



ارزیابی صفات بیوشیمیایی و زراعی ارقام کنجد تحت اثر کاربرد نانو کود فسفر و کیتوزان در شرایط قطع آبیاری

علی زارعی^۱، جعفر مسعود سینکی^{۲*}، مجید امینی دهقی^۳، علی دمانودی^۲

۱. دانشجوی دکتری رشته زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان، دامغان

۲. گروه کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان، دامغان

۳. دانشیار و عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، تهران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱۶

چکیده

به منظور بررسی اثر قطع آبیاری و محلول پاشی با کیتوزان و نانو کود فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد و کیفیت دانه ارقام کنجد بعد از کشت گندم، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه شاهد تهران در سال های زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. عوامل آزمایش شامل قطع آبیاری در سه سطح بر اساس مراحل فنولوژیکی، عدم تنش (آبیاری نرمال)، قطع آبیاری در ۵۰ درصد دانه بندی و گلدهی در کرت های اصلی و محلول پاشی در چهار سطح شامل عدم محلول پاشی، نانو کلات فسفر (دو در هزار)، کیتوزان (سه در هزار) و ترکیب نانو کلات فسفر + کیتوزان و دو رقم اولتان و ناز تک شاخه کنجد در کرت های فرعی بودند. نتایج نشان داد بیشترین وزن هزار دانه در سال اول آزمایش و رقم اولتان (۳/۱۰ گرم) به دست آمد. بیشترین عملکرد دانه در سال دوم، تحت شرایط بدون تنش و تنش متوسط و محلول پاشی با نانو کلات فسفر به تنهایی یا در ترکیب کیتوزان (به ترتیب ۲۸۲۱/۸، ۲۵۷۲/۴، ۲۸۰۸/۴ و ۲۹۰۴/۵ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. به طور کلی در بین سطوح مختلف تنش خشکی، تنش شدید (آبیاری تا ۵۰ درصد گلدهی) منجر به کاهش معنادار میانگین عملکرد دانه (بیش از ۵۰ درصد) گردید، ولی تنش خشکی متوسط (آبیاری تا ۵۰ درصد دانه بندی) به خصوص در شرایط استفاده از ترکیبات کیتوزان و نانو کود فسفر دارای بالاترین عملکرد دانه (۲۹۰۴/۵ کیلوگرم در هکتار) بود. درصد روغن دانه در سال دوم تحت شرایط عدم تنش دارای بالاترین میانگین (۵۷/۰۲ درصد) بود. در مقایسه بین دو رقم، بیشترین و کمترین عملکرد روغن به ترتیب در رقم ناز و اولتان (۸۵۸/۴ و ۷۳۱/۷ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. میزان اسیدهای چرب اشباع (پالمیتیک و استئاریک) در تیمار عدم محلول پاشی در رقم اولتان دارای بالاترین میانگین (به ترتیب ۱۲/۵ و ۹/۳ درصد) و برعکس، کمترین محتوای اسید چرب لینولئیک (۲۴/۸۸ درصد) در این تیمار مشاهده شد. به طور کلی استفاده از نانو کود فسفر به همراه کیتوزان باعث افزایش کمی و کیفی عملکرد دانه کنجد گردید و منجر به افزایش شاخص های رشدی و کیفی در شرایط تنش خشکی شد.

واژه های کلیدی: اسیدهای چرب، تنش خشکی، عملکرد دانه، کشت دوم، محلول پاشی.

مقدمه

کنجد (*Sesamum indicum* L.) به عنوان ملکه دانه های روغنی (Queen of oils) است (Harikumar, 2015; Shakeri et al., 2015). این گیاه علاوه بر دارا بودن روغن با کیفیت با اسیدهای چرب اشباع پایین (۴۵ درصد)، منبع پروتئین بالا (۱۹ تا ۲۵ درصد) نیز می باشد (Mahdavi et al., 2018). مجموع چربی و پروتئین دانه این گیاه بیش از ۷۰ درصد بوده و از این رو، از اهمیت و مقبولیت بالایی برخوردار است (Mehrabi and Ehsanzadeh, 2011). همچنین مقبولیت این گیاه به تحمل بالا به شرایط نامساعد محیطی از جمله تنش خشکی و همچنین سهولت استخراج

کنجد (*Sesamum indicum* L.) به عنوان ملکه دانه های روغنی (Queen of oils) است (Harikumar, 2015; Shakeri et al., 2015). این گیاه علاوه بر دارا بودن روغن با کیفیت با اسیدهای چرب اشباع پایین (۴۵ درصد)، منبع پروتئین بالا (۱۹ تا ۲۵ درصد) نیز می باشد (Mahdavi et al., 2018). مجموع چربی و پروتئین دانه این گیاه بیش از ۷۰ درصد بوده و از این رو، از اهمیت و مقبولیت بالایی برخوردار است (Mehrabi and Ehsanzadeh, 2011). همچنین مقبولیت این گیاه به تحمل بالا به شرایط نامساعد محیطی از جمله تنش خشکی و همچنین سهولت استخراج

(Alaviasl et al., 2011). علوی‌اصل و همکاران (Alaviasl et al., 2016) در بررسی تأثیر کیتوزان تحت رژیم‌های مختلف آبیاری گزارش کردند که کاربرد این ماده منجر به افزایش عملکرد روغن (۴ درصد)، عملکرد دانه (۹ درصد) و تعداد بذر در کپسول (۱۱ درصد) در گیاه کنجد شد.

فسفر در تغذیه گیاه پس از نیتروژن در رتبه دوم اهمیت قرار گرفته است (Servani et al., 2014)؛ بنابراین تأمین فسفر موردنیاز گیاه برای رسیدن به بیشترین عملکرد بسیار مهم و حیاتی است. افزون بر کودهای شیمیایی و زیستی، یکی دیگر از روش‌های تأمین فسفر موردنیاز گیاه استفاده از نانوکود است (Heshmati et al., 2017). استفاده از نانو کودها منجر به افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، به حداقل رسیدن اثرات منفی ناشی از مصرف بیش‌ازحد کود و کاهش تعداد دفعات کاربرد کود می‌شوند، همچنین به دلیل اینکه زمان و سرعت رهاسازی عناصر با نیاز غذایی گیاه منطبق و هماهنگ می‌شود، لذا گیاه قادر به جذب بیشترین مواد غذایی بوده و در نتیجه ضمن کاهش آیشویی عناصر، عملکرد محصول نیز افزایش می‌یابد (Asghari et al., 2014). پژوهشگران گزارش کردند که کاربرد کود فسفره باعث افزایش بیوماس گیاهی، مقدار روغن دانه در گیاه دانه روغنی کنجد گردید (Nikmehr and Akhgar, 2015). در پژوهشی گزارش شد که کاربرد کود نانو (کامل) به دلیل فراهمی عناصر غذایی موردنیاز گیاه بهترین شرایط برای رشد گیاه کنجد را ایجاد کرده و منجر به افزایش ارتفاع بوته، تعداد کپسول و عملکرد بیولوژیک گردید (Bekhrad et al., 2016).

اگرچه کنجد برای تولید در خشک و نیمه‌خشک مناسب است (Couch et al., 2017). با این حال برای پایداری و موفقیت کشت کنجد در این مناطق، لازم است نیازهای زراعی و تغذیه‌ای موردنیاز گیاه به‌منظور دستیابی به عملکرد کمی و کیفی مطلوب مورد آزمایش قرار گیرد. در همین راستا، هدف از اجرای پژوهش حاضر بررسی عملکرد کمی و کیفی دو رقم کنجد در پاسخ به محلول‌پاشی نانوکود فسفر و کیتوزان تحت شرایط قطع آبیاری بر اساس مراحل فنولوژی گیاه بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در طی دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد تهران (در ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه عرض جغرافیایی و ۴۸ درجه

روغن مربوط می‌شود (Gloaguen et al., 2018). روغن دانه کنجد دارای ۵۴-۳۴ درصد اسید اولئیک و ۵۹-۳۷ درصد اسید لینولئیک است و از اسید لینولئیک و کلسترول چندانی برخوردار نیست، بنابراین کیفیت روغن دانه این گیاه برای تغذیه عالی است (Mehrabi and Ehsanzadeh, 2011).

ایران از جمله کشورهای واقع در منطقه خشک و نیمه‌خشک دنیا است و بیش از نیمی از سطح آن دارای بارندگی کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر است (Mahdavi et al., 2018)؛ بنابراین مدیریت منابع آبی بر اساس مراحل مختلف فنولوژیکی گیاه لازم و ضروری است. از مهم‌ترین اثرات تنش کم‌آبی در گیاهان می‌توان به کاهش میزان فتوسنتز به علت بسته شدن روزنه‌ها، کاهش رشد گیاه، کمبود مواد فتوسنتزی لازم برای پر کردن دانه و کاهش طول دوره پر شدن دانه‌ها اشاره کرد (Alaviasl et al., 2016). پژوهشگران بیشترین کاهش عملکرد گیاهان دانه روغنی را ناشی از تنش آبی در مرحله گلدهی و مرحله نمو دانه گزارش کردند (Masoud et al., 2009; Sinaki et al., 2007; Fanaei et al., 2009). در پژوهشی اعمال تیمار قطع آبیاری بر اساس مراحل رشدی بر روی گیاه کنجد بررسی و گزارش شد که قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی باعث کاهش معنی‌دار وزن تر و عملکرد دانه در ارقام مختلف کنجد گردید (Bagheri et al., 2013). اثر تیمار کم‌آبیاری بر اساس مراحل فنولوژیک بر عملکرد و اجزای عملکرد و همچنین صفات کیفی و فیزیولوژیکی در گیاهان کنجد (Mahdavi-Khorami et al., 2018) معنی‌دار گزارش شد. در همین پژوهش، آبیاری نرمال در مقایسه با شرایط تنش شدید (قطع آبیاری در مرحله گلدهی) منجر به افزایش ۱۷/۳، ۱۱/۳ و ۳۲/۱ درصدی میانگین صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد روغن گردید.

یکی از راهکارهای که اخیراً توجه محققان به آن جلب شده، استفاده از بیوپلیمر کیتوزان برای بهبود رشد گیاهان زراعی و افزایش تولید به‌خصوص در شرایط تنش است (Talaei et al., 2017). کیتوزان پلی‌ساکارید گلوکوزامین مشتق شده از کیتین است. در کشاورزی از کیتوزان برای افزایش تولید، تحریک سیستم ایمنی گیاه و تحریک جوانه‌زنی و رشد گیاه استفاده می‌شود (Rezaei Aderyani et al., 2017). اثر مثبت کیتوزان در غلظت‌های کم در ایجاد تحمل به تنش‌های غیرزیستی نشان داده شده است که ناشی از نقش تنظیم‌کنندگی این ترکیب در افزایش بیان ژن‌های درگیر در تولید مواد ضد تنش همانند آنتی‌اکسیدان‌هاست (Lianju et al., 2017).

کلات فسفر، کیتوزان و ترکیب نانو کلات فسفر + کیتوزان و دو رقم اولتان و ناز تک شاخه کنگد بودند. مشخصات ارقام مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. بذور از شرکت پاکان بذرافشان تهیه گردید. کودهای لازم بر اساس آزمون خاک هنگام عملیات آماده سازی زمین به خاک مزرعه آزمایشی اضافه گردید (جدول ۲). اطلاعات هواشناسی دو سال آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است.

