مجله تنش های محیطی در علوم زراعی
جلد سوم، شماره دوم، نیمه دوم ۸۹
۱۳۸-۱۲۹

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences

اثر سایکوسل بر میزان پرولین، قندهای محلول، پروتئین، درصد روغن و اسیدهای چرب کتان روغنی تحت تنش خشکی در شرایط کشت گلدانی

محسن موحدی دهنوی[۱]*، مسعود رنجبر[۲]، علیرضا یدوی[۳]، بیژن کاووسی[۴]

۱و ۳. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، یاسوج ؛ ۲. دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه یاسوج؛
۴. عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی، یاسوج

تاریخ دریافت: ۹۰/۴/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۹/۳۰

چکیده

به منظور بررسی اثر تنظیم کننده‌ی رشد گیاهی سایکوسل بر میزان پرولین، قندهای محلول، پروتئین، درصد روغن و اسیدهای چرب کتان روغنی تحت تنش خشکی، آزمایشی در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشگاه یاسوج در بهار سال ۱۳۸۹ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. عوامل آزمایش شامل تنش خشکی در ۳ سطح بدون تنش، تنش ملایم و شدید و تنظیم‌کننده‌ی رشد سایکوسل در ۶ غلظت شامل ۴ سطح محلول پاشی صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر در هنگام رشد سریع بوته (مرحله ۳-۴ برگی) و دو سطح بذرمال 10^{-5} و 10^{-6} میلی‌مولار به مدت ۲۴ ساعت قبل از کاشت بودند. نتایج نشان داد هر سه سطح محلول‌پاشی حاوی سایکوسل در شرایط بدون تنش، موجب افزایش پرولین و قندهای محلول کتان روغنی نسبت به شاهد گردید. تنش توانست پروتئین دانه را افزایش معنی‌داری دهد و سطح بذرمال 10^{-6} میلی‌مولار سایکوسل در شرایط تنش افزایش پروتئین (۲۰٪) را در پی داشت. با افزایش غلظت در سطوح محلول‌پاشی، کاهش درصد روغن از ۳۹/۲ به ۳۵/۷ درصد را در پی داشت و تنش نیز این صفت را کاهش داد. در تیمار بدون تنش، سطح بذرمال 10^{-6} میلی‌مولار سایکوسل توانست اثر مثبت معنی‌داری در میزان اسید چرب لینولنیک ایجاد کند؛ صفت اسید لینولئیک، با افزایش سطح محلول‌پاشی از صفر به بالا، کاهش معنی‌داری نشان داد (۱۵٪). همچنین تنش خشکی سبب افزایش اسیدهای چرب اشباع اولئیک، پالمتیک و استئاریک شد. در نهایت سایکوسل توانست آسیب‌های ناشی از تنش خشکی را تا حدودی جبران نماید.

***واژه‌های کلیدی*: اولئیک اسید، بذرمال، لینولئیک اسید، لینولنیک اسید، محلول‌پاشی**

مقدمه

خشکی پدیده‌ای نسبی است که به عنوان عدم عرضه رطوبت کافی، چه از طریق بارندگی و چه از طریق ذخیره آب، که برای رشد مطلوب گیاه ضروری است، بیان می‌گردد و مهمترین تنش غیر زیستی است که نقش مهمی در کاهش تولید گیاهان زراعی در جهان دارد. تحت تنش خشکی جذب مواد غذایی از طریق ریشه، به دلیل کاهش حجم آب خاک و همچنین کاهش توزیع عناصر غذایی در بافت خاک کاهش می‌یابد؛ علاوه بر این انتقال مواد غذایی از ریشه‌ها به شاخه کاهش می‌یابد (Hu et al., 2007). کتان روغنی *(Linum ussitatissimum)* یکی از گیاهان روغنی-دارویی مهم می‌باشد که کاربردهای صنعتی و دارویی فراوانی دارد. دانه‌های کتان روغنی به عنوان منبع امگا۳، اسیدهای چرب، اسید لینولئیک آلفا و مواد فیبری به مواد غذایی افزوده می‌شود. مقدار روغن دانه‌ها بین ۵۰ -۳۰ درصد می‌باشد که ۷۰-۵۴ درصد روغن را اسید لینولئیک تشکیل می‌دهد و به همین علت روغن کتان سریع خشک شده و در صنایع رنگ‌سازی کاربرد دارد. سایر اسیدهای چرب شامل اسید لینولنیک به میزان ۱۷-۱۵ درصد، اسید اولئیک ۲۱-۱۲٪ ، اسید پالمتیک ۵-۳ درصد و اسید استئاریک ۴-۲ درصد می‌باشد (Irannejad, 2007). کتان روغنی در سطح وسیعی در کشورهای کانادا، چین، هندوستان، آمریکا، اتیوپی، بنگلادش، روسیه، اوکراین، فرانسه و آرژانتین کشت می‌گردد. کتان روغنی به همراه گندم و جو از قدیمی‌ترین گیاهان جهان است که به‌طور وحشی در آسیای غربی رشد می‌کرده است و بومی ایران می‌باشد.

