مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال هفتم، شماره بیست و دوم، ۱۳۹۴

دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

برآورد ضریب خاموشی، کارایی مصرف تشعشع و ضرایب تولید ماده خشک گیاه کلزا (هایولا ۴۰۱)، در تاریخ‌های مختلف کاشت و تراکم بوته در شرایط خوزستان

حسین کمایی[۱]، علیرضا ابدالی مشهدی[۲]، جعفر پوررضا[۳]، داود امیدی نسب[۲]

تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۹ تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۱۵

چکیده

به‌منظور برآورد ضریب خاموشی، کارایی مصرف تشعشع و ضرایب تولید ماده خشک گیاه کلزا (هایولا ٤٠١)، در تاریخ‌های مختلف کاشت و تراکم بوته، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ انجام شد. تیمارها شامل سه تاریخ کاشت (۸ آذر، ۲۸ آذر و ۱۸ دی) و چهار تراکم بوته (۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ بوته در متر مربع) بودند. مقدار ضریب خاموشی به‌دست آمده برای گیاه کلزا حدود ۰/۳۹ بود. مقدار کارایی مصرف تشعشع گیاه کلزا در تاریخ‌های کاشت مختلف ۰/۹۲ گرم بر مگاژول بود. اثر تیمارها برروی ماده خشک تولیدی معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). بیشترین و کمترین ماده خشک به‌ترتیب در تاریخ کاشت۸ آذر و تراکم ۱۱۰ بوته در متر مربع (۱۱۲۵/۲ گرم در متر مربع) و تاریخ کاشت ۱۸ دی و تراکم ۵۰ بوته در متر مربع (۳٦۸ گرم در متر مربع) مشاهده شد. حداکثر سرعت رشد محصول در فاز خطی در بین تاریخ‌های مختلف کاشت و تراکم بوته معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). بیشترین و کمترین سرعت رشد محصول به‌ترتیب در تاریخ کاشت ۸ آذر و تراکم ۱۱۰ بوته در متر مربع (۲۸/۸۸ گرم در متر مربع در روز) و تاریخ کاشت ۱۸ دی و تراکم ۵۰ بوته در متر مربع (۹/۹۸ گرم در متر مربع در روز) به‌دست آمد. همچنین بررسی شاخص برداشت غلاف در مقابل روز پس از گلدهی، وابسته بودن افزایش این شاخص به طولانی‌تر بودن زمان پایان فاز خطی افزایش شاخص برداشت را نشان داد.

واژه های کلیدی: زمان کاشت، تراکم، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ

کمایی، ح.، ع .ر. الدالی مشهدی، ج. پوررضا و د. امیدی نسب. ۱۳۹٤. برآورد ضریب خاموشی، کارایی مصرف تشعشع و ضرایب تولید ماده خشک گیاه کلزا (هایولا ٤٠١)، در تاریخ‌های مختلف کاشت و تراکم بوته در شرایط خوزستان. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۲۲: ۲٦۷-۲۵۱.

۱- دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران- مسئول مکاتبات. پست الکترونیک: hosseinkamaei@yahoo.com

۲- دانشکده کشاورزی، دانشگاه رامین، اهواز، ایران

۳ - دانشکده کشاورزی، واحد رامهرمز، دانشگاه آزاد اسلامی، رامهرمز، ایران

مقدمه

گیاهان روغنی با تأمین نیازهای غذایی و صنعتی بشر، در بین گیاهان زراعی دارای جایگاه ویژه‌ای هستند (فتحی و همکاران، ۱۳۸۱). کلزا با نام علمی (*Brassica napus L.*) گیاهی از خانواده *Brassicaceae* می‌باشد. گیاه کلزا به دلیل دارا بودن ویژگی‌های زراعی خاص، در میان گیاهان روغنی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده و در سال‌های اخیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است (احمدی، ۱۳۷۹).

تجزیه و تحلیل کمی رشد، روشی برای شناخت حرکت مواد فتوسنتزی در گیاه از طریق اندازه‌گیری تولید ماده خشک در واحد سطح در طول فصل رشد می‌باشد که امکان توضیح و تفسیر عکس‌العمل گیاه را نسبت به شرایط محیطی فراهم می‌کند (ماجور، ۱۹۸۰). پارامترهای که توصیف کننده فرایندهای رشد و تولید در گیاه، شیوه‌هایی را برای شبیه‌سازی گیاهان در اختیار طراحان قرار می‌دهند و امکان مقایسه واریته‌ها را برای متخصصین اصلاح فراهم می‌نمایند. توصیف واقع‌گرایانه فرایندهای کلیدی حاکم بر رشد و نمو در گیاهان زراعی ابزاری را برای کمی کردن اختلافات بین ارقام فراهم می‌کند که می‌توان از اطلاعات حاصله در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی استفاده کرد.

از عوامل مـؤثر در روند تجمع و توزیع ماده خشک در گیاهان زراعی با شرایط محیطی یکسان می‌توان به تراکم و تاریخ کاشت اشاره داشت. تاریخ کاشت یکی از مـؤثرترین عوامل در تکمیل مراحل مختلف رشدی گیاه است، زیرا مستقیماً بر طول دوره رشد گیاه تأثیر دارد. لذا در صورتی که عوامل محدود کننده رشد در منطقه وجود نداشته باشد، کاشت زود هنگام بیشترین محصول را نتیجه می‌دهد (وراوسینو و همکاران، ۱۹۹۱).

همچنین جهت استفاده از کلیه عوامل و نهاده‌های تولید، تراکم گیاهی اهمیت خاصی دارد. کم بودن تعداد گیاه در واحد سطح سبب می‌شود که از پتانسیل تولید حداکثر استفاده به عمل نیامده و از طرف دیگر افزایش تراکم موجب افزایش رقابت گردیده و در کارایی گیاه اختلال ایجاد می‌کند (فتحی و همکاران، ۱۳۸۹). الگوی تجمع ماده خشک در کلزا به صورت منحنی سیگموئیدی است که دارای یک مرحله رشد رویشی آهسته، یک مرحله رشد سریع که بعد از گلدهی به حداکثر خود می‌رسد و یک کاهش رشد در مرحله تشکیل غلاف می‌باشد. فزونی رقابت ناشی از افزایش تراکم سبب می‌گردد که سرعت تجمع ماده خشک در هر بوته کاهش یابد، ولی تجمع ماده خشک در واحد سطح به دلیل افزایش بوته زیاد می‌گردد (باست و همکاران، ۱۹۷۰). در تحقیق خلیلی و سامانی و همکاران (۱۳۷۷) با کاهش فاصله ردیف و افزایش تراکم، رقابت میان‌بوته‌ای تشدید و میزان تجمع ماده خشک در گیاه کاهش یافت. با این وجود افزایش تعداد از ٤ به ۲۰ بوته در واحد سطح از طریق افزایش شاخص سطح برگ، جذب نور و تولید مواد فتوسنتزی، سبب افزایش میزان تجمع ماده خشک در واحد سطح گردید.

تحقیقات نشان می‌دهد که هر چه تاریخ کاشت کلزا عقب بیفتد، دوره رشد گیاه کوتاهتر شده و ماده خشک تولید شده کاهش می یابد. به طوری که تاریخ کاشت زودتر سبب می شود که روزت قوی و پر برگ تولید شده و مرحله طویل شدن ساقه یا مراحل خطی رشد افزایش یابد و تولید ماده خشک گیاه سریعتر و در شرایط محیطی بهتری انجام شود. ولی در سایر تاریخ‌های کاشت گیاه با روزتی که دارای پوشش برگی کمی می‌باشد به ساقه می‌رود و در نتیجه قدرت تولید ماده خشک گیاه کاهش می‌یابد (فتحی و همکاران، ۲۰۰۳). ضریب خاموشی مقدار کاهش نور در جامعه گیاهی را با عدد بیان می‌کند (گاردنر و همکاران، ۱۳٦۸).

