اثر تنش خشکی برعملکرد وکارآیی مصرف نور درارقام 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 و۸۵-۸۴ مورد بررسی قرارگرفت. به این منظور آزمایشی درقالب 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 و۵۰ درصد نیازآبی کلزا در شرایط مشهد در کرت های اصلی و چهار رقم کلزا (شامل زرفام، اکاپی، اس.ال.ام۰۴۶ ولیکورد) درکرت های فرعی قرارگرفتند. در هردو سال آزمایش واکنش عملکرد ارقام تحت بررسی به محدودیت تأمین آب (تنش خشکی) مشابه بود. عملکرد همه ارقام با تأمین ۸۰ درصد نیازآبی گیاه در هر دو سال در مقایسه با تیمار شاهد تفاوت معنی داری نداشت. تأمین ۶۵ درصد نیازآبی عملکرد دانه را تنها در سال اول بطور معنی‌داری 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 ۰۴۶ 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 وکمترین مقدار آن در تیمار تنش شدید مشاهده شد. شاخص برداشت صرفاً در تیمار تنش شدید (۵۰درصد تأمین نیازآبی) 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 و۲/۶ گرم بر مگاژول در تیمارهای تنش متغیر بود و مقادیر کارائی مصرف نور در همه تیمارها تابعی از شاخص سطح برگ نبود. عواملی مانند کارآئی 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

مقدار و چگونگی تثبیت انرژی نورانی در گیاهان از مهمترین شاخص‌های فیزیولوژیکی تعیین کننده رشد وعملکرد است که در اکوسیستم های زراعی به دلیل انجام روش های مختلف مدیریت دچار تغییرات می‌شود. تنش خشکی یکی از شرایط محیطی موثر بر این تغییرات ا ست. خشکی به واسطه سه مکانیزم، عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد. الف) کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) توسط کانوپی که ناشی ازکاهش سطح برگ می‌باشد خود از پژمردگی و جمع شدن پهنک در شرایط تنش شدید و در نهایت پیری زودرس برگ های گیاه منتج می‌شود (۲ و ۱۵) 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 آنی در تبادل گازکربنیک به ازای واحد نور جذب‌شده 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 می‌کند که بر اثر آن گیاه

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

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

ساده‌ترین تعریف کارآیی مصرف نور، زیست‌توده گیاهی تولیدشده به انرژی نورانی جذب‌شده توسط گیاه است که بر حسب گرم بر مگاژول بیان می‌شود (۳۱). موریسون واستوارت(۳۰) دربررسی تغییرتراکم روی کلزا گزارش کردند که با افزایش تراکم،کارآئی مصرف نور کاهش یافت. ایرل (۱۵) اثر منفی تنش خشکی بر عملکرد ذرت دانه ای را به دلیل کاهش سطح برگ وکاهش 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 نموی می‌باشد (۳۷).

وجود رابطه خطی بین نورجذب شده و بیومس در بسیاری از گیاهان زراعی به اثبات رسیده است (۳۹ و۴۸). مقدارکارآئی مصرف نور در شرایط متغیر محیطی بر اساس کل تشعشع بین ۱/۰۲تا 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 چغندرقند(۳۴)، ۱/۸۱ و ۱/۹۲ برای گندم و خردل برحسب گرم ماده خشک بر مگاژول گزارش شده است (۳۳).

