تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences

مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی
جلد هفتم، شماره دوم، نیمه‌دوم۹۳
۱۷۱ - ۱۵۵

ارزیابی ویژگی‌های زراعی و برخی صفات فیزیولوژیک ارقام کلزا تحت تأثیر تنش خشکی

علی حامد[۱]، غلامعباس اکبری [۲]، نیراعظم خوش خلق سیما[۳*]، امیرحسین شیرانی‌راد[۴]، حمید جبّاری[۵]، سید علی طباطبایی[۶]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران؛ ۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات پردیس ابوریحان دانشگاه تهران؛
۳. استادیار پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی، کرج؛ ۴. استاد پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر؛
۵. استادیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر؛ ۶. استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد.

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۶/۰۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۰۳

چکیده

به منظور ارزیابی ویژگی‌های زراعی و برخی صفات فیزیولوژیک ارقام کلزا تحت تأثیر تنش خشکی آزمایشاتی به صورت جداگانه در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد انجام گرفت. هر آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بود. آزمایش اول، (شاهد) آبیاری براساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A در کلیه مراحل رشدی گیاه، آزمایش دوم، تنش خشکی از مرحله ساقه‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک، آزمایش سوم، تنش خشکی از گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک و آزمایش چهارم، تنش خشکی از مرحله خورجین‌دهی تا پایان رسیدگی فیزیولوژیک در ارقام GKH2005، Opera و Okapi بودند. نتایج تجزیه مرکب نشان داد قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی به‌ترتیب سبب کاهش معنی‌دار ۴۴، ۳۴ و ۹ درصدی تعداد خورجین در ساقه اصلی، ۶۰، ۳۴ و ۱۷ درصدی تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی، ۶۲، ۳۵ و ۵ درصدی تعداد دانه در خورجین ساقه اصلی، ۷۳، ۴۶ و ۱۱ درصدی تعداد دانه در خورجین شاخه‌های فرعی، ۱۹، ۲۸ و ۲۶ درصدی وزن هزار دانه و ۶۲، ۵۱ و ۲۷ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شاهد گردید. بیشترین عملکرد دانه در آزمایش شاهد، به میزان ۳۱۱۰ کیلوگرم در هکتار، و پس از آن به‌ترتیب در آزمایش‌های قطع آبیاری از خورجین‌دهی، گل‌دهی و ساقه‌دهی به میزان ۲۵۱۰،۱۷۷۳ و۱۴۵۰ کیلوگرم در هکتار بود. تنش خشکی سبب کاهش هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب برگ و پایداری غشاء سلولی شد، در حالی که عدد SPAD را افزایش داد. در بین ارقام مورد بررسی، رقم GKH در شرایط تنش خشکی با کمترین درصد نشت الکترولیت-ها، هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ بالا، از بالاترین تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه برخوردار بود. نتایج کلی این آزمایش نشان داد که اعمال قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به دلیل کاهش تعداد دفعات آبیاری و استفاده بهینه از آن در آبیاری محصولات تابستانه همراه با استفاده از ارقام متحمل به خشکی، می‌تواند در افزایش بهره‌وری و سطح زیر کشت کلزا در مناطق خشک و نیمه خشک مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: **درصد نشت الکترولیت‌ها، عملکرد دانه، کلزا، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای.**

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) پس از نخل روغنی و سویا سومین گیاه روغنی یکساله جهان است که به خاطر روغن خوراکی آن کشت شده و به راحتی در تناوب با غلات قرار می‌گیرد (FAO, 2013). رشد و تولید گیاهان به صورت مخربی تحت تأثیر قهریات طبیعت به شکل تنش‌های زیستی و غیرزیستی قرار می‌گیرد. در بین تنش‌های غیرزیستی، تنش خشکی شدیدترین، مخرب‌ترین و با اهمیت‌ترین عامل محیطی محدود کنندهٔ تولید محصولات زراعی و امنیت تولید غذا در دنیا است (Nakayama et al., 2007). یکی از عوامل مهم که توسعه و کشت موفقیت آمیز کلزا را به مخاطره می‌اندازد تنش خشکی است زیرا کمبود آب مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد و تولید این گیاه در ایران به شمار می‌رود (Moradshahi et al., 2004; Rashidi et al., 2012). در چند سال گذشته به

نگارنده پاسخگو: نیراعظم خوش خلق سیما. پست الکترونیک: ksima@abrii.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

دلیل اهمیت بسیار بالایی روغن خوراکی و کنجاله برای خوراک دام، سطح زیر کشت این گیاه روغنی به طور چشمگیری افزایش پیدا کرده است، درحالی‌که در برخی از سال‌های اخیر به دلیل کمبود نزولات جوی سطح زیر کشت کلزا با کاهش محسوس نیز مواجه گردیده است (Moghaddam and Pourdad, 2011). بر این اساس لزوم شناسایی ارقام مقاوم به خشکی و همچنین معیارهای مناسب برای انتخاب این ارقام ضروری می‌باشد.

در خصوص اثر تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک گیاه کلزا، مطالعات مختلفی انجام شده است (Ghobadi et al., 2006; Sinaki et al., 2007). از میان برخی صفات فیزیولوژیک قابل استفاده برای گزینش ژنوتیپ‌های دارای مقاومت به خشکی می‌توان به محتوای نسبی آب برگ[1] (Khan et al., 2010) و درجه نشت یونی یا پایداری غشای سلولی مربوط به سلول‌های آسیب دیده از تنش خشکی اشاره کرد (Blum et al., 1999). زیرا اندازه‌گیری پایداری غشای سلولی[2] به عنوان یک تکنیک برای ارزیابی میزان تحمل به خشکی در گیاهان زراعی مختلف می‌باشد (Farooq and Azam, 2006). خان و همکاران (Khan et al., 2010) در ارزیابی ژنوتیپ‌های کلزا با پتانسیل عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های فیزیولوژیک نشان دادند که کم‌آبیاری در مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی سبب کاهش چشمگیر محتوای نسبی آب برگ ارقام کلزا گردید. رشتبری و همکاران (Rashrbari et al., 2012) نشان دادند که تنش کم‌آبی در ارقام کلزا سبب افزایش معنی‌دار درصد نشت الکترولیت‌ها از ۱۸ درصد در تیمار بدون تنش به ۴۷ درصد در تیمار قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی در گیاه کلزا شد.

تا به حال چندین مورد کاربرد دستگاه کلروفیل‌متر دستی[3] در گیاه کلزا در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Gholamhoseini et al., 2012 ; Rashtbari et al., 2012). موجدسی و همکاران (Mujdeci et al., 2011) طی بررسی تیمارهای مختلف پتانسیل ماتریک خاک بر میزان عدد کلروفیل‌متر دستی و مقاومت روزنه‌ای گیاه کلزا نتیجه گرفتند که با افزایش پتانسیل ماتریک خاک بر مقدار عددی SPAD و مقاومت روزنه‌ای افزوده شد.

در کشور ایران کمبود روغن خوراکی یکی از مهم‌ترین مباحث پیش روست که سالانه به‌واسطه واردات روغن از خارج کشور هزینه‌های زیادی به کشور تحمیل می‌شود. بنابراین با توجه به اینکه خشکسالی و تنش خشکی ناشی از آن مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی در ایران است و دوره رشد زایشی کلزا در اکثر مناطق ایران با تنش خشکی مواجه می‌گردد، لزوم انجام آزمایشاتی به منظور تعیین مراحل بحرانی رشد کلزا به تنش خشکی و واکنش ارقام مختلف به سطوح تنش خشکی از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. بررسی رشیدی و همکاران (Rashidi et al., 2012) نشان داد که قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی به بعد سبب کاهش میزان آب نسبی برگ در بیست و دو رقم کلزای مورد بررسی شد اما مقدار کاهش در هر رقم متفاوت بود. در این بررسی در ارقام متحمل به خشکی مانند SLM046 و زرفام محتوای نسبی آب برگ در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی به بعد در حدود ۵۷ درصد و این میزان در ارقام حساس به خشکی مانند Modena در حدود ۴۹ درصد بود (Rashidi et al., 2012). جیانگ و هوانگ (Jiang and Huang, 2001) گزارش نمودند که بالا بودن محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ‌های متحمل به کم‌آبی‌می‌تواند بدلیل وجود برخی عوامل کم کننده تلفات آب، از طریق بستن روزنه‌ها و یا به واسطه جذب بیشتر آب از طریق گسترش و توسعه ریشه باشد. حسین (Hossain, 2010) در بررسی مطالعات ترکیب زیست شناسی مولکولی و فیزیولوژیک برای بهبود عملکرد کلزا در شرایط تنش کم‌آبی گزارش کرد که میزان عدد کلروفیل‌متر دستی می‌تواند شاخص مناسبی برای شناسایی ارقام متحمل به کم‌آبی باشد. این آزمایشات با هدف تعیین مراحل نموی حساس به تنش خشکی و بررسی برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرد و اجزاء عملکرد در سه رقم کلزا به تنش خشکی در فاز زایشی انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد با موقعیت طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۲۳۶

[1]. Relative Water Content (RWC)
[2]. Cell Membrane Stability (CMS)
[3]- SPAD

Archive of SID

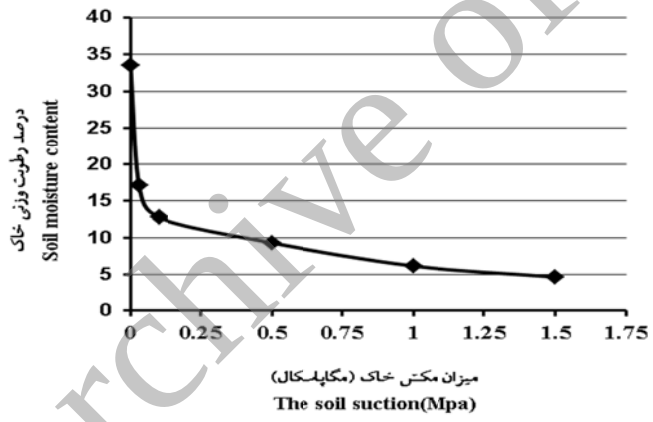
www.SID.ir

متر از سطح دریا انجام شد. یزد با متوسط بارندگی سالانه ۶۵ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۱۸/۹ سانتی‌گراد، با اقلیمی خشک در فلات مرکزی ایران واقع شده است. نتایج آزمون خاک محل آزمایش در جدول شماره ۱ ارائه شده است. همچنین منحنی رطوبت خاک رسم شد (شکل ۱).