K[1] (ضریب خاموشی) و RUE[2] (کارایی مصرف تشعشع) پارامترهای کلیدی در مدل‌های رشد بسیاری از گیاهان هستند (رابرتسون وهمکاران، ۲۰۰۱). مقدار K برای محصولاتی با برگ‌های به‌طور عمده عمودی، یا با برگ‌های منطبق بر هم که حالت انبوهی ایجاد می‌کنند، بین ۰/۳ تا ۰/٤٥ متغیر است. میزان کارایی مصرف تشعشع برای کلزای پاییزه ۱/۲ و برای کلزای بهاره ۱/۵ گرم ماده خشک به ازای هر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی می‌باشد. این مقادیر مربوط به قبل از گلدهی بوده و شامل فتوسنتز غلاف نمی‌باشد (ماریسون و استوارت، ۱۹۹۵). میزان کارایی مصرف تشعشع در زمان پر شدن دانه در کلزا کاهش یافته و در حدود ۰/٤ تا ۰/۷۵ گرم مگاژول می‌باشد. این پژوهش به منظور به‌دست آوردن ضریب خاموشی، کارایی مصرف تشعشع و ضرایب تولید ماده خشک گیاه کلزا رقم هایولا ٤۰۱ در تاریخ‌های کاشت و تراکمهای مختلف بوته صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان واقع در ۳٦ کیلومتری شمال شرقی اهواز که در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳٦ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ و ٤۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲٤ متر از سطح دریا قرار دارد، در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ اجرا گردید. متوسط بارندگی و دمای سالانه محل آزمایش به‌ترتیب ۲۳۵ میلی‌متر و ۲۰/۳۳ درجه سانتی‌گراد بود. خاک محل آزمایش دارای بافت رسی با اسیدیته‌ی ۷/٤ و شوری ۳/٦ دسی زیمنس بر متر بود. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه خاک محل آزمایش، میزان فسفر و پتاس خاک به‌ترتیب ۷/۲ و ۲۱٤ پی پی ام و میزان مواد آلی و نیتروژن به ترتیب ۰/۷٦ درصد و ۵/٤ پی پی ام ارزیابی شد.

آزمایش به صورت فاکتوریل با دو فاکتور تاریخ کاشت در سه سطح (۸ آذر، ۲۸ آذر و ۱۸ دی) و تراکم بوته در چهار سطح (۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ بوته در متر مربع) در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با ٤ تکرار اجرا شد. برای ایجاد تراکم‌های مختلف، فاصله بین ردیفها ۳۰ سانتی متر و فاصله روی ردیفها به ترتیب ٦/٦، ٤/۷، ۳/۷ و ۳ در نظر گرفته شد. کاشت به روش دستی و در عمق ۲ سانتی متر انجام شد. هرکرت دارای ۷ خط کاشت به طول۳/۵ متر و عرض ۲/۱ متر بود. فاصله بین کرتها ۰/۵ متر و فاصله بین بلوک‌ها نیزحدود ۲ متر در نظر گرفته شد. فسفر مورد نیاز به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع فسفات آمونیوم و پتاسم به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات پتاسیم تأمین و به همراه یک‌سوم نیتروژن یعنی ۶۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره در زمان کاشت به زمین داده شد. مابقی کود نیتروژن توصیه شده (۱۲۰ کیلوگرم باقی‌مانده) در ۲ مرحله اوایل ساقه‌روی و گل‌دهی گیاه کلزا به صورت سرک مورد استفاده قرار گرفت.

کاشت به طریق خشکه‌کاری و با دست انجام گرفت. برای اطمینان از دست‌یابی به تراکم بوته مورد نظر در زمان کاشت بیش از میزان لازم بذر مصرف گردید و بعد از استقرار بوته‌ها به منظور دست‌یابی به تراکم بوته مورد نظر، مزرعه در مرحله ٤-۳ برگی تنک شد. مبارزه با علف‌های هرز توسط عملیات وجین صورت گرفت. جهت آبیاری مزرعه فاروهای مورد نیاز کشت به فاصله ۳۰ سانتی‌متر با استفاده از شن‌کش ایجاد شدند. سپس با استفاده از نهرکن کانال‌های انتقال آب احداث گردید. آبیاری اول مزرعه بلافاصله بعد از کشت انجام شد. آبیاری‌های بعدی بر اساس نیاز گیاه انجام گرفت.

1- Extinction Coefficient
2- Radiation use Efficiency

در این تحقیق برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه در هر نمونه برداری (در طی مراحل مختلف رشد و نمو)، از خطوط دوم و سوم ۵ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و پس از اندازه‌گیری سطح برگ و شاخص سطح برگ به روش وزنی، برگ‌های سبز، برگ‌های زرد و ریزش‌یافته، ساقه‌ها و غلاف‌ها به‌صورت جداگانه در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۵۲ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت درون آون قرار گرفتند، سپس وزن خشک آنها اندازه-گیری شد. برای سنجش نسبت تشعشع دریافتی از عکس‌برداری عمودی استفاده شد. پس از آن فیلم‌ها بلافاصله ظاهر، اسکن و به کامپیوتر منتقل شدند. سپس با نرم افزار ***Image tools*** و فتوشاپ نسبت پوشش گیاهی که برابر با FI[1] (نسبت تشعشع دریافت شده) است، اندازه گیری شد. با توجه به داشتن نسبت تشعشع دریافتی برای تعیین ضریب خاموشی از معادله زیر استفاده شد (علیمددی و همکاران، ۱۳۸۵):

$$FI=1-\exp(-k\times LAI) \quad (1)$$

که در این معادله FI نسبت تشعشع دریافتی، K ضریب خاموشی و LAI[2] شاخص سطح برگ می‌باشد. برای این منظور، ابتدا ساعات آفتابی برای هر روز از ایستگاه هواشناسی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین گرفته شد و به تشعشع خورشیدی رسیده تبدیل شد (دورنباس و پرویت، ۱۹۷۷). سپس مقادیر تشعشع خورشیدی رسیده روزانه از حاصل‌ضرب تشعشع خورشیدی رسیده و نسبت تشعشع دریافتی در هر روز محاسبه شد. برای به‌دست آوردن تشعشع دریافت شده تجمعی، مقدار تشعشع خورشیدی دریافت شده روزانه با مجموع تشعشع دریافتی روزهای قبل جمع شد. کارایی استفاده از تشعشع از شیب خط ماده خشک تجمعی در مقابل تشعشع دریافت شده تجمعی به‌دست آمد (سینکلر و ماچو، ۱۹۹۹). به منظور توصیف روند تغییرات شاخص سطح برگ نسبت به روزهای پس از کاشت، از معادله زیر استفاده شد که بهترین برازش را نسبت به نقاط واقعی اندازه‌گیری شده نشان داد (زارعی، ۱۳۸۳):

$$Al=((a\times\exp((-a)\times(dap-b)\times c))/(1-\exp((-a)\times(dap-b)))2 \quad (2)$$

در این معادله LAI شاخص سطح برگ، dap روز بعد از کاشت و a-b-c ضرایب معادله می‌باشند.

به منظور توصیف روند تغییرات تجمع ماده خشک در طول فصل رشد از دو معادله لجستیک و اکسپولینیر (نمایی خطی) استفاده شد که بیشترین همگرایی و برازش را با نقاط اندازه‌گیری شده جهت پیش‌بینی تغییرات وزن خشک اندامهای هوایی نسبت به روزهای پس از کاشت نشان داد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۵). معادله لجستیک:

$$Y=W_{max}/(1+\exp(-K\times(x-T_m))) \quad (3)$$

که در این معادله W_{max} حداکثر ماده خشک تولید شده (گرم در مترمربع)، K ضریب معادله و T_m مدت زمانی که در آن تجمع ماده خشک به ٪۵۰ حداکثر خود می‌رسد می‌باشد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۵). معادله اکسپولینیر (نمایی خطی):

$$y=(cm/rm)\times\log(1+\exp(rm\times(x-tb))); \quad (4)$$

cm حداکثر سرعت رشد محصول در فاز خطی، rm حداکثر سرعت رشد نسبی در فاز نمایی رشد، x زمان پس از کاشت، tb زمان از دست رفته تا شروع فاز خطی می‌باشد. برای توصیف تغییرات شاخص برداشت در مقابل زمان از معادله زیر استفاده شد (زارعی، ۱۳۸۳):

$$Y=\begin{cases} a+bx & \text{اگر } x<x_0 \\ a+bx_0 & \text{اگر } x\geq x_0 \end{cases} \quad (5)$$

1- Fraction Intercepted
2- Leaf Area Index

که در این معادله Y شاخص برداشت غلاف (در این آزمایش عملکرد اقتصادی غلاف در نظر گرفته شد)، a عرض از مبدأ (محل قطع محور Y)، b سرعت افزایش شاخص برداشت غلاف در مقابل زمان (dHI/dt، درصد در روز)، X زمان شروع فاز خطی افزایش شاخص برداشت غلاف (روز بعد از گلدهی)، X□ زمان پایان فاز خطی افزایش شاخص برداشت غلاف (روز بعد از گلدهی) می‌باشد.

به‌منظور محاسبه تفاوت میان مقادیر پیش‌بینی شده توسط برآوردگر آماری و مقادیر واقعی از شاخص جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد (میرهاشمی و بنایان، ۱۳۹۰):

(٦)

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i-O_i)^2}{n}}$$

که در این معادله RMSE جذر میانگین مربعات خطا، S_i و O_i به ترتیب داده‌های پیش‌بینی شده و مشاهده شده و n تعداد مشاهدات می‌باشد.

