تغییرات فصلی دریافت و کارایی مصرف نور در چغندرقند

سهیل پارسا ، علیرضا کوچکی ، مهدی نصیری محلاتی و علیرضا قائمی[1]

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 چغندرقند و بررسی الگوی تغییرات آن طی فصل رشد، آزمایشی در سال ۱۳۸۴ بر روی ارقام ۲۷۶،۴۳۶،۷۱۱۲،۷۲۳۳ 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 غذائی 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 معادل۳/۵۱ بود.عملکرد ماده خشک نهائی برای ژنوتیپ های مختلف بین۱۵۶۷۰ 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: چغندرقند ، ژنوتیپ ، شاخص سطح برگ ، ضریب خاموشی نور و کارآیی 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 کارامد در بهره‌برداری از منابع، به‌ویژه آب و تشعشع خورشیدی یکی از مهم‌ترین راهکارها به نظر می‌رسد.

چغندرقند از جمله گیاهان کارامدی است که به منظور تولید شکر و بطور بالقوه جهت تولید انرژی(بیواتانل) کشت می‌شود(۱۷). بسیاری از منابع علمی چغندرقند 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،۱۱و۲۹).

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(۱۹و۲۷)، دوام سطح برگ(۱۵)، تطبیق حداکثر شاخص سطح برگ با حداکثر تشعشع محیط(۲۲و۲۳)،

۱- به ترتیب دانشجوی دکترای زراعت، اعضای هیات علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی و مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی..

Archive of SID

www.SID.ir

ضریب خاموشی نور(K)(۱۶و۱۹) و همچنین کارایی مصرف نور[1](RUE) (۱۶،۱۸و ۲۰) می‌باشد. ضریب خاموشی نور، عبارت از شیب منحنی نسبت نور عبور کرده از کانوپی در مقابل شاخص سطح برگ می‌باشد، که با رگرسیون گیری لگاریتمی از نسبت نور عبور یافته از کانوپی نسبت به شاخص سطح برگ بدست می‌آید(۱۹و۲۵)، و کارایی مصرف نور نسبت ماده خشک تولید شده به ازای واحد انرژی تشعشعی استفاده شده در تولید است(۱۸،۱۹،۲۱).

تفاوت‌های مشاهده شده در عملکرد ارقام مختلف اغلب ناشی از تفاوت در میزان نور دریافتی و یا کارایی مصرف آنها می‌باشد(۱۴و۲۱). 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(۱۶،۱۸،۲۵،۲۶). این مدل‌ها سرعت تولید ماده خشک را براساس میزان تشعشع جذب شدهٔ روزانه و کارایی مصرف نور، محاسبه نموده و با انتگرال‌گیری از این سرعت، عملکرد ماده خشک برآورد می‌گردد. مدل‌های ارائه شده برای چغندرقند توسط ورکر و ژاگارد(۲۸،۲۷و۲۹)، کل ماده خشک و عملکرد شکر را بر اساس مقادیر بر آورد شدهٔ 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 چغندرقند گزارش شده است(۱۶،۲۶و۲۷).

کراف و ون لار(۱۳) به نقل از لومیز و تاناکا، مقدار ضریب خاموشی نور چغندرقند را برابر ۰/۶۹، و به نقل از اسپیتزر، برابر ۰/۰۴ ± ۰/۶۱ گزارش کردند. اسکات و ژاگارد(۲۲) نیز مقدار ضریب K را برای چغندرقند 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)، دامنه‌ای از ۳/۱۶ تا ۴/۱۲ گرم برمگا ژول و بیسکو و گالاکر(۷)، مقدار۳/۵ گرم برمگاژول را برای کارایی مصرف نور چغندرقند 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)، مقادیر۱/۴۴ 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 چغندرقند گزارش نمودند.

وجود تنوع در مقادیر ارائه شده برای کارایی مصرف نور ارقام مختلف ناشی از ویژگی‌های فتوسنتزی نظیر کارایی کربوکسیلاسیون 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 و۲۹)، تفاوتهای موجود در مراحل مختلف نمو گیاه(۱۲ و۱۴)، خطاهای آزمایشی در نمونه گیری و کالیبراسیون ابزارهای اندازه‌گیری(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 و۲۱) 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 هوائی محاسبه شده است، زیرا در مراحل ابتدائی رشد تخصیص مواد بیشتر به ریشه صورت می‌گیرد(۱۴ و۱۶).

