Archive of SID

نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال چهاردهم، شماره ۵۴، تابستان ۱۳۹۸ / صفحات: ۸۹-۷۴

بررسی پاسخ برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه ارقام خرفه (*Portulaca oleracea* L.) به تنش خشکی و محلول‌پاشی نانو کلات آهن

نفیسه مهدی‌نژاد[1*]، حمیده جمال‌پور[2]، براتعلی فاخری[1]، مصطفی خواجه[3]

[1]گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

[2]گروه باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

[3]گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زابل، زابل، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۶

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی نانو کلات آهن و تنش خشکی بر تغییرات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه ارقام خرفه، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، در مزرعه تحقیقاتی جهاد کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان اهر در سال ۱۳۹٤ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح تنش خشکی (۹۰ (شاهد)، ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی)، دو سطح نانو کلات آهن (صفر (شاهد) و یک لیتر در هکتار) و دو رقم خرفه (تهران و کازرون) بود. نتایج نشان داد محلول‌پاشی آهن در شرایط تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر برخی صفات داشت، به‌طوری که بیشترین مقدار کلروفیل b در شرایط نرمال آبیاری و محلول‌پاشی نانو کلات آهن، بیشترین غلظت سدیم از برهم‌کنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول‌پاشی و بیشترین پتاسیم در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی نانو کلات آهن حاصل گردید. با توجه به معنی‌داری اثرات سه‌جانبه، بیشترین میزان پرولین، قند محلول و میزان آهن از رقم کازرون در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با محلول‌پاشی نانو کلات آهن حاصل گردید. بیشترین میزان کلروفیل a ، کارتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها از محلول‌پاشی نانو کلات آهن بر رقم کازرون در شرایط آبیاری نرمال به‌دست آمد. همچنین در شرایط تنش استفاده از نانو کلات آهن نسبت به شاهد موجب افزایش ۳۲/٦٦ درصدی عملکرد دانه گردید و رقم کازرون نسبت به رقم تهران برتری داشت به طوری که عملکرد دانه رقم کازرون ۱/۳۱ برابر رقم تهران بود.

واژه‌های کلیدی: تغذیه برگی، تنش خشکی، خرفه، رنگیزه فتوسنتزی، عملکرد دانه، عناصر غذایی، نانو آهن

مقدمه

خرفه (*Portulace oleracea* L.) گیاهی علفی یکساله از تیره پروتولاسه و یکی از گیاهان شناخته شده در طب سنتی است که از زمان‌های بسیار دور مورد استفاده قرار گرفته و در درمان بسیاری از بیماری‌ها نیز کاربرد دارد (Zarei et al., 2014). خرفه در رفع سردرد (Dweck, 2013)، تسکین عطش و قطع هر نوع خونریزی (Majoosi et al., 2009)، خرد کردن سنگ مثانه، کاهش سرفه و سوزش مجرای ادرار، مثانه، روده‌ها و بواسیر مفید است (Khare, 2007). آب، مواد لعابی، پکتین، پروتئین، کربوهیدرات، اسیدهای چرب و به‌ویژه اسیدهای چرب غیر اشباع امگا ۳، مواد آنتی اکسیدان و عناصر معدنی متعدد شامل آهن، مس، منگنز، پتاسیم، کلسیم و فسفر در بخش‌های مختلف این گیاه وجود دارد.

*نویسنده مسئول: nmahdinezhad@uoz.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین این گیاه به‌عنوان یک آنتی باکتری، آنتی‌ویروس، ضد دیابت و تقویت کننده سیستم ایمنی مطرح است (Ezekwe et al., 1999; Mohamed and Hossein, 1994).

از جانبی شناخت چگونگی پاسخ گیاهان دارویی به تنش‌های محیطی جهت تولید و اصلاح ارقام متحمل به تنش کاملاً ضروری است. تنش خشکی از جمله تنش‌های محیطی است که با تأثیرگذاری بر رشد و نمو گیاهان می‌تواند باعث کاهش رشد و عملکرد آنان شود. در واقع تنش خشکی با اختلال در عمل روزنه‌ها و سیستم فتوسنتزی، تخریب پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، کاهش سطح برگ و ریزش گل و میوه موجب کاهش عملکرد گیاهان می‌گردد (Nori Azad and Haji Bagheri, 2008). تنش‌های محیطی همچنین موجب تغییراتی در بیان ژن و متابولیسم سلولی، تا پیری برگ و ایجاد پژمردگی دائم و رشد و عملکرد گیاه می‌شود. نوع و میزان خسارت ناشی از این تنش به شدت و مقاومت گیاه نیز بستگی دارد (Khazaee, 2002). وقوع تنش خشکی در مرحله زایشی باعث پیری زودرس و کاهش سطح برگ و نیز کاهش سهم انتقال مجدد مواد ذخیره شده در ساقه به دانه و در نهایت موجب کاهش عملکرد به سبب کاهش وزن دانه‌ها می‌شود (Ramroudi et al., 2011). همچنین تنش خشکی موجب تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی، کاهش مقدار کلروفیل برگ و درنهایت تخریب تشکیلات فتوسنتزی می‌گردد (Kirnak et al., 2001). علاوه بر این تنش خشکی فعالیت‌های فتوشیمیایی در گیاه را محدود و فعالیت آنزیم‌ها در سیکل کالوین را کاهش داده است (Monakhova and chernyadev, 2002) و با افزایش شدت آن اختلال در انتقال مواد و عناصر به دانه را به‌دنبال خواهد داشت (Khan et al., 2003).

وجود دمای زیاد و وضعیت تغذیه‌ای نامناسب برای گیاه، می‌تواند اثرهای مضر تنش خشکی را تشدید نماید. گیاهی که خوب تغذیه شده و به مقدار کافی عناصر کم‌مصرف و پرمصرف را دریافت کرده باشد، مقاومت بهتری به خشکی خواهد داشت (Rashnoo et al., 2013; Yeritsyan and Economakis, 2002). در این میان عنصر کم مصرف آهن نه تنها نقش مهمی در متابولیسم سلولی و فعالیت آنزیمی در گیاهان بویژه در شرایط تنش دارد (Ruiz et al., 2000). بلکه در شرایط کمبود آن گیاه با کاهش مقدار کلروفیل برگ‌ها (Morales, 1996)، زردی برگ، کاهش فتوسنتز و غلظت کلروفیل (Chen et al., 2004)، کاهش وزن خشک بخش هوایی و ریشه (Ksouri et al., 2007)، تغییر غلظت و محتوای آهن (Mahmoudi et al., 2005) و سایر عناصر فلزی در بافت‌های خود (Chen et al., 2004) مواجه خواهد شد. نتایج آزمایشی بر گیاه دارویی زیره سبز نشان داد که محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف (آهن و روی) در مناطقی در معرض تنش کم‌آبی، فرایندهای بیوشیمیایی و افزایش مقاومت به تنش خشکی در این گیاه داشت (Amiri Nejad et al., 2015). نتایج تحقیقی در کنجد نشان داد که نانو اکسید آهن موجب افزایش محتوای رنگدانه‌های نورساختی (سبزینه b و کارتنوئیدها) در شرایط تنش خشکی شد (Heidari et al., 2016).

با توجه به وقوع خشکسالی‌های متعدد و بحران کم‌آبی در کشور، فقر غذایی خاک‌های زراعی آذربایجان‌شرقی از نظر عناصر کم‌مصرف آهن، و وجود قابلیت‌های این کشاورزی این استان در زمینه تولید گیاهان دارویی به‌ویژه خرفه، انجام این تحقیق ضروری به نظر می‌رسید. لذا هدف از پژوهش حاضر، بررسی واکنش‌ها و آستانه تحمل گیاه ارقام مختلف خرفه به تنش خشکی و امکان افزایش تحمل گیاه از طریق محلول‌پاشی نانو کلات آهن است.

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، در مزرعه تحقیقاتی جهاد کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان اهر (آذربایجان شرقی) در سال زراعی ۹۵-۹٤ اجرا شد. اهر با ارتفاع ۱۳٤۱ متر از سطح دریا واقع شده و دارای آب و هوای معتدل و نیمه خشک است. فاکتورهای آزمایش شامل سه سطح تنش خشکی (۹۰ (شاهد)، ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) به عنوان عامل اصلی و دو سطح نانو کلات آهن (شاهد (کنترل) و یک میلی‌گرم بر لیتر) و دو رقم خرفه (تهران و کازرون) عوامل فرعی بود.

