

اثر تنش خشکی بر عملکرد و کارآیی مصرف نور در ارقام کلزا (*Brassica napus* L.)

جواد وفابخش، مهدی نصیری محلاتی، علیرضا کوچکی^۱

چکیده

عملکرد ارقام کلزا در پاسخ به محدودیت تأمین نیاز آبی در دو سال زراعی ۸۴-۸۳ و ۸۵-۸۴ مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور آزمایشی در قالب طرح کرت های خردشده بر پایه بلوک های کامل تصادفی و در ۳ تکرار به اجرا درآمد که در آن چهار سطح تأمین نیاز آبی شامل ۱۰۰ (شاهد)، ۸۰، ۶۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی کلزا در شرایط مشهود در کرت های اصلی و چهار رقم کلزا (شامل زرفام، اکاپی، اس.ال.ام.۴۶ و لیکورد) در کرت های فرعی قرار گرفتند. در هر دو سال آزمایش واکنش عملکرد ارقام تحت بررسی به محدودیت تأمین آب (تنش خشکی) مشابه بود. عملکرد همه ارقام با تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه در هر دو سال در مقایسه با تیمار شاهد تفاوت معنی داری نداشت. تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی عملکرد دانه را تنها در سال اول بطور معنی داری کاهش داد، در حالی که کاهش عملکرد دانه با تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی در هر دو سال معنی دار بود. بالاترین کارآیی مصرف نور در ارقام زرفام، اکاپی، اس.ال.ام.۴۶ و لیکورد به ترتیب با تأمین ۱۰۰، ۵۰، ۵۰ و ۶۵ درصد نیاز آبی بدست آمد. بخشی از این تفاوت در اثر اختلاف شاخص سطح برگ ارقام بود. بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار شاهد و کمترین مقدار آن در تیمار تنش شدید مشاهده شد. شاخص برداشت صرفاً در تیمار تنش شدید (۵۰ درصد تأمین نیاز آبی) کاهش معنی داری یافت. ارقام مختلف کلزا از نظر شاخص سطح برگ و کارآیی مصرف نور در شرایط تنش خشکی رفتار متفاوتی داشتند. کارآیی مصرف نور در سطوح مختلف خشکی بین ۰/۹۵ و ۲/۶ گرم بر مگاژول در تیمارهای تنش متغیر بود و مقادیر کارآیی مصرف نور در همه تیمارها تابعی از شاخص سطح برگ نبود. عواملی مانند کارآیی فتوسنتز و شاخص برداشت نیز در عملکرد ارقام کلزا سهم قابل توجهی دارند.

واژه‌های کلیدی: کلزا، تشعشع، کارآیی مصرف نور، تنش خشکی، شاخص سطح برگ، شاخص برداشت

مقدمه

ب) کاهش کارآیی مصرف نور به ازای واحد نور جذب شده. این کاهش به وسیله اندازه گیری میزان ماده خشک تجمع یافته در واحد نور جذب شده در یک دوره زمانی خاص (۴۳) و یا پ) کاهش آبی در تبادل گاز کربنیک به ازای واحد نور جذب شده قابل بیان است (۳ و ۲۲) تأثیر تنش خشکی بر شاخص برداشت.

تأثیر تنش بر گیاه به عوامل محیطی و توانایی زیستی گیاه مورد نظر در محیط‌های نامناسب بستگی دارد. به همین دلیل تعریف شرایط محیطی تنش زا از گیاهی به گیاه دیگر متفاوت است (۴۴). کرامر (۲۲) تنش خشکی را کمبود نزولات در محیط گیاه تعریف می کند که بر اثر آن گیاه

مقدار و چگونگی تثبیت انرژی نورانی در گیاهان از مهمترین شاخص های فیزیولوژیکی تعیین کننده رشد و عملکرد است که در اکوسیستم های زراعی به دلیل انجام روش های مختلف مدیریت دچار تغییرات می شود. تنش خشکی یکی از شرایط محیطی موثر بر این تغییرات است. خشکی به واسطه سه مکانیزم، عملکرد گیاه را کاهش می دهد. الف) کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) توسط کانوپی که ناشی از کاهش سطح برگ می باشد خود از پژمردگی و جمع شدن پهنک در شرایط تنش شدید و در نهایت پیری زودرس برگ های گیاه منتج می شود (۲ و ۱۵)

۱- به ترتیب دانشجوی دکتری زراعت، و اعضای هیأت علمی گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

آسیب می‌بیند و میزان این آسیب بستگی به نوع گیاه، ظرفیت نگهداری آب در خاک و شرایط جوی مؤثر بر تبخیر و تعرق دارد.

ساده‌ترین تعریف کارایی مصرف نور، زیست‌توده گیاهی تولیدشده به انرژی نورانی جذب‌شده توسط گیاه است که بر حسب گرم بر مگاژول بیان می‌شود (۳۱). موریسون و استوارت (۳۰) در بررسی تغییر تراکم روی کلزا گزارش کردند که با افزایش تراکم، کارایی مصرف نور کاهش یافت. ایرل (۱۵) اثر منفی تنش خشکی بر عملکرد ذرت دانه ای را به دلیل کاهش سطح برگ و کاهش شاخص برداشت گزارش کرد. کاهش شاخص برداشت می‌تواند هنگامی که میزان کاهش ماده خشک چندان زیاد نباشد نیز اتفاق بیفتد که دلیل آن همزمانی تنش با یکی از مراحل حساس نمو می‌باشد (۳۷).

وجود رابطه خطی بین نور جذب شده و بیومس در بسیاری از گیاهان زراعی به اثبات رسیده است (۳۹ و ۴۸). مقدار کارایی مصرف نور در شرایط متغیر محیطی بر اساس کل تشعشع بین ۱/۰۲ تا ۱/۳۷ برای بادام زمینی (۱۱)، ۰/۴۱ تا ۰/۹۹ برای بقولات مختلف (۳ و ۱۹)، ۱/۴۳ برای انواع ارزن های زرد، مرواریدی و معمولی (۷)، ۱/۸۴، ۱/۷۵ و ۰/۹ برای چغندر قند (۳۴)، ۱/۸۱ و ۱/۹۲ برای گندم و خردل برحسب گرم ماده خشک بر مگاژول گزارش شده است (۳۳).

سینکلر و موجو (۳۸) میانگین حداکثر کارایی مصرف نور در گیاهان چهار کربنه را مقدار ۲، ۱/۷۷ و ۱/۴۰ گرم بر مگاژول به ترتیب برای نیشکر، ذرت و سورگوم و در گیاهان سه کربنه غیر لگوم مقادیر ۱/۷، ۱/۵۶، ۱/۴۶، ۱/۳۹ و ۱/۳۰ به ترتیب برای برای سیب زمینی، آفتابگردان، برنج و جو گزارش کردند. کولینو (۱۲) کاهش کارایی مصرف نور در شرایط تنش خشکی را در بادام زمینی گزارش کرده است. در کلزا کارایی مصرف نور ۲/۸۳ گرم بر مگاژول بر اساس تشعشع فعال فتوسنتزی در شرایط مطلوب و بدون تنش گزارش شده است (۳۰).