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

1- Radiation Use Efficiency

Archive of SID

www.SID.ir

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[1] در نور ورودی، کارایی مصرف نور افزایش می یابد. 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(۱۸،۲۵و۲۸).

سینکلر و هوری(۲۳)، اظهار داشتند که در نظر نگرفتن اهمیت تشعشع غیر مستقیم در کانوپی گیاه می تواند 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 چغندرقند گزارش شده و علیرغم مطالعات بسیار، هنوز تأثیر عوامل اقلیمی و روش های مدیریتی بر این دو شاخص مهم فیزیولوژیکی، حداقل در شرایط اقلیمی ایران به خوبی بررسی نشده است، این آزمایش با هدف تعیین ضرایب فوق الذکر در شرایط محیطی مشهد وبررسی 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 (′۱۶ °۳۶ شمالی و ′۳۷ °۵۹ شرقی) اجرا شد. بافت خاک مزرعه مورد نظر لومی و زمین آزمایش در سال قبل از کشت چغندرقند، آیش بود.

ارقام مورد آزمایش شامل یک رقم پلی ژرم بنام ۷۲۳۳ و چهار رقم جدید و در دست معرفی به نام های 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 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[2] (مدل ΔT) اندازه گیری شد.

از برداشت پنجم به بعد علاوه بر اندازه‌گیری‌های فوق برای تعیین خصوصیات کیفی از ریشه ها 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 بوته های برداشت شده استفاده شد.

به منظور محاسبه ضریب خاموشی نور در کانوپی، دفعات و فواصل اندازه گیری 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 (ΔT ,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 حس گرها 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 می گرفت. جهت اندازه‌گیری‌ها توسط پروب دستگاه

1- Diffuse Radiation 2- Leaf Area Meter

Archive of SID

www.SID.ir

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 زیر 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 پلی‌نومیال 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:

$$LAI = a*DAE^3 \pm b*DAE^2 \pm c*DAE \pm d \quad \text{(معادله۴)}$$

که در آن: LAI شاخص سطح برگ و DAE روز پس از سبزشدن و a،b،c و d ضرایب معادله می باشند. در مرحله بعد با محاسبه شاخص سطح برگ(معادله۴) 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:

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

در این معادله، F_{abs} کسر تشعشع جذب شده، I_o مقدار کل 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.

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

که در آن: I_o 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 مبداء صفر، بین مقادیر ماده خشک تجمعی، به عنوان متغیر وابسته، در مقابل تشعشع تجمعی جذب شده توسط کانوپی، به عنوان متغیر مستقل، بدست آمد.

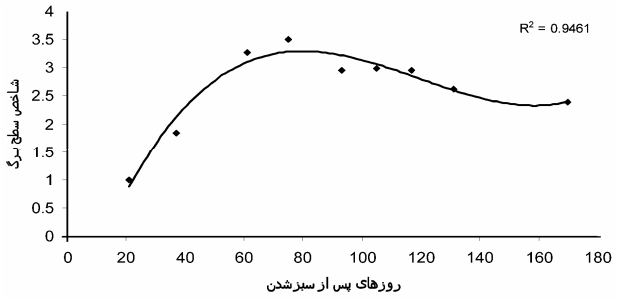
آنالیز داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد)، با استفاده از نرم افزار MSTAT-C و برازش روابط رگرسیونی و رسم گراف‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار EXCEL انجام شد.