جدول ۱. نتایج آزمون فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 1. Results of physical and chemical soil test.

عمق نمونه‌برداری	هدایت الکتریکی	اسیدیته	ازت کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	شن	سیلت	رس	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری	ظرفیت زراعی	نقطه پژمردگی دائم
Sampling depth	EC	pH	Total N	Available P	Available K	Sand	Silt	Clay	Soil Texture	Bulk density	Field capacity	Permanent wilting point
(سانتی‌متر) (cm)	(دسی‌زیمنس بر متر) (ds/m)		(درصد) (%)	(پی‌پی‌ام) (ppm)	(پی‌پی‌ام) (ppm)	-----(%)-----		----- (درصد) -----		(گرم بر سانتی-متر مکعب) (g/cm^3)	(درصد) (%)	(درصد) (%)
0-40	3.88	7.8	0.014	5.02	107.9	64.2	10.8	25	لوم رسی شنی Sandy clay loam	1.39	17.1	4.7



شکل ۱. منحنی رطوبت خاک مزرعه محل آزمایش

Fig 1. Curve of field soil moisture for the test site

این پژوهش به صورت چهار آزمایش جداگانه هر کدام در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد و در پایان، داده‌ها به صورت چند مکان در یک سال از طریق تجزیه واریانس مرکب انجام گرفت. آزمایش اول، شاهد (آبیاری به صورت نرمال براساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A در کلیه مراحل رشدی گیاه)، آزمایش دوم، تنش خشکی از مرحله ساقه‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک، آزمایش سوم، تنش خشکی از گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک و آزمایش چهارم، تنش خشکی از مرحله خورجین‌دهی تا پایان رسیدگی فیزیولوژیک انجام شد. در این پژوهش، سه ژنوتیپ کلزا مورد بررسی قرار گرفت که نام و تیپ رشدی آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

زمین آزمایش با توجه به عرف منطقه جهت کشت، آماده وکودهای لازم با توجه به نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی به زمین آزمایش اضافه گردید. به منظور آماده سازی

Archive of SID

www.SID.ir

زمین، قبل از اجرای آزمایش، زمین مورد نظر آبیاری گردید و پس از گاورو شدن، به وسیله گاو آهن برگردان دار شخم زده شد. سپس جهت خرد شدن کلوخه‌ها و همچنین یکنواخت شدن وضعیت خاک مزرعه، زمین مذکور دیسک و ماله زده شد. سپس اقدام به نمونه گیری از خاک مزرعه در دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر گردید. براساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی، اقدام به کود پاشی (کود اوره ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه نوبت: ۱۰۰ کیلوگرم به صورت پایه، ۱۰۰ کیلوگرم در مرحله ساقه‌دهی و ۵۰ کیلوگرم در مرحله شروع گل‌دهی، کود فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم به ترتیب ۲۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به صورت پایه) شد و به وسیله دیسک سبک، کود با خاک مخلوط گردید. هر کرت آزمایشی شامل شش خط به طول پنج متر، فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر از هم بود که دو خط کناری به عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند. همچنین علف-کش ترفلان به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار به طور یکنواخت در سطح مزرعه پخش شد و به وسیله دیسک سبک، کود و علف‌کش با خاک مخلوط گردیدند. تراکم بوته‌ها در زمان بذرکاری ۱۰۰ بوته در متر مربع و پس از زمستان‌گذرانی (مرحله رزت) تا هنگام برداشت به ۸۵ بوته در متر مربع تقلیل یافت. کاشت در تاریخ ۳ آبان ماه انجام گرفت و به دلیل شوری خاک و تجمع املاح در محل داغاب، کشت در کف جوی انجام شد. داخل هر سوراخ ایجاد شده در کف جوی‌ها، چهار تا پنج عدد بذر قرار گرفت. بعداز کاشت، اولین آبیاری و چهار روز پس از کاشت نیز دومین آبیاری به منظور سبز شدن مناسب بذور انجام شد. به دلیل خشکی و شوری خاک منطقه تراکم علف‌های هرز قابل توجه نبود و تنها علف هرز غالب منطقه خارشتر (*Alhagi maurorum*) بود که به صورت مکانیکی کنترل شد. همچنین برای مبارزه با آفت شته مومی (*Brevicoryne brassicae*) از سم متاسیستوکس در دو مرتبه (اوایل گل‌دهی و خورجین‌دهی) به میزان ۱/۵ لیتر درهکتار استفاده شد. در این بررسی، به-منظور اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک، نمونه‌برداری‌ها در تیمارهای شاهد، قطع آبیاری از ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی به‌ترتیب طی شش، سه، سه و دو مرحله (با فواصل هشت روزه بین هر مرحله نمونه‌برداری) انجام شد که براساس روزهای پس از سبز شدن به همراه مقادیر درصد رطوبت وزنی خاک در هر مرحله در جدول ۳ بیان شده است. لازم به ذکر است که اولین نمونه‌برداری در هر تیمار یک هفته پس از اعمال قطع آبیاری (تنش خشکی) انجام گرفت. همچنین تعداد دفعات آبیاری در هر تیمار آبیاری به طور جداگانه در جدول ۴ نمایش داده شده است.

به منظور ارزیابی روابط آبی، از دو شاخص محتوای نسبی آب برگ (RWC) و هدایت روزنه‌ای برگ استفاده شد. در خصوص اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) بر حسب درصد از روش نصری و همکاران (Nasri et al., 2006) و جهت اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای در برگ-ها با استفاده از دستگاه پرومتر[1] هدایت روزنه‌ای برگ‌ها برحسب واحد میلی‌مول بر متر مربع در ثانیه قرائت شد (Mujdeci et al., 2011). به منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ در ساعت هفت صبح، سه برگ جوان و توسعه یافته از بالای پوشش گیاهی از سه ردیف میانی هر کرت برداشت گردید. همچنین به منظور اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای بین ساعات هفت تا هشت صبح از دو برگ جوان و توسعه یافته بالای کانوپی هدایت روزنه‌ای قرائت شد.

قرائت عدد دستگاه کلروفیل‌متردستی[2] (سبزینگی برگ) از روش غیر تخریبی با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج صورت گرفت (Mujdeci et al., 2011). برای ارزیابی میزان پایداری غشای سلولی، از اندازه‌گیری درصد نشت الکترولیت‌ها از سلول (درصد خسارت به غشاء سلولی) از روش (Farooq and Azam, 2006) استفاده گردید.

$$CMS= (EC0/EC1)\times 100 \qquad [۱]$$

در این رابطه، CMS = نشت الکترولیتی، EC = EC0 پس از ۲۴ ساعت قبل از اتوکلاو، و EC= EC1 بعد از اتوکلاو.

برای تعیین وزن خشک گیاه از روش شیخ و همکاران (Shikh et al., 2005) و به منظور تعیین عملکرد دانه از روش دانشمند و همکاران (Daneshmand et al., 2006)، استفاده شد. برای تعیین وزن هزار دانه، میانگین ۵ نمونه ۱۰۰۰ تایی از بذرهای هر کرت آزمایشی محاسبه شد. همچنین از تقسیم عملکرد دانه بر وزن خشک کل گیاه، شاخص برداشت به دست آمد. میزان روغن دانه‌ها با استفاده از دستگاه سوکسله استخراج گردید و از حاصل‌ضرب میزان روغن دانه در عملکرد دانه، عملکرد روغن در هکتار محاسبه شد. با ورود بوته‌ها به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد کل خورجین‌های پُر در ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی به

1. Prometer AP4 (MK, Delta, UK مدل)

2. SPAD-502 (Minolta, Japan مدل)

Archive of SID

www.SID.ir

طور مجزا در ۷ بوته انتخاب شده به صورت تصادفی به دست آمد. با احتساب مجموع خورجین‌های دارای دانه و باز نشده، تعداد دانه در ۳۰ خورجین ساقه اصلی در بوته‌های منتخب برای تعیین تعداد دانه در خورجین ساقه اصلی و جهت تعیین تعداد دانه در خورجین شاخه‌های فرعی نیز، تعداد ۳۰ عدد خورجین از شاخه‌های فرعی به‌طور تصادفی شمارش شدند. برای اندازه گیری وزن ۱۰۰۰ دانه، پنج تکرار صدتایی از هر تیمار جدا و پس از توزین با ترازوی دقیق میانگین آن‌ها به عنوان وزن هزار دانه هر کرت بر حسب گرم تعیین گردید.

جدول ۲. نام و مشخصات ژنوتیپ های کلزای مورد استفاده در آزمایش.

