Archive of SID

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دهم، شماره سوم، پائیز ۱۳۹۶
۳۷۷-۳۹۰
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2017.614

تأثیر نانو دی‌اکسید تیتانیوم بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ تحت شرایط آبیاری معمولی و تنش کم آبیاری

رقیه امینیان[1*]، معصومه پاک‌نژاد[2]، سید محسن حسینی[3]
۱. استادیار، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین
۳. استادیار، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۱۹

چکیده

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ تحت شرایط آبیاری معمولی و تنش کم آبیاری، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین در سال ۱۳۹۳ اجرا شد. رژیم آبیاری در دو سطح شامل آبیاری معمولی (آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و تنش کم آبیاری (آبیاری تا اواخر مرحله گلدهی مشابه آبیاری معمولی و در اواخر گلدهی تا رسیدگی، آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) به‌عنوان عامل اصلی و نانو دی‌اکسید تیتانیوم در دو سطح، شامل استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم (غلظت ۰/۰۵ درصد قبل از گلدهی) و عدم استفاده (تیمار شاهد) و ژنوتیپ در هشت سطح به‌عنوان عامل‌های فرعی در نظر گرفته شدند. تنش کم آبیاری موجب کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه، شاخص برداشت و عملکرد دانه شد. تیمار نانو دی‌اکسید تیتانیوم قطر طبق، شاخص برداشت و عملکرد دانه را افزایش داد و همچنین اثر سوء تنش خشکی بر قطر طبق را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. بین ژنوتیپ‌ها برای تمام صفات مورد بررسی به‌جز قطر طبق تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. در این آزمایش ارقام فرامان، سینا و توده محلی اصفهان بالاترین عملکرد دانه و ارقام خارجی «مکزیکی ۱۱» و «مکزیکی ۸۸» پایین‌ترین عملکرد را داشتند.

***واژه‌های کلیدی*: ژنوتیپ، عملکرد دانه، محلول‌پاشی، نانو ذرات**

مقدمه

روغن یکی از مواد غذایی اصلی مورد نیاز بشر است. افزایش تقاضای روغن گیاهی در بازارهای جهانی و به دنبال آن افزایش قیمت آن، باعث فشارهای اقتصادی به کشورهای واردکننده روغن ازجمله ایران گردیده است (Omidi, 2009). با توجه به افزایش جمعیت و مصرف سرانه روغن، افزایش سطح زیر کشت دانه‌های روغنی و افزایش عملکرد آن‌ها برای کاهش وابستگی به کشورهای دیگر ضروری است. از کل روغن مصرفی کشور حدود هفت درصد آن در داخل تولید و ۹۳ درصد آن از خارج وارد می‌شود (Tavakoli, 2002). از بین دانه‌های روغنی سازگار با شرایط کشور، گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. عمدتاً بذر گلرنگ جهت مصرف پرندگان و استفاده در پخت‌وپز کشت می‌شود. به‌طور سنتی این محصول برای گل‌های آن کشت می‌شده و برای رنگ‌آمیزی و طعم‌دهنده غذاها و ساخت رنگ مو استفاده می‌شد (Daju and Mundel, 1996). متوسط عملکرد دانه گلرنگ در ایران حدود ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار است که نسبت به

* نگارنده پاسخگو: رقیه امینیان. پست الکترونیک: roghayehaminian@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

متوسط جهانی (۷۹۵ کیلوگرم در هکتار) کمتر است (Padmaja et al., 1983).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی مؤثر بر بهره‌وری کشاورزی در سراسر جهان است و ممکن است منجر به کاهش قابل‌توجه عملکرد شود. در شرایط خشکی پتانسیل آب و آماس سلولی کاهش‌یافته و با تأثیر بر بسته شدن روزنه‌ها و فعالیت‌های آنزیمی باعث اختلال در عملکرد طبیعی گیاه می‌شود (Farooq et al., 2009). در مطالعه‌ای تنش خشکی از طریق کاهش آب برگ و بستن روزنه‌ها، فعالیت‌های آنزیمی را تحت تأثیر قرار داد و موجب کاهش عملکرد گلرنگ شد (Farokhinia et al., 2011). تنش از مرحله گلدهی تا رسیدگی دانه به‌خصوص زمانی که با دمای زیاد نیز همراه باشد، پیری برگ را تسریع و باعث کاهش دوره پر شدن دانه شده و وزن دانه را کاهش می‌دهد (Kafi et al., 2008). در مطالعه‌ای بر روی گلرنگ گزارش‌شده تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، گل‌دهی زودتر، رسیدگی سریع‌تر و کاهش عملکرد گردید (Hashemi Dezfouli, 1994). همچنین تنش خشکی با کاهش اندازه گیاه و کاهش دوام سطح برگ‌ها موجب کاهش عملکرد گلرنگ شده است (Kafi and Rostami, 2007). تنش خشکی در مرحله تکمه زنی تا پر شدن دانه به دلیل کاهش طبق‌های بارور و تعداد دانه در طبق موجب کاهش محصول می‌شود. هرچه زمان اعمال تنش خشکی به مرحله تشکیل طبق‌ها نزدیک‌تر باشد اثر آن بر تعداد طبق و نهایتاً بر عملکرد دانه بیشتر خواهد شد (Amani Lari, 2011).

امروزه فناوری نانو در همه عرصه‌های علمی ازجمله بخش‌های مختلف کشاورزی در حال گسترش است. اولین کاربرد فناوری نانو در کشاورزی به‌وسیله‌ی وزارت کشاورزی آمریکا در سال ۲۰۰۳ انتشار یافت (Scott and Chen, 2013). استفاده از نانو ذرات در زمینه‌های کشاورزی بسیار جدید است و نیاز به بررسی‌های بیشتری است. همچنین عملکرد نانو ذرات در سطح مولکولی در سامانه‌های زیستی تا حد زیادی ناشناخته مانده است (Siddiqui and Whaibi, 2013). دی‌اکسید تیتانیوم در حال حاضر برای تیمار هوای انبار میوه، سبزی‌ها و گل‌های شاخه بریده برای جلوگیری از فساد و افزایش عمر آن‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد. خواص فوتوکاتالیستی دی‌اکسید تیتانیوم باعث حذف گاز اتیلن از هوا می‌شود (Shi et al., 2013). در سال‌های اخیر، استفاده از نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم به علت ویژگی‌های زیستی به‌شدت موردتوجه متخصصین فیزیولوژی گیاهی قرار گرفته است (Qi, 2013). نانوذره TiO_2 کلیه خصوصیات TiO_2 را دارا بوده و همچنین به‌واسطه کوچکی اندازه ذرات، سطح تماس آن با مواد افزایش‌یافته و کارایی و اثربخشی بیشتری دارد (Omidi–Tabrizi, 1998). در پژوهش‌های قبلی گزارش شده است که نانواکسید تیتانیوم قادر است با بهبود جذب نور و فعالیت آنزیم روبیسکو (Mingyu et al., 2008)، افزایش جذب نیترات (Yang et al., 2006) و تسریع در تبدیل مواد غیر آلی به آلی (Nair et al., 2010) باعث افزایش وزن خشک و تر گیاه شود. اثر مثبت نانو ذرات تیتانیوم بر فتوسیستم II و غشای تیلاکوئیدی نیز توسط برخی محققین گزارش شده است (Hong et al., 2005).

محققان مختلفی اثرات نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم را بر جوانه‌زنی و رشد گیاهان موردمطالعه قرار داده‌اند. زینک و همکاران در بررسی اثرات نانو اکسید تیتانیوم در غلظت‌های ۰/۲۵ درصد تا ۴ درصد بر جوانه‌زنی و رشد بذور اسفناج مشاهده کردند، در غلظت ۰/۲۵ درصد نانو اکسید تیتانیوم در طی مراحل مختلف رشد، وزن خشک گیاه، سنتز کلروفیل، فعالیت روبیسکو، نرخ فتوسنتزی و متابولیسم نیتروژن افزایش می‌یابد (Zeng et al., 2005). در پژوهش دیگری روی اسفناج، بین نرخ فتوسنتز در گیاه اسفناج و نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد که این می‌تواند به علت بهبود جذب نور، انتقال و تبدیل انرژی نوری و یا افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو اکتیواز باشد (Gao et al, 2008).

