تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3666.1890

مقاله پژوهشی

تأثیر محلول‌پاشی هیومیک اسید بر عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) در شرایط تنش خشکی در منطقه رامجرد فارس

زهرا قاسمی[۱]، شاهرخ جهان‌بین[۲*]، حجت‌اله لطیف‌منش[۲]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج
۲. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
پراکسیداز
پرولین
تنش خشکی
سوپراکسید دیسموتاز
کلروفیل

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۶/۱۲

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۰۹/۱۲

تاریخ انتشار:
بهار ۱۴۰۱

۱۵(۱): ۱۳۷-۱۴۷

چکیده

به‌منظور ارزیابی تأثیر محلول‌پاشی هیومیک اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن معمولی در شرایط تنش خشکی آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۴ در مزرعه واقع در منطقه رامجرد استان فارس اجرا شد. رژیم آبیاری به‌عنوان عامل اصلی شامل دو سطح آبیاری نرمال و تنش خشکی (قطع آبیاری) در مرحله ۵۰ درصد گلدهی و عامل فرعی نیز شامل محلول‌پاشی کود هیومیک اسید در پنج سطح (۷، ۵، ۳، ۱ درصد و آب خالص به‌عنوان شاهد) در نظر گرفته شدند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد تنش خشکی باعث کاهش معنی‌داری در اکثر صفات مورفولوژیک موردمطالعه شد اما هیومیک اسید تا حد زیادی اثرات تنش خشکی را کنترل و درنهایت عملکرد تیمارهای هیومیک اسید بیشتر از تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد) بود. نکته قابل‌توجه در این پژوهش روند تغییرات صفات بیوشیمیایی در تیمارهای تنش به‌گونه‌ای بود که با افزایش درصد هیومیک اسید، پرولین، آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز و پراکسیداز کاهش پیدا کردند، درحالی‌که که باعث افزایش میزان کلروفیل شد که این مسئله بیانگر تأثیر مثبت هیومیک اسید در کاهش اثرات تنش خشکی است. به‌طورکلی ما می‌توانیم نتیجه بگیریم که استفاده از محلول‌پاشی هیومیک اسید از طریق کاهش اثرات تنش خشکی در ارزن، باعث افزایش تعداد خوشه در مترمربع، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گردید.

مقدمه

در چند دهه اخیر تغییر شرایط آب و هوایی سبب کاهش مقدار و توزیع بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان ازجمله ایران شده است. از طرفی در ایران، تنش خشکی مهم‌ترین عامل کاهش رشد و عملکرد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Pouresmaeel et al., 2009)؛ بنابراین کشت گیاهان مقاوم به خشکی مثل ارزن که یکی از غلات سنتی در نواحی خشک و نیمه‌خشک است به دلیل تحمل نسبی بالا به خشکی، رشد سریع، چهار کربنه بودن و کارایی مصرف آب بالاتر نسبت به گونه‌های سه کربنه، می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی مناسب جهت تولید محصولات زراعی در این مناطق باشد (Hayati et al., 2011).

ارزن یکی از غلات سنتی در نواحی خشک و نیمه‌خشک مناطق گرمسیری محسوب می‌شود که از تحمل بالایی نسبت به تنش خشکی و شوری برخوردار است. ارزن‌ها جزء غلات دانه‌ریز و به خانواده گندمیان (Poaceae) تعلق دارند. از خانواده مذکور گونه‌های مختلفی نظیر ارزن معمولی (*Panicum miliaceum*)، ارزن دم‌روباهی (*Setaria*

* نگارنده پاسخگو: شاهرخ جهان‌بین. پست الکترونیک: Jahanbin@yu.ac.ir

italica)، ارزن انگشتی (*Elusine corocana*) و چندگونه دیگر شناخته شده‌اند (De Wet, 1986). ارزن معمولی جزء گیاهان روزکوتاه، یک‌ساله با پنجه‌زنی متوسط محسوب می‌شود. وجود کرک‌های ظریف روی ساقه و برگ گیاه از دیگر مشخصات مهم این ارزن است (Conover et al., 1989). ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) گیاهی با رشد سریع، مقاومت نسبی به خشکی و شوری، درصد زیاد پروتئین، پربرگی و خوش‌خوراکی، نبود اسید پروسیک، سازوکار فتوسنتزی چهارکربنه، توان تولیدی مناسب و بالا بودن کارایی مصرف آب به‌صورت یک گیاه علوفه‌ای ایده‌آل مناسب برای کاشت در مناطق کم‌آب است (Safari et al., 2007). با توجه به تغییر شرایط آب و هوایی و کاهش مقدار و توزیع بارندگی در ایران ضروری است در راستای کاهش اثرات خشکی بر این گیاه در شرایط موجود گام برداشته شود.

با توجه به اینکه تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در شرایط تنش خشکی در گیاهان افزایش می‌یابد، این امر باعث آسیب به سلول‌های گیاهان می‌شود. درنتیجه، بافت‌های گیاهی به‌منظور کنترل سطح تولید گونه‌های فعال اکسیژن و محافظت از سلول‌ها، جهت پاک‌سازی آن‌ها ترکیب‌های آنزیمی تولید می‌کنند که برخی از این آنزیم‌ها سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز می‌باشند؛ بنابراین گیاهان زراعی در مواجهه با تنش خشکی، افزایش سطح این آنزیم‌ها در بافت‌های در معرض تنش و یا در کل گیاه را نشان می‌دهند (Pareek et al., 2009). از طرف دیگر، تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار میزان تجمع پرولین در مراحل مختلف رشد گیاه می‌شود (Pireivatloum et al., 2010)؛ بنابراین بررسی فاکتورهای مذکور تحت تأثیر خشکی می‌تواند گویای میزان تأثیرات این تنش بر گیاه باشد.