نگارنده پاسخگو: محسن موحدی دهنوی. آدرس: یاسوج- دانشگاه یاسوج- دانشکده کشاورزی- گروه زراعت و اصلاح نباتات.
پست الکترونیک: movahhedi1354@mail.yu.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

دانه‌های آن محتوی اسید چرب غیراشباع بوده که در تغذیه انسان مهم می‌باشد. میزان اسید لینولنیک آلفا در روغن کتان از سایر گیاهان روغنی بیشتر است. تناسب امگا۳ به امگا۶ در این اسید چرب ۱:۴ است؛ در حالی‌که در گلرنگ و سویا ۱:۱۰ می‌باشد. اهمیت این نسبت به این است که بهم خوردن این تعادل در انسان سبب تولید زیاد هورمون پروستاگلاندین می‌شود که این هورمون باعث امراض شدید سرطانی، قلبی، تنفسی می‌گردد (Omidbeygi, 2000).

امروزه تنظیم‌کننده‌های رشد در حکم ابزارهای اگروشیمیایی مفیدی می‌باشند که گیاهان را در راستای مصرف کارآمدتر عناصر غذایی و تظاهر پتانسیل‌های ژنتیکی و فیزیولوژیکی یاری می‌دهند. از جمله تنظیم کننده‌های رشد کلرومکوات کلراید (۲-کلرو اتیل، تری متیل آمونیوم کلرید) با نام تجاری سایکوسل یکی از شناخته‌ترین مشتقات کولین می‌باشد و به نام کلروکولین کلرید (CCC) نیز نامیده می‌شود، که از واکنش ۱-آلیفاتیک هالید با تری‌متیل آمین در دمای ۸۰ تا ۹۵ درجه سانتیگراد در شرایط کنترل شده تولید می‌شود (Imam and Ilkaee, 2002). نتایج به‌دست آمده از آزمایشات نشان داده است که سایکوسل در کاهش ارتفاع ساقه و کاستن از صدمات خوابیدگی گیاه جو نقش اساسی ایفا می‌کند. از این رو مصرف آن با نام تجاری سایکوسل از سال ۱۹۶۸ بطور گسترده در اروپا معمول گردید (Moaied, 1997). غلظت و زمان مصرف این ترکیبات، بر حسب گیاه متفاوت است. بسیاری از گیاهان زراعی و باغی که با مواد تنظیم کننده‌ی رشد محلول‌پاشی شدند، در برابر تنش‌های محیطی مقاومت بیشتری نشان داده‌اند (Moaied, 1997). سایکوسل از خانواده‌ی کولین‌ها می‌باشد. از ویژگی کولین‌ها این است که بدون اینکه اثری بر میزان تنفس داشته باشند، موجب کاهش باز و بسته شدن روزنه‌ها می‌شوند و در نتیجه سبب کاهش حساسیت به خشکی و سرمازدگی می‌گردند. کولین‌ها در غشاء چربی سلول وجود دارند و به‌عنوان جذب کننده رادیکال آزاد عمل می‌کنند که موجب کاهش بعضی از آسیب‌های ناشی از تنش‌های خشکی و سرما می‌گردد (Elfving, 1998). تنظیم‌کننده‌های رشد نسبت به قابلیت تحرک و حل شدن، به طرق مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. سایکوسل را به‌دلیل قابلیت بالای حل شدن در آب، می‌توان به‌صورت محلول پاشی و به سبب تحرک نسبتاً زیاد به‌صورت کاربردهای خاکی یا بذرمال در گیاهان مختلف به‌کار برد تنظیم کننده‌های رشد در چند فرایند در گیاه نقش دارد مانند تقسیم سلولی، متابولیسم CO_2 و پروتئین و مسن شدن برگ‌ها و پیری نقش دارد. مشخص شده است که کاربرد تنظیم کننده‌های رشد از جمله سایکوسل، موجب افزایش عملکرد و رشد گیاه، تحریک رشد ریشه، بهبود مقاومت به تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری می‌شود (James, 1982).

کشت کتان روغنی با عملکرد قابل قبول منوط به شرایط اقلیمی مناسب و بدون تنش می‌باشد. حال آن‌که در ایران تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده تولیدات زراعی است. بنابراین باید به دنبال راهکاری برای افزایش تولید در شرایط تنش بود. هدف از این پژوهش تعیین اثر سایکوسل بر صفات فیزیولوژیک از جمله میزان پرولین، قندهای محلول، پروتئین دانه، درصد روغن و اسیدهای چرب کتان روغنی تحت تنش خشکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش بصورت گلدانی در بهار سال ۱۳۸۹ در گلخانه‌ی دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در ۴ تکرار انجام شد. عوامل مورد آزمایش شامل تنش خشکی در ۳ سطح بدون تنش، تنش ملایم و شدید و سایکوسل در ۶ سطح، شامل ۴ سطح محلول پاشی صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر در هنگام رشد سریع بوته (۳تا ۴ برگی) و در دو سطح بذرمال 10^{-5} و 10^{-6} میلی‌مولار به مدت ۲۴ ساعت قبل از کاشت می‌باشد. لازم به ذکر است اعمال تنش بلافاصله پس از پاشش محلول هورمون انجام شد. تیمارهای مربوط به تنش خشکی براساس روش وزنی انجام شد. به این منظور پس از تعیین درصد رطوبت ظرفیت زراعی (FC) هر گلدان، آبیاری در ۳ سطح پس از تخلیه ۱۰٪، ۳۰٪ و ۶۰٪ رطوبت قابل دسترس، به‌ترتیب به عنوان سطوح بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید، اعمال شد. رقم مورد استفاده در این آزمایش رقم نورمن بود که رقمی بهاره، زودرس، نیمه مقاوم به خوابیدگی و خشکی، با دانه‌های قهوه‌ایی و وزن هزار دانه ۷ گرم می‌باشد. بذر کتان روغنی، پس از انتخاب بذور همگن، با محلول کاربوکسیل ضدعفونی شد. سپس تعداد ۸ عدد بذر