تیتانیوم به‌عنوان یک عنصر سودمند باعث تحریک رشد و افزایش محصول‌دهی در گیاه می‌شود (Feizi et al., 2012). در آزمایشی که توسط سلطانی و همکاران روی گیاه عدس انجام شد اثر محلول‌پاشی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر صفات عملکرد دانه، برخی از اجزاء مرتبط با عملکرد دانه، فعالیت‌های آنزیم‌های کاتالاز، اکسیداز و آسکوربات پراکسیداز معنی‌دار بود (Soltani et al., 2013). نانو ذرات در تحریک رشد رویشی و تسهیل در جذب عناصر میکرو به ریشه گیاهان نقش دارند، بدین ترتیب منجر به افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند. بیان شده است که تیتانیوم می‌تواند جذب برخی عناصر نظیر نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز و روی را تحریک نماید (Pais, 1983). البته این امر به برخی عوامل بیولوژیکی

www.SID.ir

Archive of SID

خاک، گونه و رقم گیاه، pH، رطوبت و وضعیت عناصر غذایی در خاک بستگی دارد. نانو دی‌اکسید تیتانیوم با کنترل بیماری‌های گیاهی و تقویت سیستم ایمنی گیاه موجب افزایش عملکرد گیاهان نیز می‌شود (Bowen, 1992). همچنین نانو دی‌اکسید تیتانیوم با غلبه بر بیماری‌های لکه برگی و سوختگی برگی باکتریایی، در گیاهان ذرت و برنج، از کاهش عملکرد این گیاه جلوگیری نموده است (Chao and Choi, 2005). در پژوهش دیگری نانو دی‌اکسید تیتانیوم موجب تقویت سیستم آنزیمی آنتی‌اکسیدانی (پراکسیداز، کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز) و افزایش آنزیم نیترات ردواکتاز بذرهای سویا شده است (Lu, 2002).

جهت دستیابی به حداکثر تولید استفاده از ارقام مناسب برای هر منطقه اهمیت زیادی دارد. گلرنگ دارای ارقام بسیار متنوعی است که ازنظر رنگ گل، ارتفاع بوته، شکل برگ، شکل ساقه، خاردار بودن، میزان روغن، ترکیب اسیدهای چرب، میزان پروتئین، مقاومت به سرما، حساسیت به بیماری‌ها و آفات، طول فصل رشد، وزن دانه و صفات دیگر با هم تفاوت دارند (Zeinali, 1999).

اگرچه تحقیقات پیشین پتانسیل نانو ذرات تیتانیوم در بهبود عملکرد فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاهان را تائید کرده است (Berahmand et al., 2012; Mingyu et al., 2007)، اما اثر این نانو ذرات در بهبود عملکرد گیاهان در شرایط تنش کمتر مورد توجه قرار گرفته است (Mohammadi et al., 2013)، لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی نانو دی‌اکسید تیتانیوم بر عملکرد، اجزاء عملکرد ژنوتیپ‌های گلرنگ تحت شرایط آبیاری معمولی و تنش کم آبیاری صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۳ در مزرعه دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) واقع در شهر قزوین انجام شد. قزوین در طول جغرافیائی ۴۹ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیائی ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۱۲۷۸ متری از سطح دریا واقع می‌باشد. کشت به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت اصلی شامل رژیم آبیاری (در دو سطح آبیاری معمولی و کم آبیاری) بود. نانو دی‌اکسید تیتانیوم در دو سطح و ژنوتیپ در هشت سطح به‌صورت فاکتوریل برای کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. آبیاری معمولی (a_1) بر اساس عرف منطقه (معادل آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) صورت گرفت و در شرایط کم آبیاری (a_2)، آبیاری تا اواخر مرحله گلدهی مشابه a_1 بود و در اواخر گلدهی تا رسیدگی، آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام شد. نانو دی‌اکسید تیتانیوم در دو سطح، شامل استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم (b_1) و عدم استفاده (شاهد آب مقطر) (b_2) در نظر گرفته شد. از هشت ژنوتیپ گلرنگ نیز در این طرح استفاده شد. ارقام مورد استفاده شامل: صفه، فرامان، محلی اصفهان، محلی کوسه، سینا، گلدشت، مکزیکی ۱۱ و مکزیکی ۸۸ بودند که از مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان تهیه شدند.

بر اساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی نسبت به کودپاشی (تمام کود فسفره و پتاسیم و یک‌سوم کود نیتروژن موردنیاز به‌طور یکنواخت در سطح مزرعه توزیع شدند) اقدام گردید. یک‌سوم دیگر کود نیتروژن در زمان طویل شدن ساقه و یک‌سوم آخر در زمان باز شدن اولین غنچه‌های گل مصرف شد. زمین به روش جوی و پشته آماده گردید و کاشت در دو طرف پشته انجام شد. هر کرت فرعی شامل چهار پشته و هشت ردیف کاشت و فاصله بین دو پشته ۵۰ سانتی‌متر بود. روی هر خط کاشت شیارهایی به عمق چهار سانتی‌متر ایجاد و داخل شیارها با فاصله ۱۰ سانتی‌متر چهار بذر ریخته شد. بعد از هر چهار پشته کشت‌شده یک پشته کشت نگردید و به‌عنوان مرز کرت‌های فرعی در نظر گرفته شد. کرت‌های اصلی نیز به فاصله ۳ متر از یکدیگر قرار گرفتند. وقتی‌که گیاهان به مرحله‌ی دو تا چهار برگی رسیدند عملیات تنک کردن انجام شد. تا تراکم ۴۰ بوته در مترمربع حاصل شود. آبیاری در شرایط معمولی و کم آبیاری به‌صورت فوق صورت گرفت. تیمار نانو دی-اکسید تیتانیوم یک‌بار قبل از گلدهی به‌صورت محلول‌پاشی در غلظت ۰/۰۵ درصد اعمال شد. نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم دارای اندازه بین ۲۰ تا ۴۰ نانومتر بودند و از شرکت نانو پاسارگاد نوین تهیه گردیدند. صفات مورد بررسی شامل: قطر طبق، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، شاخص برداشت، وزن هزار دانه و عملکرد دانه بودند. در هر کرت از دو پشته وسط برای نمونه‌برداری استفاده شد. برای اندازه‌گیری صفات فوق به‌جز عملکرد دانه که در واحد مترمربع اندازه‌گیری شد، در هر کرت پنج بوته انتخاب و میانگین هر صفت در هر کرت محاسبه شد. تجزیه واریانس

www.SID.ir

Archive of SID

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. برای مقایسه میانگین اثرات متقابل از نرم‌افزار MSTATC استفاده شد.

نتایج و بحث

تعداد طبق در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری و نانو دی‌اکسید تیتانیوم بر تعداد طبق در بوته معنی‌دار نبود (جدول ۱). بااین‌وجود کم آبیاری باعث کاهش ۱۱/۴ درصدی این صفت نسبت به شرایط آبیاری معمولی شد. برخی محققین گزارش نمودند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار تعداد طبق در بوته در ارقام گلرنگ شد (Bagkhani and Farahbakhsh, 2008; Kafi et al., 2008). اعمال تنش خشکی پس از مرحله تشکیل طبق‌های اولیه باعث کاهش تعداد طبق‌های ثانویه و ثالثیه می‌شود که این طبق‌ها در مقایسه با طبق‌های اولیه قطر کمتری دارند (Daju and Mundel, 1996). اختلاف بین ژنوتیپ‌ها برای این صفت معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین تعداد طبق در بوته مربوط به رقم سینا با میانگین ۶/۲۰ طبق در بوته بود که با توده محلی اصفهان، رقم فرامان و توده محلی کوسه (به ترتیب با میانگین ۶/۱۶، ۵/۹۷ و ۵/۴۷ طبق در بوته) ازنظر آماری تفاوت نداشت (جدول ۲). در شرایط آبیاری معمولی تعداد طبق در بوته با قطر طبق، شاخص برداشت و عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. در شرایط کم آبیاری همبستگی تعداد طبق در بوته با شاخص برداشت و عملکرد دانه مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۲). در مطالعه‌ای روی ۲۴ رقم گلرنگ در آریزونا گزارش شد که عملکرد دانه در واحد سطح با تعداد طبق، تعداد بذر در طبق، قطر طبق، وزن هزار دانه و تعداد شاخه جانبی دارای همبستگی معنی‌دار بوده، ضمن اینکه تعداد طبق در گیاه مهم‌ترین جزء از اجزای عملکرد بیان شد (Abel,1969).