هیومیک اسید، اسیدهای آلی قابل‌حل در آب هستند که به‌طور طبیعی در مواد آلی خاک حضور دارند (Gautam et al., 2021). هیومیک اسید می‌تواند در افزودن مواد آلی به خاک افزایش قدرت ریشه، بهبود جذب مواد غذایی، افزایش سنتز کلروفیل، بهبود جوانه‌زنی بذر، تحریک فعالیت میکروبی مفید، تحریک‌کننده هورمون‌ها و آنزیم‌های گیاهی و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی نقش داشته باشد (Zhang et al., 2010). هیومیک اسید افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ارزن را به دنبال داشته است به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع گیاه، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، محتوای پروتئین دانه و تعداد دانه مربوط به ۱۰۰ درصد محلول‌پاشی برگ‌ها می‌شود (Saruhan et al., 2011). گزارش شده که کاربرد هیومیک اسید در شرایط کم‌آبیاری در ذرت باعث افزایش شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و میزان تجمع ماده خشک می‌شود (Shah Hosseini et al.,2012). در تمام رژیم‌های آبیاری، مصرف هیومیک اسید که همراه با آب آبیاری توسط ریشه در اختیار گیاه قرار گرفت، سبب افزایش معنی‌دار عملکرد ارزن شد (Gazaran and Bazobandi, 2013)، این موضوع اهمیت مصرف هیومیک اسید را تائید می‌کند. با توجه به کمبود آب، بررسی نیاز آبی گیاهان و شناسایی ارقام مقاوم به خشکی جزو اولویت‌های تحقیقاتی استان فارس است. از طرفی نقش و اهمیت استفاده از کودهای زیستی بر عملکرد ارزن معمولی ثابت‌شده است اما اثر محلول‌پاشی هیومیک اسید بر عملکرد ارزن معمولی در شرایط تنش خشکی مشخص نیست، بنابراین ضروری است تأثیرات محلول‌پاشی هیومیک اسید در افزایش تحمل به خشکی در ارزن بررسی گردد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی عملکرد، اجزاء عملکرد و برخی خصوصیات بیوشیمیایی یک رقم ارزن معمولی، تحت دو رژیم آبیاری در شرایط مصرف کودهای آلی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۴ در مزرعه‌ای در منطقه رامجرد فارس واقع در ۴۰ کیلومتری شمال شرقی شهر شیراز با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۸ دقیقه، عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۲ دقیقه و ارتفاع ۱۶۲۰ متر از سطح دریا، انجام شد. قبل از انجام آزمایش به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک صورت گرفت که در جدول (۱) ارائه شده است. رژیم آبیاری به‌عنوان عامل اصلی شامل دو سطح آبیاری نرمال که روی‌هم‌رفته ۸ نوبت آبیاری صورت گرفت (هر ۱۰ روز یک‌بار) و قطع آبیاری (تنش خشکی) که روی‌هم‌رفته ۶ نوبت آبیاری (هر ۱۰ روز یک‌بار) و قطع آبیاری در مرحله گلدهی صورت گرفت، لذا پس از گلدهی تیمار تنشی آبیاری نگردید؛ و عامل فرعی نیز شامل محلول‌پاشی کود هیومیک اسید که از شرکت زیست فناور سبز تهران تهیه گردیده بود در پنج سطح (۱، ۳، ۵، ۷ درصد هیومیک اسید و آب خالص) انجام شد. محلول‌پاشی هیومیک اسید برای همه تیمارها در دو مرحله هشت برگی و یک هفته بعد از گلدهی صورت گرفت.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر

Table 1. Some physicochemical properties of the soil at 0-30 cm depth

هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity (dS/m)	2.55
اسیدیته pH	7.9
جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر) Bulk density (g/cm^3)	1.55
درصد وزنی رطوبت خاک قبل از کشت Soil water content before planting	19.57
درصد وزنی رطوبت اشباع Saturated water content (percent)	48
بافت خاک Soil texture	لومی رسی Clay loam
فسفر (درصد) Phosphorus (percent)	12
نیتروژن قابل‌دسترس (درصد) Available nitrogen (percent)	10.11
پتاسیم (درصد) Potassium (percent)	10.2

اندازه‌گیری آنزیم پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز، پرولین و کلروفیل برگ پرچم یک هفته بعد از محلول‌پاشی مرحله دوم انجام گرفت. برای اعمال تنش خشکی، زمانی که گیاه به ۵۰ درصد گلدهی رسیده بود قطع آبیاری به‌طور کامل اعمال گردید. توده ارزن مورداستفاده در این آزمایش، ارزن بومی منطقه رامجرد بود که از مرکز خدمات کشاورزی شهر رامجرد تهیه شد، رقمی زودرس با طول دوره رشد ۸۰ تا ۹۰ روز است که به‌عنوان کشت دوم در اوایل تیرماه و بعد از برداشت گندم کشت گردید. هر کرت شامل چهار ردیف کاشت به طول ۴ متر و فاصله خطوط کاشت روی پشته ۲۰ سانتی‌متر و به تعداد دو ردیف، فاصله پشته‌های عریض از هم ۴۵ سانتی‌متر جهت سهولت عملیات داشت و نمونه‌برداری بود. فاصله کرت‌های اصلی از هم سه متر و فاصله کرت‌های فرعی یک متر در نظر گرفته شد. کشت بذور به‌صورت ردیفی با دست انجام و میزان بذر مصرفی در هر هکتار ۱۰ کیلوگرم اعمال شد. کود دهی معادل ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره نیمی در مرحله قبل از کاشت و نیم دیگر در مرحله ۶ برگی، ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم در مرحله قبل از کاشت و محلول‌پاشی سولفات پتاسیم به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار قبل از گلدهی اعمال گردید.