تجزیه واریانس داده‌های مختلف به کمک نرم افزار SAS انجام گرفت. در صورت معنی‌دار بودن مقادیر F، میانگین‌ها با آزمون LSD مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

تغییرات شاخص سطح برگ

با تأخیر در کاشت شاخص سطح برگ کاهش یافت، به‌گونه‌ای‌که شاخص سطح برگ در مرحله گلدهی از ۳/۳۱ در تاریخ کاشت اول به ۱/۸۲ در تاریخ کاشت سوم نزول یافت. با افزایش تراکم بوته شاخص سطح برگ سیر صعودی نشان داد، به نحوی که در مرحله گلدهی از ۱/۷۲ در تراکم ۵۰ بوته در مترمربع به ۳/۳۲ در تراکم ۱۱۰ بوته در متر مربع افزایش یافت (جدول ۱). به‌طور کلی با افزایش تراکم و تأخیر در کاشت زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ کاهش یافت (جدول ۱). در تراکم بالا به علت افزایش تعداد بوته‌ها، تعداد برگ زیاد شده و منجر به افزایش شاخص سطح برگ گردید و زمان رسیدن به حداکثر آن هم کمتر شد. علت کم شدن شاخص سطح برگ با تأخیر در کاشت را می‌توان در کوتاه شدن طول دوره رویشی به علت افزایش طول روز و دمای محیط دانست. به همین علت زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ نیز کاهش می‌یابد (خیاط و همکاران، ۱۳۸۸). مشابه با نتایج پژوهش حاضر، گزارش شده است که با افزایش تراکم در گیاه کلزا، LAI افزایش پیدا می‌کند (کریمیان و همکاران، ۱۳۸۸). نتایج به‌دست آمده در جدول ۱ نشان داد که تفاوت میان مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی (RMSE)، حدود ۲۰٪ برای LAI بود که نشان دهنده کارایی خوب برآوردگر آماری در پیش‌بینی LAI می‌باشد (میرهاشمی و بنایان، ۱۳۹۰). همچنین همبستگی بالا (R^2=92) و معنی‌داری (P<۰/۰۵) بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی برای این پارامتر مشاهده شد.

ضریب خاموشی

معادله ۱ به‌خوبی تغییرات دریافت تشعشع را در مقابل شاخص سطح برگ توجه می‌کند. به‌نظر می‌رسد مقدار ضریب خاموشی به چگونگی توزیع برگ‌ها و مقدار نور عبور یافته توسط کانوپی بستگی دارد که با افزایش تراکم، تغییری در نحوه توزیع برگ‌ها صورت نمی‌گیرد. با وجود بیشتر بودن ضریب خاموشی به‌دست آمده برای کلزا در تاریخ کاشت اول و تراکم ۱۱۰ بوته در متر مربع (۰/٤٧٦) و کمتر بودن آن در تاریخ کاشت سوم و تراکم ۵۰ بوته در متر مربع (۰/۳۰۸) (جدول ۲)، مقادیر ضریب خاموشی بین تاریخ‌های مختلف کاشت و تراکم بوته تفاوت معنی‌داری نشان نداد. مقدار ضریب خاموشی محاسبه

شده بر اساس تشعشع فعال فتوسنتزی برای کلزا در این آزمایش حدود ۰/۳۹۲ بود (جدول ۲). تامسون و سیدیک (۱۹۹۷) گزارش کردند که مقادیر کارایی مصرف نور و ضریب خاموشی متفاوت می‌تواند به خوبی نشان‌دهنده تفاوت فیزیولوژیک بین گیاهان و در نتیجه تفاوت در تولید ماده خشک در آنها باشد. مادونی و همکاران (۲۰۰۱) بیان داشتند که تراکم گیاهی از طریق تأثیر بر زاویه و اندازه برگ بر ضریب خاموشی مؤثر واقع می‌شود. مجد نصیری و احمدی (۱۳۸٤) با آزمایش خود بر روی گیاه گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۸ به این نتیجه رسیدند که میزان ضریب خاموشی با افزایش تراکم از ۱۳/۳ به ٤۰ بوته در متر مربع از ۱/۰۸ به ۰/۵۵ کاهش یافت. همچنین با تأخیر در کاشت گیاه کلرنگ رقم اراک ۲۸۱۸ از بهار به تابستان میزان ضریب خاموشی در تراکم ٤۰ بوته در متر مربع از ۰/۵۵ به ۰/۵٤ کاهش و در تراکم ۱۳/۳ بوته در متر مربع از ۱/۰۸ به ۱/۳۵ افزایش نشان داد.

جدول۱- تغییرات شاخص سطح برگ گیاه کلزا در تاریخ‌های مختلف و تراکم‌های کاشت

فاکتور	a±se	b±se	c±se	LAI_{max}	RMSE	R^2
تاریخ کاشت						
۹۰/۹/۸	۰/۰٦±۰/۰۰۵	۸۲/۸٦±۱/۵۳	۲۲۲/۳±۱٤/٤۵	۳/۳۱	۰/٤۲۹	۰/۹۷
۹۰/۹/۲۸	۰/۰۵۹±۰/۰۰۹	۸۲/۵٤±۲/۷	۱٦۳/٦±۱۸/٦٦	۲/٤۱	۰/۵۳۸	۰/۹۳
۹۰/۱۰/۱۸	۰/۰۵۸±۰/۰۱۲	۸۲/۵٤±۳/۷۷	۱۲٦/۳±۲۰/۰٦	۱/۸۲	۰/۵٦٤	۰/۸۷
تراکم کاشت						
۵۰	۰/۰۵۸±۰/۰۱٦	۸۲/۳۳±۵/۰۲	۱۱۹/٤±۲۵/۲۱	۱/۷۲	۰/٦۰۹	۰/۸۵
۷۰	۰/۰۵۸±۰/۰۱۱	۸۲/۷۵±۳/۳۸	۱٤۹/٤±۲۱/۲۱	۲/۱٦	۰/۵۱۲	۰/۹۲
۹۰	۰/۰٦±۰/۰۰۸	۸۲/۸۳±۲/۵۹	۱۹۲±۲۱/۱٦	۲/۸۸	۰/۵٤۷	۰/۹۵
۱۱۰	۰/۰٦±۰/۰۰۵	۸۲/٦۹±۱/٦۹	۲۲۲/۷±۱٦	۳/۳۲	۰/٤۱۱	۰/۹۷

(**a** و **c**) ضرایب معادله‌ی پیش‌بینی کننده‌ی تغییرات شاخص سطح برگ در مقابل زمان، (b) زمان وقوع حداکثر شاخص سطح برگ، (LAImax) حداکثر شاخص سطح برگ، (RMSE) جذر میانگین مربعات خطا و (R^2) ضریب تبیین می‌باشد.

کارایی مصرف تشعشع

کارایی مصرف تشعشع از برازش رابطه خطی بین تشعشع تجمعی دریافت شده و ماده خشک تجمعی محاسبه شد که شیب این خط کارایی مصرف تشعشع می‌باشد (جدول ۳). بررسی RUE در بین تاریخ‌های مختلف کاشت و تراکم بوته نشان داد که بیشترین RUE در تاریخ کاشت مناسب در تراکم ۱۱۰ بوته در متر مربع و در تاریخ‌های کاشت نامناسب در تراکم ۵۰ بوته در متر به‌دست آمد (جدول۳). با توجه به اینکه میزان RUE در تراکم‌های مختلف تفاوت معنی‌داری با هم نداشت بر خلاف گفته‌ی کریمیان کلیشادرفی و همکاران (۱۳۸۸) و دایر و همکاران (۱۹۹۲) مبنی بر متأثر بودن RUE از عوامل مدیریتی نظیر تاریخ کاشت، تراکم و فواصل بوته، میزان آن برای مجموع داده‌ها در هر تاریخ کاشت محاسبه شد. میزان RUE در تاریخ کاشت اول ۰/۹۱٦ گرم بر مگاژول، در تاریخ کاشت دوم ۰/۹۳۹ و در تاریخ کاشت سوم ۰/۹۰٦ گرم بر مگاژول بود (جدول۳). میزان RUE به‌دست آمده در این آزمایش در تاریخ‌های مختلف کاشت حدود ۰/۹۲ گرم بر مگاژول بود. کریمیان کلیشادرفی و همکاران (۱۳۸۸) میزان RUE را در تراکم‌های ٦۰، ۸۰ و ۱۰۰ بوته در متر مربع گیاه کلزا، به‌ترتیب ۱/۸۵، ۲/۰۲ و ۱/٦۳ گرم بر مگاژول به‌دست آوردند.

