Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 48, No 2, Summer 2017 (443-452)
DOI: 10.22059/ijfcs.2017.141846.654032

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۴۸، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۶ (ص ۴۵۲-۴۴۳)

تأثیر زئولیت بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارزن پروسو (*Panicum miliaceum*) در شرایط کم آبیاری

محمودرضا تدین[1*] و هدایت‌الله کریم‌زاده سورشجانی[2]
۱. دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
۲. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۱۱/۱۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۵/٤)

چکیده

تنش خشکی در حال و آینده مهم‌ترین چالش پیش روی تولید محصولات کشاورزی است در این بین، کاربرد زئولیت می‌تواند تأثیر زیانبار تنش خشکی در گیاهان زراعی را تعدیل کند. به‌منظور بررسی سطوح مختلف کم آبیاری و زئولیت بر ارزن پروسو دانه‌ای، آزمایشی به‌صورت بلوک‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دانشگاه شهرکرد طی سال ۱۳۹٤ اجرا شد. عامل اول شامل زئولیت در سه سطح (۰، ۰/۵ و ۱ کیلوگرم در مترمربع معادل) و عامل دوم رژیم آبیاری (تأمین ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) بودند. نتایج نشان داد، کاهش میزان آب آبیاری، باعث کاهش ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، محتوای نسبی آب برگ، عملکرد دانه و اجزای آن، عملکرد زیست‌توده (بیوماس)، شاخص برداشت، کارایی مصرف آب و سبزینهٔ (کلروفیل) a و b شد. همچنین کاهش آب مصرفی باعث افزایش تولید آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز، اسید آمینهٔ پرولین و رنگیزهٔ کارتنوئید شد. قابل‌بیان است کاربرد زئولیت باعث تعدیل تأثیر تنش خشکی شد. در هر سه رژیم کم آبیاری عملکرد دانه در شرایط کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار بیشتر بود. بیشترین درصد کاهش عملکرد دانه (۷۷/۲٪) نسبت به تیمار شاهد (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و بدون کاربرد زئولیت)، در تیمار تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی و بدون کاربرد زئولیت به دست آمد. بنابراین به نظر می‌رسد در شرایط محدودیت آب، استفاده از زئولیت باعث کاهش تأثیر منفی تنش خشکی می‌شود و استفاده از ۱۰ تن زئولیت در هکتار در شرایط محدودیت آبی در زراعت ارزن پروسو مزیت نسبی دارد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های پاداکسنده، پرولین، تنش خشکی، زئولیت، کارایی مصرف آب.

Effect of zeolite on physiological and biochemical attributes of Proso millet (*Panicum miliaceum*) in deficit irrigation conditions

Mahmoud Reza Tadayon[1*] and Hedayat Karimzadeh Soureshjani[2]
1. Associate Professor, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
2. Ph. D. Candidate, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(Received: Feb. 1, 2016 - Accepted: Jul. 25, 2016)

ABSTRACT

Drought stress is the most important challenges facing agricultural production, especially in developing countries. Zeolite application can ameliorate the harmful effects of drought stress in crops. In order to evaluate the effect of deficit irrigation (supply of 100, 75, 50 and 25 percent of crop water requirement) and zeolite (0, 5 and 10 t/ha) levels on Proso millet, an experiment was conducted as split block design in 2015 at Shahre Kord University. Result showed that deficit irrigation reduced plant height, leaf area index (LAI), relative water content (RWC), grain yield and its components, biological yield, harvest index, biological yield, water use efficiency and chlorophyll a and b. Also deficit irrigation increased super oxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD) activity, proline and carotenoid. It is noteworthy that zeolites application reduced the harmful effects of deficit irrigation. At all deficit irrigation regimes, application of 10 /ha zeolite resulted the highest grain yield. The highest yield loss (77.2%) was obtained with 25% of crop water requirement compared to control treatment (100% of water requirement and the zeolite application). Overall, results showed that under limited water conditions, application of zeolite reduced the negative effects of drought stress, therefore application of 10 t/ha zeolite is recommended in the cultivation of millet at limited water resources conditions.

Keywords: Antioxidant enzymes, drought stress, proline, water use efficiency, zeolite.

* Corresponding author E-mail: mrtadayon@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

تغییر شرایط آب و هوایی در چند دهۀ اخیر منجر به کاهش میزان و الگوی توزیع بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان و از جمله خاورمیانه شده است (Khazaie *et al*., 2005). تنش خشکی مهم‌ترین چالش پیش روی تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه خواهد بود (Entz & Flower, 1990) و با توجه به قرار گرفتن ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک جهان، توجه به تأثیر تنش رطوبتی بر رشد گیاهان زراعی ضروری به نظر می‌رسد.

زئولیت به‌عنوان مادۀ جاذب رطوبت، افزایش‌دهندۀ تبادل‌های کاتیونی و حاصلخیزی خاک، در زراعت کاربرد دارد. میزان آبگیری زیاد، چگالی کم و حجم خالی زیاد هنگامی‌که آبگیری می‌شوند، ثبات ساختمان بلوری در هنگام آبگیری، توانایی تبادل یونی بالا و وجود کانال‌های مولکولی یکنواخت در بلورهای آبگیری‌شدۀ زئولیت‌ها، باعث شده است که این ماده به‌طور گسترده‌ای در صنعت و کشاورزی استفاده شود (Huang & Petrovic, 1995). زئولیت با ویژگی جذب زیاد آب می‌تواند آب موجود در خاک را تا حد اشباع جذب کرده و آن را برای مدت طولانی درون شبکۀ خود نگهداری کند که آب موجود در شبکه به تدریج جذب گیاه می‌شود (Pulite *et al*., 2004). بنابراین، کاربرد زئولیت می‌تواند اثر زیانبار تنش خشکی در گیاهان زراعی را تعدیل کند.