Table 2. Names and characteristics of canola genotypes used in the experiment.

ردیف Row	ژنوتیپ Genotype	مبدأ Origin	تیپ رشدی Type of growth	طول دوره رشد (روز) Growth duration (day)
1	GKH2005	مجارستان Hungary	پائیزه Autumnal	200
2	Opera	سوئد Sweden	پائیزه Autumnal	201
3	Okapi	فرانسه France	پائیزه Autumnal	204

جدول ۳. مراحل نمونه‌برداری صفات فیزیولوژیک در تیمارهای آبیاری به همراه مقادیر درصد رطوبت وزنی خاک در هر مرحله

Table 3. Sampling stages from physiological characteristics in irrigation treatments with the amounts of soil moisture content at each stage.

تیمار آبیاری Irrigation treatment	درصد رطوبت وزنی خاک در روزهای مختلف پس از سبز شدن Soil moisture content at different days after emergence					
	152	160	168	176	184	192
شاهد Control	15.9	12.6	18.1	16.7	19.4	23.0
قطع آبیاری از ساقه‌دهی Withholding irrigation from stem elongation	9.6	5.2	2.0	-	-	-
قطع آبیاری از گلدهی Withholding irrigation from flowering	-	-	10.1	5.3	4.1	-
قطع آبیاری از خورجین‌دهی Withholding irrigation from silique formation	-	-	-	-	4.9	3.0

جدول ۴. تعداد دفعات آبیاری در هر تیمار آبیاری

Table 4. Number of irrigations frequency in each treatment.

تیمارها Treatments	شاهد Control	قطع آبیاری از ساقه‌دهی Withholding irrigation from stem elongation	قطع آبیاری از گل‌دهی Withholding irrigation from flowering	قطع آبیاری از خورجین‌دهی Withholding irrigation from silique formation
جمع تعداد دفعات آبیاری Sum of irrigations	16	8	11	14

Archive of SID

www.SID.ir

در پایان با توجه به انجام دادن چهار آزمایش (شرایط جداگانه، پس از اطمینان از مفروضات و یکنواختی اشتباهات آزمایشی توسط آزمون بارتلت، هر آزمایش به عنوان یک مکان (تیمار آبیاری) در نظر گرفته شد و داده-های حاصل با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (ver 9.1) تجزیه واریانس مرکب شدند و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از رویه برش‌دهی[1] و به روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار[2] در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. ضرایب همبستگی ساده بین عملکرد و اجزاء عملکرد نیز با نرم‌افزار آماری SAS (ver 9.1) محاسبه شد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

بررسی روند تغییرات فیزیولوژیک تحت تأثیر تنش خشکی

هدایت روزنه‌ای: در این بررسی روند تغییرات هدایت روزنه‌ای سه رقم کلزای مورد بررسی در تیمارهای مختلف آبیاری در شکل ۲ نشان می‌دهد که بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای در بین سه رقم کلزای مورد مطالعه در تیمار شاهد متعلق به رقم GKH در ۱۶۸ روز پس از سبز شدن و رطوبت وزنی خاک ۱۸/۱ درصد بود (۳۷۵ میلی-مول بر متر مربع در ثانیه). اعمال قطع آبیاری از مراحل مختلف نموی (ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی) سبب کاهش میزان هدایت روزنه‌ای بین ارقام در مقایسه با تیمار شاهد شد که این کاهش در بین ارقام متفاوت بود (شکل ۲). بررسی مقایسه میانگین‌های صفت هدایت روزنه‌ای در بین ارقام در تیمارهای آبیاری در شکل ۲ نشان می‌دهد که در تیمارهای قطع آبیاری بیشترین مقادیر هدایت روزنه‌ای در رقم GKH مشاهده شد که احتمالاً این موضوع می‌تواند با بالاتر بودن محتوای نسبی آب برگ به واسطه جذب بیشتر آب از طریق گسترش و توسعه ریشه مرتبط باشد (Jiang and Huang, 2001). در شرایط کم‌آبی هدایت روزنه‌ای با محتوای نسبی آب برگ همبستگی داشته و کاهش مقدار آن در شرایط کمبود آب، منجر به کاهش هدایت روزنه‌ای و جذب دی اکسید کربن شده و در نهایت سبب افت فتوسنتز می‌گردد (Mailer et al., 2002). همچنین اعمال تنش خشکی به‌واسطه قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی در ارقام GKH، Opera و Okapi به‌ترتیب سبب تقلیل هدایت روزنه‌ای به ۳۹/۳، ۲۵/۶ و ۲۵/۷ میلی‌مول بر متر مربع در ثانیه در رطوبت وزنی خاک ۴/۱ درصد (در ۱۸۴ روز پس از سبز شدن) شد. وانگ و همکاران (Wang et al., 2005) در بررسی اثر تنش کم‌آبی در مرحله گل‌دهی گیاه کلزا بیان داشتند که هدایت روزنه‌ای در تیمار تنش کم‌آبی به میزان معنی‌داری در مقایسه با شرایط بدون تنش (شاهد) کاهش یافت و این امر را وابسته به مقدار تجمع اسید آبسزیک در شرایط تنش کم‌آبی ذکر کردند. چاوز و همکاران (Chaves et al., 2002) در بررسی چگونگی تطابق گیاهان با تنش کمبود آب از نظر هدایت روزنه‌ای گزارش کردند که گیاه برای اجتناب از تنش و استفاده بهتر از مقدار آب محدودی که در اختیار دارد، اقدام به بستن روزنه‌های خود می‌کند تا از هدرروی آب جلوگیری شود، بنابراین با شروع دوره خشکی، تا مدتی گیاه تعرق و هدایت روزنه‌ای خود را در سطح حداکثر نگه‌می‌دارد، ولی با تداوم دوره خشکی، اقدام به بستن روزنه‌های خود می‌نماید.

محتوای نسبی آب: نتایج مقایسه میانگین‌های صفت محتوای نسبی آب برگ در شکل ۳ نشان می‌دهد که اعمال تیمارهای قطع آبیاری سبب کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ ارقام کلزا در مقایسه با تیمار شاهد شد، اما میزان کاهش در هر رقم متفاوت بود (شکل ۳). گزارش شده است تفاوت بین ارقام کلزا از نظر محتوای نسبی آب برگ ناشی از مکانیسم‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک متفاوت مانند اندازه و زاویه برگ، وجود یا نبود موم یا به واسطه جذب بیشتر آب از طریق گسترش و توسعه ریشه، در شرایط تنش خشکی است (Jiang and Huang, 2001). اعمال قطع آبیاری از ساقه‌دهی نسبت به سایر تیمارهای قطع آبیاری، در رقم Okapi بالاترین و در رقم GKH کمترین میزان کاهش در محتوای نسبی آب برگ را سبب گردید، به طوری که در تیمار قطع آبیاری از ساقه‌دهی در ۱۶۰ روز پس از سبز شدن بیشترین و کمترین میزان کاهش محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد به ترتیب در ارقام Okapi و GKH به میزان ۳۶ و ۱۱ درصد مشاهده گردید (شکل ۳). همچنین در تیمار قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و خورجین‌دهی بالاترین و کمترین میزان هدایت روزنه‌ای به‌ترتیب در ارقام GKH و

[1]- Slicing
[2]- LSD

Archive of SID

www.SID.ir

Okapi مشاهده شد که در دو گروه آماری متفاوت قرار گرفتند (شکل ۳). به نظر می‌رسد دلیل کاهش RWC در مرحله پایانی رشد (گلدهی و خورجین‌دهی) این باشد که در مراحل آخر رشد، برگ‌ها پیر شده و دیواره سلولی با از دست دادن خاصیت ارتجاعی و انعطاف پذیری مواجه می‌گردد، بنابراین کاهش نگهداری آب در بافت برگ مشاهده خواهد شد. یاداو و بوشان (Yadav and Bhushan, 2001) نتیجه گرفتند در زمان وقوع تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ کاهش یافته که به طور مستقیم با فشار تورگر و پتانسیل آبی گیاه در ارتباط است و بدین ترتیب ارتباط نزدیکی بین کاهش آب درون سلول و محتوای نسبی آب برگ و عملکرد وجود دارد. نتایج حاصله با نتایج بدست آمده توسط گوناسکرا و همکاران (Gunasekera et al., 2004) در گیاه کلزا مطابقت دارد.

درصد نشت الکترولیت‌ها: بر اساس تغییرات درصد نشت الکترولیت‌ها از سلول در شکل ۴ در تیمار قطع آبیاری از ساقه‌دهی واکنش ارقام GKH و Opera از نظر درصد نشت الکترولیت‌ها تقریباً مشابه بود و مقادیر آن در رطوبت وزنی خاک ۹/۶ درصد (۱۵۲ روز پس از سبز شدن) به‌ترتیب ۳۲ و ۳۰ درصد بود، درحالی‌که رقم Okapi در شرایط ذکر شده بیشترین نشت الکترولیت‌ها را به میزان ۶۷ درصد داشت (شکل ۴). در تیمار قطع آبیاری از گل‌دهی و خورجین‌دهی نیز شیب افزایش درصد نشت الکترولیت‌ها در رقم GKH کمتر از دو رقم دیگر بود، درحالی‌که در رقم Okapi درصد نشت الکترولیت‌ها از شیب و سرعت بیشتری برخوردار بود (شکل ۴). در این زمینه رشتبری و همکاران (Rashrbari et al., 2012) گزارش کردند که تنش کم‌آبی (قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی) در ارقام کلزا سبب افزایش معنی‌دار درصد نشت الکترولیت‌ها در مقایسه با تیمار شاهد شد ولی واکنش ارقام از این حیث کاملاً متفاوت بود. نتایج حاضر نشان داد که به طور کلی در ارقام مورد بررسی، رقم GKH درصد نشت الکترولیت کمتر و در نتیجه پایداری غشاء سلولی بیشتری نسبت به رقم Okapi و Opera از خود نشان داد. در شرایط تنش کم‌آبی به واسطه تولید گونه‌های فعال اکسیژن و خسارت آن‌ها به غشاء سلولی، میزان نشت الکترولیت از سلول افزایش می‌یابد (Rashidi et al., 2012). احتمالاً در این آزمایش اختلاف ارقام از نظر نشت الکترولیت‌ها می‌تواند به واسطه مختلف بودن شدت تنش اکسیداتیو و میزان فعالیت مواد آنتی اکسیدانت در سه رقم کلزای مورد بررسی باشد.

