

## تغییرات فصلی دریافت و کارایی مصرف نور در چغندر قند

سپهیل پارسا، علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی و علیرضا قائمی<sup>۱</sup>

### چکیده

همبستگی نزدیکی بین مقدار تشعشع دریافتی توسط گیاه و رشد آن وجود دارد. کارایی دریافت و جذب تشعشع خورشیدی تا حد زیادی تابع شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی نور و همچنین کارایی مصرف نور می باشد. به منظور تعیین ضرایب فوق الذکر در چغندر قند و بررسی الگوی تغییرات آن طی فصل رشد، آزمایشی در سال ۱۳۸۴ بر روی ارقام ۷۲۳۳، ۷۱۱۲، ۴۳۶، ۲۷۶ و رسول در قالب یک طرح بلوک های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمارهای آزمایش در کرت‌هایی بطول ۱۲ متر در ۸ ردیف و به فاصله ۵۰ سانتی متر از یکدیگر در شرایط مطلوب از نظر آبیاری و عناصر غذایی کشت شدند. در طول دوره آزمایش همزمان با اندازه گیری تشعشع در بالا و پایین کانوپی، ۹ نوبت نمونه برداری جهت تعیین صفات مختلفی نظیر شاخص سطح برگ و ماده خشک تولیدی انجام شد و بر اساس آن ضریب خاموشی نوری و کارایی مصرف نور تعیین گردید. متوسط حداکثر شاخص سطح برگ معادل ۳/۵۱ بود. عملکرد ماده خشک نهائی برای ژنوتیپ های مختلف بین ۱۵۶۷۰ تا ۲۵۹۲۰ کیلوگرم در هکتار نوسان داشت. تفاوت معنی داری از نظر ضریب خاموشی نور و کارایی مصرف نور بین ژنوتیپ‌های مختلف وجود نداشت و متوسط مقادیر آنها به ترتیب ۰/۵۶ و ۱/۲۳ برآورد شد. الگوی تغییرات کارایی مصرف نور تقریباً مشابه تغییرات سطح برگ در طول فصل رشد گیاه بود و حداکثر کارایی مصرف نور قبل از رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، حاصل شد. میزان قند متناسب با ماده خشک کل و ماده خشک ریشه در بخش عمده ای از دوران رشد گیاه افزایش یافت. نظر به اهمیت فوق العاده ضریب خاموشی نور و کارایی مصرف نور در مدل‌های شبیه سازی رشد و همچنین با توجه به تغییر پذیری ضرائب مذکور در زمانها و مناطق مختلف و تحت شرایط مدیریتی متنوع، ضروری است آزمایشات دیگری در سال‌ها و مناطق مختلف با شرایط مدیریتی متفاوت اجرا گردد تا طیفی از ضرائب مذکور جهت استفاده در مطالعات مدل‌سازی در اختیار قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** چغندر قند، ژنوتیپ، شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی نور و کارایی مصرف نور.

### مقدمه

ایجاد پایداری در نظام‌های زراعی یکی از مهم‌ترین اهدافی است که توسط محققان دنبال می‌شود و برای نیل به این مهم راهکارهای متفاوتی ارائه شده است. استفاده از گیاهان زراعی کارآمد در بهره‌برداری از منابع، به‌ویژه آب و تشعشع خورشیدی یکی از مهم‌ترین راهکارها به نظر می‌رسد.

چغندر قند از جمله گیاهان کارآمدی است که به منظور تولید شکر و بطور بالقوه جهت تولید انرژی (بیواتانل) کشت

می‌شود (۱۷). بسیاری از منابع علمی چغندر قند را گیاهی با کارایی بالا در تبدیل انرژی خورشیدی به ماده خشک معرفی نموده و کارایی آن را کمتر از ذرت و سورگم و بیش از گندم، برنج و جو ارزیابی نموده‌اند (۲۲، ۱۵، ۱۱ و ۲۹). همبستگی نزدیکی بین مقدار تشعشع دریافتی توسط گیاه و رشد آن وجود دارد (۲۸). کارایی دریافت و جذب تشعشع توسط یک گیاه تا حد زیادی تابع شاخص سطح برگ (۱۹ و ۲۷)، دوام سطح برگ (۱۵)، تطبیق حداکثر شاخص سطح برگ با حداکثر تشعشع محیط (۲۲ و ۲۳)،

ضریب خاموشی نور (K) (۱۹ و ۱۶) و همچنین کارایی مصرف نور<sup>۱</sup> (RUE) (۱۸، ۱۶ و ۲۰) می‌باشد. ضریب خاموشی نور، عبارت از شیب منحنی نسبت نور عبور کرده از کانویی در مقابل شاخص سطح برگ می‌باشد، که با رگرسیون گیری لگاریتمی از نسبت نور عبور یافته از کانویی نسبت به شاخص سطح برگ بدست می‌آید (۱۹ و ۲۵)، و کارایی مصرف نور نسبت ماده خشک تولید شده به ازای واحد انرژی تشعشی استفاده شده در تولید است (۲۱، ۱۹، ۱۸).

تفاوت‌های مشاهده شده در عملکرد ارقام مختلف اغلب ناشی از تفاوت در میزان نور دریافتی و یا کارایی مصرف آنها می‌باشد (۱۴ و ۲۱). بنابراین ضریب خاموشی نور و کارایی مصرف نور هر دو از پارامترهای کلیدی در بسیاری از مدل‌های رشد گیاهی به شمار می‌روند (۱۶).

تعدادی از مدل‌ها با استفاده از مفهوم کارایی مصرف نور، رشد و عملکرد گیاهان زراعی را در شرایط محیطی مختلف شبیه‌سازی می‌نمایند (۲۶، ۲۵، ۱۸، ۱۶). این مدل‌ها سرعت تولید ماده خشک را براساس میزان تشعشع جذب شده روزانه و کارایی مصرف نور، محاسبه نموده و با انتگرال گیری از این سرعت، عملکرد ماده خشک برآورد می‌گردد. مدل‌های ارائه شده برای چغندر قند توسط ورکر و ژاگارد (۲۸، ۲۷ و ۲۹)، کل ماده خشک و عملکرد شکر را بر اساس مقادیر برآورد شده میزان نور دریافتی، کارایی مصرف نور و تبخیر و تعرق نسبی، پیش بینی می‌کنند.

