Archive of SID

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۲۰۹-۱۹۵

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.2, Summer 2020, p. 195-209

مقاله علمی- پژوهشی

اثر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر صفات کمّی و کیفی علوفه ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica* L.) رقم باستان در شرایط آب و هوایی سیستان

محمدعلی کریمیان[1*] و محمد فروزنده[1]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۳۱

کریمیان، م.ع.، و فروزنده، م.، ۱۳۹۹. اثر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر صفات کمّی و کیفی علوفه ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica* L.) رقم باستان در شرایط آب و هوایی سیستان. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۲۰۹-۱۹۵.

چکیده

کاهش مقدار آب قابل دسترس گیاه منجر به تنش خشکی و بروز تغییرات نامناسب مورفولوژیک و فیزیولوژیک در گیاه می‌شود. ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica* L.)در مناطق گرمسیر به‌مقدار زیاد کشت می‌گردد. به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر صفات کمّی و کیفی علوفه ارزن دم‌روباهی رقم باستان در شرایط آب‌وهوایی سیستان، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری به‌عنوان عامل اصلی (۴۵، ۶۵ و ۸۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه) و عامل فرعی مقادیر سالیسیلیک اسید در چهار سطح (۰، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار) به‌صورت محلول‌پاشی لحاظ گردید. مقدار آب مصرفی در ۱۰۰ درصد آبیاری برابر با ۶۶۲/۴ لیتر در مترمربع بود. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد علوفه خشک، قابلیت هضم‌ماده خشک، کربوهیدرات محلول در آب، پروتئین خام، فیبر خام، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و خاکستر بودند. با توجه به مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها، حداکثر عملکرد علوفه خشک (۱۲/۳۴ تن در هکتار) و قابلیت هضم ماده خشک (۶۸/۸۵٪) از تیمارهای آبیاری کامل و کاربرد ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید حاصل شد. بالاترین کربوهیدرات محلول در آب (۱۳/۸۱٪) و پروتئین خام (۱۸/۹۳٪) به‌ترتیب از تنش شدید × ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و شاهد × ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید حاصل گردید. بیشترین الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (۴۱/۳۱٪)، الیاف نامحلول در شوینده خنثی (۸۱/۵۱٪) و کمترین فیبر خام (۲۳/۵٪) در شرایط تنش خشکی شدید و بدون سالیسیلیک اسید به‌دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید اثرات منفی تنش خشکی را کاهش داده و می‌تواند در بالا بردن کیفیت علوفه ارزن در منطقه سیستان و شرایط مشابه مؤثر باشد.

واژه های کلیدی: الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، پروتئین خام، تنظیم‌کننده رشد، رژیم‌های آبیاری، قابلیت هضم ماده خشک

مقدمه

کم بودن منابع آب شیرین از یک طرف و افزایش جمعیت از طرف دیگر نیاز به استفاده مؤثرتر از آب برای افزایش عملکرد را اجتناب ناپذیر می‌سازد (Debaeke & Aboudrare, 2004). کاهش مقدار آب قابل دسترس گیاه منجر به تنش خشکی و بروز تغییرات نامناسب مورفولوژیک و فیزیولوژیک در گیاه می‌شود (Sabaghpour, 2003). خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که اثر محدودکننده‌ای بر تولید بسیاری از گیاهان، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد (Reddy et al., 2004).کمبود آب، رشد و عملکرد را از طریق کاهش فشار تورژسانس سلولی و در نتیجه کاهش سطح برگ و فتوسنتز آن کاهش می‌دهد (Kafi et al., 2009). از آن‌جا که روزنه‌ها به‌عنوان تنظیم‌کننده تبادل CO_2 و نیز محل خروج بخار آب عمل می‌کنند، بسته شدن روزنه‌ها علت اولیه کاهش فتوسنتز در شرایط محدودیت رطوبت است (Hopkins & Huner, 2004).

۱- مربی پژوهشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: Mohammadkarimian1350@gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v12i2.79369

www.SID.ir

Archive of SID

ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica* L.) دارای دانه‌های خیلی ریز بوده که در بین غلات به غله دانه‌ریز معروف است (Safari, 2007). رشد سریع، قابلیت تطابق بالا در نواحی گرمسیری، مقاومت نسبی به خشکی و شوری، درصد پروتئین بالا، پر برگی و خوش‌خوراکی، عدم وجود اسید پروسیک، عملکرد مطلوب علوفه آن و قابلیت کشت در مناطق مختلف برای تولید علوفه سبز آن را به‌عنوان یک گیاه علوفه-ای ایده‌آل برای کشت در نواحی گرم و خشک مطرح کرده است (Fribourg, 1995).

از روش‌های فیزیولوژیک که در سال‌های اخیر برای تخفیف تنش‌های محیطی روی گیاهان مختلف استفاده شده است کاربرد خارجی مواد تخفیف‌دهنده تنش است (Yuan & Lin, 2008). سالیسیلیک اسید یکی از مولکول‌های پیام‌رسان مهم است و باعث عکس‌العمل گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شود و همانند یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی نقش مهمی را در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک در گیاه ایفا می‌کند (Arfan et al., 2007). سالیسیلیک اسید قابل حل در آب بوده و یک ترکیب آنتی‌اکسیدانی و از جمله هورمون‌های گیاهی است که نقش مهمی در پاسخ گیاه به تنش‌های غیرزنده مانند خشکی، سرما، فلزات سنگین سمی، گرما و تنش اسمزی دارد (Yuan & Lin, 2008). کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید می‌تواند در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه مانند بسته شدن روزنه-ها، جذب و انتقال یون‌ها (Gunes et al., 2005)، یک‌پارچگی غشا (Nemeth et al., 2002)، و رشد و فتوسنتز (Khan et al., 2003) نقش داشته باشد. در تحقیقی روی عملکرد علوفه‌ای سورگوم (*Sorghum bicolor* L. Var. Speedfeed) تحت شرایط کم‌آبی و محلول‌پاشی سالسیلیک اسید و سولفات روی بیشترین میزان قند محلول مربوط به شرایط اعمال کم‌آبی شدید بود (Karimi et al., 2016). در مجموع، افزایش قندهای محلول در زمان تنش را می‌توان به‌علت توقف رشد یا سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیرفتوسنتزی و همچنین تخریب قندهای‌نامحلول که باعث افزایش قندهای محلول نیز می‌شود بیان کرد (Draikewicz, 1994).