با توجه به کشت ارقام کلزا در بسیاری از مناطق کشور که با کمبود آب مواجه می‌باشند و گسترش کشت آن در سال های اخیر، بررسی نقش عوامل مؤثر در بهره‌برداری بهینه از تشعشع مانند کارایی مصرف نور، کارایی فتوسنتز و شاخص برداشت ضروری به نظر می‌رسد. ارزیابی ماده

خشک تولیدی در گیاهان زراعی با محاسبه کارایی مصرف نور انجام می‌شود (۳۲ و ۴۷)، ولی در ایران تا کنون هیچ‌گونه تحقیقی در مورد کارایی مصرف نور در ارقام کلزا تحت شرایط تنش خشکی انجام نشده است. بنابراین هدف از این تحقیق ارزیابی عملکرد ارقام کلزا در شرایط تنش خشکی بر اساس میزان جذب و کارایی مصرف تشعشع خورشیدی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو سال زراعی متوالی ۸۴-۸۵ و ۸۳-۸۴ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی طبرق (طول و عرض جغرافیایی ۱۴° ۳۸' ۵۹' شرقی و ۱۲° ۱۳' ۳۶' شمالی) انجام شد. ارقام کلزای مورد استفاده شامل چهار رقم زرفام، اکاپی، اس.ال.ام.۰۴۶ و لیکورد بودند. ارقام بر اساس میزان تحمل آن‌ها به خشکی از متحمل به حساس بر اساس نتایج ارزیابی مقدماتی انجام شده در ایستگاه تحقیقات کشاورزی طبرق انتخاب شد (۴).

این آزمایش مزرعه‌ای در قالب طرح کرت‌های خرد شده با فاکتور تنش آبی در کرت اصلی و فاکتور رقم در کرت فرعی در سه تکرار اجرا شد. برای جلوگیری از تأثیر بارندگی بر تیمارهای تنش روی هر کرت توسط حفاظ هایی از جنس برزنت شفاف که قابلیت عبور نور را داشت پوشانده شد. قبل از شروع بارندگی و بر اساس پیش بینی هواشناسی این پوشش‌ها روی کرت‌ها را می‌پوشاند. پس از پایان بارندگی، پوشش برزنتی حول محور لوله ای که روی چهار پایه بدین منظور تعبیه شده بود جمع می‌شد. بدین ترتیب آب باران بدون رسیدن به گیاهان و کرت آزمایشی به بیرون از سیستم هدایت می‌شد. سیستم آبیاری بصورت قطره ای تحت فشار همراه با کنتور حجمی مستقل برای هر کدام از تیمارها بود.

تیمارهای تنش آبی بر اساس ۸۰، ۶۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی کلزا در شرایط مشهد انتخاب شدند (۶). میزان آب مورد نیاز در هر نوبت آبیاری با استفاده از کنتور حجمی تنظیم گردید. علاوه بر حجم متفاوت آب مصرف شده در سطوح مختلف تنش، زمان قطع آبیاری هم به تیمار تنش اضافه گردید و در سه مرحله گلدهی، غلاف‌بندی و پرشدن دانه قطع آبیاری صورت گرفت لذا، تیمار تنش ترکیبی از

لجستیک بیک (معادله ۲) به مقادیر LAI اندازه گیری شده تعیین گردید

$$LAI = a + b \times 4 \left(\frac{\Theta(t-c)/d}{1 + \Theta(-t-c)/d} \right)^2 \quad (2)$$

که در آن a عرض از مبدأ (مقدار LAI در زمان $t = 0$)، b زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، c میانگین سرعت نسبی رشد سطح برگ، d زمان شروع مرحله خطی رشد شاخص سطح برگ و t زمان می‌باشند. به این ترتیب شاخص سطح برگ روزانه محاسبه شد. مقادیر تشعشع ورودی روزانه (I) بر اساس روش توصیف شده توسط خودریان و فان لار (۹) برای مشهد محاسبه گردید. سپس این مقادیر بر اساس تعداد ساعات آفتابی اخذ شده از ایستگاه هواشناسی مشهد و بر اساس معادله آنگستروم (معادله ۳) تصحیح گردید.

$$I/I_0 = A + B(n/N) \quad (3)$$

در این معادله I میزان تشعشع روزانه شبیه‌سازی شده، I_0 میزان تشعشع روزانه بالای کانوپی با توجه به ساعات آفتابی، n و N به ترتیب تعداد ساعات آفتابی و طول روز و A و B ضرایب آنگستروم می‌باشند. مقادیر A و B برای مشهد به ترتیب معادل ۰/۳ و ۰/۳۷ در نظر گرفته شد. با داشتن مقادیر شاخص سطح برگ روزانه (LAI_t) و تشعشع ورودی روزانه (I_0)، مقادیر تشعشع جذب شده روزانه (I_{abs}) توسط گیاه بر حسب مگاژول در متر مربع در روز برای هر رقم و در هر سطح تنش خشکی با استفاده از معادله ۴ محاسبه شد.

$$I_{abs} = I_0 \times \left(1 - e^{-k \times LAI_t} \right) \quad (4)$$

مقدار تشعشع جذب شده روزانه جمععی با استفاده از اعداد جمععی حاصل از معادله ۴ از زمان سبز شدن تا رسیدگی نهایی محاسبه شد.

وزن خشک گیاه همزمان با اندازه‌گیری‌های سطح برگ و در سه بوته از هر کرت انجام شد. برگ‌ها، ساقه‌ها و غلاف‌ها جداگانه در پاکت قرار گرفته و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و توزین گردیدند.

کارآیی مصرف نور به عنوان شیب رگرسیون خطی بین ماده خشک جمععی و میزان نور جذب شده به دست آمد. عملکرد دانه از برداشت نهایی کل بوته‌های یک متر مربع وسط هر کرت (که نمونه برداری‌های تخریبی فصل

حجم‌های متفاوت آب به اضافه مدت زمان اعمال آبیاری روی هر کرت بود. تنظیم این روش آبیاری به نحوی انجام شد که در نهایت درصد‌های تعریف شده تیمارهای آبیاری از این روش حاصل گردید.

ضریب گیاهی کلزا و نیازآبی آن در شرایط مشهد توسط نرم افزار محاسبه نیازآبی گیاهان تعیین شد (۵). به تیمار شاهد ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز گیاه داده شد. قبل از کاشت به ترتیب میزان ۵۰، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم اوره، فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم به خاک داده شد. کشت به روش جوی و پشته‌ای با فواصل ردیف ۳۰ سانتیمتر و تراکم ۸۰ بوته در مترمربع در تاریخ ۱۵ مهرماه انجام شد. کنترل علف‌های هرز به روش وجین دستی در سه مرحله صورت گرفت. آبیاری اول مزرعه به روش سیفونی انجام شد و این روش تا استقرار کامل گیاهان ادامه داشت. سپس سیستم آبیاری قطره‌ای از نوع نوار مرطوب نصب گردید و تیمارهای تنش آبی از اول اسفندماه اعمال شد.

اندازه‌گیری سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ Delta-T انجام شد. ماده خشک در طول فصل رشد هشت نوبت و از هر کرت ۳ بوته در هر بار نمونه برداری اندازه‌گیری شد.