سینکلر وموچو(۳۸) میانگین حداکثرکارآئی مصرف نور در گیاهان چهارکربنه را مقدار۲ ، ۱/۷۷ و ۱/۴۰ گرم برمگاژول به ترتیب برای نیشکر، ذرت و سورگوم و در گیاهان سه‌کربنه غیر لگوم مقادیر ۱/۷، ۱/۵۶ ، ۱/۴۶ ، ۱/۳۹ و ۱/۳۰ به‌ترتیب برای برای سیب زمینی، آفتابگردان ،برنج وجو گزارش کردند. کولینو(۱۲) کاهش کارآئی مصرف نور در شرایط تنش خشکی را در بادام‌زمینی گزارش کرده است.درکلزا کارآئی 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 ازمناطق کشور که با کمبود آب مواجه می‌باشند وگسترش کشت آن در سال های اخیر، بررسی نقش عوامل مؤثر در بهره‌برداری بهینه از تشعشع مانند کارآیی مصرف نور، کارآیی فتوسنتز وشاخص برداشت ضروری به‌نظرمی‌رسد. ارزیابی ماده خشک تولیدی در گیاهان زراعی با محاسبه کارآیی مصرف نورانجام می‌شود (۳۲ و۴۷)، ولی در ایران تا کنون هیچ‌گونه تحقیقی در مورد کارآیی مصرف نوردر ارقام کلزا تحت شرایط تنش خشکی انجام نشده است. بنابر این هدف از این تحقیق ارزیابی عملکرد ارقام کلزا در شرایط تنش خشکی براساس میزان جذب وکارآیی مصرف تشعشع خورشیدی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو سال زراعی متوالی ۸۴-۸۳ و ۸۵-۸۴ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق (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 آن ها به خشکی از متحمل به حساس براساس نتایج ارزیابی مقدماتی انجام شده در ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق انتخاب شد(۴).

این آزمایش مزرعه‌ای در قالب طرح کرت‌های خردشده با فاکتور تنش آبی در کرت اصلی وفاکتور رقم درکرت فرعی در سه تکرار اجرا شد. برای جلوگیری از تأثیر بارندگی برتیمارهای 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 پوشش ها روی کرت ها را می‌پوشاند. پس از پایان بارندگی، پوشش برزنتی حول محور لوله ای که روی چهارپایه بدین منظور تعبیه شده بود جمع می‌شد. بدین ترتیب آب باران بدون رسیدن به گیاهان و کرت آزمایشی به بیرون ازسیستم 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 نیازآبی 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 درسطوح 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

حجم های متفاوت آب به اضافه مدت زمان اعمال آبیاری روی هر کرت بود. تنظیم این روش آبیاری به نحوی انجام شد که در نهایت درصد های تعریف شده تیمار های آبیاری از این روش حاصل گردید.

ضریب گیاهی کلزا و نیازآبی آن در شرایط مشهد توسط نرم افزارمحاسبه نیازآبی گیاهان تعیین شد (۵). به تیمار شاهد ۱۰۰ درصد آب مورد نیازگیاه داده شد. قبل ازکاشت به ترتیب میزان ۵۰، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم اوره، فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم به خاک داده شد.کشت به روش جوی وپشته ای با فواصل ردیف ۳۰ سانتیمتر وتراکم ۸۰ بوته درمترمربع در تاریخ ۱۵ مهرماه انجام شد.کنترل علف های 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 قطره ای از نوع نوارمرطوب نصب گردید وتیمارهای تنش آبی از اول اسفندماه اعمال شد.

اندازه گیری سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه گیری 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 مدلSSI- UM-1.05 همزمان با نمونه برداری‌های سطح برگ و ماده خشک اندازه گیری شد. اندازه‌گیری ها 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، مقدارk در طول دوره رشد ثابت در نظر گرفته شد.

$$Ln\frac{I_t}{I_0} = -k \times LAI \qquad \text{(معادله ۱)}$$

I_t= میزان نوردر زیر کانوپی ($MJ.m^2.sec$)

I_0= نور بالای کانوپی ($MJ.m^2.sec$)

k= ضریب خاموشی نور

LAI= شاخص سطح برگ

مقادیر شاخص سطح برگ روزانه با برازش تابع لجستیک پیک (معادله ۲) به مقادیر LAI اندازه گیری شده تعیین گردید

$$LAI=a + b\times4(e^{(t-c)/d})/(1+e^{(-t-c)/d})^2 \qquad \text{معادله (۲)}$$

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.

$$I/I_o=A+B(n/N) \qquad \text{معادله (۳)}$$

در این معادله I میزان تشعشع روزانه شبیه‌سازی شده ، I_o میزان تشعشع روزانه بالای کانوپی با توجه به ساعات آفتابی ، n و N به‌ترتیب تعداد ساعات آفتابی و طول روز و A و B ضرایب آنگستروم می‌باشند. مقادیر A و B برای مشهد به ترتیب معادل۰/۳و۰/۳۷در 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.

$$I_{abs} = I_0 \times \left(1 - e^{-k \times LAI_t} \right) \qquad \text{معادله (۴)}$$

مقدار تشعشع جذب شده روزانه تجمعی با استفاده از اعداد تجمعی 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 هرکرت 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 تجمعی و میزان نور جذب شده به دست آمد.

