بررسی خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد چهار رقم کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت رژیم‌های رطوبتی خاک

زهرا مهرابی [۱] و پرویز احسان‌زاده [۲*]

(E-mail: ehsanp@cc.iut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۸ و تاریخ پذیرش: ۹۰/۹/۳۰

چکیده

کنجد گیاهی دانه روغنی با نیاز نه چندان بالای آبی محسوب می‌شود. این آزمایش با هدف مطالعه تأثیر شرایط مختلف رطوبتی بر رشد، فلورسانس کلروفیل، محتوای پرولین، عملکرد و اجزای عملکرد چهار رقم گیاه کنجد در سال زراعی ۱۳۸۶ به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. سطوح تیمار آبیاری براساس تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A شامل I_1 (۷۵ میلی‌متر تبخیر)، I_2 (۱۱۰ میلی‌متر تبخیر) و I_3 (۱۴۵ میلی‌متر تبخیر) به عنوان عامل اصلی و چهار ژنوتیپ کنجد (ناز تک شاخه، یکتا، ورامین و اولتان) به عنوان عامل فرعی بودند. تأثیر رژیم آبیاری و ژنوتیپ بر شاخص بیشینه فلورسانس (F_m) معنی‌دار بود، ولی بر حداکثر کارآیی نظام نوری دو (Fv/Fm) و میزان کلروفیل برگ معنی‌دار نبود، به‌طوری‌که مقدار Fv/Fm تنها از ۰/۸۱ در سطح اول آبیاری به ۰/۷۷ در سطح سوم کاهش یافت. محدودیت رطوبت خاک منجر به افزایش میزان پرولین برگ از ۳/۵ در سطح اول آبیاری به ۸/۶ میلی‌گرم بر گرم برگ در سطح دوم آبیاری شد. تنش خشکی باعث ۵۵، ۴۲، ۳۷، ۴۸ و ۴۹ درصد کاهش به ترتیب در شاخص سطح برگ، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک شد. به‌طورکلی، تنش کمبود رطوبتی باعث کاهش رشد و عملکرد دانه کنجد از ۱۲۱۲ به ۶۲۵ کیلوگرم در هکتار گردید. این تأثیر بیش از آنکه از طریق کاهش Fv/Fm باشد، ناشی از کاهش سطوح فتوسنتزکننده در رقم‌های مورد مطالعه در شرایط آزمایش حاضر بود. دو رقم یکتا و ورامین از نظر عملکرد دانه و تولید روغن نسبت به دو ژنوتیپ دیگر برتری داشتند.

کلمات کلیدی: پرولین، خشکی، عملکرد و اجزای عملکرد، فلورسانس کلروفیل، کنجد

---

۱ – دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان – ایران

۲ – دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان – ایران **(نویسنده مسئول مکاتبات *)**

مقدمه

کنجد گیاهی دانه روغنی است که سطح زیرکشت آن در جهان و ایران به‌ترتیب در حدود ۶۵۰۰ و ۴۲ هزار هکتار است (۱۰). مجموع چربی و پروتئین دانه کنجد نزدیک به ۷۵ درصد بوده و از این رو، اهمیت اقتصادی بالایی چه از نظر تغذیه انسان و چه مصارفی نظیر کنجاله دارد (۷). میزان روغن دانه کنجد بیش از ۴۵ درصد بوده و تابع رقم و محیط می‌باشد (۴). روغن دانه کنجد دارای ۵۴-۳۲ درصد اسید اولئیک و ۵۹-۳۷ درصد اسید لینولئیک است و از اسید لینولنیک و کلسترول چندانی برخوردار نمی‌باشد، بنابراین کیفیت روغن دانه این گیاه برای تغذیه عالی می‌باشد.

تنش کمبود رطوبت تأثیر شدیدی بر عملکرد گیاهان زراعی دارد که این تأثیر عمدتاً از طریق افت فتوسنتز صورت می‌گیرد (۹). از جمله بارزترین واکنش‌های گیاهان به عامل تنش‌زای محیطی افت فتوسنتز ناشی از اختلال در فعالیت نظام نوری دو می‌باشد. هنگامی‌که نور در سطح معمول باشد، بخش غالب آن در فعالیت‌های فتوشیمیایی و به مصرف فتوسنتز می‌رسد و درنهایت بخش کمی از انرژی نورانی به‌صورت فلورسانس ساطع می‌گردد که به آن فلورسانس کمینه (F_0) می‌گویند، اما هنگامی‌که برگ در معرض پالسی از نور اشباع قرار می‌گیرد تمامی ملکول‌های موسوم به کوئینون آ[1] دست کم به‌صورت موقت به حالت احیا درآمده و به‌دلیل تداوم واکنش‌های فتوشیمیایی نظام نوری دو، فلورسانس افزایش می‌یابد که به آن فلورسانس بیشینه (F_M) اطلاق می‌گردد (۱).

آنالیز فلورسانس کلروفیل روشی سریع و غیرتخریبی برای ارزیابی نحوه عملکرد سیستم فتوسنتزی در طول و بعد از تنش محیطی است (۲۲). در گندم مشاهده شده است که با اعمال تنش خشکی در کشت گلدانی تغییری در F_v/F_m برگ‌های سازگار شده به تاریکی ایجاد نمی‌شود و بنابراین کارآیی کوانتوم نظام نوری دو (F_v/F_m) در طی تنش کاهش نمی‌یابد (۱۸). در بررسی اثر تنش خشکی در سیب‌زمینی مشاهده شده است که تنش خشکی کارآیی کوانتوم تبدیل انرژی شیمیایی (F_v/F_m) را کاهش می‌دهد، اما با بازگشت گیاه به حالت عادی، فتوسنتز خالص و F_v/F_m نیز به حالت اول برمی‌گردد (۱۶).

یکی از سازوکارهای کارآمدی که گیاه به هنگام مواجهه با خشکی، برای حفظ آماس سلولی به‌کار می‌گیرد، تنظیم اسمزی[2] است (۳۵). در طی این پدیده فیزیولوژیک، پتانسیل اسمزی بافت‌های تحت تنش، در اثر انباشت برخی مواد اسمزی در سلول‌ها کاهش می‌یابد و بنابراین فشار آماس سلول‌ها در حد مطلوب نگهداری می‌شود (۳۴). مواد اسمزی به طور عمده شامل برخی از عناصر (نظیر پتاسیم، سدیم و کلسیم) و برخی متابولیت‌ها نظیر قندها (مونوساکاریدها)، اسیدهای آمینه (پرولین) و اسیدهای آلی می‌باشند (۲۴). در مطالعه‌ای در همین ارتباط گزارش شده است که تنها در تنش شدید رطوبتی، مقدار پرولین به مقدار کمی افزایش می‌یابد و بنابراین تا قبل از سطح تنش بحرانی، تنظیم اسمزی اهمیت پایینی دارد (۲۷). در مطالعه دیگری با بررسی تأثیر تنش آب بر سویا مشاهده شده است که مقدار پرولین در تنش ملایم و شدید در ریشه افزایش داشت، درحالی‌که در ساقه فقط تحت تأثیر تنش شدید میزان پرولین افزایش نشان داد (۸).