نتایج و بحث

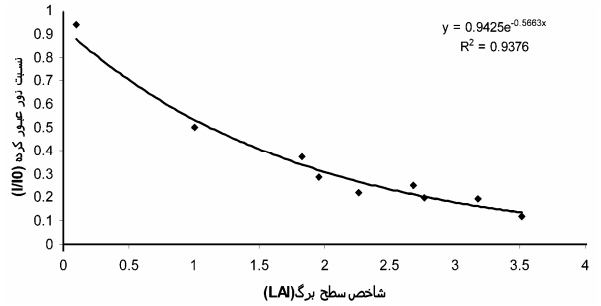
روند تغییرات روزانه میانگین شاخص سطح برگ ارقام مورد آزمایش، در شکل (۱) نشان داده شده است. همانگونه که در جدول (۱) نیز آمده است، حداکثر شاخص سطح برگ در بین ارقام مورد آزمایش تفاوت معنی‌داری نداشت (بجز رقم پلی‌ژرم ۷۲۳۳ که به لحاظ ژنتیکی پتانسیل تولید برگ کمتری دارد). متوسط حداکثر شاخص سطح برگ در اواسط 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

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۱: روند تغییرات شاخص سطح برگ در ارقام چغندرقند
(هر نقطه میانگین پنج رقم می‌باشد)



شکل ۲: رابطه نسبت نورعبورکرده وشاخص سطح برگ درکانوپی چغندرقند
(هر نقطه میانگین پنج رقم می‌باشد)

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 کاهش سطح برگ می‌شود.

اصولاً شاخص سطح برگ با مادهٔ خشک اندام هوائی 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(شکل۲).

ضریب خاموشی نور در بین ارقام مورد آزمایش تفاوت معنی داری نداشت(جدول۱)، و میانگین آن برابر ۰/۵۶بدست آمد که با نظر دیگر محققان که مقدار آن رابرابر ۰/۵۶(۲) و ۰/۵۳(۱۵) گزارش نمودند، مطابقت داشت. کمانیان 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 کارائی 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

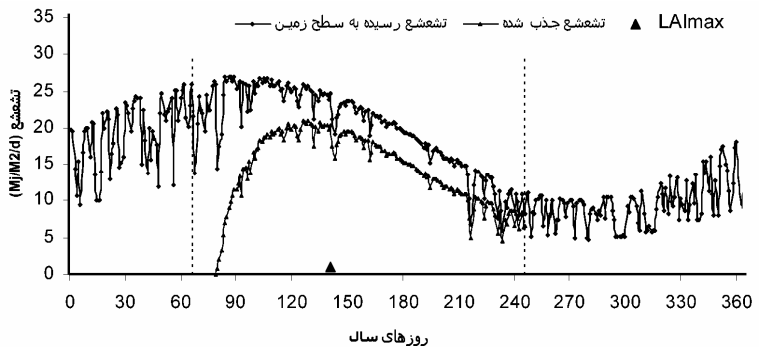
جدول ۱: مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در ارقام چغندرقند

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)	حداکثرشاخص 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

Archive of SID

www.SID.ir



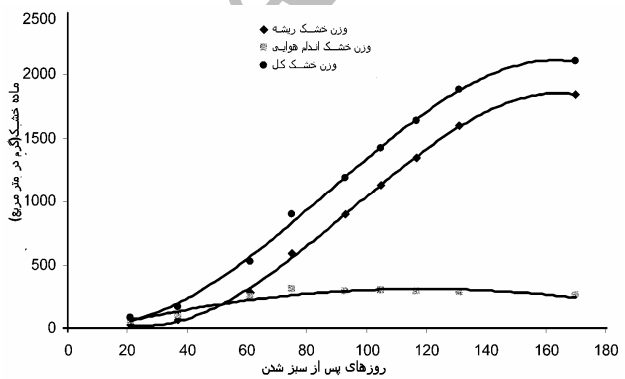
شکل ۳: تغییرات کل تشعشع رسیده به سطح زمین و تشعشع جذب شده توسط کانوپی چغندرقند
(خطوط مقطع نشان‌دهنده طول فصل رشد گیاه است)

زمین و میزان تشعشع جذب شده توسط کانوپی چغندرقند در شکل ۳ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود اگرچه در ابتدای رشد میزان کل تشعشع 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 چغندرقند در انگلستان بوده است.