عملکرد دانه از برداشت نهایی کل بوته های یک متر مربع وسط هر کرت (که نمونه برداری های تخریبی فصل

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 ودر ۳۰ غلاف که به صورت تصادفی از قسمت های مختلف گل آذین برداشت شده بودند صورت گرفت. وزن هزاردانه در انتهای فصل رشد و از دانه های حاصل از برداشت نهایی به صورت ۱۰ نمونه ۱۰۰ دانه ای از هر کرت اندازه‌گیری 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، اندازه‌گیری .و شاخص برداشت بر اساس عملکرد نهایی دانه در هر نمونه حاصل از کل هر کرت نسبت به کل ماده خشک تولیدی گیاه (اندام‌های هوایی) در همان مساحت از معادله (۵) محاسبه شد.

معادله (۵) شاخص برداشت=

۱۰۰ × (وزن خشک اندام های هوایی/ وزن خشک دانه)

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

نتایج وبحث

عملکرد واجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزای آن نشان داد که واکنش عملکرد ارقام تحت بررسی به تنش خشکی معنی‌دار بود (جداول۱و۲). معنی داربودن اختلاف تعداد غلاف در گیاه(جداول ۱و۲) نشان داد که کاهش عملکرد دانه در ارقام موردآزمایش 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 لوبیاسبز، لوبیای چشم بلبلی ونخود را در شرایط تنش رطوبتی در زمان گل دهی وغلاف بندی گزارش کردند.

در این بررسی کاهش عملکرد دانه در تیمارهای تنش، تأثیرپذیری بیشتری از وزن هزار دانه داشت (تفاوت معنی‌دار

جدول ۱: تجزیه واریانس(میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه در بررسی تأثیرتنش خشکی بر روی عملکرد واجزای آن درسال 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	۰/۳۳۴ns
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 تأثیرتنش خشکی بر روی عملکرد و اجزای آن درسال 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
تیمارتنش	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	۲۴/۸۵۲**	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

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

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

وزن هزاردانه در جداول ۱و۲).کومار و همکاران(۲۳) نشان دادندکه در کلزا تنش آبی موجب کاهش تعداد دانه درغلاف شد و در عوض وزن دانه ها افزایش یافت. اثرات متقابل تنش آبی و رقم در سال اول و دوم روی عملکرد دانه معنی‌دار نبود(جدول ۱و۲). پاسبان(۱) در ارزیابی شاخص های فیزیولوژیک برای گزینش ارقام مقاوم به خشکی در کلزا تفاوت معنی‌دار در عملکرددانه، وزن هزاردانه، تعداد دانه درگیاه، تعداد غلاف درگیاه و تعداد دانه درغلاف راگزارش کرد.

اثر تیمارهای تنش خشکی روی عملکرد دانه در هر دوسال معنی‌دار بود (جدول۳). با کاهش میزان تأمین آب مورد نیاز کلزا از سطح ۸۰ درصد به ۶۵ وسپس 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 معنی‌دار نداشت در صورتی‌که اختلاف آن با تیمار ۶۵ درصد و ۵۰ درصد تأمین آب معنی‌دار بود. بنا بر این تیمار ۸۰ درصد تأمین نیاز آبی به عنوان تنش محسوب نشد. بین تیمار های ۶۵ و ۵۰ درصد تأمین نیازآبی، در سال اول اختلاف اندک و غیرمعنی‌دار مشاهده شد اما درسال دوم اختلاف معنی‌دار 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 معنی‌دار نیست. بر این 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 معنی‌دار 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 ، معنی‌دار نشان داد. این نتایج گویای رفتار متغیر ارقام در دو سال آزمایش بود. به طور کلی عملکرد دانه ارقام لیکورد و اس. ام. ال۰۴۶ 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	۱۹۲۲۲۳/۲۵	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٪