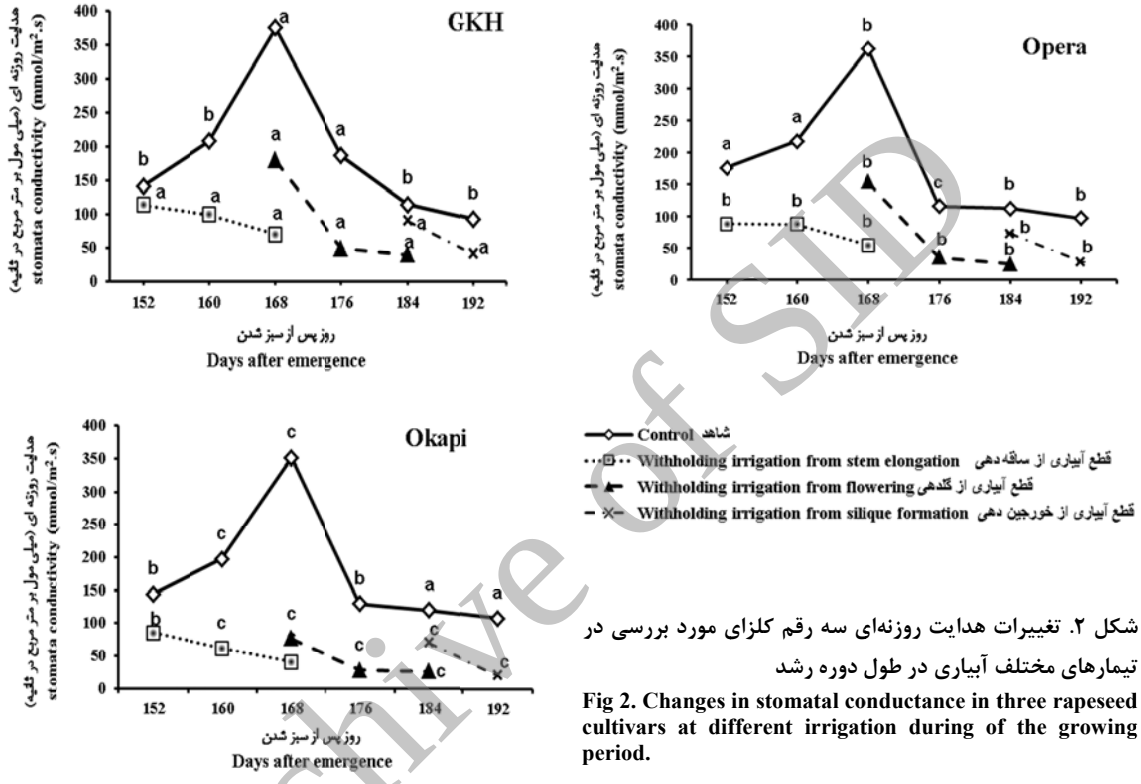
کلروفیل کل: تغییرات عدد دستگاه کلروفیل‌متر دستی که نشان‌دهنده میزان کلروفیل کل در واحد سطح برگ است در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که به‌واسطه تخلیه سریع رطوبتی خاک در تیمارهای قطع آبیاری در مقایسه با تیمار شاهد، مقادیر عددی دستگاه کلروفیل‌متر دستی در هر سه رقم براساس تعداد روز پس از اعمال قطع آبیاری در مراحل نموی روند افزایشی داشت، اما شیب صعودی در هر سه رقم کاملاً متفاوت بود (شکل ۵). در شرایط کمبود رطوبت خاک، محتوای کلروفیل گیاه می‌تواند به منظور حفاظت در برابر خسارت نوری[1] افزایش یابد (Khan et al., 2010). افزایش در محتوای کلروفیل (شاخص SPAD) در محیط‌های خشک اغلب مشاهده شده است که از آن جمله می‌توان به گزارش سینگ و همکاران (Singh et al., 2002) در گونه‌های *Brassica* اشاره کرد. در این بررسی در رقم Okapi با اعمال تیمارهای قطع آبیاری روند افزایشی مقادیر قرائت شده دستگاه کلروفیل‌متر دستی بسیار بیشتر از دو رقم دیگر بود (شکل ۵). با توجه به سطوح مختلف تیمارهای تنش خشکی، در ارقام مورد بررسی بیشترین عدد قرائت شده دستگاه کلروفیل‌متر در تیمار قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی به میزان ۵۹/۷ در رقم Okapi و در رطوبت وزنی خاک ۲٪ (۱۶۸ روز پس از سبز شدن) مشاهده شد (شکل ۵). این در حالی است که رقم GKH در واکنش به تیمارهای قطع آبیاری پایداری بیشتری از نظر این صفت در مقایسه با دو رقم دیگر نشان داد (شکل ۵). چنین به نظر می‌رسد که احتمالاً تنش خشکی در رقم GKH به دلیل عدم تأثیر بر کاهش سطح برگ، سبب افزایش عدد کلروفیل‌متر دستی نشده است درحالی‌که در رقم Okapi افزایش عدد کلرفیل‌متر در تیمارهای قطع آبیاری مشاهده گردید (شکل ۵). این تغییرات احتمالاً می‌تواند به این دلیل باشد که در شرایط تنش خشکی، با کاهش محتوای نسبی آب برگ و کاهش فشار تورگر میزان سطح برگ در رقم Okapi کاهش و نسبت کلروفیل در واحد سطح برگ افزایش یافته است اما در رقم GKH و تا حدودی رقم Opera با حفظ محتوای نسبی آب برگ، کاهش سطح

1- Photo damage

Archive of SID

www.SID.ir

برگ زیادی رخ نداده و بنابراین میزان کلروفیل در واحد سطح برگ کاهش یافته است (شکل ۳ و ۵). دلخوش و همکاران (Delkhosh et al., 2005) نیز تأثیر تنش خشکی بر مقدار کلروفیل ارقام کلزا را بررسی کرده و نتیجه گرفتند که تنش کمبود آب در برخی ارقام باعث کاهش سطح برگ شده و میزان کلروفیل در واحد سطح برگ را افزایش داده است.



شکل ۲. تغییرات هدایت روزنه‌ای سه رقم کلزای مورد بررسی در تیمارهای مختلف آبیاری در طول دوره رشد

Fig 2. Changes in stomatal conductance in three rapeseed cultivars at different irrigation during of the growing period.