در پایان فصل رشد تعداد خوشه، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، میزان کلروفیل برگ پرچم، میزان آنزیم پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و پرولین مورد ارزیابی قرار گرفتند. برداشت بوته‌ها برای محاسبه عملکرد و اجزای عملکرد دانه و کل ماده خشک از مساحت یک مترمربع از وسط هر کرت بود به‌طوری‌که خطوط حاشیه‌ای و ابتدا و انتهای خطوط وسط کرت برای محاسبه استفاده نشد. برای سنجش مقدار کلروفیل برگ، یک هفته بعد از محلول‌پاشی مرحله دوم از روش آرنون (Arnon, 1967)، پراکسیداز (Chance and Maehly, 1955)، سوپراکسیددیسموتاز (Beauchamp and Friderich, 1971) و پرولین (Paquin and Lechasseur, 1979) استفاده شد. همچنین شاخص برداشت با تقسیم عملکرد دانه به‌کل ماده خشک محاسبه شد. داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS V9.2 تجزیه‌وتحلیل گردید و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

پرولین

نتایج تجزیه واریانس حاکی از معنی‌دار بودن اثر تنش خشکی، محلول‌پاشی هیومیک اسید و برهمکنش بین آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر میزان تجمع پرولین بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان پرولین مربوط به تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد) در شرایط تنش خشکی بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار محلول‌پاشی ۱ درصد هیومیک اسید در شرایط تنش خشکی نداشت. کمترین میزان پرولین نیز مربوط تیمار محلول‌پاشی ۷ درصد هیومیک اسید در شرایط آبیاری نرمال بود که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای مختلف در این شرایط آبیاری به‌استثنای محلول‌پاشی ۵ درصد نداشت. ازآنجاکه پرولین یکی از اسمولیت‌های مقاومت به خشکی است، تنش خشکی باعث افزایش شدید در تجمع این اسیدآمینه می‌گردد (Hanson and Hitz, 1982). درحالی‌که در هیچ‌یک از فاکتورهای بیوشیمیایی مقاومت به خشکی این افزایش چندین برابری مشاهده نمی‌شود (Renu and Devarshi. 2007; Sarvajeet and Narendr, 2010). به همین دلیل در بسیاری از پژوهش‌ها از آن به‌عنوان شاهدی برای سایر معیارهای بیوشیمیایی استفاده می‌کنند (Sarvajeet and

Narendr, 2010). می‌توان بهبود شرایط رشدی برای گیاهان در اثر کاربرد هیومیک اسید را، با توجه به تأثیر هیومیک اسید بر غشا و درنتیجه بهبود انتقال عناصر غذایی، افزایش سنتز پروتئین و فتوسنتز که به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر رشد گیاه دانست (Dalvand et al., 2018). به‌طورکلی با بررسی نتایج در این مطالعه میزان افزایش پرولین در تیمار تنش خشکی نسبت به آبیاری نرمال مشاهده گردید و در شرایط تنش خشکی با افزایش هیومیک اسید، میزان پرولین نسبت به محلول‌پاشی با آب (شاهد) کاهش داشت (جدول ۳).

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده در ارزن معمولی تحت شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی هیومیک اسید

Table 2. Analysis of variance of biochemical and physiological traits measured in conventional millet under drought stress conditions and humic acid foliar

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	پرولین Proline	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	پراکسیداز Peroxidase	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b
تکرار Replication	2	44.43	0.0003	0.0000312	0.40	0.20
آبیاری Irrigation (I)	1	8200.53**	0.4154**	0.023460**	210.78*	6.98*
خطای a Error a	2	35.03	0.0020	0.0000042	2.18	0.15
محلول‌پاشی هیومیک اسید Humic Acid foliar (H)	4	1141.88**	0.0046**	0.0006133**	53.01**	2.17**
محلول‌پاشی× آبیاری I * H	4	829.78**	0.0086**	0.0013245**	4.70**	0.31ns
خطای b Error b	16	10.43	0.00097	0.0000281	0.61	0.2
C.V (%)		*13.38*	*2.45*	*2.60*	*7.42*	*13.52*

ns، ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال خطای ۱ و ۵ درصد را نشان می‌دهند.

* and ** and ns, indicate significantly different at 5% and 1% probability and are not significant, respectively

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی، محلول‌پاشی هیومیک اسید و برهمکنش بین آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز داشتند (جدول ۲). در شرایط تنش خشکی بیشترین میزان این آنزیم مربوط به تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد) بود که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارهای هیومیک اسید بود. همچنین در شرایط آبیاری نرمال، کمترین میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز مربوط به تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد) بود درحالی‌که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای هیومیک اسید در شرایط آبیاری نرمال نداشت (جدول ۳). سوپراکسید دیسموتاز ازجمله آنزیم‌هایی است که بافت‌های گیاهی به‌منظور پاک‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن تولید می‌کنند و گیاهان زراعی جهت رویارویی با اثر تنش خشکی، میزان آن را در بافت‌های در معرض تنش خشکی و یا در کل گیاه افزایش می‌دهند (Pareek et al., 2009). در این تحقیق میزان سوپراکسید دیسموتاز در شرایط آبیاری نرمال به‌طور معنی‌داری از همه تیمارهای تنش خشکی کمتر بود، درحالی‌که در شرایط تنش خشکی بیشترین میزان در تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد) مشاهده گردید که این مسئله می‌تواند مؤید کاهش میزان سوپراکسید دیسموتاز درنتیجه استفاده از هیومیک اسید در شرایط تنش باشد.