افزایش میزان جذب تشعشع 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 چغندرقند به علت داشتن برگ‌های نسبتاً افقی در شاخص سطح برگ۳ تا ۴ در حدود ۸۵ تا ۹۵ درصد تشعشع را دریافت می‌کند، لذا شاخص سطح برگ مطلوب آن ۳ تا ۴ می‌باشد(۴، ۱۷). در این آزمایش حداکثر شاخص سطح برگ (۳/۵۱) زمانی حاصل شد (۷۵ روز پس از سبز شدن یا ۱۴۱امین روز سال) که قبل از آن تشعشع 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 چغندرقند را نشان میدهد مشاهده می شود که تولید ماده خشک کل در سی روز ابتدایی پس از سبز شدن گیاه عمدتاً ناشی از رشد اندامهای هوائی بوده و از یک مرحله رشد کند اولیه تبعیت داشت و پس از آن در حدود ۴۰ روز با شتاب بیشتری (بصورت نمایی) ادامه پیدا کرد(تا ۷۵ روزپس 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(شکل۴). 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.

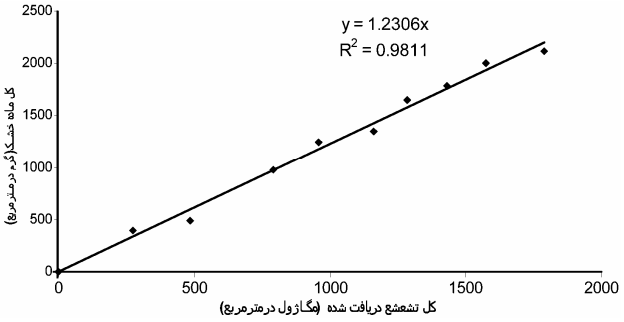
شیب خط رگرسیونی برازش یافته به تغییرات ماده خشک تجمعی طی فصل رشد و مقدار تشعشع جذب شده



شکل۴: روند تغییرات ماده خشک تولیدی در ارقام چغندرقند
(هر نقطه میانگین پنج رقم می‌باشد)

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۵: رابطه ماده خشک تولیدی و تشعشع دریافتی در ارقام چغندرقند (هر نقطه میانگین پنج رقم می‌باشد)

تجمعی نشان دهندهٔ کارایی مصرف نور در ارقام مورد آزمایش است(شکل ۵). نتایج نشان داد که میانگین کارایی مصرف نور برای ارقام مورد استفاده در آزمایش برابر۱/۲۳ گرم بر مگاژول برآورد شد. در منابع علمی میانگین کارایی مصرف نور در چغندرقند را برابر ۱/۷۲ گرم بر مگاژول و ضریب تبدیل نور به قند برابر ۰/۹۷ گرم بر مگا ژول گزارش شده است(۳). وب و همکاران(۲۶)، در مدل خود برای چغندرقند، 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 اندازه گیری نورپخش، راندمان مصرف نور بیشتر خواهد بود(۲۳). همچنین به نظر می رسد 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.

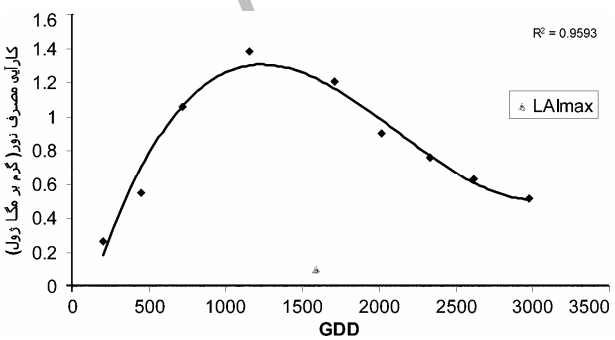
بسیاری از محققان(۱۲،۱۴،۲۴)، معتقدند کارایی مصرف نور ثابت نبوده و طی فصل رشد گیاه تغییر می‌کند. بررسی روند تغییرات کارایی مصرف نور طی فصل رشد نشان داد که الگوی تغییرات کارایی مصرف نور تقریباً مشابه الگوی تغییرات سطح برگ در طول دوره زندگی گیاه بود(شکل۶).

در مراحل ابتدائی رشد، به دلیل عدم پوشش کامل کانوپی، تمامی برگ‌ها در معرض تشعشع مستقیم خورشید بوده و به دلیل اشباع نوری و محدویت 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 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 (۱۵،۱۷و۲۳).

