نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵، ص. ۴۵۹-۴۴۹

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 3, Fall. 2016, p. 449-459

کاهش اثرات تنش شوری از طریق کاربرد خارجی سالیسیلیک‌اسید بر نیشکر (*Saccharum officinarum* L.)

فاطمه چهارلنگ بدیل[۱]- مهرشاد براری[۲*]- محمود شمیلی[۳]- زهرا طهماسبی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۰۳

چکیده

در این تحقیق اثر سالیسیلیک‌اسید (SA) بر رشد و برخی پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاه نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) تحت تنش شوری آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار تحت شرایط گلخانه‌ای در موسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر خوزستان، ایران، طی سال. زراعی ۹۲-۱۳۹۱ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح شوری آب آبیاری ($ECW < ۱ dSm^{-1}$، $ECW = ۳dSm^{-1}$، $ECW = ۶dSm^{-1}$)، و چهار غلظت SA (صفر، ۰/۵، یک و ۱/۵میلی‌مولار) بودند. نتایج این تحقیق نشان‌داد که تیمار محلول‌پاشی با سالیسیلیک‌اسید با غلظت یک میلی‌مولار به‌ترتیب موجب افزایش ۱۰/۶۱، ۵/۰۵، ۸/۲۴ و ۴۶/۹۸ درصدی وزن خشک کل، درصد محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل و نسبت پتاسیم به سدیم ریشه در مقایسه با عدم کاربرد سالیسیلیک‌اسید (شاهد) شد. نسبت پتاسیم به سدیم ریشه همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن خشک کل ($r = ۰/۸۵^{**}$)، محتوای نسبی آب برگ ($r = ۰/۶۷^{**}$)، همبستگی منفی و معنی‌داری با سدیم ریشه ($r = -۰/۸۷^{**}$)، کلر ریشه($r = -۰/۸۵^{**}$)، داشت. سالیسیلیک‌اسید در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار نسبت به تیمار ۰/۵ و یک میلی‌مولار تأثیر مثبت کمتری در شرایط تنش شوری داشت. نتایج بیان‌گر آن است که کاربرد سالیسیلیک‌اسید با غلظت یک‌میلی‌مولار در لیتر در کاهش عوارض تنش شوری مؤثر بوده و در شرایط آب و خاک مشابه کاربرد آن در نیشکر به‌صورت محلول‌پاشی توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: سدیم ریشه، محلول پاشی، مورفوفیزیولوژیک، نمک

مقدمه

بر اساس پیش‌بینی‌ها جمعیت جهان تا سال ۲۰۲۵ به ۸میلیارد نفر و تا سال ۲۰۵۰ به ۸/۹میلیارد نفر می‌رسد. سالانه حدود ۸۰میلیون نفر به جمعیت جهان افزوده می‌شود که ۹۷درصد افزایش جمعیت جهان در کشورهای در حال توسعه خواهد بود. بنابراین نیاز به تولید غذا افزایش یافته و این امر موجب افزایش فشار به محیط زیست می‌شود (Kafi, 2009). میزان کاهش عملکرد محصولات زراعی در سطح جهان به‌علت تنش‌های محیطی تا ۷۱درصد گزارش شده، که از میزان کل کاهش عملکرد تنش خشکی ۱۷درصد، شوری ۲۰درصد، دمای بالا ۴۰درصد، دمای پایین ۱۵درصد، و سایر عوامل هشت‌درصد را سبب می‌شوند (Kafi, 2009). نیشکر یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است (Munir and Aftab, 2011). این گیاه بومی مناطق گرمسیری مرطوب می‌باشد، اما به‌دلیل تقاضای روزافزون برای شکر، کشت‌وکار آن به مناطق نیمه‌گرمسیری نیز گسترش یافته است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیشکر آبیاری می‌شود که به‌دلیل بالاآمدن سطح آب زیرزمینی و تبخیر شدید، نمک در سطح خاک تجمع می‌یابد (Soltani Howayzeh *et al.,* 2009). نیشکر (*Saccharum officinarum*L.) جزء گیاهان نسبتاً حساس به شوری با حد آستانه ۱/۷دسی‌زیمنس بر متر و شیب خط به‌ازاء هر واحد دسی‌زیمنس بر متر حدود ۵/۹درصد می‌باشد (Nelson and Ham, 2000). سالیسیلیک‌اسید ($C_7H_6O_3$) در زمره هورمون‌های گیاهی دسته‌بندی می‌شود. سالیسیلیک‌اسید یا اورتو هیدروکسی بنزوئیک‌اسید یک تنظیم‌کننده رشد درونی طبیعی می‌باشد، و به گروهی از ترکیبات فنلی تعلق داشته و از نام علمی بید (*Salix babylonica* L.) مشتق شده است(Hayat *et al.,* 2010). گزارش شده است سالیسیلیک‌اسید در گیاهانی که تحت تنش‌های محیطی قرار دارند، نقش حفاظتی دارد (Dawood *et al.,* 2012). کاربرد خارجی سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش در فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت مانند کاتالاز، پراُکسیداز و سوپراُکسیددیسموتاز و موجب افزایش تحمل به شوری در گیاهان شده است (Yusuf *et al.,*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایران
۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایران
۳- مدیر بخش به زراعی موسسه تحقیقات آموزش و توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان
۴- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: bararym@gmail.com)