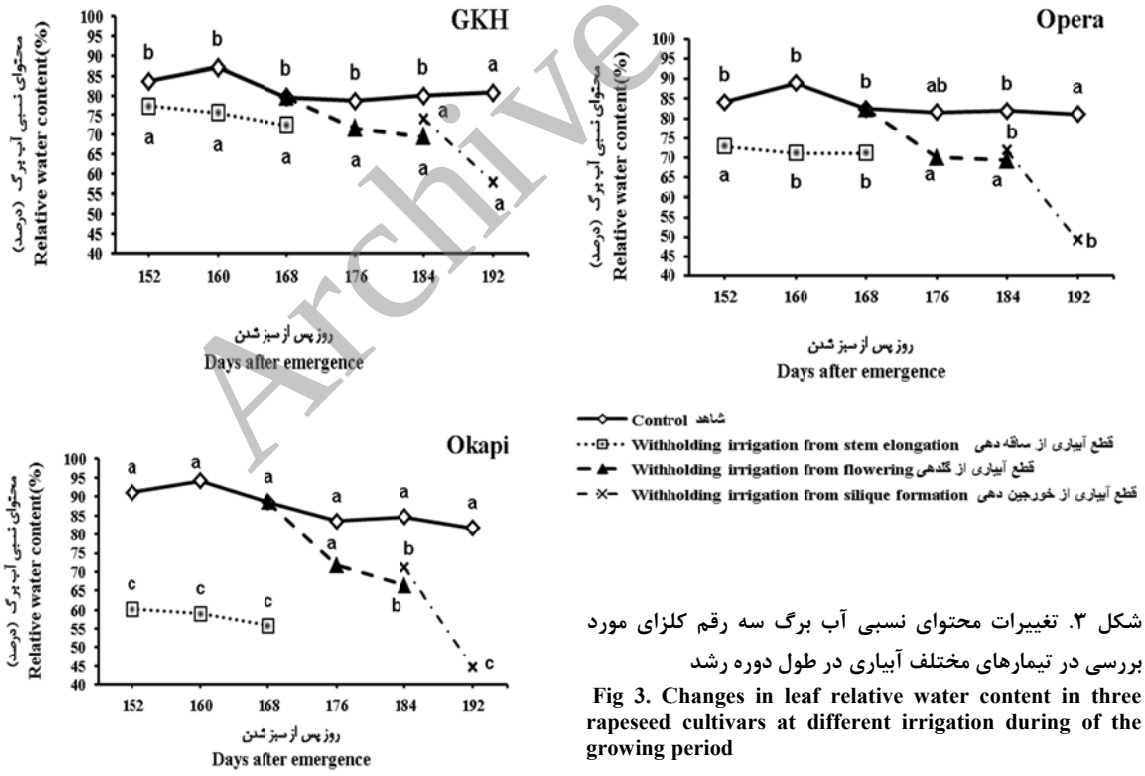
وزن خشک اندام هوایی

روند تغییرات وزن خشک اندام هوایی در سه رقم کلزای مورد مطالعه در شکل ۶ آورده شده است. همان‌گونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود در شرایط آبیاری مطلوب روند تجمع ماده خشک کل گیاه با شیب زیادی افزایش یافته ولی در مراحل آخر (۱۷۶ روز پس از سبز شدن و رطوبت وزنی خاک ۱۶/۷ درصد) این روند ثابت می‌گردد. نتایج آزمایش‌های فرجی (Faraji, 2009) نیز نشان داده است که در گیاه کلزا پس از بیشترین تجمع ماده خشک در مرحله گل‌دهی، به دلیل تخصیص و انتقال مواد ذخیره شده در برگ‌ها و ساقه به اندام زایشی، روند تجمع ماده خشک کاهش می‌یابد. بررسی روند تجمع ماده خشک کل در تیمارهای تنش خشکی نیز نشان داد که تجمع ماده خشک پس از قطع آبیاری روندی نزولی داشته و در مراحل پایانی رشد افت محسوسی کرده است (شکل ۶). با مقایسه روند تجمع ماده خشک ارقام در تیمارهای قطع آبیاری در مقایسه با تیمار شاهد مشخص می‌شود که با اعمال قطع آبیاری از مراحل ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی، تجمع ماده خشک در ارقام مورد مطالعه به طور چشمگیری کاهش یافت اما تفاوت محسوسی نیز از نظر واکنش و حساسیت به تنش خشکی در مراحل مختلف نموی در ارقام GKH، Opera و Okapi وجود

Archive of SID

www.SID.ir

داشت (شکل ۶). به طوری‌که وزن خشک تولید شده در ۱۶۸ روز پس از سبز شدن در ارقام GKH، Opera و Okapi به‌ترتیب از ۲۲/۹، ۱۵/۱ و ۲۰/۲ گرم در تیمار شاهد به ۱۴/۰، ۸/۴ و ۷/۲ گرم در تیمار قطع آبیاری از ساقه‌دهی (با رطوبت وزنی خاک دو درصد) تقلیل یافت. همچنین در تیمار قطع آبیاری از گل‌دهی (با رطوبت وزنی خاک ۴/۱ درصد)، وزن خشک تولید شده در ۱۸۴ روز پس از سبز شدن در ارقام GKH، Opera و Okapi به‌ترتیب از ۲۴/۲، ۱۹/۶ و ۲۷/۷ گرم در تیمار شاهد به ۱۳/۶، ۹/۰ و ۶/۶ گرم کاهش یافت. براین اساس در ارقام GKH و Opera در مقایسه با رقم Okapi شیب کاهش تولید ماده خشک در تیمارهای قطع آبیاری بسیار ملایم‌تر بود که نشان‌دهنده کارایی بالاتر دو رقم مذکور در تولید آسیمیلات‌ها و تبدیل آن به ماده خشک در شرایط تنش خشکی بوده است. همچنین به نظر می‌رسد که تنش خشکی در رقم GKH و تا حدودی رقم Opera به دلیل تأثیرگذاری کمتر بر کاهش سطح برگ سبب افزایش چشمگیر عدد کلروفیل‌متر دستی نشده است و به همین واسطه تولید آسیمیلات‌ها و تبدیل آن به ماده خشک در دو رقم مذکور در شرایط تنش خشکی بالاتر بود. افزایش در ماده خشک گیاه به طور اساسی بوسیله روزنه‌ها کنترل می‌شود (Mujdeci et al., 2011). در بررسی حاضر نیز رقم GKH با برخورداری از بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای در تیمارهای آبیاری، تجمع ماده خشک بیشتری در مقایسه با دو رقم دیگر داشت (شکل ۲ و ۶). برخورداری از هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ بالاتر و احتمالاً تأثیرپذیری کمتر سطح برگ (با توجه به عدد کلروفیل‌متر دستی)در شرایط تنش خشکی می‌تواند مهم‌ترین دلایل بالاتر بودن تولید آسیمیلات‌ها و وزن خشک تولید شده در ارقام GKH و Opera در مقایسه با رقم Okapi باشد.

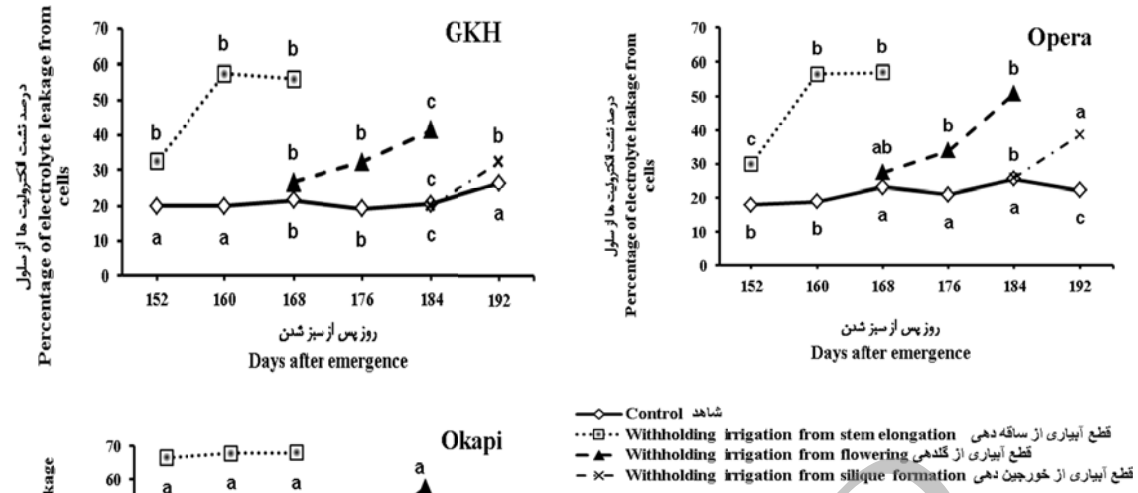


شکل ۳. تغییرات محتوای نسبی آب برگ سه رقم کلزای مورد بررسی در تیمارهای مختلف آبیاری در طول دوره رشد

Fig 3. Changes in leaf relative water content in three rapeseed cultivars at different irrigation during of the growing period

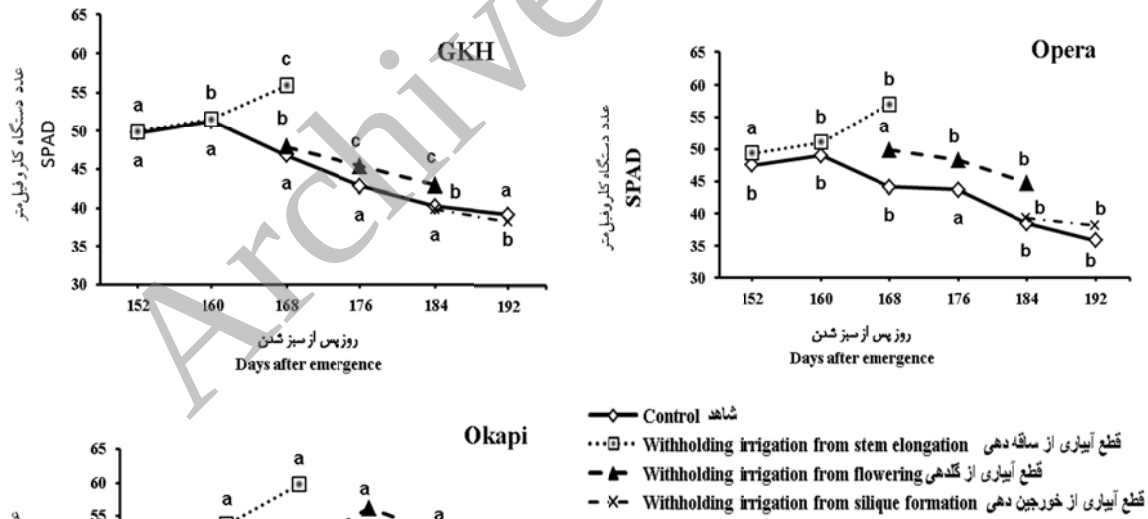
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۴. تغییرات میزان نشت الکترولیت‌ها از سلول سه رقم کلزای مورد بررسی در تیمارهای مختلف آبیاری در طول دوره رشد

Fig 4. Changes in electrolyte leakage from cells in three rapeseed cultivars at different irrigation during of the growing period.