میزان نور بالا و پائین کانوپی توسط دستگاه Sunscan مدل SSI-UM-1.05 همزمان با نمونه برداری‌های سطح برگ و ماده خشک اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها در سه نقطه از هر کرت و در فاصله ساعات ۱۱ تا ۱۳ انجام گرفت. بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده LAI و میزان نور اندازه‌گیری شده در بالا و پائین کانوپی و با استفاده از معادله بیر-لامبرت (معادله ۱) مقدار ضریب خاموشی نور (k) برای کلیه ارقام بطور جداگانه تعیین گردید (۲). در ادامه محاسبات، مقدار k در طول دوره رشد ثابت در نظر گرفته شد.

$$\ln \frac{I_t}{I_0} = -k \times LAI \quad (معادله ۱)$$

I_t = میزان نور در زیر کانوپی (MJ.m².sec)

I_0 = نور بالای کانوپی (MJ.m².sec)

k = ضریب خاموشی نور

LAI = شاخص سطح برگ

مقادیر شاخص سطح برگ روزانه با برازش تابع

جهت تجزیه و تحلیل تغییرات عملکرد دانه در تیمارهای ارقام و سطوح تنش، سه شاخص مؤثر بر آن شامل شاخص سطح برگ، شاخص برداشت و کارایی مصرف نور بررسی شد.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزای آن نشان داد که واکنش عملکرد ارقام تحت بررسی به تنش خشکی معنی دار بود (جدول ۱ و ۲). معنی دار بودن اختلاف تعداد غلاف در گیاه (جدول ۱ و ۲) نشان داد که کاهش عملکرد دانه در ارقام مورد آزمایش در شرایط تنش، از طریق کاهش تعداد غلاف صورت گرفت. لذا تنش خشکی در زمان غلاف دهی تاثیر بیشتری بر کاهش عملکرد داشت. تسفای و همکاران (۴۵) کاهش عملکرد دانه در سه گیاه لویاسبز، لویای چشم بلبلی و نخود را در شرایط تنش رطوبتی در زمان گل دهی و غلاف بندی گزارش کردند.

در این بررسی کاهش عملکرد دانه در تیمارهای تنش، تأثیر پذیری بیشتری از وزن هزار دانه داشت (تفاوت معنی دار

رشد در آن انجام نشده بود) بدست آمد. تعداد غلاف در بوته به وسیله شمارش غلاف های حاوی دانه و باز نشده در سه بوته از هر کرت تعیین شد. تعداد دانه در غلاف در مرحله رشد زایشی نیز به همین صورت و در سه بوته از هر کرت و در ۳۰ غلاف که به صورت تصادفی از قسمت های مختلف گل آذین برداشت شده بودند صورت گرفت. وزن هزار دانه در انتهای فصل رشد و از دانه های حاصل از برداشت نهایی به صورت ۱۰ نمونه ۱۰۰ دانه ای از هر کرت اندازه گیری و وزن هزار دانه بر اساس میانگین این نمونه ها تعیین گردید.

کل ماده خشک حاصل از برداشت نهایی از مساحت یک متر مربع وسط هر کرت پس از قرار گرفتن در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۷۲ ساعت، اندازه گیری و شاخص برداشت بر اساس عملکرد نهایی دانه در هر نمونه حاصل از کل هر کرت نسبت به کل ماده خشک تولیدی گیاه (اندام های هوایی) در همان مساحت از معادله (۵) محاسبه شد.

معادله (۵) شاخص برداشت =

$100 \times (\text{وزن خشک اندام های هوایی} / \text{وزن خشک دانه})$

جدول ۱: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه در بررسی تأثیر تنش خشکی بر روی عملکرد و اجزای آن در سال اول

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد	تعداد غلاف در گیاه	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه
تکرار	۲	۱۰۸۳۳۷/۶۷۴ns	۴۳۷/۰۲۰ns	۲۴۰/۴۳۷ns	۰/۸۲۲ns
تیمار تنش	۳	۲۰۳۳۲۶۵/۳۳۶**	۲۰۳/۸۲۶ns	۵۱۴/۰۷۶ns	۰/۵۴۴*
خطا	۶	۴۲۰۹۵۹/۲۰۱	۴۰۱/۰۱۷	۲۷۲/۷۴۳	۰/۱۵۸
رقم	۳	۱۵۷۴۱۲/۷۱۲ns	۲۳۷۷/۸۵۹*	۳۷۳/۷۴۳ns	۰/۰۸۲ns
سطوح تنش * رقم	۹	۳۷۰۸۴۳/۷۸۲ns	۹۴۵/۱۴۷ns	۳۹۴/۶۵۰ns	۰/۲۳۴ns
خطا	۲۳	۵۵۰۰۸۹/۵۱	۸۴۹/۱۹۶	۳۶۲/۲۸۸	۰/۴۵۵

* معنی دار در سطح ۵٪، ** معنی دار در سطح ۱٪، ns بدون تفاوت معنی دار

جدول ۲: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه در بررسی تأثیر تنش خشکی بر روی عملکرد و اجزای آن در سال دوم

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد	تعداد غلاف در گیاه	تعداد دانه در غلاف	وزن هزار دانه
تکرار	۲	۴۷۶۱۰۹/۵۳۸*	۴۳۷/۰۲۰ns	۱۶/۶۰۷ns	۰/۰۰۵۸ns
تیمار تنش	۳	۱۱۲۳۹۴۵/۴۱۶**	۲۰۳/۸۲۶ns	۲/۵۹۲ns	۰/۷۷۸**
خطا	۶	۴۷۲۵۳/۹۳۰	۴۰۱/۰۱۷	۲۴/۹۵۳	۰/۰۹۳
رقم	۳	۸۸۴۱۲۷/۶۹۹**	۲۳۷۷/۸۵۹**	۳/۵۶۷ns	۰/۴۴۷ns
سطوح تنش * رقم	۹	۱۷۰۶۵۶/۵۴۰ns	۹۴۵/۱۴۷ns	۲۴/۸۵۳**	۰/۱۵۲ns
خطا	۲۳	۳۸۲۴۲۹/۱۷	۸۴۹/۱۹۶	۱۸/۴۸۲	۰/۲۴۴

* معنی دار در سطح ۵٪، ** معنی دار در سطح ۱٪، ns بدون تفاوت معنی دار

جدول ۳: اثر تیمار تأمین نیاز آبی روی عملکرد دانه کلزا

عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)			تأمین نیاز آبی	
درصد از شاهد	سال دوم	درصد از شاهد	سال اول	۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی (شاهد)
شاهد	۲۳۲۰/۹ab	شاهد	۲۴۲۲/۲a*	
۱۰۸/۵	۲۵۱۸/۴a	۸۷/۸	۲۱۲۶/۲ab	۸۰ درصد تأمین نیاز آبی
۹۰/۳	۲۰۹۴/۹b	۷۱/۴	۱۷۳۰/۶bc	۶۵ درصد تأمین نیاز آبی
۷۷/۸	۱۸۰۶/۵c	۶۱/۲	۱۴۸۲/۶c	۵۰ درصد تأمین نیاز آبی

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری تفاوت معنی داری ندارند (P<0.05).

اساس به نظر می‌رسد که بروز تنش آبی در کلزا در سطوح آبی پائین تر از این سطح ظاهر خواهد شد. البته جهت تعیین دقیق آستانه واکنش عملکرد کلزا به تنش آبی به آزمایشات دقیق تری نیاز است. بعلاوه می‌توان انتظار داشت که چنانچه ۲۰ درصد کسری آب نسبت به شاهد، آستانه مقاومت کلزا به خشکی باشد این سطح از تأمین آب به عنوان یک سطح کم آبیاری در زراعت این گیاه معرفی شود. تجزیه واریانس مرکب دوساله عملکرد نشان داد که اثر سال در این آزمایش معنی دار بود. نتیجه تجزیه واریانس مرکب در جدول (۴) نشان داده شده است.