آنزیم پراکسیداز

نتایج این پژوهش نشان داد که اثر تنش خشکی، محلول‌پاشی هیومیک اسید و برهمکنش آن‌ها در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر میزان آنزیم پراکسیداز داشتند (جدول ۲). بیشترین میزان آنزیم

پراکسیداز در تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد)، در شرایط تنش خشکی ملاحظه گردید. کمترین میزان این آنزیم مربوط به تیمار آبیاری نرمال و محلول‌پاشی هیومیک اسید با غلظت ۱ درصد بود (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده در ارزن معمولی تحت شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی هیومیک اسید

Table 3. Comparison of the mean interaction effects of biochemical and physiological traits measured in conventional millet under drought stress conditions and humic acid foliar

رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes	محلول‌پاشی هیومیک اسید Humic Acid foliar application	پرولین Proline	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	پراکسیداز Peroxidase	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b
		µg g^{-1}	----------mg g^{-1}----------			
تنش خشکی Drought stress	شاهد Control	85.67^{a}	1.40 ^{a}	0.24 ^{a}	8.26 ^{e}	1.31 ^{e}
	1%	80.00^{a}	1.24 ^{c}	0.21 ^{c}	8.31 ^{e}	1.51 ^{e}
	3%	49.00 ^{b}	1.27 ^{bc}	0.21 ^{c}	10.45 ^{d}	2.06 ^{de}
	5%	40.33 ^{c}	1.31 ^{b}	0.19 ^{d}	13.91 ^{c}	2.56 ^{cd}
	7%	34.33 ^{cd}	1.24 ^{c}	0.22 ^{b}	16.56 ^{b}	3.12 ^{bc}
آبیاری نرمال Normal irrigation	شاهد Control	29.00 ^{de}	1.03 ^{d}	0.17 ^{e}	13.51 ^{c}	2.63 ^{cd}
	1%	28.03^{de}	1.06 ^{d}	0.13 ^{g}	15.54 ^{b}	3.16 ^{bc}
	3%	25.67 ^{de}	1.07 ^{d}	0.18 ^{e}	16.59 ^{b}	3.03 ^{bc}
	5%	23.33 ^{e}	1.07 ^{d}	0.16 ^{f}	19.33 ^{a}	3.93 ^{ab}
	7%	20.67 ^{de}	1.06 ^{d}	0.15 ^{f}	19.02 ^{a}	4.23 ^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری باهم ندارند

Means of each column followed by similar letters based on Duncan test at 5% are not significantly different

به‌طورکلی میزان آنزیم پراکسیداز در تیمارهای تنش خشکی به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای شرایط آبیاری نرمال بیشتر بود. با توجه به نقش آنزیم پراکسیداز گیاهی در فرآیندهای مهم فیزیولوژیک اعم از کنترل رشد توسط چوبی شدن، پیوستن پکتین‌ها و پروتئین‌های ساختاری در دیواره سلولی و کاتابولیسم اکسین، برای انواع مختلف تنش‌های زنده و غیرزنده به‌عنوان نشانگری بیوشیمیایی استفاده می‌گردد (Foyer and Halliwell, 1976). درعین‌حال آنزیم پراکسیداز از آنزیم‌هایی است که سهم زیادی برای مقاومت به تنش خشکی در اثر حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاهان را بر عهده دارد (Chance and Maehly, 1955). نتایج به‌دست‌آمده با بررسی عابدی و پاک‌نیت (Abedi and Pakniyat, 2010) در خصوص کلزا و امینی و همکاران (Amini et al., 2009) در خصوص جو مطابقت داشت. آن‌ها گزارش نمودند که اعمال تیمار خشکی باعث افزایش معنی‌دار میزان آنزیم پراکسیداز می‌شود. ازاین‌رو می‌توان نتیجه گرفت در این تحقیق استفاده از هیومیک اسید عامل کاهش رادیکال‌های آزاد و در پی آن کاهش میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در سطوح مختلف کودی شرایط تنش خشکی نسبت به محلول‌پاشی با آب (شاهد) گردید درنتیجه میزان پراکسیداز در سطوح مختلف استفاده از هیومیک اسید نسبت به محلول‌پاشی با آب (شاهد) کاهش معنی‌داری داشت.

کلروفیل برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی هیومیک اسید بر میزان کلروفیل a و b در سطح پنج درصد و برهمکنش تنش خشکی و محلول‌پاشی هیومیک اسید تنها بر میزان کلروفیل a در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تنش خشکی میزان رنگیزه‌های گیاهی را کاهش داد و در سطوح مختلف هیومیک اسید، با افزایش آن میزان رنگیزه‌ها افزایش داشتند (جدول ۳). با توجه به اینکه پیش ماده مشترک کلروفیل و پرولین گلوتامات است، در اثر تنش خشکی گلوتامات به پرولین تبدیل‌شده و درنتیجه از محتوی کلروفیل کاسته می‌شود، اما چنانچه سنتز پرولین کاهش یابد گلوتامات موجود در مسیر سنتز کلروفیل