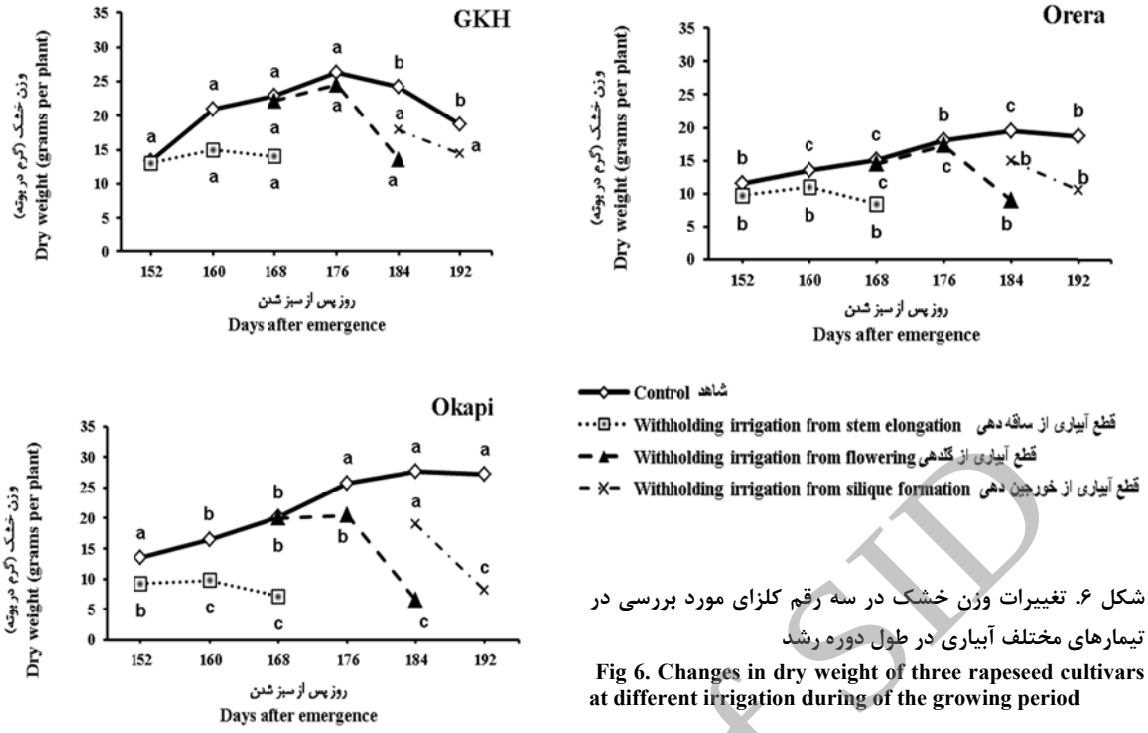


شکل ۵. تغییرات قرائت عدد دستگاه کلروفیل‌متر دستی در سه رقم کلزای مورد بررسی در تیمارهای مختلف آبیاری در طول دوره رشد

Fig 5. Changes of SPAD value in the three rapeseed cultivars at different irrigation during of the growing period.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۶. تغییرات وزن خشک در سه رقم کلزای مورد بررسی در تیمارهای مختلف آبیاری در طول دوره رشد

Fig 6. Changes in dry weight of three rapeseed cultivars at different irrigation during of the growing period

عملکرد و اجزاء عملکرد

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عملکرد و اجزاء عملکرد نشان داد که اثر قطع آبیاری و رقم بر عملکرد دانه و اجزاء عملکرد در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). همچنین اثر متقابل قطع آبیاری(تنش) × رقم نیز بر اکثر صفات به جز وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد روغن معنی‌دار بود (جدول ۵).

قطع آبیاری از مراحل ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین-دهی تا پایان دوره رشد سبب کاهش زیاد عملکرد دانه، تعداد خورجین، تعداد دانه، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و عملکرد روغن شد. به‌طوری‌که در میان تیمارهای تنش خشکی، قطع آبیاری از ساقه‌دهی و خورجین‌دهی بیشترین و کمترین تأثیر منفی را بر عملکرد دانه و صفات وابسته به عملکرد به ترتیب داشتند (جدول ۶).

بررسی اثرات متقابل آبیاری × رقم نشان داد در تیمارهای قطع آبیاری از ساقه‌دهی و گل‌دهی رقم GKH نسبت به دو رقم دیگر برتری معنی‌داری داشت (جدول ۶). رقم GKH در تمامی تیمارهای آبیاری پتانسیل بسیار بالاتری در تولید تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی داشت که این برتری معنی‌دار در تیمار قطع آبیاری از ساقه‌دهی و گل‌دهی بسیار چمشگیر بود (جدول ۶). بالاتر بودن هدایت روزنه‌ای، پایداری بیشتر در محتوای نسبی آب برگ، ثبات بالاتر در پایداری غشای سلولی و عدد کلروفیل متر می‌تواند دلیلی در حفظ نسبت بالاتر بقای گل‌ها و خورجین‌های جوان نسبت به تعداد کل گل‌ها در تیمارهای قطع آبیاری بخصوص از مراحل ساقه‌دهی و گل‌دهی باشد.

در این آزمایش، بالاترین تعداد دانه در خورجین ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی در تیمار شاهد در ارقام GKH و Okapi مشاهده شد (به‌ترتیب ۲۷ و ۲۶/۳ دانه در خورجین ساقه اصلی و ۲۵/۲ و ۲۴/۸ دانه در خورجین شاخه‌های فرعی)، در تیمار قطع آبیاری از ساقه‌دهی تفاوت معنی‌داری در بین سه رقم کلزا وجود نداشت. زیرا در تیمار قطع آبیاری از ساقه‌دهی به دلیل شدت بالای تنش خشکی کاهش بسیار زیادی از نظر تعداد دانه در هر سه رقم مشاهده گردید. به

Archive of SID

www.SID.ir

همین دلیل ارقام از این نظر تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند که به دلیل شدت بالای تنش و مشابه بودن واکنش ارقام بوده است. اما در تیمار قطع آبیاری از گلدهی رقم GKH و در تیمار قطع آبیاری از خورجین‌دهی ارقام GKH و Okapi از نظر تعداد دانه در خورجین ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی برتر بودند (جدول ۷). ما و همکاران (Ma et al., 2006) نیز اظهار داشتند که تعداد دانه در خورجین گیاه کلزا در اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد. توحیدی مقدم و همکاران (Moghaddam and Pourdad, 2011) نیز کاهش محسوس تعداد دانه در خورجین را در شش رقم کلزا از ۲۷/۸ عدد در تیمار شاهد به ۲۳/۴ عدد در شرایط تنش کم‌آبی در مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی گزارش کرده‌اند. زاکیرولاه و همکاران (Zakirullah et al., 2000) نیز مشاهده کردند که در شرایط تنش رطوبتی تعداد خورجین در ساقه اصلی و تعداد دانه در خورجین لاین‌های کلزای حساس به خشکی کاهش شدیدی یافت، در حالی که در لاین‌های متحمل به خشکی کاهش یاد شده در سطح آماری معنی‌دار نبود.

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس صفات عملکرد و اجزاء عملکرد سه رقم کلزای مورد بررسی در تیمارهای مختلف آبیاری

Table 5. Analysis of variance for yield and yield components of rapeseed cultivars in three different irrigation treatments.

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات							
		تعداد خورجین در ساقه اصلی Number of silique per main stem	تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی Number of silique per lateral branches	تعداد دانه در خورجین ساقه اصلی Seed number in main stem	تعداد دانه در خورجین شاخه‌های فرعی Seed number in lateral branches	وزن هزار دانه 1000 Seed weight	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد روغن Oil yield
تکرار Replication	2	6.5 ns	187 ns	18.0**	5.7 ns	0.24 ns	155730**	0.3 ns	23351**
آبیاری Irrigation (I)	3	2195**	2239**	491**	552**	1.83**	5555591**	75.1**	1167253**
خطای الف Error (a)	6	32.6	106.2	4.3	4.5	0.07	16851	3.8	6493
رقم Cultivar (V)	2	436**	26296**	102**	48.3**	0.65**	1169298**	48.0**	196937**
اثر متقابل تنش در رقم Interaction I×V	6	148*	2919**	40.2**	11.8*	0.16 ns	26656 ns	5.33*	6307 ns
خطای ب Error (b)	16	35.3	191	1.5	4.2	0.12	15584	1.82	3296
ضریب تغییرات (درصد) Cv (%)		*10.0*	*9.7*	*6.5*	*12.9*	*11.9*	*6.7*	*6.2*	*7.1*

ns:غیر معنی‌دار، * و** به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار می‌باشند.

ns: Non-significant, *&** : significant at P < 0.05 and P < 0.01 level, respectively.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های صفات عملکرد و اجزاء عملکرد در تیمارهای آبیاری و ارقام کلزای مورد بررسی.

Table 6. Comparison of yield and yield components in irrigated treatments and cultivars of rapeseed.

تیمارها Treatments	تعداد خورجین در ساقه اصلی Number of silique per main stem	تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی Number of silique per lateral branches	تعداد دانه در خورجین ساقه اصلی Seed number in main stem	تعداد دانه در خورجین شاخه‌های فرعی Seed number in lateral branches	وزن هزار دانه 1000 Seed weight	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد روغن Oil yield
آبیاری **Irrigation**					(g)	(kg.h)	(%)	(kg.h)
شاهد **Normal**	^{a}76	^{a}196	^{a}25.5	^{a}23.5	^{a}3.53	^{a}2856	^{a}24.87	^{a}1266
قطع آبیاری از ساقه‌دهی **stem elongation**	^{d}42.5	^{d}78	^{c}9.7	^{d}6.3	^{b}2.86	^{d}1087	^{c}1838	^{d}455
قطع آبیاری از گل‌دهی **Withholding irrigation from flowering**	^{c}50.4	^{c}130	^{b}16.5	^{c}12.8	^{c}2.55	^{c}1396	^{b}20.67	^{c}600
قطع آبیاری از خورجین‌دهی **Withholding irrigation from silique formation**	^{b}68.9	^{b}162	^{a}24.3	^{b}20.9	^{bc}2.60	^{b}2078	^{a}23.43	^{b}915
LSD (۵%)	*6.5*	*11.8*	*2.3*	*2.4*	*0.31*	*149*	*2.27*	*92.9*
رقم **Cultivar**								
GKH	66.0^{a}	195^{a}	22.3^{a}	18.2^{a}	2.9^{ab}	2211^{a}	24.1^{a}	956^{a}
Opera	57.9^{b}	119^{b}	16.8^{c}	14.3^{b}	3.1^{a}	1719^{b}	21.1^{b}	749^{b}
Okapi	54.2^{b}	109^{b}	17.9^{b}	15.2^{b}	2.6^{b}	1632^{b}	20.3^{b}	722^{b}
LSD (%5)	*5.1*	*11.9*	*1.07*	*1.78*	*0.299*	*108.04*	*1.16*	*49.6*

اعداد هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند

For a given means within each column of each section followed by some letter not significant different ($p< 0.05$).