مقایسه عملکرد دانه بین ارقام (جدول ۵) تفاوت عملکرد را در سال اول اندک و در سال دوم بین رقم زرفام با سایر ارقام و رقم اکاپی با اس.ال.ام ۰۴۶، معنی دار نشان داد. این نتایج گویای رفتار متغیر ارقام در دو سال آزمایش بود. به طور کلی عملکرد دانه ارقام لیکورد و اس.ال.ام ۰۴۶ بین دو سال آزمایش اختلاف قابل توجهی نداشت در حالی که عملکرد ارقام زرفام و اکاپی بین دو سال در حدود ۵۰۰

جدول ۴: نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه در دو سال

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	Pr > F
سال	۱	۱۵۴۱۶۱۴/۱۶۹ **	۰/۰۰۳۹
خطا (تکرار در سال)	۴	۱۹۲۲۲۲/۲۵	۰/۱۵۶۷
تنش خشکی	۳	۲۸۱۰۹۴۸/۳۴ **	<۰/۰۰۰۱
سال*تنش خشکی	۳	۳۴۶۲۶۴/۷۶	۰/۱۱۷۸
خطا (تکرار*تنش خشکی)	۱۲	۲۳۴۱۰۶/۷۱	۰/۲۰۱۸
رقم	۳	۴۰۴۲۳۴/۵۷	۰/۰۷۸۷
تنش خشکی*رقم	۹	۲۰۹۱۸۲/۴۹	۰/۲۹۰۹
سال*رقم	۳	۶۳۷۳۰۴/۸۶ **	۰/۰۱۶۰
سال*تنش خشکی*رقم	۹	۳۳۲۳۱۶/۹۶	۰/۰۶۲۸

* معنی دار در سطح ۵٪، ** معنی دار در سطح ۱٪

وزن هزاردانه در جداول (۲ و ۱). کومار و همکاران (۲۳) نشان دادند که در کلزا تنش آبی موجب کاهش تعداد دانه در غلاف شد و در عوض وزن دانه‌ها افزایش یافت. اثرات متقابل تنش آبی و رقم در سال اول و دوم روی عملکرد دانه معنی دار نبود (جدول ۲ و ۱). پاسبان (۱) در ارزیابی شاخص‌های فیزیولوژیک برای گزینش ارقام مقاوم به خشکی در کلزا تفاوت معنی دار در عملکرد دانه، وزن هزاردانه، تعداد دانه در گیاه، تعداد غلاف در گیاه و تعداد دانه در غلاف را گزارش کرد.

اثر تیمارهای تنش خشکی روی عملکرد دانه در هر دوسال معنی دار بود (جدول ۳). با کاهش میزان تأمین آب مورد نیاز کلزا از سطح ۸۰ درصد به ۶۵ و سپس ۵۰ درصد تأمین نیاز آبی گیاه، عملکرد دانه نسبت به شاهد در سال اول به ترتیب ۸۷/۸، ۷۱/۴ و ۶۱/۲ درصد کاهش یافت. این کاهش در سال دوم به میزان کمتر و از سطح آبیاری ۶۵ درصد تا ۵۰ درصد به مقادیر ۹۰/۳ و ۷۷/۸ درصد رسید. این نتایج نشان‌دهنده میزان شدت اثر تنش خشکی روی عملکرد دانه می‌باشد که در سال اول از نظر آماری تیمار ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی با تیمار ۸۰ درصد تفاوت معنی دار نداشت در صورتی که اختلاف آن با تیمار ۶۵ درصد و ۵۰ درصد تأمین آب معنی دار بود. بنا بر این تیمار ۸۰ درصد تأمین نیاز آبی به عنوان تنش محسوب نشد. بین تیمارهای ۶۵ و ۵۰ درصد تأمین نیاز آبی، در سال اول اختلاف اندک و غیرمعنی دار مشاهده شد اما در سال دوم اختلاف معنی دار بود (جدول ۳).

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که با تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی، عملکرد کلزا واکنش قابل توجهی به کمبود آب بروز نداده است و تفاوت عملکرد دانه در تأمین آب مورد نیاز تا ۲۰ درصد کسری آب نسبت به شاهد معنی دار نیست. بر این

جدول ۵: اثر تیمار رقم روی عملکرد دانه کلزا*

رقم	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	
	سال اول	سال دوم
زرغام	۱۹۹۴/۳a	۲۵۳۵/۶a
اکاپی	۱۷۶۴/۶a	۲۲۵۵/۴b
اس.ال.ام.۰۴۶	۱۹۷۹/۹a	۱۹۲۵/۹c
لیکورد	۲۰۲۲/۹a	۲۰۲۳/۸bc

در هر ستون میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری تفاوت معنی داری ندارند ($P < 0.05$).

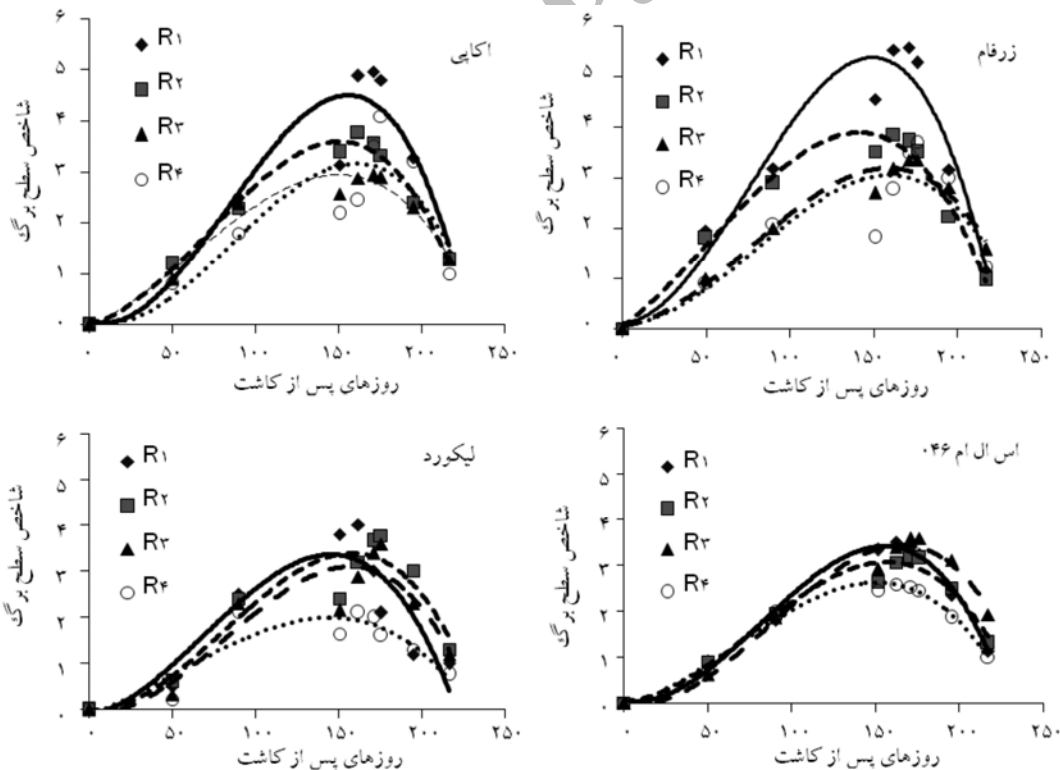
آبیاری تکمیلی در کلزا، طول دوره گل دهی و در نتیجه تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته افزایش می یابد (۵۰) که این امر احتمالاً ناشی از سطح برگ بیشتر در طول دوره گلدهی و در نتیجه تولید مواد فتوسنتزی بیشتر است. زمانی که این اختلاف در بین گونه های خردل بررسی شد مشخص گردید در شرایط تنش خشکی، خردل هندی تعداد دانه بیشتری در هر غلاف داشت که دلیل آن تنظیم اسمزی در طول دوره پر شدن دانه بود (۵۰).