جدول ۵: اثر تیماررقم روی عملکرد دانه کلزا*

رقم	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	
	سال اول	سال دوم
زرفام	۱۹۹۴/۳a	۲۵۳۵/۶a
اکاپی	۱۷۶۴/۶a	۲۲۵۵/۴b
اس.ال.ام۰۴۶	۱۹۷۹/۹a	۱۹۲۵/۹c
لیکورد	۲۰۲۲/۹a	۲۰۲۳/۸bc

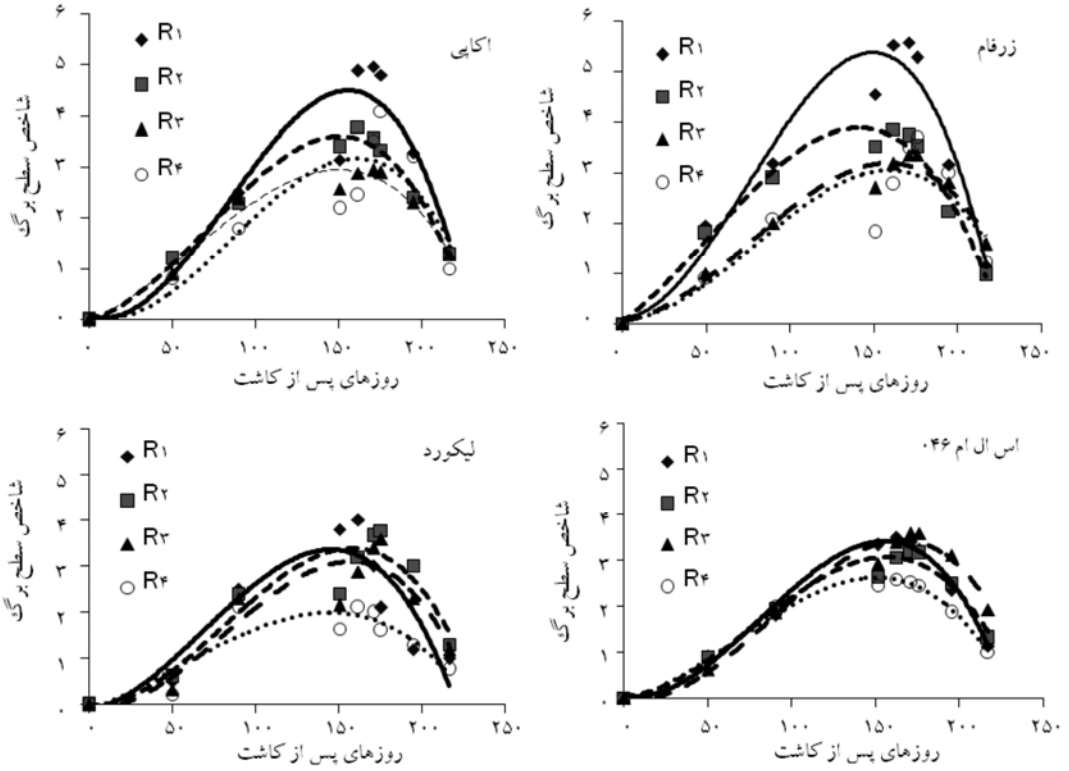
در هر ستون میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری تفاوت معنی داری ندارند ($P<0.05$).

کیلوگرم در هکتار تفاوت نشان داد(جدول۵). به نظر می‌رسد که عملکرد ارقام زرفام واکاپی در مقایسه دو رقم دیگر در مقابل نوسانات آب و هوایی از ثبات کمتری برخوردار می‌باشد.