زمین محل آزمایش در پاییز ۱۳۹۳ شخم زده شد و در تابستان ۱۳۹٤ پس از دیسک زدن، با ایجاد کرت برای کشت آماده گردید. هر کرت آزمایشی شامل پنج ردیف به فاصله ٦۰ سانتی‌متر و به طول ۲/۵۰ متر بود. بر روی هر ردیف بذور دو رقم خرفه (تهران و کازرون) با فاصله ٤۰ سانتی‌متر و به عمق ۰/۵ سانتی‌متر کشت شدند. برای رسیدن به تراکم مطلوب، بوته‌ها در مرحله ٤ تا ۸ برگی تنک شدند. آبیاری به فاصله هر سه روز یکبار به طریقه نشتی صورت گرفت. در مراحل اولیه که رشد خرفه کند بود، علف هرز با وجین دستی کنترل شدند. محلول‌پاشی نانو کلات آهن (مشخصات در جدول ۲) در دو مرحله (۸ برگی و مرحله گلدهی) با غلظت مورد نظر در هنگام غروب انجام شد تا جذب محلول بهتر صورت بگیرد و تبخیر محلول به حداقل برسد.

اعمال تنش خشکی زمانی که گیاه به مرحله چهار برگی رسید شروع شد. تنش خشکی با استفاده از دستگاه تی دی آر[1] (جهت تعیین دور آبیاری در تیمارهای مختلف تنش از دستگاه تی دی آر مدل ترایم ساخت شرکت ایمکو استفاده گردید. با استفاده از دستگاه تی دی آر سه شاخه قابل حمل، میزان رطوبت در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک هر یک از کرت‌ها تعیین، و زمان آبیاری براساس زمان رسیدن به هر یک از تیمارهای خشکی صورت گرفت) صورت گرفت.

به‌منظور ارزیابی صفات فیزیولوژیکی (آزمایشات فیزیولوژیکی در پژوهشکده زیست فنآوری (بیوسنتر) دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل انجام شد)، در ابتدای مرحله گلدهی، نمونه‌های ۵ گرمی از برگ‌های سالم هر گیاه برداشته و بلافاصله بعد از قرار دادن در ورقه‌های آلومینیومی و تا زمان آزمایش‌های مربوط در فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

اندازه‌گیری مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئیدها: برای سنجش کلروفیل از بالاترین برگ توسعه یافته استفاده شد. در این روش ۰/۱ گرم از بافت برگ را با استن ۸۰٪ به‌تدریج له گردیده تا کلروفیل وارد محلول استنی شود و در نهایت حجم محلول با استن ۸۰٪ به ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ٤۰۰ دور سانتریفیوژ و سپس جذب نوری محلول رویی (روشناور) در طول موج‌های ٦٤٦/۸، ٤۷۰ و ٦٦۳/۲ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. مقدار کلروفیل و کاروتنوئیدها طبق معادله‌های زیر محاسبه شدند (Arnon, 1967).

(معادله ۱)

$$\text{Chlorophyll a} = 12.25\times A663.2 - 2.798\times A646.8$$

(معادله ۲)

$$\text{Chlorophyll b} = 21.50\times A646.8 - 5.10\times A663.2$$

(معادله ۳)

$$\text{Carotenoids} = (1000\times A470 - 1.82\times \text{Chl a} - 85.02\times \text{Chl b})/ 198$$

(A = جذب نور در طول موج‌های ٦٦۳، ٦۵٤ و ٤۷۰ نانومتر)

اندازه‌گیری غلظت آنتوسیانین‌ها: برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین‌ها از روش واگنر (Wagner, 1979)

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده شد. ۰/۱ گرم بافت تازه برگ در هاون چینی، با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص و کلریدریک اسید خالص به نسبت حجمی ۹۹ به ۱) به‌طور کامل ساییده شد و در لوله‌های آزمایش درپیچ‌دار به مدت ٢٤ ساعت، در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت، سپس به مدت ۱۰ دقیقه، با سرعت ٤۰۰۰ دور در دقیقه، سانتریفیوژ و جذب محلول بالایی در طول موج ۵۵۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر تعیین گردید. برای محاسبه غلظت از فرمول زیر استفاده شد (ضریب خاموشی (ε) ۳۳۰۰۰ سانتی‌متر بر مول در نظر گرفته شد).

(A= جذب، b= عرض کووت و C = غلظت محلول مورد نظر)

$$A= \varepsilon bC$$

اندازه‌گیری غلظت پرولین: میزان پرولین برگ به روش باتز و همکاران (Bates et al., 1973) تعیین گردید برای این منظور ۰/۵ گرم از نمونه برگ وزن و ضمن سائیدن داخل هاون چینی به تدریج ۱۰ سی‌سی سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪ به آن اضافه شد. محلول حاصل به لوله آزمایش منتقل و به مدت ۱۵ دقیقه و ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید و از عصاره حاصل ۱ سی‌سی برداشته در لوله آزمایش ریخته و سپس ۱ سی‌سی معرف نین هیدرین و ۱ سی سی اسید استیک گلاسیال به آن افزوده و ۱ ساعت در حمام بن ماری ۱۰۰ درجه قرار گرفت تا رنگ آجری تولید شد. سپس جهت توقف واکنش‌ها در آب یخ قرار داده شد و بعد از سرد شدن، در هر لوله آزمایش ٤ میلی لیتر از محلول تولوئن اضافه گردید، در هر لوله، ۲ فاز تشکیل شد. فاز بالایی که حاوی کمپلکس رنگی بود، برای اندازه‌گیری میزان پرولین استفاده شد و میزان جذب نور آن در طول موج ۵۲۰ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد.

اندازه‌گیری غلظت قندهای محلول: اندازه‌گیری قندهای محلول با استفاده از روش کرپسی و همکاران (Kerepsi et al., 1996) صورت گرفت. برای این منظور ابتدا ۰/۲ گرم بافت توسعه یافته که در مرحله گلدهی و شیری شدن دانه‌ها برداشت شده بودند، به همراه ۱۰ سی سی اتانول ۹۵ درصد (یا ۵ سی‌سی اتانول ۹٦ درصد) را به لوله‌های آزمایش در بسته قرار داده و به‌مدت یک ساعت در حمام بن‌ماری در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. پس از سرد شدن ۱ سی سی از نمونه‌ها را برداشته و به آن ۱ سی‌سی فنل ۰/۵ درصد و ۵ سی‌سی اسید سولفوریک ۹۸ درصد اضافه گردید. میزان نور جذبی در ٤۸۳ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. میزان کربوهیدرات استخراجی بر اساس میکروگرم در گرم وزن تر از جدول استاندارد ثبت گردید.

اندازه‌گیری درصد عنصر سدیم و پتاسیم: جهت اندازه‌گیری عناصر سدیم و پتاسیم از روش خاکسترگیری خشک استفاده شد. ابتدا نمونه‌های خشک شده از برگ گیاه، آسیاب و سپس دو گرم از هر نمونه در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره سوزانده شدند. بعد از آن ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال به نمونه‌ها اضافه شد. سپس حجم محلول بدست آمده پس از عبور از کاغذ صافی با افزودن آب مقطر به ۱۰۰ میلی لیتر رسیده، آنگاه با استفاده از دستگاه فلم فتومتر میزان عناصر سدیم و پتاسیم اندازه‌گیری شدند (Tabatabai, 2009).

اندازه‌گیری درصد عنصر آهن: به منظور سنجش یون آهن، ۰/۵ گرم از نمونه گیاهی خشک را در ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ له نموده و سوسپانسیون حاصل به‌مدت ٢٤ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا نمونه به‌خوبی در اسید حل گردد. سپس محلول با آب دیونیزه به حجم رسیده

www.SID.ir

Archive of SID

سپس مقدار جذب با دستگاه جذب اتمی خوانده شد. در نهایت با استفاده از منحنی استاندارد مربوط به یون‌ها مقدار آنها تعیین گردید (White, 1976).

اندازه‌گیری عملکرد دانه: به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه از هر واحد آزمایشی پس از حذف حاشیه‌ها از مساحتی در حدود یک متر مربع نمونه‌برداری شد و پس از جدا کردن دانه‌ها، برای تعیین عملکرد دانه، نمونه‌ها در آون ۳۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت گذاشته شدند سپس اقدام به توزین گردید. تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با نرم‌افزار SAS (ver 9.2) صورت پذیرفت.