در مطالعات بر روی گیاهان دیگر مشخص شده است که تنش کم‌آبی، شاخص سطح برگ را به‌دلیل کاهش اندازه و تولید برگ‌های جدید و افزایش ریزش آنها کاهش می‌دهد و چنین نتیجه‌گیری شده است که تولید و گسترش برگ به تنش کم‌آبی خیلی حساس می‌باشند و بنابراین در اثر تنش کمبود آب شاخص سطح برگ کاهش می‌یابد (۲۷).

عملکرد دانه و ماده خشک گیاهان زراعی از جمله مهمترین صفاتی هستند که به دنبال کاهش فتوسنتز ناشی از وقوع تنش کمبود آب کاهش می‌یابند (۹). کنجد به عنوان یک

1 - Quinone A

2 - Osmotic adjustment

گیاه دانه روغنی مقاوم به کم‌آبی مطرح است، ولی هم در مرحله استقرار گیاهچه و هم دوره گل‌دهی تا پر شدن دانه حساس به تنش کم‌آبی است (۳۷). مطالعاتی که جزئیات پاسخ کنجد و اجزای عملکرد دانه آن را به تنش خشکی بیان کند، موجود نیست. مطالعات روی گیاه کلزا نشان داده است که وقوع تنش خشکی طی مرحله زایشی با تأثیر منفی بر اجزای عملکرد سبب افت جدی عملکرد دانه می‌شود (۶). در مطالعه دیگری کاهش میزان عملکرد کلزا در اثر تنش را ناشی از کاهش تعداد غلاف و وزن هزار دانه دانستند (۱۱).

اطلاعات علمی چندانی در مورد فیزیولوژی پاسخ کنجد به تنش‌های محیطی به‌ویژه در کشور ایران که تنش کمبود آب مسئله‌ای جدی در تولید بسیاری از گیاهان زراعی است وجود ندارد. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر شرایط مختلف رطوبتی بر رشد، فلورسانس کلروفیل، پرولین، عملکرد و اجزای عملکرد دانه، در شرایط مزرعه و برای چهار ژنوتیپ کنجد بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در منطقه لورک نجف‌آباد (عرض جغرافیایی ′۳۲، °۳۲ شمالی و طول جغرافیایی ′۲۳، °۵۱ شرقی) انجام شد. باتوجه به نتایج آزمون خاک، کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن خالص) به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار استفاده گردید و به دلیل بالا بودن موجودی فسفر و پتاسیم خاک، کود فسفر و پتاسیم استفاده نشد. عملیات تهیه بستر در اردیبهشت ۱۳۸۶ انجام گرفت و در زمان کشت، زمین توسط فاروئر به صورت جوی و پشته درآمد. آزمایش به صورت طرح کرت‌های خرد شده که در آن سه سطح رطوبتی آبیاری پس از ۷۵، ۱۱۰ و ۱۴۵ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A به‌ترتیب به عنوان I_1 شاهد (بدون تنش)، I_2 (تنش متوسط) و I_3 (تنش شدید)، به عنوان عامل اصلی و چهار ژنوتیپ کنجد ناز تک شاخه (تعداد شاخه محدود، نیمه مقاوم به خوابیدگی و ریزش دانه و عملکرد دانه متوسط)، یکتا (تعداد شاخه محدود، مقاوم به خوابیدگی، نیمه مقاوم به ریزش دانه و عملکرد دانه متوسط)، ورامین (تعداد شاخه محدود، مقاوم به خوابیدگی، نیمه مقاوم به ریزش دانه و عملکرد دانه بالا) و اولتان (تعداد شاخه زیاد، مقاوم به خوابیدگی، نیمه مقاوم به ریزش دانه و عملکرد دانه بالا) به عنوان عامل فرعی در چهار تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. لازم به ذکر است که آبیاری پس از حدود ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر به عنوان معیاری برای ممانعت از وقوع تنش در حساس‌ترین مرحله از رشد گیاهان زراعی (رشد زایشی) ذکر شده است (۴). هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف ۳/۵ متری به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر و فاصله بوته‌ها روی ردیف هفت سانتی‌متر بود. کرت‌های اصلی به فاصله ۲۰۰ و کرت‌های فرعی به فاصله ۱۰۰ سانتی‌متر از یکدیگر قرار داشتند. عملیات کاشت به صورت خشکه‌کاری در تاریخ ۱۴ خرداد ماه انجام شد و بارش قابل ثبت در سال زراعی یاد شده در محل اجرای آزمایش پس از نیمه خرداد رخ نداد. پس از کاشت تا زمان شروع گل‌دهی (نزدیک به شش هفته پس از کاشت) آبیاری در تمام کرت‌ها همزمان و پس از ۸۰-۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر انجام گرفت و پس از آن رژیم‌های مختلف رطوبتی فوق‌الذکر اعمال گردیدند.

سنجش وضعیت فلورسانس در مرحله کپسول‌دهی و شروع پر شدن دانه‌ها به وسیله دستگاه فلورومتر (Chlorophyll Fluorometer, Opti-Science, OS-3OP, London) و از بخشی از میانه برگ و مابین رگبرگ اصلی و لبه جوان‌ترین برگ بالغ در چهار گیاه که بخش یاد شده برگ‌ها مدت ۲۰ دقیقه قبل از اندازه‌گیری با استفاده از گیره‌های مخصوص در تاریکی بود، اندازه‌گیری شد.

مقدار پرولین در آغاز پر شدن دانه‌ها با استفاده از روش بیتز اندازه‌گیری شد و میزان جذب عصاره در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (۱۷). میزان رنگدانه کلروفیل در آغاز پر شدن دانه‌ها با استفاده از روش آرنون اندازه‌گیری شد (۱۵). در این روش، بعد از تهیه

عصاره یک گرم وزن تازه برگ و رساندن حجم نهایی آن به ۳۰ میلی‌لیتر، میزان نور جذب شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر قرائت گردید و توسط روابط (۱) و (۲) و (۳) محتوای کلروفیل محاسبه گردید:

$$Cchl\ a\ (mg/ml) = (0.1227 \times E\ 663) - (0.00259 \times E\ 645) \quad (۱)$$

$$Cchl\ b\ (mg/ml) = (0.0229 \times E\ 645) - (0.00469 \times E\ 663) \quad (۲)$$

$$Cchl\ tot\ (mg/ml) = (0/00805 \times E\ 663) + (0.203 \times E\ 645) \quad (۳)$$

در این فرمول‌ها، C غلظت و chl a، chl b و chl tot به‌ترتیب کلروفیل a، b و کل و E 645 و E 663 به‌ترتیب عبارت از جذب در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر می‌باشند. درنهایت با احتساب ۳۰ میلی‌لیتر حجم نهایی مقادیر کلروفیل به میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ تبدیل شد.