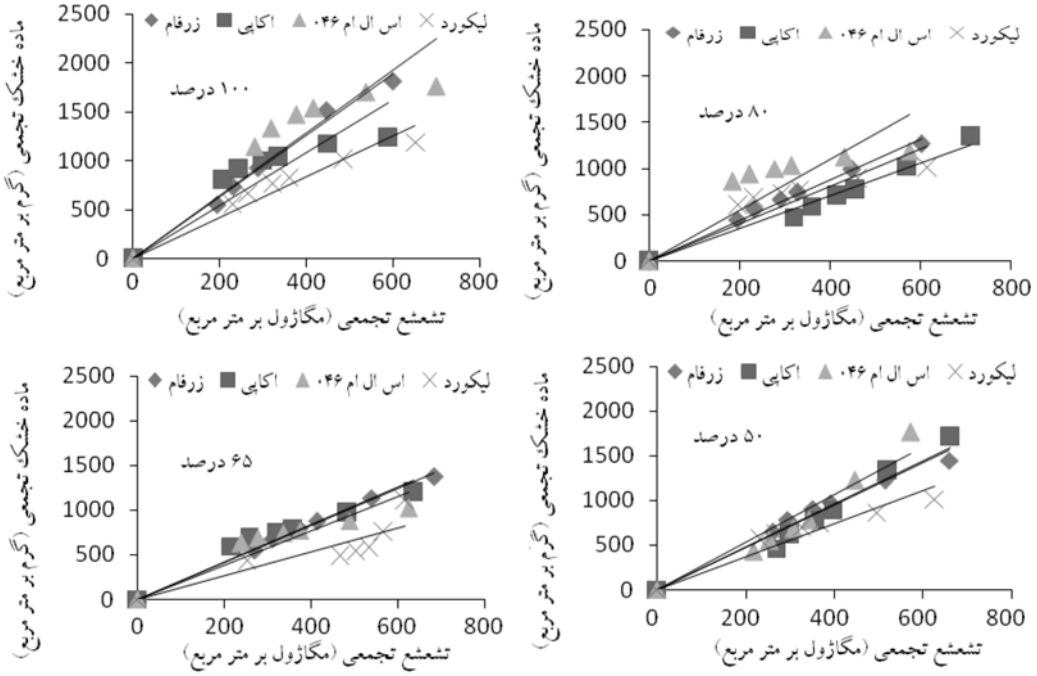
شکاری (۳) در بررسی خود بر روی تأثیر تنش خشکی روی فنولوژی و عملکرد سه ژنوتیپ کلزا اختلاف معنی‌داری در وزن هزار دانه و عملکرد دانه گزارش کرده است. نتایج برخی تحقیقات نشان داده است که با اجرای آبیاری تکمیلی در کلزا، طول دوره گل دهی و در نتیجه تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته افزایش می‌یابد (۵۰) که 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 ازکاشت) نشان داد رقم زرفام که دارای سرعت رشد اولیه بیشتری می‌باشد (مقایسه مرحله رشد خطی رقم زرفام در نمودارهای شکل ۱) در تیمار شاهد و تیمار ۸۵ درصد تأمین نیازآبی دارای شاخص سطح برگ تقریباً یکسانی بود (شکل ۱). به نظر می‌رسد که عملکرد بالاتر رقم زرفام به ویژه در سال دوم (جدول ۵) ناشی از



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 می‌باشند.)



شکل۲: میزان ماده خشک تجمعی ارقام به ازای تشعشع تجمعی جذب شده در تیمار۱۰۰درصد 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.

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 اکاپی 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.ام۰۴۶ شاخص سطح برگ تیمار شاهد با سطح اول تنش تفاوت قابل ملاحظه‌ای داشت(شکل ۱). بنظر می‌رسد 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 اثرمستقیم تنش خشکی روی شاخص سطح برگ می‌باشد. اثر متقابل رقم و تنش خشکی بر شاخص سطح برگ معنی‌دار نبود.

دایپن 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 درون گیاه باشد که عمدتا 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 برگی در شرایط تنش خشکی وجود داشت، ولی پدیده زوال برگ ها ناشی از تنش خشکی تقریبا در همه آنها به یک نسبت یافت شد .