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در عمق ۳۰ سانتیمتری

عناصر قابل جذب									ذرات خاک			
هدایت‌الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	اسیدیته	مواد آلی	فسفر	پتاسیم	مس	منگنز	روی	آهن	رس	سیلت	شن	بافت خاک
	درصد		میلی‌گرم در کیلوگرم						درصد			
۱/۰۷	۷/٤	۰/۷٦	۸	۱۰٤	۱/۹	۱۱	۰/٦	۱/٦	۸	۱۸	۷٤	شنی-سیلتی

جدول ۲: مشخصات نانو کلات آهن مورد استفاده

شرکت سازنده	میزان آهن	pH	نحوه مصرف	میزان مصرف	نوع خاک قابل‌استفاده
خضراء	۹ درصد	۹-٤	خاکی و محلول‌پاشی	محلول‌پاشی: دو در هزار خاکی: ۱۰-۳ کیلوگرم در هکتار	آهکی و قلیایی

نتایج

رنگدانه‌های فتوسنتزی

کلروفیل a: اثرات ساده تنش خشکی، نانو کلات آهن و رقم و اثرات دو جانبه نانو آهن و تنش، نانو آهن و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر سه‌جانبه تنش و نانو آهن و رقم در سطح پنج درصد دارای تفاوت آماری معنی‌داری بودند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد، تنش موجب کاهش محتوای کلروفیل a و در رقم کازرون محتوای کلروفیل a بیشتری نسبت به رقم تهران در همه سطوح خشکی داشت و محلول‌پاشی نانو کلات آهن در همه سطوح کم‌آبی محتوای کلروفیل a را افزایش داد به طوری که بیشترین میزان (٦/۹۹ میلی گرم در گرم بافت برگ) از آبیاری نرمال رقم کازرون و مصرف نانو آهن و کمترین میزان (۲/٤۹ میلی گرم در گرم بافت برگ) از تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم مصرف کود (شاهد) مشاهده شد (جدول ٤).

کلروفیل b: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی، نانو کلات آهن و رقم، اثرات دو جانبه آنها (به جز نانو کلات آهن و رقم) اثر بسیار معنی‌داری در سطح یک درصد داشت اما اثر سه‌گانه آنها تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد (جدول ۳). تنش سبب کاهش کلروفیل b گردید. بررسی مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن و تنش نشان داد بیشترین میزان کلروفیل b (٤/٤۷ میلی گرم در گرم بافت برگ) در شرایط نرمال آبیاری و محلول‌پاشی نانو کلات آهن و کمترین غلظت (۰/٦۰ میلی گرم در گرم بافت برگ) در شرایط ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول‌پاشی مشاهده گردید. در شرایط تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی غلظت کلروفیل b در صورت مصرف نانو کلات آهن ۸۰ درصد بیشتر از

www.SID.ir

Archive of SID

عدم مصرف کود (شاهد) در همین شرایط تنش بود (جدول ٤).

اثر رقم و برهم‌کنش رقم و تنش در سطح آماری یک درصد سبب تفاوت بسیار معنی‌داری شد (جدول ۳). به طوری که بیشترین میزان (٤/٢٤ میلی گرم در گرم بافت برگ) در رقم کازرون در شرایط آبیاری نرمال و کمترین میزان (٤٨/ ۰ میلی گرم در گرم بافت برگ) مربوط به رقم تهران در شرایط تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ٤). اثر دوگانه نانو آهن و رقم و اثر سه‌گانه تنش، نانو آهن و رقم معنی‌دار نشد.

رنگدانه‌های غیرآنزیمی

کاروتنوئیدها: نتایج نشان داد اثرات اصلی و دوجانبه خشکی، رقم و نانو کلات آهن (بجز اثر متقابل نانو آهن و رقم) و اثر سه‌جانبه تیمارها تأثیر بسیار معنی-داری بر کارتنوئیدها خرفه داشت (جدول ۳). بیشترین میزان کارتنوئیدها (١/٦٧) از محلول‌پاشی نانو کلات آهن بر رقم کازرون در شرایط آبیاری نرمال و کمترین میزان (۰/۸۰) را رقم تهران در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول‌پاشی ایجاد کرد (جدول ٤).

آنتوسیانین‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تنش خشکی، نانو کلات آهن و رقم، اثرات دوجانبه آنها و اثر سه‌جانبه در سطح یک درصد بر صفت آنتوسیانین‌ها معنی‌دار شد (جدول ۳). تنش و محلول‌پاشی نانو کلات آهن موجب افزایش غلظت آنتوسیانین خرفه شد. رقم کازرون در هر سه سطح کم‌آبی نسبت به رقم تهران برتری داشت به طوری که در شرایط تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و بدون محلول‌پاشی، میزان آنتوسیانین رقم کازرون ۱۵/۰۹ درصد نسبت به رقم تهران افزایش داشت (جدول ٤). نتایج مقایسه میانگین اثر سه‌جانبه نشان داد بیشترین (۰/۰۱۷) و کمترین (۰/۰۰٤) غلظت به ترتیب مربوط به رقم کازرون در شرایط ۹۰ درصد ظرفیت زراعی (آبیاری نرمال) و محلول‌پاشی نانو کلات آهن و رقم تهران در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد (جدول ٤).

متابولیت‌های سازشی

پرولین: اثرات اصلی تنش خشکی، نانو کلات آهن و رقم همچنین اثرات متقابل آنها و اثر سه‌گانه خشکی، نانو کلات آهن و رقم اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر میزان پرولین خرفه داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر سه جانبه حاکی از آن بود که در شرایط خشکی هر دو رقم، پرولین بیشتری نسبت به شرایط نرمال آبیاری تولید کردند. بیشترین میزان پرولین (۱/۲۲ میلی گرم در گرم وزن تر) از رقم کازرون در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با محلول‌پاشی حاصل گردید. به طور کلی افزایش میزان پرولین در سطح ۵۰ درصد نسبت به ۷۰ درصد بیشتر از ۷۰ درصد نسبت به آبیاری نرمال بود (جدول ٦).

قندهای محلول: اثرات اصلی تنش خشکی، نانو کلات آهن و رقم و اثرات متقابل آنها و اثر سه جانبه خشکی، نانو آهن و رقم سبب ایجاد تفاوت معنی-داری در سطح یک درصد بر قندهای محلول شدند (جدول ۳). از برهم‌کنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و نانو کلات آهن و رقم کازرون بیشترین غلظت قندهای محلول (٩٦/٩٢ میلی گرم در گرم وزن تر) بدست آمد در حالی‌که رقم تهران در شرایط آبیاری نرمال و عدم مصرف کود کمترین غلظت (٤٦/٤٠ میلی گرم در گرم وزن تر) را داشت (جدول ٦). غلظت قندهای محلول هر دو رقم با افزایش خشکی افزایش یافت، غلظت قندهای محلول رقم کازرون در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی تقریبا ۱/۵ برابر غلظت در شرایط آبیاری نرمال بود و افزایش چشمگیری نشان داد (جدول ٦).

www.SID.ir

Archive of SID

عناصر معدنی

سدیم و پتاسیم: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی، نانو کلات آهن و رقم و اثر متقابل تنش و نانو آهن برای هر دو صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با افزایش تنش درصد سدیم و پتاسیم افزایش معنی‌داری داشت. بیشترین غلظت سدیم (۳۸/۸۷) از برهم‌کنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول‌پاشی و کمترین میزان (۲۷/۹۵) در شرایط ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی نانو کلات آهن بدست آمد، در هر سه سطح خشکی استفاده از نانو کلات آهن موجب کاهش غلظت سدیم شد (جدول ٤). بیشترین درصد پتاسیم (۸۷/٦۸) در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی نانو کلات آهن و کمترین میزان (۷۰/۸۲) از برهم‌کنش ۹۰ درصد ظرفیت زراعی (آبیاری نرمال) و عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد (جدول ٤).