کمبود آب اثرات زیادی روی تشکیل ماده‌خشک برگ‌ها و خوشه-ها دارد، هنگامی‌که گیاه در معرض تنش کم‌آبی قرار می‌گیرد، تجزیه پروتئین‌ها و در نتیجه، افزایش اسیدهای آمینه و آمیدها تسریع می-شود (Bajii et al., 2001). یکی از این اسیدهای آمینه پرولین است (Barker et al., 1993) که به‌عنوان محافظ اسمزی خاصیت پاداکسندگی در شرایط تنش دارد (KaviKishor & Sreenivasulu, 2014). سالیسیلیک اسید موجب القای تجمع پرولین در گیاهچه‌های گندم در شرایط تنش و در نتیجه، باعث کاهش تأثیر زیان‌آور تنش شوری و کم‌آبی بر گیاهچه‌ها شد (Shakirova et al., 2005). استفاده از سالیسیلیک اسید در گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) میزان فتوسنتز (Hamada & Al-Hakimi, 2001)، پروتئین و قند شاخساره و ریشه (Mohamed & Ahmed, 2010) و کلروفیل برگ (Singh & Usha, 2003) را تحت شرایط تنش خشکی افزایش داد. علاوه‌براین، کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش میزان رشد شاخساره گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) (Pancheva et al., 1996) و میزان تجمع لیگنین در دیواره سلولی را افزایش می‌دهد (Al-Hakimi, 2008). تیمار گوجه‌فرنگی (*Lycopersicum esculentum* cv. Roma) و تاج‌خروس با سالیسیلیک اسید در مراحل مختلف رشد در طی تنش خشکی از کاهش ماده خشک تولیدی گیاه جلوگیری می‌کند (Umebese et al., 2009). در نتیجه، تیمار گیاه کلزا (*Brassica juncea* L.) با سالیسیلیک اسید قبل از اعمال استرس خشکی، اثرات مخرب کمبود آب بر غشای سلول‌های برگ کاهش می‌یابد (Fariduddin et al., 2003). در گیاه جو، گیاهانی که تحت تنش خشکی با سالیسیلیک اسید تیمار شده بودند در مقایسه با گیاهانی که با سالیسیلیک اسید تیمار نشده بودند، وزن خشک و محتوای نسبی آب بیشتری را نشان دادند (Habibi, 2012). درصد دیواره سلولی عاری از همی‌سلولز در آزمایشی روی سورگوم تحت شرایط دیم و تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری کاهش یافت (Raei et al., 2013). در سورگوم علوفه‌ای بیشترین دیواره سلولی عاری از همی‌سلولز مربوط به تیمار شاهد و کمترین با محلول‌پاشی اوره، سوپرفسفات تریپل و فسفات بارور ۲ به‌دست آمد (Eshaghi Sardrood et al., 2014)، با عنایت به اهمیت علوفه و دانه ارزن دم‌روباهی در تغذیه دام‌ها، کمبود آب که یک مسئله جدی منطقه است و نقش سالیسیلیک اسید در افزایش تحمل و بهبود رشد گیاهان، مطالعه حاضر به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر صفات کمّی و کیفی علوفه ارزن دم‌روباهی رقم باستان در شرایط آب‌وهوایی سیستان اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی در سه تکرار در پژوهشکده کشاورزی دانشگاه

www.SID.ir

Archive of SID

زابل (واقع در ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۴۸۱ متر از سطح دریا) در سال زراعی ۹۶- ۱۳۹۵ اجرا شد. خاک محل آزمایش دارای بافت لوم شنی و pH آن برابر با ۷/۸ بود (جدول ۱).

جدول۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری)

Table 1- Physical and chemical properties of the soil (depth 0-30 cm)

بافت Texture	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	نیتروژن کل Total N ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل دسترس Available P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل دسترس Available K ($mg.kg^{-1}$)	اسیدیته pH
لوم- شنی Sandy-loam	0.85	1.7	0.14	8.53	210.25	7.8

ابعاد کرت‌های اصلی ۱۴×۳ متر، کرت‌های فرعی ۳×۳ متر، فاصله بین ردیف‌های کشت ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی ردیف کشت شش سانتی‌متر، فاصله بین تکرارها دو متر، بین کرت‌های اصلی یک متر و فاصله بین کرت‌های فرعی ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تراکم ۳۳۳۳۳۳ بوته در هکتار بود (Haji Hasani Asl et al., 2010). بذر از جهاد کشاورزی شهرستان بیرجند تهیه گردید. هر کرت فرعی شامل شش ردیف کاشت بود. عامل اصلی آبیاری در سه سطح (۴۵، ۶۵ و ۸۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه[1]) و عامل فرعی غلظت‌های سالیسیلیک اسید در چهار سطح (۰، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار) بود. کودهای شیمیایی براساس آزمون خاک، ۱۰۰کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل (قبل از کاشت) و ۱۵۰کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم (قبل از کاشت) و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات آمونیوم (۷۵ کیلوگرم قبل از کشت و ۷۵ کیلوگرم به‌صورت سرک در مرحله ساقه رفتن) انجام شد. بذور با قارچ‌کش تیرام با نسبت دو در ۱۰۰۰ ضدعفونی و کشت به‌صورت خشکه‌کاری در تاریخ ششم اردیبهشت ماه انجام و سپس آبیاری کرتی تا استقرار کامل گیاه با فاصله سه روز یک بار صورت گرفت. رطوبت در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی به‌ترتیب ۲۸/۵ و ۱۱/۵ درصد حجمی خاک تعیین گردید. تفاضل رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و رطوبت نقطه پژمردگی، به‌عنوان رطوبت قابل دسترس در نظر گرفته شد. هر روز درصد حجمی رطوبت خاک تعیین شد و زمان آبیاری تیمارهای مختلف به‌دست آمد. آبیاری هر کرت پس از رسیدن رطوبت به ۴۵، ۶۵ و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی با تانکر انجام شد. اندازه‌گیری رطوبت با دستگاه رطوبت‌سنج TDR[2] مدل دلتا تی (Delta-T Devices Ltd (UK انجام شد. عملیات وجین دستی علف‌های هرز پنجه‌مرغی، پیچک و خارشتر در مرحله سه تا چهار برگی ارزن انجام شد. محلول-پاشی سالیسیلیک اسید در مرحله پنج تا شش برگی انجام و برای اطمینان از اثر بخشی آن به‌صورت متوالی، دو مرتبه با فاصله زمانی سه روز صورت گرفت (Karimi et al., 2016) . در زمان گل‌دهی ارزن (هشتم تیر ماه ۱۳۹۶) و بعد از حذف اثر حاشیه‌ای، نمونه‌برداری از دو ردیف وسط کرت در سطح یک مترمربع انجام شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۴ درجه سانتی-گراد در آون خشک و وزن خشک با ترازوی AND (۰/۰۱ گرم) ساخت کشور ژاپن اندازه‌گیری گردید. سپس نمونه‌ها آسیاب شده و ۱۰۰ گرم از آن برای اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی علوفه شامل قابلیت هضم‌ماده خشک (DMD)[3]، کربوهیدرات محلول در آب (WSC)[4]، پروتئین خام (CP)[5]، فیبر خام (CF)[6]، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)[7]، الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF)[8] و خاکستر (Ash) با استفاده از دستگاه NIR[9] مدل INFRAMATIC 8620 ساخت کشور سوئد تعیین شد. جزئیات روش‌های اندازه‌گیری صفات توسط جعفری و همکاران (Jafari et al., 2003) و انجمن شیمی‌دانان رسمی تحلیلی Association of Chemists (AOAC) Official Analytical (1999) توضیح داده شده است. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین-ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام

1- Field Capacity
2- Time domain reflectometry

3- Dry Matter Digestibility
4- Water Soluble Carbohydrate
5- Crude Protein
6- Crude Fiber
7-Acid Detergent Fiber
8- Neutral Detergent Fiber
9- Near-infrared spectroscopy

www.SID.ir

Archive of SID

شد.