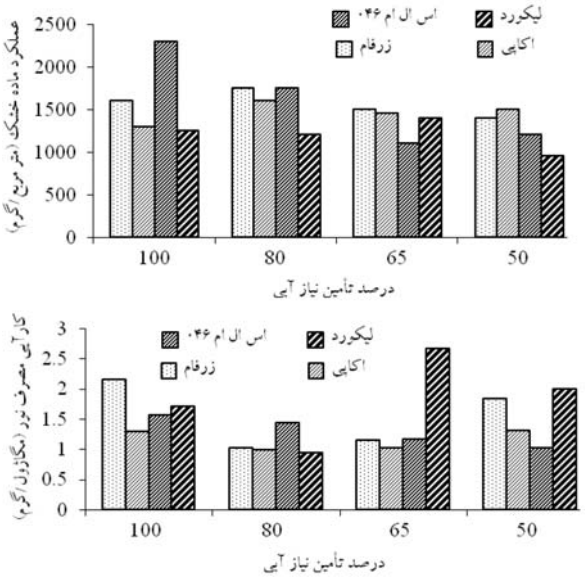
شاخص برداشت

تأثیر تنش خشکی بر شاخص برداشت در سال اول بیشتر ومقدارکاهش آن نسبت به شاهد معادل ۵/۳۴ ،۷/۳۲ و۱۱/۹۶ درصد به ترتیب در تیمارهای ۸۰ ،۶۵ و ۵۰در صد 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 معنی‌دار منفی داشت (شکل۳).

جدول۶: اثرات متقابل تیمار های تنش خشکی و رقم بر شاخص برداشت در دو سال آزمایش

	۱۰۰ درصد تأمین نیازآبی		۸۰ درصد تأمین نیازآبی		۶۵ درصد تأمین نیازآبی		۵۰درصد تأمین نیازآبی	
	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
زرفام	۳۲/۹۰a	۵۲/۶۸ab	۲۲/۰۳ab	۳۸/۱۸abc	۱۹/۸۴ab	۳۱/۱۰abc	۱۶/۶۷ab	۴۰/۰۱abc
اکاپی	۳۱/۲۴a	۴۴/۷۱abc	۱۷/۹۳ab	۵۹/۸۴a	۲۶/۳۸ab	۳۸/۴۲abc	۱۷/۳۳ab	۲۱/۷۲c
اس ال ام۰۴۶	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

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



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

مقایسه میانگین های شاخص برداشت ارقام موردآزمایش نشان داد بین ارقام از نظر شاخص برداشت اختلاف معنی‌دار وجود دار د(جدول ۷). به نظر می‌رسد که رقم اس ال ام۰۴۶ با اینکه شاخص برداشت کمتری دارد ولی هم شاخص برداشت و هم عملکرد آن در مقابل تغییرات سالانه آب و هوایی نوسان کمتری دارد (جداول ۶ و۷).

شکاری(۳) مقادیر شاخص برداشت درشرایط 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 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.

کارآئی مصرف نور

همبستگی خطی بین تشعشع جذب شده تجمعی و ماده خشک تجمعی که نشان‌دهنده کارآیی مصرف نور ارقام موردآزمایش در دو سال متوالی است درشکل ۲ وضرائب همبستگی معادله های آن و میانگین کارآئی در دو سال درجدول ۶ آمده است.

در رقم زرفام ، اکاپی ، اس ال ام ۰۴۶ و لیکورد به ترتیب بالاترین کارآیی مصرف نور متعلق به تیمار ۱۰۰ درصد (شاهد)، ۵۰ درصد، ۵۰ درصد و ۶۵ درصد تأمین نیاز آبی بود(شکل ۲). درمقایسه سطوح تنش بالاترین کارآیی مصرف نور در تیمار شاهد حاصل شد. این نتایج تفاوت ارقام در بهره‌گیری از تشعشع و تولید ماده خشک واهمیت اثر متقابل رقم وتنش برکارآیی مصرف نور در کلزا را نشان می‌دهد.احتمالا 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
زرفام	۳۰/۱۸ a
اکاپی	۳۲/۱۹ a
اس ال ام ۰۴۶	۲۳/۵۶ b
لیکورد	۲۷/۳۶ ab

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

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 برگ ها بسیار مهمتر از تأثیرگذاری آن بر فتوسنتز می‌باشد. این موضوع در مقایسه نمودارهای شکل ۱ دیده می‌شود. در برخی از منابع، کارآیی مصرف نور به‌عنوان یک ضریب ثابت برای همه گیاهان زراعی گزارش شده است و مقدار آن حدود ۱/۴ گرم ماده خشک به ازای یک مگاژول تشعشع جذب‌شده، 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