شاخص سطح برگ

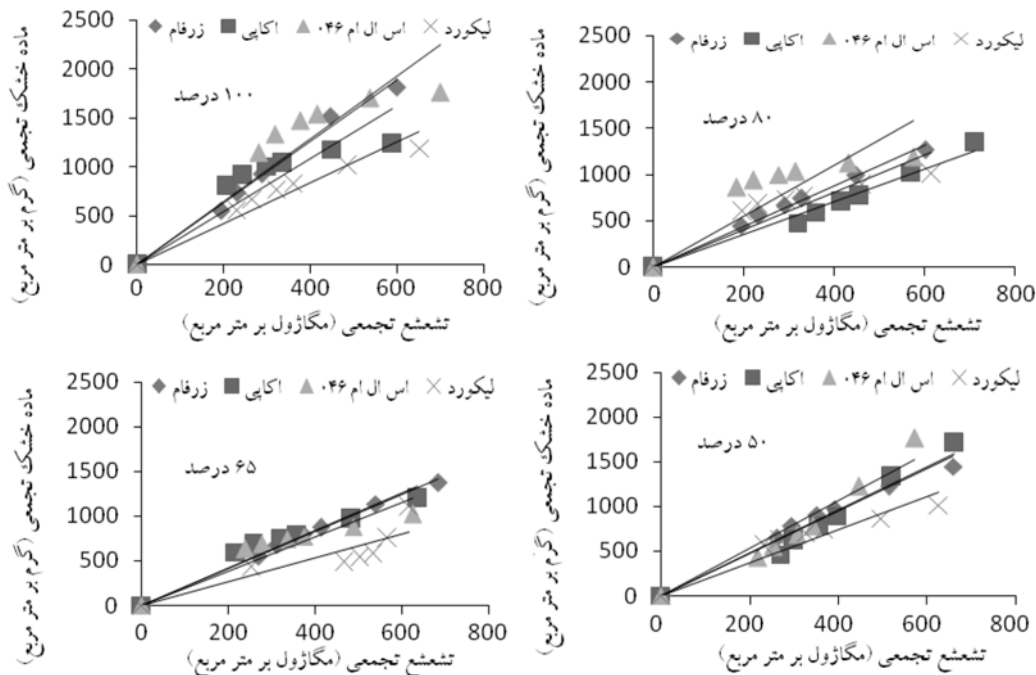
مقایسه شاخص سطح برگ در مرحله گلدهی (حدود ۱۶۰ روز پس از کاشت) نشان داد رقم زرغام که دارای سرعت رشد اولیه بیشتری می باشد (مقایسه مرحله رشد خطی رقم زرغام در نمودارهای شکل ۱) در تیمار شاهد و تیمار ۸۵ درصد تأمین نیاز آبی دارای شاخص سطح برگ تقریباً یکسانی بود (شکل ۱). به نظر می رسد که عملکرد بالاتر رقم زرغام به ویژه در سال دوم (جدول ۵) ناشی از

کیلوگرم در هکتار تفاوت نشان داد (جدول ۵). به نظر می رسد که عملکرد ارقام زرغام و اکاپی در مقایسه دو رقم دیگر در مقابل نوسانات آب و هوایی از ثبات کمتری برخوردار می باشد.

شکاری (۳) در بررسی خود بر روی تأثیر تنش خشکی روی فنولوژی و عملکرد سه ژنوتیپ کلزا اختلاف معنی داری در وزن هزار دانه و عملکرد دانه گزارش کرده است. نتایج برخی تحقیقات نشان داده است که با اجرای



شکل ۱: شاخص سطح برگ ارقام کلزا (R1 - تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (شاهد)، R2 - تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی، R3 - تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی، R4 - تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی می باشند).



شکل ۲: میزان ماده خشک تجمعی ارقام به ازای تشعشع تجمعی جذب شده در تیمار ۱۰۰ درصد تأمین نیازآبی (شاهد)، تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی، تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی، تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی. مقادیر RUE مربوطه در جدول ۹ آمده است.

درون گیاه باشد که عمدتاً مربوط به فتوسنتز است. این فرآیند ها موجب تولید برگ های کوچک تر در شرایط تنش خشکی می شوند و از طرف دیگر موجبات زوال برگها را زودتر از موعد فراهم می کنند (۵۰). کومار و همکاران (۲۳) در آزمایش خود بر روی گونه های براسیکا گزارش کردند که تفاوت های زیادی بین این گونه ها در توسعه برگگی در شرایط تنش خشکی وجود داشت، ولی پدیده زوال برگ ها ناشی از تنش خشکی تقریباً در همه آنها به یک نسبت یافت شد.

شاخص برداشت

تأثیر تنش خشکی بر شاخص برداشت در سال اول بیشتر و مقدار کاهش آن نسبت به شاهد معادل ۷/۳۲، ۵/۳۴، ۱۱/۹۶ درصد به ترتیب در تیمارهای ۸۰، ۶۵ و ۵۰ درصد تأمین نیاز آبی بود. این کاهش در سال دوم تنها در تیمار ۵۰ درصد تأمین نیاز آبی و به مقدار ۸/۰۷ درصد مشاهده شد (جدول ۶). میانگین اثرات تنش خشکی روی شاخص برداشت نشان داد که تیمار تنش ۵۰ درصد، روی شاخص برداشت اثر معنی دار منفی داشت (شکل ۳).

برتری شاخص سطح برگ (شکل ۱) و کارآئی مصرف نور (شکل ۲) بود که همبستگی قوی بین تغییرات شاخص سطح برگ و عملکرد دانه در این رقم را نشان داد.

در رقم اکابی تیمار شاهد بیشترین شاخص سطح برگ را داشت (شکل ۱). تفاوت اولین سطح تنش آبی با شاهد در زمان حداکثر شاخص سطح برگ ناچیز بود. اما در رقم اس ال.ام ۰۴۶ شاخص سطح برگ تیمار شاهد با سطح اول تنش تفاوت قابل ملاحظه ای داشت (شکل ۱). بنظر می رسد این تفاوت، نشانه حساسیت بیشتر این رقم در برابر کاهش آبیاری باشد. در رقم لیکورد شاخص سطح برگ در تیمار اول تنش تفاوت چندانی با شاهد نداشت (شکل ۱)، اما در تیمار دوم و سوم تنش (۶۵ و ۵۰ درصد تأمین نیازآبی) شاخص سطح برگ به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش یافت. این نتایج نشان دهنده اثر مستقیم تنش خشکی روی شاخص سطح برگ می باشد. اثر متقابل رقم و تنش خشکی بر شاخص سطح برگ معنی دار نبود.

داین بروک (۱۳) کاهش شاخص سطح برگ را در اثر اعمال تنش خشکی در کلزا گزارش کرده است. کاهش در سطح برگ، خود می تواند ناشی در فرآیندهای دیگری از

جدول ۶: اثرات متقابل تیمارهای تنش خشکی و رقم بر شاخص برداشت در دو سال آزمایش

	۱۰۰ درصد تأمین نیازآبی		۸۰ درصد تأمین نیازآبی		۶۵ درصد تأمین نیازآبی		۵۰ درصد تأمین نیازآبی	
	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
زرقام	۳۲/۹۰a	۵۲/۶۸ab	۲۲/۰۲ab	۳۸/۱۸abc	۱۹/۸۴ab	۳۱/۱۰abc	۱۶/۶۷ab	۴۰/۰۱abc
اکاپی	۳۱/۲۴a	۴۴/۷۱abc	۱۷/۹۳ab	۵۹/۸۴a	۲۶/۳۸ab	۳۸/۴۲abc	۱۷/۳۲ab	۲۱/۷۲c
اس ال ام ۰۴۶	۲۸/۲۳a	۲۱/۲۳c	۲۳/۸۷ab	۲۵/۷۴bc	۱۶/۰۱ab	۴۲/۰۳abc	۱۰/۶۲b	۲۰/۸۱c
لیکورد	۱۵/۹۹ab	۳۰/۵۹a	۲۲/۲۸ab	۴۳/۰۶abc	۱۵/۹۶ab	۴۰/۵۴abc	۱۶/۰۶ab	۳۴/۳۷abc

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری تفاوت معنی داری ندارند ($P < 0.05$).