مرحله رسیدگی فیزیولوژیک با مشاهده آغاز قهوه‌ای شدن نزدیک به ۷۵ درصد کپسول‌های روی ساقه اصلی در ۵۰ درصد بوته‌های هر رقم ثبت شد. برای ارزیابی وضعیت حداکثر سطح فتوسنتزکننده، سنجش سطح برگ در مرحله کپسول‌دهی در ۰/۵ متر طولی ردیف‌های دوم و سوم با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Green Leaf Area Meter, GA-5) صورت گرفت و شاخص سطح برگ محاسبه شد. ارتفاع در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک از سطح خاک تا انتهای ساقه اصلی با استفاده از چهار گیاه از ردیف دوم و با رعایت حاشیه اندازه‌گیری شد.

به منظور اندازه‌گیری اجزای عملکرد دانه، ۱۰ بوته سالم در ردیف دوم هر کرت پس از حصول نزدیک به ۷۰ درصد رسیدگی فیزیولوژیک و با رعایت حاشیه برداشت گردید. در ۱۰ بوته هر کرت آزمایشی، تعداد کپسول در بوته‌ها شمارش و میانگین تعداد کپسول برای یک بوته محاسبه گردید. جهت اندازه‌گیری وزن خشک، بوته‌های برداشت شده، داخل پاکت کاغذی قرار داده شدند، به آزمایشگاه منتقل شدند و تا زمانی‌که وزن خشک آنها ثابت گردد، در آون تحت دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شده، میزان ماده خشک آنها توزین گردید. سپس برای به‌دست آوردن تعداد دانه در کپسول، تعداد دانه در ۱۰ کپسول از این بوته‌ها را شمارش کرده و درنهایت میانگین تعداد دانه در یک کپسول محاسبه شد و برای تعیین وزن هزار دانه، هزار دانه شمرده و وزن شدند. درنهایت شاخص برداشت محاسبه گردید.

در مورد اندازه‌گیری عملکرد دانه، در زمان برداشت دو ردیف چهارم و پنجم و ۰/۵ از ردیف سوم پس از حذف ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر کرت مورد استفاده قرار گرفت و پس از برداشت و بوجاری عملکرد دانه براساس ۱۳ درصد رطوبت دانه به‌دست آمد.

جهت اندازه‌گیری روغن دانه از روش سوکسله و حلال پترولیوم اتر استفاده شد. بدین‌منظور مقداری بذر از هر کرت فرعی آسیاب شد و سپس یک نمونه دو گرمی از آن برای اندازه‌گیری روغن دانه مورد استفاده قرار گرفت. پس از قرار دادن نمونه‌ها به مدت هفت ساعت در معرض اتر، وزن روغن استخراج شده با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه آماری شدند و درصورت معنی‌دار بودن، مقدار F میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد مقایسه و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

تأثیر رژیم آبیاری بر زمان رسیدگی فیزیولوژیک معنی‌دار نشد، درحالی‌که ارقام کنجد مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری را در این صفت در سطح احتمال یک درصد نشان دادند (جدول ۱). در بین ارقام مورد مطالعه، رقم یکتا بیش از شش هفته سریع‌تر از دیررس‌ترین رقم یعنی ورامین به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسید (جدول ۲).

جدول ۱ - نتایج تجزیه واریانس روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، شاخص سطح برگ، ارتفاع، فلورسانس کلروفیل (F_0، F_m و F_v/F_m)، غلظت کلروفیل a، b، کل و پرولین چهار رقم کنجد

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	شاخص سطح برگ	ارتفاع بوته	F_0	F_m	F_v/F_m	کلروفیل a ($*10^{-4}$)	کلروفیل b ($*10^{-8}$)	کلروفیل کل ($*10^{-4}$)	پرولین
بلوک	۳	۶۹/۳۵	۰/۲۸	۹۹۵/۸۸	۳۵۲/۰۴	۵۶۲۲/۹۵	۰/۰۰۱۵	۸/۳۵	۹۲۰/۰۰	۹/۸	۱۳/۳۶
آبیاری	۲	$۱۳/۱۹^{ns}$	$۷/۷۶^{**}$	$۳۸۷۴/۹۹^{*}$	$۲۳۵/۴۹^{ns}$	$۱۷۹۷۰/۲۰^{*}$	$۰/۰۰۷۴^{ns}$	$۲۰/۰۰^{ns}$	$۱۱۲۲/۰۰^{ns}$	$۲۲/۷^{ns}$	$۱۰۴/۳۴^{*}$
خطای a	۶	۳۳/۳۵	۰/۰۸	۳۹۰/۹۶	۳۴۸/۱۶	۲۵۲۵/۱۵	۰/۰۰۵۳	۲۴/۹۳	۱۰۹۸/۰۰	۲۷/۷	۱۲/۳۵
رقم	۳	$۴۴۸۴/۲۴^{**}$	$۰/۶۲^{*}$	$۷۷/۷۸^{ns}$	$۴۷/۰۰^{ns}$	$۳۹۷۳/۱۴^{**}$	$۰/۰۰۲۴^{ns}$	$۲۰/۵۲^{ns}$	$۱۷۱۹/۰۰^{ns}$	$۲۳/۷^{ns}$	$۱/۵۹^{ns}$
رقم × آبیاری	۶	$۵۷/۳۳^{ns}$	$۰/۰۷^{ns}$	$۳۴۰/۱۰^{ns}$	$۱۲۴/۶۸^{ns}$	$۸۹۸/۰۷^{ns}$	$۰/۰۰۱۹^{ns}$	$^{*}۳۴/۶۴$	$۹۳۱/۰۰^{ns}$	$۳۷/۴^{*}$	$۲/۵۱^{ns}$
خطای b	۲۷	۳۸/۵۶	۰/۱۷	۲۷۲/۳۶	۸۱/۱۲۵	۵۴۵/۱۴	۰/۰۰۱۱	۱۱/۲۲	۵۱۸/۰۰	۱۲/۳	۵/۸۱

* و ** - اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵، **ns**: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

جدول ۲ - مقایسه میانگین‌ها برای روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (F_0، F_m و F_v/F_m)، غلظت کلروفیل a، b و کل و پرولین (بر مبنای وزن تر برگ) چهار رقم کنجد تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