اثر اصلی رقم و برهم‌کنش تنش خشکی و رقم اختلاف بسیار معنی‌داری را در سطح آماری یک درصد ایجاد کردند (جدول ۳). بیشترین غلظت سدیم (۳٦/۵۳) از برهم‌کنش تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و رقم کازرون و کمترین غلظت (۲۸/۲۷) در شرایط آبیاری نرمال در ژنوتیپ تهران مشاهده گردید، همچنین بالاترین میزان پتاسیم (۸۵/٤۵) از رقم کازرون در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و پایین‌ترین میزان (۷۰/۵٤) از رقم تهران در شرایط آبیاری نرمال حاصل گردید. به‌طورکلی رقم کازرون نسبت به رقم تهران در شرایط تنش پتاسیم و سدیم بیشتری جذب کرد (جدول ٤).

آهن: اثرات اصلی تنش خشکی، نانو کلات آهن و رقم و اثر متقابل آنها (بجزء نانو آهن و رقم) و اثرات سه‌گانه تنش، نانو کلات آهن و رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر سه‌جانبه حاکی از آن بود که با افزایش تنش و مصرف نانو کلات آهن درصد آهن در هر دو رقم افزایش یافت اما رقم کازرون در هر سه سطح کم‌آبی دارای بیشترین درصد آهن بود، به‌طوری که بیشترین میزان آهن (۱/۱۱) مربوط به رقم کازرون در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی نانو کلات آهن و کمترین درصد آهن (۰/۷۱) در شرایط آبیاری نرمال و عدم محلول‌پاشی و رقم تهران بود (جدول ٤).

عملکرد دانه: سطوح مختلف تیمارهای تنش، محلول‌پاشی نانو کلات آهن و رقم و اثر متقابل تنش و نانو کلات آهن و تنش و رقم بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش و نانو کلات آهن حاکی از آن بود که در شرایط تنش استفاده از نانو کلات آهن نسبت به شاهد موجب افزایش ۳۲/٦٦ درصدی عملکرد دانه گردید. در شرایط عدم محلول‌پاشی با افزایش تنش خشکی میزان عملکرد دانه کاهش یافت، به‌طوری که بیشترین عملکرد دانه (٤٦۷/٤۷ کیلو گرم در هکتار) در شرایط ۹۰ درصد رطوبت و محلول‌پاشی نانو کلات آهن بود و کمترین عملکرد دانه (۱٦۳/۹۳ کیلوگرم در هکتار) متعلق به عدم مصرف نانو کلات آهن و در سطح ۵۰ درصد رطوبتی حاصل گردید (جدول ٤).

در شرایط تنش، رقم کازرون نسبت به رقم تهران برتری داشت به‌طوری‌که عملکرد دانه رقم کازرون ۱/۳۱ برابر رقم تهران بود. در هر دو رقم با افزایش تنش عملکرد دانه کاهش یافت به طوری که بیشترین عملکرد دانه (۵۲٤/۰٤ کیلوگرم در هکتار) را رقم کازرون در شرایط ۹۰ درصد ظرفیت زراعی داشت و کمترین عملکرد دانه (۱٦٤/٤۲ کیلوگرم در هکتار) را رقم تهران در شرایط ۵۰ درصد ظرفیت زراعی داشت. در تمام سطوح خشکی رقم کازرون نسبت به تهران عملکرد دانه بیشتری داشت (جدول ۵).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه ارقام خرفه تحت تأثیر تنش خشکی و نانو کلات آهن

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئیدها	آنتوسیانین	درصد سدیم	درصد پتاسیم	درصد آهن	پرولین	قندهای محلول	عملکرد دانه
بلوک	۲	۰/۱۱	۲/۳۰	۰/۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۵	۲/۵۹	۹۳/۵۲	۰/۰۰۰۲	۸/۲۰	۰/۰۰۰۵	۲۱۲۶۷/۳
تنش خشکی	۲	۳۵/۰۲**	۳۰/۰۸**	۰/۲۴**	۰/۰۰۰۱**	۱۳۲/۶۸**	۲۷۷/۱۸**	۰/۱**	۱۲۸۸/۴۲**	۰/۳۷**	۲۳۲۵۹/۲**
خطای اول	٤	۰/۰۱	۰/۴۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۰۲	۲/۱۵	٦/۹٤	۰/۰۰۱	۰/۵۸	۰/۰۰۰۵	۳٤۱٤/۲**
نانو کلات آهن	۱	۷/٤۳**	۳/٤۷**	۰/٦۹**	۰/۰۰۰۲**	۱۷۲/۲۸**	۵۵۵/۵۲**	۰/۰۷**	۷۲۱/۷۱**	۰/۲۸**	۳٤۱۷/۵**
رقم	۱	۲/۲۷**	۲/۸۲**	۰/۳۰**	۰/۰۰۰۱**	۲٦/۳٤**	۲٦۸/۹۹**	۰/۰٤**	٤۸۱۹/۷۳**	۰/۱۷**	٦۱۹۵/۲**
تنش خشکی ×نانو کلات آهن	۵	۱۵/۵۱**	۱۲/۸٤**	۰/۲۳**	۰/۰۰۰۱**	۸۸/٦٦**	۲۲۲/٦۲**	۰/۰٦**	٦٦۱/۳۷**	۰/۲۱**	۱۰۰۵۰/۰**
تنش خشکی ×رقم	۳	۱/۰۰٦**	۰/۹۸**	۰/۱۰**	۰/۰۰۰۰۷**	۱۰۲/۷۱**	۱۰۲/۷۱**	۰/۰۱**	۱٦۸۳/۲۳**	۰/۱۰**	۲۲۷۵/۲**
نانو کلات آهن ×رقم	۱	۰/۰۲^{ns}	۰/۲۱^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۰۰۰۰٦**	۲/٦۷^{ns}	۲/٦۷^{ns}	۰/۰۰٦^{ns}	۹/۷٤**	۰/۰٦**	۲۰۱۸/۲^{ns}
تنش خشکی×رقم×نانو کلات آهن	۲	۰/۰۳*	۰/۱۵^{ns}	۰/۰۲**	۰/۰۰۰۰۱**	۳/۱۸^{ns}	۳/۱۸^{ns}	۰/۰۰۱**	۱۹/۵۳**	۰/۰۸**	۱۲۵٦/۱^{ns}
خطای دوم	۱۸	۰/۰۰۷	۰/۰۱٤	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۰۲	۲/۷۸	۲/۷۸	۰/۰۰۰۱	۱/۲۱	۰/۰۰۱	۷۸۱/۲۹
ضریب تغییرات (درصد)	–	۲/۰٤	۵/۲۳	٤/٦٤	٤/۷۱	۲/۱۱	۲/۱۱	۱/٤۱	۱/۵۰	۵/۱۹	۹/۳٦

ns، * و ** به‌ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤: مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و نانو کلات آهن بر صفات مورد مطالعه

محلول‌پاشی (میلی گرم در لیتر)	تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی)	کلروفیل b (میلی گرم در گرم ورن تر)	درصد سدیم	درصد پتاسیم	عملکرد دانه (کیلو گرم در هکتار)
عدم محلول-پاشی	۹۰	۳/۵۰b	۳۱/۲۷c	۷۰/۸۲d	٤٤۳/۵۸a
	۷۰	۱/۹٤c	۳٤/۹۵b	۷۳/۲۹d	۲٤۵/٦٦c
	۵۰	۰/٦۰d	۳۸/۸۷a	۸۰/۲۹bc	۱٦۳/۹۳d
محلول‌پاشی	۹۰	٤/٤۷a	۲۷/۹۵d	۷۸/۳۰c	٤٦۷/٤۷a
	۷۰	۲/۳٤c	۳۰/۳۸c	۸۲/۰b	۳۳۳/۱۰b
	۵۰	۱/۰۸d	۳۳/٦٤b	۸۷/٦۸a	۲۱۷/٤۷cd

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر صفات مورد مطالعه

رقم	تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی)	کلروفیل b (میلی گرم در گرم وزن تر)	درصد سدیم	درصد پتاسیم	عملکرد دانه (کیلو گرم در هکتار)
تهران	۹۰	۳/۷٤b	۲۸/۲۷d	۷۰/۵٤e	٤۰٦/۹۹b
	۷۰	۱/۹۱c	۳۱/۷۲c	۹۳/۷٤d	۲٤۹/۷٤d
	۵۰	۰/٤۸e	۳۵/۹۸a	۸۲/۵۲ab	۱٦٤/٤۲e
کازرون	۹۰	٤/۲٤a	۳۰/۹٦c	۷۸/۵۸c	۵۲٤/۰٦a
	۷۰	۲/۳٦c	۳۳/٦۱b	۸۰/۳٦bc	۳۲۹/۰۲c
	۵۰	۱/۲۱d	۳٦/۵۳a	۸۵/٤۵a	۲۱٦/۹۷de