جدول۲- ضریب خاموشی گیاه کلزا در تاریخ‌های مختلف و تراکم‌های کاشت

تاریخ- تراکم کاشت	K±se	RMSE	R^2
۹۰/۹/۸			
۵۰	۰/٤۱٦±۰/۰۲۸	۰/۰۵۳	۰/۹۹۳
۷۰	۰/٤۳۲±۰/۰۳۲	۰/۰۵۹	۰/۹۸۹
۹۰	۰/٤٦٤±۰/۰٤	۰/۰٦٦	۰/۹۹۲
۱۱۰	۰/٤۷٦±۰/۰٤۳	۰/۰٦۸	۰/۹۹۲
۹۰/۹/۲۸			
۵۰	۰/۳۳۵±۰/۰۱	۰/۰۱۸	۰/۹۹۷
۷۰	۰/۳۷±۰/۰۱۷	۰/۰۳۳	۰/۹۸۹
۹۰	۰/٤۲۲±۰/۰۳۱	۰/۰۵۸	۰/۹۸۸
۱۱۰	۰/٤۵۲±۰/۰۳۹	۰/۰٦۹	۰/۹۹
۹۰/۱۰/۱۸			
۵۰	۰/۳۰۸±۰/۰۰۹	۰/۰۱۲	۰/۹۹۷
۷۰	۰/۳۳۱±۰/۰۰۹	۰/۰۱٦	۰/۹۹۷
۹۰	۰/۳۷۲±۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۹۹٦
۱۱۰	۰/٤۳۳±۰/۰۳۲	۰/۰۵۷	۰/۹۹٤
تاریخ کاشت			
۹۰/۹/۸	۰/٤٤٦±۰/۰۱۷	۰/۰٦	۰/۹۹۲
۹۰/۹/۲۸	۰/٤۰۱±۰/۰۱٦	۰/۰۵۸	۰/۹۸٦
۹۰/۱۰/۱۸	۰/۳۷۵±۰/۰۱٤	۰/۰٤۸	۰/۹۸۵
تراکم بوته			
۵۰	۰/۳٦۹±۰/۰۱٦	۰/۰٤۷	۰/۹۸۷
۷۰	۰/۳۸۵±۰/۰۱٦	۰/۰۵۱	۰/۹۸۷
۹۰	۰/٤۲±۰/۰۱۸	۰/۰۵۹	۰/۹۹
۱۱۰	۰/٤۵۳±۰/۰۲۱	۰/۰٦۲	۰/۹۹۱

(K) ضریب خاموشی، RMSE جذر میانگین مربعات خطا و R2 ضریب تبیین می‌باشد.

عوامل زیادی همچون ورس بوته‌ها، تسریع پیری برگ‌های پایینی گیاه، محدودیت جذب نیتروژن از خاک و محدودیت آب و عناصر غذایی از عوامل کاهش دهنده RUE در تراکم‌های بالا می‌باشد (لیچ و همکاران، ۱۹۹۸). در تراکم بالا تحرک نور در بین شاخساره گیاه دچار اختلال می‌شود و رسیدن به کارایی مصرف تشعشع مناسب را کاهش می‌دهد.

نتایج به‌دست آمده در جدول ۳ نشان داد که تفاوت میان مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی (RMSE)، کمتر از ٪۲۰ برای RUE بود. این نشان دهنده کارایی خوب برآوردگر آماری در پیش‌بینی RUE می‌باشد (میرهاشمی و بنایان، ۱۳۹۰). همچنین همبستگی بالایی (R^2=95) بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی مشاهده شد.

جدول۳- کارایی مصرف تشعشع گیاه کلزا در تاریخ‌های مختلف و تراکم‌های کاشت

تاریخ- تراکم کاشت	b±se	RMSE	R^2
۹۰/۹/۸			
۵۰	۰/٦۹۵±۰/۰۷	۰/۱۷۲	۰/۹٦۱
۷۰	۰/۸۷۷±۰/۰۹۳	۰/۱۹۳	۰/۹۵٦
۹۰	۰/۹٤۱±۰/۱۱۷	۰/۱۱٤	۰/۹٤۱
۱۱۰	۱/۰٤۳±۰/۱۳	۰/۱۰۸	۰/۹٤۱
۹۰/۹/۲۸			
۵۰	۱/۰۲٤±۰/۰۷۷	۰/۱۰۱	۰/۹۷۷
۷۰	۰/۹۳۱±۰/۰۵۳	۰/۱۰۵	۰/۹۸٦
۹۰	۰/۸۸٦±۰/۰۵۳	۰/۱۹٤	۰/۹۸۵
۱۱۰	۰/۹٦۸±۰/۰٦۲	۰/۱۷۷	۰/۹۸۳
۹۰/۱۰/۱۸			
۵۰	۱/۱۹±۰/۰٦۵	۰/۱۰۵	۰/۹۸۸
۷۰	۱/۰٦۷±۰/۰٤۸	۰/۱٤۳	۰/۹۹۱
۹۰	۰/۹٤۲±۰/۰٦۲	۰/۱۵۳	۰/۹۸۲
۱۱۰	۰/۸۰٦±۰/۰۵	۰/۱۵۹	۰/۹۸٤
تاریخ کاشت			
۹۰/۹/۸	۰/۹۱٦± /۰۵۷	۰/۱۷۳	۰/۹۳
۹۰/۹/۲۸	۰/۹۳۹±۰/۰۲۹	۰/۱٤	۰/۹۸۲
۹۰/۱۰/۱۸	۰/۹۰٦±۰/۰۳۷	۰/۱۷٦	۰/۹٦۸
تراکم بوته			
۵۰	۰/۸۳٦±۰/۰٦٤	۰/۱۵۹	۰/۹۲۳
۷۰	۰/۹۲۹±۰/۰٤٤	۰/۱۲	۰/۹٦۹
۹۰	۰/۹۲۲±۰/۰٤۷	۰/۱۷۱	۰/۹٦٤
۱۱۰	۰/۹٤۳±۰/۰۵۵	۰/۱۱٤	۰/۹۵٤

ضرایب معادله‌ی توصیف کننده‌ی (**y=bx**) تجمع ماده خشک (گرم در متر مربع) در مقابل تشعشع دریافتی تجمعی (مگاژول در متر مربع). **b** شیب خط کارایی استفاده از تشعشع (گرم بر مگاژول)، **RMSE** جذر میانگین مربعات خطا و **R2** ضریب تبیین می‌باشد.

الگوی تجمع ماده خشک

از معادله لجستیک بدین منظور استفاده شد که زمان حصول ٪۵۰ حداکثر ماده خشک و میزان حداکثر ماده خشک تولیدی محاسبه گردد. مقایسه مدت زمان لازم برای رسیدن ماده خشک به ٪۵۰ حداکثر خود نشان داد که با افزایش تراکم، مدت زمان رسیدن به آن افزایش جزیی یافت، اما اختلاف معنی‌داری بین ترکیبات مختلف مشاهده نشد (جدول٤). بین تاریخ-های مختلف کاشت اختلاف معنی‌دار بود و با تأخیر در کاشت، زمان حصول ٪۵۰ حداکثر ماده خشک کاهش یافت، به نحوی که در تاریخ کاشت سوم، از تراکم اول تا چهارم در مقایسه با تاریخ کاشت اول، زمان حصول ٪۵۰ تجمع ماده خشک به ترتیب ۲۳، ۲۱/۹، ۲۲/٦ و ۲۳/۷ درصد کاهش یافت (جدول ٤). در بررسی حداکثر ماده خشک تولیدی، مشاهده شد که با افزایش تراکم میزان ماده خشک تولیدی افزایش

معنی‌داری یافت، به‌صورتی‌که در تراکم چهارم، حداکثر ماده خشک تولیدی تاریخ‌های کاشت اول تا سوم به ترتیب به میزان ۵۷۷/۹، ٤٦١ و ۳۵۹/۱ گرم در متر مربع نسبت به تراکم اول افزایش پیدا کرد (جدول٤). در بررسی کندیل و همکاران (۱۹۹٦)، با افزایش تراکم بوته از ۵۰ به ۹۰ بوته در متر مربع میانگین عملکرد بیولوژیک از ۱۱۰٤۹/۹ کیلوگرم در هکتار به ۱٤۰٤٦/۱ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. این افزایش از طریق افزایش وزن خشک کل بوته و تعداد خورجین در واحد سطح حاصل شد. حداکثر ماده خشک تولیدی در تاریخ کاشت سوم به ترتیب به میزان ۱۷۹/۳، ۲۵۱/٤، ۳۲۸ و ۳۹۸/۱ گرم در متر مربع نسبت به تاریخ کاشت اول در تراکم‌های اول تا چهارم کاهش یافت. دهدشتی و همکاران (۲۰۰۷) گزارش نمودند حداقل ماده خشک در کلزا در تاریخ‌های کاشت دیر هنگام به‌دست آمد. در تاریخ‌های مختلف کاشت نیز این اختلاف در سطح ٪۵ معنی‌دار بود، به‌صورتی‌که با تأخیر در کاشت، به‌علت افزایش دما و کوتاه شدن طول دوره رشد و تولید کمتر مواد فتوسنتزی در گیاه، زمان رسیدن به ٪۵۰ تجمع ماده خشک و حداکثر ماده خشک تولیدی کاهش یافت. که این نتایج با نتایج به‌دست آمده توسط محمدی نیکپور و کوچکی (۱۳۸۷) در گلرنگ هم‌خوانی داشت.