مورداستفاده قرارگرفته و باعث افزایش محتوی کلروفیل می‌شود (Paleg and Spinall, 1981., Lawlor and Cornic, 2002). از طرف دیگر، در شرایط تنش، کاهش فعالیت فتوسنتزی ناشی از کاهش محتوای کلروفیل به‌طور مستقیم مرتبط با کاهش متابولیسم کربن و عملکرد است (Meloni et al., 2003). هیومیک اسید از طریق افزایش حجم ریشه بستر مناسب جذب عناصر پرمصرف را فراهم آورده و فعالیت فتوسنتزی گیاهان را بهبود می‌دهد، درنتیجه باعث افزایش عملکرد اندام‌های هوایی و نهایتاً تولید محصول می‌شود (Astaraei, 2008). بر اساس جدول مقایسه میانگین در شرایط تنش خشکی بیشترین میزان کلروفیل a در محلول‌پاشی ۷ درصد هیومیک اسید مشاهده گردید، به‌طور مشابه بیشترین میزان کلروفیل b در محلول‌پاشی ۷ درصد هیومیک اسید مشاهده گردید درحالی‌که اختلاف معنی‌داری با محلول‌پاشی ۵ درصد مشاهده نگردید. بیشترین میزان کلروفیل a مربوط به برهمکنش شرایط آبیاری نرمال و محلول‌پاشی ۵ درصد هیومیک اسید بود که اختلاف معنی‌داری با برهمکنش شرایط آبیاری نرمال و سطح ۷ درصد هیومیک اسید نداشت. کمترین میزان کلروفیل a نیز مربوط به تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد) در شرایط تنش خشکی بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار کودی ۱ درصد هیومیک اسید در شرایط تنش خشکی نداشت. کمترین میزان کلروفیل b در تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد) در شرایط تنش خشکی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سطوح کودی ۱ و ۳ درصد شرایط تنش خشکی نداشت (جدول ۳). محلول‌پاشی هیومیک اسید سبب افزایش کلروفیل در گیاه از راه افزایش سرعت و میزان جذب مواد غذایی شده و متعاقباً رشد اندام‌های رویشی و زایشی را تقویت می‌کند (El-Bassiony et al., 2010). همچنین اثر هیومیک اسید در محیط ریشه از راه تأمین و کمک به جذب عناصر کم‌مصرف و پرمصرف باعث بهبود وضعیت فتوسنتزی شد (Astaraei, 2008).

تعداد خوشه در مترمربع

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تیمار آبیاری و مصرف کود هیومیک اسید تأثیر معنی‌داری (در سطح یک درصد) بر تعداد خوشه در مترمربع داشتند، درحالی‌که اثر متقابل آن‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کمترین میزان تعداد خوشه در تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد) در شرایط تنش و آبیاری نرمال مشاهده گردید درحالی‌که بیشترین میزان آن در تیمار محلول‌پاشی ۷ درصد هیومیک اسید مشاهده گردید (جدول ۵). فیشر و همکاران (Fischer, 2011) گزارش کردند تنش در مرحله گرده‌افشانی گندم و بعدازآن باعث کاهش معنی‌دار در صفات عملکردی می‌گردد. کاهش تعداد خوشه در شرایط تنش می‌تواند در جهت تنظیم مقصدهای فیزیولوژیک، نسبت به مقدار تولید مواد پرورده باشد (Seghatoleslami et al., 2008). در بین تیمارهای کودی هیومیک اسید بیشترین تعداد خوشه مربوط به محلول‌پاشی با غلظت ۷ درصد بود، درحالی‌که در تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد) کاهش ۱۵ درصدی نسبت به محلول‌پاشی ۷ درصد هیومیک اسید ملاحظه شد (جدول ۵). با توجه به اینکه گزارش‌شده که هیومیک اسید پارامترهای رشدی مانند تعداد برگ، شاخص سطح برگ، عملکرد ماده خشک را در سطوح مختلف به‌صورت معنی‌داری افزایش داد (Daur and Bakhashwain, 2013) که این پارامترها درنهایت بر عملکرد و اجزای عملکرد اثرگذارند. می‌توان نتیجه گرفت تعداد خوشه در مترمربع متأثر از محلول‌پاشی هیومیک اسید است.

تعداد دانه در خوشه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تیمار تنش خشکی و مصرف هیومیک اسید و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در خوشه داشتند (جدول ۴).

تعداد دانه در خوشه بین تیمارهای آبیاری تفاوت معنی‌داری داشت، به‌طورکلی ارزن در شرایط تنش ۵۶ درصد دانه کمتری نسبت به شرایط آبیاری نرمال تولید کرد (جدول ۵). تنش خشکی می‌تواند به دلیل کاهش تعداد گلچه‌های بارور، تعداد دانه در خوشه را کاهش دهد (Ober and Sharp, 2003). در این آزمایش تعداد دانه در خوشه تحت تأثیر کاربرد هیومیک اسید و اثر متقابل تنش خشکی و هیومیک اسید قرار گرفت. درواقع هیومیک اسید اثر منفی ناشی از تنش خشکی بر تعداد دانه در خوشه را از طریق کاهش پرولین، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز و درعین‌حال افزایش میزان کلروفیل و درنتیجه افزایش فتوسنتز جبران کرد. بیشترین تعداد دانه در هر خوشه در تیمار تلفیقی شرایط آبیاری نرمال و محلول‌پاشی هیومیک اسید ۵ درصد به دست آمد. کمترین تعداد دانه در خوشه نیز مربوط به تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد) شرایط تنش خشکی بود که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای تلفیقی شرایط تنش خشکی و

محلول‌پاشی هیومیک اسید ۱ و ۳ درصد نداشت. در بین تیمارهای تنش، تیمار هیومیک اسید ۷ درصد نسبت به تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد) افزایش ۱۲ درصدی در تعداد دانه در خوشه نشان داد (جدول ۵).

جدول ۴. تجزیه واریانس صفات عملکرد و اجزای عملکرد در ارزن معمولی تحت شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی هیومیک اسید

Table 4. Analysis of variance of yield and yield components in conventional millet under drought stress conditions and humic acid foliar application

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	تعداد خوشه در مترمربع Number of spikes m^{-2}	تعداد دانه در هر خوشه Number of grain per spike	وزن هزار دانه 1000-Grain weight	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest Index
تکرار Replication	2	49.23	34.03	1.37	508.26	20.41
آبیاری Irrigation (I)	1	3413.33**	16614.67**	15.93**	15272.67**	248.32**
خطای a Error a	2	10.43	4.23	0.013	24.32	0.1552
محلول‌پاشی هیومیک اسید Humic acid foliar application (H)	4	377.42**	478.25**	0.57**	488.28**	11.69^{ns}
آبیاری× محلول‌پاشی I * H	4	33.42*	148.78**	0.23*	97.30**	0.5974^{ns}
خطای b Error b	16	8.06	19.82	0.07	17.89	0.9783
C.V (%)		*3.87*	*2.74*	*8.91*	*13.61*	*16.68*

ns، ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال خطای ۱ و ۵ درصد را نشان می‌دهند.