تعداد دانه در طبق

رژیم آبیاری تفاوت معنی‌داری در تعداد دانه در طبق ایجاد نکرد. مطالعات قبلی نشان می‌دهد که عدم آبیاری گلرنگ در مرحله گلدهی و قبل از آن باعث کاهش تعداد دانه در طبق می‌شود و هرچه زمان اعمال تنش به مرحله گلدهی نزدیک‌تر باشد اثر بیشتری بر تعداد دانه خواهد گذاشت و اعمال تنش خشکی پس از پایان مرحله گلدهی و گرده‌افشانی تأثیر اندکی بر کاهش تعداد دانه داشته و بیشتر باعث کاهش وزن هزار دانه می‌شود (Rostami, 2004). تیمار TiO_2 نیز در تعداد دانه در طبق تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد ولی اثر متقابل آبیاری × نانو دی‌اکسید تیتانیوم برای این صفت معنی‌دار شد. بیشترین تعداد دانه در طبق در شرایط آبیاری معمولی و اعمال نانو دی‌اکسید تیتانیوم حاصل شد که با تعداد دانه در طبق در همین شرایط آبیاری و عدم استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم و تعداد دانه در طبق در شرایط کم آبیاری و عدم استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم اختلاف آماری نداشت. کمترین تعداد دانه در شرایط تنش و اعمال نانو دی‌اکسید تیتانیوم حاصل شد (شکل ۱).

با توجه به اینکه تنش کم آبیاری اواخر گلدهی و زمانی که گرده‌افشانی و لقاح پایان یافته بود، اعمال شد، تأثیر منفی در تعداد دانه در طبق نداشت، محلول‌پاشی نانو دی-اکسید تیتانیوم باعث افزایش تعداد دانه در طبق در شرایط آبیاری معمولی نسبت به شرایط کم آبیاری شد. اثر رقم نیز برای این صفت معنی‌دار بود. رقم صفه با میانگین ۲۵/۴۸ دانه، بیشترین تعداد دانه در طبق را به خود اختصاص داد که با ژنوتیپ‌های صفه، محلی اصفهان، سینا، محلی کوسه و مکزیکی ۸۸ در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین تعداد دانه مربوط به رقم فرامان با ۱۶/۵ دانه بود که با ارقام گلدشت و مکزیکی ۱۱ در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۲). بنابراین ازنظر آماری ژنوتیپ‌ها به دو گروه با تعداد دانه زیاد و تعداد دانه کم تقسیم شدند. در شرایط آبیاری معمولی همبستگی تعداد دانه در طبق با صفات قطر طبق و عملکرد دانه مثبت و معنی‌دار و با وزن هزار دانه منفی و معنی‌دار بود. درحالی‌که در شرایط کم آبیاری فقط همبستگی منفی و معنی‌داری بین این صفت با وزن هزار دانه مشاهده شد (جدول ۳)؛ بنابراین تغییر شرایط محیطی (آبیاری) منجر به تغییر روابط صفات شده است؛ و انجام هرگونه کار بهنژادی باید متناسب با شرایط محیط کشت گیاه صورت گیرد. همچنین به نظر می‌رسد با افزایش تعداد دانه در طبق، سهم هر دانه از مواد فتوسنتزی کاهش‌یافته و در نتیجه وزن هزار دانه کاهش می‌یابد. همبستگی منفی و معنی‌دار تعداد دانه در طبق با تعداد طبق در بوته و وزن

www.SID.ir

Archive of SID

هزار دانه در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (Rahimi Malekshan et al., 2013)

جدول ۱. تجزیه واریانس صفات موردبررسی در گلرنگ

Table1. Analysis of variance for measured traits of safflower

منبع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	Mean Square			میانگین مربعات		
		تعداد طبق در بوته No.head. plant^{-1}	تعداد دانه در طبق No. seeds. head^{-1}	قطر طبق head diameter	وزن هزار دانه 1000 grain weight	شاخص برداشت harvest index	عملکرد دانه grain yield
تکرار Replication	2	6.54^{ns}	1.58^{ns}	1.28^{ns}	2.27^{ns}	20.32^{ns}	2581.84^{ns}
آبیاری Irrigation	1	9.18^{ns}	63.46^{ns}	19.90^{ns}	266.70**	886.94*	45374.42*
خطای a Error a	2	0.84	53.96	3.76	2.15	33.60	2047.15
نانواکسید تیتانیوم Nano TiO_2	1	6.20^{ns}	3.04^{ns}	13.84*	2.29^{ns}	992.40**	36144.14**
ژنوتیپ Genotype	7	11.50**	110.51**	3.94^{ns}	577.60**	415.62**	37240.19**
آبیاری×نانواکسیدتیتانیوم Irrigation×Nano Tio2	1	0.26^{ns}	83.57*	10.07*	5.71^{ns}	80.62^{ns}	46459.16**
ژنوتیپ× آبیاری Genotype × Irrigation	7	0.96^{ns}	22.96^{ns}	1.61^{ns}	13.11*	59.30^{ns}	3685.72^{ns}
نانواکسیدتیتانیوم× ژنوتیپ TiO_2× Genotype	7	1.81^{ns}	14.40^{ns}	2.22^{ns}	12.13*	51.29^{ns}	2927.11^{ns}
آبیاری× ژنوتیپ×نانواکسیدتیتانیوم Irrigation × Genotype× TiO_2	7	0.69^{ns}	21.03^{ns}	2.02^{ns}	14.11*	37.33^{ns}	2040.00^{ns}
خطا Error	60	1.48	18.47	2.45	5.41	46.07	2314.77
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		*23.7*	*19.9*	*7.3*	*7.7*	*24.8*	*25.3*

*، **و^{ns} به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵ و ۱درصد و عدم معنی‌دار بودن می‌باشد.

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

قطر طبق

اگرچه اثر آبیاری در این پژوهش بر قطر طبق معنی‌دار نبود (جدول ۱)، اما تأمین آب کافی برای گلرنگ در مرحله پر شدن دانه اهمیت ویژه‌ای در افزایش قطر طبق و تولید عملکرد نهایی گیاه دارد و بروز تنش خشکی در این مرحله و یا قبل از آن (گل‌دهی) می‌تواند در کاهش اندازه طبق‌ها و تولید دانه مؤثر باشد (Farokhinia et al., 2009). تیمار نانو دی‌اکسید تیتانیوم تفاوت معنی‌داری در قطر طبق ایجاد نمود. اعمال نانو دی‌اکسید تیتانیوم باعث افزایش قطر طبق شد به‌طوری‌که میانگین قطر طبق در اعمال نانو دی‌اکسید تیتانیوم ۲۱/۵۸ میلی‌متر و میانگین قطر طبق در تیمار شاهد ۲۰/۸۲ میلی‌متر بود (جدول ۲). به نظر می‌رسد نانو دی‌اکسید تیتانیوم موجب بهبود فعالیت دستگاه فتوسنتزی شده و تأثیر مثبتی بر پر شدن دانه‌ها و افزایش قطر طبق داشته است. اثر ژنوتیپ نیز برای این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۱). اثر متقابل نانو دی‌اکسید تیتانیوم × آبیاری، در صفت قطر طبق معنی‌دار شد. تیمار نانو دی‌اکسید تیتانیوم توانست قطر طبق را در شرایط کم آبیاری به‌طور

www.SID.ir

Archive of SID

قابل‌توجهی افزایش دهد، اما در شرایط آبیاری نرمال تفاوت قابل‌توجهی در قطر طبق ایجاد نکرد (شکل ۲)؛ بنابراین می‌توان از طریق اعمال نانو دی‌اکسید تیتانیوم در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش قطر طبق به عملکرد بیشتری دست‌یافت و کاهش عملکرد در اثر تنش خشکی را تا حدی تعدیل نمود. در شرایط آبیاری معمولی قطر طبق با تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۲). هرچه قطر طبق بیشتر باشد تعداد دانه بیشتر و بزرگ‌تری را در خود جای می‌دهد. چنین استنباط می‌گردد که گیاهان دارای طبق‌های قطورتر با داشتن تعداد بیشتر دانه در طبق، عملکرد بالاتری داشته باشند (Pasban Eslam, 2010). بنابراین به نظر می‌رسد قطر طبق به‌طور غیرمستقیم از طریق صفات تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق بر عملکرد دانه اثر می‌گذارد. در شرایط کم آبیاری بین قطر طبق و هیچ‌کدام از صفات موردبررسی همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد.