نتایج به‌دست آمده در جدول ٤ نشان داد که تفاوت میان مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی (RMSE)، کمتر از ٪۲۰ برای توصیف روند تغییرات تجمع ماده خشک در برابر زمان در تاریخ‌های مختلف و تراکم‌های کاشت بود که نشان دهنده کارایی خوب برآوردگر آماری در پیش‌بینی این روند می‌باشد (میرهاشمی و بنایان، ۱۳۹۰). همچنین همبستگی بالا (R^2=95) و معنی‌داری (P<۰/۰۵) بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی مشاهده شد.

در معادله اکسپولینیر (نمایی خطی) بررسی حداکثر سرعت رشد محصول در بین تاریخ‌های مختلف کاشت و تراکم بوته نشان داد که بیشترین سرعت رشد محصول در تاریخ کاشت اول و تراکم چهارم با میانگین ۲۸/۸۸ گرم در متر مربع در روز و کمترین آن در تاریخ کاشت سوم و تراکم اول با میانگین ۹/۹۸ گرم در متر مربع در روز به‌دست آمد (جدول ۵).

شیرانی راد (۱۳۷۳) در کرج گزارش داد که تأخیر در کاشت به موقع سبب کاهش ارتفاع بوته، سرعت رشد محصول و وزن خشک کل گیاه می‌گردد. وی همچنین گزارش داد حداکثر شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و ماده خشک گیاهی در تاریخ کشت زود به‌دست می‌آید. کشت‌های تأخیری به‌دلیل کافی نبودن پوشش گیاهی، پایین بودن درصد جذب نور و گرمای زودرس در انتهای فصل از سرعت رشد محصول کمتری برخوردار می‌باشند (پورعیسی و همکاران، ۱۳۸٦). همچنین بررسی سرعت رشد محصول در دوره خطی نشان داد که با افزایش تراکم، حداکثر سرعت رشد روزانه محصول روند صعودی داشت (جدول ۵). که با نتایج به‌دست آمده توسط گنجعلی و همکاران (۱۳۷٦) مطابقت داشت. در بین تاریخ مختلف کاشت، اختلاف معنی‌داری در سطح ٪۵ مشاهده نگردید (جدول ۵). در بررسی حداکثر سرعت رشد نسبی در فاز نمایی رشد در بین فاکتورهای موجود، اختلاف معنی‌داری در سطح ٪۵ مشاهده نگردید. در مقایسه زمان‌های از دست رفته تا شروع فاز خطی تجمع ماده خشک در تاریخ کاشت و تراکم‌های مختلف، با وجود کاهش زمان از دست رفته با تأخیر در کاشت و همچنین افزایش زمان از دست رفته با افزایش تراکم، تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۵). نتایج به‌دست آمده در جدول ۵ نشان داد که تفاوت میان مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی (RMSE) بیشتر از ٪۲۰ برای توصیف روند تغییرات تجمع ماده خشک در برابر زمان در تاریخ‌های مختلف و تراکم‌های کاشت بود که نشان دهنده کارایی متوسط برآوردگر آماری در پیش‌بینی این روند

مـی‌باشـد (میرهاشـمی و بنایـان، ۱۳۹۰). همچنـین و واقعی مشاهده شد.
همبستگی بالایی (R^2=96) بین مقادیر پیش‌بینی شده

جدول٤- ضرایب معادله‌ی لجستیک برای توصیف روند تغییرات تجمع ماده خشک در برابر زمان در تاریخ‌های مختلف و تراکم‌های کاشت

تاریخ- تراکم کاشت	K±se	T_m±se	W_{max}±se	RMSE	R^2
۹۰/۹/۸					
۵۰	۰/۱۰٦±۰/۰۰۷	٦۰/۲۲±۰/۷۸	۵٤۷/۳±۷/٦۱	۲۱/٦۲	۰/۹۹٦
۷۰	۰/۱۰۷±۰/۰۰۷	۵۹/٤٦±۰/۷۵	۷۲۸±۹/٤۲	۲۷/۲۲	۰/۹۹٦
۹۰	۰/۱۰۳±۰/۰۰۹	٦۰/۹۸±۱/۱۱	۹۳۹/۱±۱۷/٦۹	٤۵/۹۷	۰/۹۹٤
۱۱۰	۰/۱۲٤±۰/۰۱۵	٦۱/۳۲±۰/۷۳٦	۱۱۲۵/۲±۱۸/٦۲	٤۷/۷۵	۰/۹۹۵
۹۰/۹/۲۸					
۵۰	۰/۱۲۹±۰/۰۰۷	۵۳/۸۸±۰/٦٤٤	٤٤۷/۸±۵/۵۹	۱۵/۰۳	۰/۹۹۷
۷۰	۰/۱۲۰±۰/۰۰۸	۵٤/۷۱±۰/٦۸۲	۵۷٤/۳±٦/۸۳	۱۹/۹۵	۰/۹۹۷
۹۰	۰/۱۲۰±۰/۰۰۹	۵۵/۲۷±۰/٦٦۷	۷۲۸±۱۰/۷۲	۲۷/۲٤	۰/۹۹٦
۱۱۰	۰/۱۳۱±۰/۰۱۲	۵۵±۰/٦۲۷	۹۰۹/۷±۱۱/٤۹	۳۱/۲۸	۰/۹۹۷
۹۰/۱۰/۱۸					
۵۰	۰/۱۵۹±۰/۰۱۱	٤٦/۳۲±۰/۵۳۸	۳٦۸±٤/٦	۱۳/۷	۰/۹۹۷
۷۰	۰/۱۵۰±۰/۰۱۲	٤٦/۳۹±۰/٦۸۲	٤۷٦/٦±٦/۷۹	۱۹/٤	۰/۹۹٦
۹۰	۰/۱۵۷±۰/۰۱۵	٤۷/۱٦±۰/۵۵	٦۱۱/۱±۸/۲۷	۲٤/٤٦	۰/۹۹٦
۱۱۰	۰/۱٦۲±۰/۰۱۹	٤٦/۷٦±۰/۷۳	۷۲۷/۱±۱۳/۵۲	۳۵/۱۱	۰/۹۹٤
تاریخ کاشت					
۹۰/۹/۸	۰/۱۱۱±۰/۰۱۸	٦۰/۳۱±۱/٦٦	۸۱۹/٦±۲۵/۰۱	۱۳۷/۷٦	۰/۹۳۳
۹۰/۹/۲۸	۰/۱۱۷±۰/۰۱۹	۵٤/۸۲±۱/٦۱	٦٦۱/٦±۲۰/۳۳	۱۰۹/۸۰	۰/۹۳٤
۹۰/۱۰/۱۸	۰/۱۵۲±۰/۰۲٦	٤٦/٤۸±۱/۲۸	۵۳۵/۸±۱۵/۸۳	۹۰/۰۷	۰/۹۳۸
تراکم کاشت					
۵۰	۰/۱۱۷±۰/۰۱	۵۳/۱۲±۱/۰۸	٤۵۷/٤±۹/۵۲	٤۵/۷۷	۰/۹۷۵
۷۰	۰/۱۱٤±۰/۰۱۱	۵۳/۵۸±۱/۲۵	٦۰۲/۳±۱۲/۹۷	٦٤/٦۷	۰/۹۷۳
۹۰	۰/۱۱±۰/۰۱۲	۵۳/۷۲±۱/۲۷	۷٦۰/۱±۱۸/۱۲	۸۵/۵۷	۰/۹٦۸
۱۱۰	۰/۱۱۱±۰/۰۱۳	۵۳/۹٤±۱/۲۹	۹۳۳/۱±۲۲/٤۲	۱۰۱/٦۳	۰/۹۷۱

K ضریب معادله (سرعت افزایش ماده خشک)، T_m مدت زمانی که در آن تجمع ماده خشک به ٪۵۰ حداکثر خود می‌رسد، W_{max} حداکثر ماده خشک تولید شده (گرم در متر مربع)، RMSE جذر میانگین مربعات خطا و R^2 ضریب تبیین می‌باشد.