عامل آزمایشی	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	شاخص سطح برگ	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	F_0	F_m	F_v/F_m	کلروفیل a	کلروفیل b (میلی‌گرم در میلی‌لیتر)	کلروفیل کل	پرولین (میلی‌گرم در گرم)
آبیاری										
I_1	۱۳۱/۴	$۲/۴۶^{a}$	$۱۱۱/۳^{a}$	۸۱/۵۴۷	$۴۳۱/۲۰^{a}$	۰/۸۰۸	۰/۱۳۶	۰/۰۰۹۵	۰/۱۴۴	$۳/۴۹۵^{b}$
I_2	۱۳۳/۳	$۱/۵۳^{b}$	$۸۵/۵^{b}$	۸۰/۲۳۴	$۳۶۴/۸۱^{b}$	۰/۷۷۱	۰/۱۲۸	۰/۰۰۹۱	۰/۱۳۶	$۵/۶۸۰^{ab}$
I_3	۱۳۲/۳	$۱/۱۰^{c}$	$۸۳/۳^{b}$	۸۷/۴۳۸	$۳۹۰/۰۳^{ab}$	۰/۷۷۱	۰/۱۱۴	۰/۰۰۷۹	۰/۱۲۱	$۸/۵۸۶^{a}$
ژنوتیپ										
اولتان	$۱۳۷/۶^{b}$	$۱/۷۶^{ab}$	۹۵/۸	۸۰/۹۵۸	$۳۷۷/۸۸^{b}$	۰/۷۷۸	۰/۱۱۱	$۰/۰۰۸۵^{ab}$	۰/۱۱۹	۵/۹۴۲
ورامین	$۱۵۴/۵^{a}$	$۱/۴۵^{b}$	۹۵/۳	۸۳/۸۹۶	$۴۱۶/۲۵^{a}$	۰/۷۹۴	۰/۱۳۴	$۰/۰۰۹۶^{a}$	۰/۱۴۳	۵/۴۵۴
یکتا	$۱۰۸/۰^{d}$	$۱/۶۰^{b}$	۹۲/۰	۸۲/۰۲۱	$۴۰۴/۷۱^{a}$	۰/۷۹۴	۰/۱۳۹	$۰/۰۰۹۹^{a}$	۰/۱۴۸	۵/۹۴۲
تک شاخه	$۱۲۹/۲^{c}$	$۱/۹۸^{a}$	۹۰/۶	۸۵/۴۱۷	$۳۸۲/۵۶^{b}$	۰/۷۶۵	۰/۱۱۸	$۰/۰۰۷۳^{b}$	۰/۱۲۵	۶/۳۴۳

در هر ستون و برای هر عامل آزمایشی میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارند.

تأثیر رژیم آبیاری بر شاخص سطح برگ در مرحله کپسول‌دهی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، به‌طوری‌که سطح آبیاری I_1 با ۲/۴۶ بیشترین و I_3 با ۱/۱۰ کمترین مقدار را داشتند (جدول‌های ۱ و ۲). در مطالعات دیگر نیز مشخص شده است که اثر تنش خشکی بر شاخص سطح برگ در زمان گل‌دهی در گلرنگ معنی‌دار بوده و دلیل عمده این عکس‌العمل کاهش میزان سرعت و گسترش سطح برگ‌ها به واسطه اختلال در فتوسنتز و کاهش آماس سلولی و بالاخص زردی برگ‌ها و ریزش آن‌ها در زمان شروع رشد زایشی بیان شده است (۱۳ و ۱۴).

ارقام کنجد مورد مطالعه نیز اختلاف معنی‌داری را در این صفت نشان دادند، به‌طوری‌که رقم ناز تک شاخه با ۱/۹۸ بالاترین و رقم ورامین با ۱/۴۵ کمترین مقدار را داشتند (جدول‌های ۱ و ۲).

تأثیر رژیم آبیاری بر ارتفاع بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). سطح آبیاری I_1 با ۱۱۱/۳ بیشترین و I_3 با ۸۳/۳ سانتی‌متر کمترین مقدار ارتفاع را داشتند (جدول ۲).

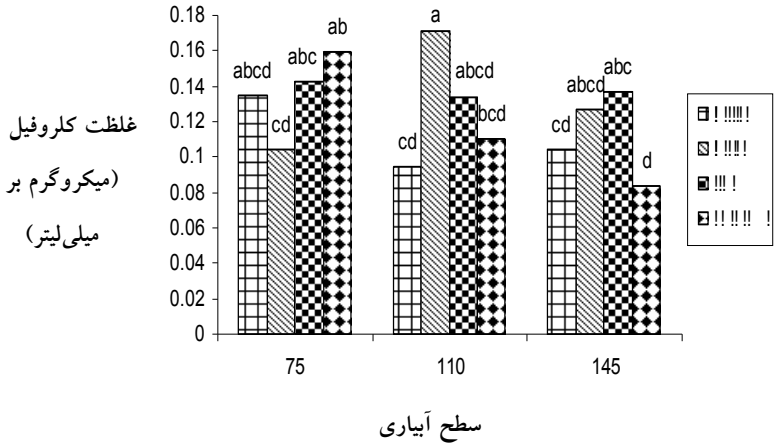
نتایج تجزیه واریانس مربوط به شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (F_0، F_m و F_v/F_m) در مرحله شروع کپسول‌دهی و پر شدن دانه نشان داد که به‌جز در مورد F_m که بین سطوح آبیاری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد وجود داشت، در سایر شاخص‌ها تفاوت معنی‌داری بین سطوح آبیاری مورد مطالعه وجود نداشت (جدول ۱). در بین رژیم‌های آبیاری سطح I_1 با F_m معادل ۴۳۱/۲ بالاترین مقدار را داشت (جدول ۲).

اثر ژنوتیپ بر شاخص F_m در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). در بین ژنوتیپ‌ها رقم ورامین و رقم اولتان با ۴۱۶/۳ و ۳۷۷/۹ به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار F_m را داشتند (جدول ۲). به‌طورکلی معنی‌دار نشدن تفاوت F_0 در رژیم‌های مختلف آبیاری، احتمالاً نشان‌دهنده این است که نظام نوری دو در رژیم‌های مختلف آبیاری از کارایی نه چندان متفاوتی برخوردار می‌باشند و این‌که شدت تنش در آزمایش اخیر آن‌قدر زیاد نبوده است که بتواند موجب تخریب مراکز نظام نوری دو شود. برخی محققین بیان کرده‌اند که تنش خشکی به تنهایی تغییرات معنی‌داری در F_0 ایجاد نمی‌کند و معمولاً تنش گرمایی به تنهایی و یا در ترکیب با تنش خشکی می‌تواند موجب انهدام و یا تخریب مراکز واکنش نظام نوری دو شود و درنتیجه F_0 افزایش پیدا می‌کند (۱). همچنین روند کاهشی F_v/F_m در اثر تنش خشکی (حدود سه درصد) چندان بارز نبود. بنابراین، غیرمعنی‌دار بودن روند کاهشی F_v/F_m در اثر تنش خشکی نشانه افزایش میزان حفاظت نوری نظام نوری دو بوده که درنتیجه تنش خشکی تأثیر چندان شدیدی بر کاهش کارآیی فتوسنتزی نظام نوری دو نداشته است. تحت تأثیر قرار نگرفتن عملکرد کوانتومی نظام نوری دو (F_v/F_m) در اثر تنش، مقاومت دستگاه انتقال الکترون فتوسنتزی را به کمبود آب نشان می‌دهد و چنین مشاهداتی قبلاً در برخی گونه‌ها از جمله گلرنگ، جو و آفتابگردان نیز گزارش شده است (۱۲، ۱۹ و ۲۲).