نتایج و بحث

عملکرد علوفه خشک

تیمار تنش خشکی و برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید در سطح یک درصد و سالیسیلیک اسید در سطح پنج درصد بر عملکرد علوفه خشک معنی‌داری بود (جدول ۲). با توجه به مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید، بیشترین عملکرد علوفه خشک (۱۲/۳۴ تن در هکتار) در شرایط بدون تنش و کاربرد ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و کمترین آن (۴/۳۱ تن در هکتار) در شرایط تنش شدید و عدم محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید به‌دست آمد (جدول ۳). تنش خشکی با تحت تأثیر قرار دادن شرایط فیزیولوژیکی گیاه، اعم از ظرفیت فتوسنتزی، وضعیت آبی گیاه، فعالیت آنزیم‌ها و میزان ذخیره کربوهیدرات‌ها رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Jaleel et al., 2007). محققان گزارش کرده‌اند که با کاهش آبیاری (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) عملکرد علوفه خشک ارزن علوفه‌ای به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد (Sasani et al., 2004). گزارش شده است که تنش خشکی سبب کاهش ماده خشک گیاهی ذرت (*Zea mays* L.) گردید (Cakir, 2004). در تحقیق تأثیر کم‌آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد کمّی بخش‌های هوایی ارزن علوفه‌ای در بیرجند، عملکرد علوفه خشک کل در اثر کم‌آبیاری از ۸/۹۴ به ۵/۳۴ تن در هکتار تقلیل پیدا کرد (Zabet et al., 2014). وزن خشک علوفه ذرت تحت شرایط خشکی تا ۲۱ درصد نسبت به شاهد کاهش داشته است (Mehrabian Moghaddam et al., 2011). سالیسیلیک اسید سطح و تعداد برگ در گیاهان تیمار شده را افزایش داده و از طریق افزایش کلروفیل و فعالیت آنزیم روبیسکو، میزان فتوسنتز کل گیاه را افزایش و باعث تجمع ماده خشک در گیاه می‌شود (Singh & Usha 2003). در گیاهان تحت تنش خشکی تیمار شده توسط سالیسیلیک اسید میزان جذب عناصری مانند N، P، K، Ca و Mg افزایش یافته و سالیسیلیک اسید می‌تواند از جذب بیش از حد آنیون‌های سمی مانند Na، Cl و Br در شرایط خشکی و شوری جلوگیری نماید (Eraslan et al., 2007). این افزایش در جذب عناصر غذایی و کاهش در جذب عناصر سمی می‌تواند عامل افزایش در رشد و در نتیجه، وزن شاخساره باشد. تیمار کردن گوجه‌فرنگی و تاج‌خروس با سالیسیلیک اسید در مراحل مختلف رشد در طی تنش خشکی از کاهش ماده خشک تولیدی گیاه جلوگیری می‌کند (Umebese et al., 2009).

قابلیت هضم ماده خشک (DMD)

از نظر آماری تیمار تنش خشکی، سالیسیلیک اسید و برهم‌کنش آن‌ها بر قابلیت هضم ماده خشک تأثیر معنی‌داری (P≤ ۰/۰۱) نشان داد (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید نشان داد که بیشترین قابلیت هضم ماده خشک در شرایط بدون تنش و کاربرد ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید (۶۸/۸۵٪) و کمترین آن (۳۱/۲۷٪) در شرایط تنش شدید و عدم محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید به‌دست آمد (جدول ۳). در تحقیق عملکرد علوفه‌ای سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) تحت شرایط کم‌آبی و محلول-پاشی سالسیلیک اسید و سولفات روی بالاترین میزان قابلیت هضم علوفه مربوط به تیمار محلول‌پاشی سولفات روی ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در تمام سطوح کم‌آبی بود و با محلول‌پاشی نیم میلی‌مولار سالسیلیک اسید بین سطوح کم‌آبی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (Karimi et al., 2016). در تحقیق اثر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر محتوای کلروفیل، کمیت وکیفیت علوفه تاج‌خروس (*Amaranthus hypochondriacus* L.) تحت تنش کم‌آبیاری، ماده خشک قابل هضم علوفه تاج‌خروس کاهش یافت (Karami et al., 2018). علت پایین بودن ماده خشک قابل هضم در شرایط اعمال تنش خشکی را می‌توان ناشی از کاهش تعداد، سطح برگ و افزایش نسبت ساقه به برگ دانست که در نهایت، به افزایش مقادیر الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده-اسیدی منجر می‌شود. علوفه گیاهانی که در یک مرحله رویشی ولی در دو شرایط متفاوت حرارتی قرار گرفته‌اند با یک‌دیگر متفاوتند، در چنین شرایطی علوفه منطقه گرمسیری دارای الیاف بیشتری و هضم-پذیری و مقدار پروتئین خام کمتری است(Linn & Martin, 1993).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات کمّی و کیفی علوفه ارزن دم‌روباهی رقم باستان تحت تأثیر سطوح تنش خشکی و سالیسیلیک اسید

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of drought stress and salicylic acid on quantity and quality traits forage of foxtail millet Bastan

منابع تغییر Source of variations	درجه آزادی d.f	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield	قابلیت هضم ماده خشک Dry matter digestibility	کربوهیدرات محلول در آب Water soluble carbohydrate	پروتئین خام Crude protein	فیبر خام Crude fiber	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber	الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber	خاکستر Ash
تکرار Replication	2	0.928^{ns}	12.06^{ns}	1.850^{ns}	0.360^{ns}	7.435^{ns}	3.660^{ns}	2.423^{ns}	0.263^{ns}
تنش خشکی Drought stress	2	25.223**	533.37**	26.401**	7.793**	3.181^{ns}	17.323**	183.746**	3.724*
خطای اصلی Main error	4	0.674	3.971	1.489	2.182	1.932	3.081	5.096	0.875
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	3	2.062*	301.253**	32.985**	30.163**	15.103**	65.791**	255.590*	1.253^{ns}
تنش خشکی × سالیسیلیک اسید Drought stress × Salicylic acid	6	15.157**	362.315**	8.895**	26.960**	36.044**	56.347**	42.769**	0.617^{ns}
خطای فرعی Sub error	18	0.301	3.606	0.802	0.964	1.567	2.277	3.595	0.861
ضریب تغییرات CV (%)	-	6.23	3.59	10.47	6.67	4.03	4.21	2.61	9.44

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, *and **: are non significant and significant at 5 and 1 probability levels, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر صفات کمی و کیفی علوفه ارزن دم‌روباهی رقم باستان

Table 3- Mean comparison of interaction effects drought stress and salicylic acid on quantity and quality traits forage of foxtail millet Bastan

تنش خشکی Drought stress (%Field capacity(	سالیسیلیک اسید Salicylic acid (mM)	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield (t.ha^{-1})	درصد قابلیت هضم ماده خشک Dry matter digestibility (%)	درصد کربوهیدرات محلول در آب Water soluble carbohydrates (%)	درصد پروتئین خام Crude protein (%)	درصد فیبر خام Crude fiber (%)	درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber (%)	درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber (%)	درصد خاکستر Ash (%)
85	شاهد Control	5.23^{hi*}	37.03^{h}	5.49^{fg}	12.2^{ef}	27.57^{fg}	38.22^{b}	76.56^{bc}	9.23^{a}
	0.75	6.72^{f}	52.23^{e}	8.28^{cd}	15^{cd}	32.25^{cd}	34.23^{cd}	73.48^{cd}	9.65^{a}
	1.5	9.5^{cd}	60.67^{bc}	10.33^{b}	18.93^{a}	35.26^{b}	30.51^{fg}	67.03^{f}	10.15^{a}
	3	12.34^{a}	68.85^{a}	2.7^{h}	9.4^{gh}	40.79^{a}	25.1^{i}	55.34^{i}	10.35^{a}
65	شاهد Control	4.85^{hi}	34.24^{hi}	6.37^{ef}	11.59^{f}	25.33^{gh}	39.47^{ab}	78.83^{ab}	9.22^{a}
	0.75	6.24^{fg}	47.08^{f}	8.67^{cd}	14.38^{d}	30.56^{de}	35.15^{cd}	75.24^{c}	9.47^{a}
	1.5	8.98^{d}	58.38^{cd}	12.45^{a}	17.21^{b}	34.48^{bc}	31.21^{ef}	69.96^{ef}	9.97^{a}
	3	11.19^{b}	67.30^{a}	3.5^{h}	8.12^{hi}	38.43^{a}	26.33^{hi}	58.59^{h}	10.25^{a}
45	شاهد Control	4.31^{i}	31.27^{i}	7.3^{de}	10.6^{fg}	23.5^{h}	41.31^{a}	81.51^{a}	8.8^{7a}
	0.75	5.41^{gh}	41.5^{g}	9.05^{bc}	13.5^{de}	28.41^{ef}	36.82^{bc}	75.95^{bc}	9.25^{a}
	1.5	7.78^{e}	55.61^{de}	13.81^{a}	16.6^{bc}	33.29^{bc}	33.51^{de}	71.75^{de}	9.78^{a}
	3	10.08^{c}	63.59^{b}	4.28^{gh}	7.5^{i}	35.81^{b}	28.08^{gh}	62.21^{g}	10.23^{a}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* In each column, means with same letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test (α= 0.05).