جدول ۵- ضرایب معادله نمایی خطی (اکسپولینیر) به منظور توصیف روند تغییرات تجمع ماده خشک در برابر زمان در تاریخ‌های مختلف و تراکم‌های کاشت

تاریخ- تراکم کاشت	cm±se	rm±se	tb±se	RMSE	R^2
۹۰/۹/۸					
۵۰	۱۱/۱۳±۰/۳۹۲	۰/۱۸±۰/۰۳۲	۳۵/۵۹±۱/۳۶	۱/۴۸	۰/۹۹۸
۷۰	۱۴/۱±۰/۴۷۷	۰/۱۹۸±۰/۰۴۲	۳۳/۲۷±۱/۴۱	۵/۹۳	۰/۹۹۸
۹۰	۲۲/۵۲±۱/۷۷	۰/۰۹۹±۰/۰۱۳	۴۲/۹۷±۳/۰۷	۸/۲۸	۰/۹۹۶
۱۱۰	۲۸/۸۸±۱/۸۲	۰/۰۱۰±۰/۰۱۱	۴۳/۷۷±۲/۲۶	۸/۰۱	۰/۹۹۷
۹۰/۹/۲۸					
۵۰	۱۰/۳۳±۰/۳۲	۰/۲۶۳±۰/۰۶۶	۳۲/۱۸±۱/۱	۸/۴۸	۰/۹۹۸
۷۰	۱۴/۴۸±۰/۶۱۳	۰/۱۴۶±۰/۰۱۴	۳۵/۶۴±۱/۳۶	۹/۷	۰/۹۹۸
۹۰	۲۰/۹۲±۱/۱۴	۰/۱۱۴±۰/۰۰۹	۳۹/۸۲±۱/۶۶	۱۴/۱۱	۰/۹۹۷
۱۱۰	۲۶/۵۲±۱/۲۹	۰/۱۱۴±۰/۰۰۹	۳۹/۸۷±۱/۵۲	۴/۸۷	۰/۹۹۸
۹۰/۱۰/۱۸					
۵۰	۹/۹۸±۰/۳۷	۰/۳۳۸±۰/۱۲۱	۲۷/۷۱±۱/۱۲	۹/۱۸	۰/۹۹۷
۷۰	۱۳/۳۲±۰/۵۳	۰/۲۱۱±۰/۰۳۳	۲۸/۶۳±۱/۲۱	۹/۶۵	۰/۹۹۸
۹۰	۲۰/۱۳±۱/۱۴	۰/۱۴۹±۰/۰۱۷	۳۲/۹۶±۱/۵۱	۴/۵۳	۰/۹۹۷
۱۱۰	۲۶/۸۲±۲/۳۴	۰/۱۳۲±۰/۰۱۶	۳۵/۱۶±۲/۳	۱۱/۳۶	۰/۹۹۶
تاریخ کاشت					
۹۰/۹/۸	۱۷/۳۷±۲/۰۲	۰/۱۴۱±۰/۰۵۴	۳۷/۰۷±۴/۵۶	۱۲/۴۶	۰/۹۳۴
۹۰/۹/۲۸	۱۴/۹۶±۱/۹۰	۰/۱۷۶±۰/۷۹	۳۲/۹۵±۴/۲۴	۵/۸۴	۰/۹۲۷
۹۰/۱۰/۱۸	۱۴/۱۴±۱/۷۸	۰/۲۴±۰/۱۵۲	۲۷/۲۷±۳/۷۷	۸/۵۷	۰/۹۲۴
تراکم کاشت					
۵۰	۱۰/۲۲±۰/۲۵	۰/۳۲۴±۰/۱۰۱	۳۰/۹۷±۰/۸۳	۱۰/۶۱	۰/۹۹۴
۷۰	۱۳/۵۷±۰/۳۵۹	۰/۲۰۷±۰/۰۳۱	۳۱/۵۲±۰/۹۶۷	۸/۹۲	۰/۹۹۵
۹۰	۱۸/۲۰±۰/۷۴۱	۰/۱۵۱±۰/۰۲۱	۳۳/۶۵±۱/۴۴	۷/۰۷	۰/۹۹۱
۱۱۰	۲۳/۵۳±۱/۱۳	۰/۱۳۴±۰/۰۱۷	۳۵/۱۸±۱/۶۴	۹/۳۶	۰/۹۹۱

cm حداکثر سرعت رشد محصول در فاز خطی (گرم در متر مربع در روز)، rm حداکثر سرعت رشد نسبی در فاز نمایی رشد، tb زمان از دست رفته تا شروع فاز خطی، RMSE جذر میانگین مربعات خطا و R^2 ضریب تبیین می‌باشد.

مؤلفه‌های شاخص برداشت

با مقایسه سرعت افزایش شاخص برداشت غلاف در مقابل زمان، مشخص شد در تاریخ کاشت اول و سوم بین تراکم ۱۱۰ بوته در متر مربع با تراکم‌های ۵۰، ۷۰ و ۹۰ بوته در متر مربع اختلاف معنی‌داری وجود دارد و در بین تراکم‌های ۵۰، ۷۰ و ۹۰ بوته اختلاف معنی‌داری در سطح ٪۵ مشاهده نگردید. همچنین در تاریخ کاشت دوم هیچ اختلاف معنی‌داری بین تراکم‌های مختلف مشاهده نشد (جدول ۶). مقایسه زمان شروع فاز خطی افزایش شاخص برداشت غلاف (روز بعد از گلدهی) در بین تاریخ‌های مختلف کاشت و تراکم بوته نشان داد که در تاریخ مختلف کاشت بین تراکم‌های ۵۰، ۷۰ و ۹۰ بوته در متر مربع اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید، اما بین تراکم ۱۱۰ بوته با دیگر تراکم‌ها اختلاف معنی‌داری در سطح ٪۵ مشاهده شد (جدول ۶). با مقایسه زمان پایان فاز خطی افزایش شاخص برداشت غلاف (روز بعد از گلدهی) در

تاریخ‌های مختلف کاشت و تراکم بوته مشخص شد که بیشترین زمان مربوط به تاریخ کاشت اول و تراکم ۵۰ بوته در متر مربع با میانگین ۵۹/۱ روز پس از گلدهی و کمترین آن مربوط به تاریخ کاشت سوم و تراکم ۱۱۰ بوته در متر مربع با میانگین ۵۱/۸ روز پس از گلدهی بود. همچنین در بین تاریخ‌های مختلف کاشت، بیشترین زمان در تاریخ کاشت اول با میانگین ٦۰/٤ روز و کمترین آن در تاریخ کاشت سوم با میانگین ۵۳/٤ روز پس از گلدهی به‌دست آمد (جدول ٦). در بین تاریخ‌های مختلف کاشت، تاریخ کاشت اول به علت طولانی بودن دوره رشد گیاه، بیشترین شاخص برداشت و تاریخ کاشت سوم به علت رسیدگی اجباری و کوتاه شدن دوره رشد گیاه، کمترین شاخص برداشت را به خود اختصاص دادند. همچنین در بین تراکم‌های مختلف، تراکم ۵۰ بوته در متر مربع با میانگین ۵۷/٤ روز بیشترین و تراکم ۱۱۰ بوته در متر مربع با میانگین ٥٤/٤ روز کمترین زمان

پایان فاز خطی افزایش شاخص برداشت را به خود اختصاص دادند (جدول ٦). بیشترین شاخص برداشت غلاف در تراکم ۵۰ بوته در متر مربع و کمترین شاخص برداشت غلاف در تراکم ۱۱۰ بوته در متر مربع به‌دست آمد. دلیل آن را می‌توان طولانی‌تر بودن پایان فاز خطی افزایش شاخص برداشت تراکم ۵۰ بوته در متر مربع، نسبت به تراکم ۱۱۰ بوته در متر مربع دانست. با مقایسه شاخص برداشت غلاف در تاریخ کاشت و تراکم‌های مختلف، مشخص شد که اختلاف شیب خطی افزایش شاخص برداشت غلاف غیرمعنی‌دار بود که این با نظرات بنگ و همکاران (۱۹۹۸) که اظهار داشتند، شیب خطی افزایش شاخص برداشت به طور قابل ملاحظه‌ای تحت شرایط دمای پایین کاهش می‌یابد هم‌خوانی نداشت. اما این نتیجه‌گیری با نتایج به‌دست آمده توسط موت و همکاران (۱۹۹٦) و بینیدی و همکاران (۱۹۹۹) که عنوان کرده‌اند شیب خطی افزایش شاخص برداشت در دامنه‌ای از شرایط رشد مانند تنوع تاریخ کاشت، تیمارهای آبیاری و سطوح نیتروژن ثابت می‌باشد تقریباً هم‌خوانی داشت. نتایج به‌دست آمده در جدول ٦ نشان داد که تفاوت میان مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی (RMSE) کمتر از ۲۰٪ برای توصیف روند تغییرات شاخص برداشت غلاف در مقابل روز پس از گلدهی در تاریخ‌های مختلف و تراکم‌های کاشت بود که نشان دهنده کارایی خوب برآوردگر آماری در پیش‌بینی این روند می‌باشد (میرهاشمی و بنایان، ۱۳۹۰). همچنین همبستگی بالایی (R^2=99) بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی مشاهده شد.