جدول ۲. مقایسه میانگین عملکرد و اجزاء عملکرد گلرنگ تحت سطوح فاکتورهای آزمایشی

Table 2. Mean comparison of yield and yield components of safflower in different levels of exprimental treatments

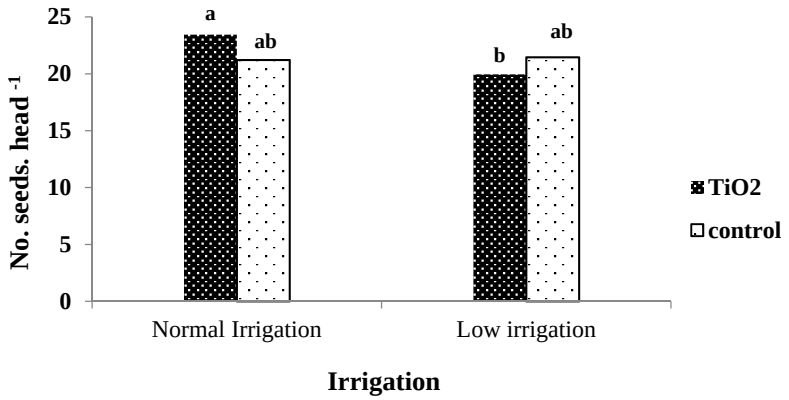
Treatment	تیمار	تعداد طبق در بوته No.head. plant^{-1}	تعداد دانه در طبق No. seeds. head^{-1}	قطر طبق (میلی‌متر) head diameter (mm)	وزن هزار دانه (گرم) 1000 grain weight (g)	شاخص برداشت (درصد) harvest index (٪)	عملکرد دانه (گرم‌درمترمربع) grain yield (g/m^2)
Irrigation	**آبیاری**						
Normal	**معمولی**	5.44 a	22.33 a	21.66 a	31.75 a	30.35 a	211.31 a
Drought stress	**تنش خشکی**	4.82 b	20.70 a	20.75 b	28.42 b	24.27 b	167.82 b
TiO_2	**نانو دی‌اکسید تیتانیوم**						
TiO_2 utilization	**استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم**	5.34 a	21.70 a	21.58 a	30.24 a	30.52 a	208.97 a
Control	**شاهد**	4.92 a	21.34 a	20.82 b	29.93 a	24.09 b	170.16 b
Genotype	**ژنوتیپ**						
Kuseh Local	**محلی کوسه**	5.47 abc	23.43 abc	20.80 ab	25.85 de	27.19 b	205.48 bc
Sina	**سینا**	6.20 a	23.64 ab	20.71 b	24.63 e	31.54 ab	241.66 ab
Isfahan Local	**محلی اصفهان**	6.16 a	23.78 ab	21.90 ab	27.93 c	29.23 b	224.15 abc
Mexican 88	**مکزیکی ۸۸**	3.61 e	20.48 acd	20.84 ab	29.13 c	21.29 c	128.33 d
Faraman	**فرامان**	5.97 ab	16.50 e	20.79 ab	43.56 a	35.48 a	253.75 a
Soffe	**صفه**	4.94 bcd	25.48 a	21.10 ab	24.35 e	26.99 b	182.62 c
Goldasht	**گلدشت**	4.63 cde	18.99 de	22.25 a	37.93 b	29.93 ab	189.15 c
Mexican 11	**مکزیکی ۱۱**	4.08 de	19.82 cde	21.23 ab	27.30 cd	16.78 c	91.37 d

در هر ستون برای هر تیمار اعدادی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

In each column for each treatment, numbers followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Dancan's Multiple Range Test.

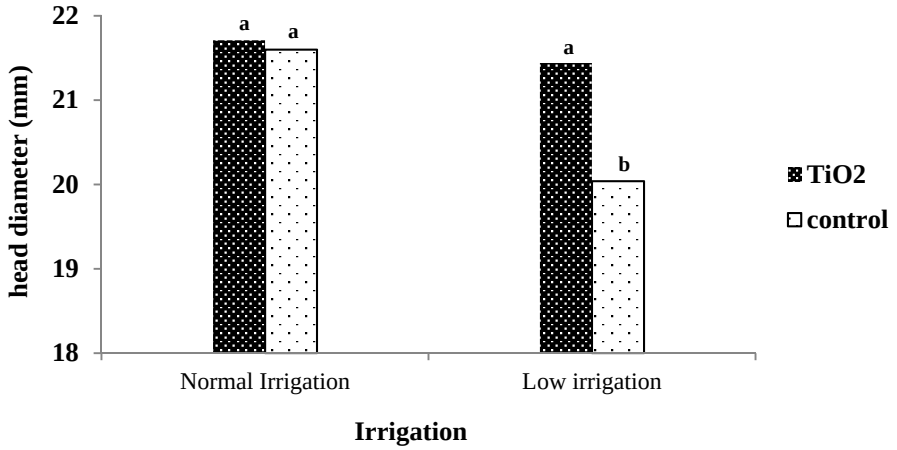
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. اثرمتقابل آبیاری و نانو دی‌اکسید تیتانیوم بر صفت تعداد دانه در طبق در طبق گلرنگ

Fig. 1. Interaction effect of irrigation and Tio2 on number of seed per head of safflower



شکل ۲. اثرات متقابل آبیاری و نانو دی‌اکسید تیتانیوم در صفت قطر طبق گلرنگ

Fig. 2. Interaction effect of irrigation and Tio2 on head diameter of safflower.

وزن هزار دانه

بین آبیاری نرمال و تنش کمبود آب تفاوت بسیار معنی‌داری در وزن هزار دانه وجود داشت (جدول ۱). میانگین وزن هزار دانه در آبیاری نرمال ۳۱/۷۵ گرم بود درحالی‌که در شرایط تنش خشکی وزن هزار دانه به میزان ۱۰ درصد کاهش یافت و به مقدار ۲۸/۴۲ گرم رسید (جدول ۲). مطالعات بر روی گلرنگ و سایر گیاهان زراعی نتایج متفاوتی ازنظر تغییرات وزن هزار دانه نشان داده است. تداوم تنش کمبود آب پس از مرحله گرده‌افشانی بر تعداد دانه‌های موجود در هر واحد زایشی گیاهان مختلف تأثیری ندارد، اما وزن دانه‌ها را کاهش می‌دهد (Fathian and Ehsanzadeh, 2012). در بین ارقام نیز تفاوت بسیار معنی‌داری در وزن هزار دانه وجود داشت (جدول ۱). اثرات متقابل آبیاری×ژنوتیپ، نانو دی‌اکسید تیتانیوم × ژنوتیپ و نانو دی‌اکسید تیتانیوم ×آبیاری× ژنوتیپ برای این صفت معنی‌دار شد.