SA: سالیسیلیک اسید

www.SID.ir

Archive of SID

گیاهان جهت مقاومت بیشتر به شرایط دمایی و خشکی از بافت‌های اسکلرانشیمی نسبت به بافت پارانشیمی جهت بقا استفاده می‌نماید و همین امر باعث کاهش قابلیت هضم ماده خشک می‌گردد. در تحقیق اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی آهن و روی بر ویژگی‌های کمّی و کیفی دو گونه یونجه یک‌ساله (*Medicago scutellata* cv Comertial; *Medicago polymorpha* cv Serena)، تنش خشکی بر درصد ماده‌خشک قابلیت هضم علوفه معنی‌دار بود (Rashnoo et al., 2013). مطالعه ارزش غذایی اجزای مختلف گیاهی ذرت در مراحل مختلف بلوغ دانه نشان داد، هنگامی‌که رطوبت دانه‌ها از ۳۰ درصد به ۱۰ درصد کاهش می‌یابد، سهم ساقه در ماده خشک ۲۰ درصد افزایش یافته، در حالی که سهم گل‌آذین و برگ‌ها از ماده خشک به‌ترتیب ۴۱/۵ و ۴۴ درصد کاهش می‌یابد (Tolera & Sundstol, 1999). کمبود آب اثرات زیادی بر تشکیل ماده خشک برگ‌ها و خوشه‌ها دارد (Bajii et al., 2001). در تحقیق اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی آهن و روی بر ویژگی‌های کمّی و کیفی دو گونه یونجه یک‌ساله، تنش خشکی و محلول‌پاشی آهن و روی بر درصد ماده خشک قابلیت‌هضم علوفه معنی‌دار بود (Rashnoo et al., 2013).

کربوهیدرات محلول در آب (WSC)

اثر تنش خشکی، سالیسیلیک اسید و برهم‌کنش آن‌ها بر کربوهیدرات‌محلول در آب معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۱$) بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید نشان داد که حداکثر کربوهیدرات محلول در آب مربوط به کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و در شرایط تنش شدید (۱۳/۸۱٪) و حداقل آن در شرایط عدم تنش خشکی و محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید (۲/۷٪) بود (جدول ۳). از عوامل افزایش قندهای محلول می‌توان افزایش آنزیم‌های تجزیه کننده قندهای غیرمحلول مانند انورتاز و سوکروز سنتتاز و همچنین کاهش مصرف این قندها را مد نظر داشت (Verma & Dubey, 2001). تجمع قندهای محلول در شرایط تنش، به تنظیم اسمزی درون سلول کمک می‌کند و موجب حفظ و نگهداری مولکول‌های زیستی و غشاها می‌شود، همچنین گیاه با افزایش قندهای محلول در شرایط تنش، علاوه‌بر حفظ پتانسیل اسمزی قادر خواهد بود تا ذخیره کربوهیدراتی خود را برای متابولیسم پایه سلولی در حد بهینه نگه دارد (Dubey & Singh, 2003). افزایش قندها می‌تواند در اثر انباشتگی آن‌ها باشد، انباشتگی در برگ‌ها می‌تواند به‌دلیل کاهش بارگیری آوند آبکش و کاهش ظرفیت انتقال آسیمیلات‌ها و یا کاهش سرعت استفاده از آن‌ها در اندام‌های مخزن باشد (Alaoui –Sosse et al., 2004). گزارش‌های زیادی مبنی بر تأثیر کمبود آب از چند نوبت تا تنش‌های شدید، در رابطه با مختل شدن فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان و تغییر در متابولیسم کربوهیدرات‌ها، نیتروژن و نیز تغییر در ساختمان پروتئین‌ها و فعالیت آنزیم‌ها وجود دارد (Brar et al., 1990). افزایش قندهای محلول در آب و کربوهیدرات‌هایی با وزن مولکولی کم از سازوکارهای اساسی مقابله با تنش خشکی در گیاهان محسوب می‌شود (Torknejad, 1999). در تحقیق اثر تنش خشکی و سطوح مختلف کود پتاسیم بر ویژگی‌های کمّی و کیفی گیاه کوشیا (*Kochia scoparia* L.)، بیشترین میزان غلظت هیدرات‌کربن محلول در آب در ۹۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی (تنش شدید) به‌دست آمد (Karimian et al., 2014). در مطالعه‌ای که روی دو رقم ذرت انجام شد، غلظت قندهای محلول با اعمال تنش خشکی افزایش یافت (Mohammadkhani & Heidari, 2008). کاربرد سالیسیلیک اسید ممکن است مصرف متابولیک قندهای‌محلول را فعال نموده تا به‌وسیله آن، ساختارهای جدید سلولی را به‌منظور تحریک و تنظیم رشدونمو شکل دهد (Khodary, 2004). همچنین به نظر می‌رسد که تیمار سالیسیلیک اسید، سیستم آنزیمی هیدرولیزکننده پلی‌ساکاریدها را مهار کرده یا به عبارت دیگر، سرعت تبدیل قندهای نامحلول به قندهای محلول را کاهش می‌دهد (Khodary, 2004). کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط شور باعث افزایش جزئی غلظت قند محلول و در سطح ۵۰۰ میکرومول باعث افزایش جزئی نشاسته شد و کاربرد سالیسیلیک اسید در محیط غیرشور باعث افزایش ناچیز قند محلول و کاهش ناچیز نشاسته گردید (Abedini & Habibi Chaharborj, 2018). در تحقیق اثر متقابل مس و سالیسیلیک اسید بر میزان کربوهیدرات‌های محلول، نامحلول، پرولین و فعالیت آنزیم کاتالاز دو رقم ماش (*Vigna radiata* L)، برهم‌کنش بین تنش مس و سالیسیلیک اسید نشان داد که بیشترین میزان قند محلول در تیمار ۱/۵ ($SA(5\mu M)+CuSO_4$) با ۴۷ و ۱۶۵ درصد افزایش به‌دست آمد (Arefi et al., 2017).