برداشت در کلزا در سطوح تنش شدید شد. همبستگی مثبت بین عملکرد دانه و شاخص برداشت توسط کومار و همکاران (۲۴) در کلزا گزارش شده است. بنابر این به نظر می‌رسد عواملی که باعث کاهش شاخص برداشت شوند عملکرد کلزا را کاهش خواهند داد.

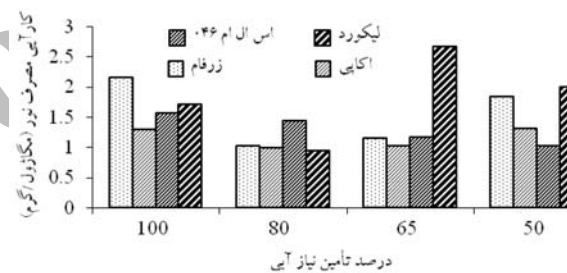
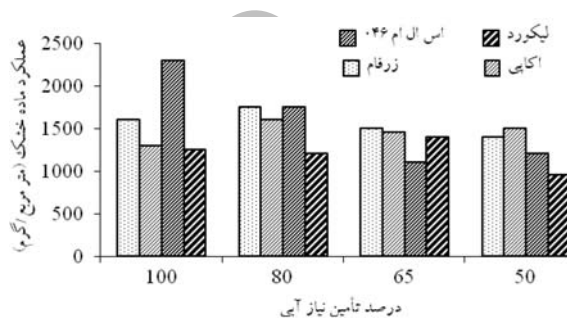
کارایی مصرف نور

همبستگی خطی بین تشعشع جذب شده تجمعی و ماده خشک تجمعی که نشان‌دهنده کارایی مصرف نور ارقام مورد آزمایش در دو سال متوالی است در شکل ۲ و ضرائب همبستگی معادله‌های آن و میانگین کارایی در دو سال در جدول ۶ آمده است.

در رقم زرقام، اکاپی، اس ال ام ۰۴۶ و لیکورد به ترتیب بالاترین کارایی مصرف نور متعلق به تیمار ۱۰۰ درصد (شاهد)، ۵۰ درصد، ۵۰ درصد و ۶۵ درصد تأمین نیاز آبی بود (شکل ۲). در مقایسه سطوح تنش بالاترین کارایی مصرف نور در تیمار شاهد حاصل شد. این نتایج تفاوت ارقام در بهره‌گیری از تشعشع و تولید ماده خشک و اهمیت اثر متقابل رقم و تنش بر کارایی مصرف نور در کلزا را نشان می‌دهد. احتمالاً مقدار زیادی از این تفاوت ناشی از اختلاف در شاخص سطح برگ ارقام در سطوح مختلف تأمین نیاز

جدول ۷: میانگین شاخص برداشت ارقام کلزا در دو سال

ارقام	میانگین شاخص برداشت دو سال
زرقام	۳۰/۱۸ a
اکاپی	۳۲/۱۹ a
اس ال ام ۰۴۶	۲۳/۵۶ b
لیکورد	۲۷/۳۶ ab



شکل ۳: مقایسه کارایی مصرف نور و تجمع ماده خشک در تیمارهای تنش خشکی

مقایسه میانگین‌های شاخص برداشت ارقام مورد آزمایش نشان داد بین ارقام از نظر شاخص برداشت اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۷). به نظر می‌رسد که رقم اس ال ام ۰۴۶ با اینکه شاخص برداشت کمتری دارد ولی هم شاخص برداشت و هم عملکرد آن در مقابل تغییرات سالانه آب و هوایی نوسان کمتری دارد (جدول ۶ و ۷).

شکاری (۳) مقادیر شاخص برداشت در شرایط ۷۰ درصد آب در دسترس گیاه را در مقایسه با سطوح ۵۰ درصد و ۳۰ درصد به ترتیب ۲۹/۴، ۲۱/۹ و ۲۰/۶۴ درصد و بیشترین شاخص را در شرایط شاهد (ظرفیت زراعی) به میزان ۳۱/۵ درصد گزارش کرد. همچنین رایت و همکاران (۵۰) گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش شاخص

جدول ۸: میانگین شاخص برداشت کلزا در تیمارهای آبی در دو سال

درصد تأمین نیاز آبی	میانگین شاخص برداشت دو سال
۱۰۰	۳۲/۱۹a
۸۰	۳۱/۶۱a
۶۵	۲۸/۷۸ab
۵۰	۲۲/۱۹b

شده است و مقدار آن حدود ۱/۴ گرم ماده خشک به ازای یک مگاژول تشعشع جذب شده، بیان شده است (۲۸). اما در برخی موارد این مقدار برای گیاهان مختلف، متغیر گزارش شده است (۷، ۸، ۱۵، ۱۴، ۱۷ و ۴۵)

شکل ۳ نشان می‌دهد که کارآیی مصرف نور تنها عامل موثر در افزایش عملکرد ماده خشک کلزا نبوده است. به عبارت دیگر عملکرد ماده خشک در همه تیمارهای تنش از RUE تبعیت نکرده و بنابر این می‌توان نتیجه گرفت که کلزا در شرایط تنش برای ایجاد تحمل به تنش خشکی به عوامل دیگری غیر از کارآیی مصرف نور وابستگی دارد و مکانیسم های تحمل خود را از آنها کسب می‌کند. برخی محققین ویژگی‌های فیزیولوژیک دیگری مانند مقدار آب نسبی برگ‌ها (RWC)، کاهش دمای کانوپی (CTD)، و مساحت غلاف‌ها را نیز به عنوان شاخص‌های مقاومت به خشکی در کلزا معرفی کرده‌اند (۳۴، ۲۷، ۳۵، ۴۰ و ۴۱). نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ارقام مختلف

آبی باشد. بخشی دیگر از تفاوت‌های ایجاد شده در تجمع ماده خشک ناشی از عوامل دیگری مانند کارآیی فتوسنتزی است. آرواس و همکاران (۱۰) گزارش کردند کارآیی مصرف نور با توزیع بهتر تشعشع فعال فتوسنتزی در کانوپی گیاه تحت شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد و تأثیر تنش خشکی بر کاهش عملکرد از طریق کاهش سطح برگ و تسریع پیری برگ‌ها بسیار مهمتر از تأثیر گذاری آن بر فتوسنتز می‌باشد. این موضوع در مقایسه نمودارهای شکل ۱ دیده می‌شود. در برخی از منابع، کارآیی مصرف نور به عنوان یک ضریب ثابت برای همه گیاهان زراعی گزارش

جدول ۹: کارآئی مصرف نور ارقام کلزا و ضرایب تبیین (R²) معادله های آن در تیمارهای تنش خشکی و شاهد