Archive of SID

www.SID.ir

در گلدان‌های نایلونی با قطر ۲۰ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر که هر کدام با ۶/۵ کیلوگرم خاک (با نسبت مساوی از خاک مزرعه، کود دامی و ماسه) پر شده بود، کشت شد و پس از سبز شدن به ۵ بوته در هر گلدان تنک شدند. ضمناً کود اوره و فسفره به میزان لازم، با ازای هر گلدان ۰/۵ گرم اوره و ۰/۵گرم سوپر فسفات، در زمان کاشت به خاک اضافه شد. هر واحد آزمایشی شامل دو گلدان بود. محلول-پاشی یک بار و در زمان رشد سریع گیاهچه (Imam and Karimimazraeshah, 1996) انجام شد.

جدول ۱. مشخصات خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. The characteristics of soil used in the experiment

بافت خاک Soli texture	Fe	Mn	Cu	Zn	K	P	pH	هدایت الکتریکی EC×10³ ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی Organic Carbone (O.C)٪	نیتروژن کل Total Nitrogen (T.N)٪	درصد اشباع Saturation percent (S.P)٪
	$mg.kg^{-1}$										
Clay Loam	4.7	8.2	1.3	0.51	6.4	11	7.4	0.59	0.64	0.05	30.6

برای آماده‌سازی محلول‌های سایکوسل در غلظت‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر از ترازوی دقیقی با دقت ۰/۰۰۰۰۱ گرم، استفاده گردید و بعد از توزین هورمون که به‌صورت گرانول بود، به نسبت‌های مختلف در مقدار کافی از آب مقطر حل گردید. برای سطوح 10^{-5} و 10^{-6} میلی مولار بذرمال سایکوسل نیز با توجه به عدد مولاریته‌ی هورمون، محاسبات عددی و عمل توزین به دقت انجام و محلول‌ها آماده شد. لازم به ذکر است بذور برای سطوح بذرمال، ۲۴ ساعت قبل از کشت در محلول‌های اخیر خیسانده و سپس به مدت ۴ ساعت در آون در دمای ۴۵ درجه سانتیگراد خشک گردیدند و سپس بلافاصله کشت شدند. ضمناً برای اندازه‌گیری پرولین (Paqune and Lechasseur, 1979، ذکر شده در Torknejad, 1999) و قندهای محلول (Irigoyen et al., 1992; Movahhedi dehnavi and ModaresSanavi, 2004) نمونه‌های برگ در زمان آغاز گلدهی برداشت گردید و به سرعت داخل یخ قرار داده شد و سپس به فریزر منتقل و در دمای ۲۴- درجه سانتی‌گراد منتقل تا زمان انجام آزمایش‌های لازم نگهداری شد. همچنین برای اندازه‌گیری پروتئین از دستگاه کلدال (Imaimi, 1996) عمل شد.

برای استخراج روغن کتان روغنی از روش پرس سرد استفاده گردید. در روش پرس سرد، دانه‌های کتان روغنی بدون پیش تیمار حرارتی، مستقیماً به دستگاه پرس منتقل و روغن آن‌ها در محدوده‌ی دمای ۶۰ -۴۵ درجه سلسیوس استخراج شد. برای شناسایی ترکیبات اسیدهای چرب، از روش گاز کروماتوگرافی- طیف سنجی جرمی (GC-MS) استفاده گردید. تعیین مقدار کمی ترکیبات داخله‌ی روغن با برقراری تناسب بین شدت هر پیک و شدت پیک استاندارد داخلی محاسبه و برحسب نانوگرم به ازای هر گرم روغن استخراج شده ارائه شده است (Parker et al, 2003; Shahidi , 2005).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. در مواردی که اثر متقابل معنی‌دار گردید، مقایسه میانگین سطوح مختلف عامل سایکوسل در عامل تنش خشکی بصورت برش‌دهی و با روش حداقل اختلاف معنی‌دار (lsmeans) با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

پرولین

برهمکنش تنش خشکی با تنظیم‌کننده‌ی رشد سایکوسل و اثرات مستقیم تنش و سایکوسل معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی و تنظیم کننده‌ی رشد سایکوسل (جدول ۳) نشان داد که بیشترین میزان پرولین در سطح ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر محلول-پاشی در تنش شدید و کمترین میزان پرولین در سطح 10^{-5} میلی‌مولار بذرمال در تیمار بدون تنش بود. با توجه به مقایسه میانگین به روش برش‌دهی، در تیمار بدون تنش، هر سه سطح محلول‌پاشی موجب افزایش معنی‌دار پرولین