اثر متقابل آبیاری در نانو دی‌اکسید تیتانیوم در ژنوتیپ نشان داد که رقم فرامان در شرایط آبیاری معمولی با اعمال نانو دی‌اکسید تیتانیوم و بدون اعمال نانو دی‌اکسید تیتانیوم بیشترین وزن هزار دانه را به خود اختصاص داد؛ بنابراین برای رقم فرامان در شرایط آبیاری معمولی اعمال نانو دی-اکسید تیتانیوم تأثیری بر وزن هزار دانه آن نداشت. در مرتبه بعدی رقم گلدشت در شرایط آبیاری معمولی و بدون اعمال نانو دی‌اکسید تیتانیوم بود که ازنظر آماری با رقم فرامان در شرایط کم آبیاری با اعمال و عدم اعمال نانو دی-اکسید تیتانیوم و رقم گلدشت در شرایط آبیاری معمولی و با اعمال نانو دی‌اکسید تیتانیوم در یک گروه قرار گرفتند. لذا

www.SID.ir

Archive of SID

رقم فرامان در کلیه شرایط و رقم گلدشت در آبیاری معمولی ازنظر وزن هزار دانه نسبت به سایر ارقام برتر بودند. در اکثر ژنوتیپ‌ها استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم در شرایط کم آبیاری نسبت به عدم استفاده از آن تفاوت معنی‌داری در این صفت ایجاد نکرد. درحالی‌که در رقم فرامان اعمال نانو دی‌اکسید تیتانیوم در شرایط کم آبیاری موجب افزایش وزن هزار دانه گردید به‌طوری‌که بین وزن هزار دانه در این شرایط با وزن هزار دانه در شرایط آبیاری معمولی و بدون اعمال نانو دی‌اکسید تیتانیوم تفاوت معنی-داری مشاهده نشد؛ اما در توده محلی اصفهان اعمال نانو دی‌اکسید تیتانیوم باعث کاهش مقدار این صفت نسبت به شاهد شد. کمترین وزن هزار دانه در توده محلی اصفهان در شرایط تنش خشکی و اعمال نانو دی‌اکسید تیتانیوم مشاهده شد (شکل ۳).

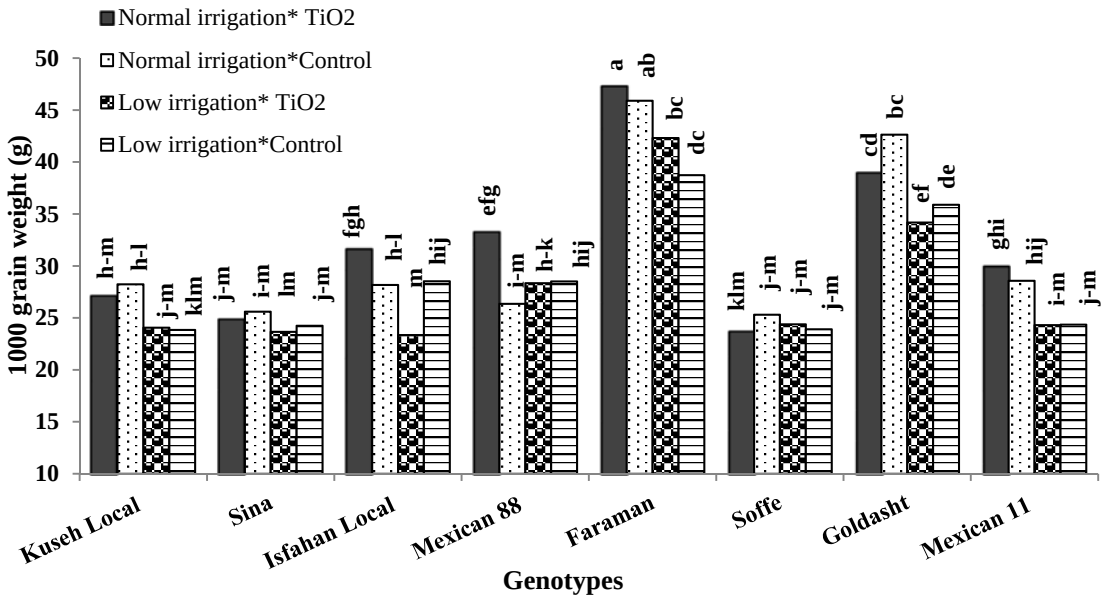
جدول ۳. همبستگی بین عملکرد و اجزاء عملکرد گلرنگ) شرایط بدون تنش در پایین قطر و تنش خشکی در بالای قطر)

Table 3. Correlation between yield and yield components of safflower (non stress at the bottom of diameter and drought stress at the top of diameter)

صفات Traits	تعداد طبق در بوته No.head. plant^{-1}	تعداد دانه در طبق No. seeds head^{-1}	قطر طبق head diameter	وزن هزار دانه 1000 grain weight	شاخص برداشت harvest index	عملکرد دانه grain yield
تعداد طبق در بوته No.head. plant^{-1}		0.122 ns	0.038 ns	0.002 ns	0.322*	0.580**
تعداد دانه در طبق No. seeds head-1	0.258 ns		0.067 ns	-0.407**	0.044 ns	0.147 ns
قطر طبق Head diameter	0.339*	0.388**		0.157 ns	0.138 ns	0.118 ns
وزن هزار دانه 1000 grain weight	0.008ns	-0.501**	0.075ns		0.377**	0.399**
شاخص برداشت Harvest index	0.450**	0.106ns	0.081 ns	0.281 ns		0.774**
عملکرد دانه Grain yield	0.708**	0.348*	0.272 ns	0.147 ns	0.833**	

ns، * و** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

Ns: non significant, *and ** significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.



شکل ۳. اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ و نانو دی‌اکسید تیتانیوم بر صفت وزن هزار دانه گلرنگ

Fig. 3. Interaction effect of irrigation, genotype and Tio2 on 1000 grain weight of safflower

www.SID.ir

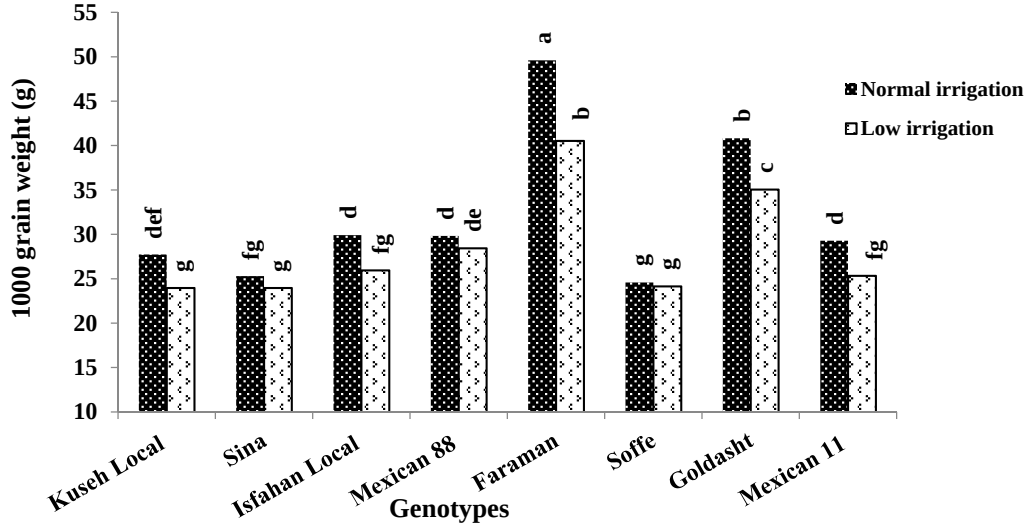
Archive of SID

شرایط کم آبیاری موجب کاهش وزن هزار دانه در تمام ژنوتیپ‌های موردبررسی شد که در اکثر این ژنوتیپ‌ها این کاهش ازنظر آماری معنی‌دار بود. رقم فرامان در آبیاری معمولی بالاترین وزن هزار دانه را داشت و علی‌رغم اینکه بیش از سایر ارقام تحت تأثیر تنش کم آبیاری قرار گرفت، در شرایط تنش نیز، این رقم همچنان ازنظر وزن هزار دانه برتر از سایر ارقام بود. البته به‌جز رقم گلدشت که در شرایط آبیاری معمولی با رقم فرامان در شرایط کم آبیاری در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴).