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

جدول ٦: مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی، نانو کلات آهن و رقم بر صفات مورد مطالعه

تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی)	محلول‌پاشی (میلی گرم در لیتر)	رقم	کلروفیل a	کارتنوئیدها (میلی گرم در گرم وزن تر)	آنتوسیانین (میلی گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر)	پرولین (میلی گرم در گرم وزن تر)	قندهای محلول (میلی گرم در گرم وزن تر)	درصد آهن
۹۰	عدم محلول‌پاشی	تهران	۵/۲٦c	۱/۱۸d-g	۰/۰۰٤g	۰/٦٤d	٤٦/٤۰h	۰/۷۱h
	محلول‌پاشی	تهران	٦/۰۷b	۱/۳٦bc	۰/۰۰۸e	۰/۵۵ef	۵۵/۱۰f	۰/۹۰ef
	عدم محلول‌پاشی	کازرون	٦/۰٦b	۱/۲٤c-f	۰/۰۰٦f	۰/۳۹g	۷۳/۰۹d	۰/۸۲g
	محلول‌پاشی	کازرون	٦/۹۹a	۱/٦۷a	۰/۰۰۸e	۰/۵۱ef	۸۱/٦۹c	۰/۹٤d
۷۰	عدم محلول‌پاشی	تهران	۳/۷۷e	۱/۰۱h	۰/۰۰٤g	۰/٤۸f	۵۰/۸۳g	۰/۸۹f
	محلول‌پاشی	تهران	٤/٦۱d	۱/۲۸b-e	۰/۰۱۲c	۰/٤۹f	٦۵/۰۲e	۰/۹۵d
	عدم محلول‌پاشی	کازرون	۳/۹٦e	۱/۱٤e-h	۰/۰۰۷f	۰/۵۷e	۸۱/۵٦c	۰/۹۲de
	محلول‌پاشی	کازرون	٤/۷۲d	۱/۳۹b	۰/۰۱٤b	۰/۸۳b	۸۷/۸۷b	۱/۰۰c
۵۰	عدم محلول‌پاشی	تهران	۱/۸۲i	۰/۸۰i	۰/۰۱۰d	۰/۷۳c	۷۲/۹٦d	۰/۹٦d
	محلول‌پاشی	تهران	٤/۰٤g	۱/۱۰f-h	۰/۰۱۷a	۰/۷۵c	۸۰/۰٦c.	۱/۰۱c
	عدم محلول‌پاشی	کازرون	۲/٤۹h	۱/۰۸gh	۰/۰۱۳c	۰/۷۳c	۸۸/۰۹b	۱/۰٦b
	محلول‌پاشی	کازرون	۳/۳۸f	۱/۳۱b-d	۰/۰۱۸a	۱/۲۲a	۹٦/۹۲a	۱/۱۱a

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

بحث

در تحقیق حاضر تنش خشکی موجب کاهش محتوای کلروفیل a و b شد. میزان کلروفیل در گیاهان زنده یکی از عوامل برای فتوسنتز به شمار می‌رود. در این بین بسته به شدت، مدت و مرحله رشدی، تأثیر خشکی بر هر کدام از مقادیر کلروفیل‌ها در گیاهان متفاوت است. کاهش کلروفیل a بر اثر تنش خشکی مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول می‌باشد. این رادیکال سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می‌شود (Sheteawi and Tawfik, 2007). بررسی‌ها روی گیاه دارویی سیاه‌دانه (Heidari and Rezapor, 2011) و بادرنجبویه (Abbaszadeh et al., 2008) نشان داد که خشکی سبب کاهش کلروفیل a می‌گردد. Shahriari و Karimi (۲۰۰۱) بیان کردند پس از تنش سرما، محتوای کلروفیل در برگ‌های رقم حساس نسبت به رقم مقاوم گندم بیشتر کاهش می‌یابد به‌طوری که رقم مقاوم گندم رنگ سبز تیره‌تری نسبت به رقم حساس دارد، همچنین از دست رفتن رنگیزه سبز (کلروفیل) باعث کاهش تولیدی موادی نظیر پروتئین که ارتباط مستقیم با میزان کلروفیل دارد می‌گردد. به نظر می‌رسد بیشتر بودن کلروفیل رقم کازرون در شرایط خشکی نسبت به رقم تهران می‌تواند دلیلی بر مقاوم بودن رقم کازرون نسبت به تهران باشد. همچنین سطوح سوم تنش خشکی باعث کاهش ۲۵/۶۳ درصدی کلروفیل b نسبت به تیمار شد و کلروفیل کل نیز تحت تنش کم-آبی کاهش معنی‌داری یافت (Yadollahi Dahcheshmeh et al., 2014). نتایج آزمایش Heidari (۲۰۱۱) روی گیاه ریحان نیز نشان دهنده کاهش کلروفیل a و b تحت تنش خشکی است که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. در این آزمایش بیشترین محتوای کلروفیل a و b از محلول‌پاشی نانو کلات آهن مشاهده شد که با آزمایش Peyvandi و همکاران (۲۰۱۱) بر گیاه ریحان مطابقت دارد. ماده مشترک برای ساخت کلروفیل و هم (Hem)، اسید دلتا-آمینولوولینیک است که میزان تشکیل آن به‌وسیله آهن کنترل می‌شود. به کار رفتن آهن یا منیزیم، به عنوان اتم مرکزی در درون تتراپیرول، به ترتیب به تشکیل کوآنزیم‌های هم و منیزیم لازم است. همچنین آنزیم کپروپورفیرینوژن اکسیداز که یک پروتئین آهن‌دار است اکسید شدن منیزیم-پروتوپورفیرین را به پروتوکلروفیلید (Protochlorophyllide) کاتالیز می‌کند (Hirai et al., 2007). Abbaszadeh و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی تنش خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیک بادرنجبویه بیان کردند که بیشترین رنگدانه‌های فتوسنتزی مربوط به ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بود. نتایج آزمایشی نشان داد میزان کلروفیل a و b و مجموع کلروفیل‌ها افزایش معنی‌داری داشت (Meridpour et al., 2014).

بیشترین میزان کارتنوئیدها از محلول‌پاشی نانو کلات آهن بر رقم کازرون در شرایط آبیاری نرمال و کمترین میزان را رقم تهران در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول‌پاشی ایجاد کرد. اعمال تنش خشکی در مرحله زایش گیاه، تسریع پیری برگ و تجزیه رنگدانه‌های فتوسنتزی را در پی دارد. کاهش محتوای کارتنوئیدها در شرایط تنش خشکی در سایر بررسی‌ها نیز گزارش شده است (Silva et al., 2007; Piekielek and Fox, 1992). کارتنوئیدها از راه برگشت‌پذیر با رادیکال‌های اکسیژن و تشکیل گزانتوفیل مانع تخریب کلروفیل‌ها می‌شوند (Amal and Aly, 2008). از طرفی آهن نیز عنصر ضروری برای رشد و نمو گیاهان است و در سنتز کلروفیل، تیلاکوئیدها و کلروپلاست‌ها دخالت دارند (Curie and Briat, 2003). بنابراین وجود مقدار آهن کافی برای سنتز کلروپلاست‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. در این تحقیق افزایش غلظت کارتنوئیدها از

www.SID.ir

Archive of SID

طریق کاربرد کود نانو کلات آهن توانسته است تا حدودی خسارت ناشی از رادیکال‌های آزاد را کاهش دهد و درنتیجه موجب حفظ و پایداری کلروفیل شود.

نتایج مقایسه میانگین اثر سه‌جانبه رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان داد بیشترین و کمترین غلظت به‌ترتیب مربوط به رقم کازرون در شرایط ۹۰ درصد ظرفیت زراعی (آبیاری نرمال) و محلول‌پاشی نانو کلات آهن و رقم تهران در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد. تحقیقات نیز نشان می‌دهد که این رنگدانه‌ها در برابر استرس‌های محیطی مانند اشعه ماوراء بنفش، خشکی و درجه حرارت پایین افزایش یافته و گیاه را در برابر رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کند (Tahkorpi, 2010). در واقع این نتایج می‌تواند نشان دهنده افزایش مسیر اصلی تولید فلاونوئید باشد که منجر به تولید آنتوسیانین می‌گردد (Watkinso et al., 2006). افزایش مقدار رنگدانه‌های غیر آنزیمی (آنتوسیانین) توسط کاربرد آهن در خاک می‌تواند از تخریب کلروفیل‌ها جلوگیری کند و به‌طور غیرمستقیم سبب افزایش آن شود چرا که آنتوسیانین‌ها از ساختارهای حساسی مانند غشاها حفاظت کرده و از زوال کلروفیل جلوگیری می‌کنند (Leng et al., 2000).