www.SID.ir

Archive of SID

پروتئین خام (CP)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر آن است که پروتئین خام تحت تأثیر تنش خشکی، سالیسیلیک اسید و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (P≤۰/۰۱) (جدول۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید نشان داد که بیشترین پروتئین خام (۱۸/۹۳٪) در شرایط بدون تنش و کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و کمترین آن (۷/۵٪) در شرایط تنش شدید و محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود (جدول۳). محققان بیان کرده‌اند که کاهش محتوای پروتئین تحت تنش خشکی در نتیجه واکنش پروتئین با رادیکال‌های آزاد و در نتیجه تغییر اسیدآمینه، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین و کاهش سنتز پروتئین است (Ranjan et al., 2001). کاهش پروتئین علوفه در شرایط تنش خشکی در گیاه ارزن، سورگوم و ذرت علوفه‌ای گزارش شده است (Haji Hasani et al., 2010). در تحقیق تأثیرکود آلی فسفره و کم‌آبیاری بر عملکرد ارقام ارزن علوفه‌ای، بیشترین میزان پروتئین خام در اندام هوایی در شرایط بدون تنش خشکی به‌دست آمد (Rahbari et al., 2014). بررسی اثرات کم‌آبیاری بر روند رشد و خصوصیات کمّی و کیفی ذرت دانه‌ای در کرمانشاه نشان داد که عملکرد پروتئین (حاصل‌ضرب عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه) در شرایط ۲۰ درصد بیش آبیاری به‌دست آمد (Ahmadpour et al., 2017). سالیسیلیک اسید با تأثیر بر آنزیم کاتالاز، تنظیم‌کننده‌های اسمزی مثل پرولین، گلیسین و بتائین، آثار ناشی از فلزات سنگین و گرما را کاهش می‌دهد (Senaranta et al., 2002). تجمع پرولین به‌علت تخریب پروتئین سینتتاز و کاهش تبدیل پرولین به پروتئین بوده که در نتیجه، باعث کاهش رشد می‌گردد. در شرایط تنش پروتئین گیاه صرف تولید پرولین می‌شود، بنابراین تولید اندام گیاهی متوقف شده و باعث کاهش رشد اندام گیاهی خواهد شد (Mittler, 2006). پرولین به‌عنوان یکی از محافظت‌کننده‌های غشا است، تجمع پرولین سبب کاهش اثرات تنش، کاهش اسیدی شدن سلول، در نتیجه تولید $NADP^+$ و حمایت از مسیر اکسیداتیو پنتوز فسفات می‌شود، چون وابسته به $NADP^+$ بوده و توسط NADPH مهار می‌شود (Kavikishor et al., 2005). پرولین آزاد بسیاری از گیاهان در پاسخ به تنش کم‌آبی مثل خشکی و شوری به‌مقدار زیاد تجمع می‌یابد (Lipiec et al., 2013). گزارش شده است که سالیسیلیک اسید باعث تجمع پرولین در گیاه عدس تحت تنش شد (Reza et al., 2006). به نظر می‌رسد نوعی اثرات هم‌افزایی بین محلول‌پاشی و تنش خشکی در افزایش پروتئین وجود دارد، زیرا با اعمال تنش خشکی و محلول‌پاشی درصد پروتئین زیاد می‌شود (Torknejad, 1999). گزارش شده است که سالیسیلیک اسید بر تشکیل پروتئین‌های دفاعی گیاه اثر می‌گذارد (Raskin, 1992). افزودن سالیسیلیک اسید در غلظت‌های مختلف می‌تواند با افزایش مقدار پرولین سبب بهبود تحمل گیاه در شرایط تنش خشکی شود (Yazdanpanah et al., 2010). در تحقیق تأثیر سالیسیلیک اسید بر برخی صفات فیزیولوژیک گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) تحت تنش کلرید سدیم، برهم‌کنش تنش شوری و سالیسیلیک اسید برای پروتئین محلول برگ معنی‌دار شد و در همه سطوح تنش شوری افزایش سالیسیلیک اسید باعث کاهش پروتئین محلول برگ شد (Dehghan et al., 2018). در تحقیق اثر محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف بر خصوصیات کمّی و کیفی ارزن مرواریدی رقم نوتریفید (*Pennisetum glacum* L.) تحت تنش خشکی، بالاترین درصد پروتئین خام ارزن مرواریدی (۱۸/۶۵ درصد) از تیمار عدم تنش همراه با محلول‌پاشی منگنز+ روی حاصل شد (Paygozar et al., 2009).

فیبر خام (CF)

تنش خشکی بر فیبر خام معنی‌دار نبود، ولی سالیسیلیک اسید و اثر متقابل خشکی و سالیسیلیک اسید بر فیبر خام در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید نشان داد که بیشترین فیبر خام (۴۰/۷۹ درصد) در شرایط شاهد (۸۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه) و ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و کمترین آن (۲۳/۵ درصد) از تنش شدید و بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید حاصل شد (جدول۳). پژوهشگران بیان داشته‌اند که تنش خشکی سبب کاهش عرضه مواد فتوسنتزی می‌گردد (Apracio- Tejo & Saches-Diase, 1982). کاهش درصد الیاف خام علوفه تحت شرایط تنش خشکی توسط محققین مختلف گزارش گردیده است (Nakhoda et al., 2000; Wilson, 1983). علت آن کاهش ساخته شدن اجزای دیواره سلولی تحت خشکی اعلام شده است (Kramer, 1983). در تحقیق اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی آهن و روی بر ویژگی‌های کمّی و کیفی دو گونه یونجه

www.SID.ir

Archive of SID

یک‌ساله، بیشترین و کمترین درصد فیبر خام به‌ترتیب (۳۲/۴۶ درصد) در قطع آبیاری از رسیدگی اولین غلاف تا زمان برداشت و (۲۶/۲۶ درصد) در قطع آبیاری ۱۰ روز قبل از گل‌دهی حاصل شد (Rashnoo et al., 2013). در تحقیق تأثیرکود آلی فسفره و کم-آبیاری بر عملکرد ارقام ارزن علوفه‌ای، حداکثر میزان فیبر خام تحت قطع آبیاری در مرحله BBCH ۶۵ برابر با ۲۵/۸۷ درصد به‌دست آمد (Rahbari et al., 2014). سالیسیلیک اسید تعادل هورمونی را در گیاه تغییر و باعث افزایش اکسین، ABA و مانع از کاهش سیتوکنین در شرایط تنش‌ها می‌گردد (Shakirova et al., 2003). گزارش شده است که سالیسیلیک اسید تقسیم سلولی را درون مریستم گیاهچه گندم افزایش داد و رشد گیاه را بهبود بخشید (Shakirova et al., 2003).

الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)

تأثیر تیمارهای تنش خشکی، سالیسیلیک اسید و اثر متقابل آن‌ها بر الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید نشان داد که بیشترین الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (۴۱/۳۱٪) از تنش شدید و بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و کمترین آن (۲۵/۱٪) از تیمار شاهد (۸۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه) و ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌دست آمد (جدول ۳). ADF قابلیت هضم را نشان می‌دهد و به‌عنوان یک شاخص برای پیش‌بینی هضم‌پذیری علوفه استفاده می‌شود، چرا که ADF شامل سلولز و لیگنین است و با افزایش لیگنین هضم‌پذیری کاهش می‌یابد (Contreras- Govea et al., 2009). پایین بودن ADF باعث افزایش قابلیت هضم علوفه و افزایش تغذیه دام می‌گردد (Ghanbari & lee, 2003). کیفیت علوفه گیاهان با پروتئین خام و هضم‌پذیری نسبت مستقیم و با دیواره سلولی عاری از همی‌سلولز نسبت عکس دارد (Arzani et al., 2006). بیشترین درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی کوشیا از ۹۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی (تنش خشکی شدید) به‌دست آمد (Karimian et al., 2014). سالیسیلیک اسید هورمونی گیاهی است که نقش مهمی در تعدادی از فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه، نظیر کنترل تنفس، بسته شدن روزنه‌ها، جوانه‌زنی دانه، رسیدن میوه،گلیکولیز، گل‌دهی و تولید گرما ایفا می‌کند (Chen et al., 2007). سالیسیلیک اسید باعث کاهش آثار ناشی از تنش‌های زیستی و غیرزیستی، مثل UV، خشکی، شوری، گرما، سرما و فلزات سنگین می‌گردد. این ماده با اثر بر روی متابولیت‌هایی مانندآسکوربیک اسید، گلوتاتیون و نیز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز، پلی فنل اکسیداز و پراکسیداز، آثار ناشی از تنش را کاهش می‌دهد (Horvath et al., 2002).

الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF)

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها تنش خشکی در سطح یک درصد، محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در سطح پنج درصد و برهم‌کنش آن‌ها بر الیاف نامحلول در شوینده خنثی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید نشان داد که بیشترین الیاف نامحلول در شوینده خنثی (۸۱/۵۱ درصد) از تنش شدید و بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و کمترین آن (۵۵/۳۴ درصد) در شرایط شاهد (۸۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه) و ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌دست آمد (جدول ۳). کیفیت علوفه یک گونه گیاهی در اقلیم‌های مختلف متفاوت است، به‌گونه‌ای که با مرطوب شدن اقلیم، درصد پروتئین خام افزایش و درصد الیاف‌نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که موجب افزایش هضم‌پذیری و در نتیجه، خوش‌خوراکی گونه‌های گیاهی می‌شود. خوش‌خوراکی گیاهان با کاهش بارندگی که به کاهش درصد رطوبت در گیاهان منجر می‌شود، تنزل می‌کند (Arzani et al., 2001). در تحقیق اثر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر محتوای کلروفیل، کمیت و کیفیت علوفه تاج‌خروس تحت تنش کم‌آبیاری، الیاف نامحلول در شوینده خنثی در اثر خشکی افزایش یافت (Karami et al., 2018). بیشترین درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی گیاه کوشیا در ۹۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی (تنش خشکی شدید) به‌دست آمد (Karimian et al., 2014).