اگر چه برخی از توابع مورد استفاده در مدل‌سازی رشد گیاهان، اختلافی بین مراحل مختلف رشد از نظر دریافت و جذب نور قائل نمی‌باشند، لیکن شواهدی دال بر تفاوت در دریافت و جذب نور و نیز ضریب خاموشی نور در مراحل مختلف نمو چغندر قند گزارش شده است (۱۶، ۲۶ و ۲۷).

کراف و ون لار (۱۳) به نقل از لومیز و تاناکا، مقدار ضریب خاموشی نور چغندر قند را برابر ۰/۶۹، و به نقل از اسپتزر، برابر ۰/۰۴ ± ۰/۶۱ گزارش کردند. اسکات و ژاگارد (۲۲) نیز مقدار ضریب K را برای چغندر قند در شرایط مساعد از نظر آب و مواد غذایی، ۰/۷۱ گزارش نمودند. رینالدی و ونلا (۱۷) به نقل از محققان متعددی مقادیر متفاوتی از کارایی مصرف نور را به شرح ذیل

گزارش نمودند: دمی و لگوئیس (۱۰) دامنه ای از ۲/۹۶ تا ۳/۷۶ گرم برمگا ژول، میلفورد و همکاران (۱۵)، دامنه ای از ۳/۱۶ تا ۴/۱۲ گرم برمگا ژول و بیسکو و گالا کر (۷)، مقدار ۳/۵ گرم برمگاژول را برای کارایی مصرف نور چغندر قند گزارش نمودند، برخی محققان نیز به مقادیر کمتری از کارایی مصرف نور اشاره داشته‌اند از جمله مقدار ۱/۹۳ گرم برمگاژول توسط اسکات و ژاگارد (۲۲) ارائه شده، همچنین براون و همکاران (۸)، مقادیر ۱/۴۴ گرم برمگاژول در مزارع بدون آبیاری و ۱/۶۶ گرم برمگاژول در مزارع تحت آبیاری را گزارش نمودند. ورکر و ژاگارد (۲۸)، با استناد به داده‌های حاصل از ۱۲ سال آزمایش در انگلستان و رایت و همکاران (۳۰)، با انجام آزمایش در مناطق مختلف شمال اروپا، مقادیر ۱/۳ تا ۱/۶ گرم برمگاژول را برای کارایی مصرف نور چغندر قند گزارش نمودند.

وجود تنوع در مقادیر ارائه شده برای کارایی مصرف نور ارقام مختلف ناشی از ویژگی‌های فتوسنتزی نظیر کارایی کربو کسپلاسیون و تثبیت کربن (۱۹)، کارایی کوانتوم (۲۳)، حداکثر ظرفیت فتوسنتزی برگها (۱۹)، نوسان در محتوی نیتروژن و کلروفیل برگها (۲۳)، روابط مبداء و مقصد (۱۵ و ۲۹)، تفاوت‌های موجود در مراحل مختلف نمو گیاه (۱۲ و ۱۴)، خطاهای آزمایشی در نمونه گیری و کالیبراسیون ابزارهای اندازه گیری (۲۰)، محاسبه کارایی مصرف نور بر اساس تشعشع ورودی یا تشعشع دریافتی و یا بر حسب کل تشعشع یا تشعشع فعال فتوسنتزی (۷)، و همچنین نوسانات اقلیمی نظیر تغییر در میزان تشعشع ورودی، نسبت تشعشع غیر مستقیم (۲۴)، درجه حرارت (۱۴) و غیره می‌باشد.

محققان بسیاری دریافتند که کارایی مصرف نور در طول دوره زندگی گیاه ثابت نبوده (۱۲ و ۲۱) و در مرحله جوانی گیاه، مقدار آن کمتر است. نظیر آنچه سینکلر و هوری (۲۳) در ذرت، برنج و سویا مشاهده نمودند. این وضعیت غالباً در مواردی مشاهده شده است که کارایی مصرف نور بر اساس ماده خشک اندامهای هوایی محاسبه شده است، زیرا در مراحل ابتدائی رشد تخصیص مواد بیشتر به ریشه صورت می‌گیرد (۱۴ و ۱۶).

همچنین سینکلر و همکاران (۲۴)، نتایج مشابهی را در

تا ۵ خرداد ماه به طور یکنواخت سبز گردید. نمونه برداری حدود ۳ هفته پس از سبز شدن آغاز شد و در طول فصل رشد هر دو هفته یکبار تا زمان برداشت ادامه یافت. نمونه برداری در هر مرحله از سطح یک متر مربع از هر کرت و از ۴ تکرار انجام شد و در نمونه‌های برداشت شده برگ، دم‌برگ و ریشه پس از جدا شدن توزین شدند. برای تعیین درصد ماده خشک، از ریشه، برگ و دم‌برگ نمونه‌های ۱۰۰ گرمی تهیه و در آون با درجه حرارت ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سطح برگ توسط دستگاه سطح برگ سنج<sup>۱</sup> (مدل  $\Delta T$ ) اندازه‌گیری شد.

از برداشت پنجم به بعد علاوه بر اندازه‌گیری‌های فوق برای تعیین خصوصیات کیفی از ریشه‌ها نمونه خمیر تهیه شد. برداشت نهایی از دو ردیف وسط هر کرت، به طول ۵ متر (به مساحت ۶ متر مربع) انجام گرفت. جهت تعیین عملکرد ریشه و تهیه خمیر به منظور تجزیه کیفی، از کل بوته‌های برداشت شده استفاده شد.

به منظور محاسبه ضریب خاموشی نور در کانوپی، دفعات و فواصل اندازه‌گیری تشعشع در طول فصل رشد به نحوی انجام گرفت که توزیع مناسبی از شاخص سطح برگ را شامل شود. تشعشع لحظه‌ای با استفاده از دستگاه تشعشع سنج ( $\Delta T$ , Sunscan)، و در فاصله بین ساعت ۱۱ تا ۱۳ اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری مقدار تشعشع رسیده به پائین کانوپی، دستگاه به شکلی در زیر کانوپی و به موازات سطح زمین قرار گرفت که حس‌گرها بین دو ردیف مجاور تقسیم شوند و سایه اندازی کانوپی گیاه در طرفین ردیف کاشت به دقت اندازه‌گیری شود. در هر مورد ۲ اندازه‌گیری در زیر کانوپی (در امتداد و عمود بر جهت ردیف‌های کاشت) انجام شد و متوسط این ۲ قرائت جهت تعیین و محاسبه میزان تشعشع دریافتی برای کانوپی مورد استفاده قرار گرفت.