Archive of SID

www.SID.ir

نسبت به شاهد گردید؛ ولی تفاوت چندانی در بین سطوح محلول‌پاشی دیده نشد. در بین سطوح بذرمال این تیمار، سطح 10^{-6} میلی مولار نسبت به شاهد و سطح 10^{-5} میلی مولار افزایش نشان داد. در تیمار تنش ملایم سطوح محلول‌پاشی و سطح 10^{-6} میلی مولار با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت و سطح 10^{-6} میلی مولار بذرمال نسبت به 10^{-5} میلی مولار افزایش معنی‌داری نشان داد. در تیمار تنش شدید، سطح محلول‌پاشی ۵۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان نداد و سطح 10^{-6} میلی مولار بذرمال نسبت به 10^{-5} میلی مولار افزایش معنی‌داری داشت. تغییر محتوای پرولین یکی از غالب‌ترین پدیده‌های گزارش شده می‌باشد که به وسیله تنش‌های شوری و خشکی در گیاهان القاء می‌شود و اغلب پذیرفته شده است که در سازوکارهای بردباری به تنش دخیل می‌باشد. اگرچه نقش دقیق آن هنوز یک موضوع بحث‌انگیز باقی مانده است (Lutts et al., 1999).

جدول ۲. میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی

Table 2. Mean squares resulted from analysis of variance for measured traits

منبع تغییر source of variation	پرولین proline	قندهای محلول soluble sugars	پروتئین دانه grain protein	روغن oil	اسید لینولنیک linolenic acid	اسید لینولئیک linoleic acid	اسید اولئیک oleic acid	اسید پالمیتیک palmitic acid	اسید استئاریک stearic acid
Stress	7.96**	7613569.35**	45.32**	111.29**	313.76**	35.21**	20.04**	40.33**	6.58**
Cycocel	3.25*	9041473.49**	44.93**	212.65**	491.56**	30.65**	26.04**	67.87**	40.17**
Stress × Cycocel	0.4*	1541213.93**	5.24**	5.86 ns	4.21 ns	1.29 ns	0.22 ns	0.675 ns	0.23 ns
Error	0.19	600119.8	1.72	5.55	14.11	3.63	3.03	3.12	0.56
C.V	8.44	9.05	6.24	6.54	7.89	9.2	11.83	15.25	16.13

**، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی‌داری

**, * and ns means significant at 1% and 5% and non-significant, respectively.

افزایش پرولین در طی تنش ممکن است نتیجه تجزیه‌ی پروتئین‌ها و همچنین کاهش استفاده از آن‌ها به دلیل کاهش رشد گیاه باشد. محققین دیگری نیز تجمع پرولین را در گندم در شرایط تنش گزارش کرده‌اند (Kidamby et al., 1990; Nayyar, 2002; Zhu and Gong, 2005). تجمع پرولین در هنگام تنش خشکی در گیاهان مختلف دیگر همچون نخود (Ghorbanly et al., 2001; Ayrebe and Tenorio, 1998)، ذرت (Serraj and Sinclair, 2002) و کلزا (Ferreira and Lourens, 2002) گزارش شده است. همچنین گزارش شده است که با افزایش غلظت محلول‌پاشی سایکوسل بر مقدار پرولین برگ‌های کلزا به‌صورت محسوسی افزوده می‌گردد (Imam and Ilkaee, 2002).

قندهای محلول

برهمکنش تنش و سایکوسل و سطوح اصلی تنش خشکی و سایکوسل در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش تنش و سایکوسل نشان داد که بیشترین میزان قند محلول، مانند صفت پرولین، مربوط به تیمار تنش شدید و در سطح محلول‌پاشی ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و کمترین آن در سطح بذرمال 10^{-5} میلی‌مولار در تیمار بدون تنش بود. روش برش‌دهی مقایسه میانگین‌ها مشخص کرد که در تیمار بدون تنش، سطوح محلول‌پاشی نسبت به شاهد افزایش داشت و سطح 10^{-6} میلی مولار بذرمال نسبت به شاهد و سطح 10^{-5} میلی مولار سایکوسل افزایش نشان داد. در تیمار تنش ملایم، سطح محلول‌پاشی ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل نسبت شاهد افزایش داشت و سطح 10^{-6} میلی مولار بذرمال نسبت به شاهد معنی‌دار نشد، ولی نسبت به سطح 10^{-5} میلی مولار سایکوسل افزایش داشت. در تیمار تنش شدید سطح ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل نسبت به محلول‌پاشی با آب مقطر کاهش معنی‌داری نشان داد. می‌توان گفت مهم‌ترین عامل افزایش قندهای محلول در اثر سایکوسل طی تنش خشکی، تخریب کربوهیدات‌های نامحلول توسط آسید آبسیزیک است،که توسط سایکوسل سنتز شده است، که منجر به افزایش قندهای محلول می‌شود. این نتایج با اطلاعات به‌دست آمده از دیگر پژوهشگران (Imam and Karimimazraeshah, 1996; Fututoko and

Archive of SID

www.SID.ir

(Yamada, 1981; Newton et al., 1986) مطابقت دارد. با افزایش تنش قندهای محلول افزایش یافت. افزایش مقدار قندهای محلول بر اثر تنش خشکی، در سویا (Fututoko and Yamada, 1981) و سورگوم (Newton et al., 1986) نیز گزارش شده است.