خاکستر (ASH)

با توجه به نتایج تجزیه واریانس تیمار تنش خشکی بر خاکستر علوفه معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۵$) بود، ولی سالیسیلیک اسید و برهم‌کنش تیمارها بر خاکستر علوفه اثر معنی‌دار نداشت (جدول ۲). افزایش تنش خشکی از ۸۵ درصد (شاهد) به ۶۵ و ۴۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه، خاکستر علوفه را به‌ترتیب ۲۱/۷۴ و ۵۰/۳۴ درصد کاهش داد.

www.SID.ir

Archive of SID

درصد خاکستر بیانگر مقدار مواد معدنی موجود در بافت‌های گیاهی بوده و جذب این مواد توسط ریشه در شرایط خشکی کاهش می‌یابد (Lewis & Mc Farlane, 1986). کمبود آب در خاک جذب و حلالیت عناصر غذایی، تعرق، رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و منجر به کاهش جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود (Hopkins & Huner, 2009). تغییرات فصل از قبیل شدت نور، دمای محیط و طول روز بر تراکم عناصر معدنی گیاه اثر می‌گذارد، در فصل بهار نسبت برگ به ساقه بیشتر بوده و میزان دیواره سلولی کمتر است، در نتیجه این تغییرات غلظت عناصر معدنی در گیاه تغییر می‌کند (Fazaieli, 1991). در بررسی اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی آهن و روی بر ویژگی‌های کمّی و کیفی دو گونه یونجه یک‌ساله، تنش خشکی بر درصد خاکستر علوفه معنی‌دار بود (Rashnoo et al., 2013). کاهش درصد خاکستر علوفه در شرایط تنش خشکی توسط محققین دیگر نیز گزارش گردیده است (Wilson, 1983; Nakhoda et al., 2000).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان دادکه تنش خشکی عملکرد علوفه خشک، قابلیت هضم ماده خشک، پروتئین خام و فیبر خام را کاهش و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه را افزایش داد. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید علاوه‌بر افزایش عملکرد علوفه خشک باعث بهبود کیفیت علوفه‌ی ارزن دم‌روباهی رقم باستان گردید. لذا آبیاری ۸۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه و کاربرد ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد در شرایط بهینه و کم‌آبیاری پیشنهاد می‌گردد.

References

1. Abedini, M., and Habibi Chaharborj, G., 2018. Effect of salicylic acid on some physiological and biochemical characteristics of *Vitis venifera* L. var. Ghizil Uzum under saline and non-saline conditions. Journal of Plant Process and Function 6(19): 207-218. (In Persian with Engish Summary)
2. Ahmadpour, A.R., Farhadi Bansouleh, B., and Ghobadi, M., 2017. Effects of deficit irrigation on growth trend, quantity and quality characteristics of maize in Kermanshah. Journal of Soil and Water Resources Conservation 6(3): 99-112. (In Persian with Engish Summary)
3. Alaousi- Sosse, B., Genet, P., Vinit–Dunand, F., Toussaint, M.L., Eproh, D., and Badot, P.M., 2004. Effect of copper on growth in cucumber plant (*Cucumis sativus* L.) and its relationship. Plant Science 166: 1213-1218.
4. Al-Hakimi, A.M.A., 2008. Effect of salicylic acid on biochemical changes in wheat plants under khat leaves residues. Plant, Soil and Environment 54: 288-293.
5. Apracio-Tejo, P., and Saches-Diase, M., 1982. Nodule and leaf nitrate reductase and nitrogen fixation in *Medicago sativa* L. under water stress. Plant Physiology 59: 479-482.
6. Arefi, S., Lariyazdi, H., and Amiri, H., 2017. Interaction study of copper and salicylic acid on carbohydrates, proline content and catalase activity in tow varieties of mung bean (*Vigna radiata* L.). Journal of Applied Biology 30(1): 95-111. (In Persian with English Summary)
7. Arfan, M., Athar, H.R., and Ashraf, M., 2007. Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress. Journal of Plant Physiology 164: 685-694. (In Persian with English Summary)
8. Arzani, H., Basiri, M., Khatibi, F., and Ghorbani G., 2006. Nutritive value of some Zaghros mountain rangeland species. Journal of Small Ruminant Research 65(12): 128-135.
9. Arzani, H., Torkan, J., Jafari, M., Jalili, A., and Nik-khah, A., 2001. Effects of phenological stages and ecological factors on forage quality of some range species. Iranian Journal of Agriculture Science 32(2): 385-397. (In Persian with Engish Summary)
10. Bajii, M., Lutts, S., and Kinet, J., 2001. Water deficit effect on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three wheat cultivars performing differently in arid conditions. Plant Science 160: 669-681.
11. Barker, D.J., Sullivan, C.Y., and Moser, L.E., 1993. Water deficit effects on osmotic potential, cell wall elasticity and praline in five forage grasses. Agronomy Journal 85 270-275.
12. Brar, G., Kar, S., and Singh, N.T., 1990. Photosynthetic response of wheat to soil water deficits in tropic. Journal of Agronomy and Crop Science 164: 343-348.