* and ** and ns, indicate significantly different at 5% and 1% probability and are not significant, respectively

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس این پژوهش نشان داد که وزن هزار دانه تحت تأثیر معنی‌دار اثر خشکی، محلول‌پاشی هیومیک اسید و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین وزن هزار دانه ارزن به تیمار تلفیقی شرایط آبیاری نرمال و محلول‌پاشی هیومیک اسید ۷ درصد اختصاص داشت که تفاوتی با تیمار تلفیقی شرایط آبیاری نرمال و محلول‌پاشی هیومیک اسید ۵ درصد نداشت. کمترین وزن هزار دانه نیز مربوط به تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد) در شرایط تنش خشکی بود که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای تلفیقی شرایط تنش خشکی و هیومیک اسید ۱ و ۵ درصد نداشت. وزن هزار دانه در شرایط تنش کاهشی ۴۰ درصدی نسبت به شرایط آبی نشان داد (جدول ۵). تنش خشکی از طریق اختلال در فتوسنتز و عدم توزیع مناسب مواد ذخیره‌ای علت کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط نرمال است (Guttieri et al., 2006). هیومیک اسید می‌تواند در تمام رژیم‌های آبیاری، همراه با آب آبیاری توسط ریشه در اختیار گیاه قرار گیرد و سبب افزایش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد ارزن شود (Gazaran and Bazobandi, 2013). نتایج حاصل از این پژوهش این مسئله را تائید می‌کند به‌طوری‌که محلول‌پاشی هیومیک اسید ۷ درصد نسبت به محلول‌پاشی با آب (شاهد) در شرایط تنش خشکی افزایش ۴۱ درصدی را نشان داد (جدول ۵). کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش خشکی می‌تواند براثر کاهش سرعت رشد دانه و یا کاهش طول دوره پر شدن دانه باشد که این موضوع اهمیت مصرف کودهای زیستی مانند هیومیک اسید را تأیید می‌کند؛ اما برخی از محققین ازجمله ثقةالاسلامی و همکاران (Seghatoleslami, 2008) عدم معنی‌داری کاهش وزن هزار دانه ارزن درنتیجه تنش خشکی را گزارش نموده‌اند.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات متقابل عملکرد و اجزای عملکرد در ارزن معمولی در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی هیومیک اسید

Table 5. Comparison of the mean interaction effects of yield and yield components in conventional millet under drought stress conditions and humic acid foliar

آبیاری Irrigation	محلول‌پاشی هیومیک اسید Humic Acid foliar application	تعداد خوشه در مترمربع Number of spikes m^{-2}	تعداد دانه در خوشه Number of grain per spike	وزن هزار دانه 1000-Grain weight	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest Index
				g	$g\ m^{-2}$	%
تنش خشکی Drought stress	شاهد (Control)	97.00 f	131.00 g	1.71 d	28.59 e	6.67 e
	1%	102.67 f	134.33 g	2.17 cd	31.70 de	7.18 de
	3%	111.67 e	137.33 fg	2.38 c	38.01 de	9.08 cde
	5%	118.00 de	141.67 ef	2.07 cd	37.18 de	7.53 de
	7%	115.67 de	146.33 e	2.42 c	40.15 d	10.34 bcd
آبیاری نرمال Normal irrigation	شاهد (Control)	120.67 cd	164.33 d	3.26 b	62.91 c	12.01 abc
	1%	126.67 bc	183.33 c	3.33 b	74.08 bc	13.62 ab
	3%	131.00 b	191.33 b	3.32 b	83.15 ab	15.19 a
	5%	132.00 b	199.67 a	3.90 a	84.39 ab	13.52 ab
	7%	141.33 a	187.33 bc	4.22 a	96.17 a	15.23 a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری باهم ندارند

Means of each column followed by similar letters based on Duncan test at 5% are not significantly different