و ۵۳ دقیقه طول جغرافیایی) به صورت آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی آزمایش شامل سطوح مختلف قطع آبیاری بر اساس مراحل فنولوژیکی گیاه، آبیاری نرمال (عدم تنش)، آبیاری تا ۵۰ درصد دانه بندی (به عنوان تنش متوسط) و آبیاری تا ۵۰ درصد گلدهی (به عنوان تنش شدید) بود که در پلات های اصلی قرار گرفت. عوامل فرعی آزمایش که در پلات های فرعی قرار داشتند شامل سطوح مختلف محلول - پاشی، عدم محلول پاشی به عنوان شاهد، محلول پاشی نانو

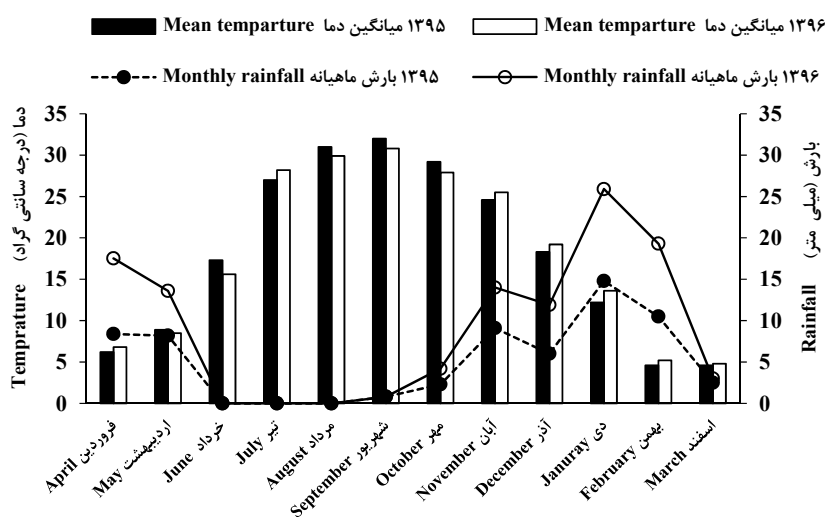
جدول ۱. ویژگی های زراعی ارقام مورد استفاده در پژوهش

Table 1. Agronomical characteristics of genotypes used in the research				
اولتان	تعداد شاخه زیاد	مقاوم به خوابیدگی	نیمه مقاوم به ریزش دانه	عملکرد دانه بالا
Oltan	High branch	Resistant to lodging	Semi-resistant to seed shattering	High seed yield
ناز تک شاخه	تعداد شاخه محدود	نیمه مقاوم به خوابیدگی	نیمه مقاوم به ریزش دانه	عملکرد دانه متوسط
Naz	Limited branch	Semi-resistant to lodging	Semi-resistant to seed shattering	Medium seed yield

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش قبل از اجرا (عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک)

Table 2. Physical and chemical characteristics of experimental field soil before experiment conduction (soil depth 0-30 cm)

بافت خاک	pH	شوری	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر	پتاسیم	آهن
Soil texture		Salinity	OC	Total nitrogen	Phosphorus	Potassium	Iron
لوم رسی شنی		dS/m	%		mg/kg		
Sandy clay loam	8.10	2	1.11	1100	16.60	383.60	7



شکل ۱. میانگین دمای ماهانه و مقدار بارش در سال های اجرای آزمایش

Fig. 1. Mean monthly temperature and rainfall during the two years

اندازه‌گیری محتوی روغن

در زمان رسیدگی زراعی مقدار ۱۰۰ گرم بذر از هر کرت آزمایشی جهت اندازه‌گیری میزان روغن برداشت گردید. برای تعیین میزان روغن دانه از روش استخراج گرم ASOC ((Official Method 972.28 (41.1.22)) و از دستگاه سوکسله صورت گرفت و درصد روغن دانه اندازه‌گیری شد. عملکرد روغن نیز با استفاده از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد روغن دانه محاسبه شد (Navabpour et al., 2017).

اندازه‌گیری کیفیت اسیدهای چرب

جهت تعیین میزان اسیدهای چرب روغن ۵۰ گرم دانه آسیاب شده به نسبت یک‌به‌چهار با هگزان مخلوط و به مدت ۴۸ ساعت روی دستگاه شیکر قرار داده شد و پس از جداسازی حلال از محلول، به روغن حاصل هفت میلی‌لیتر پتاسیم متانولی اضافه گردید (Farhosh et al., 2009). بعد از رطوبت‌گیری روغن حاصل با سولفات پتاسیم، این نمونه‌ها به دستگاه گاز کروماتوگرافی جرمی (Acmw 6000 GC\MASS) YOUNG LIN, Korea)) به داخل ستونی به طول ۱۰۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه ۰/۲ میکرومتر تزریق شد. میزان تزریق ۰/۵ میکرولیتر بود. این بخش از آنالیز در آزمایشگاه گروه علوم زیستی دانشگاه خوارزمی انجام شد. با مقایسه پیک نمونه‌ها با پیک استاندارد و بر اساس (RRT Relative Retention Time) پیک‌ها مهم‌ترین اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع شناسایی و مقادیر هر یک از آن‌ها از محاسبه سطح زیر منحنی پیک‌ها حاصل تعیین شد (Jawameer, 2017).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات عملکردی، روغن و کیفیت اسیدهای چرب به صورت آزمایش اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (تجزیه مرکب در سال)، نخست با استفاده از برنامه آماری Minitab نرمال بودن داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و آزمون همگنی واریانس‌ها بر روی داده‌ها انجام شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 و رسم نمودارها و جداول آماری با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت. میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

پس از عملیات آماده‌سازی زمین، کرت‌بندی صورت گرفت. ابعاد هر کرت آزمایشی فرعی در داخل کرت اصلی ۳×۲ متر و شامل پنج ردیف کشت بود. فاصله بین بلوک‌ها و کرت اصلی دو متر، فاصله کرت‌های فرعی یک متر، فاصله بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها از هم ۵۵ سانتی‌متر بود (Boghri et al., 2014). کشت به صورت دستی و در اواخر خردادماه (برای سال اول و دوم به ترتیب ۲۵ و ۲۹ خردادماه) صورت گرفت و اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت به صورت جوی و پشته‌ای انجام شد. تا قبل از گلدهی، آبیاری مزرعه به صورت یک‌دست (تعیین زمان آبیاری با استفاده از تشتک تبخیر کلاس A در ۷۰ میلی‌متر تبخیر و ترق گياه) انجام شد (Mahdavi-Khorami et al., 2018) و برای اعمال تیمار تنش خشکی، قطع آبیاری در زمانی که ۵۰ درصد کرت مورد نظر در مرحله گلدهی (برای اعمال تیمار تنش شدید) و یا ۵۰ درصد دانه‌بندی (برای اعمال تیمار تنش متوسط) بودند، صورت گرفت. تیمارهای محلول‌پاشی در طی دو مرحله، ابتدای گلدهی و ابتدای دانه‌بندی انجام شد. برای کیتوزان از ترکیب (Chitosan Poly (D-glucosamine) (SIGMA_ALDRICH (United States) تهیه شده از شرکت (United States) به مقدار سه گرم در لیتر و برای نانو کلات فسفر از ترکیب کودی نانو کود کلات فسفر خضراء (دارای ۱۷ درصد فسفر و تهیه شده از شرکت دانش‌بنیان تولید نانو کلات‌های خضراء تهران) به میزان دو در هزار استفاده شد.

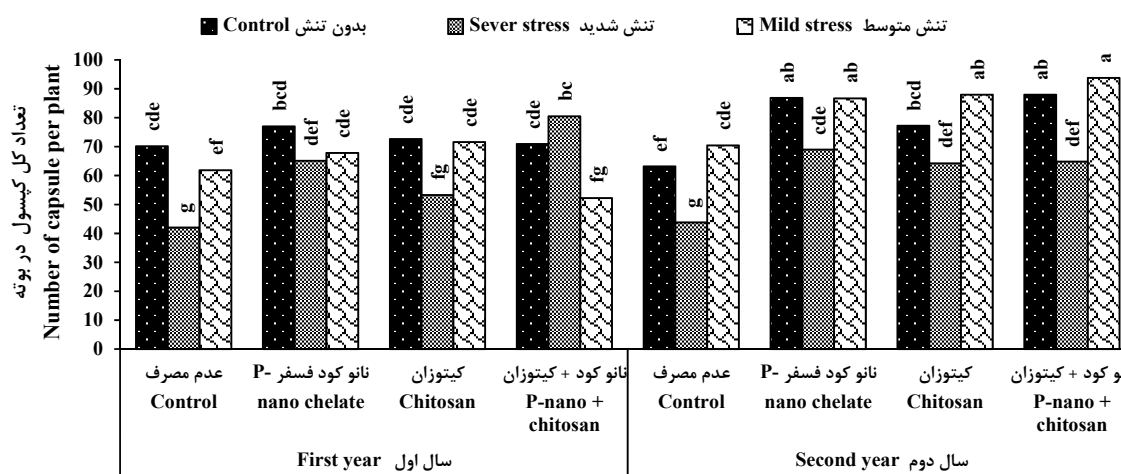
در اوایل آبان ماه، (بعد از رسیدگی فیزیولوژیک که نشانه این مرحله رنگ متمایل به زرد بوته‌هاست) نمونه‌گیری به تعداد پنج بوته از هر واحد آزمایشی جهت اندازه‌گیری اجزای عملکرد انجام شد (Mahdavi-Khorami et al., 2018). پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه صفات تعداد کیسول در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه (با استفاده از ترازویی با دقت ۰/۰۱) اندازه‌گیری شد (Alaviasl et al., 2016). پس از حذف حاشیه‌ها، یک مترمربع از سطح باقی‌مانده برای تعیین عملکرد برداشت گردید به منظور اندازه‌گیری عملکرد اقتصادی (دانه) پس از خشک شدن بوته‌ها (هوا خشک)، دانه‌ها پاک و وزن آن‌ها با ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد (Koocheki et al., 2017). برای عملکرد بیولوژیک نیز کل بوته‌های برداشت شده وزن شدند و عملکرد بیولوژیک به ازای واحد سطح محاسبه گردید (Alaviasl et al., 2016).

به ترتیب با میانگین ۴۲/۰۳ و ۴۳/۸ عدد در بوته به دست آمد (شکل ۲). تنش خشکی باعث کاهش تعداد دانه در کپسول در گیاه کنجد گردید (Jian et al., 2010). حذف آبیاری در مرحله دانه‌بندی و بخصوص گلدهی سبب ریزش برخی از کپسول‌ها به‌خصوص کپسول‌های تشکیل‌شده بر روی شاخه‌های فرعی گردید و بدین ترتیب تعداد کپسول در بوته کاهش نشان می‌دهد (Aein, 2012). جین و همکاران (Jian et al., 2010) برای کنجد نتایج مشابهی را گزارش نمود. به دلیل فراهم شدن رشد سریع، تولید منابع فراوان برای فتوسنتز و ماده‌سازی بیشتر در شرایط کاربرد نانو کودها، افزایش رشد و تعداد دانه در این چنین شرایطی مشاهده می‌شود (Mohsennia and Jalalian, 2012).