ارزن پروسو از گیاهان خانوادۀ غلات است که سازوکار نورساختی (فتوسنتزی) C_4 داشته و برای کشت در مناطق گرم و خشک، به‌عنوان کشت دوم یا کشت تابستانه مناسب است. استفاده از گونه‌های مختلف ارزن برای تغذیۀ دام و طیور به‌ویژه پرندگان زینتی مرسوم است. گونه‌های مختلف ارزن به دلیل کوتاه بودن فصل رشد و داشتن برخی ویژگی‌ها، در مقایسه با گیاهان دیگر به آب کمتری نیاز دارند و می‌توانند در شرایط کمبود آب نسبت به دیگر گیاهان زراعی محصول شایان پذیرشی تولید کنند (Mehrpooyan & Faramarzi, 2011).

نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده است، عملکردهای دانه و علوفۀ توده‌های ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica*) در نتیجۀ قطع آبیاری در مرحلۀ گلدهی کاهش معنی‌داری یافت، همچنین قطع آبیاری در مرحلۀ گل‌دهی باعث کاهش معنی‌دار شمار دانه در خوشه، وزن هزار دانه، طول خوشه، ارتفاع بوته و شمار خوشه در واحد سطح توده‌های ارزن شده است (Nakhaei *et al*., 2013). Seghatoleslami *et al*. (2005) در نتایج بررسی‌های خود اعلام کردند، کاهش میزان آب آبیاری از راه کاهش شمار دانه در خوشه و شمار خوشه در بوته، باعث کاهش عملکرد ارزن شد. در بررسی سازوکارهای تحمل به خشکی در ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum*)، مشخص شد که خشکی از راه کاهش سطح برگ و شمار برگ‌های فعال، سطح جذب دی‌اکسید کربن را کاهش داد (Golombek & Al-Ramamneh, 2002). از سویی برخی پژوهشگران در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند، تنش رطوبتی (دور آبیاری ۷ و ۱۴ روز) تأثیری بر عملکرد دانه، وزن خوشه، وزن دانه، شمار پنجه، شمار پنجۀ بارور، شاخص برداشت خوشه، سطح برگ و درصد نیتروژن برگ ارزن پروسو (*Panicum miliaceum*)، ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum*) و ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica*) نداشت (Khazaie *et al*., 2005). در بررسی تأثیر زئولیت و کاربرد سلنیوم، بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم کلزا (*Brassica napus*) در شرایط تنش خشکی در آخر فصل، نتایج نشان داد، اختلاف معنی‌داری بین کاربرد و بدون کاربرد زئولیت بر ارتفاع بوته، شمار غلاف در بوته، شمار دانه در غلاف، عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده (بیوماس) وجود داشت ولی، بر درصد روغن و شاخص برداشت اثر معنی‌داری نداشت. رابطۀ بین تیمارهای مختلف، به‌ویژه تنش خشکی، زئولیت و کاربرد سلنیوم تأثیر مثبت و معنی‌داری بر ویژگی‌های وابسته به عملکرد نشان داده است (Zahedi *et al*., 2009). Eshghi *et al*. (2010) نیز افزایش معنی‌دار کاربرد زئولیت بر صفات وزن خشک ساقه و ریشه، غلظت عنصرهای نیتروژن، فسفر، پتاسیم، مس و منگنز در گیاه سویا (*Glycine max*) را گزارش دادند.

در شرایط تنش‌های محیطی از جمله تنش

Archive of SID

www.SID.ir

خشکی، تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاهان افزایش‌یافته و باعث آسیب به بافت‌های یاخته‌ای می‌شود. به‌منظور کنترل سطح تولید گونه‌های فعال اکسیژن و محافظت یاخته‌ها، بافت‌های گیاهی شامل ترکیب‌هایی آنزیمی هستند که گونه‌های فعال اکسیژن را پاک‌سازی می‌کنند. برخی از این آنزیم‌ها عبارت‌اند از سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و پراکسیداز (POD) که گیاهان زراعی، با افزایش سطح آن‌ها در بافت‌های در معرض تنش خشکی و یا در کل گیاه، به رویارویی با اثر تنش خشکی می‌پردازند (Pareek *et al*., 2009).

با توجه به چالش روزافزون کم‌آبی در ایران و لزوم حفظ و صرفه‌جویی منابع آب در دسترس و استفاده از گیاهانی با کارایی مصرف آب بالا و نیاز آبی کمتر و نقش زئولیت در نگهداری رطوبت در خاک، این آزمایش با هدف بررسی تأثیر تنش خشکی و زئولیت بر رشد؛ ریخت‌شناختی (مورفولوژی) و عملکرد ارزن پروسو اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی سطوح مختلف کم آبیاری و زئولیت بر ارزن پروسو (*Panicum miliaceum*)، آزمایشی به‌صورت بلوک‌های خردشده (Split-Block) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در تابستان ۱۳۹۴، در دانشگاه شهرکرد اجرا شد. عامل اول شامل: زئولیت در سه سطح (۰، ۰/۵ و ۱ کیلوگرم در مترمربع معادل ۰، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و عامل دوم چهار رژیم آبیاری (تأمین ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) بودند.