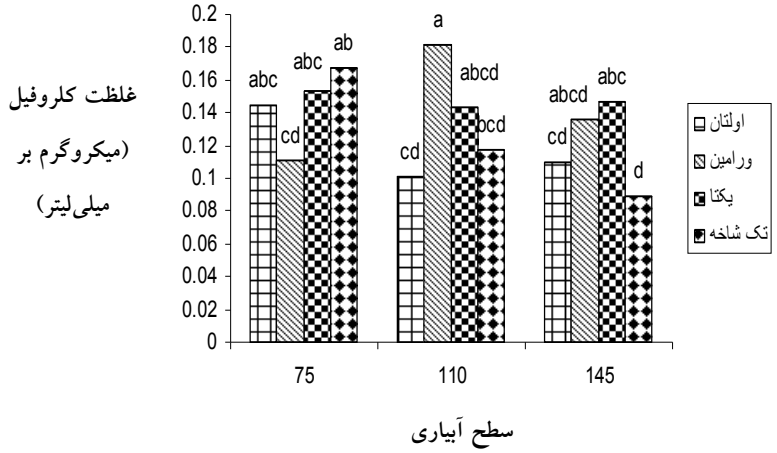
تأثیر رژیم آبیاری بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل معنی‌دار نگردید، ولیکن در بین ژنوتیپ‌ها رقم یکتا و رقم ناز تک‌شاخه با ۰/۰۰۹۹ و ۰/۰۰۷۳ میلی‌گرم در میلی‌لیتر به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار کلروفیل b را داشتند (جدول ۱). اختلاف بین رقم‌ها در کلروفیل b می‌تواند احتمالاً ناشی از اختلاف ژنتیکی بین ارقام باشد. وجود اثر متقابل بین رژیم آبیاری و رقم در کلروفیل a و کلروفیل کل بیان‌گر عکس‌العمل متفاوت ارقام به رژیم آبیاری برای این دو صفت است (شکل‌های ۱ و ۲). رقم ورامین در سطح I_2 آبیاری دارای بیشترین مقدار کلروفیل a و کلروفیل کل و رقم ناز تک‌شاخه در سطح I_3 آبیاری دارای کمترین مقدار کلروفیل a و کلروفیل کل بود. در مورد کلروفیل a، در رقم اولتان و رقم یکتا سطوح مختلف آبیاری تغییر معنی‌داری در میزان کلروفیل ایجاد نکردند، در رقم ورامین بیشترین میزان کلروفیل a در سطح دوم آبیاری مشاهده شد و در رقم ناز تک شاخه با تشدید تنش میزان کلروفیل روند کاهشی طی نمود که چنین تفاوت‌هایی در پاسخ ژنوتیپ‌ها سبب معنی‌دار شدن اثر متقابل شد. در مورد کلروفیل کل، در رقم‌های اولتان و ناز تک‌شاخه هر دو سطح تنش سبب

کاهش معنی‌دار کلروفیل کل درمقایسه با شاهد شدند، در رقم ورامین سطح تنش متوسط از هر دو سطح دیگر آبیاری کلروفیل کل بیشتری را نشان داد، درحالی‌که در رقم یکتا میزان کلروفیل کل در هر سطح آبیاری تغییر معنی‌داری نداشت و ظاهراً اثر متقابل به همین دلیل معنی‌دار شد.

تعدادی از محققان بیان کردند که افزایش مقدار کلروفیل در اثر تنش ملایم می‌تواند در اثر افزایش وزن مخصوص برگ باشد (۲ و ۱۲). وقوع تنش میزان سطح برگ را در اثر کاهش اندازه سلول‌ها کاهش می‌دهد. بنابراین در طی تنش ملایم به دلیل وجود سلول‌های بیشتر در واحد وزن برگ، میزان کلروفیل نیز افزایش می‌یابد و در مورد کاهش غلظت کلروفیل در شرایط تنش شدید می‌تواند ناشی از اثر کلروفیلاز و درنتیجه تجزیه کلروفیل به وسیله گونه‌های فعال اکسیژن باشد (۲ و ۲۴).



شکل ۱- غلظت کلروفیل a چهار ژنوتیپ کنجد تحت سه سطح آبیاری (آبیاری پس از ۷۵، ۱۱۰ و ۱۴۵ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A)



شکل ۲ - غلظت کلروفیل b چهار ژنوتیپ کنجد تحت سه سطح آبیاری (آبیاری پس از ۷۵، ۱۱۰ و ۱۴۵ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A)

تأثیر رژیم آبیاری بر غلظت پرولین برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقدار پرولین از ۳/۴۹۵ در سطح آبیاری I_1 به ۸/۵۸۶ میلی‌گرم در گرم برگ تازه گیاه بالغ در سطح آبیاری I_3 افزایش یافت (جدول ۲). تفاوت میانگین غلظت پرولین در برگ رقم‌های مورد استفاده در این آزمایش غیرمعنی‌دار و از ۵/۵ تا ۶/۴ گرم بر گرم وزن تازه برگ بود. با وجود این‌که گزارشی در مورد کنجد در دسترس نیست، ولی افزایش میزان پرولین در اثر تنش خشکی در سورگوم، کلزا، گندم، یونجه، ذرت، بادام‌زمینی و چغندرقند گزارش شده است (۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۳۲ و ۳۸). در مطالعه حاضر و همچنین سایر مطالعات، افزایش غلظت پرولین اندام‌های گیاه با تشدید کمبود آب مشهود است که در اغلب مطالعات چنین افزایشی را به تنظیم اسمزی گیاه مربوط دانسته‌اند. بدون شک، تجمع پرولین در شرایط تنش‌زای محیطی در افزایش توانایی بقای گیاه نقش دارد (۲۹).

تأثیر رژیم آبیاری بر صفت تعداد کپسول در بوته در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی‌دار بود (جدول ۳). تعداد کپسول از ۳۷/۸ عدد در سطح آبیاری I_1 به ۲۱/۹ در سطح I_3 کاهش یافت (جدول ۴). در واقع سطح آبیاری I_3 منجر به ۴۲ درصد کاهش در تعداد کپسول در بوته نسبت به سطح شاهد I_1 گردید. مشخص شده است که تنش در زمان طویل شدن ساقه میزان شاخه‌دهی، در طول دوره گل‌دهی تعداد غلاف و در طول پر شدن غلاف، میانگین وزن دانه را در گیاه دانه روغنی کلزا کاهش می‌دهد (۶).