نتایج مقایسه میانگین اثر سه‌جانبه حاکی از آن بود که در شرایط خشکی هر دو رقم، پرولین بیشتری نسبت به شرایط نرمال آبیاری تولید کردند. بیشترین میزان پرولین از رقم کازرون در شرایط خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با محلول‌پاشی حاصل گردید. تجمع پرولین در بافت‌های تنش دیده، به علت افزایش سنتز آن به وسیله پیرولین-۵-کربوکسیلازسنتتاز و کاهش تجزیه آنزیم پرولین اکسیداز است (Tranetunk and Trunktark, 2006). تأثیر کاربرد خاکی و برگی عنصر آهن بر افزایش مقدار اسید آمینه پرولین در برگ گلرنگ تحت شرایط تنش خشکی مثبت و معنی‌دار گزارش شد (Fathi-Amirikhiz et al., 2011). آهن به‌عنوان کوفاکتور، تأثیر مهمی در فعالیت آنزیم‌های برگ به‌ویژه در شرایط تنش دارد، به طوری که بر فعالیت آنزیم‌های یاد شده به شدت اثر می‌گذارد (Lascano et al., 2005). در این تحقیق نیز رقم مقاوم‌تر کازرون پرولین بیشتری را در شرایط خشکی تولید کرد. مصرف آهن به‌صورت خاکی و برگی در گلرنگ، موجب بهبود مقدار پروتئین‌های محلول برگ، پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و محتوای آب نسبی برگ تحت شرایط تنش رطوبتی شد (Fathi-Amirikhiz et al., 2011).

با توجه به نتایج به‌دست آمده از قندهای محلول، غلظت قندهای محلول در هر دو رقم با افزایش خشکی افزایش یافت. تجمع قندهای محلول می‌تواند به حفظ تورژسانس در بافت‌های تنش دیده به واسطه تنظیم اسمزی کمک کند و عناصر ریزمغذی با شرکت در متابولیسم کربوهیدرات‌ها و نیتروژن به افزایش قندهای محلول در گیاه در شرایط تنش کمک کند (Lascano et al., 2005). گزارش شده که ارقام متحمل کنجد تجمع بیشتری از قندهای محلول در برگ نسبت به ارقام حساس داشتند که با نتایج این آزمایش هم‌خوانی دارد (Aain, 2012). همچنین در آزمایشی بر گیاه دارویی سنبل الطیب تنش خشکی باعث افزایش میزان پرولین گردیده است که این افزایش معمولاً در تنش‌های غیر زیستی مورد انتظار است (Lorestan et al., 2018). به‌نظر می‌رسد، یکی از مکانیسم‌های تحمل به خشکی انباشت کربوهیدرات است که از طریق تنظیم اسمزی و دخالت در مکانیسم‌های حفاظتی با تنش خشکی مقابله می‌نماید. بنابراین می‌توان از انباشت کربوهیدرات به‌عنوان یک شاخص فیزیولوژیک تحمل به خشکی استفاده کرد (Aain, 2012).

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج بدست آمده در رابطه با عناصر غذایی تحقیق حاضر با نتایج Nasri و همکاران (۲۰۰۸) که گزارش کردند، ارقام متحمل به خشکی می‌توانند پتاسیم بیشتری را نسبت به ارقام با حساسیت بیشتر تجمع کنند، مطابقت دارد. برخی محققان بیان کرده‌اند، محلول‌پاشی آهن و منگنز سبب افزایش غلظت پتاسیم، نیتروژن، آهن و منگنز در اندام هوایی و دانه گندم می‌گردد (El-Fouly et al., 2011). در این آزمایش نیز مشخص شد در شرایط بروز تنش خشکی، بر درصد عناصر غذایی (سدیم و پتاسیم) در خرفه افزوده شد. در شرایط تنش گیاه جهت افزایش مقاومت با مصرف انرژی غلظت پتاسیم را در ریشه و اندام هوایی بالا می‌برد تا تأثیر مثبتی در افزایش فتوسنتز، رشد و از همه مهم‌تر جذب آب به‌دنبال داشته باشد (Abdel-Moez, 1996). Ashraf و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که در اثر تنش خشکی میزان جذب سدیم و پتاسیم در گیاه به‌دلیل تنظیم فشار اسمزی و نقش یون پتاسیم در کنترل روزنه افزایش می‌یابد. نتیجه به دست آمده با نتایج Nasri و همکاران (۲۰۰۸) و Palomo و همکاران (۱۹۹۹) مبنی بر کاهش جذب پتاسیم با کمبود آب متناقض و با نتایج محققان (Lionel-Jordan and Sylvain, 2004; Abdol-Majid et al., 2007) مبنی بر افزایش جذب پتاسیم با کمبود آب، مطابقت دارد. به نظر می‌رسد گیاهان تیمار شده با نانو کلات آهن وضعیت تغذیه‌ای متعادلی داشتند، این امر سبب بهبود سیستم تغذیه‌ای گیاه شده که نتیجه آن تولید انرژی بیشتر می‌باشد و از این طریق غلظت عناصری مانند پتاسیم که به‌صورت فعال و با صرف انرژی جذب گیاه می‌شوند را افزایش داده است و چون در جذب پتاسیم و سدیم در گیاه حالت رقابتی وجود دارد بنابراین با مهیا بودن انرژی کافی در گیاه جذب پتاسیم افزایش یافته که این امر سبب کاهش عنصر سدیم در گیاه شده است. چون تنش رطوبتی باعث کاهش وزن خشک گیاه می‌شود، احتمالاً افزایش غلظت آهن گیاه از یک طرف و کاهش جذب کلسیم از طرف دیگر باشد (Maakoti and tehrani, 1999). طی آزمایشی افزایش غلظت آهن و پتاسیم برگ با افزایش تنش خشکی گزارش شده است (Azizabadi et al., 2014). طی آزمایشی کاربرد کود نانو آهن باعث افزایش غلظت عناصر ماکرو و میکرو (آهن، روی، ازت، فسفر و پتاس) در گیاه چای ترش شد و بیشترین مقدار غلظت عناصر آهن، روی، فسفر و پتاس در بر هم‌کنش کود نانو آهن و تنش خشکی ۷۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد (Hashemi et al., 2018).

با توجه به نتایج بدست آمده عملکرد دانه نیز همانند تعداد کپسول در بوته معنی‌دار شد. Saeedi (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای نشان داد که تعداد کپسول در بوته ۵۸ درصد از تغییرات عملکرد دانه در بوته را توجیه نمود که جزء اجزای اصلی عملکرد می‌باشد. علت افزایش عملکرد دانه خرفه در شرایط تنش خشکی و مصرف نانو کلات آهن می‌تواند تأثیر این عناصر بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باشد که با افزایش فعالیت این آنزیم به خصوص در شرایط تنش خشکی، می‌تواند موجب حفظ و پایداری غشاهای سلولی و افزایش توان ظرفیت سیستم فتوسنتزی گیاه شود، زیرا از این طریق می‌تواند صدمات ناشی از تنش اکسداتیو را کاهش داده و در نتیجه عملکرد دانه افزایش پیدا کند. کاهش سرعت سوخت و ساز کربن، کاهش میزان هدایت روزنه‌ای و کاهش جذب آب در اثر کاهش رشد ریشه از عوامل دخیل در کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی شناخته شده‌اند (Gonzalez, 2005). در شرایط آبیاری کامل، میزان فتوسنتز و تولید مواد پرورده افزایش یافته و در نتیجه از طریق افزایش سرعت پرشدن دانه، وزن