پیش از اجرای آزمایش نمونهٔ مرکبی از خاک مزرعه تهیه و برای آزمون خاک و تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و توصیهٔ کودی به آزمایشگاه خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد ارسال شد. پس از آماده کردن زمین، مقادیر زئولیت مورد نظر در سطح خاک به‌صورت دستی و یکنواخت پخش و با شن‌کش با خاک مخلوط شد. بذرهای ارزن تهیه‌شده از کشاورزان بومی با فاصلهٔ ۵ سانتی‌متر روی ردیف‌های کشت (تراکم ۴۰ بوته در مترمربع، فاصلهٔ ردیف کشت ۵۰ سانتی‌متر) در هفتهٔ اول تیرماه کشت شدند (زمین محل اجرای آزمایش در سال پیش آیش بود). بذرها پیش از کاشت با قارچ‌کش بنومیل (دو در هزار) ضدعفونی شدند. مساحت هر کرت در این آزمایش، ۶ مترمربع (۲×۳) بود. همچنین بنا بر توصیهٔ کودی و با توجه به نتایج آزمون خاک (جدول ۱) مقادیر ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم پیش از کشت و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در دو نوبت (رویش بذرها و ساقه رفتن) در اختیار گیاه قرار گرفت.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physiochemical properties of soil

EC (dSm^{-1})	pH	Organic carbon (%)	N	P	K	Zn	Mn	Fe	Cu
				($g.kg^{-1}$)					
0.512	7.71	1.12	0.152	34.2	316	0.57	8.31	3.50	0.89

Soil moisture (%)		Bulk density	Sand	Silt	Clay
FC	PWP	($g.cm^{-3}$)	(%)		
0.24	0.13	1.5	30.0	35.5	34.5

برای محاسبهٔ میزان تبخیر و تعرق روزانهٔ گیاه از رابطهٔ پنمن-مانتیث (Richard *et al*., 1998) که توسط سازمان خواروبار کشاورزی (فائو) اصلاح شده است (برای محاسبهٔ میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع) استفاده و با ضرب کردن ضریب گیاهی (Kc) در مراحل مختلف رشد، میزان تبخیر و تعرق روزانه محاسبه شد. داده‌های هواشناسی و اقلیمی مورد نیاز، از ایستگاه هواشناسی فرودگاه شهرکرد به دست آمد. هنگامی‌که میزان رطوبت خاک در تیمار شاهد به میزان ۴۰ درصد رطوبت خاک، در حد ظرفیت زراعی رسید آبیاری صورت گرفت، به این‌گونه که میزان آب مورد نیاز تا رسیدن به رطوبت در ظرفیت زراعی در

Archive of SID

www.SID.ir

واحد سطح برای تیمار آبی شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی) محاسبه و به کرت‌های شاهد داده شد. همچنین مقادیر ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد میزان آب محاسبه‌شده با استفاده از کنتور حجمی به تیمارهای آبیاری اختصاص داده شد. اعمال تیمارهای آبیاری، پس از استقرار کامل بوته‌ها صورت گرفت و تا آخر فصل رشد ادامه داشت.

برای اندازه‌گیری عملکردهای زیست‌توده و دانه، شاخص برداشت و وزن هزار دانه، با حذف اثر حاشیه‌ای بوته‌ها از سطح ۱ مترمربع در مرکز هر کرت برداشت شدند. سپس برای خنثی کردن تأثیر رطوبت موجود در محاسبات، نمونه‌های برداشت‌شده از هر کرت در آون در دمای ۷۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفت تا رطوبت دانه به‌صورت یکسان و نزدیک به صفر باشد و درنهایت وزن کل زیست‌توده اندازه‌گیری و ثبت شد. همچنین برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه، پس از اندازه‌گیری وزن دانه‌های موجود در نمونه، شمار دانه شمارش شد و درنهایت وزن دانه‌ها بر شمار دانه تقسیم شد. از تقسیم شمار دانه به مساحت سطحی که آن دانه‌ها برداشت شده‌اند، شمار دانه در واحد سطح به دست آمد. از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد زیست‌توده (پس از کسر میزان رطوبت) شاخص برداشت به دست آمد. مقادیر پرولین (Bates *et al.*, 1973)، پراکسیداز (Chance & Maehly, 1995)، کاتالاز (Dhindsa *et al.*, 1971)، سوپر اکسید دیسموتاز (Beauchamp & Fridovich, 1971)، سبزینه (کلروفیل) و کارتنوئید (Lichtenthaler & Wellburn 1983) و همچنین محتوای نسبی آب برگ در زمان گلدهی اندازه‌گیری شدند. محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطهٔ **[(وزن خشک-وزن آماس/وزن خشک-وزن تر)=محتوای نسبی آب]** به دست آمد. از روش تقسیم عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه به میزان آب مصرفی، کارایی مصرف آب به ترتیب در تولید عملکردهای زیست‌توده و دانه به دست آمد.

در پایان داده‌ها با نرم‌افزار SAS تجزیه‌وتحلیل شد و مقایسهٔ میانگین برهمکنش با استفاده از روش برش‌دهی (Karimzadeh Soureshjani *et al.*, 2012) انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد تأثیر زئولیت و رژیم آبیاری بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود ($P<0/01$). همچنین مشخص شد زئولیت، تیمار آبیاری و برهمکنش ژنوتیپ و رژیم آبیاری تأثیر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ داشت ($P<0/01$). بیشترین کاهش ارتفاع بوته در مقایسه با تیمار شاهد (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و بدون کاربرد زئولیت) به میزان ۴۵/۸درصد در تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی و بدون کاربرد زئولیت رخ داد. Shojaee *et al.* (2012) نیز در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند، کاربرد زئولیت، کاهش ارتفاع بوتهٔ شلغم روغنی (*Brassica rapa*) را در اثر تنش خشکی، تقلیل داده است. در نتایج پژوهش Ranjbar choobe *et al.* (2004) نتیجهٔ زئولیت بر ارتفاع بوته و وزن خشک برگ‌های توتون (*Nicutina tabacum*) معنی‌دار بوده است. در این پژوهش در شرایط تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی و بدون کاربرد زئولیت، بیشترین درصد کاهش شاخص سطح برگ (۶۰٪) و محتوای نسبی آب برگ (۳۸/۲٪) نسبت به حالت شاهد مشاهده شد. بیشترین شاخص سطح برگ در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد در واقع، تحت تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، زئولیت تأثیری بر سطح برگ نداشت (جدول ۲) و این در حالی است که در دیگر رژیم‌های آبیاری، هر چه میزان زئولیت بیشتر شد، شاخص سطح برگ به میزان کمتری کاهش یافت. در واقع، در هر سطح آبیاری، کمترین شاخص سطح برگ از تیمار بدون کاربرد زئولیت به‌دست آمد (جدول ۲). خشکی از راه کاهش سطح برگ و در نهایت کاهش جذب تابش فعال نورساختی توسط سایه‌انداز، موجب پژمردگی و جمع شدن پهنک در شرایط تنش شدید می‌شود و در پی آن پیری زودرس برگ‌های گیاه رخ می‌دهد و عملکرد گیاهان کاهش می‌یابد (Earl & Davis, 2003).