نتایج و بحث

تعداد کل کپسول

نتایج نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه سال آزمایش در تنش خشکی در محلول‌پاشی بر تعداد کل کپسول در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میانگین تعداد کل کپسول در بوته در مقایسه میانگین اثر متقابل سال اجرای آزمایش در تنش خشکی در محلول‌پاشی، در سال دوم آزمایش تحت شرایط تنش متوسط (آبیاری تا ۵۰ درصد دانه‌بندی) و محلول‌پاشی با ترکیب نانو کود فسفر و کیتوزان با میانگین ۹۳/۷۷ عدد در بوته مشاهده شد. کمترین میانگین این صفت در آبیاری تا ۵۰ درصد گلدهی و عدم محلول‌پاشی در هر دو سال آزمایش



شکل ۲. اثر متقابل سال در تنش خشکی در محلول‌پاشی بر تعداد کل کپسول در گیاه کنجد

Fig. 2. The interaction of year × drought stress × foliar application on number of total capsule per sesame plant.

متقابل دوگانه سال در رقم بر وزن هزار دانه معنی‌دار بودند (جدول ۳). در مقایسه میانگین اثر متقابل سال اجرای آزمایش در تنش خشکی و محلول‌پاشی، بیشترین میانگین وزن هزار دانه در سال دوم آزمایش تحت شرایط عدم تنش خشکی (آبیاری نرمال) و محلول‌پاشی با ترکیب نانو کود فسفر و کیتوزان با میانگین ۳/۱۲ گرم بود. کمترین میانگین این صفت در سال اول اجرای آزمایش تحت تنش خشکی شدید (آبیاری تا ۵۰ درصد گلدهی) در شرایط عدم محلول‌پاشی با میانگین ۲/۴۶ گرم مشاهده شد (شکل ۳). در مقایسه میانگین اثر متقابل سال اجرای آزمایش در رقم، بیشترین وزن هزار دانه در سال اول آزمایش و رقم اولتان با میانگین ۳/۱۰

تعداد دانه در بوته

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثرات اصلی تیمارهای مورد آزمایش و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر صفت تعداد دانه در بوته معنی‌دار نبودند (جدول ۳). تعداد دانه در کپسول یک صفت ژنتیکی بوده و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی همچون فراهمی عناصر غذایی، میزان دی‌اکسید کربن هوا و غیره قرار می‌گیرد (Kohler et al., 2007; Safari Arabi et al., 2018).

وزن هزار دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه سال در تنش خشکی در محلول‌پاشی و اثر

میانگین این صفت شد. به احتمال زیاد، به دلیل مقاوم بودن گیاه کنگد به کم‌آبی و سازگار بودن با شرایط گرم و خشک، تنش متوسط اثر کاهنده زیادی بر وزن هزار دانه این گیاه نداشت، ولی تنش خشکی در مرحله گلدهی موجب عدم رشد دانه و کاهش تعداد و وزن دانه‌های تشکیل یافته می‌شود (Amiri et al., 2015). وزن هزار دانه مستقیماً تحت تأثیر جریان مواد فتوسنتزی بعد از گرده‌افشانی است. این مواد می‌توانند از فتوسنتز جاری گیاه و یا انتقال مجدد مواد ذخیره‌شده در ساقه‌ها، برگ‌ها و یا کپسول‌ها تأمین شوند (Sadeghian Dehkordi and Tadayyon, 2015). با نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر، به نظر می‌رسد انتقال مجدد در گیاه کنگد، یکی از منابع تأمین مواد فتوسنتزی بعد از مرحله گلدهی باشد که نقش مهمی همانند غلات در این گیاهان را ایفا می‌کند.

گرم به دست آمد و کمترین میانگین این صفت در سال اول در رقم ناز تک شاخه با میانگین ۲/۵۱ گرم بود (شکل B۳). به طور کلی رقم ناز تک شاخه از وزن هزار دانه کمتری نسبت به رقم اولتان برخوردار بود که به تفاوت‌های ژنتیکی میان دو رقم برمی‌گردد. تنش خشکی در زمان پر شدن غلاف باعث کاهش طول مدت این دوره و در نتیجه کوچک شدن دانه‌ها و کاهش وزن هزار دانه به دلیل کاهش انتقال مواد به دانه‌ها می‌شود (Amiri et al., 2015). ژنوتیپ‌های کنگد واکنش‌های متفاوتی به تنش داشته و گزارش شده است که از نظر شاخص‌های مورفولوژیکی و عملکردی از جمله ارتفاع بوته، عملکرد دانه و وزن دانه در تک بوته گیاه کنگد تفاوت معنی‌داری دارند (Mohammadian et al., 2013). در پژوهش حاضر تنش خشکی متوسط کاهش معنی‌دار در میانگین وزن هزار دانه نداشت ولی تنش خشکی شدید (آبیاری تا ۵۰ درصد گلدهی) باعث افت ۱۸/۵ درصدی

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب اثر محلول‌پاشی نانو کلات فسفر و کیتوزان بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم کنگد تحت تنش خشکی
Table 3. Combined analysis of variance of the effect of foliar application of phosphorus nano-chelate and chitosan on yield and yield components of two sesame cultivars under drought stress

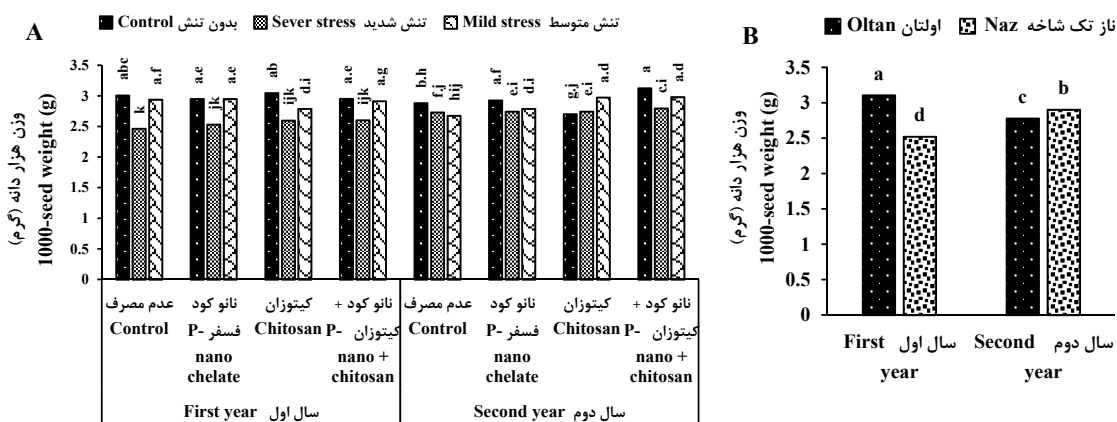
S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	تعداد کل کپسول No. capsule	تعداد دانه در بوته No. grain per plant	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
Year (Y)	سال	1	3068.86 ^{ns}	2853072 ^{ns}	0.03 ^{ns}	10645223 ^{ns}	121354132 ^{ns}
Rep/Y	تکرار/سال	4	66.74	377765	1.09	1037018	2121347
Drought (D)	خشکی	2	3424.68 ^{ns}	62713489 ^{ns}	1.16 ^{ns}	10217180 ^{ns}	48788711 ^{ns}
Y × D	سال × خشکی	2	1422.83 ^{ns}	6594457 ^{ns}	0.29 ^{ns}	999763 ^{ns}	5862650 ^{ns}
Error A	خطای الف	8	243.33	1915122	0.58	705639	275520
Foliar application (F)	محلول‌پاشی	3	2240.93 ^{ns}	20090659 ^{ns}	0.08 ^{ns}	3052249 ^{ns}	42563618 ^{ns}
D × F	خشکی × محلول‌پاشی	6	371.59 ^{ns}	2778317 ^{ns}	0.02 ^{ns}	236555 ^{ns}	2646788 ^{ns}
Y × F	سال × محلول‌پاشی	3	288.66 ^{ns}	5277199 ^{ns}	0.06 ^{ns}	1465193 ^{ns}	24681056 ^{ns}
Y × D × F	سال × خشکی × محلول‌پاشی	6	503.45*	3269574 ^{ns}	0.11*	444502**	2135208 ^{ns}
Cultivar (C)	رقم	1	1463.75 ^{ns}	26570222 ^{ns}	1.92 ^{ns}	615247 ^{ns}	56190293 ^{ns}
D × C	خشکی × رقم	2	369.67 ^{ns}	3044421 ^{ns}	0.01 ^{ns}	313029 ^{ns}	3523660 ^{ns}
F × C	محلول‌پاشی × رقم	3	138.86 ^{ns}	2035905 ^{ns}	0.02 ^{ns}	285398 ^{ns}	7846036 ^{ns}
Y × C	سال × رقم	1	2344.29 ^{ns}	33623041 ^{ns}	4.5*	220355 ^{ns}	74354890 ^{ns}
D × F × C	خشکی × محلول‌پاشی × رقم	6	174.81 ^{ns}	1015785 ^{ns}	0.01 ^{ns}	87200 ^{ns}	1025650 ^{ns}
Y × D × C	سال × خشکی × رقم	2	216.21 ^{ns}	1621681 ^{ns}	0.02 ^{ns}	26195 ^{ns}	5458145*
Y × F × C	سال × محلول‌پاشی × رقم	3	63.5 ^{ns}	484074 ^{ns}	0.03 ^{ns}	42636 ^{ns}	7175105*
Y×D×F×C	سال×خشکی×محلول‌پاشی×رقم	6	100.01 ^{ns}	1188742 ^{ns}	0.02 ^{ns}	51497 ^{ns}	835887 ^{ns}
Error B	خطای ب	84	97	1004331	0.03	155159.1	430856
CV (%)	ضریب تغییرات (%)		14.06	19.15	5.61	22.23	8.4

^{ns}, *, and ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

^{ns}, *, and ** non-significant, significant at 5 and 1%, respectively

ماده آلی رابطه دارد (Talaei et al., 2017). نویسندگان مذکور اظهار داشتند که کیتوزان تأثیر بارزتر و شاخص‌تری نسبت به شرایط شاهد بر گیاه سویا داشت. همچنین مشخص شد کاربرد کیتوزان می‌تواند وزن صد دانه این گیاه را بیش از ۲۰ درصد نسبت به شاهد افزایش دهد (Zeng et al., 2012).

محققین افزایش وزن هزار دانه را با محلول‌پاشی کیتوزان بر روی گیاهان گلرنگ (۵/۵ درصدی)، آفتابگردان (۶/۷ درصدی) و کنجد اعلام کردند (Yadolahi Dehcheshmeh et al., 2014; Alaviasl et al., 2016; Talaei et al., 2017). در تحقیقی بر روی گیاه سویا مشخص شد تأثیر مثبت کیتوزان به‌طور مستقیم با مقادیر وزن مولکولی این



شکل ۳. اثر متقابل سال در تنش در محلول‌پاشی (A) و سال در رقم (B) بر وزن هزار دانه گیاه کنجد

Fig. 3. The interaction of year × drought stress × foliar application (A) and year × cultivar (B) on 1000-grain weight of sesame plant

کیتوزان و نانو کود فسفر افزایش ۲۳ درصدی در عملکرد دانه در سال دوم را نشان داد.