اندازه‌گیری کل تشعشع رسیده به سطح کانوپی، به طور خودکار و پیوسته توسط حس‌گر ثابت دستگاه که بر روی سه پایه و در ارتفاع ۱ متری از سطح زمین نصب شده بود، انجام می‌گرفت. جهت اندازه‌گیری‌ها توسط پروب دستگاه

گیاهان مختلف مبنی بر تغییر قابل ملاحظه کارایی مصرف نور در شرایط محیطی متفاوت، گزارش نمودند. به عنوان مثال این محققان اظهار داشتند با افزایش نسبت تشعشع پراکنده<sup>۱</sup> در نور ورودی، کارایی مصرف نور افزایش می‌یابد. نسبت تشعشع پراکنده با استفاده از (مقدار روزانه) عبور اتمسفری محاسبه می‌شود که خود تحت تأثیر روز سال، عرض جغرافیایی و کل تشعشع دریافتی روزانه می‌باشد (۲۵، ۱۸ و ۲۸).

سینکлер و هوری (۲۳)، اظهار داشتند که در نظر نگرفتن اهمیت تشعشع غیر مستقیم در کانوپی گیاه می‌تواند باعث خطای زیادی در محاسبات شود، زیرا جزء غیر مستقیم تشعشع خورشیدی دارای توزیع یکنواخت تری نسبت به تشعشع مستقیم است.

با توجه به این که در منابع مختلف مقادیر متفاوتی برای ضریب خاموشی نور و کارایی مصرف نور چغندر قند گزارش شده و علیرغم مطالعات بسیار، هنوز تأثیر عوامل اقلیمی و روش‌های مدیریتی بر این دو شاخص مهم فیزیولوژیکی، حداقل در شرایط اقلیمی ایران به خوبی بررسی نشده است، این آزمایش با هدف تعیین ضرایب فوق‌الذکر در شرایط محیطی مشهد و بررسی الگوی تغییرات آن طی فصل رشد، طراحی و اجرا گردید.

## مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۱۳۸۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی واقع در جنوب شرقی مشهد ( $36^{\circ} 16'$  شمالی و  $59^{\circ} 37'$  شرقی) اجرا شد. بافت خاک مزرعه مورد نظر لومی و زمین آزمایش در سال قبل از کشت چغندر قند، آیش بود.

ارقام مورد آزمایش شامل یک رقم پلی ژرم بنام ۷۲۳۳ و چهار رقم جدید و در دست معرفی به نام‌های ۲۷۶، ۴۳۶، ۷۱۱۲ و رسول بود که در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار و در شرایط مطلوب از نظر آب و عناصر غذایی، مورد مقایسه قرار گرفتند. هر کرت شامل ۸ ردیف با فاصله ۵۰ سانتیمتر از یکدیگر و به طول ۱۲ متر بود.

کاشت در ۲۵ اردیبهشت انجام شد و مزرعه در فاصله ۲

تشعشع روزانه رسیده به سطح کانوپی و  $I_{abs}$  مقدار تشعشع جذب شده توسط کانوپی در هر روز را نشان می‌دهند. میزان کل تشعشع (روزانه) رسیده به سطح زمین به روش ارائه شده توسط خودریان (۵) محاسبه شد، سپس مقادیر تشعشع روزانه از طریق معادله آنگستروم (۱) جهت ساعات آفتابی روزانه تصحیح گردید.

$$\frac{I_0}{I_{tot}} = A + B \frac{n}{N} \quad (\text{معادله ۶})$$

که در آن:  $I_0$  مقدار کل تشعشع روزانه رسیده به سطح کانوپی،  $I_{tot}$  مقدار کل تشعشع روزانه دریافتی از خورشید بر سطح افقی در بالای جو،  $n$  طول متوسط تابش حقیقی آفتاب (ساعات آفتابی)،  $N$  طول روز حقیقی و بالاخره  $A$  و  $B$  ثابت‌های آنگستروم می‌باشند.

برای مقدار تجمعی تشعشع جذب شده در کل دوره رشد، از انتگرال تشعشع جذب شده در هر روز، استفاده شد. کارایی مصرف نور نیز از شیب خط رگرسیون با عرض از مبدا صفر، بین مقادیر ماده خشک تجمعی، به عنوان متغیر وابسته، در مقابل تشعشع تجمعی جذب شده توسط کانوپی، به عنوان متغیر مستقل، بدست آمد.

آنالیز داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد)، با استفاده از نرم افزار MSTAT-C و برازش روابط رگرسیونی و رسم گراف‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار EXCEL انجام شد.

## نتایج و بحث

روند تغییرات روزانه میانگین شاخص سطح برگ ارقام مورد آزمایش، در شکل (۱) نشان داده شده است. همانگونه که در جدول (۱) نیز آمده است، حداکثر شاخص سطح برگ در بین ارقام مورد آزمایش تفاوت معنی‌داری نداشت (بجز رقم پلی‌ژم ۷۲۳۳ که به لحاظ ژنتیکی پتانسیل تولید برگ کمتری دارد). متوسط حداکثر شاخص سطح برگ در اواسط مرداد ماه (۷۵ روز پس از سبز شدن) به ۳/۵۱ رسید. این شاخص در انتهای فصل رشد بدلیل از بین رفتن برگ‌های پیر و جایگزینی آنها توسط برگ‌های کوچک کاهش یافت. ژاگارد و کلارک (۱۱)، اظهار داشتند که منحنی رشد برگ بصورت لگاریتمی است که در اواسط فصل رشد به حداکثر خود می‌رسد و سپس با از بین رفتن برگ‌های پیر کاهش

به نحوی بود که بتوان به کمک داده‌های حاصله، کسر جذب نور توسط کانوپی را مشخص و از آن در محاسبه ضریب خاموشی نور در کانوپی استفاده نمود.