بیشترین محتوای نسبی آب برگ از تیمار آبی، تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کاربرد ۵ و ۱۰ تن زئولیت در هکتار به دست آمد (جدول ۲). با کاهش میزان آب مصرفی، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت، ولی کاربرد زئولیت، تا حدودی باعث تعدیل این

Archive of SID

www.SID.ir

کاهش شد. بدین صورت که، در هر سطح آبیاری، با افزایش میزان زئولیت، محتوای نسبی آب برگ کمتر کاهش یافت (جدول ۲). به‌طورکلی، تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود (Moori *et al*., 2012). پژوهشگران در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند کاربرد تنش خشکی در مراحل مختلف رشد، سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ در برگ ارزن معمولی شد (Seghatoleslami *et al*., 2005). همچنین بین صفات میزان آب نسبی گیاه، پتانسیل آب گیاه و پتانسیل آماس (تورژسانس) گیاه، میزان آب نسبی گیاه بهترین معیار اندازه‌گیری وضعیت آب گیاه معرفی شده است (Blum, 1992).

میزان سبزینهٔ a، b و کارتنوئید، تحت تأثیر زئولیت، رژیم‌های آبیاری و برهمکنش آن‌ها قرار گرفتند (P<۰/۰۱). با کاهش میزان آب مصرفی، مقادیر سبزینهٔ a و b کاهش و میزان کارتنوئید افزایش یافت البته، کاربرد زئولیت، تا حدی از شدت این تغییرپذیری‌ها کاست. بیشترین کاهش میزان سبزینهٔ a (۳۸/۶٪) و b (۶۴/۶٪) نسبت به تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و بدون کاربرد زئولیت، در شرایط تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی و بدون کاربرد زئولیت به دست آمد. در همهٔ رژیم‌های آبیاری و در شرایط کاربرد کم زئولیت، میزان سبزینهٔ a و b کاهش یافت (جدول ۲). در مقایسه با حالت شاهد، بیشترین افزایش کارتنوئید (۸۵/۵٪) در شرایط تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی و بدون کاربرد زئولیت و کمترین افزایش (۳/۹٪) نیز در شرایط تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی و کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار رخ داد. دیگر پژوهشگران نیز در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند، تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار سبزینهٔ a و b شد (Behnamnia *et al*., 2009; Ashraf *et al*., 1994). ازآنجاکه کاروتنوئیدها توانایی حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن را دارند بیشتر شدن کاروتنوئید در شرایط تنش خشکی می‌تواند باعث افزایش مقاومت به تنش خشکی شود. این توانایی بالای کاروتنوئید در حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن، سبب شده است آن را در دستهٔ پاداکسندهٔ (آنتی‌اکسیدان) غیر آنزیمی قرار دهند (Sarvajeet & Nandera, 2010).

نتایج نشان داد، تأثیر سطح‌های زئولیت، رژیم‌های آبیاری و برهمکنش آن‌ها بر میزان پرولین و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. با کاهش میزان آب مصرفی و همچنین، در هر سطح آبیاری، با کاهش میزان زئولیت مصرفی، مقادیر پرولین، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز افزایش یافت. دیگر پژوهشگران نیز در نتایج بررسی‌های خود نشان داده‌اند، تنش خشکی، باعث افزایش معنی‌دار میزان تجمع پرولین در مراحل مختلف رشد گندم (*Treaticum aestivum*) می‌شود (Pireivatloum *et al*., 2010) که با نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش همخوانی دارد. ازآنجاکه پرولین، یکی از حساس‌ترین اسمولیت‌های مقاومت به خشکی است، تنش خشکی باعث افزایش شدید در تجمع این اسیدآمینه می‌شود (Hanson & Hitz, 1982). در هیچ‌یک از معیارهای بیوشیمیایی مقاومت به خشکی، این میزان افزایش چندین برابری همسان با پرولین یافت نشده است (Renu & Devarshi, 2007; Sarvajeet & Nandera, 2010). به همین دلیل، در بسیاری از پژوهش‌ها از آن به‌عنوان شاهدی برای معیارهای بیوشیمیایی دیگر استفاده می‌کنند (Sarvajeet & Narendra, 2010).

در همهٔ سطوح آبیاری، بیشترین میزان پرولین و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز در شرایط بدون کاربرد زئولیت به دست آمد (شکل ۱). همان‌گونه که در شکل ۱ مشخص است در هر سطح آبیاری، استفاده از ۱۰ تن زئولیت در هکتار باعث شده است میزان پرولین با شرایط بدون کاربرد زئولیت در سطح آبیاری بالاتر برابر باشد. به‌بیان‌دیگر، چنانچه میزان آب مصرفی، ۲۵ درصد نسبت به شاهد کاهش یابد این ۲۵ درصد کاهش آب را می‌توان با کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار جبران کرد، به‌گونه‌ای که، میزان پرولین ثابت بماند. در واقع زئولیت، به علت توانایی جذب و رهاسازی تدریجی رطوبت، باعث کاهش تأثیر زیانبار کم‌آبی می‌شود. همان‌گونه که از شکل ۱ مشخص است در همهٔ سطوح آبیاری، کمترین فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و