نتایج مقایسه میانگین‌ها در جدول ۷ نشان می‌دهد که قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی در مقایسه با سایر تیمارهای تنش خشکی مخرب‌ترین اثر را بر تولید دانه در خورجین ارقام کلزا گذاشته است، به طوری‌که تعداد دانه در خورجین ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی در رقم GKH به‌ترتیب از ۲۷ و ۲۵/۲ عدد در تیمار شاهد به ۱۱ و ۷ عدد و در رقم Okapi از ۲۶/۳ و ۲۴/۸ عدد در تیمار شاهد به ۸ و ۴/۳ عدد در تیمار قطع آبیاری از ساقه‌دهی تقلیل یافت. براین اساس توانایی ارقام کلزا در تشکیل دانه در خورجین متفاوت بوده و تعداد دانه در خورجین تحت تأثیر عوامل ژنتیکی نیز قرار داشته است. علاوه بر موارد مذکور، نتایج نشان داد که در سطوح مختلف قطع آبیاری، رقم Opera در مقایسه با دیگر ارقام برتری قابل توجهی از نظر تولید دانه داشت که می‌تواند مرتبط با هدایت روزنه‌ای بالا، طول ریشه زیاد و در نتیجه توانایی گیاه در جذب بیشتر آب و حفظ آماس سلولی در شرایط تنش کم‌آبی باشد. همچنین توانایی سه رقم کلزای مورد بررسی در تنظیم روابط آبی، حفظ پایداری غشای سلولی و سبزینگی کل برگ (عدد دستگاه کلروفیل-متر دستی) در واکنش به تیمارهای قطع آبیاری کاملاً متفاوت بود که می‌تواند عامل اصلی اختلاف بین سه رقم در زمینه اجزای عملکرد باشد (شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵). به نظر می‌رسد رقم GKH با برخورداری از بیشترین محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، و کمترین مقادیر نشت الکترولیت‌ها از سلول و عدد SPAD در حفظ و تولید مطلوب اجزای عملکرد در شرایط تنش خشکی برتری معنی‌داری در مقایسه با دو رقم دیگر داشت.

در مطالعه حاضر، در کلیه تیمارهای آبیاری رقم GKH بالاترین عملکرد دانه را تولید نمود (جدول ۷). عملکرد دانه

Archive of SID

www.SID.ir

رقم GKH در تیمارهای قطع آبیاری از ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب ۵۳، ۴۳ و ۱۹ درصد کاهش یافت، درحالی‌که در رقم Opera این مقادیر به‌ترتیب برابر با ۶۴، ۵۳ و ۲۶ درصد بود (جدول ۷). همچنین در رقم Okapi درصد کاهش عملکرد در تیمارهای قطع آبیاری از ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب برابر با ۷۱، ۵۸ و ۳۷ درصد بود (جدول ۶). ثبات عملکرد بالاتر در رقم GKH در تیمارهای قطع آبیاری، احتمالاً ارتباط زیادی با تنظیم بهتر روابط آبی و پایداری بیشتر در حفظ غشای سلولی داشته است و از این طریق با تولید بیشترین تعداد خورجین و تعداد دانه در خورجین، عملکرد دانه بالاتری تولید شده است.

جدول ۷. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش× رقم بر برخی صفات مورد مطالعه به روش برش‌دهی

Table 7. Comparison of interaction effect between stress × cultivars on some characteristics studied by slicing methods.

آبیاری Irrigation	ارقام Cultivars	تعداد خورجین در ساقه اصلی Number of silique per main stem	تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی Number of silique per lateral branches	تعداد دانه در خورجین ساقه اصلی Seed number in main stem	تعداد دانه در خورجین شاخه‌های فرعی Seed number in lateral branches	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.h)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
شاهد Control	GKH2005	77[a*]	222[a]	27.0[a]	25.2[a]	3110[a]	25.36[a]
	Opera	80a[**]	170[b]	23.5[b]	20.6[b]	2679[b]	24.65[a]
	Okapi	71[a]	204[a]	26.3[a]	24.8[a]	2778[b]	24.61[a]
	LSD (%5)	*14.7*	*31.2*	*2.3*	*3.58*	*241*	*3.01*
قطع آبیاری از ساقه‌دهی Withholding irrigation from stem elongation	GKH2005	48.6[a]	148.3[a]	11.0[a]	7.0[a]	1450[a]	21.87[a]
	Opera	45.5[a]	78.3[b]	10.1[a]	7.7[a]	978[b]	16.80[b]
	Okapi	33.3[b]	8.6[c]	8.0[a]	4.3[a]	832[b]	16.48[b]
	LSD (%5)	*8.9*	*12.6*	*3.2*	*4.7*	*227*	*1.37*
قطع آبیاری از گل-دهی Withholding irrigation from flowering	GKH2005	65.0[a]	198.3[a]	25.4[a]	16.1	1773[a]	24.20[a]
	Opera	45.0[b]	102.3[b]	12.6[b]	10.8[b]	1246[b]	19.49[b]
	Okapi	41.1[b]	89.0[b]	11.5[b]	11.5[b]	1168[b]	18.33[b]
	LSD (%5)	*15.4*	*50.1*	*3.6*	*3.9*	*134*	*4.14*
قطع آبیاری از خورجین‌دهی Withholding irrigation from silique formation	GKH2005	73.6[a]	212.0[a]	25.9[a]	24.3a	2510[a]	25.02[a]
	Opera	61.3[a]	126.0[b]	20.8[b]	18.1[b]	1973[b]	23.32[ab]
	Okapi	71.6[a]	137.0[b]	26.0[a]	20.2[ab]	1750[b]	2194[b]
	LSD (%5)	*13.8*	*16.8*	*1.5*	*6.1*	*438*	*3.05*

* مقایسه میانگین ارقام در هر سطح آبیاری به‌طور جداگانه و مستقل انجام شده است (برش‌دهی اثر متقابل).

** اعداد هر ستون برای هر سطح آبیاری که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

The comparison of mean for cultivars in each irrigation levels was done separately and independently. (Slicing of interaction effect)

** For a given means within each column of each irrigation level followed by some letter not significant different ($p< 0.05$).

Archive of SID

www.SID.ir

ضرایب همبستگی ساده بین عملکرد و اجزاء عملکرد در جدول ۸ ارائه شده است. در میان اجزاء عملکرد، تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی و تعداد خورجین در ساقه اصلی بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با عملکرد دانه داشت (جدول ۸). در این آزمایش تعداد دانه در خورجین شاخه‌های فرعی و ساقه اصلی نیز از همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه برخوردار بود (به ترتیب r=۰/۷۴ و r=۰/۶۸). وگا و همکاران (Vega et al., 2001) در این زمینه گزارش کردند که تعداد دانه از جمله مهمترین اجزای عملکرد در دانه‌های روغنی می‌باشد. در بین اجزاء عملکرد وزن هزار دانه از کمترین همبستگی (r=۰/۴۰) با عملکرد دانه برخوردار بود که با نتایج انگادی و همکاران (Angadi et al., 2003) مطابقت داشت. همچنین بالاترین میزان همبستگی بین عملکرد دانه با عملکرد روغن وجود داشت که می‌تواند ناشی از تأثیرپذیری بسیار بالای عملکرد روغن از عملکرد دانه باشد (جدول ۸).

جدول ۸. ضرایب همبستگی موجود بین صفات مورد بررسی.

Table 8. Correlation coefficients between traits under this study.

صفات Traits	1 تعداد خورجین در ساقه اصلی Number of silique per main stem	2 تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی Number of silique per lateral branches	3 تعداد دانه در خورجین ساقه اصلی Seed number in main stem	4 تعداد دانه در خورجین شاخه‌های فرعی Seed number in lateral branches	5 وزن هزار دانه 1000 seed weight	6 عملکرد دانه Seed yield	7 شاخص برداشت Harvest index	8 عملکرد روغن Oil yield
1	1							
2	0.62**	1						
3	0.65**	0.80**	1					
4	0.64**	0.78**	0.89**	1				
5	0.48**	0.44**	0.40*	0.43**	1			
6	0.76**	0.80**	0.68**	0.74**	0.40*	1		
7	0.39*	0.71**	0.49**	0.48**	0.55**	0.69**	1	
8	0.85**	0.82**	0.84**	0.90**	0.53**	0.99**	0.82**	1

* و** به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار می‌باشند.