عملکرد دانه

نتایج به‌دست‌آمده از جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر تنش خشکی، محلول‌پاشی هیومیک اسید و اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی هیومیک اسید بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در بررسی دو رژیم آبیاری بیشترین و کمترین میزان عملکرد به ترتیب در شرایط آبیاری نرمال و در شرایط تنش خشکی مشاهده گردید و تنش خشکی باعث کاهش ۵۶ درصدی عملکرد دانه نسبت به شرایط آبیاری نرمال گردید (جدول ۵). مشاهده‌شده که عملکرد و اجزای عملکرد ذرت به دلیل تنش خشکی کاهش یافت (Çakir, 2004). قبل از گلدهی و در ابتدای گلدهی زیست‌توده ارزن مرواریدی تحت تیمارهای تنش خشکی به ترتیب ۳۸ و ۴۸ درصد نسبت به محلول‌پاشی با آب (شاهد) کاهش داشت (Winkel et al., 2001). درحالی‌که خشکی پس از گلدهی عملکرد دانه ارزن مرواریدی را کاهش می‌دهد که این کاهش عملکرد از طریق کاهش سه جزء مهم عملکرد یعنی تعداد پنجه در مترمربع، وزن دانه و تعداد دانه در خوشه بود که این مسئله منجر به کاهش ۵۰ درصدی عملکرد دانهٔ درنتیجه تنش خشکی در طی پر شدن دانه ارزن مرواریدی شد (Yadav, 2001). در بین تیمارهای هیومیک اسید در شرایط تنش خشکی و در شرایط آبیاری نرمال بیشترین عملکرد مربوط به بیشترین غلظت محلول‌پاشی هیومیک اسید (هیومیک اسید ۷ درصد) بود، به‌طوری‌که در بین تیمارهای خشکی به مقدار ۴۰ درصد و در شرایط آبیاری نرمال به مقدار ۵۳ درصد افزایش عملکرد را نسبت به تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد) مشاهده کردیم. تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد) در تنش خشکی و شرایط آبیاری نرمال نسبت به تیمار هیومیک اسید ۷ درصد به ترتیب کاهش ۲۹ و ۳۵ درصدی را نشان داد (جدول ۵)؛ که این نتایج نشان‌دهنده کاهش اثرات خشکی بر عملکرد ارزن در شرایط تنش خشکی و همچنین بهبود عملکرد در شرایط آبیاری نرمال درنتیجه‌ی استفاده از هیومیک اسید می‌باشند. نتایج حاصل از این آزمایش با نتایج ساروهان و همکاران (Saruhan et al., 2011) مطابقت داشت که طی آزمایشی اثر مقادیر مختلف (۳۳، ۵۰ و ۱۰۰ درصد) هیومیک اسید را روی عملکرد و اجزای عملکرد ارزن در ترکیه موردبررسی قراردادند و نتیجه گرفتند که تیمارهای دارای هیومیک اسید باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ارزن شدند که در آن بیشترین ارتفاع گیاه، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، محتوای پروتئین دانه و تعداد دانه مربوط به ۱۰۰ درصد محلول‌پاشی برگ‌ها می‌شود. در این آزمایش با افزایش میزان هیومیک اسید عملکرد دانه افزایش نشان داد به‌طوری‌که کمترین در محلول‌پاشی با آب (شاهد) و بیشترین در محلول‌پاشی ۷ درصد هیومیک اسید ملاحظه گردید.

شاخص برداشت

در بررسی دو رژیم آبیاری، شاخص برداشت در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری نرمال ۵۹ درصد کاهش نشان داد. با توجه به اینکه کاهش پتانسیل آب خاک در دوره زایشی باعث کاهش بیشتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد زیستی شده که از این طریق شاخص برداشت نقصان خواهد یافت (Sio-Se Mardeh et al., 2006; Foulkes et al., 2007). نتایج این آزمایش نشان داد اگرچه در شرایط تنش خشکی با افزایش میزان هیومیک اسید شاخص برداشت افزایش داشت اما این افزایش غیرمعنی‌دار بود. در شرایط تنش خشکی بیشترین مقدار شاخص برداشت در محلول‌پاشی ۷ درصد هیومیک اسید ملاحظه گردید، به‌طور معنی‌داری و به میزان ۵۵ درصد از تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد) بیشتر بود (جدول ۵). در شرایط آبیاری نرمال تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای کودی هیومیک اسید مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، بااینکه تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار تعداد خوشه در مترمربع، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه شد، اما روند تغییرات صفات بیوشیمیایی در تیمارهای تنش خشکی به‌گونه‌ای بود که با افزایش درصد هیومیک اسید، میزان پرولین، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز کاهش پیدا کرد، این مسئله منجر به افزایش میزان کلروفیل a و b شد. درنهایت عملکرد و اجزای عملکرد تیمارهای هیومیک اسید بیشتر از تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد) بود. تیمارهای هیومیک اسید نسبت به تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد) به‌طور متوسط ۲۸ درصد و تیمار محلول‌پاشی هیومیک اسید با غلظت ۷ درصد نسبت به تیمار محلول‌پاشی با آب (شاهد) ۴۴ درصد افزایش عملکرد داشتند؛ بنابراین به نظر می‌رسد هیومیک اسید می‌تواند در بهبود خصوصیات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاه ارزن معمولی در شرایط تنش خشکی نقش داشته باشد به‌طوری‌که با کاهش اثرات تنش خشکی، عامل تقویت کلروفیل بوده و درنهایت از طریق بهبود و افزایش فتوسنتز باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد می‌شود.

منابع

Abedi, T., Pakniyat, H., 2010. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape. Czech Journal Genetic and Plant Breeding. 46, 27-34.

Amini, Z., Hadad, R., Moradi, F., 2009. The effect of water deficit stress on antioxidant enzymes during generative growth stages in barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Crop production and processing. 12(46), 65-74. [In Persian with English Summary].

Arnon, A.N., 1967. Method of chlorophyll in the plant. Agronomy Journal. 23, 112-121.

Astaraei, A.R., 2008. Effect of organic sources as foliar spray and root media on nutrition of cowpea plant. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science. 3, 352-356.

Beauchamp, C., Friderich, I., 1971. Superoxide desmutase; Improved assays and an assay applicable to acryl amide gels. Analytical Biochemistry. 44, 276-287. https://doi.org/10.1016/0003-2697(71)90370-8

Çakir, R., 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research. 89, 1–16. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.01.005

Chance, B., Maehly, A.C., 1955. Assay of Catalase and Peroxidase. Methods in Enzymology, 2, 764-775. http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8

Conover, D. G., Sovonick, S.A., 1989. Influence of deficits on the water relations and growth of Echinochloa turneriana, Echinochloa crus-galli, and Pennisetum americanum. Australian Journal of Plant Physiology. 16, 291-304. https://doi.org/10.1071/PP9890291

Dalvand, M., Solgi, M., Khaleghi, A., 2018. Effects of foliar application of humic acid and drought stress on growth and physiological characteristics of marigold (*Taget erecta*). Journal of Science and Technology of

Greenhouse Culture. 2(34), 67-80. [In Persian with English Summary].