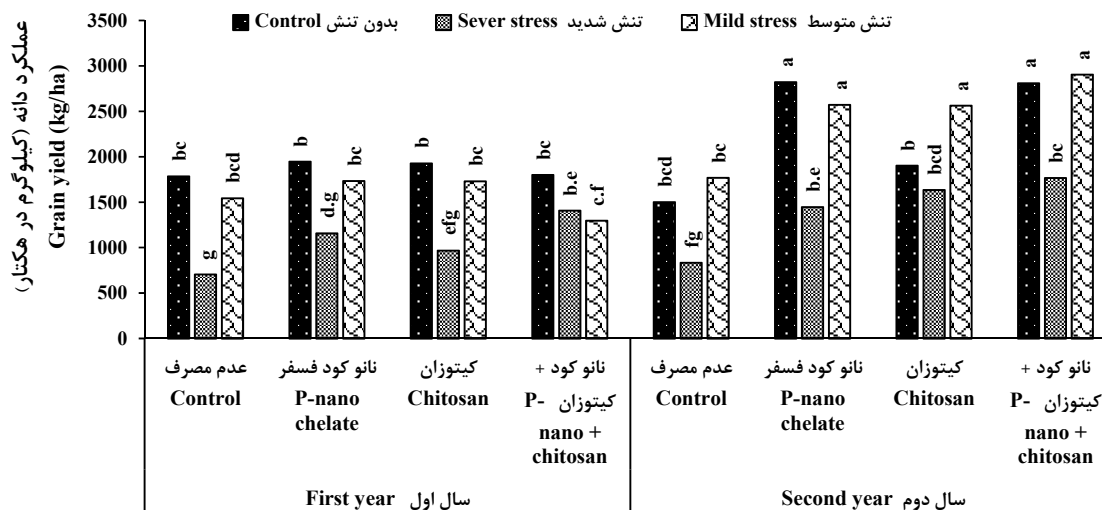
آب و عناصر غذایی به‌عنوان دو عامل مهم در تولید محصولات کشاورزی مدنظر می‌باشند که با یکدیگر اثرات متقابل دارند (Ahmadian et al., 2009). تنش خشکی ضمن کاهش محتوی آب در بافت گیاهی باعث محدود شدن رشد و عملکرد می‌گردد. اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر وزن هزار دانه، تعداد دانه در کپسول و عملکرد دانه را در ژنوتیپ‌های مختلف کنجد معنی‌دار گزارش شد (Mehrabi and Ehsanzadeh, 2011). پژوهشگران گزارش کردند اثر رقم بر عملکرد دانه کنجد معنی‌دار بوده و بیشترین و کمترین عملکرد به ترتیب در ارقام اولتان و ورامین (با میانگین ۲۵۶۷/۴ و ۱۹۰۱/۲ کیلوگرم در هکتار) بود (Hassanpour et al., 2011) که هم‌راستا با یافته‌های پژوهش حاضر است. عملکرد دانه کنجد می‌تواند با استفاده از روش‌ها و تکنولوژی‌های مختلفی همچون استفاده از ژنوتیپ‌های عملکرد بالا و شیوه‌های مختلف به‌زراعی افزایش یابد (Shirazy et al., 2017). افزایش عملکرد دانه را می‌توان به

عملکرد دانه

عملکرد دانه تحت تأثیر اثر متقابل سه‌گانه سال اجرای آزمایش در تنش خشکی در محلول‌پاشی تغییر معنی‌دار نشان داد (جدول ۳). در مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه (سال در تنش در محلول‌پاشی)، بیشترین عملکرد دانه در سال دوم اجرای آزمایش در سطوح عدم تنش و تنش خشکی متوسط و تحت شرایط محلول‌پاشی با نانو کلات فسفر به‌تنهایی یا در ترکیب کیتوزان (به ترتیب با میانگین ۲۸۲۱/۸، ۲۵۷۲/۴، ۲۸۰۸/۴ و ۲۹۰۴/۵ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی ترکیبات نانو کود و کیتوزان در شرایط عدم تنش و تنش خشکی متوسط عملکرد دانه را در سال دوم آزمایش، به میزان زیادی افزایش داده است. کمترین میانگین این صفت در سال اول آزمایش تحت تنش شدید خشکی و عدم محلول‌پاشی با میانگین ۷۰۴/۹ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۴). به‌طور کلی، تنش خشکی شدید (آبیاری تا ۵۰ درصد گلدهی) منجر به کاهش بیش از ۵۰ درصدی میانگین عملکرد دانه گردید، ولی تنش خشکی متوسط به‌خصوص در شرایط استفاده از ترکیبات

مدت طولانی دارند به‌اندازه گیاهان رشد محدود نسبت به تنش آب حساس نیستند و کنگد یکی از این گیاهان است (Aein, 2013). پژوهشگران بیان داشتند که با افزایش شدت کمبود آب عملکرد دانه در واحد سطح کاهش معنی‌داری یافت. میزان کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی، بستگی به گونه و رقم گیاهی، شرایط محیطی و مرحله اعمال تنش بسیار متفاوت است (Eskandari et al., 2010). اوکپارا و همکاران (Okpara et al., 2007) و شیهو و همکاران (Shehu et al., 2010) گزارش کردند که با کاربرد کود فسفره، افزایش عملکرد دانه کنگد مشاهده شد. پژوهشگران بیان داشتند که اثر کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کود فسفره بر رشد و عملکرد کنگد معنی‌دار بود. گزارش شد که محلول‌پاشی نانو کود فسفر باعث افزایش عملکرد سویا می‌گردد که با نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش مطابقت دارد (Liu and Lal, 2014). گزارش شده است که محلول‌پاشی کود فسفره باثبات فرآیندهای فیزیولوژیکی (از قبیل افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، کارتنوئیدهای محلول در برگ و قندهای محلول) باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی می‌گردد (Heshmati et al., 2017). کاربرد کود فسفر در گیاه سویا باعث افزایش ۳۱ درصدی در میانگین عملکرد دانه سویا شد (Yasari et al., 2014).

رشد رویشی بهتر، توسعه کانوپی و در نتیجه استفاده بهتر از تشعشع خورشیدی و فتوسنتز بالاتر در شرایط مطلوب آبیاری نسبت داد (Norozpour and Rezvani-Moghadam, 2005). با توجه به نتایج می‌توان استنباط کرد که افزایش عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال، بیشتر به دلیل تأثیر آن بر تعداد دانه و وزن هزار دانه به‌صورت مستقیم و افزایش شاخص سطح برگ به‌صورت غیرمستقیم بوده است (Mozzafari et al., 2000). در پژوهش حاضر نیز افزایش وزن هزار دانه در شرایط آبیاری نرمال مشاهده شد. کنگد به‌عنوان یک گیاه متحمل به خشکی شناخته شده است و گزارش شده است که تنش ملایم تفاوت معنی‌داری در عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک ایجاد نمی‌کند (Amiri et al., 2015). از طرف دیگر در بسیاری از گزارش‌ها نشان داده شده است که عملکرد کنگد در تنش‌های خشکی و کم‌آبیاری شدید تحت تأثیر قرار می‌گیرد. کاهش وزن دانه و عملکرد دانه در شرایط تنش کم‌آبی نسبت به آبیاری نرمال را می‌توان به کاهش مواد فتوسنتزی در گیاه تحت شرایط تنش نسبت داد (Mohsenia and Jalilian, 2012). اثر زمان تنش خشکی بر عملکرد دانه ممکن است به‌اندازه شدت تنش آب اهمیت داشته باشد. تنش شدید و نسبتاً کوتاه در طول رشد رویشی ممکن است روی عملکرد تأثیر نداشته باشد. در گونه‌های دارای رشد نامحدود به علت آنکه استعداد گلدهی برای



شکل ۴. اثر متقابل سال در تنش در محلول‌پاشی بر عملکرد دانه گیاه کنگد

Fig. 4. The interaction of year × drought stress × foliar application on grain yield of sesame

تنش خشکی متوسط (آبیاری تا ۵۰ درصد دانه‌بندی) به همراه مصرف نانو کود فسفر در رقم اولتان با میانگین ۱۱۴۵۰/۱ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. کمترین میانگین این صفت در تنش خشکی شدید (آبیاری تا ۵۰ درصد گلدهی) به همراه عدم محلول‌پاشی در رقم ناز تک شاخه با میانگین ۵۷۱۶/۹ کیلوگرم در هکتار بود (شکل B۵). کاهش عملکرد ماده خشک در اثر میزان کاهش آب قابل‌استفاده برای گلرنگ (Naderi-Darbaghshahi et al., 2004) و کنگد (Mehrabani and Ehsanzadeh, 2011) نیز در گزارش‌های قبلی تأیید شده است. این محققان استدلال کرده‌اند که احتمالاً کاهش شاخص سطح برگ (به دلیل ریزش برگ‌ها) در تیمارهای تنش، جذب نور توسط پوشش گیاهی را کاهش داده و به تبع آن ماده خشک تولیدی کاهش یافته است که نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر نیز این مطلب را تأیید می‌نماید.

درصد و عملکرد روغن دانه

اثر سال در تنش خشکی، محلول‌پاشی و تنش خشکی در محلول‌پاشی بر درصد روغن دانه معنی‌دار بودند. همچنین اثر متقابل سه‌گانه سال در تنش خشکی در محلول‌پاشی و رقم بر عملکرد روغن دانه معنی‌دار به دست آمد (جدول ۴). در مقایسه میانگین اثر متقابل سال در تنش خشکی، بیشترین درصد روغن دانه در سال دوم آزمایش تحت عدم تنش خشکی (آبیاری نرمال) با میانگین ۵۷/۰۲ درصد به دست آمد و کمترین میانگین این صفت نیز در سال دوم تحت شرایط تنش خشکی شدید (آبیاری تا ۵۰ درصد گلدهی) با میانگین ۲۸/۳۴ درصد مشاهده شد (شکل A۶). در مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی در محلول‌پاشی، بیشترین درصد روغن دانه در تنش خشکی شدید (آبیاری تا ۵۰ درصد گلدهی) در تیمار عدم محلول‌پاشی و همچنین تیمار آبیاری نرمال در محلول‌پاشی ترکیب نانو کود فسفر و کیتوزان به ترتیب با میانگین ۵۴/۳ و ۵۳/۹ درصد مشاهده شد. کمترین میانگین این صفت در تیمار آبیاری نرمال و تنش خشکی متوسط تحت شرایط محلول‌پاشی با تیمار نانو کود فسفر به ترتیب با میانگین ۲۷/۱ و ۲۸/۲ درصد بود (شکل B۶).