*** &** Five and one percent levels, respectively, are significant.**

نتایج کلی این آزمایش نشان داد که در تیمار شاهد و کلیه تیمارهای قطع آبیاری، رقم GKH به دلیل برخورداری از کمترین درصد نشت الکترولیت‌ها، هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ بالا، بیشترین تعداد خورجین در ساقه اصلی و بخصوص در مجموع شاخه‌های فرعی، تعداد دانه در خورجین زیاد و وزن هزار دانه بالا، بیشترین عملکرد دانه را در تیمارهای آبیاری شاهد، قطع آبیاری از ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی به‌ترتیب به میزان ۳۱۱۰، ۱۴۵۰، ۱۷۷۳ و ۲۵۱۰ کیلوگرم در هکتار را تولید نمود. این درحالی بود که رقم Okapi به‌واسطه افزایش چشمگیر میزان نشت الکترولیت‌ها و کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای و آب نسبی برگ، کمترین تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد دانه را در شرایط تنش خشکی (تیمارهای قطع آبیاری) تولید کرد. بر اساس نتایج حاصله در این بررسی به عنوان یک توصیه فنی پیشنهاد می‌گردد که با تنظیم تاریخ کاشت در منطقه مورد نظر، مرحله گلدهی گیاه کلزا با زمان وقوع بارندگی مؤثر بهاره همزمان گردد تا چنانچه گیاه در مرحله خورجین‌دهی با

Archive of SID

www.SID.ir

قطع بارندگی‌ها و یا محدودیت در آبیاری مواجه گردید بتواند عملکرد مطلوبی را از خود نشان داده تا بتوان حتی در مناطقی که با محدودیت آب مواجه نیستند آبیاری در مرحله خورجین‌دهی قطع گردد تا از این آب با ارزش برای کشت گیاهان تابستانه استفاده کرد. همچنین از آنجایی که در این پژوهش قطع آبیاری از مراحل ساقه‌دهی و خورجین-دهی به بعد، به ترتیب بیشترین و کمترین خسارت را به عملکرد و اجزای عملکرد وارد کرد، بنابراین بایستی در زراعت کلزا دقت بیشتری در آبیاری از مرحله ساقه‌دهی تا خورجین‌دهی داشت چراکه به نظر می‌رسد اهمیت آبیاری در فاصله بین این مراحل تأثیر بیشتری در عملکرد نهایی خواهد گذاشت.

منابع

Angadi, S.V., Cutforth, H.W., Mc Conkey, B.G., Gan, Y., 2003. Yield adjustment by canola grown at different plant populations under semiarid conditions. Crop Science. 43, 1358-1366.

Blum, A., Zhang, J.X., Nguyen, H.T., 1999. Consistent differences among wheat cultivars in osmotic adjustment and their relationship to plant production. Field Crops Research. 64, 287-291.

Chaves, M., Pereira, M., Maroco, J.S., Rodrigues, J., Ricardo, M.L., Osorio, C.P.P., Carvalho, M.L., Pinheiro, T.C., 2002. How plant scope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. Annals of Botany. 89, 907-916.

Daneshmand, A.R., Shirani Rad, A.H., Ardakani, M.R., 2006. Evaluation of water deficit stress on tolerance of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. Agronomy Research. 1 (1), 48-60. [In Persian with English Summary].

Delkhosh, B., Shirani Rad, A.H., Noor-Mohammadi, Gh., Darvish, F., 2005. Study of drought stress effects on yield and some agronomic and physiological characteristic in rapeseed. Journal of Agricultural Science. 11(2), 165-176. [In Persian with English Summary].

FAO. 2013. Foodoutlook. Global Market Analysis.http://www.fao.foodoutlook.com.

Faraji, A., 2009. Estimating of planting and supplemental irrigation on dry matter distribution in canola cultivars (*Brassica napus* L.). Journal of Crop Breeding. 1(1), 29-42.

Farooq, S.H., Azam, F., 2006. The use of cell membrane stability (CMS) technique to screen for salt tolerant wheat varieties. Journal of Plant Physiology. 163, 629-637.

Gunasekera, C.P., Martin, L.D., French, R.J., Siddique, K.H.M., 2004. Response of mustard and canola genotypes to soil moisture stress during the post-flowering period. Regional Institute, pp, 1-5.

Gholamhoseini, M., Aghaalikhani, M., Khodaei-Joghan, A., Zakikhani, H., Dolatabadian, A., 2012. How zeolite controls nitrate leaching and modifies canola grain yield and quality. International Journal of Agriculture: Research and Review. 1(4), 113-126.

Ghobadi, M., Bakhshandeh, M., Farhi G., Gharineh, M.H., 2006. Short and long period of water stress during different growth stage of canola (*Brassica naps* L.) effect on yield components, seed oil and protein contents. Journal of Agronomy. 5(2), 336-341.

Hossain, S. 2010. Combining physiology and molecular biology to improve drought performance of canola (*Brassica napus*) PhD Thesis, School of Land, Crop and Food Sciences, The University of Queensland.

Jiang, Y and B. Huang. 2001. Osmotic adjustment and root growth associated with drought preconditioning- enhanced heat tolerance in Kentucky bluegrass. Crop Science. 41, 1168-1173.

Khan, M. A., Ashraf, M.Y., Mujtaba, S.M., Shirazi, M.U., Khan, M.A., Shereen, A., Mumtaz, S., Siddiqui, M.A., Kaler, G.M., 2010. Evaluation of high yielding canola type *brassica* Genotypes/ mutants for drought tolerance using Physiological indices as screening tool. Pakistan Journal of Botany. 42(6), 3807-3816.

Archive of SID

www.SID.ir

Ma, Q., Niknam, S.R., Turner, D.W., 2006. Responses of osmotic adjustment and seed yield of *Brassica napus* and *B. juncea* to soil water deficit at different growth stages. Australian Journal of Agricultural Research. 57(2), 221-226.

Mailer, P., D. Baltensperger, G. Clayton, A. Johnson, G. Lafond, B. McConkey, B. Schatz and J. Starica. 2002. Pulse crop adaptation and impact across the Northern Great Plains. Journal of Agricultural Science. 94, 261-272.

Moghaddam, M.J., Pourdad, S.S., 2011. Genotype × environment interactions and simultaneous selection for high oil yield and stability in rainfed warm areas rapeseed (*Brassica napus* L.) from Iran. Euphytica. 180, 321–335.

Mondal, S.K., Khajuria, M.R., 2000. Genetic analysis for yield attributes in mustard. Environmental Ecology. 18, 1-5.

Moradshahi, A., SalehiEskandari, B., Kholdebarin, B., 2004. Some physiological responses of canola (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Science and Technology. 28, 43-50.

Mujdeci, M., Senol, H., Cakmakci, T., Celikok, P., 2011. The effects of different soil water matric suctions on stomatal resistance. Journal of Food, Agriculture and Environment. 9 (3&4), 1027-1029.

Nakayama, N., H. Saneoka, R.E.A. Moghaieb, G.S. Premachandra, K. Fujita. 2007. Response of growth, photosynthetic gas exchange, translocation of 13C-labelled photosynthate and N accumulation in two soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars to drought stress. International Journal of Agriculture and Biology. 9, 669-674.

Nasri, M., Heidari Sharif Abad, H., Shirani Rad, A.H., Majidi Hervan, E., Zamanizadeh, H.R., 2006. Performance of the effect water stress on physiological characters of rapeseed cultivars. Journal of Agricultural Science. 12, 127-134.

Rashtbari, M., Alikhani, H.A., Ghorchiani, M., 2012. Effect of vermicompost and municipal solid waste compost on growth and yield of canola under drought stress conditions. International Journal of Agriculture: Research and Review.2 (4), 395-402.

Rashidi, S., A.H. Shirani Rad, A. Ayene Band, F. Javidfar and S. Lak. 2012. Study of relationship between drought stress tolerances with some physiological parameters in canola genotypes (*B. napus* L.). Annals of Biological Research. 3 (1), 564-569.

Shikh, F., Toorchi, M., Valizade, M., Shakiba, M.R., Pasban Islam, B., 2005. Drough resistance evaluation in spring rapeseed cultivars. Agricultural Science. 15(1), 163-174.

Sinaki, J.M., Majidi Heravan, E., Shirani Rad, A.H., Noor-mohammadi, Gh., Zarei, G., 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*B. napus* L.). American-Eurasian Journal of Agricultural. 2(4), 417-422.

Singh, M.P., Pandey, U.N., Lal, R.K., Chaturvedi, G.S., 2002. Response of *Brassica* species to different irrigation regimes. Indian Journal of Plant Physiology. 1(7), 66-69.

Tohidi-Moghaddam, H.R., Zahedi, H., Ghooshchi, F., 2011. Oil quality of canola cultivars in response to water stress and super absorbent polymer application. Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics). 41(4), 579-586. [In Persian with English Summary].

Vega, C.R.C., Andrade, F.H., Sadras, V.O., Uhart, S.A., Valentinuz, O.R., 2001. Seed Number as a Function of Growth. A Comparative Study in Soybean, Sunflower, and Maize. Crop Science. 41, 748-754.

Wang,Y., Ying, J., Kuzma, M., Chalifou, M., Sample, A., McArthur, C., Uchacz, T., Sarvas, C., Wan, J., Dennis, D.T., McCourt, P., Huang, Y., 2005. Molecular tailoring of farnesylation for plant drought tolerance and yield protection. Plant Journal. 43, 413–424.

Yadav, R.S., Bhushan, C., 2001. Effect of moisture stress on growth and yield in rice genotypes. Indian Journal Agricultural Research. 2, 104-107.

Zakirullah, Z., Swati, Z.A., Ahamd, A., Raziuddin, R., 2000. Morpho-physiological response of selected brassica line to moisture stress. Pakistan Journal of Biological Science. 3 (1), 130-132.

Archive of SID

www.SID.ir