www.SID.ir

Archive of SID

دانه و در نهایت عملکرد آن افزایش می‌یابد (Palmer, 1995). همچنین بـه گـزارش فرخـی‌نیـا و همکـاران (Farrokhinia et al., 2011)، تنش خشکی در گیاه با کاهش آب برگ و در نتیجه بسـته شـدن روزنـه‌هـا و افت فتوسنتز از یک سو و متـأثر کـردن فعالیـت‌هـای آنزیمی و فرایندهای مربوطه از سوی دیگـر، موجـب کاهش عملکرد دانه می‌شود. با اعمال تنش خشکی، به دلیل ریزش گل‌ها و غلاف‌ها و همچنین کـاهش وزن دانه، عملکرد دانه کـاهش مـی‌یابـد (Farnia, 2006). Ahmadi و Omidi (۲۰۱۷) بیان نمودند تنش خشکی و اثر متقابل آن با جمعیت بر صفات عملکـرد دانـه و عملکرد روغن دانه معنی‌دار شد. نتایج حاصل از ایـن آزمایش اثبات کرد که افـزایش تـنش خشـکی باعـث کاهش عملکرد دانه شد.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این تحقیق نشان داد محلول‌پـــاشی آهن در شرایط تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر برخی صفات مورد بررسی داشـت، بـه‌طـوری کـه بیشـترین میـزان پرولین، قند محلول و میزان آهـن از رقـم کـازرون در شرایط خشکی با محلول‌پاشی نانو کلات آهن حاصل گردید. همچنین در شرایط تنش خشـکی، اسـتفاده از نانو کلات آهن نسبت به شاهد موجب افزایش ۳۲/٦٦ درصدی عملکرد دانه گردید و رقم کازرون نسبت بـه رقم تهران برتری داشت. بر اساس نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر، می‌توان پیشنهاد نمود محلـول‌پاشـی عنصر کم‌مصـرف آهـن در منـاطق در معـرض تـنش خشکی، می‌توانـد تـأثیر مفیـدی در افـزایش صـفات فیزیولوژیکی و مقاومت بـه تـنش خشـکی در خرفـه داشته باشد و می‌توان رقم کازرون را رقم متحمل‌تری نسبت به تنش ملایم خشکی نسبت به رقـم تهـران در مرحله گلدهی معرفی کرد.

Refrences

Aain, A. (2012). Changes in proline content, soluble carbohydrates and absorption of potassium, zinc and calcium in sesame genotypes under drought stress. journal of crop production in environmental stress conditions. 4 (3): 40-48. (Persian).

Abbaszadeh, B., Sharifi ashourabadi, E., Lebaschi, M.H., Naderi Hajibagher, Kandy, M. and Moghadami, F. (2008). The effect of drought stress on proline contents, soluble sugars, chlorophyll and relative water contents of balm (*Melissa officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 23(4): 505-513. (Persian).

Abbaszadeh, B., Sharifi-Ashoorabadi, A. and Farajelahi, M. (2007). Effect of drought stress on physiological traits of *melissa officinalis* L. second national congress of ecological agriculture in Iran. Gorgan. (Persian).

Abdel-Moez, M.R. (1996). Dry matter yield and nutrient uptake of corn as affected by some organic waste applied to a sandy soil. Annals of Agricultural Science, 34:1319-1330.

Abdul-Majid, S., Rehana, A. and Ghulam, M. (2007). Potassium-calcium interrelationship linked to drought tolerance in wheat. Pakistan Journal of Botany. 39(1): 609-1621.

Ahmadi., Kh. and Omidi, H. (2017). Evaluation of drought effect on quantitative and qualitative populations of bungalow medicinal plants. Enviromental Stresses in Crop Sciences. 318-307. (Persian).

Amal, A.M. and Aly, A.A. (2008). Alteration of some secondary metabolites and enzymes activity by using exogenous antioxidant compound in onion plants growth under seawater salt stress. American Eurasian Journal of Science Research. 3: 139-146.

Amiri Nejad, M., Akbari, Gh. A., Baqi-Zadeh, A., Alah-dadi, A., Shahbazi, M. and Naimi, M. (2015). Effect of drought stress and foliar iron and zinc on some biochemical traits of cumin plant. agricultural crop (Journal of Agricultural Sciences). 17 (4): 855-866. (Persian).

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal. 23: 112-121.

Ashraf, M., Ashfaq, M. and Ashraf, M.Y. (2002). Effect of increased supply of

www.SID.ir

Archive of SID

potassium on growth and nutrient content in pearl millet under water stress. Biologia Plantarum. 451:141-144.

Azizabadi, A., Golchin, A. and Delaware, M.A. (2014). Effect of potassium and drought stress on growth indices and nutrient concentration of safflower leaves. Science and technology of greenhouse cultivation. 5 (19): 65-79. (Persian).

Bates, L.S., Waldern, R.P. and Teare, E.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil. 39: 205-207.

Chen, J., Shi, Y. and Liu, J. (2003). Determination of noradrenaline and dopamine in chinese herbal extracts from *portulaca oleracea* L. by high–performance liquid chromatograghy. Journal of Chromatography. 1003(1-2):127-132.

Chen, Y., Shi, J., Tin, G.,Tian, G., Zheng, Sh. and Lin, Q. (2004). Fe deficiency induces Cu uptake and accumulation in *Commelina communis*. Plant Science. 166(5): 1371-1377.

Curie, C. and Briat, J.F. (2003). Iron transport and signaling in plants. Annual Review of Plant Biology. 54: 183-206.

Dweck, A.C. (2013). Purslane (*P. oleracea*) -the global panacea. Perso Care Mag. 2(4):7-15.

El-Fouly, M.M., Mobarak, Z.M. and Salama, Z. A. (2011). Micronutrients (Fe, Mn, Zn) foliar spray for increasing salinity tolerance in wheat *Triticum aestivum* L. African Journal of Plant Science. 5: 314-322.

Ezekwe, M.O., Omara-Alwala, T.R. and Membrahtu, T. (1999). Nutritive characterization of purslane accessions as influenced by planting date. Plant Foods Hum Nutr. 54(3): 183-191.

Farnia, A., Nourmohammadi, Gh., Naderi, A., Darvish, F. and Majidi Harvan, A. (2006). Effects of drought stress and strain of the bacterium Brady *rhizobium japonicum* on yield and its related traits in soybean in Boroojerd. Iranian Journal of Crop Sciences. 8 (3): 201-214.

Farrokhinia, M., Roshdi, M., Paseban Eslam, B. and Sasandoust, R. (2011). Evaluation of some physiological characteristics on yield of spring safflower under water stress. Iranian Journal of Crop Sciences. 42(3): 545-553.

Fathi-Amirikhiz, K., Amini DehGi, M., Modarres Sanavi, S.A.M. and Heshmati, S. (2011). Effect of soil and leaf elemental application on some biochemical properties of safflower (*Caethamus tinctorius* L.) under two moisture regimes. Crop Science. 42 (3): 509-518. (Persian).

Gonzalez, A.M. (2005). Physiological responses of tagasaste to a progressive drought in its native environment on the Canary Islands. Environmental and Experimental Botany. 53: 195-204.

Hashemi, E., Mahdinezhad, N., Fakheri, B.A. and MohammadpourVashvai, R. (2018). The effect of biomic and nano biofertilizers (iron, zinc, manganese) on economic performance, antioxidant enzymes and concentration of some sour tea elements. Hibiscus sabdariffa under drought stress. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research. 13(51): 107-119. (Persian).

Heidari, M. (2011). Effect of salinity on growth, chlorophyll content and osmotic components of two cultivars of basil (*Basilicum ocimum* L.). Africa Journal of Biotechnology. 11(2): 379-384.

Heidari, M. and Rezapor, A.R. (2011). Effect of water stress and sulfur fertilizer on grain yield, chlorophyll and nutrient status of black cumin (*Nigella Sativa* L.). Journal of Crop Production and Processing. 1(1): 81-89. (Persian).

Heidari, M., Goleg, M., Ghorbani, H. and Baradarn Firozabad, M. (2016). Effect of drought stress and foliar application of iron oxide nanoparticles on grain yield, ion content and photosynthetic pigments in sesame (*Sesamum indicum* L.). Iranian Journal of Filed Crop Science. 46(4): 619-628. (Persian).

Hirai, M., Higuchi, K., Sasaki, K., Suzuki, H., Maruyama, T., Yoshiba, T. and Tadano, T. (2007). Contribution of iron associated with high molecular weight substances to the maintenance of the SPAD value of young leaves of barley under iron deficient conditions. Plant and Soil Science. 53: 612-620.

Kerepsi, I., Toth, M. and Boross, L. (1996). Water-soluble carbohydrates in dried plant. Journal Agricultur Food Chemical. 10: 3235-3239.