رقم	تأمین نیاز آبی	کارآئی مصرف نور سال اول* (گرم ماده خشک برمگاژول)	ضریب تبیین R ²	کارآئی مصرف نور سال دوم* (گرم ماده خشک برمگاژول)	ضریب تبیین R ²	میانگین کارآئی مصرف نور در دو سال (گرم ماده خشک برمگاژول)
زرغام	شاهد	۱/۶۷	۰/۹۹	۲/۶۵	۰/۹۵	۲/۱۶
	۸۰ درصد آبیاری	۱/۱۸	۰/۹۹	۱/۴۰	۰/۹۶	۱/۲۹
	۶۵ درصد آبیاری	۱/۱۷	۰/۹۹	۱/۹۸	۰/۹۵	۱/۵۷
	۵۰ درصد آبیاری	۱/۳۸	۰/۹۷	۲/۰۴	۰/۹۱	۱/۷۱
اکاپی	شاهد	۰/۹۳	۰/۷۰	۲/۷۳	۰/۸۴	۱/۸۳
	۸۰ درصد آبیاری	۱/۱۴	۰/۹۸	۱/۴۹	۰/۹۹	۱/۳۱
	۶۵ درصد آبیاری	۱/۰۴	۰/۹۱	۱/۰۳	۰/۹۰	۱/۰۳
	۵۰ درصد آبیاری	۱/۶۷	۰/۹۶	۲/۳۱	۰/۸۶	۱/۹۹
اس.ال.ا.م. ۰۴۶	شاهد	۱/۴۳	۰/۷۱	۰/۸۶	۰/۷۸	۱/۱۵
	۸۰ درصد آبیاری	۱/۱۴	۰/۴۹	۰/۹۰	۰/۸۱	۱/۰۲
	۶۵ درصد آبیاری	۰/۹۴	۰/۸۴	۱/۳۸	۰/۹۲	۱/۱۶
	۵۰ درصد آبیاری	۱/۸۲	۰/۹۳	۳/۵۲	۰/۹۳	۲/۶۷
لیکورد	شاهد	۱/۰۸	۰/۹۲	۰/۹۹	۰/۸۰	۱/۰۳
	۸۰ درصد آبیاری	۰/۹۵	۰/۷۱	۱/۰۳	۰/۹۴	۰/۹۹
	۶۵ درصد آبیاری	۱/۷۷	۰/۷۲	۱/۰۹	۰/۸۱	۱/۴۳
	۵۰ درصد آبیاری	۱/۰۰	۰/۸۷	۰/۹۰	۰/۹۶	۰/۹۵

*کارآئی برای کل فصل رشد محاسبه شده است

شاخص سطح برگ در کلزا بیش از وابستگی به شاخص برداشت است.

تفاوت عملکرد ارقام در تیمار های تنش بیشتر ناشی از تفاوت کارایی نور در آن ها بود (جدول ۹ و ۳). تفاوت کارایی فتوسنتزی ارقام نیز می تواند عامل مؤثری در اختلاف رفتار ارقام در شرایط تنش باشد. به نظر می رسد برای قضاوت دقیق تر در این مورد به آزمایشات تبادل گاز گیاه در شرایط کنترل شده نیاز باشد.

کلزا از نظر شاخص سطح برگ، شاخص برداشت و کارایی مصرف نور در شرایط تنش خشکی رفتار متفاوتی دارند. چنین تفاوت هایی در گزارش های موچو و سینکلر (۳۱)، مونتیث (۲۸) و ایرل (۱۵) در مورد گیاهان مرتعی، ذرت وارزن آمده است. مقادیر بدست آمده برای کارایی مصرف نور در این تحقیق بین ۰/۹۵ و ۲/۶۷ گرم ماده خشک برمگاژول بر اساس تشعشع کل در تیمارهای تنش خشکی بدست آمد. بنظر می رسد وابستگی کارایی مصرف نور به

منابع

- ۱- پاسبان اسلام، ب. ۱۳۷۱. ارزیابی شاخص های فیزیولوژیک برای گزینش ارقام مقاوم به خشکی کلزا. پایان نامه دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
- ۲- سرمد نیا، غ. و ع. کوچکی. ۱۳۷۳. فیزیولوژی گیاهان زراعی. (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- ۳- شکاری، ف. ۱۳۸۰. بررسی تأثیر تنش خشکی بر روی فنولوژی، روابط آبی، رشد، عملکرد و کیفیت محصول کلزا (*Brassica napus L.*). پایان نامه دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
- ۴- عزیز می، م. و ع. فلاح طوسی. ۱۳۸۰. نتایج طرح های به نژادی و به زراعی کلزا در استان خراسان. مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان. نشریه شماره ۸۰/۲۲۱/۵۳۲. ص. ۱۱-۱۳.
- ۵- عزیز زاده، ا. و غ. کمالی. ۱۳۸۶. نیاز آبی گیاهان در ایران. (تألیف). انتشارات آستان قدس رضوی.
- ۶- فرشی، ع.، م. شریعتی، ر. جبار الهی، م. قنائی، م. شهابی فر، و م. م. تولائی. ۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور (جلد اول: گیاهان زراعی، تألیف). موسسه تحقیقات خاک و آب. نشر آموزش کشاورزی.
- ۷- کامکار، ب. ع. کوچکی، م. نصیری محلاتی، و پ. رضوانی مقدم. ۱۳۸۳. ارزیابی کارایی مصرف نور و رابطه آن با تولید ماده خشک در سه گونه ارزن. مجله پژوهش های زراعی ایران. ۲(۲): ۱۹۶-۲۰۷.
- ۸- ناظری، م. ۱۳۸۳. مطالعه واکنش ژنوتیپ های تریتیکاله (*Triticosecale wittmack*) به شرایط محدودیت رطوبتی در مراحل مختلف نمو. پایان نامه دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
- ۹- نصیری محلاتی، م. ۱۳۷۹. مبانی مدل سازی رشد و نمو گیاهان زراعی. (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- 10- Araus, J.L., G.A. Salfer, M.P. Reynold, and C. Royo. 2002. Plant breeding and drought in C3 cereals: What should we breed for? *Anna. Bot.* 89: 925-240.
- 11- Bell, M.J., R.C., Muchow, and G.L. Wilson. 1987. The effect of plant population on peanuts (*Arachis hypogaea*) in a monsoonal tropical environment. *Field Crops Res.* 17: 91-107.
- 12- Collino, D.J., J.L. Dardanelli, R. Sereno, and R.W. Racca. 2001. Physiological responses of argentine varieties to water stress. Light interception, radiation use efficiency and partitioning of assimilates. *Field Crops Res.* 70: 177-184.
- 13- Diepenbrock, W. 2000. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus L.*). A review. *Field Crops Res.* 67: 35-49.
- 14- Earl, H.J. and M. Tollenaar. 1999. Using chlorophyll fluorometry compare photosynthetic performance of commercial maize (*Zea mays L.*) Hybrids in the field. *Field Crops Res.* 61: 201-210.
- 15- Earl, H.J. and R.F. Davis. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize, *Agron. J.* 95: 688-696.
- 16- Edwards, G.E., and N.R. Baker. 1993. Can CO₂ assimilation in Maize leaves be predicted accurately from chlorophyll fluorescence analysis? *Photosy. Res.* 37: 89-102.
- 17- Fasheun, A., and M.D. Dennett. 1982. Interception of radiation and growth efficiency in field beans (*Vicia faba L.*). *Agric. Meteorol.* 26: 221-229.
- 18- Gregory, P.J., and J. Eastham. 1996. Growth of shoots and roots and interception of radiation by wheat and lupin crops on a shallow, duplex soil in response to time of sowing. *Aust. J. Agric. Res.* 47: 427-447.
- 19- Heath, M.C., and P.D. Hebblethwaite. 1985. Solar radiation interception by leafless, semi-leafless and leafed peas (*Pisum sativum*) under contrasting field conditions. *Ann. App. Biol.* 107: 309-31.
- 20- Hughes, G., and J.D.H. Keatinge. 1983. Solar radiation interception, dry matter production and yield in pigeon pea (*Cajanus cajan L. Millspaugh*). *Field Crops Res.* 6: 171178.