Archive of SID

www.SID.ir

پراکسیداز در شرایط کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار وجود داشته است. این امر نشان‌دهندهٔ آن است که در این شرایط، گیاه کمبود آب خفیف‌تری را نسبت به دیگر شرایط مورد بررسی درک کرده است. سوپر اکسید دیسموتاز در یک واکنش پیچیدهٔ دو مولکول سوپر اکسید را به کمک دو مولکول هیدروژن با یکدیگر ترکیب کرده و تبدیل به دو مولکول پراکسید هیدروژن می‌کند. در مرحلهٔ بعد، پراکسید هیدروژن توسط دیگر پاداکسنده‌ها حذف می‌شود (Sarvajeet *et al*., 2010; Mittler, 2002; Kliebenstein, 1999). این آنزیم با پایین نگه‌داشتن غلظت سوپراکسید، باعث می‌شود که تشکیل رادیکال هیدروکسیل به کمترین میزان برسد (Bowler *et al*., 1992). Shao *et al*. (2005) گزارش کردند، تنش خشکی، در رقم‌های مختلف گندم (*Treaticum aestivum*)، سبب افزایش سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز می‌شود، ولی افزایش سوپر اکسید دیسموتاز نسبت به کاتالاز و پراکسیداز بیشتر بود. آنان نقش مهم‌تر این آنزیم، در حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن، نسبت به دو آنزیم دیگر را دلیل این افزایش بیشتر دانسته‌اند.

جدول ۲. مقایسهٔ میانگین صفات گیاه ارزن در رژیم‌های آبیاری و کاربرد مقادیر مختلف زئولیت

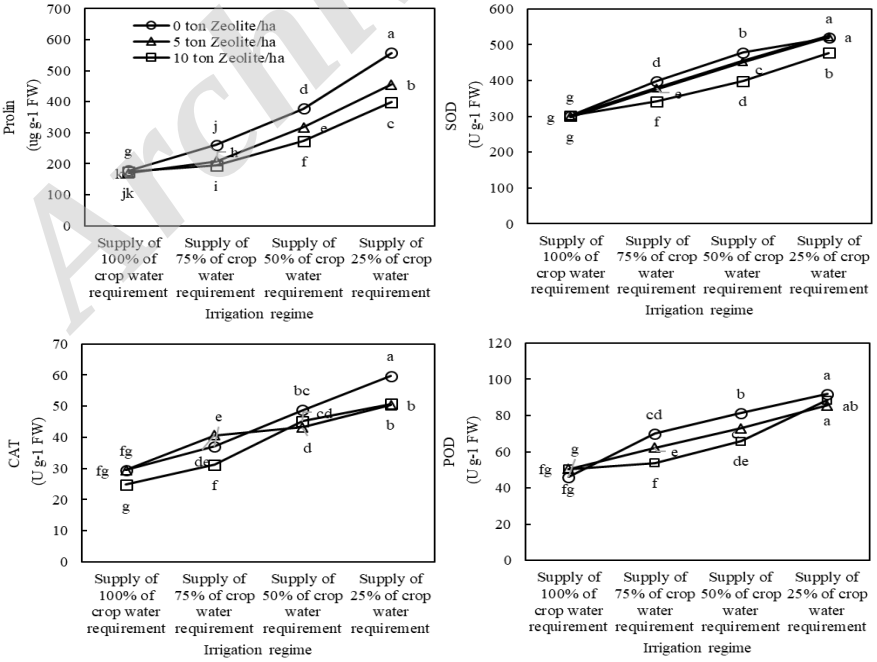
Table 1. Mean comparison of millet traits in different irrigation regimes and zeolite application levels

Zeolite (t/ha)	Irrigation regime	Plant height (cm)	LAI	RWC	Chlorophyll a (mg g^{-1} FW)	Chlorophyll b (mg g^{-1} FW)	Carotenoid (mg g^{-1} FW)	Harvest Index	1000 Grain weight (g)	Grains number (m^{-2})
0	25% FC	43.8e	1.4h	0.55k	15.4e	4.6j	13.8a	0.13h	2.9b	13580g
	50% FC	55.3d	2.5f	0.67h	16.2e	6i	11b	0.3de	2.9bc	28879e
	75% FC	64.5c	3.1c	0.78e	21.1d	9.7f	8.2cd	0.33cde	2.8c	33368d
	100% FC	80.8a	3.5a	0.89b	25.1bc	13c	7.6de	0.48a	3a	52101b
5	25% FC	53d	2.1g	0.61j	15.4e	4.6j	14.1a	0.18g	2.9bc	15407g
	50% FC	59.7c	2.8d	0.72g	21.4d	8.5h	11b	0.28ef	2.8c	25807e
	75% FC	69.6b	3.2b	0.82d	21.1d	10.5e	7.9cde	0.35bc	2.9b	34918cd
	100% FC	81.7a	3.5a	0.9a	26.6b	14.4b	7.1e	0.5a	2.8c	55767a
10	25% FC	52.8de	2.6e	0.65i	15.5e	6i	13.8a	0.25f	2.9bc	21429f
	50% FC	62.2c	3c	0.76f	22.5d	9.3g	8.8c	0.34cd	2.9bc	34473d
	75% FC	72.2b	3.3b	0.88c	22.9c	12d	7.9cde	0.4b	2.7d	38119c
	100% FC	80.8a	3.5a	0.9a	28.7a	15.8a	7.1e	0.46a	2.5e	53102ab

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، با استفاده از روش برش دهی اثر متقابل، ندارند.

25%FC: تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی، 50%FC: تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی، 75%FC: تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی، 100%FC: تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی.

In each column means with similar letters have no significant difference, (p=0.05).



شکل ۱. تأثیر رژیم‌های آبیاری و سطح‌های زئولیت بر میزان پرولین (Proline) و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و پراکسیداز (POD) در ارزن (میانگین‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ندارند.)