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 دانه ها 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 ومدیریت زراعی تغییرکند، ولی الگوی سیگموئیدی‌آن 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).

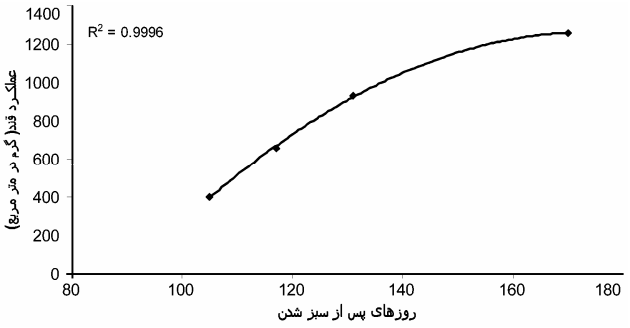
میانگین عملکرد قند در ارقام مورد بررسی، از زمان اندازه‌گیری قند (حدود ۱۰۰ روز پس از سبز شدن) به مدت ۶ هفته تقریباً بطور خطی افزایش یافت و پس از آن با



شکل۶: روند تغییرات کارآیی مصرف نور در ارقام چغندرقند(هر نقطه میانگین پنج رقم می‌باشد) (T_{base} = ۳° C) (۱۴و۱۶)

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۷: روند تغییرات عملکرد قند در ارقام چغندرقند
(هر نقطه میانگین پنج رقم می‌باشد)

سرعت کمتری روند افزایشی خود را حفظ نمود(شکل۷). میزان قند، متناسب با ماده خشک کل و ماده خشک ریشه در بخش عمده‌ای از دوران رشد گیاه افزایش یافت که با نتایج بدست آمده از برخی آزمایش‌های 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 می‌شود.

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 می‌باشد. 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 اندام‌های هوایی فرآورده‌های فتوسنتزی را به میزان بیشتر و در مدت طولانی‌تری دریافت می‌کند(۱۵ و۱۶).

رینالدی و ونلا(۱۷)، اظهار داشتند که با بسته شدن کامل کانوپی، ظرفیت فتوسنتزی، کارایی مصرف نورو عملکرد قند به حداکثر می‌رسد و هر چه طول این دوره تا زمان برداشت طولانی‌تر 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 می‌گیرند.

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 صرفنظر 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 شاخص‌های مذکور در بین ارقام مورد بررسی منظور گردید، لیکن 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 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 سال‌ها و مناطق مختلف با شرایط مدیریتی متفاوت اجرا گردد تا طیفی از ضرائب مذکور جهت استفاده در مطالعات مدلسازی در اختیار قرار گیرد.

Archive of SID

منابع

۱ - خلیلی، ع. و ح. رضایی‌صدر. ۱۳۷۶. برآورد تابش کلی خورشید در گستره ایران بر مبنای داده‌های اقلیمی. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی.شماره ۳، ۳۵-۱۵.

۲ - خیامیم، س.، د. مظاهری، م. بنایان، ج. گوهری و م. ر. جهانسوز. ۱۳۸۱. تعیین ضریب خاموشی نور و کارایی مصرف نور چغندرقند در شرایط مختلف تراکم و کود نیتروژن. مجله چغندرقند، جلد ۱۸، شماره ۱، ۶۶-۵۱.

۳ - کوک، دی. ا. و آر.کی. اسکات.۱۳۷۷. چغندرقند: از علم تا عمل (ترجمه). اعضای هیات علمی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، نشر علوم کشاورزی، تهران، ۶۵۶ صفحه.

۴ - قائمی، ع، ۱۳۸۱. بررسی شاخص‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک مؤثر بر افزایش عملکرد کمی و کیفی چغندرقند. پایان نامه دکتری دانشگاه

www.SID.ir

فردوسی مشهد.۱۴۱صفحه.

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. Messem, 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

Archive of SID

www.SID.ir

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

S. Parsa, A. Koochaki, M. Nassiri Mahallati, A. Ghaemi[1]

Abstract

A high correlation existes 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 $g.Mj^{-1}$, 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

Archive of SID

www.SID.ir