اعمال نانودی‌اکسیدتیتانیوم باعث افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه در رقم مکزیکی ۸۸ شد (شکل ۵). در شرایط آبیاری معمولی همبستگی منفی و معنی‌داری بین وزن هزار دانه با تعداد دانه در طبق مشاهده شد. ارتباط معنی‌داری بین وزن هزار دانه و سایر صفات در این شرایط مشاهده نشد. در شرایط کم آبیاری بین وزن هزار دانه با عملکرد دانه و شاخص برداشت همبستگی مثبت و معنی‌داری و با تعداد دانه در طبق همبستگی منفی و معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۳). لذا تأثیر وزن هزار دانه بر عملکرد دانه در شرایط کم آبیاری نسبت به شرایط آبیاری معمولی بیشتر بوده و کاهش عملکرد دانه در شرایط کم آبیاری احتمالاً بیشتر به دلیل کاهش وزن دانه‌ها بوده است. برخی محققین در رابطه با وزن هزار دانه در گلرنگ گزارش نمودند که وزن هزار دانه با تعداد دانه در طبق همبستگی منفی نشان داده که این امر ناشی از کاهش سهم هر دانه از مواد فتوسنتزی با افزایش تعداد دانه در طبق است که درنهایت موجب کاهش وزن هزار دانه شده است (Rahimi Malekshan et al., 2013; Bagheri et al., 2001).

شاخص برداشت

اثر آبیاری، نانو دی‌اکسید تیتانیوم و ژنوتیپ در شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۱). شاخص برداشت در شرایط خشکی تابع مقدار آب استفاده‌شده پس از گرده‌افشانی بوده که هرچه بیشتر باشد شاخص برداشت نیز بیشتر خواهد بود (Richards et al., 2002). نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) مشخص نمود در آبیاری معمولی شاخص برداشت ۳۰/۳۵ درصد و در تنش کم آبیاری ۲۴/۲۷ درصد بود؛ بنابراین کم آبیاری باعث کاهش ۲۵ درصدی شاخص برداشت شد. کمبود آب ازجمله عوامل محدودکننده رشد و نمو گیاه می‌باشد که علاوه بر کاهش ماده خشک تولیدی، موجب اختلال در تسهیم کربوهیدرات‌ها به دانه و در نتیجه کاهش شاخص برداشت می‌شود (Rezaie Soukht Abbandani and Ramezani., 2010).

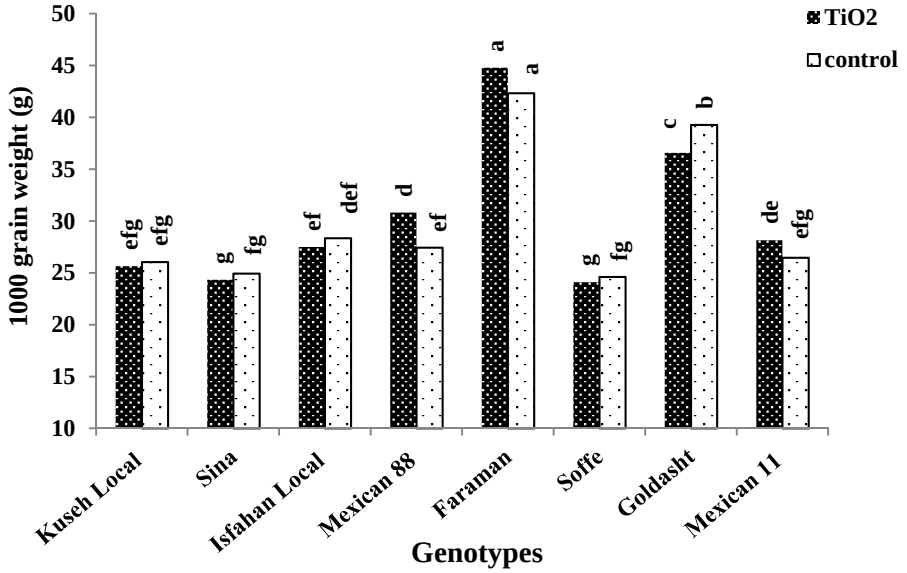


شکل ۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر صفت وزن هزار دانه گلرنگ

Fig. 4. Interaction effect of irrigation and genotype on 1000 grain weight of safflower

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و نانو دی‌اکسید تیتانیوم بر صفت وزن هزار دانه گلرنگ

Fig. 4. Interaction effect of genotype and Tio2 on 1000 grain weight of safflower.

تیمار نانو دی‌اکسید تیتانیوم باعث افزایش شاخص برداشت شد. میانگین شاخص برداشت در اعمال نانو دی-اکسید تیتانیوم ۳۰/۵۲ درصد و بیش‌تر از تیمار شاهد با میانگین ۲۴/۰۹ درصد بود. در پژوهش دیگری روی عدس بیشترین شاخص برداشت از محلول‌پاشی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم با غلظت ۰/۰۵ درصد در مرحله ۶۰ درصد ساقه روی به دست آمد (Soltani et al., 2013). با بررسی اثر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر گندم گزارش شده که بیشترین میزان شاخص برداشت در آبیاری معمولی مربوط به مرحله ساقه‌دهی و غلظت ۰/۰۳ درصد و در تنش خشکی بیشترین میزان شاخص برداشت مربوط به مرحله گلدهی و غلظت ۰/۰۳ درصد بوده است (Jaberzadeh et al., 2010).

بیشترین مقدار شاخص برداشت در رقم فرامان با میانگین ۳۵/۴۸ درصد مشاهده شد که با توده محلی کوسه و رقم گلدشت (به ترتیب ۳۱/۵۴ و ۲۹/۹۳ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار شاخص برداشت مربوط به ارقام مکزیکی ۱۱ و مکزیکی ۸۸ (به ترتیب ۱۶/۷۸ و ۲۱/۹۹ درصد) بود (جدول ۲). در شرایط آبیاری معمولی شاخص برداشت با تعداد طبق در بوته و عملکرد دانه و در شرایط کم آبیاری با تعداد طبق در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۳). ازآنجایی‌که یکی از اجزای محاسبه شاخص برداشت عملکرد دانه است، تغییرات آن به تغییرات عملکرد دانه وابستگی زیادی دارد.

عملکرد دانه

اثر آبیاری در عملکرد دانه معنی‌دار بود. میانگین عملکرد دانه در آبیاری معمولی با ۲۱۱/۳۱ گرم در مترمربع به میزان ۲۶ درصد بیشتر از عملکرد دانه در شرایط کم آبیاری با میانگین ۱۶۷/۸۲ گرم در مترمربع بود. عملکرد تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد که این عوامل خود متأثر از تنش آب هستند. به‌عنوان مثال مشاهده شده است که در رطوبت کافی، تراکم بوته بیش‌ترین تأثیر را بر عملکرد دانه دارد درحالی‌که در شرایط تنش آبی، تعداد دانه‌ها و گاهی اوقات وزن هزار دانه بیش‌ترین تأثیر را بر عملکرد دانه دارد (Omidi Tabrizi, 1998).