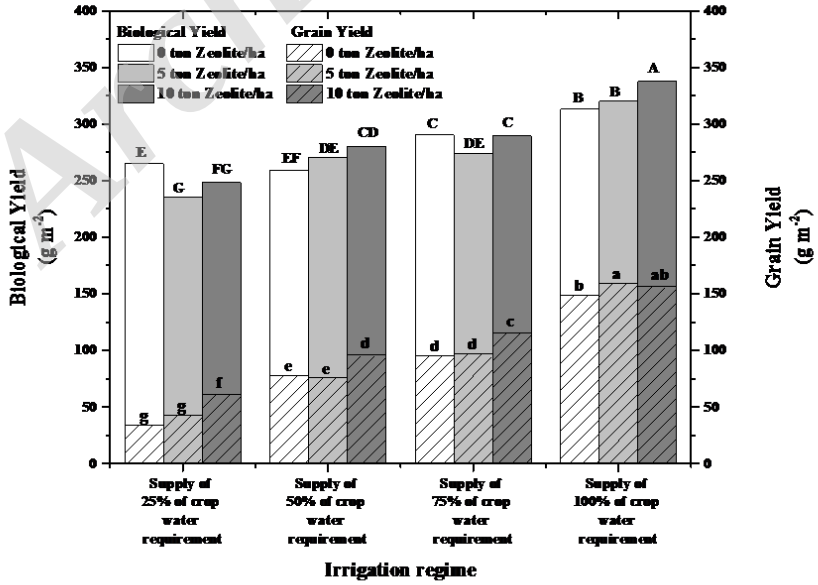
Figure 1. Effect of irrigation regime and zeolite levels on proline content and SOD, CAT and POD activity in millet. Means with same letters don't have significant difference (p=0.05).

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج نشان داد، تأثیر تیمار زئولیت و آبیاری بر عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت، عملکرد دانه و اجزای آن (شمار و وزن دانه)، در سطح احتمال ۱ درصد (P<۰/۰۱) و برهمکنش رژیم‌های آبیاری و زئولیت بر وزن هزار دانه و شمار دانه در واحد سطح در سطح احتمال ۱ درصد (P<۰/۰۱) و بر صفات عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه و شاخص برداشت در سطح احتمال ۵ درصد (P<۰/۰۵) معنی‌دار بود. کاهش آب و زئولیت مصرفی، باعث کاهش عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه شد (شکل۲). در هر سه سطح کم آبیاری، عملکرد دانه در شرایط کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار بیشتر بود. بیشترین درصد کاهش عملکرد دانه نسبت به تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و بدون کاربرد زئولیت، در حالت تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی و بدون کاربرد زئولیت (۷۷/۲٪) به دست آمد. عملکرد دانه، در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی و ۱۰ تن زئولیت در هکتار با شرایط تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی و بدون کاربرد زئولیت برابر است، بدان معنا که، می‌توان با مصرف میزان کمتر آب و کاربرد زئولیت، به همان میزان عملکرد دانه دست یافت (شکل۲). همچنین در همهٔ رژیم‌های آبیاری، بیشترین شاخص برداشت و شمار دانه در واحد سطح، در شرایط کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار به دست آمد (جدول ۲). کاهش شدیدتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد زیست‌توده، منجر به کاهش شاخص برداشت شده است. بیشترین درصد کاهش شاخص برداشت (۷۲/۹٪) و شمار دانه در واحد سطح (۷۳/۹٪) نسبت به تیمار شاهد، در شرایط تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی و بدون کاربرد زئولیت رخ داد.

کمترین درصد تغییرگذاری‌ها مربوط به وزن هزار دانه بود. بیشترین درصد کاهش وزن هزار دانه (۱۰٪) نسبت به تیمار شاهد، در حالت تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی و ۵ تن زئولیت در هکتار رخ داد. Bruck *et al.* (2000) نیز گزارش کردند، کم آبیاری، سبب کاهش عملکرد دانه و اجزای آن شده است و دلیل این پدیده را مختل شدن فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه اعلام کرده‌اند. در پژوهشی دیگر با کاربرد زئولیت، درصد کاهش وزن هزار دانه، شاخص برداشت و عملکرد دانهٔ شلغم روغنی (*Brassica rapa*)، در نتیجهٔ تنش خشکی، کاهش یافت (Shojaee *et al.*, 2012). Safaee *et al.* (2008) گزارش کردند، کاربرد زئولیت باعث شد عملکرد دانهٔ کلزا در شرایط تنش کمتر کاهش یابد. آنان همچنین گزارش کردند کاربرد زئولیت باعث تعدیل تأثیر تنش خشکی شده است.



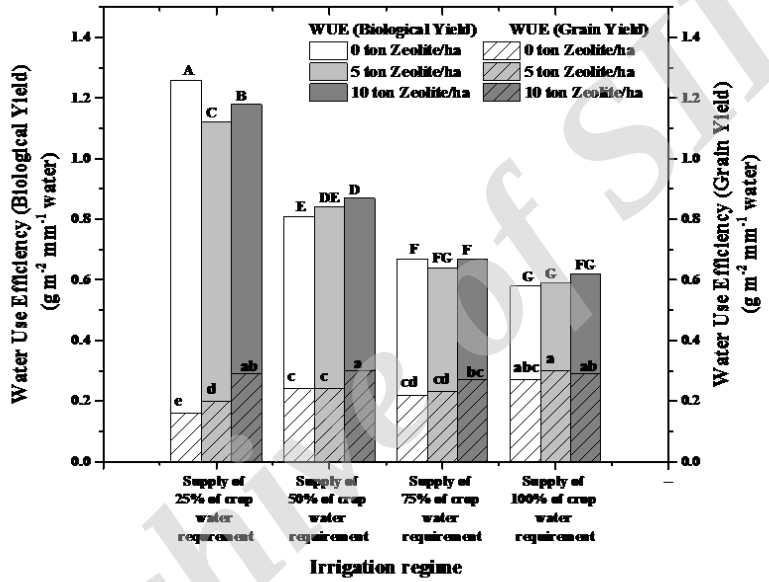
شکل ۲. تأثیر رژیم‌های آبیاری و سطح‌های زئولیت بر عملکردهای زیست‌توده و دانهٔ ارزن (میانگین‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌داری، ندارند، حرف‌های بزرگ: عملکرد زیست‌توده، حرف‌های کوچک: عملکرد دانه (p=۰/۰۵).