ضریب خاموشی نور در کانوپی بر مبنای شیب خط رگرسیون برازش یافته بین  $(\ln(1-Q_{noon}))$  و شاخص سطح برگ (به ترتیب به عنوان متغیرهای وابسته و مستقل) محاسبه شد. در این رابطه  $Q_{noon}$  کسر جذب نور در ظهر خورشیدی است که از معادله زیر بدست می‌آید:

$$Q_{noon} = 1 - I/I_0 \quad (\text{معادله ۱})$$

در این معادله،  $I$  تشعشع رسیده به سطح کانوپی، و  $I_0$  کل تشعشع رسیده به سطح کانوپی است. چارلز ادواردز و لاون (۹)، بیان نمودند که اگر مقادیر تشعشع اندازه‌گیری شده در ظهر برای تعیین جذب نور استفاده شوند، نسبت تشعشع جذب شده تا ۱۰٪ کمتر از حد واقعی بر آورد می‌شود، بنابراین نسبت تشعشع جذب شده براساس معادله ارائه شده توسط ایشان برای کل روز تصحیح شد:

$$Q_{day} = 2Q_{noon}/(1+Q_{noon}) \quad (\text{معادله ۲})$$

کسر جذب نور، با استفاده از ضریب خاموشی نور محاسبه شده و تغییرات سطح برگ در طول فصل رشد، و با استفاده از معادله زیر برای هر روز از طول فصل رشد محاسبه شد:

$$F_{abs} = 1 - \exp(-K * LAI) \quad (\text{معادله ۳})$$

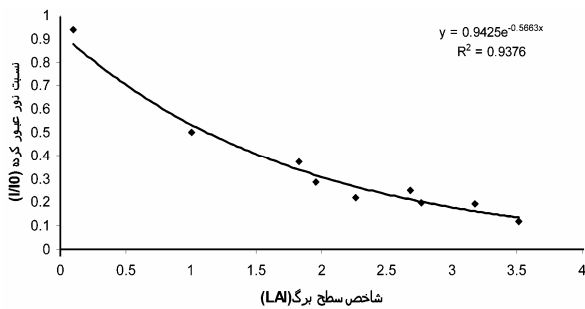
برای تعیین مقدار شاخص سطح برگ در هر روز که برای محاسبات کسر جذب نور مورد نیاز است، تابع پلی‌نومیل درجه ۳ به داده‌های اندازه‌گیری شده سطح برگ در طول فصل رشد برازش یافت تا با استفاده از آن مقدار سطح برگ گیاه در هر روز تعیین شود:

$$LAI = a * DAE^3 \pm b * DAE^2 \pm c * DAE \pm d \quad (\text{معادله ۴})$$

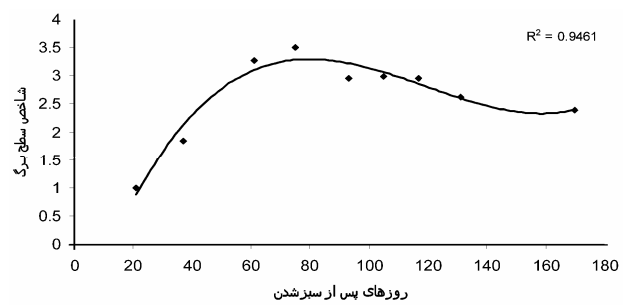
که در آن:  $LAI$  شاخص سطح برگ و  $DAE$  روز پس از سبز شدن و  $a, b, c, d$  ضرایب معادله می‌باشند. در مرحله بعد با محاسبه شاخص سطح برگ (معادله ۴) و مقدار تصحیح شده ضریب خاموشی نور (معادله ۲)، کسر جذب نور در هر روز از طریق معادله (۳) تعیین و بر مبنای آن مقدار کل تشعشع جذب شده توسط کانوپی گیاه محاسبه شد:

$$I_{abs} = I_0 * F_{abs} \quad (\text{معادله ۵})$$

در این معادله،  $F_{abs}$  کسر تشعشع جذب شده،  $I_0$  مقدار کل



شکل ۲: رابطه نسبت نور عبور کرده و شاخص سطح برگ در کانوپی چغندر قند (هر نقطه میانگین پنج رقم می‌باشد)



شکل ۱: روند تغییرات شاخص سطح برگ در ارقام چغندر قند (هر نقطه میانگین پنج رقم می‌باشد)

کاهش سطح برگ می‌شود.

اصولاً شاخص سطح برگ با ماده خشک اندام هوایی همبستگی مثبت، و با مقدار نور عبور کرده از کانوپی همبستگی منفی دارد. به عبارتی افزایش شاخص سطح برگ منجر به کاهش میزان نور عبور کرده از کانوپی می‌شود (شکل ۲).

ضریب خاموشی نور در بین ارقام مورد آزمایش تفاوت معنی داری نداشت (جدول ۱)، و میانگین آن برابر ۰/۵۶ بدست آمد که با نظر دیگر محققان که مقدار آن را برابر ۰/۵۶ (۲) و ۰/۵۳ (۱۵) گزارش نمودند، مطابقت داشت. کمپان و همکاران (۱۲)، با انجام آزمایش روی ارقام مختلف گندم و جو دریافتند که رقم، تراکم و تاریخ کاشت تأثیری بر ضریب خاموشی نور ندارد.

تولید ماده خشک به میزان تشعشع جذب شده و کارایی مصرف نور وابسته است و جذب نور نیز به نوبه خود به میزان تشعشع برخورد کرده به کانوپی و شاخص سطح برگ بستگی دارد (۴). روند تغییرات کل تشعشع رسیده به سطح

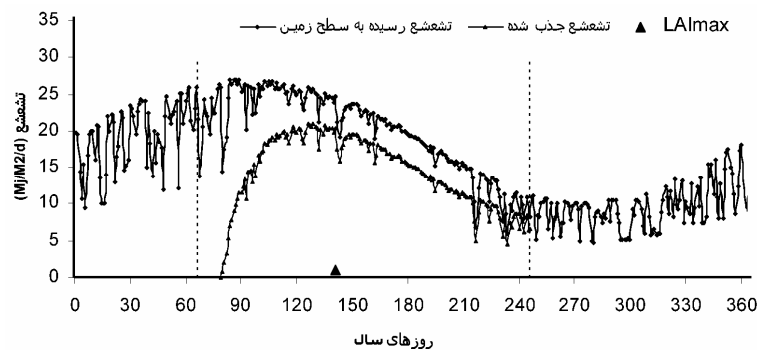
می‌یابد و سطح برگ از بین رفته با سطح برگ جدید ساخته شده کاملاً جبران نمی‌شود. نامبردگان همچنین دریافتند که الگوی رشد برای همه ژنوتیپ‌ها و سال‌های مختلف نسبتاً مشابه می‌باشد. اسکات و ژاگارد (۲۲)، عامل غالب در سرعت تشکیل کانوپی را درجه حرارت ذکر کردند و اظهار داشتند که درجه حرارت بالاتر در بهار باعث بسته شدن زودتر کانوپی می‌شود.