جدول٦- ضرایب معادله‌ی توصیف کننده‌ی تغییرات شاخص برداشت غلاف در مقابل روز پس از گلدهی در تاریخ‌های مختلف و تراکم‌های کاشت.

تاریخ- تراکم کاشت	b±se	X±se	X0±se	HI_{max}	RMSE	R^2
۹۰/۹/۸						
۵۰	۰/٤۸۱±۰/۰۳۵	۱۵/٦٦±۲/۱۹	۵۹/۱±٦/۲۷	٤٤/۰۸	۲/٦٦	۰/۹۹۷
۷۰	۰/٤۳٦±۰/۰۲۱	۱۳/۵۱±۱/۲۵	۵۸/۲±٤/۵۳	۳۸/۸۸	۱/۷۳	۰/۹۹۸
۹۰	۰/٤۵±۰/۰۰۹	۱۱/۲۲±۰/۵۳۷	۵۷/۳±۱/۹	۳۸	۰/۷٦	۰/۹۹۹
۱۱۰	۰/۳۹۷±۰/۰۰۵	۹/۱٤±۰/۳۳۲	۵٤/٤±۱/۱۷	۳۰/۷۳	۰/٤۲	۰/۹۹۹
۹۰/۹/۲۸						
۵۰	۰/۵۱۵±۰/۰۲۹	۱۷/۵٦±۱/۷۲	۵٤/۷±٤/۸۳	٤۵/۷۳	۲/۲	۰/۹۹۸
۷۰	۰/٤۷۹±۰/۰۱	۱۵/۷±۰/٦۲۱	۵۳/٦±۱/۲۲	٤۱/۳۷	۰/٦۸	۰/۹۹۹
۹۰	۰/٤٤٦±۰/۰۱۷	۱۳/٦۷±۰/۹٦٦	۵۳/۱±۲/۲۳	۳۹/۳۵	۱/۰٤	۰/۹۹۹
۱۱۰	۰/٤±۰/۰۰۸	۱۰/۲۸±۰/٤۷۳	۵۲/۳±۱/۱	۳۱/۲	۰/۵۳	۰/۹۹۹
۹۰/۱۰/۱۸						
۵۰	۰/٤۷٦±۰/۰۲۸	۱۸/٦۱±۱/٦٤	۵۳/٤±۵/۸٤	٤٤/۰۲	۲/۵۲	۰/۹۹۷
۷۰	۰/٤٦۲±۰/۰۰۹	۱٤/٤۹±۰/٤۹۳	۵۲/۵±۱/۱۳	۳۸/۷٤	۰/٦٤	۰/۹۹۹
۹۰	۰/٤۸۳±۰/۰۱۱	۱۱/۳٤±۰/٤۸۸	۵۲/٤±۱/۱۸	۳٦/٦٤	۰/٦	۰/۹۹۹
۱۱۰	۰/۳۵±۰/۰۰۹	۹/٦±۰/۵۳٤	۵۱/۸±۲/٤٦	۲۷/۷۳	۰/۷٦	۰/۹۹۹
تاریخ کاشت						
۹۰/۹/۸	۰/٤۵۰±۰/۰۲۷	۱۲/۰۸±۱/٦	٦۰/٤±۵/۳٦	۳۹/۲٦	٤/۲۸	۰/۹۸۸
۹۰/۹/۲۸	۰/٤۵٤±۰/۰۳٦	۱٤/۷۹±۲/۲۱	۵۵/٦۷±٦/۳۷	٤۰/۰٦	۵/۱۸	۰/۹۸٦
۹۰/۱۰/۱۸	۰/٤٤۷±۰/۰۳۷	۱۳/٤۹±۲/۱	۵۳/٤±٦/۸٦	۳۷/۳۵	٦/۰٤	۰/۹۷۸
تراکم کاشت						
۵۰	۰/٤۸۱±۰/۰۳۵	۱۵/٦٦±۲/۱۹	۵۷/٤±٦/۲۷	٤۳/۲٦	۲/٦٦	۰/۹۹۷
۷۰	۰/٤۳٦±۰/۰۲۱	۱۳/۵۱±۱/۲۵	۵۵/۵±٤/۵۳	۳۷/۷	۱/۷۳	۰/۹۹۸
۹۰	۰/٤۵±۰/۰۰۹	۱۱/۲۲±۰/۵۳۷	۵۵/۲±۱/۹	۳٦/۰٦	۰/۷٦	۰/۹۹۹
۱۱۰	۰/۳۵±۰/۰۰٦	۹/٦۵±۰/۵۱۸	۵٤/٤±۱/٤٦	۲۸/٦۹	۰/۵٤	۰/۹۹۹

b سرعت افزایش شاخص برداشت در مقابل زمان (dHI/dt، درصد در روز)، X زمان شروع فاز خطی افزایش شاخص برداشت (روز بعد از گلدهی)، X0 زمان پایان فاز خطی افزایش شاخص برداشت (روز بعد از گلدهی)، HI_{max} شاخص برداشت نهایی خورجین (درصد)، RMSE جذر میانگین مربعات خطا و R^2 ضریب تبیین می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش تراکم، شاخص سطح برگ به‌علت افزایش تعداد بوته و زیاد شدن تعداد برگ سیر صعودی داشت. همچنین با تأخیر در کاشت شاخص سطح برگ به‌علت کوتاه شدن طول دوره رویشی و افزایش طول روز و دمای محیط روندی نزولی داشت. مقادیر ضریب خاموشی بین تاریخ‌های مختلف کاشت و تراکم بوته در این آزمایش تفاوت معنی‌داری نشان نداد و مقدار آن بر اساس تشعشع فعال فتوسنتزی برای گیاه کلزا حدود

۰/۳۹۲ بود. با توجه به عدم وجود اختلاف معنی‌دار در تراکم‌های مختلف کاشت، میزان RUE حدود ۰/۹۲ گرم بر مگاژول به‌دست آمد. با افزایش تراکم میزان ماده خشک تولیدی به‌دلیل افزایش شاخص سطح برگ و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر افزایش پیدا کرد اما با تأخیر در کاشت ماده خشک تولیدی کاهش یافت. علت آن را می‌توان کوتاه شدن طول دوره رشد و تولید مواد فتوسنتزی کمتر در گیاه دانست. بررسی شاخص برداشت غلاف در مقابل روز پس از گلدهی، وابسته بودن افزایش این شاخص به طولانی‌تر بودن زمان پایان فاز خطی افزایش شاخص برداشت را نشان داد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت اعمال تاریخ کاشت و تراکم گیاهی مناسب به‌عنوان دو ابزار مدیریتی، می‌تواند منجر به تولید ماده خشک بیشتری در گیاه کلزا شده و عملکرد آن را بهبود بخشد. همچنین توصیه می‌شود که در منطقه خوزستان از تاریخ کاشت زودتری نسبت به ۹ آذر و تراکم بیشتر از ۹۰ بوته در متر مربع برای گیاه کلزا استفاده شود.

سپاسگزاری

از همه اساتید خوبم به‌خصوص دکتر ابدالی و دکتر پوررضا که من را در انجام این پژوهش یاری کردند تشکر و قدردانی می‌کنم.

منابع

احمدی، م.، ر. و ف. جاوید فر.۱۳۷۷. تغذیه گیاه روغنی کلزا (ترجمه). انتشارات شرکت سهامی خاص کشت و توسعه دانه های روغنی. ۱۹٤ صفحه.

پورعیسی، م.، م. نبی‌پور، و ر. مامقانی. ۱۳۸٦. بررسی ویژگیهای فنولوژیک ارقام کلزا در چهار تاریخ کاشت و همبستگی آنها با عملکرد و اجزای عملکرد دانه. مجله علمی کشاورزی. ۳۰ (۱): ٦۰-٤٥.