پروتئین دانه

برهمکنش تنش خشکی و سایکوسل برای پروتئین دانه در سطح ۱٪ معنی‌دار شده است (جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش تنش و سایکوسل برای صفت پروتئین دانه (جدول ۳) نشان می‌دهد، در تنش شدید و سطح بذرمال 10^{-6} میلی‌مولار سایکوسل بیشترین میزان پروتئین و شاهد در تیمار بدون تنش کمترین میزان این صفت را پی داشت.

مقایسه میانگین به روش برش‌دهی نشان داد که در تیمارهای بدون تنش و تنش ملایم سطح 10^{-6} میلی‌مولار سایکوسل بذرمال نسبت به شاهد و در تمامی تیمارها سطح مذکور از سطح 10^{-5} میلی مولار سایکوسل بذرمال، از خود افزایش معنی‌داری نشان داد. در تیمارهای بدون تنش و تنش ملایم سطوح محلول‌پاشی نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد؛ ولی در تیمار تنش شدید سطوح محلول‌پاشی نسبت به محلول‌پاشی با آب مقطر معنی‌دار نشد. از اثرات اولیه کند کننده‌های رشد به‌خصوص سایکوسل این است که بر بیوسنتز جیبرلین، استرول‌ها و اسید آبسزیک اثر می‌گذارد. این مواد ثانویه غیرمستقیم بر درصد نشاسته اثر گذاشته و بدین سبب پروتئین دانه در شرایط تنش افزایش نشان می‌دهد (Sawan, 2008).

جدول ۳. مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی و سایکوسل برای برخی صفات کتان

Table 3. Effect of drought stress and cycocel on some measured traits of flax

تنش	سایکوسل	پرولین (میلی‌مول بر گرم وزن تر برگ)	قندهای محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	پروتئین دانه (٪)
Stress	Foliar & seed soaking	Proline ($Mmol.g^{-1}$ leaf fresh weight)	Soluble sugars ($mg.g^{-1}$ leaf fresh weight)	Grain protein (%)
بدون تنش	0	3.99 g (b)	6681.3 h (c)	16.0 j (f)
	500 ppm	4.92 ef (a)	9022.5 ab (a)	18.9 gh (d)
	1000 ppm	5.00 ef (a)	8760.0 bc (a)	20.6 ef (c)
non-stress	1500 ppm	4.95 ef (a)	8741.0 bd (a)	22.0 cd (b)
	10^{-5} mM	3.81 h (c)	6061.5 h (c)	17.2 ij (e)
	10^{-6} mM	4.48 fg (a)	8182.0 ef (b)	22.8 ab (a)
تنش متوسط	0	5.12 cd (a)	8573.0 cd (b)	19.8 fg (c)
	500 ppm	6.09 ab (a)	9816.3 ab (a)	20.9 de (b)
	1000 ppm	5.69 ab (a)	9352.0 ab (ab)	21.9 cd (b)
moderate stress	1500 ppm	5.62 bc (a)	9138.0 ab (ab)	22.5 ab (a)
	10^{-5} mM	4.62 ef (b)	8060.5 fg (c)	18.2 hi (d)
	10^{-6} mM	5.15 cd (a)	8510.8 de (b)	24.0 a (a)
تنش شدید	0	6.20 ab (a)	9479.5 ab (a)	23.0 ab (a)
	500 ppm	6.27 a (a)	9922.5 a (a)	22.2 bc (a)
	1000 ppm	4.68 de (b)	9236.0 ab (a)	22.4 ab (a)
severe stress	1500 ppm	5.81 ab (a)	8275.8 de (b)	22.6 ab (a)
	10^{-5} mM	4.53 ef (b)	7034.0 gh (c)	19.5 fg (b)
	10^{-6} mM	5.05 ab (a)	9192.5 ab (a)	24.2 a (a)

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند. حروف خارج پرانتز مقایسه میانگین کلی اثر متقابل و حروف داخل پرانتز نشان دهنده مقایسه میانگین به روش برش دهی می‌باشند.

Within each column, means fallowed by the same letter are not significantly different ($p<0.05$). The letters outside and inside the parentheses shows overall and sliced mean comparisons, respectively.

افزایش میزان پروتئین در شرایط تنش به طور عمده مربوط به کاهش نسبت نشاسته به پروتئین در دانه می‌باشد نه افزایش مطلق در میزان پروتئین (McDonald, 1992). بنابراین می‌توان گفت که در شرایط تنش، به واسطه‌ی کاهش فتوسنتز خالص و به تبع آن تکمیل نشدن وزن بالقوه دانه که عمدتاً این کاهش

Archive of SID

www.SID.ir

ناشی از ناحیه نشاسته می‌باشد، نسبت پروتئین به نشاسته در دانه افزایش می‌یابد. تحقیقات نشان می‌دهد که مکانیسم‌های ساخت نشاسته در دانه، حساس‌تر از مکانیسم‌های ساخت پروتئین هستند، بنابراین در شرایط تنش خشکی افت سنتز نشاسته چشمگیرتر است (Ahmadi and Baker, 2000). همچنین افزایش ۲۱ درصدی در پروتئین گندم، در اثر محلول‌پاشی با تنظیم کننده‌های رشد گزارش شده است (Zodape et al., 2009). همچنین گزارش شده که تیمار پنبه با سایکوسل موجب افزایش پروتئین کنجاله‌ی پنبه می‌گردد (Sawan, 2008).