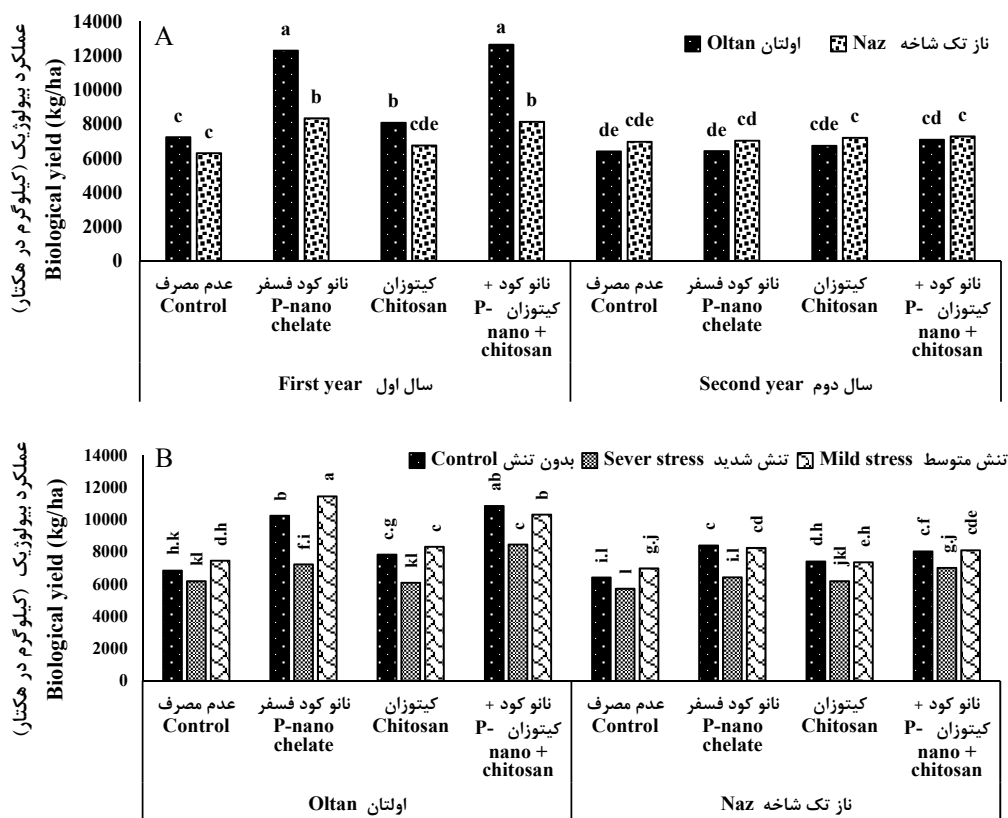
در مقایسه بین دو رقم، بیشترین عملکرد روغن در رقم ناز تک شاخه با میانگین ۸۵۸/۴ کیلوگرم در هکتار بود و کمترین میانگین مربوط به رقم اولتان با میانگین ۷۳۱/۷

گزارش شده است که محلول‌پاشی کیتوزان با ایجاد مقاومت نسبی در برابر تنش خشکی باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردد (Mahdavi et al., 2011) که نتایج حاصل از پژوهش حاضر را تأیید می‌نماید. در گلرنگ مشاهده شد که محلول‌پاشی کیتوزان در رفع آسیب ناشی از تنش خشکی نقش داشته و از این طریق به‌طور مؤثری باعث افزایش عملکرد دانه شد (Amiri et al., 2015). در پژوهشی کاربرد کیتوزان باعث افزایش ۱۷ درصدی عملکرد دانه ذرت شد (Guan et al., 2009). یداللهی ده‌چشمه و همکاران (Yadolahi Dehcheshmeh et al., 2014) گزارش کردند که کاربرد کیتوزان باعث افزایش ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت در گیاه آفتابگردان شد. اثر تحریک‌کنندگی کیتوزان بر رشد گیاه به دلیل افزایش جذب آب و عناصر ضروری و کاهش انباشت رادیکال‌های آزاد اکسیژن از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت است. کاربرد کیتوزان در شرایط تنش متوسط عملکرد دانه را در گیاه کنگد و آفتابگردان افزایش داد (Alaviasl et al., 2016). وزن هزار دانه و تعداد دانه در بوته از دو جزء بسیار مهم در تعیین عملکرد دانه محسوب می‌شوند. در پژوهش حاضر رقم اولتان از وزن هزار دانه بالاتری نسبت به رقم ناز تک شاخه برخوردار بود ولی عملکرد دانه در رقم ناز تک شاخه بیشتر از رقم اولتان بود. یکی از دلایل این امر، تعداد دانه در بوته بسیار بالای رقم ناز تک شاخه در مقایسه با رقم اولتان بود.

عملکرد بیولوژیک

اثرات متقابل سه‌گانه سال اجرای آزمایش در تنش خشکی در محلول‌پاشی و سال اجرا در تنش خشکی در رقم بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). در مقایسه میانگین اثر سال در محلول‌پاشی در رقم، بیشترین عملکرد بیولوژیک در سال اول آزمایش در رقم اولتان تحت شرایط محلول‌پاشی با نانو کود فسفر و ترکیب نانو کود فسفر با کیتوزان به ترتیب با میانگین ۱۲۳۱۱/۴ و ۱۲۶۵۷/۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. کمترین میانگین این صفت در سال اول و در رقم ناز تک شاخه تحت شرایط عدم محلول‌پاشی با میانگین ۶۳۰۹ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (شکل A۵).

در مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در محلول‌پاشی در رقم، بیشترین میانگین عملکرد بیولوژیک در



شکل ۵. اثر متقابل سال در محلول‌پاشی در رقم (A) و تنش در محلول‌پاشی در رقم (B) بر عملکرد بیولوژیک گیاه کنجد

Fig. 5. The interaction of year × foliar application × cultivar (A) and drought × foliar application × cultivar (B) on biological yield of sesame

در کپسول، عملکرد دانه و عملکرد روغن و صفات کیفی ایفا می‌کند (Kadkhodaei et al., 2014; Dossa et al., 2017).

محققان بر این باورند که درصد روغن بیشتر تحت کنترل عوامل ژنتیکی بوده اما افزایش مصرف کود در زمان مناسب می‌تواند به افزایش درصد روغن کمک نماید (Gholamhoseini et al., 2013). تغذیه مناسب‌تر با عناصر باعث ایجاد فتوسنتز مطلوب‌تر و رشد بهتر کنجد شده و از این طریق درصد و عملکرد روغن دانه افزایش نشان خواهد داد. پژوهشگران گزارش کردند که کاربرد کیتوزان در سطح شاهد و تنش متوسط خشکی عملکرد دانه و درصد و عملکرد روغن را در گیاه کنجد افزایش داد (Alavieasl et al., 2016). به نظر می‌رسد بالا رفتن محتوی فسفر در هنگام گلدهی با تنظیم هورمون‌های گیاهی نقش مهمی در گرده-افشانی و تقسیم سلولی ایفا می‌کند (Zarabi et al., 2010). از طرف دیگر، فسفر نقش مهمی در تولید مواد فتوسنتزی داشته و سبب تولید انرژی در گیاه می‌شود (Nesmith,

کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. بیشترین عملکرد روغن در سال دوم اجرای آزمایش تحت عدم تنش خشکی (آبیاری نرمال) و محلول‌پاشی با نانو کود فسفر به‌تنهایی یا در ترکیب با کیتوزان به ترتیب با میانگین ۱۷۲۸/۶ و ۱۷۲۷/۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. کمترین عملکرد در سال دوم در تیمار تنش خشکی شدید (آبیاری تا ۵۰ درصد گلدهی) و عدم محلول‌پاشی با میانگین ۱۸۰/۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (شکل ۵C). کاهش درصد روغن دانه و عملکرد روغن گیاه کنجد در شرایط تنش خشکی در مرحله گلدهی گزارش شده است و این امر می‌تواند به‌واسطه اکسیداسیون برخی اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه و کاهش قابلیت تبدیل هیدرات‌کربن به روغن در شرایط تنش روی داده باشد (Mahdavi-Khorami et al., 2018). در پژوهش حاضر نیز، با افزایش میزان سطح تنش خشکی، درصد و عملکرد روغن کاهش نشان داد که میزان کاهش در تنش شدید بسیار بالاتر (حدود ۵۰ درصد) بود. در همین راستا، تنش خشکی شدید نقش معنی‌داری در تولید با تأثیرگذاری بر تعداد دانه

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محلول پاشی در رقم نشان داد که کمترین میزان اسید چرب اولئیک در رقم اولتان و در شرایط عدم محلول پاشی به دست آمد (شکل ۷A). در مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی در محلول پاشی بیشترین میانگین این اسید چرب در کاربرد کیتوزان تحت شرایط تنش خشکی متوسط (آبیاری تا ۵۰ درصد دانه بندی) با میانگین ۴۱/۷۳ درصد بود و کمترین میانگین این صفت در تیمار شاهد با میانگین ۳۷/۲۸ درصد بود (شکل ۷B).

بنابراین فسفر از راه افزایش اجزای عملکرد موجب افزایش عملکرد دانه و روغن شده است (Heshmati et al., 1991). (2017).

اسید چرب اولئیک

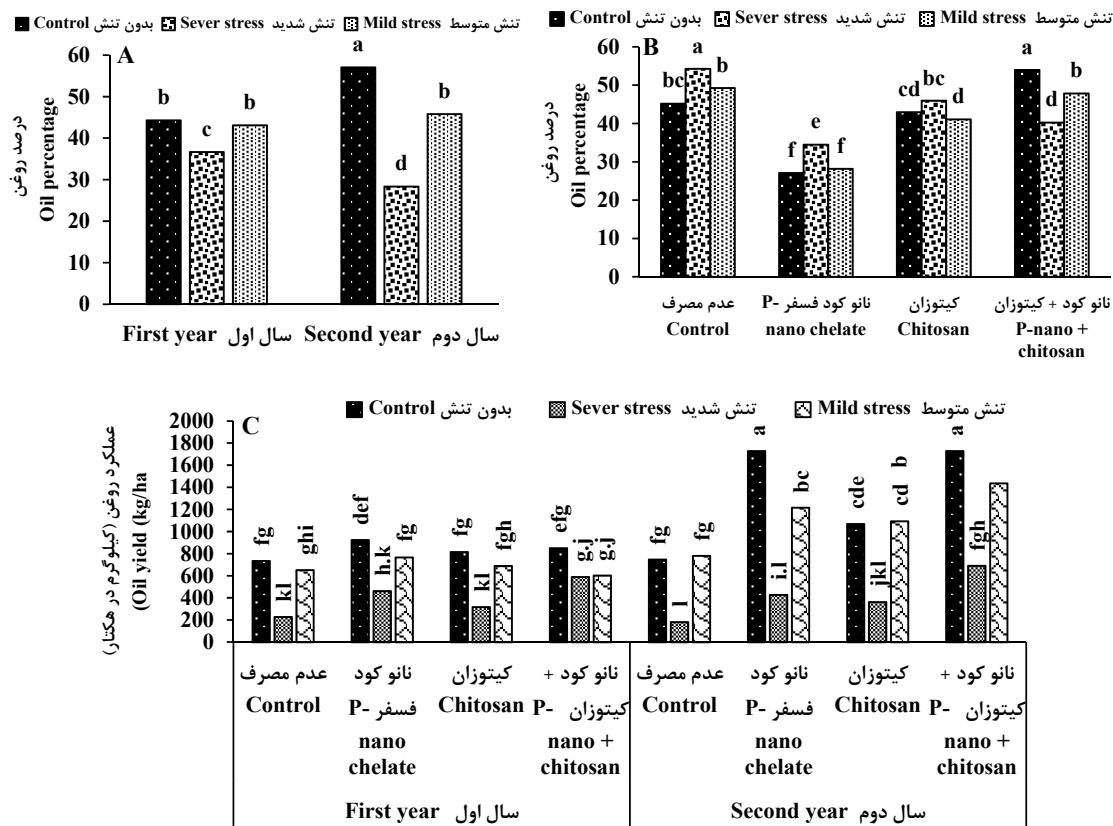
بر اساس نتایج به دست آمده محتوی اسید چرب اولئیک تحت تأثیر سال، تنش خشکی در محلول پاشی و محلول پاشی در رقم تفاوت معنی دار نشان داد (جدول ۴). محتوی اسید چرب اولئیک در سال اول اجرای آزمایش بیش از سال دوم بود.

