth MH (1973) The yield of sugar beet in relation to weather and length of growing season. J. of Agric. Sci., UK. 81(2):339-347.

Sinclair TR, Muchow RC (1999) Radiation use efficiency. Adv. Agron. 35:215-265.

Smit AL (1993) The influence of sowing date and plant density on the decision to resow sugar beet. Field Crops Res. 34(2):159-173.

Webb CR, Werker AR, Gilligan CA (1997) Modeling the dynamical components of the sugar beet crop. Ann. Bot. 80:427-436.

Werker AR, Jaggard KW (1998) Dependence of sugar beet yield on light interception and evapotranspiration. Agric. Forest Meteor. 89:229-240.

Westgate ME, Forcella F, Reicosky DC, Somsen J (1997) Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: Radiation-use efficiency and grain yield. Field Crops Res. 49:249-258.

Wolf J, Oijen M van, Kempenaar C (2002) Analysis of the experimental variability in wheat responses to elevated CO2 and temperature. Agric. Eco. Env. 93:227-247.

Wright E, Carr MKV, Hamer PJC (1997) Crop production and water-use. IV. Yield function for sugar beet. J. Agric. Sci. Camb. 129:33-42.

Yano T, Aydin M, Haraguchi T (2007) Impact of climate change on irrigation demand and crop growth in a Mediterranean environment of Turkey. Sensors, 7:2297-2315.