درصد روغن دانه

اثر سطوح مختلف تنش خشکی و سایکوسل در سطح ۱٪ بر درصد روغن معنی‌دار گردید ولی برهمکنش تنش و سایکوسل برای روغن دانه معنی‌دار نشد (جدول ۲). اثر مستقیم تنش خشکی بر درصد روغن (جدول۴)، بیانگر این است که با افزایش تنش، درصد روغن کاهش ۱۲ درصدی داشته است. در این رابطه مطالعات نشان داده است تنش خشکی باعث کاهش وزن دانه و درصد روغن دانه‌ها می‌شود. همچنین در تحقیقی تنش خشکی در سطوح مختلف میزان روغن دانه را نسبت به شاهد کاهش داد، ولی بین سطوح مختلف تنش تفاوت معنی‌داری از نظر میزان روغن دانه وجود نداشت (Naderi et al., 2004). در این رابطه تناقضات فراوانی در بین نتایج محققان وجود دارد. برخی محققین در نتایج آزمایش خود به ترتیب روی تاثیر تنش خشکی بر کلزا و گلرنگ گزارش نموده‌اند که میزان روغن دانه‌ها تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفته است (Delkhosh, 2007; Tavoosi, 2007). در این تفاوت به نظر می‌رسد میزان روغن دانه به عنوان یک خصوصیت ژنتیکی تحت تأثیر عامل محیطی تنش کم آبی قرار نگرفته است.

مقایسه میانگین اثر اصلی سایکوسل بر روغن (جدول ۴) نشان داد سطح ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی تفاوت معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان داد و سطح 10^{-6} میلی‌مولار بذرمال نیز اثر مثبت معنی‌داری نسبت به آب مقطر داشته است. در مطالعات دیگر نیز سایکوسل در شرایط تنش خشکی تاثیر معنی‌داری بر کیفیت روغن و درصد روغن استحصالی در گیاه علف لیمو داشته است (Farooqi et al., 2005). همچنین Sawan (2008) گزارش کرد در مقایسه اثر هورمون‌های تنظیم کننده‌ی رشد (آلار، پیکس و سایکوسل) بر عملکرد پنبه دانه، هورمون سایکوسل نسبت به دیگر هورمون‌ها بهترین نتایج را نشان داد، به‌طوری‌که تیمار بوته‌های پنبه با سایکوسل موجب افزایش درصد روغن استحصالی از پنبه دانه گردیده است.

جدول ۴. اثر تنش خشکی و سایکوسل بر درصد روغن و اسیدهای چرب کتان

Table 4. Effect of cycocel and drought stress on oil and fatty acid percentage of flax

تیمار	اسید استئاریک Stearic acid	اسید پالمیتیک Palmitic acid	اسید اولئیک Oleic acid	اسید لینولئیک Linoleic acid	اسید لینولنیک Linolenic acid	روغن Oil
0	5.97 a	11.43 b	14.41 b	22.56 a	43.33 d	32.65 d
500 ppm	2.43 c	10.09 bc	15.33 ab	20.81 b	52.72 b	39.09 b
1000 ppm	4.35 b	11.41 b	16.15 a	19.95 bc	47.71 c	36.65 c
1500 ppm	6.19 a	11.52 b	13.99 b	19.28 bc	46.71 c	35.93 c
10^{-5} mM	6.21 a	16.02 a	12.31 c	22.67 a	38.49 e	30.08 e
10^{-6} mM	2.37 c	9.07 c	16.14 a	19.00 c	56.35 a	41.69 a
non-stress	5.16 a	10.35 c	15.62 a	19.49 c	50.81 a	37.95 a
moderate stress	4.45 b	11.49 b	13.79 b	20.74 b	48.18 b	36.41 b
severe stress	5.14 a	12.94 a	17.76 ab	21.91 a	43.66 c	33.69 c

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

Within each column, means fallowed by the same letter are not significantly different ($p<0.05$)

Archive of SID

www.SID.ir

درصد اسیدهای چرب

برهمکنش تنش خشکی و سایکوسل برای اسیدهای چرب روغن معنی‌دار نشد، ولی سطوح اصلی تنش خشکی و سایکوسل در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول۲). تنش خشکی، اسید لینولنیک را ۱۴ درصد کاهش داد، ولی افزایش تنش موجب بالارفتن درصد اسید لینولئیک شد (جدول ۴). نتایج فوق کاملاً با نتایج به‌دست آمده با دیگر محققین از جمله Nielsen et al. (2002) و Suyker et al. (2005) در سویا مطابقت دارد. مقایسه میانگین اثر سایکوسل بر میزان اسیدلینولنیک نشان داد که حداکثر میزان اسید لینولنیک (۵۶/۳۵٪) در تیمار 10^{-6} میلی‌مولار بذرمال بدست آمده است. بعد از ان تیمارهای ۵۰۰ و ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر قرار داشتند که با شاهد تفاوت معنی‌داری نشان دادند. تنها تیمار 10^{-5} میلی‌مولار بذرمال نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار نشان داد. در این رابطه Imam and Karimimazraeshah (1996) نیز در پژوهشی در کلزا دریافتند محلول‌پاشی برگی تنظیم‌کننده‌های رشد از جمله سایکوسل در گیاه کلزا در اوایل دوران رشد رویشی گیاه سبب افزایش عملکرد دانه و درصد روغن و اسید لینولنیک می‌شود. سایکوسل در شرایط تنش خشکی میزان تجمع سدیم ریشه را کاهش می‌دهد و در سطوح تنش، سایکوسل موجب افزایش کیفیت روغن می‌گردد. علاوه بر این نتایج به‌دست آمده از تحقیق Farooqi et al. (2005) نتایج جدول ۴ را نیز تائید می‌کند. با افزایش تنش خشکی درصد اسیدهای چرب غیر اشباع کاهش نشان داد (جدول ۴).