برخی محققین گزارش نمودند بیش‌ترین میزان کاهش عملکرد دانه در تنش خشکی در مرحله زایشی گیاه گلرنگ رخ‌داده که می‌تواند به دلیل سقط گل‌ها در اثر تنش خشکی باشد و نشان‌دهنده حساسیت زیاد این مرحله به تنش خشکی است. در تنش رویشی نیز کاهش زیادی در عملکرد دانه مشاهده‌شده که احتمالاً به خاطر مدت‌زمان این مرحله است، چراکه طولانی بودن این مرحله باعث کاهش شدید سطح برگ و فتوسنتز و در نتیجه کاهش ذخیره آسیمیلات-ها در اندام‌های مختلف رویشی برای انتقال در مرحله زایشی

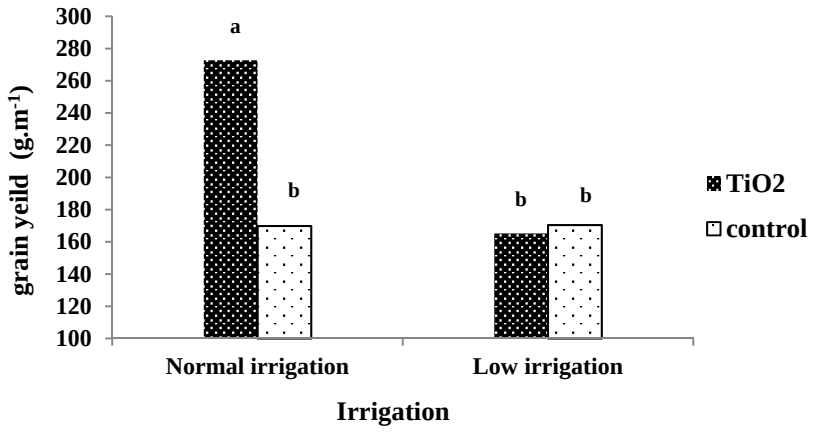
www.SID.ir

Archive of SID

و پر شدن دانه و درواقع تولید عملکرد است (Abedi Baba-Arabi et al., 2011). تیمار نانو دی‌اکسید تیتانیوم تفاوت معنی‌داری در عملکرد دانه ایجاد نمود و عملکرد را به میزان ۲۳ درصد افزایش داد. میانگین عملکرد دانه در اعمال نانو دی‌اکسید تیتانیوم ۲۰۸/۹۷ گرم در مترمربع و در تیمار شاهد ۱۷۰/۱۶ گرم در مترمربع بود.

در عدس بیشترین عملکرد دانه در کاربرد نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم در غلظت ۰/۰۲ درصد در زمان ۶۰ درصد ساقه روی و کمترین عملکرد دانه در کاربرد نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم در غلظت ۰/۰۲ درصد در زمان گلدهی حاصل شد. با بررسی اثرات محلول‌پاشی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر خصوصیات گندم تحت شرایط تنش خشکی گزارش شده که بالاترین میزان عملکرد دانه در آبیاری معمولی مربوط به مرحله گلدهی و غلظت ۰/۰۲ درصد دی‌اکسید تیتانیوم بود و بالاترین میزان عملکرد دانه در تنش خشکی مربوط به مرحله ساقه‌دهی و غلظت ۰/۰۲ درصد دی‌اکسید تیتانیوم بود. کاربرد محلول‌پاشی نانو ذرات با غلظت ۰/۰۲ درصد در شرایط تنش خشکی نسبت به عدم کاربرد محلول‌پاشی در همین شرایط عملکرد دانه را ۲۳/۱۳ درصد افزایش داد (Jaberzadeh et al., 2010). افزایش عملکرد اسفناج براثر استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم (Zang et al., 2005) و افزایش عملکرد سویا براثر استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم گزارش شده است (Lu et al., 2002).

اثر متقابل TiO_2× آبیاری در صفت عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۱). در شرایط کم آبیاری اعمال نانو دی‌اکسید تیتانیوم تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت (شکل ۶). ولی در شرایط آبیاری معمولی، با توجه به باز بودن بیشتر روزنه‌ها و تأثیر مثبتی که نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم در بهبود جذب نور و فعالیت آنزیم‌های مؤثر در فرایند فتوسنتز دارند، در نتیجه افزایش قابل‌توجهی در عملکرد دانه ایجاد شد. تفاوت بین ژنوتیپ‌ها برای عملکرد دانه معنی‌داری بود. رقم فرامان که با میانگین عملکرد دانه ۲۵۳/۷۵ گرم در مترمربع بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد با رقم سینا و توده محلی اصفهان (به ترتیب ۲۴۱/۶۶ و ۲۲۴/۱۵ گرم در مترمربع) اختلاف آماری معنی‌داری نشان ندادند. ارقام مکزیکی ۱۱ و مکزیکی ۸۸ به ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۹۱/۳۷ و ۱۲۷/۳۳ گرم در مترمربع کمترین عملکرد دانه را در بین ارقام موردبررسی داشتند. در شرایط آبیاری معمولی همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با صفات تعداد طبق، تعداد دانه در طبق و شاخص برداشت و در شرایط کم آبیاری همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با صفات تعداد طبق، وزن هزار دانه و شاخص برداشت مشاهده شد (جدول ۳). اگر اجزاء عملکرد دانه را تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هر دانه در نظر بگیریم. در شرایط آبیاری معمولی دو جزء تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق و در شرایط کم آبیاری دو جزء تعداد طبق در بوته و وزن هر دانه در عملکرد دانه مؤثر بودند.



شکل ۳. اثرمتقابل آبیاری و نانو دی‌اکسید تیتانیوم بر صفت عملکرد دانه گلرنگ

Fig. 6. Interaction effect of irrigation and Tio2 on grain yield of safflower.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری کلی

در این آزمایش تنش کمبود آب در اواخر مرحله گل‌دهی و در زمان دانه‌بندی صورت گرفت. کم آبیاری باعث کاهش تمام صفات موردبررسی شد اگرچه این کاهش فقط در وزن هزار و عملکرد دانه معنی‌دار بود. با توجه به همبستگی عملکرد دانه با تعداد طبق در بوته و وزن هزار دانه در شرایط کم آبیاری و چون این صفات از اجزاء مهم عملکرد هستند، به‌تبع کاهش این صفات در شرایط تنش کمبود آب عملکرد دانه نیز کاهش یافت. نانو دی‌اکسید تیتانیوم در شرایط تنش خشکی اثرات مضر تنش بر قطر طبق را کاهش داد؛ اما به دلیل اینکه ارتباط قوی بین قطر طبق با عملکرد دانه مشاهده نشد، اعمال نانو دی‌اکسید تیتانیوم نتوانست از طریق این صفت بر عملکرد دانه در شرایط تنش کم آبیاری اثر بگذارد. لذا برای نیل به عملکرد بالاتر در شرایط تنش لازم است اعمال نانو دی‌اکسید تیتانیوم در مراحل رشدی قبل از گلدهی صورت گیرد تا گیاه زمان بیشتری برای استفاده از این نانو ذرات داشته باشد. از آن جائی‌که تأثیر نانو دی‌اکسید تیتانیوم بر عملکرد دانه در شرایط آبیاری معمولی مثبت بود، احتمالاً این اثر به خاطر تأثیر مثبت آن در جذب عناصر به‌ویژه عناصری مانند روی و آهن که در فرایند فتوسنتز نقش دارند در شرایط رطوبتی بهتر باشد. همچنین ممکن است این نانو ذرات از طریق افزایش سیستم ایمنی، بهبود جذب نور و فعالیت آنزیم روبیسکو، اثر مثبت بر فتوسیستم II و فرایند فتوسنتز موجب افزایش عملکرد در شرایط آبیاری معمولی شده باشند. ارقام مکزیکی ۱۱ و مکزیکی ۸۸ عملکرد خوبی را در شرایط منطقه‌ای این آزمایش نشان ندادند ولی میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های فرامان، سینا و توده محلی اصفهان نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بیشتر بود.

منابع

Abedi Baba-Arabi, S., Movahhedi Dehnavi, M., Yadavi, A.R., Adhami, E., 2011. Effects of Zn and K foliar application on physiological traits and yield of spring safflower under drought stress. Electronic Journal of Crop Production. 4(1), 75-95. [In Persian with English Summary].

Abel, G.H., 1969. An analysis of yield components in safflower. Research Conference. Proc. Brd. University of California, Davis. Pp. 18-22.

Amani Lari, Sh., 2011. Study some physiological aspects of different safflower cultivars at drought stress condition. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, the University of Zanjan, Iran. [In Persian with English Summary].

Bagheri, A., Yazdi-Samadi, B., Taeb, M., Ahmadi, M.R., 2001. Study of correlation and relation between plant yield and other quantitative and qualitative traits in safflower, Iranian Journal of Agricultural Science. 32(2), 295-307. [In Persian with English Summary].

Baghkhani, F., Farahbakhsh, H., 2008. Effects of drought stress on seed yeild and some physiological traits of three spring safflower cultivars. Agricultural Research: Water, Soil and plant in agriculture. 8(2), 57-45. [In Persian with English Summary].