جدول ۴. تجزیه واریانس مرکب اثر محلول پاشی نانو کلات آهن و اسید فولیک بر میزان روغن و کیفیت اسیدهای چرب دو رقم کنجد
Table 4. Combined analysis of variance of the effect of foliar application of phosphorus nano-chelate and chitosan on oil and quality of fatty acids of two sesame cultivars under drought stress

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean square)					
			درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	اسید اولئیک Oleic acid	اسید لینولئیک Linoleic acid	اسید پالمیتیک Palmitic acid	اسید استئاریک Stearic acid
Year (Y)	سال	1	198.88 ^{ns}	3670904 ^{ns}	38.37 ^{**}	1009.47 [*]	4.06 ^{ns}	1.73 ^{ns}
Rep/Y	تکرار/سال	4	14.27	362412	1.53	8.9	2.27	5.87
Drought (D)	خشکی	2	4088.58 ^{ns}	5774131 ^{ns}	12.32 ^{ns}	6.05 ^{ns}	1.01 ^{ns}	6.9 ^{ns}
Y × D	سال × خشکی	2	1330.37 ^{**}	829296 ^{ns}	13.7 ^{ns}	26.45 ^{ns}	7.72 ^{ns}	25.55 ^{**}
Error A	خطای الف	8	3.87	148005	20.9	10.62	1.98	1.37
Foliar application (F)	محلول پاشی	3	660.98 [*]	1370647 ^{ns}	39.76 ^{ns}	93.19 ^{ns}	5.96 ^{ns}	25.27 ^{ns}
D × F	خشکی × محلول پاشی	6	60.12 [*]	106104 ^{ns}	10.87 [*]	17.71 ^{ns}	10.56 ^{**}	7.68 [*]
Y × F	سال × محلول پاشی	3	28.73 ^{ns}	536963 ^{ns}	6.67 ^{**}	23.46 ^{ns}	0.67 ^{ns}	2.82 ^{ns}
Y × D × F	سال × خشکی × محلول پاشی	6	12.83 ^{ns}	132363 ^{**}	1.92 ^{ns}	5.68 ^{ns}	0.53 ^{ns}	0.48 ^{ns}
Cultivar (C)	رقم	1	650.29 ^{ns}	578275 [*]	23.79 ^{ns}	60.68 ^{ns}	30.41 ^{ns}	35.06 [*]
D × C	خشکی × رقم	2	50.91 ^{ns}	48834 ^{ns}	4.36 ^{ns}	12.48 ^{ns}	2.47 ^{ns}	2.01 ^{ns}
F × C	محلول پاشی × رقم	3	18.2 ^{ns}	31642 ^{ns}	22.42 ^{**}	42.73 ^{**}	18.46 [*]	29.78 ^{**}
Y × C	سال × رقم	1	47.58 ^{ns}	1990.87 ^{ns}	6.42 ^{ns}	1.79 ^{ns}	4.5 ^{ns}	0.17 ^{**}
D × F × C	خشکی × محلول پاشی × رقم	6	17.13 ^{ns}	33771 ^{ns}	7.1 ^{ns}	6.77 ^{ns}	2.64 ^{**}	1.07 ^{ns}
Y × D × C	سال × خشکی × رقم	2	4.24 ^{ns}	15819 ^{ns}	11.62 ^{ns}	7.2 ^{ns}	2.5 [*]	6.09 ^{ns}
Y × F × C	سال × محلول پاشی × رقم	3	15.89 ^{ns}	17621 ^{ns}	0.51 ^{ns}	0.49 ^{ns}	0.72 ^{ns}	0.86 ^{ns}
Y × D × F × C	سال × خشکی × محلول پاشی × رقم	6	20.08 ^{ns}	12183 ^{ns}	2.67 ^{ns}	2.83 ^{ns}	0.25 ^{ns}	1.53 ^{ns}
Error B	خطای ب	84	22.51	37394.08	6.41	6.36	3.35	3.78
CV (%)	درصد تغییرات (%)	-	11.15	24.32	6.43	8.28	15.88	23.79

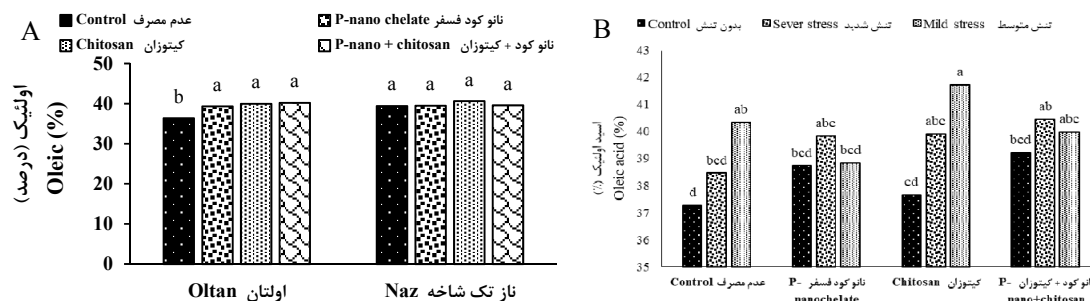
ns, * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

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



شکل ۶. اثر متقابل سال در تنش خشکی (A) و تنش در محلول‌پاشی (B) بر درصد روغن دانه و اثر سال در تنش خشکی در محلول‌پاشی (C) بر عملکرد روغن دانه کنجد

Fig. 6. The interaction of year × drought stress (A) and drought × foliar application (B) on oil percentage and year × drought stress × foliar application (C) on oil yield of sesame



شکل ۷. اثر متقابل محلول‌پاشی در رقم (A) و تنش خشکی در محلول‌پاشی (B) بر میزان اسید چرب اولئیک روغن گیاه کنجد

Fig. 7. The interaction of foliar application × cultivar (A) and drought stress × foliar application (B) on oleic content of oil sesame

میزان اسید چرب لینولئیک در رقم ناز تک شاخه در همه ترکیبات تیماری به دست آمد. همچنین در رقم اولتان در شرایط کاربرد نانو کود فسفر به‌تنهایی یا در ترکیب با کیتوزان بیشترین میانگین این صفت مشاهده شد (شکل ۸).

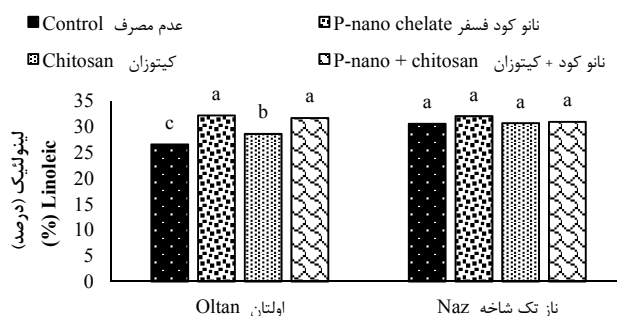
اسید چرب لینولئیک

نتایج حاکی از اثر معنی‌دار سال و محلول‌پاشی در رقم بر محتوی اسید چرب لینولئیک بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی در رقم نشان داد که بیشترین

کمترین میانگین در سال دوم آزمایش در شرایط بدون تنش و در رقم ناز تک شاخه بود (شکل B۹). عدم محلول پاشی در رقم اولتان تحت شرایط بدون تنش (آبیاری نرمال) دارای بالاترین میانگین اسید پالمیتیک (۱۳/۷۱ درصد) بود. همچنین در رقم ناز تک شاخه، کاربرد کیتوزان در شرایط تنش خشکی متوسط (آبیاری تا ۵۰ درصد دانه بندی) باعث ایجاد کمترین محتوی اسید پالمیتیک (۹/۵۵ درصد) شد (شکل A۹).

اسید چرب پالمیتیک

اثر متقابل تنش خشکی در محلول پاشی، محلول پاشی در رقم، تنش خشکی در محلول پاشی در رقم و سال در تنش خشکی در رقم بر محتوی اسید چرب پالمیتیک معنی دار بودند (جدول ۴). در مقایسه میانگین اثر متقابل سال در تنش خشکی در رقم، بیشترین اسید پالمیتیک در سال اول و دوم آزمایش در هر دو رقم تحت شرایط بدون تنش (آبیاری نرمال) و تنش خشکی شدید (آبیاری تا ۵۰ درصد گلدهی) مشاهده شد و



شکل ۸. اثر متقابل محلول پاشی در رقم بر محتوی لینولئیک اسید روغن دانه کنجد

Fig. 8. The interaction of foliar application × cultivar on linoleic acid content of sesame oil

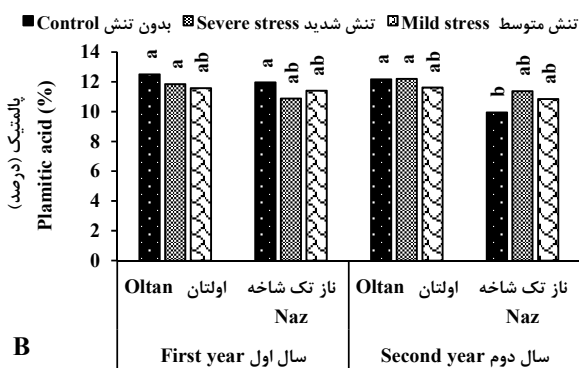
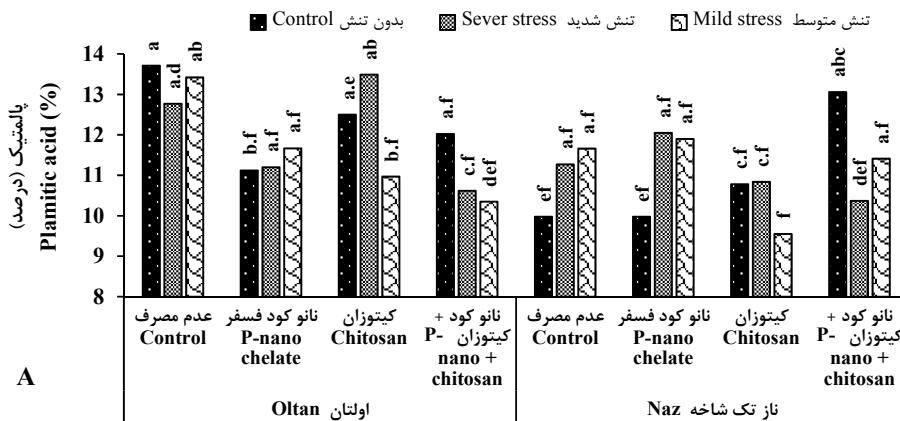
غیراشباع) گردید و باعث افزایش محتوی پروتئین دانه، اسیدهای چرب پالمیتیک و استئاریک در گیاه گلرنگ گردید که همسو با یافته‌های پژوهش حاضر است (Mohsennia and Jalilian, 2012). نتایج نشان می‌دهد عوامل ژنتیکی، اقلیمی و زراعی تأثیر معنی‌داری بر میزان و ترکیب روغن از نظر اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع دارد. بر همین اساس گزارش شده است که محتوی روغن و ترکیب اسیدهای چرب دانه کنجد متغیر است (Yoshida et al., 2007). ترکیب اسیدهای چرب و محتوی روغن دانه به شرایط آب و هوایی، نوع خاک و همچنین شرایط فیزیولوژیکی متکی است (El-khier et al., 2008). پژوهشگران گزارش کردند که تغییر معنی‌داری میان ژنوتیپ‌های از نظر تنوع ژنتیکی ارقام کنجد نیجریه‌ای وجود داشت (Alege and Mustapha, 2013). بررسی واکنش پروفیل اسیدهای چرب روغن دانه گونه‌های مختلف به تنش خشکی نشان داد که میزان اسیدهای چرب غیراشباع تحت شرایط تنش کاهش چشمگیری داشتند (Enjanlbert et al., 2013). گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی، نسبت اسیدهای چرب اشباع به اسیدهای چرب غیراشباع در روغن دانه کلزا افزایش یافت زیرا