www.SID.ir

Archive of SID

13. Cakir, R., 2004. Effect of water stress at different developmental stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research 89(1): 1-16.
14. Chen, J., Cheng, Z., and Zhong, S., 2007. Effect of exogenous salicylic acid on growth and H_2O_2- metabolizing enzymes in rice seedlings lead stress. Journal of Environmental Sciences 19: 44-49.
15. Contreras- Govea, F.E., Muck, R.E., Armstrong, K.L., and Albrecht, K.A., 2009. Nutritive value of corn silage in mixture with climbing beans. Animal Feed Science and Technology 150: 1-8.
16. Debaeke, P., and Aboudrare, A., 2004. Adaptation of crop management to water-limited environment. European Journal of Agronomy 21: 433-446.
17. Dehghan, Z., Movahhedi Dehnavi, M., Balouchi, H., and Salehi, A., 2018. Effect of salicylic acid on some physiological characteristics of common purslane (*Portulacea oleracea* L). Journal of Plant Process and Function 7(23): 97-110. (In Persian with Engish Summary)
18. Dubey, R.S., and Singh, A.K., 2003. Salinity in duces accumulation of solumle sugars and alters the activity of sugers metabolicing enzgme in rice Plant. Plant Biology 42: 233–239.
19. Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A., and Alpaslan, M., 2007. Impact of exogenous salicylic acid on growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. Scientia Horticulturae 113: 120–128.
20. Eshaghi Sardrood, S.N., Nasrollah Zadeh, S., and Bagheri Pirouz, A., 2014. Application of biological and chemical fertilizers on some qualitative and quantitative traits in forage sorghum. Agricultural Science and Sustainable Production 24(1): 46-56. (In Persian with Engish Summary)
21. Fariduddin, Q., Hayat, S., and Ahmad, A., 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brassica juncea*. Photosynthetica 41: 281-284.
22. Fazaieli, H., 1991. Determination of some chemical factors and grosse energy of feed resource in Guilan province, M.Sc. Thesis of Ranch, University of Tarbiat Modarres, Tehran, Iran. 225 p. (In Persian with Engish Summary)
23. Fribourg, H.A., 1995. Summer Annual Grasses. In R.F., Barnes, D.A. Miller and C.J. Nelson (Eds.). Forages an introduction to grassland agriculture. 5th ed. Iowa State University Press, Ames, IA. Vol. 1. p. 463-472.
24. Ghanbari, A., and Lee, H.C., 2003. Intercropped field beans (*Vicia faba*) and wheat (*Triticum aestivum*) for whole crop forage: Effect of nitrogen on forage yield and quality. Journal of Agriculture science Cambridge 138: 311-314.
25. Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Cicek, N., Guneri, E., Eraslan, F., and Guzelordu, T., 2005. Effects of exogenously applied salicylic acid on the induction of multiple stress tolerance and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.). Archives of Agronomy and Soil Science 51: 687-695.
26. Habibi, G., 2012. Exogenous salicylic acid alleviates oxidative damage of barley plants under drought stress. Acta Biologica Szegediensis 56(1): 57-63.
27. Haji Hasani Asl, N., Moradi Aghdam, A., Shirani Rad, A.H., Hosseini, N., and Rassaei Far, M., 2010. Effect of drought stress on forage yield and agronomical characters of millet, sorghum and corn in delay cropping. Journal of Crop Production Research 2(1): 75-63. (In Persian with Engish Summary)
28. Hamada, A.M., and Al-Hakimi, A.M.A., 2001. Salicylic acid versus salinity-drought induced stress on wheat seedlings. Rostlinna Vyroba 47: 444-450.
29. Hopkins, W.G., and Huner, N.P.A., 2004. Introduction to Plant Physiology. John Wiley and Sons. Inc. Hoboken. N. J. USA. pp. 123-144.
30. Hopkins, W.G., and Huner, N.P.A., 2009. Introduction to plant physiology, Fourth Edition, John Wiley and Sons, Inc. New York, USA, pp. 503.
31. Horvath, E., Janda, T., Szalai, G., and Paldi, E., 2002. *In vitro* salicylic acid inhibition of catalase activity in maize: differences between the isoenzymes and a possible role in the induction of chilling tolerance. Plant Science 163: 1129- 1135. http://www.sciencedirect.com/science/book/9780124250406
32. Jafari, A.A., Connolly, V., Frolich, A., and Walsh, E.K., 2003. A note on estimation of quality in perennial regress by near infrared spectroscopy. Trish Journal of Agricultural and Food Research 42: 293-299.
33. Jaleel, C.A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sankar, B., Gopi, R., Somasundaram, R., and Panneerselvam, R., 2007. Alterations in osmoregulation, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in Catharanthus roseus exposed to water deficit. Colloids Surfaces B: Biointerfaces 59: 150–157.
34. Kafi, M., Borzoee, A., Kamandi, A., Masoumi A., and Nabati, J., 2009. Physiology of Environmental Stress in Plants. Jihad Daneshgahi of Mashhad Press, Mashhad, Iran. 504 pages. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

35. Karami, S.; Hadi, H; Tajbaksh, M.; and Modarres-Sanavy, S.A.M., 2018. Effect of different levels of nitrogen and zeolite on chlorophyll content, quantity and quality of amaranth forage under deficit irrigation stress. Agricultural Crop Management 20(1): 67-84. (In Persian with Engish Summary)
36. Karimi, R., Hadi, H., and Tajbakhsh, M., 2016. Forage yield of sorghum under water deficit and foliar application of zinc sulphate and salicylic acid. Agricultural Science and Sustainable Production 26(2): 169-187. (In Persian with Engish Summary)
37. karimian, M.A., Galavi, M.; Dahmardeh, M., and Kafi, M., 2014. Effect of drought stress and different levels of potassium on quantitative and qualitative forage yield of Kochia (*Kochia scoparia* L.). New Findings Agriculture 8(3): 239-250. (In Persian with Engish Summary)
38. KaviKishor, P.B., and Sreenivasulu, N., 2014. Is proline accumulation per se correlated with stress tolerance or is proline homeostasis a more critical issue. Plant, Cell and Environment 37: 300-311.
39. Kavikishor, P.B., Songam, S., Amrutha, R.N., Sri, Laxmi, P., Naidu, K.R., Ruo, K.R.S.S., Rao, S., Reddy, K.J., Theriappan, P., and Steenivasulu, N., 2005. Regulation of praline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants, its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. Current Science 88(3): 424-438.
40. Khan, W., Prithiviraj B., and Smith, D.L., 2003. Photosynthetic response of corn and soybean to foliar application of salicylates. Journal of Plant Physiology 160: 485-492.
41. Khodary, S.E.A., 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plants. International Journal of Agriculture and Biology 6: 5-8.
42. Kramer, P.J., 1983. Water relations of plants. New York Academic Press, New York. pp: 488.
43. Lewis, D.C., and Mc Farlane, J.D., 1986. Effect of foliar applied manganese on the growth of safflower and the diagnosis of manganese deficiency by plant issue and seed analysis. Australian Journal Agriculture Research 72(1): 57-59.
44. Linn, J.G., and Martin, N.P., 1993. Forage quality tests and interpretations. Minnesota Extension service. AGFO-2637.
45. Lipiec, J., Doussan, C., Nosalewicz A., and Kondracka, K., 2013. Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. International Agrophysics 27: 463-477.
46. Mehrabian Moghaddam, N., Arvin, M.J., Khajuee Nezhad, G., and Maghsoudi, K., 2011. Effect of salicylic acid on growth and forage and grain yield of maize under drought stress in field conditions. Seed and Plant Production 27(1): 41-55. (In Persian with Engish Summary)
47. Mittler, R., 2006. Abiotic stress, the field environment and stress combination. Trends in Plant Science 11: 15–19.
48. Mohamed, A., and Ahmed, L., 2010. Response of wheat cultivars to drought and salicylic acid. American-Eurasian Journal of Agronomy 3(1): 1-7.
49. Mohammadkhani, N., and Heidari, R., 2008. Drought-induced accumlation of soluble sugars and proline in two maize varieties. World Applied Sciences Journal 3: 448-453.
50. Nakhoda, B., Hashemi Dezfouli, A., and Banisadr, N., 2000. Water stress effects on forage yield and quality of pearl millet (*Pennisetum americanum* L. Leek. Var. Nutrifeed). Iranian Journal of Agricultural Science 31(4): 701-712. (In Persian with Engish Summary)
51. Nemeth, M., Janda, T., Hovarth, E., Paldi, E., and Szali, G., 2002. Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize. Plant Science 162: 569-574.
52. Pancheva, T.V., Popova, L.P., and Uzunova, A.M., 1996. Effect of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. Journal of Plant Physiology 149: 57-63.
53. Paygozar, Y., Ghanbari, A., Heydari, M., and Tavassoli, A., 2009. Effect of foliar application of micronutrients on qualitative and quantitative characteristics of pearl millet (*Pennisetum glacum*) under drought stress. Journal of Corp Ecophysiology Agriculture Science 3(10): 67-79. (In Persian with Engish Summary)
54. Raei, Y., Jorat, M., Moghaddam, H., Chaichi, M.R., and Weisany, V., 2013. Effect of density on connotative and collective yield of forage sorghum under water limitation. Agricultural science and sustainable production 23(4.1): 51-65. (In Persian with Engish Summary)
55. Rahbari, A., Masood Sinaki, J., and Zarei, M., 2014. Effects of phosphate fertilizer and less irrigation on grain yield of the forage millet. Journals of Agronomy Sciences 5(10): 27-38. (In Persian with Engish Summary)
56. Ranjan, R., Bohra, S.P., and Jeet, A.M., 2001. Book of plant senescence. Jodhpur, Agrobios New York. pp. 18-42.
57. Rashnoo, M.H., Tahmasbi Sarvestani, Z., Heydari Sharifabad, H., Modares Sanavi, S.A.M., and Tavakkol Afshari,

www.SID.ir

Archive of SID

R., 2013. Effects of drought stress and foliar application of iron and zinc on quantitative and qualitative characteristics of two species of annual medics. Journal of Crop Production 6(1): 125-148. (In Persian with Engish Summary)