نکته دیگری که در روند تغییرات سطح برگ مشاهده شد این بود که سطح برگ پس از کاهش نسبتاً شدید در اواخر مرداد ماه (از ۳/۵۱ به ۲/۹۶)، در طول شهریور ماه نسبتاً ثابت باقی ماند. به نظر می‌رسد درجه حرارت بالا - و در مواردی تنش خشکی - در اواخر مرداد ماه، باعث کاهش سطح برگ شده و با خنک تر شدن هوا در اواخر شهریور ماه این امر تعدیل شده و از شدت افت سطح برگ کاسته شده باشد. میلفورد و همکاران (۱۵)، اظهار داشتند که درجه حرارت مطلوب برای رشد برگها، ۱۷ تا ۲۴ درجه سانتی گراد است و افزایش دما بیش از ۲۴ درجه سانتی گراد باعث

جدول ۱: مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در ارقام چغندر قند

رقم	عملکرد ریشه (کیلوگرم بر متر مربع)	عملکرد قند (کیلوگرم بر متر مربع)	عیار (درصد)	ضریب خاموشی نور	کارایی مصرف نور (گرم بر مگا ژول)	حداکثر شاخص سطح برگ
۲۷۶	۷/۲۵ ab*	۱/۲۲ ab	۱۶/۹۳ a	۰/۵۵۷ a	۱/۲۴ a	۳/۴۷ab
رسول	۷/۸۱ab	۱/۳۷ ab	۱۷/۶۴ a	۰/۵۷۳ a	۱/۲۳ a	۳/۴۳ab
۴۳۶	۷/۸۸a	۱/۴۱ a	۱۷/۹۵ a	۰/۵۶۱ a	۱/۲۷ a	۳/۹۴a
۷۲۳۳	۶/۵۴b	۱/۱۹ b	۱۸/۲۰ a	۰/۵۷۰ a	۱/۲۵ a	۳/۱۴b
۷۱۱۲	۷/۵ab	۱/۲۹ ab	۱۷/۱۸ a	۰/۵۶۸ a	۱/۲۲ a	۳/۶۵ab

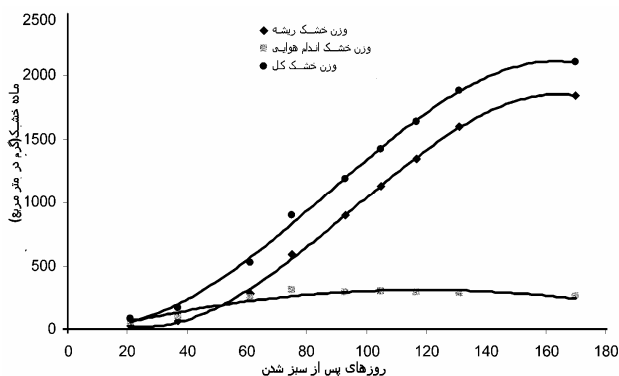
\* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند



شکل ۳: تغییرات کل تشمع رسیده به سطح زمین و تشمع جذب شده توسط کانوپی چغندر قند (خطوط مقطع نشان دهنده طول فصل رشد گیاه است)

اولیه تبعیت داشت و پس از آن در حدود ۴۰ روز با شتاب بیشتری (بصورت نمایی) ادامه پیدا کرد (تا ۷۵ روز پس از سبز شدن) که این افزایش بیشتر ناشی از سرعت تجمع ماده خشک در ریشه‌ها بود. طی این دوره وزن خشک ریشه نسبت به اندام هوایی افزایش یافت و این برتری تا پایان دوره حفظ شد بطوریکه در بخش عمده‌ای از فصل رشد، وزن خشک ریشه‌ها حدود ۸۰ درصد وزن خشک کل را شامل می‌شد. در مرحله بعد، رشد در حدود دو ماه (تا ۱۳۰ روز پس از سبز شدن) با سرعت کمتر ولی تقریباً بصورت خطی ادامه یافت و نهایتاً وارد دوره دیگری از رشد کند شد (شکل ۴). عملکرد ماده خشک نهایی عمدتاً نتیجه رشد بین اوایل تیرماه تا اوایل شهریور ماه (مرحله خطی تولید ماده خشک) بود و مقدار آن برای ارقام مختلف بین ۱۵۶۷۰ تا ۲۵۹۲۰ کیلوگرم در هکتار نوسان داشت.

شیب خط رگرسیونی برازش یافته به تغییرات ماده خشک تجمعی طی فصل رشد و مقدار تشمع جذب شده



شکل ۴: روند تغییرات ماده خشک تولیدی در ارقام چغندر قند (هر نقطه میانگین پنج رقم می‌باشد)

زمین و میزان تشمع جذب شده توسط کانوپی چغندر قند در شکل ۳ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود اگر چه در ابتدای رشد میزان کل تشمع ورودی زیاد بود، ولی بدلیل رشد آهسته برگ‌های جوان و باز بودن کانوپی، محدودیت در جذب نور وجود داشت که این موضوع توسط میلفورد و همکاران (۱۵) نیز تأیید شده است. اسکات و ژاگارد (۲۲)، نیز اظهار داشتند که در طی ۶۰ سال گذشته نور جذب شده عامل محدود کننده عملکرد چغندر قند در انگلستان بوده است.

افزایش میزان جذب تشمع و افزایش سرعت رشد هنگامی اتفاق می‌افتد که کانوپی بسته و رشد برگ وارد مرحله خطی شده باشد. نتایج برخی تحقیقات حاکی از این است که چغندر قند به علت داشتن برگ‌های نسبتاً افقی در شاخص سطح برگ ۳ تا ۴ در حدود ۸۵ تا ۹۵ درصد تشمع را دریافت می‌کند، لذا شاخص سطح برگ مطلوب آن ۳ تا ۴ می‌باشد (۱۷، ۴). در این آزمایش حداکثر شاخص سطح برگ (۳/۵۱) زمانی حاصل شد (۷۵ روز پس از سبز شدن یا ۱۴۱ امین روز سال) که قبل از آن تشمع منطقه به حداکثر مقدار خود رسیده بود (شکل ۳). بررسی نتایج آزمایش‌های ۱۲ ساله در مرکز تحقیقات برومز بارن انگلستان نیز نشان داد که سرعت رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ اصلی‌ترین عامل ایجاد اختلاف عملکرد در سال‌های مختلف می‌باشد (۱۵).