اسید چرب استئاریک

نتایج جدول تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال در تنش خشکی، تنش خشکی در محلول پاشی، رقم، محلول-پاشی در رقم و سال در رقم بر محتوی اسید چرب استئاریک معنی دار بودند (جدول ۴). در مقایسه میانگین اثر متقابل سال در تنش خشکی، بیشترین محتوی اسید چرب استئاریک در سال دوم آزمایش و تنش خشکی شدید (آبیاری تا ۵۰ درصد گلدهی) با میانگین ۹/۳۴ درصد بود و کمترین میانگین در سال اول در تیمار تنش خشکی شدید و در سال دوم در شرایط تنش خشکی متوسط و بدون تنش (آبیاری نرمال) به دست آمد (شکل A۱۰). در مقایسه میانگین اثر متقابل محلول پاشی در رقم، بیشترین محتوی اسید چرب استئاریک در رقم اولتان و شرایط عدم محلول پاشی (با میانگین ۱۱/۰۳ درصد) بود و کمترین میانگین در رقم اولتان در تیمار محلول-پاشی با ترکیب نانو کود فسفر و کیتوزان (۷/۲۴ درصد) و در رقم ناز تک شاخه در تیمار محلول پاشی با نانو کود فسفر (۷/۳۹ درصد) مشاهده شد (شکل B۱۰). در پژوهشی تنش خشکی باعث کاهش درصد روغن، محتوی اسیدهای چرب اولئیک و لینولئیک (اسیدهای چرب

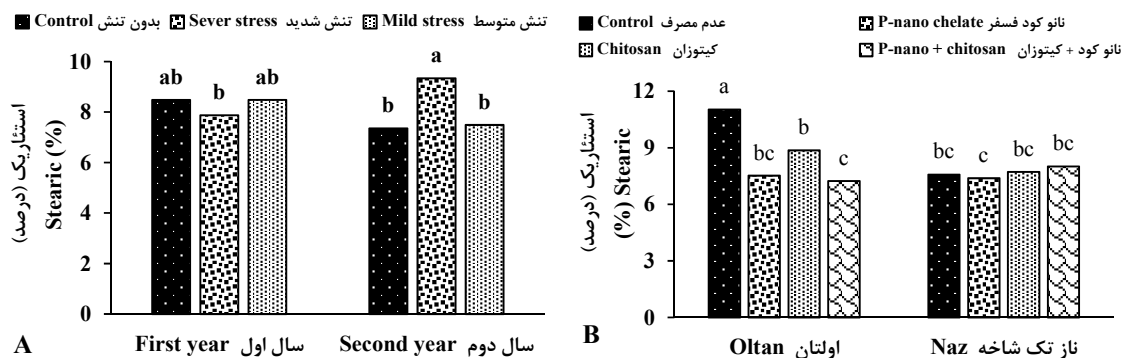
بیولوژیک)، بالاترین میزان اسیدهای چرب پالمیتیک و استئاریک در هر دو سال آزمایش به دست آمد (Shakeri et al., 2015) که هم‌راستا با یافته‌های پژوهش حاضر است.

اسیدهای چرب غیراشباع از اسیدهای چرب اشباع به وجود می‌آیند (Tohidi-Moghadam et al., 2011). در پژوهشی گزارش شد که در شرایط عدم استفاده از کود (شیمیایی و



شکل ۹. اثر متقابل تنش خشکی در محلول‌پاشی در رقم (A) و سال در تنش خشکی در محلول‌پاشی بر محتوی پالمیتیک اسید روغن دانه کنجد

Fig. 9. The interaction of year × drought × foliar application (A) and drought × foliar application × cultivar (B) on palmitic acid content of sesame oil



شکل ۱۰. اثر متقابل سال در تنش خشکی (A) و محلول‌پاشی در رقم (B) بر محتوی استئاریک اسید روغن دانه کنجد

Fig 10. The interaction of drought × foliar application (A) and foliar application × cultivar (B) on stearic acid content of sesame oil

شاخص‌های رشدی در شرایط تنش، موجب بهبود شرایط رشدی گردید. به‌طور کلی نتایج نشان داد که محلول‌پاشی با ترکیب نانو کود فسفر و کیتوزان تحت شرایط تنش خشکی متوسط (آبیاری تا ۵۰ درصد دانه‌بندی) منجر به تعدیل اثر ناشی از تنش خشکی شده و عملکرد دانه و عملکرد روغن مطلوبی تولید کرد. همچنین کشت این گیاه در شرایط اقلیمی گرم و خشک (مشابه جنوب تهران) تحت شرایط ذکر شده (محلول‌پاشی با ترکیب نانو کود فسفر و کیتوزان) در شرایط آبیاری محدود (تنش خشکی آخر فصل) توصیه می‌گردد.

نتیجه‌گیری نهایی

بر اساس اهداف این پژوهش، نتایج نشان داد که کشت هر دو رقم اولتان و ناز تک شاخه در منطقه اقلیمی جنوب تهران بعد از برداشت گندم (به‌عنوان کشت دوم)، عملکرد دانه و روغن بالایی (به ترتیب بیش از ۲۰۰۰ و ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار) داشت. همچنین اثر نانو کود فسفر و کیتوزان بر تمامی صفات رشدی، عملکردی و کیفی معنی‌دار بود. محلول‌پاشی کیتوزان باعث افزایش شاخص‌های رشدی و عملکردی گیاه کنگد شد، منجر به بهبود صفات فیزیولوژیک شد. این ترکیب با افزایش

منابع

- Aein, A., 2013. Effect of eliminating of irrigation at different growth stage on seed yield and some agronomic traits of two Sesame genotypes. *Seed and Plant Production Journal*. 29(2), 67-79. [In Persian with English summary].
- Ahmadian, A., Ghanbari, A., Galavi, M., 2009. The interaction effect of water stress and animal manure on yield components, essential oil and chemical compositions of *Cuminum cyminum*. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 40(1), 173-180. [In Persian with English summary].
- Alaviasl, S.A., Mansourifar, S., Modarres Sanavy, S.A.M., Sadatasilan, K., Tabatabaei, S.A., Moradi Ghahderijani, M., 2016. Effect of chitosan and zeolite on growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) under different irrigation conditions in Yazd. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 9(2), 163-172. [In Persian with English summary].
- Alege, G.O., Mustapha, O.T., 2013. Assessment of genetic diversity in Nigerian sesame using proximate analysis. *Advances in Bioscience and Biotechnology*. 2(1), 57-62.
- Amiri, A., Siroosmehr, A., Esmaeilzadeh Behbadi, P., 2015. The effect of salicylic acid and chitosan solubilizing on safflower yield under drought stress conditions. *Journal of Plant Breeding (Iranian Journal of Biological Sciences)*. 28(4), 712-725. [In Persian with English summary].
- Asghari, S., Moradi, H., Afshari, K., 2014. Evaluation of some physiological and morphological characteristics of *Narcissus tazetta* under BA treatment and Nano-potassium fertilizer. *Journal of Chemical Health Risks*. 4(4), 63-70.
- Bagheri, E., Masood Sinaki, J., Baradaran Firoozabadi, M., Abedini Esfhlani, M., 2013. Evaluation of salicylic acid foliar application and drought stress on the physiological traits of sesame (*Sesamum indicum*) cultivars. *Iranian Journal of Plant Physiology*. 3(4), 809-816. [In Persian with English summary].
- Bekhrad, H., Nikonam, F., Hamdani, B. 2016. Effects of nano fertilizer and different nitrogen levels on grain and oil yield of sesame. *Journal of Plant Ecophysiology*. 9, 110-121. [In Persian with English Summary].
- Couch, A., Gloaguen, R.M., Langham, D.R., Hochmuth, G.J., Bennett, J.M., Rowland, D.L., 2017. Non-dehiscent sesame (*Sesamum indicum* L.): Its unique production potential and expansion into the southeastern USA. *Journal of Crop Improvement*. 31(2), 101-72.
- Dossa, K., Yehouessi, J.W., Likeng-Li-Ngue, B., Diouf, D., Liao, B., Zhang, X., Cisse, N., Bell, J.M., 2017. Comprehensive screening of some west and central African sesame genotypes for drought resistance probing by agromorphological, physiological, biochemical and seed quality traits. *Agronomy*. 83(7), 1-18.
- El-Khier, M.K.S., Ishag, K.E.A., Yagoub, A.E.A., 2008. Chemical composition and oil characteristics of sesame seed cultivars grown in Sudan. *Research Journal of Agriculture and Biology Science*. 4(6), 761-766.
- Eskandari, H., Zehtab Salmasi, S., Ghasemi-Golozani, K., 2010. Evaluation of water use efficiency and grain yield of sesame cultivars as a second crop under different irrigation