جدول ۳ - نتایج تجزیه واریانس تعداد کپسول، دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و ماده خشک، میزان روغن و شاخص برداشت چهار ژنوتیپ کنجد تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		تعداد کپسول	دانه در کپسول	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	درصد روغن	عملکرد ماده خشک	شاخص برداشت
بلوک	۳	۲۶۹/۱۷	۳۳۱/۶۲	۰/۱۶	۳۶۱۲۳۲/۸۰	۲۶۳/۶۹	۷۰۵۴۶۴۷/۷۸	۴۶/۷۷
آبیاری	۲	۱۰۸۹/۶۲*	۱۱۳۸/۲۹*	۰/۳۴^{ns}	۱۳۹۸۴۴۳/۱۶ *	۹۹/۰۹^{ns}	۴۷۰۴۳۳۲۹/۷۶*	۱۵۱/۹۵^{ns}
خطای a	۶	۱۵۶/۱۵	۱۶۳/۹۲	۰/۲۱	۱۵۰۰۹۸/۶۶	۹۹/۰۶	۴۳۰۴۸۲۵/۹۷	۴۱/۹۵
ژنوتیپ	۳	۹۳/۶۴ ^{ns}	۲۶/۲۴^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۱۴۲۸۸۴/۷۷ ^{ns}	۲۰۱/ ۳۴^{ns}	۳۰۹۵۳۶۱/۱۹^{ns}	۹۹/۳۲*
ژنوتیپ × آبیاری	۶	۱۷۲/۹۷ ^{ns}	۱۶۶/۰۵ ^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۹۴۹۸۸/۶۵ ^{ns}	۶۸/۴۸^{ns}	۳۸۷۱۱۳۶/۹۲*	۲۳/۲۸^{ns}
خطای b	۲۷	۹۹/۲۷	۱۱۲/۷۴	۰/۰۷	۵۳۶۳۴/۴۲	۱۱۶/۵۰	۱۲۰۶۱۰۸/۲۰	۲۹/۱۷

* و ** - اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵، ^{ns} - عدم وجود اختلاف معنی‌دار

جدول ۴ - مقایسه میانگین‌ها برای تعداد کپسول، دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، میزان روغن، عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت چهار ژنوتیپ کنجد تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

عامل آزمایشی	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در کپسول	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	میزان روغن (درصد)	عملکرد ماده خشک (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)
آبیاری							
I_1	۳۷/۸^{a}	۴۳/۰^{a}	۳/۱۶	۱۲۱۱/۹^{a}	۵۰/۲	۶۳۹۰/۹^{a}	۲۳/۲۲
I_2	۲۵/۹^{b}	۳۰/۶^{b}	۲/۹۳	۸۵۵/۵^{b}	۵۴/۷	۳۶۳۰/۹^{b}	۲۰/۲۶
I_3	۲۱/۹^{b}	۲۶/۹^{b}	۲/۸۹	۶۲۵/۱^{b}	۵۰/۵	۳۲۴۸/۰^{b}	۱۷/۰۶
ژنوتیپ							
اولتان	۲۴/۷	۳۳/۰	۳/۱۱	۷۵۳/۹	۴۸/۲	۴۵۲۱/۲	۱۶/۵۲^{b}
ورامین	۲۸/۳	۳۱/۷	۳/۰۲	۹۶۱/۲	۵۰/۷	۳۸۵۷/۱	۲۳/۲۱^{a}
یکتا	۳۰/۴	۳۵/۲	۲/۸۳	۱۰۰۰/۲	۵۷/۷	۴۲۴۸/۷	۲۱/۵۲^{a}
تک شاخه	۳۰/۸	۳۴/۰	۳/۰۱	۸۷۴/۸	۵۰/۶	۵۰۶۶/۱	۱۹/۴۷^{ab}

در هر ستون و برای هر عامل آزمایشی میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری ندارند.

تأثیر رژیم آبیاری بر صفت تعداد دانه در کپسول در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی‌دار بود (جدول ۳). تعداد دانه از ۴۳ عدد در هر کپسول در سطح آبیاری I_1 به ۲۶/۹ در سطح I_3 کاهش یافت (جدول ۴). سطح آبیاری I_3 منجر به ۳۷ درصد کاهش در تعداد دانه در کپسول نسبت به سطح شاهد I_1 گردید.

تأثیر رژیم آبیاری بر وزن هزار دانه معنی‌دار نگردید (جدول ۳). در دیگر مطالعات، تفاوت معنی‌داری در اثر اعمال تنش در وزن هزار دانه در گیاه دانه روغنی کلزا مشاهده نشده است (۶).

اثر رژیم آبیاری بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی‌دار بود (جدول ۳). سطح آبیاری I_1 که تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول بیشتری (به‌ترتیب حدود ۴۲ و ۳۷ درصد) نسبت به سطح آبیاری I_3 داشت، با عملکرد دانه ۱۲۱۱/۹ کیلوگرم در هکتار نسبت به سطح I_3 با ۶۲۵/۱ کیلوگرم دانه در هکتار حدود ۴۸ درصد تولید عملکرد دانه بیشتری داشت جدول ۴).

اثر رژیم آبیاری و رقم بر میزان روغن دانه معنی‌دار نگردید، با این حال میانگین محتوای روغن دانه رقم‌های کنجد در سه سطح آبیاری از ۵۰/۲ تا ۵۴/۷ درصد متغیر بود (جدول ۳). برخی محققین علت معنی‌دار نشدن تغییرات درصد روغن در شرایط تنش خشکی را وراثت‌پذیری بالای این صفت و تأثیرپذیری کمتر این صفت نسبت به شرایط محیطی بیان کرده‌اند (۶).

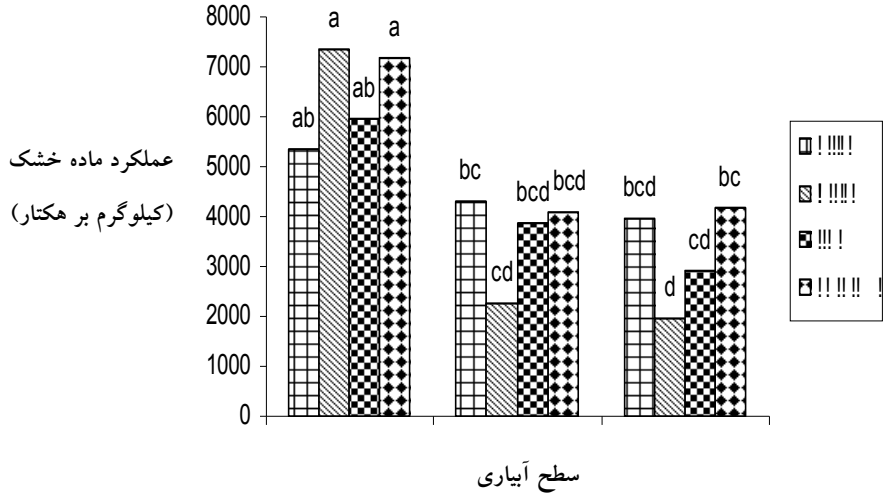
اثر رژیم آبیاری بر عملکرد ماده خشک در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی‌دار گردید (جدول ۳). سطح آبیاری I_3 با ۴۹ درصد کاهش در عملکرد ماده خشک نسبت به سطح I_1 مواجه شد

(جدول ۴). کاهش عملکرد ماده خشک در اثر کاهش میزان آب قابل استفاده برای گلرنگ را نیز گزارش‌های قبلی تأیید نموده‌اند (۱۳). این محققان استدلال کرده‌اند که احتمالاً کاهش شاخص سطح برگ در تیمارهای تنش، جذب نور توسط پوشش گیاهی را کاهش داده و به تبع آن ماده خشک تولیدی کاهش یافته است.