جدول ۴ نشان می‌دهد که سایکوسل اسید چرب اشباع اولئیک را در سطح محلول‌پاشی ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد افزایش داد و تنش ملایم سبب کاهش ۱۳ درصدی این صفت نسبت به شاهد شد. بیشترین میزان اسید چرب پالمتیک در سطح بذرمال 10^{-5} میلی مولار سایکوسل با افزایش ۴۰ درصدی نسبت به شاهد بود و با افزایش تنش این صفت نیز افزایش نشان داد. کاربرد سطوح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل سبب کاهش اسید استئاریک این صفت نسبت به شاهد شد و سطح 10^{-6} میلی مولار بذرمال کاهش معنی‌داری با شاهد داشت. تنش ملایم نیز کاهش ۱۵ درصدی این صفت را نسبت به شرایط بدون تنش در پی داشت.

نتایج نشان داد که درصد روغن همبستگی مثبت و بسیار بالایی با اسید لینولنیک ($r=0/983^{**}$) و اسید لینولئیک ($r=0/834^{**}$) داشت (جدول ارایه نشده است). هم‌چنین وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین قندهای محلول با پرولین ($r=0/872^{**}$) و پروتئین ($r=0/677^{**}$) نشان داد که با افزایش قندهای محلول پرولین و پروتئین نیز افزایش یافت.

در ارزیابی تحمل به خشکی در گیاه سویا (Zare, 2004) بیشترین تاثیر ناشی از تنش خشکی مربوط به صفت اسید پالمتیک و اسید اولئیک بود، که در این پژوهش نیز با افزایش تنش خشکی، این صفات نیز از خود کاهش نشان دادند. همچنین مشاهده شده است که تنش خشکی تاثیر چندانی بر اسید چرب اولئیک ندارد (Nourmohammadi, 2004). جالب اینکه این نتایج برای کلزا اندکی تناقض داشت. اثرات تنش خشکی در گیاهان مختلف یکسان نیست و نوع، رقم و مرحله‌ی رشد گیاه در میزان صدمات وارده به گیاه، نقش تعیین کننده‌ای دارد (Nourmohammadi, 2004). نتایج این آزمایش نشان داد که سایکوسل اثر مثبتی بر افزایش صفات پروتئین، پرولین و قند محلول داشت. همچنین این ترکیب کاهش درصد روغن و اسیدچرب لینولنیک در اثر تنش خشکی را به‌خوبی جبران کرد. با توجه به اثرات مثبت و هزینه بسیار کمتر محلول‌پاشی و همچنین با توجه به محدودیت جذب در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک که عمدتاً از تنش خشکی متاثر هستند، محلول‌پاشی سایکوسل جهت بالا بردن میزان درصد روغن و اسیدهای چرب در گیاهان روغنی یک روش منطقی و اقتصادی کاربرد تنظیم‌کننده‌ها می‌باشد و پیشنهاد می‌گردد سایکوسل در سطح مزرعه به صورت محلول‌پاشی مورد استفاده قرار گیرد.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

Ahmadi, A., Baker, D.A., 2000. Stomatal and Non-Stomatal photosynthesis limiting factors in wheat in dry conditions. Iranian J. Agric. Sci. 31 (4), 825-813. [In Persian with English summary].

Ayerbe, L., Tenorio, J.L., 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. Field Crop Res. 59, 225- 235.

Delkhosh, B., 2007. Study the effect of drought stress on yield and some agronomic and physiological traits of rapeseed cultivars. Pajouhesh-va Sazandegi. 2, 77-84. [In Persian with English summary].

Elfving, D., 1988. Economic effects of excessive vegetative growth in deciduous fruit trees. Hort. Sci. 233, 461-463

Farooqi, A.H.A., Fatima. S., Khanand S.S.A., 2005. Ameliorative effect of chlormequat chloride and IAA on drought stress of plants of *Cymbopogon martinii* and *C.winterianus*. Plant Growth Regul. 46, 277–284.

Ferreira, M.I., Lourens, A.F., 2002. The efficacy of liquid seaweed extract on yield of canola plants. S. African J. Plant Sci. 198, 159-161.

Fututoku, Y., Yamada, Y., 1981. Diurnal changes in water-stressed and non-stressed soybean plants. Soil Sci. 27, 195–204.

Ghorbanly, M., Nojavan, M., Farbodnia, T., 2001. Changes in soluble sugars, starch, protein and water stress in two varieties of Iranian chickpea (*Cicer arietinum* L). Tarbiat Moallem J. Sci. 1(1), 53-38. [In Persian with English summary].

Hu, Y., Burucs, Z., Von Tucher, S., Schmidhalter, U., 2007. Short-term effects of drought and salinity on mineral nutrient distribution along growing leaves maize seedlings. Environ. Exp. Bot. 60, 268- 275.