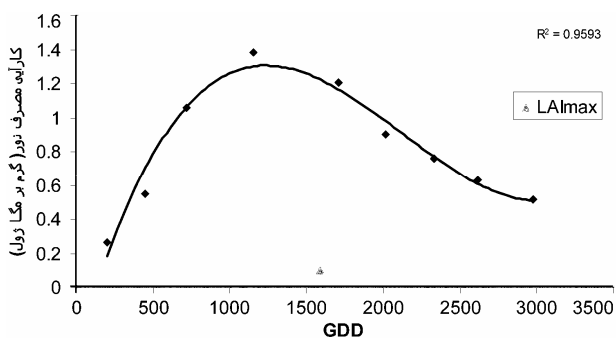
شکل ۴ روند تغییرات ماده خشک تولیدی در ارقام چغندر قند را نشان می‌دهد مشاهده می‌شود که تولید ماده خشک کل در سی روز ابتدایی پس از سبز شدن گیاه عمدتاً ناشی از رشد اندام‌های هوایی بوده و از یک مرحله رشد کند

سطح برگ، کارایی مصرف نور نیز افزایش یافت و زمانیکه پوشش گیاهی ۸۰ درصد سطح زمین را فرا گرفت (قبل از رسیدن به حداکثر LAI)، کارایی مصرف نور به حداکثر خود رسید. پس از این مرحله و با کامل شدن پوشش برگ تولید ماده خشک ارتباط مستقیمی با میزان نور دریافتی پیدا نمود و در فصل پائیز با کاهش تشعشع ورودی و البته کاهش شاخص سطح برگ، تولید ماده خشک نیز کاهش یافت. این مطلب توسط محققان دیگری نیز ابراز شده است (۱۷، ۱۵ و ۲۳).

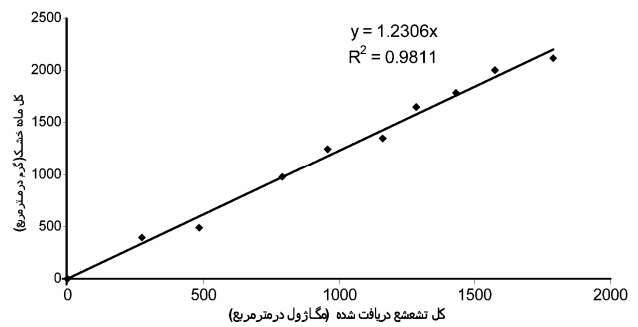
لکوئر و نی (۱۴)، با انجام آزمایش روی چند ژنوتیپ نخود فرنگی (*Pisum sativum L.*) اظهار نمودند که کارایی مصرف نور طی فصل رشد گیاه ثابت نبوده و از یک الگوی سیگموئیدی پیروی می‌کند. طی رشد رویشی، از سبز شدن تا گلدهی، کارایی مصرف نور روندی افزایشی دارد، و در ابتدای دوره پر شدن دانه‌ها به حداکثر می‌رسد، پس از آن کارایی مصرف نور کاهش یافته و تا هنگام رسیدگی کامل به حداقل مقدار خود می‌رسد.

مقدار عددی کارایی مصرف نور ممکن است تحت تأثیر ژنوتیپ، محیط و مدیریت زراعی تغییر کند، ولی الگوی سیگموئیدی آن بندرت تحت تأثیر عوامل فوق قرار می‌گیرد. به نظر می‌رسد ظهور، رشد و نهایتاً پیری اندام‌های گیاهی (برگ و ریشه) و همچنین متغیرهای اقلیمی موثر بر ظرفیت فتوسنتزی گیاه این الگو را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۱۴).

میانگین عملکرد قند در ارقام مورد بررسی، از زمان اندازه‌گیری قند (حدود ۱۰۰ روز پس از سبز شدن) به مدت ۶ هفته تقریباً بطور خطی افزایش یافت و پس از آن با



شکل ۶: روند تغییرات کارایی مصرف نور در ارقام چغندر قند (هر نقطه میانگین پنج رقم می‌باشد) ( $T_{base} = 3^{\circ}C$ ) (۱۴ و ۱۶)



شکل ۵: رابطه ماده خشک تولیدی و تشعشع دریافتی در ارقام چغندر قند (هر نقطه میانگین پنج رقم می‌باشد)

تجمعی نشان دهنده کارایی مصرف نور در ارقام مورد آزمایش است (شکل ۵). نتایج نشان داد که میانگین کارایی مصرف نور برای ارقام مورد استفاده در آزمایش برابر ۱/۲۳ گرم بر مگاژول برآورد شد. در منابع علمی میانگین کارایی مصرف نور در چغندر قند را برابر ۱/۷۲ گرم بر مگاژول و ضریب تبدیل نور به قند برابر ۰/۹۷ گرم بر مگاژول گزارش شده است (۳). وب و همکاران (۲۶)، در مدل خود برای چغندر قند، کارایی مصرف نور را برابر ۱/۸ گرم بر مگاژول محاسبه نمودند.

این راندمان از رابطه تشعشع مستقیم جذب شده و مقدار ماده خشک تولیدی بدست آمد در صورتیکه با اندازه‌گیری نورپخش، راندمان مصرف نور بیشتر خواهد بود (۲۳). همچنین به نظر می‌رسد به دلیل وجود روزهای آفتابی زیاد طی فصل رشد در منطقه مورد آزمایش، کانوپی گیاهی مدت بیشتری در اشباع نوری بوده و موجب کاهش کارایی مصرف نور گردیده است. این موضوع توسط ورکر و ژاگارد (۲۸) نیز مورد تأکید قرار گرفته است.