58. Raskin, I., 1992. Role of Salicylic acid in plants. Annual review of plant physiology. Plant Molecular Biology 43: 439-463.
59. Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., and Vivekanandan, M., 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology 161: 1189-1202.
60. Reza, S,. Heidari, R., Zare, S., and Norastehnia, A., 2006. Antioxidant response of two salt-stressed barley varieties in the presence or absence of exogenous proline. General and Applied Plant Physiology 32(3-4): 233-251.
61. Sabaghpour, S.H., 2003. Mechanism of drought tolerance in crops. Agricultural aridity and drought scientific and extension quarterly of jahad agriculture, N0.10 winter 2004. pp. 21-32.
62. Safari, F., 2007. The effect of planting date and shrub density on forage foxtail millet, M.Sc. Dissertation, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan, Gorgan, Iran. (In Persian with Engish Summary)
63. Sasani, S., Jahansooz, M.R., and Ahmadi, A., 2004. The effects of deficit irrigation on water- use efficiency, yield and quality of forage pearl millet. Proceedings of the 4th international crop science congress. Brisbane, Australia, 26 sep –1 oct.
64. Senaranta, T., Touchell, D., Bumm, E., and Dixon, K., 2002. Acetylaslicylic (aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regulation 30: 157-161.
65. Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., and Fatkhutdinova, D.R., 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedling induced by salicylic acid and salinity. Plant Science 164: 317-322.
66. Singh, B., and Usha, K., 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Regulation 39: 137-141.
67. Tolera, A., and Sundstol, F., 1999. Morphological fractions of maize stover harvested at different stages of grain maturity and nutritive value of different fravtions of the stover. Animal Feed Science and Technology 81(1–2): 1-16.
68. Torknejad, A., 1999. Evaluation of annual medics ecological in Iran. Ph.D. Thesis of Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. (In Persian)
69. Umebese, C.E., Olatimilehin, T.O., and Ogunsusi, T.A., 2009. Salicylic acid protects nitrate reductase activity, growth and proline in amaranth and tomato plants during water deficit. American Journal of Agricultural and Biological Sciences 4: 224-229.
70. Verma, S., and Dubey, R.S., 2001. Effect of cadmiumon soluble sugars and enzymes of hair metabolism in rice. Biologia Plantarum 1: 117-123.
71. Wilson, J.R., 1983. Effect of water stress on *in vitro* dry matter digestibility and chemical composition of herbage of tropical pasture species. Australian Journal Agriculture Research 34: 377-390.
72. Yazdanpanah, S., Abasi, F., and Baghzadeh, A., 2010. Effect of salicylic acid and ascorbic acid on proline, sugar and protein content in *Satureja hortensis* L. under aridity stress. Proceeding of the First National Conference of Environmental Stress in Agricultural Science 28-29 June 2010. The University of Birjand, Iran. (In Persian)
73. Yuan, S., and Lin, H.H., 2008. Role of salicylic acid in plant abiotic stress. Zeitschrift fur Naturforschung 63: 313-320.
74. Zabet, M., Bahamin, S., Ghoreishi, S., Sadeghi, H., and Moosavi, S.G., 2014. Effect of deficit irrigation and nitrogen fertilizer on quantitative yield of aboveground part of forage pear millet (*Pennisetum glaucum*) in Birjand. Environmental Stresses in Crop Sciences 7(2): 187-194. (In Persian with Engish Summary)

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.2, Summer 2020, p. 195-209

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۲۰۹-۱۹۵

Effects of Drought Stress Levels and Salicylic Acid Concentrations on Quantity and Quality Forage Traits of Foxtail Millet (*Setaria italica* L.) Bastan Cultivar in Sistan Climatic Conditions

M.A. Karimian[1*] and M. Forozandeh[1]

Submitted: 23-02-2019
Accepted: 22-09-2019

Karimian, M.A., and Forozandeh, M., 2020. Effects of drought stress levels and salicylic acid concentrations on quantity and quality forage traits of foxtail millet (*Setaria Italica* L.) Bastan cultivar In Sistan climatic conditions. Journal of Agroecology. 12(2):195-209.

Introduction

Forage millet is a crop of tropical and subtropical regions which is considered due to abundant tillering, rebuilding ability, resistance to environmental stresses and diseases, high yield in poor soils and absence of prussic acid. Low amount of available water to plants results in drought stress and inappropriate morphological and physiological changes in the plant. Plants under environmental stress conditions accumulate low molecular weight organic solutions such as amino acids and sugars. Plant hormones affect plant growth in multifarious ways affecting a number of physiological and biochemical processes in plants subjected to biotic and abiotic stresses. Salicylic acid (SA) is one such plant growth regulators, which participates in the regulation of a number of physiological events in plants. The use of salicylic acid in wheat increased the photosynthesis rate, protein and sugar content of shoots, roots and leaf chlorophyll under drought stress conditions. Tomato and amaranth treatment with salicylic acid in different stages of growth during drought stress prevents reducing the production of dry matter of the plant.

Materials and Methods

To evaluate the quantity and quality fodder traits of foxtail millet Bastan cultivar under the influence of drought stress levels and salicylic acid concentrations in Sistan climate, a field experiment was conducted as split plot based on a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Institute of Zabol University during 2017. Treatments included three irrigation levels as main plot (45, 65 and 85 percent humidity of field capacity) and sub plot including salicylic acid in four levels (0, 0.75, 1.5 and 3 mM). Spray application was considered for salicylic acid. Dry forage yield, dry matter digestibility, water soluble carbohydrates, crude protein, crude fiber, insoluble fiber in acid detergent, insoluble fiber in neutral detergent and ash were measured. Measurement of forage quality characteristics in the Research Institute of Forests and Rangelands was performed with NIRS device made in Sweden.

Results and Discussion

Results revealed that drought stress caused significant differences on dry forage yield, dry matter digestibility, water soluble carbohydrates, crude protein, insoluble fiber in acid detergent and insoluble fiber in neutral detergent at 1% significance level and on ash at 5% significance level. Drought stress increases water soluble carbohydrate, insoluble fiber in acid detergent and insoluble fiber in neutral detergent and decreases dry forage yield, dry matter digestibility, crude protein, crude fiber and ash. The effect of salicylic acid on dry matter digestibility, water soluble carbohydrates, crude protein, crude fiber and insoluble fiber in acid detergent at 1% significance level and on dry forage yield and insoluble fiber in neutral detergent were significant at 5% level. The interaction effects of drought stress and salicylic acid on dry forage yield, dry matter digestibility, water soluble carbohydrates, crude protein, crude fiber, insoluble fiber in acid detergent and insoluble fiber in neutral detergent were significant at 1% probability level. Maximum dry forage yield (12.34 $t.ha^{-1}$), dry matter digestibility (68.85%) and crude fiber (40.79%) were obtained from full irrigation and application of 3 mM salicylic acid treatments. The highest water soluble carbohydrates (13.81%) and crude protein (18.93%) were

1- Instructor, Agricultural Research Institute, Universirty of Zabol, Zabol, Iran.
(*- Corresponding Author Email: Mohammadkarimain1350@gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v12i2.79369

www.SID.ir

Archive of SID

obtained from intense tension × 1.5 mM salicylic acid and control× 1.5 mM salicylic acid, respectively. The highest insoluble fiber in acid detergent (41.31%) and insoluble fiber in neutral detergent (81.51%) were observed under severe drought stress conditions without salicylic acid.

Conclusion

The results of this study represent the adverse impact of drought stress on the quantity and quality traits of foxtail millet Bastan. Application of salicylic acid has a positive role in modulating the effects of drought and improves quantity and quality forage. Therefore, can be expressed that irrigation of 85% moisture filed capacity and spraying 3 mM salicylic acid as growth regulator can produce quantity and quality desirable performance in Sistan climatic conditions.

Keywords: Acid detergent fiber, Crude protein, Dry matter digestibility, Growth regulator, Irrigation regimes

www.SID.ir