Imam, Y., Ilkaee, M., 2002. Effect of cycocel and density on yield of canola cultivar Talaye. Iranian Crop Sci. 4(1), 1-8. [In Persian with English summary].

Imam, Y., Karimimazraeshah, R., 1996. The effect of chlormequatchlride on growth, development and yield of canola. Iranian J. Agric. Sci. 28(1), 65-71. [In Persian with English summary].

Imami, A., 1996. Methods of plant analysis. Soil and Water Research Institute. Technical Publication No. 982. 128P. [In Persian].

Irannejad, H., 2007. Oilseed Crop Cultivation. Tehran University Press. 128p. [In Persian].

Irigoyen, J.J., Emerich, D.W., Sanchez-Diaz, M., 1992. Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugar in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiol. Plant. 84, 55-60.

James, E., 1982. Effects on stem elongation dependent on site of application. Hort. Sci. 17, 737-738.

Kidamby, S., Matches, P.A., Bolger, T.P., 1990. Mineral concentration in alfalfa and sainfonas influence by soil moisture level. Agron. J. 82, 229-239.

Lutts, S., Majerus, V., Kinet, J.M., 1999. NaCl effect on proline metabolism in rice seedlings. Physiol. Plant. 105, 450-458.

Archive of SID

www.SID.ir

McDonald, G.k., 1992. Effect of nitrogen fertilizer on the growth, grain yield and grain protein concentration of wheat. Crop Sci. 17,791-793.

Moaied, Gh., 1997. Interaction of density and plant growth regulator chlormequate chloride in winter barley. MSc Dissertation, Faculty of Agriculture, the University of Shiraz. 85p. [In Persian with English summary].

Movahhedi Dehnavi, M., ModaresSanavi S.A.M., 2004. Effect of foliar applications of micronutrients (zinc and manganese) on the quantitative and qualitative yield of different varieties of winter safflower under drought stress in Isfahan. J. Agric. Sci. Nat. Resour. 13, 11-1. [In Persian with English summary].

Naderi, M.R., Nourmohammadi, Gh., Majidi, A., Darvish, F. ShiraniRad, A.M., 2004. Evaluation of the response of three summer safflower varieties to drought stress. J. Agric. Sci. 4, 14-3. [In Persian with English summary].

Nayyar, H., 2002. Accumulation of osmolytes and osmotic adjustment in water-stressed wheat (*Triticum aestivum*). Curr. Plant Biol. 5, 388-395.

Newton, R.J., Bhaskaran, S., Puryear, J., Smith, R.H., 1986. Physiological changes in culturedsorghum cells in response to induced water-stress. II Soluble carbohydrates and organic acids. Plant Physiol. 81, 626-629.

Nielsen, D.C., Ahuja, L.M., Hoogenboom, L.R.G., 2002. Simulating Soybean Water Stress Effects with RZWQM and CROPGRO Models. Agron J. 94, 1234-1243.

Nourmohammadi, Gh., 2004. Evaluation of the response of three safflower lines to different drought stress. J. Agric. Sci.4: 251-259.

Omidbaygi, R., 1997. Approaches of the Production and Processing of Medicinal Plants. Second Vol. Tarrahan Nashr Press. 420 P. [In Persian].

Paqune, R., Lechasseur, F., 1979. Observation sur une methode dosage la libre dans les the plants. Can. J. Bot. 57, 1851-1854.

Parker, T.D., Adams, D.A., Zhou, K., Harris, M., Yu, L., 2003. Fatty acid composition and oxidative stability of coldpressed edible seed oils. J Food Sci. 68, 1240-1243.

Sawan, M.Z., 2008. Effect of nitrogen fertilization and foliar application of plant growth retardants and zinc on cottonseed, protein and oil yields and oil properties of Cotton. J. Agr. Crop Sci. 186, 183-191.

Serraj, R., Sinclair, T.R., 2002. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought condition. Plant Cell Environ. 25, 333-341.

Shahidi, F., 2005. Bailey's industrial oil and fat products. edible seed oils. J. Food Sci. 68, 1240-1243.

Suyker, E.S.B., Verma, G., Burba, T.J., 2005. Gross primary production and ecosystem respiration of irrigated maize and irrigated soybean during a growing season. Agr. Forest Meteorol. 131, 180–190.

Tavoosi. M., 2007. Study the effect of irrigation regime on yield and seed oil content of spring safflower in Isfahan. MSc. Dissertation, Islamic Azad University, Khorasgan Branch. 86p. [In Persian with English summary].

Torknejad, A., 1999. Evaluation of ecological potentials of annual Medics of Iran. PhD Dissertation, Faculty of Agriculture, the University of Tarbiat Modares. 97p. [In Persian with English summary].

Archive of SID

www.SID.ir

Zare, M., 2004. Evaluation of tolerance of some soybean genotypes to drought stress. Iranian J. Agric. Sci. 35(4), 261-272. [In Persian with English summary].

Zhu, X., Gong, H.G., 2005. Different soluble levels in two spring wheat cultivars induced by progressive field water stress at different development stages. J. Arid Environ. 62, 1-14.

Zodape, S.T., Mukherjee, S., Reddy, M.P., Chaudhary, D.R., 2009. Effect of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex. *silva*. extract on grain quality, yield and some yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). J Plant Prod. 3,130-141.

Archive of SID

www.SID.ir