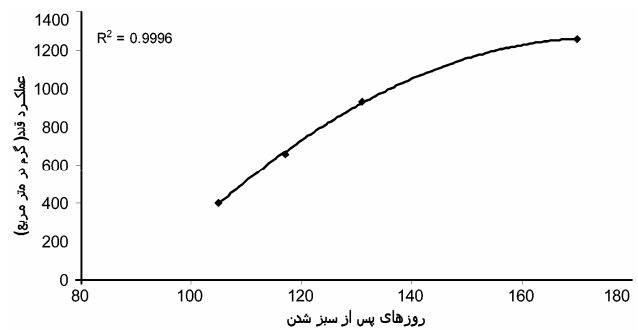
بسیاری از محققان (۱۲، ۱۴، ۲۴)، معتقدند کارایی مصرف نور ثابت نبوده و طی فصل رشد گیاه تغییر می‌کند. بررسی روند تغییرات کارایی مصرف نور طی فصل رشد نشان داد که الگوی تغییرات کارایی مصرف نور تقریباً مشابه الگوی تغییرات سطح برگ در طول دوره زندگی گیاه بود (شکل ۶). در مراحل ابتدائی رشد، به دلیل عدم پوشش کامل کانوپی، تمامی برگ‌ها در معرض تشعشع مستقیم خورشید بوده و به دلیل اشباع نوری و محدودیت جذب نور، تولید ماده خشک و به تبع آن کارایی مصرف نور طی این دوره چندان قابل توجه نبود. با توسعه کانوپی و افزایش شاخص

طولانی تری دریافت می کند (۱۵ و ۱۶).

رینالدی و ونلا (۱۷)، اظهار داشتند که با بسته شدن کامل کانوپی، ظرفیت فتوسنتزی، کارایی مصرف نور و عملکرد قند به حداکثر می رسد و هر چه طول این دوره تا زمان برداشت طولانی تر باشد، عملکرد ماده خشک، عملکرد قند و کارایی مصرف آب بالاتر خواهد بود.

نتایج مطالعات مختلف (۱۲، ۱۴، ۲۳، ۲۴) نشان داده است چنانچه شرایط محیطی برای رشد گیاه مطلوب باشد، تغییرات در کارایی مصرف نور اندک است، لذا در بسیاری از مطالعات حداکثر کارایی مصرف نور را بعنوان ثابت کارایی مصرف نور در نظر می گیرند.

از سوی دیگر شواهدی همچون عدم تأثیر گذاری میزان رطوبت خاک (۱۷)، تراکم (۹) و رقم (۲۱) روی ضریب خاموشی نور مؤید این است که صرف نظر از تیمارهای آزمایشی، می توان ضریب خاموشی نور ثابتی را برای یک گیاه، بکار برد. بر این اساس مقادیر بدست آمده برای کارایی مصرف نور (۱/۲۳) و ضریب خاموشی نور (۰/۵۶) در این پژوهش، بعنوان میانگین شاخص های مذکور در بین ارقام مورد بررسی منظور گردید، لیکن نظر به اهمیت فوق العاده ضریب خاموشی نور و کارایی مصرف نور در مدل های شبیه سازی رشد و همچنین با توجه به تغییر پذیری ضرائب مذکور در زمان ها و مناطق مختلف و تحت شرایط مدیریتی متنوع نظیر استفاده از ارقام متفاوت، کنترل یا عدم کنترل علف هرز، شرایط تنش یا مطلوب آبیاری و غیره، ضروری است آزمایشات دیگری در سال ها و مناطق مختلف با شرایط مدیریتی متفاوت اجرا گردد تا طیفی از ضرائب مذکور جهت استفاده در مطالعات مدل سازی در اختیار قرار گیرد.



شکل ۷: روند تغییرات عملکرد قند در ارقام چغندر قند (هر نقطه میانگین پنج رقم می باشد)

سرعت کمتری روند افزایشی خود را حفظ نمود (شکل ۷). میزان قند، متناسب با ماده خشک کل و ماده خشک ریشه در بخش عمده ای از دوران رشد گیاه افزایش یافت که با نتایج بدست آمده از برخی آزمایش های دیگر مطابقت داشت. اسکات و ژاگارد (۲۲)، دریافتند که مقدار قند ریشه همبستگی نزدیکی با وزن خشک ریشه دارد و این ارتباط مستقل از درجه حرارت و تشعشع است. نامبردگان همچنین اظهار داشتند که ارتباط یکنواخت بین نسبت قند در ریشه و نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک کل گیاه، بیانگر این است که رشد ریشه و ذخیره قند توسط یک مکانیزم داخلی وابسته به ژنوتیپ کنترل می شود.

میلفورد و همکاران (۱۵)، دریافتند که عملکرد نهایی ریشه و مقدار قند ذخیره شده در آن تابع زمان بسته شدن پوشش گیاهی و مدت زمان دوام آن می باشد. نتایج برخی تحقیقات نیز حاکی از این است که چنانچه در ابتدای فصل، کانوپی گیاه زودتر تکمیل شود فرصت بیشتری برای تولید قند وجود خواهد داشت زیرا ریشه نسبت به اندام های هوایی فرآورده های فتوسنتزی را به میزان بیشتر و در مدت

## منابع

- ۱ - خلیلی، ع. و ح. رضایی صدر. ۱۳۷۶. برآورد تابش کلی خورشید در گستره ایران بر مبنای داده های اقلیمی. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۳، ۱۵-۳۵.
- ۲ - خیامیم، س. د. مظاهری، م. بنایان، ج. گوهری و م. ر. جهانسوز. ۱۳۸۱. تعیین ضریب خاموشی نور و کارایی مصرف نور چغندر قند در شرایط مختلف تراکم و کود نیتروژن. مجله چغندر قند، جلد ۱۸، شماره ۱، ۶۶-۵۱.
- ۳ - کوک، دی. ا. و آر. کی. اسکات. ۱۳۷۷. چغندر قند: از علم تا عمل (ترجمه). اعضای هیات علمی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، نشر علوم کشاورزی، تهران، ۶۵۶ صفحه.
- ۴ - قائمی، ع، ۱۳۸۱. بررسی شاخص های فیزیولوژیک و مورفولوژیک مؤثر بر افزایش عملکرد کمی و کیفی چغندر قند. پایان نامه دکتری دانشگاه



۵ - نصیری محلاتی، م. ۱۳۷۹. مدلسازی فرآیندهای رشد گیاهان زراعی. (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۸۰ صفحه.