- regimes. *Journal of Sustainable Agriculture Science*. 2/20 (1), 39-51. [In Persian with English summary].
- Fanaei, H.R., Galavi, M., Kafi, M., Ghanbari Bonjar, A., Shirani-Rad, A.H., 2009. Effect of potassium fertilizer and irrigation on yield and water use efficiency of Canola and Indian mustard species (*B. napus* L. and *B. juncea* L.). *Iranian Journal of Crop Science*. 11, 273-291 [In Persian with English summary].
- Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Dolatabadian, A., Jamshidi, E., Khodaei-Joghan, A., 2013. Effects of Arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. *Agriculture Water Management*. 117, 106-114.
- Gloaguen Romain, M., Seth Byrd, D.L., Rowland, D., Ray, L., Annie, C., 2018. Planting date and row spacing effects on the agronomic potential of sesame in the southeastern USA, *Journal of Crop Improvement*. 32(3), 387-417.
- Guan, Y.J., Hu, J., Wang, X.J., Shao, C.X., 2009. Seed priming with chitosan improves maize stress germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature. *Journal of Zhejiang University-Science*. 10, 427-433.
- Harikumar, V.S., 2015. Arbuscular mycorrhizal associations in sesame under low-input cropping systems. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 61(3), 347-359.
- Hassanpour, R., Pirdashti, H., Ismaili, M.A., Abbasian, A., 2011. The reaction of yield and yield components of three sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) to the combined application of nitrogen and supernitoplasty fertilizers. *Agroecology*. 3(1), 9-16. [In Persian with English summary].
- Heshmati, S., Amini Dehaghi, M., Fathi Amirkhiz, K., 2017. Effects of biological and chemical phosphorous fertilizer on grain yield, oil seed and fatty acids of spring safflower in water deficit conditions. *Iranian Journal of Field Crop Research*. 48(1), 159-169. [In Persian with English summary].
- Jawameer, R.H., 2017. Comparison of fatty acid profile changes between unroasted and roasted brown sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds oil. *International Journal of Food Properties*. 20(5), 957-967.
- Jian, S., Yue-Liang, R., Mei-Wang, L., Ting-Xian, Y., Xiao-Wen, Y., Hong-Ying, Z., 2010. Effect of drought stress on Sesame growth and yield characteristics and comprehensive evaluation of drought tolerance. *Crop Research Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China*.
- Kohler, J., Caravaca, F., Carrasco, L., Rold'an, A., 2007. Interactions between a plant growth promoting rhizobacterium, an AM fungus and a phosphate- solubilizing fungus in the rhizosphere of *Lactuca sativa*. *Applied Soil Ecology*. 35, 480- 487.
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Nourbakhsh, F., Nehbandani, A., 2017. The effect of planting pattern and density on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 15(1), 31-45. [In Persian with English summary].
- Lianju, M., Yueying, L., Cuimei, Y., Yan, W., Xuemei, L., Na, L., Qiang, C., Ning, B., 2011. Alleviation of exogenous oligochitosan on wheat seedlings growth under salt stress. *Protoplasma*. 249, 393-399.
- Liu, R., Lal, R., 2014. Synthetic apatite nanoparticles as a phosphorus fertilizer for soybean (*Glycine max*). *Scientific Reports*. 4, 56-86. doi: 10.1038/srep05686
- Mahdavi, A., Masoud Sinaki, J., Amini-dehaghi, M., Rezvan, S., Damavandi, A., 2018. Effect of nano, chemical, and biological fertilizers on the yield and quality of sesame seeds under different irrigation regimes. *Agricultural Crop Management*. 20(1), 263-281. [In Persian with English summary].
- Mahdavi, B., Modarres Sanavy, S.A.M., Aghaalikhani, M., Sharifi, M., Dolatabadian, A., 2011. Chitosan improves osmotic potential tolerance in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seedlings. *Journal of Crop Improvement*, 25, 728-741.
- Mahdavi-Khorami, A., Masoud Sinaki, J., Amini Dehaghi, M., Rezvanbidokhti, S., Damavandi, A., 2018. Investigation of relationship between some quantitative and qualitative characteristics affecting sesame yield under nitrogen, potassium and drought stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable*

- Production. 28(2), 15-34. [In Persian with English summary].
- Masoud Sinaki, J., Majidi Heravan, E., Shirani Rad, A.H., Noormohammadi, Gh., Zarei, Gh., 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science. 2, 417- 422.
- Mehrabi, Z., Ehsanzadeh, P., 2011. Study of physiological characteristics and performance of four sesame cultivars under soil moisture regimes. Journal of Crop Improvement. 13(2), 75-88. [In Persian with English summary].
- Mohammadian, M., Rezvani Moghaddam, P., Zarghani, H., Yanagh, A., 2013. Evaluation of morphological and physiological indices of three sesame seeds. Iranian Journal of Crop Research. 11(3), 421-429. [In Persian with English summary].
- Mohsennia, O., Jalilian, J., 2012. Response of safflower seed quality characteristics to different soil fertility systems and irrigation disruption. International Research Journal of Applied and Basic Science. 3(5), 968-976.
- Mozzafari, F., Ghorbanli, S., Babai, M., Farzami, A., 2000. The effect of water stress on the seed oil of *Nigella sativa* L. Journal of Essential Oil Research. 12, 36-38.
- Naderi Darbagshahi, M.R., Nourmohammadi, G., Majidi, A., Darvish, F., Shirani-Zad, A., Madani, D., 2004. Effect of drought stress and plant density on ecophysiological traits of three safflower seeds in summer planting in Isfahan. Seed and Plant. 20, 281-296. [In Persian with English summary].
- Navabpour, S., Hezarjaribi, E., Mazandarani, A., 2017. Evaluation of drought stress effects on important agronomic traits, protein and oil content of soybean genotypes. Environmental Stresses in Crop Sciences. 10(4), 491-503. [In Persian with English summary].
- Nesmith, D.S. 1991. Growth responses of corn (*Zea mays* L.) to intermittent soil water deficits. Field Crops Abstracts Nov. 1991. 7924.
- Nikmehr, S., Akhgar, A. 2015. Effect of combined application of phosphate solubilizing bacteria and phosphorous fertilizer on growth and yield of sesame. Journal of Water and Soil. 29(4), 991-1003. [In Persian with English summary].
- Norozi, G., Rezvani-Moghaddam, P., 2005. Effect of irrigation and drought on yield and yield components of *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Field Crops Research. 3(2), 205-315. [In Persian with English summary].
- Okpara, D.A., Muoneke, C.O., Ojikpong, T.O., 2007. Effects of nitrogen and phosphorus fertilizers rates on the growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) in the southeastern rainforest belt of Nigeria. Niger Agriculture Journal. 38, 1-11.
- Rezaei Aderyani, F., Rezaei, A., Khademi, O., Sharafi, Y., 2017. Investigation of improving salinity stress damages in *Diospyros lotus* seedlings by putrescine and chitosan. Agricultural Crop Management. 19(3), 671-686. [In Persian with English summary].
- Sadeghian Dehkordi, S.A., Tadayyon, A., 2015. Response of linseed (*Linum usitatissimum* L.) to bio-fertilizer, nitrogen and phosphorus chemical fertilizer under drought stress conditions. Plant Ecophysiology. 27(8), 72-89. [In Persian with English summary].
- Safari Arabi, M., Lak, S.H., Modhej, A., Ramzanpour, M.R., Mobasser, H.R., 2018. Interaction of *Pseudomonas fluorescens* bacteria and phosphorus on the quantitative and the qualitative yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Applied Ecology and Environmental Research. 16(1), 63-80.
- Servani, M., Mobasser, H.R., Sobhkhizi, A., Adiban, M., Noori, M. 2014. Effect of phosphorus fertilizer on plant height, seed weight and number of nodes in soybean. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences. 4(2), 696-700.
- Shakeri, E., Modarres-Sanavy, S.A.M., Amini Dehaghi, M., Tabatabaei S.A., Moradi-Ghahderijani, M., 2015. Improvement of yield, yield components and oil quality in sesame (*Sesamum indicum* L.) by N-fixing bacteria fertilizers and urea. Archives of Agronomy and Soil Science. 62(4), 547-560.
- Shehu, H.E., Kwari, J.D., Sandabe, M.K., 2010. Effects of N, P and K fertilizers on yield, content, and uptake of N, P and K by sesame (*Sesamum indicum* L.). International Journal of Agriculture Biology. 12(6), 845-850.
- Shirazy, B.J., Mahbub, M.M., Somee, T.A., Islam, S., 2017. Effect of nitrogen rates and foliar spray of micronutrients on growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). American Journal of Plant Biology. 3, 1-21

- Talaei, G.A., Sharghi, Y., Zhaedi, H., Modarres-Sanavy, S.A.M., Alaviasl, S.A., 2017. Evaluate the interaction of chitosan and zeolite on yield and yield components of safflower under water deficit stress. *Agricultural Crop Management*. 19(2), 531-542. [In Persian with English summary].
- Tohidi-Moghaddam, H.R., Zahedi, H., Ghooshchi, F., 2011. Oil quality of canola cultivars in response to water stress and superabsorbent polymer application. *Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)*. 41(4), 579-586.
- Yadolahi Dehcheshme, P., Bagherial, E.A., Amiri, A., Esmaelzadeh, C., 2014. The effects of drought stress and chitosan foliar application on the yield and photosynthetic pigments in sunflower. *Quarterly periodical. Physiology of arable plants. Azad University. Ahvaz branch. Year 6. NO. 21. Spring 93*. [In Persian].
- Yasari, A., Mozafari, S., Ghasemichapi, A., Jafarzadeh Zoghalchali, H., Shafiee, A., 2014. Effect of inoculation with phosphate solubilizing bacteria and mineral phosphorus levels on growth characteristics and grain yield in soybean cultivars. *Iranian Journal of Field Crop Research*. 12(4), 693-703. [In Persian with English summary].
- Yoshida, H., Tanaka, M., Tomiyama, Y., Mizushina, Y., 2007. Regional distribution in the fatty acids of triacylglycerols and phospholipids of sesame seeds (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Food Lipids*. 14,189-201.
- Zarabi, M., Dadi, E., Akbari, G., Irannezhad, H., Akbari, G. 2010. Investigation of regression relations and correlation between corn cultivars under different treatments and drought conditions. *Journal of Agroecology*. 3(1), 50-64. [In Persian with English summary].
- Zeng, D., Luo, X., Tu, R. 2012. Application of bioactive coatings based on chitosan for soybean seed protection. *Carbohydrate Chemistry*.12, 1-5.

Original article

Evaluation of biochemical and agronomic traits of sesame cultivars under application of phosphorus nano-chelate and chitosan fertilizers under irrigation cut-off

A. Zarei¹, J. Masoud Sinaki^{2*}, M. Amini Dehaghi³, A. Damavandi²

1. Ph.D. student of Agronomy Department, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran

2. Agriculture Faculty, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran

3. Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

Received 13 November 2018; Accepted 6 January 2019

Abstract

The present study was conducted to investigate the changes in the quality and yield traits related to two sesame genotypes under irrigation cut-off (normal irrigation as control, mild and severe stresses) and foliar application of chitosan and phosphorus nano-chelate in the second cultivation at research field of Shahed University in Tehran, Iran, during 2015-16 and 2016-17. The experiment was conducted during a two-year factorial split plot experiment based on completely randomized block design with three replications. The results showed that the highest 1000-grain weight was obtained in the first year and Oltan genotype (3.10 g) and the lowest mean was in the first year in Naz single branch genotype (2.51 g). The highest grain yield was observed in the second year under without stress and mild stress conditions and foliar application of phosphorus nano-chelate alone or combined with chitosan. In general, between different levels of irrigation treatments, severe stress resulted in a significant reduction in the grain yield, but mild drought stress, especially in terms of using chitosan and nano-fertilizer compounds, had a good grain yield. The highest oil percentage was obtained in the non-drought stress during the second year (57.02%) and the lowest mean of this trait was observed in the second year under severe drought stress. Compared to the two cultivars, the highest oil yield was in Naz single branch cultivar (858.4 kg/ha) and the lowest mean of Oltan cultivar (731.7 kg/ha) was observed. The highest amount of saturated fatty acids (palmitic and stearic) was achieved in Oltan cultivar under non-foliar application. In contrast, the lowest content of linoleic fatty acid (unsaturated fatty acid) was observed in this treatment. In general, the application of phosphorus nano-chelate with chitosan increased the quantitative and qualitative characteristics of sesame seed yield and resulted in increased growth and quality growth factors in drought stress conditions. Summer planting of sesame plant is recommended in warm and dry climatic conditions along with chitosan and phosphorus nano fertilizer.

Keywords: Drought stress, Fatty acids, Foliar application, Grain yield, Second cultivation.