اثر متقابل رقم و آبیاری بر عملکرد ماده خشک معنی‌دار گردید (جدول ۳). اگرچه عملکرد ماده خشک تمام ژنوتیپ‌ها با تشدید تنش خشکی کاهش یافت ولی این کاهش در رقم ورامین بیشتر از سایر رقم‌ها بود (شکل ۳). درنتیجه رقم ورامین که در شرایط بدون تنش بیشترین عملکرد ماده خشک را تولید نمود در شرایط تنش کمترین عملکرد ماده خشک را نشان داد و اثر متقابل نیز احتمالاً به این دلیل معنی‌دار شده است.

اثر رژیم آبیاری بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول ۳). قبلاً محققین بیان داشتند که زمان‌های مختلف وقوع تنش در گیاه دانه روغنی سویا تأثیری در شاخص برداشت ندارد (۳۳). این محققین بر این عقیده‌اند که فرایندهای رویشی و زایشی گیاه به یک اندازه تحت تأثیر تنش رطوبتی قرار می‌گیرند و به همین دلیل، شاخص برداشت در وضعیت‌های مختلف رطوبتی از ثبات زیادی برخوردار است و تغییرات ماده خشک کل گیاه و عملکرد دانه درمقایسه با شاخص برداشت در پاسخ به تنش آب بیشتر است.

اثر رقم بر میزان شاخص برداشت معنی‌دار گردید (جدول ۳). رقم ورامین با ۲۳/۲ درصد بیشترین و رقم اولتان با ۱۶/۵ درصد کمترین مقدار شاخص برداشت را داشتند (جدول ۴). اختلاف بین ژنوتیپ‌ها در شاخص برداشت می‌تواند احتمالاً ناشی از اختلاف ژنتیکی بین آنها از نظر ظرفیت اختصاص تولیدات فتوسنتزی به بخش زایشی و دانه باشد. شاخص برداشت ژنوتیپ‌ها به‌طورکلی پایین بود. این در حالی است که در اغلب گیاهان زراعی امروز شاخص برداشت در اثر فعالیت‌های به‌نژادی به طرز محسوسی افزایش داشته است و حتی در گیاهانی نظیر غلات دانه‌ریز به مرز ۵۰ درصد رسیده است.



شکل ۳ - عملکرد ماده خشک چهار ژنوتیپ کنجد تحت سه سطح آبیاری (آبیاری پس از ۷۵، ۱۱۰ و ۱۴۵ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A)

تعداد کم کپسول و تعداد کم دانه و مقدار کم سطح برگ در آزمایش حاضر حداقل بخشی به وضعیت رقم‌های مورد استفاده (شکوفایی شدید کپسول، خوابیدگی شدید ساقه‌ها و شاخه‌ها و زرد شدن زودهنگام برگ‌های پایینی، ریزش گل‌ها و کپسول‌های نارس) برمی‌گردد. عملکرد دانه کنجد در کشورمان کمی بیش از ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار است. این عملکرد پایین تا حدود زیادی مربوط به خصوصیات فوق‌الذکر در رقم‌های رایج فعلی می‌باشد که البته نیاز مبرم به کارهای به‌نژادی در کنجد را می‌رساند. از همین رو است که عملکرد دانه و شاخص برداشت در آزمایش حاضر نیز چندان قابل توجه نیست.

به‌طورکلی، ضمن آنکه تنش کمبود آب تأثیر جدی بر کاهش رشد و عملکرد دانه کنجد بر جای می‌گذارد، این تأثیر بیش از آنکه از طریق کاهش کارآیی کوانتوم نظام نوری دو باشد، ناشی از کاهش سطوح فتوسنتزکننده این گیاه است.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱ . پاک‌نژاد، ف.، مجیدی هروان ا.، نورمحمدی، ق.، سیادت، ع. و وزان س (۱۳۸۵) بررسی تأثیر تنش خشکی بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل، محتوای کلروفیل و عملکرد دانه ارقام مختلف گندم. علوم کشاورزی ایران ۳۷(۱): ۴۹۲-۴۸۱.

۲ . پورموسوی م.، گلوی م.، دانشیان ج.، قنبری ا. و بصیرانی ن (۱۳۸۶) بررسی تأثیر تنش خشکی و کود دامی بر محتوای رطوبت، میزان پایداری غشای سلول و محتوای کلروفیل برگ سویا. علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۴: ۹-۱.

۳ . حسنی، ع.، امیدبیگی ر. و حیدری شریف‌آباد ح (۱۳۸۲) بررسی برخی از شاخص‌های مقاومت به خشکی در گیاه ریحان. علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۰: ۷۴-۶۵.

۴ . خواجه‌پور م ر (۱۳۸۳) گیاهان صنعتی. انتشارات جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی اصفهان.

۵ . دادیور م. و خودشناس م (۱۳۸۵) ارزیابی اثرات تنش آبی در کلزا. علوم کشاورزی ۱۲: ۸۵۲-۸۴۵.

۶ . دهشیری ع.، احمدی م. ر. و طهماسبی سروستانی ز (۱۳۸۰) عملکرد ارقام کلزا به تنش آب. علوم کشاورزی ایران ۳۲: ۶۵۹-۶۴۹.

۷ . دینی ترکمانی م. و کاراپتیان ژ (۱۳۸۶) بررسی میزان و تنوع پروتئین در بذر ۱۰ رقم کنجد. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۱: ۲۳۰-۲۲۵.

۸ . قربانلی م. و نیاکان م (۱۳۸۴) بررسی اثر تنش خشکی بر روی میزان قندهای محلول، پروتئین، پرولین، ترکیبات فنلی و فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز گیاه سویا رقم گرگان ۳. علوم دانشگاه تربیت معلم ۵: ۵۵۰-۵۳۷.

۹ . کوچکی ع.، راشد محصل م. ح.، نصیری م. و صدرآبادی ر (۱۳۷۴) مبانی فیزیولوژیکی رشد و نمو گیاهان زراعی. انتشارات آستان قدس رضوی.

۱۰ . گلستانی م. و پاک‌نیت ح (۱۳۸۶) ارزیابی شاخص‌های مقاومت به خشکی در کنجد. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۱(۴۱): ۱۴۹-۱۴۱.

۱۱ . محسن‌آبادی غ.، خدابنده ن.، عرشی ی. و پیغمبری ع (۱۳۸۰) اثر سطوح مختلف کود نیتروژن و آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم کلزای پاییزه. علوم کشاورزی ایران ۳۲: ۷۷۲-۷۶۵.

۱۲ . موحدی دهنوی م.، مدرس ثانوی ع. م.، سروش‌زاده ع. و جلالی م (۱۳۸۳) تغییرات میزان پرولین، قندهای محلول کل، کلروفیل (SPAD) و فلورسانس کلروفیل در ارقام گلرنگ پاییزه حت تنش خشکی و محلول‌پاشی روی و منگنز. بیابان ۹: ۱۰۸-۹۳.

۱۳ . نادری درباغشاهی م. ر.، نورمحمدی ق.، مجیدی ا.، درویش ف.، شیرانی‌راد ا. و مدنی ح (۱۳۸۳) بررسی اثر تنش خشکی و تراکم بوته بر صفات اکوفیزیولوژیکی سه لاین گلرنگ در کاشت تابستانه در اصفهان. نهال و بذر ۲۰: ۲۹۶-۲۸۱.