خلیلی سامانی، م. ر.، م. ر. خواجه پور و ا. قلاوند. ۱۳۷۷. اثر فاصله ردیف کاشت و تراکم بوته در ردیف بر رشد و تجمع ماده خشک پنبه در اصفهان مجله علوم کشاورزی ایران. ۲۹ (٤): ٦۷۹-٦٦۷.

خیاط، م.، ش. لک. م. گوهری و م. مطیعی. ۱۳۸۸. اثر تاریخ کاشت بر منحنی رشد و عملکرد ژنوتیپ‌های کلزا. فصلنامه علمی تخصصی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱ (۱): ۱۱-۱.

زارعی، ه. ۱۳۸۳. پیش‌بینی تولید و توزیع ماده خشک در گیاه نخود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۳۱ صفحه.

شیرانی راد، ا. ۱۳۷۳. اثر تاریخ کاشت و تراکم بوته بر روی روند رشد و عملکرد دانه دو رقم کلزای پاییزه در منطقه کرج. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس. ۱٤۰ صفحه.

علیمددی، الف.، م. جهانسوز. ع. احمدی و ر. توکل افشاری. ۱۳۸۵. ارزیابی کارایی مصرف نور، ضریب استهلاک نوری و دریافت تشعشع در ارقام مختلف لوبیا چشم بلبلی، ماش و لوبیا قرمز در کشت دوم. پژوهش و سازندگی. ۱۷: ۷۵-٦۷.

کریمیان کلیشادرفی، م. ع. کوچکی و م. نصیری محلاتی. ۱۳۸۸. تأثیر کود نیتروژن و تراکم گیاهی بر جذب و کارایی مصرف نور در دو رقم کلزای بهاره. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۷ (۱): ۱۷۲-۱٦۳.

گاردنر، ا. پی. پیرس و آر. ال. میشل. ۱۳٦۸. فیزیولوژی گیاهان زراعی، ترجمه سرمدنیا، غ. ح. و ع. کوچکی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۲٤-۱۱۳ صفحه.

لطیفی، ن.، س. نواب پور و ف. اکرم قادری . ۱۳۸۲. ارزیابی شاخصهای رشد در آفتابگردان، رقم رکورد، تحت شرایط دیم، مجله علوم و صنایع کشاورزی. ۱۷ (۱): ٦۸-٦۱.

فتحی، ق.، م. مرادی و ع، نادری. ۱۳۸۹. فیزیولوژی کلزا. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. ۱۵۲-۱٤۸ صفحه.

مجد نصیری، ب.، م. احمدی. ۱۳۸٤. تأثیر فصل کاشت و فاصله بوته در نحوه توزیع و میزان جذب نور در جامعه گیاهی ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳٦ (۱): ۷۳-٦۳.

محمدی نیکپور، ع.، و ع. کوچکی. ۱۳۷۸. بررسی اثرات تاریخ‌های کاشت بر شاخص های رشد، عملکرد و اجزاء عملکرد گلرنگ. مجله علوم کشاورزی. ۱۳ (۱): ۱٦-۷.

میر هاشمی، م. و م. بنایان. ۱۳۹۰. مدلی ساده برای شبیه سازی عملکرد کلزا تحت شرایط تنش خشکی. نخستین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی. ۱۳-۱ صفحه.

Bange, M.P,. Hammer, and K.G. Rickert. 1998. Temperature and sowing date affect the linear increases of sunflower harvest index. Agron. J. 90: 324-328.

Bassett, D.M., W.D. Anderson and C.H.E. Werkhoven. 1970. Dry matter production and nutrient uptake in irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Agron. J. 62: 299-303.

Bindi, M., T.R. Sinclair and J. Harrison. 1999. Analysis of seed growth by linear increase in harvest index. Crop Sci. 39: 486-493.

Dwyer, L. Stewart, R.I. Hamilton, and L. Honwing. 1992. Ear position and vertical distribution of leaf area in corn. Agron. J. 84: 430-438.

Fathi G., S. A. Siadat and S.S. Hemaiaty. 2003. Effect of sowing date on yield and yield components of three oilseed rape varieties. Acta Agronomica Hungarica. 51(3):249-255.

Kandil, A. A., S. I. EL-Mahands and N. M. Mahrous. 1996. Genotypic and phenotypic variety heritability and inter relationships of some characters in oil seed rape. Can. J. Plant Sci. 65: 275-284.

Kerby. T.A., K.G. Cassman and M. Keeley. 1990. Genotypes and plant densities for narrow-row cotton systems. II. Leaf area and dry-matter partitioning. Crop Sci. 30: 649-653.

Leach, J., H. Stevenson and A. J. Ranbow. 1998. Effect of high plant population on the growth and yield of winter oil seed rape. J. Agric. Sci.Camb. 132:137-180.

Maddonni, G.A., M.E. Otegui and A.G. Cirilo. 2001. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. Field Crops Res. 71: 183-193.

Major, D.J. 1980. Environmental effects on flowering . In: Fehr, W.R., and H. H., Hadley. (eds), Hybridization of crop plants. Madison, Wisconsin, USA,pp:1-11.

Mendham, N. J., J. Russel, and N. K. Yarosz. 1990. Response to sowing time of three contrasting Austrralian cultivars of oil seed rape (*Brassica napus*). J. Agric. Sci. Camb. 114: 274-285.

Morrison, J.M. and D.W.Stewart. 1995. Radiation- use Efficiency in summer Rape. Agron. J. 87: 1139-1142.

Moot, D.J., P.D. Jamieson, A.L. Henderson, M.A. Ford and J.R. Porter. 1996. Rate of change in harvest index during grain-filling of wheat. J. Agric. Sci. Camb. 136: 387-395.

Morrison, J.M. and D.W. Stewart. 1995. Radiation- use efficiency in summer Rape. Agron. J. 87: 1139-1142.

Robertson. M.J., S. Silim, Y.S. Chauhan and R. Ranganathan. 2001. Predicting growth and development of pigeonpea: biomass accumulation and partitioning. Field Crops Res. 70: 89-100.

Sinclair, T.R. and R.C Muchow. 1999. Radiation use efficiency. Adv. Agron. 65:215-265.

Soltani, A., M.J. Robertson, H. Zarei, J. Pourreza and A. Rahemi. 2005. Modeling chichpea growth and development: Biomass accumulation and partitioning. Field Crops Res.

Thomson, B.D. and K.H.M.Siddique. 1997. Grain legume species in low rainfall mediterranean type environments II. Canopy development, radiation interception, and dry matter production. Field Crops Res. 54, 189-199.

Estimating extinction coefficient, radiation use efficiency and dry matter production coefficients of rapeseed plant (Hyola 401), at different planting dates and plant density in Khuzestan conditions

H. Kamaei[1], A. Ebdalimashhadi[2], J. Pourreaza[3], D. omidi[2]

Received: 2014-3-10 Accepted: 2015-1-22

Abstract

To estimate the extinction coefficient, radiation use efficiency and dry matter distribution coefficients of rapeseed plant (Hyola 401), at different planting dates and plant density, a field experiment was carried out in Research Station of Ramin Agricultural and Natural Resources University of Khouzestan in a factorial experiment based on randomized complete block design whit four replicates during 2011-2012. Treatments were three sowing dates: November 29, December 19 and January 8 and four plant densities: 50, 70, 90 and 110 plants. m^{-2}. Extinction coefficient for canola was obtained by 0.39. Radiation use efficiency of canola for different dates was 0.92 g/MJ. Effect of treatments on dry matter production were significant ($P<0.05$). The highest and the lowest dry matter were observed in the November 29 and 110 plant m^{-2} plant density (1125/2 g. m^{-2}) and in January 8 and 50 plant m^{-2} plant density of (368 g. m^{-2}), respectively. Maximum crop growth rate in the linear phase of the different planting dates and plant density was significant ($P<0.05$). Maximum and minimum CGR were obtained November 29 and 110 plant m^{-2} plant density (28/88 g. m^{-2}. day^{-1}) and January 8 and 50 plant m^{-2}plant density (9/98 g. m^{-2}. day^{-1}) respectively. Also the pod harvest index against day after flowering showed depend increase of the index to the longer duration end of the linear phase increased harvest index.

Keywords: Planting time, density, crop growth rate, leaf area index

1- Department of Agronomy and Crop Breeding, Lorestan university, Khoranabad, Iran
2- Department of Agronomy and Crop Breeding, Ramin university, Ahvaz, Iran
3- Department of Agronomy and Crop Breeding, Ramhormoz Branch, Islamic Azad university, Ramhormoz, Iran