Berahmand, A.A., Ghafarian Panahi, A.H., Sahabi, H., Feizi, P., Rezvani Moghaddam, P., Shahtahmassebi, N., Fotovat, A., Karimpour H., Gallehgir, O., 2012. Effects of silver nanoparticles and magnetic field on growth of fodder maize (*Zea mays* L.), Biological Trace Element Research. 149, 419 – 424.

Bowen, P., Menzies, J., Ehert, D., Samuel, L., Glass, A.D.M., 1992. Soluble silicon sprays inhibit powdery development in grape leaves, Journal of American Society of Horticultural Science. 117, 906-912.

Daju, L., Mundel, H., 1996. Saffower *(Carthamus tinctorius*L). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. IPGCPR, Catersleben, IPGRI, Rome, Italy. 83pp.

Farokhinia, M., Roshdi, M., Pasban Eslam, B., Sasan Dost, R., 2011. Evaluation of some physiological characteristics and yield of spring safflower under water stress condition. Iranian Journal of Field Crop Science. 43(3), 545-553. [In Persian with English Summary].

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M., 2009. Plant drought stress:

www.SID.ir

Archive of SID

effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development. 29(1), 212-185.

Fathian, Sh., Ehsanzadeh, P., 2012. Relationship of some physiological traits with yield of spring safflower under two irrigation regimes. Iranian Journal of Field Crop Science. 43(3), 649-659. [In Persian with English Summary].

Feizi, H., Moghaddam, P.R., Shahtahmassebi, N., Fotovat, A., 2012. Biological Trace Element Research. 146, 101-106.

Gao, F.Q., Hong, F.S, Liu, C., Zheng, L., Su, M.Y., Wu. X., Yang, F., Wu, C., Yang, P., 2006. Mechanism of nanoanatase TiO2 on promoting photosynthetic carbon reaction of spinach: inducing complex of Rubisco–Rubisco activase. Biological Trace Element Research. 11(1-3), 239-254.

Chao, S.H.L., Choi, H.S., 2005. Method for Providing Enhanced Photosynthesis. Korea Research Institute of Chemical and Technical Technology, Jeonju. South Korea

Jaberzadeh, A., Moaveni, P., Tohidi Moghadam, H., Moradi, A., 2010. Effect of nano titanium dioxide particles spraying on some agronomy traits of wheat under drought stress condition. Crop Ecophysiology. 2(4), 259-301. [In Persian with English Summary].

Hashemi-Dezfouli, A. 1994. Growth and yield of safflower as affected by drought stress, Crop Research Hisar. 7, 313- 319.

Hong, F., Zhou, J., Liu, C., Yang, F., Wu, C., Zheng, L., Yang, P., 2005. Effects of Nano-TiO2 on photochemical reaction of chloroplasts of Spinach, Biological Trace Element Research. 105, 269-279.

Kafi, M., Rostami, M., 2007. Effect of drought stress on yield, yield components and oil content of three safflower genotypes in reproductive stage in irrigation with saline water. Iranian Journal of Field Crops Research. 5(1), 121-131. [In Persian with English Summary].

Kafi, M., Borzoie, A., Salehi, M., Kamandi, A., Nabati, J., 2008. Physiology of Environmental Stresses in Plants. Mashhad Jahad-e-daneshgahi press. 502p.

Lu, C.M., Zhang, C.Y., Wu, J.Q., Tao, M.X., 2002. Research of the effect of nanometer on germination and growth enhancement of Glycine max and its mechanism. Soybean Science. 21, 168-172.

Omidi, A.H., 2009. Effect of drought stress at different growth stages on seed yeild and some agro-physiological traits of three spring safflower cultivars. Seed Plant Production Journal. 25, 15-31. [In Persian with English Summary].

Omidi–Tabrizi, A.H., 1998. Correlation between traits and path analysis for grain and oil yield in spring safflower, Seed and Plant Improvement Institute. Karaj. Iran. Pp. 36-45.

Mingyu, S., Hong F., Liu, C., Wu, X., Liu, X., Chen, L., 2007. Effects of nano-anataseTiO2 on absorption, distribution of light and photo reduction activities of chloroplast membrane of spinach, Biological Trace Element Research. 118, 120–130.

Mohammadi, R., Maali-Amiri R., Abbasi, A., 2013. Effect of TiO_2 Nanoparticles on Chickpea Response to Cold Stress, Biological Trace Element Research. 152, 403–410.

Nair, R., Varghese, S.H., Nair, B.G., Maekawa, T., Yoshida, Y., Sakthi Kumar, D., 2010. Nano particulate material delivery to plants. Plant Science. 179, 154–163.

Padmaja, G., Tejovathi, G., Anwar, S.Y., 1983. Anatomical studies on certain in- itro induced abnormal variants in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Phytomorphology. 40, 233-241.

Pais, I., 1983. The biological importance of titanium. Journal of Plant Nutrition. 6, 3-131.

Pasban Eslam, B., 2010. Effect of drought stress on seed yeild and oil yeild of autumn safflower cultivars. Iranian Journal of Field Crop Science. 42(2), 275- 283. [In Persian with English Summary].

Qi, M., Liu, Y., Li, T., 2013. Nano-TiO_2 improve the photosynthesis of tomato leaves under mild heat stress. Biological Trace Element Research. 156, 323-328.

Rahimi Malekshan, F., Tavakoli, A., Rastgoo, M., Azimi, M.R., 2013. Effect of petals harvesting time on seed and petal yield in the cultivars of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants. 30(6), 852-860. [In Persian with English Summary].

Rezaie Soukht Abandani, R., Ramezani, R., 2010. Effect of irrigation period and nitrogen fertilizer on growth physiological index and yield of forage corn (hybrid s.c 704) in Mazandaran province conditions. Journal of

www.SID.ir

Archive of SID

Crop Physiology. 2(3), 19- 44. [In Persian with English Summary].

Richards, R.A., Rebetzke, G.J., Condon, A.G, Van Herwaarden, A.F., 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. Crop Science. 42, 111-121.

Rostami, M., 2004. Effects of last season drought stress on yield and physiological traits of wheat cultivars and determine the best index of drought resistance. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. [In Persian with English Summary].

Scott, N., Chen, H., 2013. Nanoscale Science and Engineering for Agriculture and Food Systems. Industrial Biotechnology. 9(1), 17-18.

Shi, H., Magayer, R., Castranova, V., Zhao, J., 2013. Titanium dioxide nanoparticles: a review of current toxicological data. Retrieved October 5, 2015, from http://www.particleandfibretoxicology.com

Siddiqui, M., Al-Whaibi, M., 2013. Role of nano-SiO_2 in germination of tomato (*Lycopersicum esculentum seeds Mill*.). Saudi Journal of Biological Sciences. 21, 13-17.

Soltani, M., Moaveni, P., Noori, H., 2013. The effect of foliar application of nanoparticles of titanium dioxide on yield and antioxidant enzyme activities in lentil (*Lens culinaris* Medik.) Journal of Plant Ecophysiology Research, Special Issue, 78-88. [In Persian with English Summary].

Tavakoli, A., 2002. Effect of water withdrow at different growth stages on safflower yield, yield components and oil yield. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, the University of Tehran, Iran. [In Persian with English Summary].

Yang, F., Hong, F., You, W., Liu, C., Gao, F., Wu, C., Yang, P. 2006. Influence of nanoanatase TiO_2 on the nitrogen metabolism of growing spinach, Biological Trace Element Research. 110(2), 179-190.

Zeinali, E. 1999. Safflower: Characteristics, Production and Utilization. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Press. [In Persian].

Zhang, M., Sheng, G., Fu, J., An, T., Wang, X., Hu, X., 2005. Novel preparation of nanosized zno–sno2 with high photocatalytic activity by homogeneous co-precipitation method. Materials Letters. 59, 3641-3644.

Zheng, L., Hong, F., Lu, S., Liu, C., 2005. Effect of nano-TiO2 on strength of naturally aged seeds and growth of Spinach, Biological Trace Element Research. 105, 83-91.

www.SID.ir