۱۴ . نادری م. ر.، نورمحمدی ق. ا.، مجیدی ا.، درویش ف.، شیرانی‌راد ا. و مدنی ح (۱۳۸۴) بررسی عکس‌العمل گلرنگ تابستانه به شدت‌های مختلف تنش خشکی در اصفهان. علوم زراعی ایران ۷: ۲۲۵-۲۱۱.

15 . Arnon DI (1949) Copper enzymes in isolated chlorophlasts and polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24: 1-15.

16 . Basu PS, Ashoo S and Sukumaran NP (1998) Changes in net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in potato leaves induced by water stress. Photosynthetica 35: 13-19.

17 . Bates LS, Waldern RP and Teare OD (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

18 . Gale A, Csiszar J, Tari I and Erdei L (2002) Changes in water and chlorophyll fluorescence parameters under osmotic stress in wheat cultivars. Proceedings of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology. 46: 85-86.

19 . Germ M, Urbanc Bercic O and Kocjan Acko D (2005) The response of sunflower to acute disturbance in water availability. Acta Agriculturae Slovenica 85: 135-141.

20 . Hong-B0 S, Xiao- Yan C, Li-Ye C, Xi-Ning Z, Gang W, Yong-Bing Y, Chang-Xing Z and Zan-Min H (2006) Investigation on the relationship of proline with wheat anti-drought under soil water deficits. Colloids and Surfaces 53: 113-119.

21 . Kidambi S, Matches PAG and Bolger TP (1990) Mineral concentration in alfalfa and sainfoin as influenced by soil moisture level. Agronomy 82: 787-792.

22 . Kocheva K, Lambrev P, Georgiev G, Goltsev V and Karabaliev M (2004) Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress. Bioelectrochemistry 63: 121-124.

23 . Kundu PB and Paul NK (1997) Effect of water stress on chlorophyll, proline and sugar accumulation in rape (*Brassica compestri*s). Bangladsh Journal of Botany 26: 83-85.

24 . Manivannan P, Abdul Jaleel C, Sankar B, KishorekumarA, Somasundaram R, Lakshmanan GMA and Panneerselvam R (2007) Growth, biochemical modifications and proline metabolism in (*Helianthus annuus* L.) as induced by drought stress. Colloids and Surfaces 59: 141-149.

25 . Monreal JA, Jimenez ET, Remesal E, Morillo-velarde R, Garcia-Maurino S and Echevarria C (2007) Proline content of sugar beet storage roots. Response to water deficit and nitrogen fertilization at field conditions. Environmental and Experimental Botany 60: 257-267.

26 . Oukarroum A, Madidi SE, Schansker G and Strasser RJ (2007) Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. Environmental and Experimental Botany 60: 438 - 446.

27 . Pagter M, Bragato C and Brix H (2005) Tolerance and physiological responses of (*Phragmites australis*) to water deficit. Aquatic Botany 81: 285-299.

28 . Sanchez FJ, Manzanares M, Andres EFDe, Tenorio JL and Ayerbe L (1998) Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. Field Crops Research 59: 225-235.

29 . Sankar B, Jaleel CA, Manivanan P, Kishorekumar A, Somasundaram R and Panneerselvam L (2007) Drought-induced biochemical modifications and praline metabolism in *Abelmoschus esculentus* L. Acta Bot. Croat. 66: 43-56.

30 . Serraj R and Sinclair TR (2002) Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? Plant Cell Environment 25: 331-341.

31 . Singer SM, Helmy YI, Karas AN and Abou-hadid AF (1999) Growth and development of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under water-stress. Cahiers Options Mediterraneennes 31: 241-250.

32 . Smith BN, Girija C and Swamy PM (2002) Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycine betaine in peanut (*Arachis hypogaea*). Environmental and Experimental Botany 47: 1-10.

33 . Spaeth SC, Randall HC, Sinclair TR and Vendeland JS (1984) Stability of soybean harvest index. Agronomy 76: 482-486.

34 . Teulat B, Monneveux P, Wery J, Borries C, Souyris I, Charrier A and This D (1997) Relationships between relative water content and growth parameters under water stress in barley: a QTL study. New Phytologist 137: 99-107.

35 . Vajrabhaya M, Kumpun W and Chadchawan S (2001) The solute accumulation: The mechanism for drought tolerance in RD23 rice (*Oriza sativa* L.) lines. Science Asia. 27: 93-97.

36 . Valentovic P, Luxova M, Kolarovic L and Gasparikova O (2006) Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. Plant and Soil Environment 52: 186-191.

37 . Weiss EA (2000) Oilseed Crops, 2nd Edition. Blackwell Sc. Ltd., Bodmin, UK.

38 . Zaifnejad M, Clarck RB and Sullivan CY (1997) Aluminum and water stress effects on growth and proline of sorghum. Plant Physiology 150: 338-344.

A study on physiological attributes and grain yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars under different soil moisture regimes

Z. Mehrabi [1] and P. Ehsanzadeh [2*]

(E-mail: ehsanp@cc.iut.ac.ir)

Abstract

Sesame could be an appropriate oilseed crop for water limited environments. This research was aimed at studying growth, leaf chlorophyll fluorescence, proline content, yield and yield components of sesame cultivars under different moisture regimes. A 4-replicate split plot RCBD field experiment was conducted at the Lavark Research Farm, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran in 2007. Three levels of irrigation consisting I_1 = control (no water deficit), I_2 = moderate water deficit and I_3 = severe water deficit, representing irrigation after 75, 110 and 145 mm evaporation from the standard Class A Pan, respectively, served as main plots. Four sesame genotypes consisting 'Non Branching Naz', 'Yekta', 'Varamin' and 'Oltan' were considered as sub plots. Irrigation regimes and cultivars differed in terms of Fm at grain filling stage, though they did not differ in terms of leaf chlorophyll content and Fv/Fm. The latter trait decreased non-significantly from 0.81 at the I_1 to 0.77 at the I_3 level of irrigation. Leaf proline content increased from 3.5 at I_1 to 8.6 mgg^{-1} at the I_3 level of irrigation. Severe water deficit decreased LAI, pod/plant, seed/pod, grain yield and dry matter by 55, 42, 37, 48 and 49 percent, respectively. Severe water deficit led to a significant decrease in grain yield from 1212 to 625 kg/ha. It seems that water deficit affects sesame growth and grain yield significantly and this negative effect is mainly through a reduction in the photosynthetic surfaces, rather than a decrease in the maximum of quantum efficiency for photosystem II of the present genotypes. Yekta and Varamin sesame were more productive compared to the rest of cultivars.

Keywords: Fluorescence, Grain Yield and Components, Proline, Sesame, Water Stress

1 - M.Sc. Student, Dept. of Agronomy and Crop Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan – Iran

2 - Associate. Prof., Dept. of Agronomy and Crop Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan – Iran

(Corresponding Author *)