جدول۹: کارآئی مصرف نور*ارقام کلزا وضرایب تبیین (r^2) معادله های آن در تیمارهای تنش خشکی و شاهد

رقم	تأمین نیاز آبی	کارآئی مصرف نورسال اول* (گرم ماده خشک برمگاژول)	ضریب تبیین r^2	کارآئی مصرف نورسال دوم* (گرم ماده خشک برمگاژول)	ضریب تبیین r^2	میانگین کارآئی مصرف نوردر دو سال (گرم ماده خشک برمگاژول)
زرفام	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 درصدآبیاری	۱/۱۷	۰/۹۹	۱/۹۸	۰/۹۵	۱/۵۷
	۵۰ درصدآبیاری	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 درصدآبیاری	۱/۰۴	۰/۹۱	۱/۰۳	۰/۹۰	۱/۰۳
	۵۰ درصدآبیاری	۱/۶۷	۰/۹۶	۲/۳۱	۰/۸۶	۱/۹۹
اس.ال.ا م.۰۴۶۰	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 درصدآبیاری	۰/۹۴	۰/۸۴	۱/۳۸	۰/۹۲	۱/۱۶
	۵۰ درصدآبیاری	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 درصدآبیاری	۱/۷۷	۰/۷۲	۱/۰۹	۰/۸۱	۱/۴۳
	۵۰ درصدآبیاری	۱/۰۰	۰/۸۷	۰/۹۰	۰/۹۶	۰/۹۵

*کارآئی برای کل فصل رشد محاسبه شده است

کلزا از نظر شاخص سطح برگ، شاخص برداشت و کارآئی مصرف نور در شرایط تنش خشکی رفتار متفاوتی دارند. چنین تفاوت‌هایی در گزارش های موچو و سینکلر (۳۱)، مونتیث (۲۸) و ایرل (۱۵) در مورد گیاهان مرتعی، ذرت وارزن آمده است. مقادیر بدست آمده برای کارآئی مصرف نور در این تحقیق بین ۰/۹۵ و۲/۶۷ گرم ماده خشک برمگاژول بر اساس تشعشع کل در تیمارهای تنش خشکی بدست آمد. بنظر می‌رسد وابستگی کارآیی مصرف نور به شاخص سطح برگ در کلزا بیش از وابستگی به شاخص برداشت است.

تفاوت عملکرد ارقام در تیمار های تنش بیشتر ناشی از تفاوت کارآیی نور در آن ها بود (جدول ۹ و ۳). تفاوت کارآیی فتوسنتزی ارقام نیز می‌تواند عامل مؤثری در اختلاف رفتار ارقام در شرایط تنش باشد. به‌نظر می‌رسد برای قضاوت دقیق تردر این مورد به آزمایشات تبادلات گازی گیاه در شرایط کنترل شده نیاز باشد.

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 جهاددانشگاهی مشهد.

۳- شکاری، ف.۱۳۸۰. بررسی تأثیر تنش خشکی برروی فنولوژی، روابط آبی، رشد، عملکرد وکیفیت محصول کلزا (*Brassica napus L.*). پایان نامه دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۴- عزیزی،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- علیزاده، ا.، و غ. کمالی.۱۳۸۶. نیازآبی گیاهان درایران. (تألیف). انتشارات آستان قدس رضوی.

۶- فرشی، ع.، م. شریعتی، ر. جارالهی، م. قائمی، م. شهابی فر، و م. م. تولائی .۱۳۷۶. برآوردآب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور(جلداول:گیاهان زراعی، تألیف). موسسه تحقیقات خاک وآب. نشرآموزش کشاورزی.

۷- کامکار، ب.، ع. کوچکی، م. نصیری محلاتی، و پ. رضوانی مقدم. ۱۳۸۳. ارزیابی کارآیی مصرف نور و رابطه آن با تولید ماده خشک در سه گونه ارزن. مجله پژوهش‌های 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 CO_2 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. compestris).* 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. Aguilera. 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 Oósterom, 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. Koocheki[1]

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 absorbtion, radiation use efficiency, drought stress, harvest index, leaf area index

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