Figure 2. Effect of irrigation regimes and zeolite levels on biological and grain yield of millet (Means with similar letters have not significant difference (p=0.05), Capital letters: biological yield, Lowercase letters: grain yield).

Archive of SID

www.SID.ir

تجزیهٔ داده‌ها نشان داد، تأثیر آبیاری و برهمکنش آبیاری و زئولیت بر کارایی مصرف آب در تولید عملکردهای زیست‌توده و دانه معنی‌دار بود. این در حالی است که، کاربرد زئولیت تنها بر کارایی مصرف آب در تولید عملکرد دانه اثر معنی‌دار نشان داد (P<۰/۰۱). کارایی مصرف آب در عملکرد زیست‌توده، با کاهش مصرف آب، روند افزایشی نشان داد، به‌گونه‌ای که، بیشترین کارایی مصرف آب در عملکرد زیست‌توده در رژیم تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی و بدون کاربرد زئولیت و کمترین میزان این شاخص، در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد (شکل۳). در برابر، کارایی مصرف آب در تولید عملکرد دانه، با کاهش میزان آب مصرفی، روند کاهشی نشان داد، به‌گونه‌ای که بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب در عملکرد دانه، به ترتیب در شرایط تأمین ۱۰۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی و بدون کاربرد زئولیت به دست آمد (شکل ۲). برخی پژوهشگران گزارش کرده‌اند، تنش خشکی باعث کاهش کارایی مصرف آب در ژنوتیپ‌های ارزن شده است (Seghatoleslami *et al*., 2008).



شکل ۳. تأثیر رژیم آبیاری و سطوح مختلف زئولیت بر کارایی مصرف آب در تولید عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانهٔ ارزن (میانگین‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، با استفاده از روش برش دهی اثر متقابل ندارند، حرف‌های بزرگ: کارایی مصرف آب در تولید عملکرد زیست‌توده، حرف‌های کوچک: کارایی مصرف آب در تولید عملکرد دانه)

Figure 3. Effect of irrigation regime and zeolite levels on biological and grain yield Water use efficiency of millet (Means with same letters don't have significant difference, using Slicing method, p=0.05, Capital letters: biological yield WUE, Lowercase letters: grain yield WUE)

نتیجه‌گیری

کمبود آب از راه کاهش رشد و تقسیم یاخته‌ای، باعث کاهش شاخص سطح برگ گیاه ارزن شد و کاهش این شاخص به‌نوبهٔ خود باعث کاهش تابش دریافتی خورشید و در پی آن کاهش تولید مواد نورساختی در واحد سطح زمین شده است. در نتیجه شمار و وزن دانهٔ تولیدی ارزن کاهش یافت و در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه شد. از آن‌سو کاهش میزان آب در دسترس باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ و این پدیده باعث بروز تنش ثانویهٔ اکسایشی (اکسیداتیو) و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن شد. گیاه ارزن برای کاهش تأثیر زیانبار این مواد، اقدام به تولید آنزیم‌های پاداکسنده مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز، تولید کارتنوئید و همچنین اسید آمینهٔ پرولین برای حفظ پتانسیل اسمزی کرده است.

هزینهٔ هر تن زئولیت یک میلیون ریال است، در واقع هزینهٔ ۱۰ تن زئولیت در هکتار ده میلیون ریال خواهد شد و ازآنجاکه زئولیت بین سه تا پنج سال

Archive of SID

www.SID.ir

(میانگین چهار سال) پس از استفاده در خاک ماندگاری دارد هزینهٔ آن تقسیم بر چهار می‌شود و به ازای هر سال هزینهٔ ۱۰ تن زئولیت در هکتار ۲/۵ میلیون ریال خواهد شد. از سویی قیمت هر کیلوگرم دانهٔ ارزن پروسو بین سی تا هفتاد هزار ریال (میانگین پنجاه‌هزار ریال) است، پس چنانچه استفاده از زئولیت باعث بهبود ۵۰ کیلوگرم در هکتار و یا بیشتر عملکرد دانه در هر هکتار شود، استفاده از زئولیت مقرون‌به‌صرفه خواهد بود. البته باید در نظر داشت که می‌توان با استفاده از زئولیت تا حدی در استفاده از منابع آب که به‌شدت محدود هستند نیز صرفه‌جویی کرد.

در این آزمایش استفاده از زئولیت در شرایط کمبود آب، باعث شد گیاه ارزن، سطح تنش خشکی کمتری را درک کند در واقع استفاده از زئولیت باعث کاهش تأثیر زیانبار تنش خشکی در گیاه ارزن می‌شود و از این‌رو در شرایط محدودیت آبی و تنش خشکی استفاده از ۱۰ تن زئولیت در هکتار در منطقه قابل توصیه است.