- 6 - Biscoe, P.V., and J.N. Gallagher. 1977. Weather, dry matter production and yield. In: Landsberg, J.J., Cutting, C.V. (Eds.), Environmental Effects on Crop Physiology. Academic Press, London, pp. 75-100.
- 7 - Bonhomme, R., 2000. Beware of comparing RUE values calculated from PAR vs solar radiation or absorbed vs intercepted radiation. *Field Crops Res.* 68:247-252
- 8 - Brown, K.F., A.B. Messemer, R.J. Dunham, and P.V. Biscoe. 1987. Effect of drought on growth and water use of sugar beet. *J. Agric. Sci. Camb.* 109, 421-435.
- 9 - Charles-Edwards, D.A., and R.J. Lawn. 1984. Light interception by grain legume row crops. *Plant, Cell and Environment*, 7:247-251.
- 10 - Damay, N., and J. Le Gouis. 1993. Radiation use efficiency of sugar beet in Northern France. *Eur. J. Agron.* 2, 179-184.
- 11 - Jaggard, K. and C. Clark. 2000. Growth of sugar beet crops in 1999. *British Sugar Beet Review.* 68(1):6-11.
- 12 - Kemanian, A.R., C.O. Stockle, and D.R. Huggins. 2004. Variability of barley radiation use efficiency. *Crop Sci.* 44:1662-1672.
- 13 - Kropff, M.J., and H.H. Van Laar. 1993. Modelling Crop\_Weed Interactions. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, p. 274.
- 14 - Lecoeur, J., and B. Ney. 2003. Change with time in potential radiation use efficiency in field pea. *Eur. J. Agron.* 19:91-105.
- 15 - Milford, G.F.J., K.Z. Travis, T.O. Pockock, K.W. Jaggard, and W. Day. 1988. Growth and dry matter partitioning in sugar beet. *J. Agric. Sci. Camb.* 110:301-308.
- 16 - Richter, G.M., K.W. Jaggard, and R.A.C. Mitchell. 2001. Modelling radiation interception and radiation use efficiency for sugar beet under variable climatic stress. *Agric. For. Meteorol.* 109:13-25.
- 17 - Rinaldi, M., and A.V. Vonella. 2006. The response of autumn and spring sown sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to irrigation in southern Italy: water and radiation use efficiency. *Field Crops Res.* 95:103-114.
- 18 - Rizzalli, R.H., F.J. Villalobos, and F. Orgaz. 2002. Radiation interception, radiation use efficiency and dry matter partitioning in garlic (*Allium sativum* L.). *Eur. J. Agron.* 18:33-43.
- 19 - Rosati, A., and T.M. Djong. 2003. Estimating photosynthetic radiation use efficiency using incident light and photosynthesis of individual leaves. *Ann. Bot.* 91:869-877.
- 20 - Rosati, A., S.G. Metcalf, and B.D. Lampinen. 2004. A simple method to estimate photosynthetic radiation use efficiency of canopies. *Ann. Bot.* 93:567-574.
- 21 - Rosenthal, W.D. and T.J. Gerik. 1991. Radiation use efficiency among cotton cultivars. *Agron. J.* 83:655-658.
- 22 - Scott, R.K., and K.W. Jaggard. 2000. Impact of weather, agronomy and breeding on yields of sugar beet grown in UK since 1970. *J. Agric. Sci. Camb.* 134:341-352.
- 23 - Sinclair, T.R., and T. Horie. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: A Review. *Crop Sci.* 29:90-98.
- 24 - Sinclair, T.R., T. Shiraiwa, and G.L. Hammer. 1992. Variation in crop radiation use efficiency with increased diffuse radiation. *Crop Sci.* 32:1281-1284.
- 25 - Villalobos, F.J., L. Testi, J. Hidalgo, M. Pastor, and F. Orgaz. 2006. Modelling potential growth and yield of olive (*Olea europea* L.) canopies. *Eur. J. Agron.* 24:296-303.
- 26 - Webb, C.R., A.R. Werker, and C.A. Gilligan. 1997. Modelling the dynamical components of sugar beet crop. *Ann. Bot.* 80:427-436.
- 27 - Werker, A.R., and K.W. Jaggard. 1997. Modelling asymmetrical growth curves that rise and fall: Applications to foliage dynamics of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Ann. Bot.* 79:657-665.
- 28 - Werker, A.R., and K.W. Jaggard. 1998. Dependence of sugar beet yield on light interception and evapotranspiration. *Agric. For. Meteorol.* 89:229-240.
- 29 - Werker, A.R., K.W. Jaggard, and M.F. Allison. 1999. Modelling partitioning between structure and storage in sugar beet: Effects of drought and soil nitrogen. *Plant and Soil* 207:97-106.
- 30 - Wright, E., M.K.V., Carr, and P.J.C., Hamer. 1997. Crop production and water-use. IV. Yield functions for sugar beet. *J. Agric. Sci. Camb.* 129, 33-42

## Seasonal variation of radiation interception and radiation use efficiency in sugar beet (*Beta vulgaris* L.)

S. Parsa, A. Koochaki, M. Nassiri Mahallati, A. Ghaemi<sup>1</sup>

### Abstract

A high correlation exists between crop growth and the rate of radiation intercepted. The efficiency of radiation interception and absorption is dependent on leaf area index, light extinction coefficient and radiation use efficiency. In order to study mentioned coefficients a randomized complete block design with four replications was conducted during 2005 for different sugar beet cultivars (7233, 7112, 436, 276 and Rasoul) at Ferdowsi University of Mashhad experimental farm station. The cultivars were cultivated in eight rows with 50 centimeters distance in plots with 12 meter length and optimum condition of nutrients and irrigation. In addition to measuring the radiation above and under the canopy, the plots were sampled 9 times during growing season and leaf area index, total dry matter and finally light extinction coefficient and radiation use efficiency were measured. Mean maximum leaf area index was 3.51. The final yield of total dry matter for different genotypes varied from 15670 to 25920 kilogram per hectare. There were no significant differences among genotypes in light extinction coefficient and radiation use efficiency and their mean values were about 0.56 and 1.23 g.Mj<sup>-1</sup>, respectively. Seasonal variation of radiation use efficiency was similar to leaf area index changes during the crop growth cycle and maximum radiation use efficiency was located before the reaching of maximum green leaf area index. Sugar content was increased proportional with total and root dry matter in most of crop growth cycle. Considering the importance of light extinction coefficient and radiation use efficiency in crop growth models and also their spatio-temporal variability under different management, it is necessary to perform more experiments in different years and locations with various treatments, to obtain a range of these coefficients for modeling studies.

**Keywords:** sugar beet, genotype, leaf area index, extinction coefficient and radiation use efficiency.

---

1- Contribution from College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad and Khorasan Agricultural Research Center, respectively