- 21- Hughes, G., J.D.H. Keatinge, J.B.M. Cooper, and N.F. Dee. 1987. Solar radiation interception and utilization by chickpea (*Cicer arietinum* L.) crops in northern Syria. *J. Agric. Sci. Camb.* 108: 419-424.
- 22- Kramer, P. J. 1983. Water relations of plants. Academic Press. pp.342-415.
- 23- Kumar, A., D.P. Singh, and P. Singh. 1994. Influence of water stress on photosynthesis, transpiration, water use efficiency and yield of *Brassica juncea* L., *Field Crop Res.* 37: 95-101.
- 24- Kumar, A., J. Elston, and P. Singh. 1994. Leaf area growth of two *Brassica* species in response to water stress. *Crop Res.* 8: 594-602.
- 25- Leach, G.J., and D.F. Beech. 1988. Response of chickpea accessions to row spacing and plant density on a vertisol on the Darling Downs, Southeastern Queensland. II. Radiation interception and water use. *Aust. J. Exp. Agric.* 28: 377-383.
- 26- McKenzie, B.A., and G.D. Hill. 1991. Intercepted radiation and yield of lentils (*Lenis culinaris*) in Canterbury, New Zealand. *J. Agric. Sci. Camb.* 117: 339-346.
- 27- Mendham, N.J. and Salisbury, P.A. 1995. Physiology, Crop development, growth and yield of Brassica oilseeds. CAB International. pp.11-64.
- 28- Monteith, J.L. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *J. Appl. Ecol.* 9: 747-766
- 29- Moon, P. 1970. Primary production and yield in agricultural ecosystems. *Agron. J.*, 22: 643-675.
- 30- Morrison, M. J., and D. W. Stewart. 1995. Radiation use efficiency in summer rape. *Agron. J.* 87:1139-1142
- 31- Muchow, R.C., and T.R. Sinclair. 1994. Nitrogen response of leaf photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field grown maize and sorghum. *Crop Sci.* 34: 721-727
- 32- Muchow, R.C., M.J. Robertson, and B.C. Pengelly. 1993. Radiation use efficiency of soybean, mungbean and cowpea under different environmental conditions. *Field Crops Res.* 32: 1-16.
- 33- O'Connell, M.G., G.J., O'Leary, D.M. Whitfield, and D.J. Connor. 2004. Interception of photosynthetically active radiation and radiation- use efficiency of wheat, field pea and mustard in a semi- arid environment. *Field Crops Res.* 85: 120-123.
- 34- Richter, M.G., K.W. Jaggard, and R.A.C. Mitchell. 2001. Modeling radiation interception and radiation use efficiency for sugar beet under variable climatic stress. *Agric. For. Meteorol.* 109: 13-25.
- 35- Roa, M.S. and Mendham, N.J. 1991. Soil- plant - water relations of oilseed rape (*Brassica napus* and *B. campestris*). *J. Agric. Sci., Camb.* 117 : 197-205.
- 36- Rochette, P., R.L. Desjardins, E. Pattey, and R. Lessard. 1996. Instantaneous measurement of radiation and water use efficiencies of maize crop. *Agron. J.* 88: 627-635.
- 37- Schussler, J.R., and M.E. Westgate. 1991. Maize kernel set at low water potential: I. Sensitivity to reduce assimilates during early kernel growth. *Crop Sci.* 31: 1189-1195.
- 38- Sinclair, T.R., and R.C. Muchow. 1999. Radiation use efficiency. *Advances in Agron.* Academic Press, New York. 65: 125-256.
- 39- 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.
- 40- Singh, D.P., P. Singh, A. kumar and H.C. Sharma. 1985. Transpirational cooling as a screening technique for drought tolerance in oilseed Brassica. *Anna. Bot.* 56: 815-820.
- 41- Singh, H. and C.K. Yadav. 1980. Gene action and combining ability for seed yield. Flowering and maturity in Rapeseed. *Indian J. Agric. Sci.*, 50: 59-65.
- 42- Singh, P., and Y.V. Sri Rama. 1989. Influence of water deficit on transpiration and radiation use efficiency of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Agric. For. Meteorol.* 48: 317-330.
- 43- Stone, P.J., D.R. Wilson, J.B. Ried, and G.N. Gillespie. 2001. Water deficit effects on sweet corn. I: water use, radiation use efficiency, growth and yield. *Aust. J. Agric. Res.* 52: 103-113.
- 44- Taize, L., and E. Zeiger. 1991. Plant physiology. The Benjamin Cummings Publishing co., Inc. California, p.565.
- 45- Tesfaye, K., S. Walker, and M. Tsubo. 2006. Radiation interception and Radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. *Europ. J. of Agron.* 25: 60-70.
- 46- Tollenaar, M., and A. Aguilara. 1992. Radiation use efficiency of an old and new Maize hybrid. *Agron. J.* 84: 536-541.
- 47- Tollenaar, M., and T.W. Bruulsema. 1988. Efficiency of Maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion. *Agron. J.* 80: 580-585
- 48- Tsubo, M., E. Mukhala, H.O. Ogindo, and S. Walker. 2003. Productivity of maize-bean intercropping in a semi-arid region of South Africa. *Water SA.* 29: 381-388.
- 49- Van Oosterom, E.J., G.J. O'leary, P.S. Carberry, and P.Q. Craufurd. 2002. Simulating growth, development and yield of tillering pear millet. III: Biomass accumulation and partitioning. *Field Crops Res.* 79: 85-106.
- 50- Wright, P.R., J.M. Morgan, R.S. Jessop, and A. Gass. 1995. Comparative adaptation of Canola (*Brassica napus*) and Indian mustard (*B. juncea*) to soil water deficits: yield and yield components. *Field Crops Res.* 42: 1-13.

Effects of drought stress on radiation use efficiency and yield of winter Canola (*Brassica napus* L.)

J. Vafabakhsh, M. Nassiri Mahallati, A. Koocheki¹

Abstract

A two years field experiment was conducted during 2005 and 2006 growing seasons in the Agriculture Research Station of Torogh, Mashhad to evaluate response of Canola cultivars to limited water. Experimental design was a split plot with three replications in which irrigation regimes were allocated to main plots and cultivars to subplots. Irrigation treatments including 100 (R1), 80 (R2), 65 (R3) and 50 (R4) percent of water requirement based on previously determined water requirement of Canola in Mashhad. Cultivars were Zarfam, Okapi, SLM046 and Licord. The results showed that yield and yield components were significantly affected by drought stress in two years. In R3 seed yield was decreased at first year however, at R4 decreased seed yield was observed in both years. The highest radiation use efficiency (RUE) for Zarfam, Okapi, SLM046 and Licord was obtained at R1, R4, R4 and R3, respectively. This difference was partly due to decreased leaf area index (LAI) with decreasing irrigation levels. The highest and lowest LAI was observed at control (R1) and severe stress (R4), respectively. Harvest index (HI) was affected by drought stress only in R4 treatment. These results showed considerable differences between cultivars in respect to LAI, RUE and HI under drought stress. The lowest and highest RUE of 0.95 and 2.6 g DM MJ⁻¹ were obtained in drought stress treatments. It can be concluded that in this experiment drought resistance in Canola cultivars depends on their higher LAI and RUE.

Keywords: Canola, radiation absorption, radiation use efficiency, drought stress, harvest index, leaf area index

1- Contribution from College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.