REFERENCES

1. Ashraf, M. Y., Azmi, A. R., Khan, A. H. & Ala, S. A. (1994). Effect of water on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. *Acta Phsiologica Plantarum*, 16,185-191.
2. Bates, L. S., Waldern, R. P. & Teave, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-107.
3. Beauchamp, C. & Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase's: improved assays and an assay predictable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, 44, 276-287.
4. Behnamnia, M., Kalantari, Kh. M. & Rezanejad, F. (2009). Exogenous application of brassinosteroid alleviates drought-induced oxidative stress in *Lycopersicon esculentum* L. *General and applied plant physiology*, 35, 22-34.
5. Blum, A. (1992). Breeding methods for drought resistance. In: G. Hamlyn, T. J. Flower & B. Jones (eds), *Plant Under Stress*. Cambridge University Press. pp. 197-215.
6. Bowler, C., Montagu, M. V. & Inze, D. (1992). Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 43, 83-116.
7. Bruck, H., Payne, W. A. & Sattelmacher, B. (2000). Effects of phosphorus and water supply on yield, transpiration, water–use efficiency and carbon isotope discrimination of pearl millet. *Crop Science*, 40, 120-125.
8. Chance, B. & Maehly, A. C. (1995). Assay of catalase and peroxidase. PP. 764-765 In: S. P. Culowic, and N. O. Kaplan (eds). *Methods in enzymology* Vol. 2. Academic Press. Inc. New York
9. Dhindsa, R. S., Plumb-Dhindsa, P. & Thorpe, T. A. (1981). Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, 32, 93-101.
10. Earl, H. J. & Davis, R. F. (2003). Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*, 95, 688-696.
11. Entz, M. H. & Flower, D. B. (1990). Differential agronomic responses of winter wheat cultivars to preanthesis environmental stress. *Crop Science*, 30 (6), 1119-1123.
12. Eshghi S., Mahmoodabadi, M. R., Abdi, G. R. & Jamali, B. (2010). Zeolite ameliorates the adverse effect of cadmium contamination on growth and nodulation of soybean plant (*Glycine max* L.). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 4(10), 43-50.
13. Golombek, S. & Al-Ramamneh, E. A. D. (2002). Drought tolerance mechanisms of pearl millet. University of Kassel, Institute of Crop Science, Germany. October 9-11.
14. Hanson, A. D. & Hitz, W. D. (1982). Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Annual Review of Plant Physiology*, 33, 163-203.
15. Huang, Z. T. & Petrovic, A. M. (1995). Physical properties of sand as affected by clinoptilolite zeolite particle size and quantity. *Journal of Turf grass Management*, 1(1), 1-15.
16. Karimzadeh Soureshjani H., Emam, Y & Moori, S. (2012). Responses of Yield, Yield Components and Drought Resistance Indices in Bread and Durum Wheat Cultivars to Post-Anthesis Drought Stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 43(1), 151-162. (in Farsi)
17. Khazaie H. R., Mohammad abadi, A. A. & Borzooei, A. (2005). The effect of drought stress on morphological and physiological characteristics of millets. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 3(1), 35-44. (in Farsi)
18. Kliebenstein, D. J., Dietrich, R. A., Martin, A. C., Last, R. L. & Dangl, J. L. (1999). Regulates salicylic acid Induction of copper zinc superoxide dismutase in *Arabidopsis thaliana* L. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 12, 1022-1026.

Archive of SID

www.SID.ir

19. Lichtenthaler, H. & Wellburn A. R. (1983). Determination of total carotenoids and chlorophyll a and chlorophyll b leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 603, 591-592.
20. Mehrpooyan M. & Faramarzi, A. (2011). Effect of different level of deficit irrigation on quantitative yield and water use efficiency of millet and sorghum. *Journal of plants and ecosystems*, 7(26), 60-71. (in Farsi)
21. Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7, 405-410.
22. Moori S., Emam, Y. & Karimzadeh, H. (2012). Effect of cutting of irrigation on physiologic traits and yield of wheat genotypes in Shiraz. *Journal of Crop Production and Processing*, 4, 105-118. (in Farsi)
23. Nakhaei A., Abasi, M. R. & Arazmjoo, E. (2013). Evaluation of yield and morphological traits of millet genotypes in response t cutting of irrigation at flowering stage. *Crops ecophysiology*, 2(26), 115-128. (in Farsi)
24. Pareek A., Sopory, S. K., Hans, J. & Govindjee, B. (2009). Abiotic stress adaptation in plants, Physiological, *Molecular and Genomic Foundation.* Springer Press, 569 pages.
25. Pireivatloum, J., Qasimov, N. & Maralian, H. (2010). Effect of soil water stress on yield and proline content of four wheat lines. *African Journal of Biotechnology*, 9, 036-040.
26. Pulite, E., Karaca, M., Demir, H. & Naci Onus, A. (2004). Use of natural zeolite (*Clinoptil olite*) in agriculture. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 12, 183-189.
27. Richard, G. A., Luis, S. P., Lisbon, P. & Martin, S. (1998). FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56.Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO, Water Resources, Development and Management Service. Rome, Italy 326p.
28. Renu, K. C. & Devarshi, S. (2007). Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than susceptible wheat cultivar under field conditions. Environmental and Experimental Botany, 60, 276-283.
29. Safaee R., Shirani Rad, A. H., Mirhadi, M. J. & Delkhosh, B. (2008). Effect of zeolite on rape seed cultivar in drought stress condition. *Journal of Plant Ecology*, 15, 63-79. (in Farsi)
30. Sarvajeet. S. G. & Narendra, T. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in a biotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 3, 1-22.
31. Seghatoleslami M. J., Kafi, M. & Majidi, E. (2008). Effect of drought stress at different growth stages on yield and water use efficiency of five Poroso millet genotypes. *Pakistan journal of Botany*, 40(4), 1427-1432. (in Farsi)
32. Seghatoleslami, M. J., Majidi, E., Kafi, M., Noor Mohammadi, G., Darvish, F. & Mousavi, S. G. (2005). Phenological and morphological response of three millets species to deficit irrigation. *Journal Agricultural Science*, 11(3), 89- 99. (in Farsi)
33. Shao, H. B., Liang, Z. S. & Shao, M. A. (2005). Changes of some anti-oxidative enzymes under soil water deficits among 10 wheat genotypes at maturation stage. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 45, 7-13.
34. Shojaee A., Delkhosh, B., Shirani Rad, A. H. & Noormohamadi, G. (2012). Evaluation of K and zeolite on turnip in late season drought stress condition. *Crop Production in environmental stress*, 4, 51-64. (in Farsi)
35. Zahedi H., Noor-Mohamadi, G., Shirani Rad, A. H., Habibi, D. & Boojar, A. (2009). The effects of zeolite and foliar applications of selenium on growth yield and yield components of three canola cultivars under drought stress. *World Applied Sciences Journal*, 7, 255-262.

Archive of SID

www.SID.ir