Khan, H.R., McDonald, G.K. and Rengel, Z. (2003). Zn fertilization improves water use efficiency, grain yield and seed Zn content in chickpea. Plant and Soil. 249: 389-400.

Khare, C.P. (2007). Indian medicinal plants. Delhi: Springer. p. 513.

Khazaee, H.R. (2002). Effect of drought stress on physiological characteristics of resistant and sensitive wheat cultivars and introduction of the most suitable indices of drought resistance. Ph.D. in Agriculture.

www.SID.ir

Archive of SID

Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad. 225 pages. (Persian).

Kirnak, H., Kaya, C., Tas, I. and Higgs, D. (2001). The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and qulity in egg plants. Journal of Plant Physiology. 27: 34-46.

Ksouri, R., Debe, A., Mahmoudi, H., Ouerghi, Z., Gharsalli, M. and Lachaa, M. (2007). Genotypic variability within Tunisian grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) facing bicarbonate-induced iron deficiency. Journal Plant Physiology and Biochemistry. 45: 315-322.

Lascano, H.R., Antonicelli, G.E., Luna, C.M., Melchiorre, M.N., Gomez, L.D., Racca, R.W., Trippi, V.S. and Casano, L.M. (2005). Antioxidant systemresponse of different wheat cultivars under drought: field and *in vitro* studies. Austrian Journal Plant Physiology. 28: 1095-1102.

Leng, P., Itamura, H., Yamamura, H. and M. Deng, X. (2000). Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation. Sciatica Horticultural. 83: 43-50.

Lionel-Jordan, M. and Sylvain, P. (2004). Leaf area establishment of a maize field crop under potassium deficiency. Plant and Soil. 265:75-92.

Lorestan, Sh., Ghaboli., M., Movahedi, Z. and Karimi, R.A. (2018). The effect of *Piriformospora indica* on some morphophysiological traits of Valerian (*Valeriana officinalis* L.) under drought stress. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research. 13(50): 41-52. (In Persian).

Maakoti, M.J. and Tehrani, M.M. (1999). The role of micronutrients in increasing yield and improving the quality of agricultural products (micro elements with high impact). Tarbiat Modares University Press, p. 299. (Persian).

Mahmoudi, H., Ksouri, R., Gharsalli, M. and Lachaal, M. (2005). Differences in responses to iron deficiency between two legumes: lentil (*Lens culinaris*) and chickpea (*Cicer arietinum*). Journal of Plant Physiology. 162 (11): 1237-1245.

Majoosi, A.A. Kamil as-Sinaa at-Tibbiyya. (2009). Tehran University Press. p. 264. (Vol 1). (In Perisan).

Meridpour, S., Satei, A. and Ghorbanli, M. (2014). Evaluation of growth and content of pigments and total protein of Nettle (*Urtica dioica* L.) In different aquatic diets. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research. 9: 118-127. (In Persian).

Mohamed, A.I. and Hussein, A.S. (1994). Chemical composition of purslane (Portulaca oleracea). Plant Foods Hum Nutr. 1994 Jan; 45(1): 1-9.

Monakhova, O.F. and Chernyadev, I.I. (2002). Protective role of kartolin- 4 in wheat plants exposed to soil drought. Applied and Environmental Microbiology, 38: 373-380.

Morales, F., Abadia, A. and Abadia, J. (1996). Characterization of the xanthophylls cycle and other photosynthetic pigment changes induced by iron deficiency in sugar beet. Plant Physiology. 94:607-613.

Nasri, M., Zahedi, H. and Tohidi Moghadam, H.R. (2008). Investigation of water stress on macro elements in Rapeseed genotypes Leaf (*Brassica napus*). American Journal Agricultural Biological Science, 3 (4):669-672.

Nori Azad, H. and Haji Bagheri, M. (2008). Effect of drought stress on growth and yield of barley cultivars. Quarterly journal of plant sciences. 1 (12): 19-27. (Persian).

Palmer, J., Dunphy, E. and Reese, P. (1995). Managing drought-stressed soybeans in the Southeat. North Carolina Cooperative Extension Service as Publication Number. AG-19-12.

Palomo. I.R., Baioni, S.S., Fioretti, M.N. and Breved, R.E. (1999). Canola under water deficiency in Southern Argentina. Proceeding of 10th International Rapeseed Congress, Canberra. Australia.

Peyvandi, M., Parande, H. and Mirza, M. (2011). Comparison of nano Fe chelate with Fe chelate effect on growth parameters and antioxidant enzymes activity of *Ocimum Basilicum*. Journal of Cellular-Molecular Biotechnology. 1 (3): 1-17. (Persian).

Piekielek, W.P. and Fox, R.H. (1992). Use of a chlorophyll meter to predict sidedness nitrogen requirements for maize. Agronomy Journal. 84: 59-65.

Ramurodi, M., Keykhaghaleh, M., Galavi, M., Sagaholeslami, M. and Baradaran, R. (2011). Effect of micronutrient foliar application and irrigation regimes on quantitative and qualitative yield of psyllium. Journal of Agroecology. 3(2): 219-226. (Persian).

Rashnoo, M. H., Tahmasebi Sarvestani,. A. Heydari Sharif-Abad, H., Modares Sanavi, S.A.S.R. and Tavakol Afshari, R. (2013). Effect of drought stress and foliar iron and zinc on quantitative and qualitative

www.SID.ir

Archive of SID

characteristics of two species of Bunjeh Aralah. Production of Crops. 6 (1): 125-148. (Persian).

Ruiz, J.M., Baghour, M. and Romers, L. (2000). Efficiency of the different genotypes of tomato in relation to foliar content of fe and the response of some bioindicators. Plant Nutrition. 23: 1777-1786.

Saeedi, Gh.A. (2008). Effect of some nutritious and nutritious elements on grain yield and other agronomic traits of sesame. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources of Isfahan. 12 (45): 372-390. (Persian).

Shahriari, R. and Karimi. A. (2001). Evaluation of cold resistance in wheat germplasm by measuring chlorophyll content and leaf color. Seventh Iranian Congress of Plant Breeding and Plants, p. 507. (Persian).

Sheteawi, S.A. and Tawfik, K.M. (2007). Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on Mungbean *(Vigna radiate)* growth and yield. Journal of Applied Sciences Research. 3(3): 251-262.

Silva, M.A., Jifon, J.L., Silva, J.A.G. and Sharma, V. (2007). Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. Brazilian Journal of Plant Physiology. 19: 193-201.

Tabatabai, J. (2009). Principles of mineral nutrition of plants. Author's publication. First Edition. 389 p. (Persian).

Tahkorpi, M. (2010). Anthocyanin under drought and drought relented stresses in Bilberry (*Vaccinium myrtillus L.*). Academic dissertation to be presented with the assent of the faculty of science of the University of Oulu. 46 p.

Trunctunk, R. and Trunkturk, M. (2006). Effects ofdifferent phosphorous levels on the yield and quality components of cumin (*Cuminum cyminum L.*). Agriculture Biological Science. 2(6): 336-340.

Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutralsugars, free amino acids and anthocyanins in protoplasts. Plant Physiology. 64: 88-93.

Watkinson, J.I., Hendricks, L., Sioson, A.A., Vasquez Robinet, C., Verlyn, S., Heath, L.S., Schuler, M., Bohnert, H.J., Bonierbale, M. and Grene, R. (2006). Accessions of *Solanum toberosum* spp. Antigens show differences in photosynthetic recovery after drought stress as reflected in gene expression profiles. Plant Science. 1-14.

White, R.E. (1976). Studies on the mineral ion absorption by plants, The interaction of aluminium phosphate and pH on the growth of *Medicago sativa*. Plant and Soil, 46: 195-208.

Yadollahi Dahcheshmeh, P., Bagheri, A.A., Amiri, A. and Esmail Zadeh Bahabadi, P. (2014). Effect of drought stress and chitosan solubility on yield and photosynthetic pigments in sunflower. Quarterly Journal of Agricultural Plants. 6(21): 73-83.

Yeritsyan, N. and Economakis, C. (2002). Effect of nutrient solution's iron concentration on growth and essential oil content of oregano plants growth in solution culture. Acta Horticulture. 576: 277-283.

Zarei, A., Changizi Ashtiyani, S. and Taheri, S. (2014). The effects of hydroalcoholic extract of *Portulaca Oleracea* on the serum concentration of Hepatic enzymes on Rats. Iran South Medicine Journal. 17(5): 889-899. (In Persian).

www.SID.ir