Daur, I., Bakhashwain, A., 2013. Effect of humic acid on growth and quality of maize fodder production. Pakistan Journal of Botany. 45, 21-25.

De Wet, J.M.J., 1986. Origin, evolution and systematics of minor cereals. In: Seetharam, A., Riley, K.W., Harinarayana, G. (Eds), Small Millets in Global Agriculture. Proceedings of the 1st International Small Millets Workshop Bangalore, India, October 29-November 2, 1986.

El-Bassiony, A., Fawzy, Z., Abd El-Baky, M., Asmaa, R., 2010. Response of snap bean plants to mineral fertilizers and humic acid application. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 6, 169-175.

Fischer, R.A., 2011. Wheat Physiology: a review of recent developmens. Philippine Agricultural Scientist. 62, 95-114. https://doi.org/10.1071/CP10344

Foulkes, M.J., Sylvester-Bradley, R., Weightman, R., Snape. J.W., 2007. Identifying physiological traits associated with improved drought resistance in winter wheat. Field Crops Research. 103, 11-24. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.04.007

Foyer, C.H., Falliwell, B., 1976. The presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: A proposed role in ascorbic acid metabolism. Planta. 133, 21-25. https://doi.org/10.1007/BF00386001

Gautam, R., Navaratna, D., Muthukumaran, S., Singh, A., More, N., 2021. Humic Substances: Its Toxicology, Chemistry and Biology Associated with Soil, Plants and Environment. pp. 1–13. https://doi.org/10.5772/intechopen.98518

Gazaran, Y., Bazobandi, M., 2013. Examining the typical millet response (*Panicum miliaceum.* L.) to use Hymax manure under drought stress. Second National Conference on Sustainable Development of Agriculture and Environment, Iran. 2, 83-78. [In Persian].

Guttieri, M. J., Stark, J. C., Brien, K., Souza, E., 2006. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. Crop Science. 41, 327 -335.

Hanson, A.D., Hitz, W.D., 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. Annual Review of Plant Physiology. 33, 163-203. https://doi.org/10.1146/annurev.pp.33.060182.001115

Hayati, A., Ramroudi, M., Galavi, M., 2011. Effect of timing of potassium application on Millet (*Setaria italica*) yield and grain protein content in different irrigation regimes. Journal of Crop Production and Processing. 1(2), 35-44. [In Persian with English summary].

Lawlor, D.W., Cornic, G. 2002. Photosynthetic cabon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell and Environmen. 25, 275-294. https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x

Meloni, D.A., Oliva, M.A., Martinez, C.A., Cambraia, J., 2003. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. Environmental and Experimental Botany. 49, 69-76. https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00058-8

Ober, E.S., Sharp, R.E., 2003. Electrophysiological responses of maize roots to low water potentials: relationship to growth and ABA accumulation. Journal of Experimental Botany. 54, 813-824. https://doi.org/10.1093/jxb/erg060

Paleg, L.G., Spinall, D., 1981. The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plant. Academic Press, New York, 240 p.

Paquin, R., Lechasseur, P., 1979. Observations sur une méthode de dosage de la proline libre dans les extraits de plantes. Canadian Journal of Botany. 57, 1851-1854. https://doi.org/10.1139/b79-233

Pareek, A., Sopory, S.K., Hans, J., Govindjee, B., 2009. Abiotic stress adaptation in plants, Physiological, Molecular and Genomic Foundation. Springer Press, 521 pages.

Pouresmaeel, P., Habibi, D., Tavassoli, A., Zahedi, H., Towhidi Moghadam, H., 2009. Effect of superabsorbent polymer on agronomic and physiological traits of different cultivars of red beans under drought stress in greenhouse conditions. Agricultural Research Journal. 1(2), 1-16. [In Persian with English summary].

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. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.11.004

Safari f., 2007. Effect plant dating and density on forage yield of Panicum millaceum. MSc dissertation. Department of Agriculture and Natural Resources, University of Gorgan, Iran. [In Persian].

Saruhan, V., Kusvuran A., Babat. S., 2011. The effect of different humic acid fertilization on yield and yield components performance of common millet. Science Research and Essays. 6, 663-669. http://www.academicjournals.org/SRE

Sarvajeet. S.G., Narendra. T., 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiol and Biochem. 3, 1-22. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016

Seghatoleslami, M.J., Majidi, E., Kafi, M., 2008. Effect of deficit irrigation on yield, WUE and some morphological and phenological traits of three millet species. Pakistan Journal of Botany. 40, 1555-1560.

Shah Hosseini, Z., Gholami, A., Asghari, H. 2012. The effect of Mykurzai symbiosis and application of humic acid on water use efficiency and physiological indices of corn growth under deficit irrigation conditions. Journal of Dry Ecosystem. 2, 57-39. [In Persian with English Summary].

Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., Mohammadi, V., 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research. 98, 222–229. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.02.001

Winkel, T., Payne, W., Renno, J.F., 2001. Ontogeny modifies the effects of water stress on stomatal control, leaf area duration and biomass partitioning of Pennisetum glaucum. New Phytologist. 149, 71–82. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2001.00008.x

Yadav, R., S. Gayadin., Jaiswal, A.K., 2001. Morpho-physiological changes and variable yield of wheat genotypes under moisture stress conditions. Indian Journal of Plant Physiology. 6, 390 –394.

Zhang, J.M., Xing, S.J., Sang, M.P., Ma, B.Y., Chu, X.M., Liu, C.S., 2010. Effect of Humic Acid on Poplar Physiology and Biochemistry Properties and Growth under Different Water Level. Journal of Soil and Water Conservation. 6, 200–203.