(2008). برخی از مواد شیمیایی از جمله سالیسیلیک‌اسید به‌عنوان مولکول سیگنالی، اثرگذاری‌های مطلوبی بر رشد و گسترش گیاهان داشته است. راه‌کارهای مختلفی برای به حداکثر رساندن رشد نیشکر تحت شرایط تنش شوری از جمله: آب‌شویی نمک‌ها، مدیریت زراعی و افزایش مقاومت به شوری از طریق شیوه‌های نوین اصلاح مولکولی وجود دارد. هم‌چنین روش‌های دیگری برای غلبه بر این تنش شوری وجود دارد که شامل مدیریت مناسب در کاربرد خارجی تنظیم کننده‌های رشد می‌باشد (Ghorbani Javid *et al.*, 2011). هدف از اجرای این تحقیق بررسی تأثیر محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید بر برخی خصوصیات رشدی و فیزیولوژیک و استقرار گیاهچه نیشکر تحت تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در گلخانه مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر صنایع جانبی خوزستان به‌صورت گلدانی انجام شد. نتایج به‌دست آمده از تجزیه شیمیایی خاک و آب در جدول ۱و ۲ نشان‌داده شده است.

جدول۱- خصوصیات فیزیکی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table1- Physical properties of the soil used in the experiment

EC (dS m^{-1})	pH	شن(٪) Sand(%)	سیلت(٪) Silt (%)	رس(٪) Clay(%)	بافت خاک (Soil texture)
1.86	7.63	60	17	23	Sandy Clay Loam

جدول۲- ویژگی های کیفی آب آبیاری

Table 2- Qualitative properties of the water used for irrigation

EC_W (dSm^{-1})	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	$SO4^{2-}$	$HCO3^{-}$
		(meq l^{-1})						
EC_W< 1	7.31	2.02	1.9	8.3	0.51	3	2.5	0.8
EC_W = 3	7.4	5.68	3.9	25.5	0.44	12	5.34	1.6
EC_W = 6	7.5	6.40	4.72	82.2	1.27	27	19.14	4.2

میزان روشنایی در گلخانه معادل ۱۱۰۰لوکس، میزان رطوبت نسبی حدود ۷۰درصد و میانگین دمای روز و شب در طول دوره رشد گیاه به‌ترتیب ۴۰ و ۳۰درجه سانتی‌گراد بود. به‌منظور فراهم‌کردن زهکش مناسب، گلدان‌ها ابتدا با مقداری شن درشت و سپس با خاک پر شدند. ارتفاع گلدان‌های مورد استفاده ۴۸سانتی‌متر با قطر فوقانی ۳۵سانتی‌متر و دارای حجم ۲۵لیتر بودند. گیاهچه‌های موردنیاز از طریق کشت بافت و در مدت شش‌ماه تولید شدند. تولید گیاهچه‌ها شامل مراحل زیر بود: ۱) کشت جوانه‌های جانبی ۲) انتقال به محیط کشت تکثیری، ۳) انتقال شاخساره‌ها به محیط ریشه‌زایی، ۴) انتقال به فضای گلخان‌های، ۵) انتقال به گلدان‌های اصلی. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح شوری آب آبیاری (EC_W<۱ dSm^{-1}، EC_W = ۳dSm^{-1}، EC_W =۶dSm^{-1})، و چهار غلظت SA (صفر، ۰/۵، یک و ۱/۵میلی‌مولار) بودند. ۴۸ساعت بعد از تیمار تنش شوری تیمار سالیسیلیک‌اسید به‌صورت کاربرد برگی در مرحله ۲برگی اعمال شد. مرحله بعد اعمال تیمارها بود که به شرح ذیل انجام شد: الف) تیمار سالیسیلیک‌اسید (شرکت مرک[1] آلمان) (با جرم مولکولی ۱۳۸/۱۲ و چگالی ۱/۴۴۳ گرم بر سانتی‌متر معکب)، به‌صورت محلول‌پاشی برگی در چهار غلظت صفر، ۰/۵، یک و ۱/۵میلی‌مولار، به کمک اسپری دستی دو نوبت به فاصله دو هفته تا خیس‌شدن کامل سطح برگ گیاهان اسپری شد. لازم به ذکر است به‌منظور افزایش قدرت جذب سطحی به هر محلول مورد استفاده چند قطره توین-۲۰[2] به‌عنوان مویان[3] نیز اضافه شد. ب) سطوح شوری با استفاده از زه‌آب‌های کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر واقع در ۴۰کیلومتری جنوب اهواز و پس از رقیق‌کردن با آب آبیاری و رساندن آن به شوری موردنظر تهیه شد. توضیح آن‌که دلیل استفاده از زه‌آب مزارع نیشکر در حال آب شویی، داشتن ترکیب شیمیایی مشابه با شوری خاک‌های منطقه بود. آبیاری گلدان‌ها توسط زه‌آب با شوری‌های فوق‌الذکر صورت گرفت و در هر بار آبیاری حجم آب شور مصرفی با رعایت نیاز آب شویی (LR) به اندازه کافی بود تا آب اضافی از انتهای گلدان‌ها خارج گردد و از تجمع نمک جلوگیری نماید. EC زه‌آب خروجی از گلدان‌ها در هر بار آبیاری با آب شور به‌وسیله ECمتر اندازه‌گیری شد. سه سطح شوری آب آبیاری بعد از استقرار گیاه اعمال شد. مدت اعمال تنش شوری از اوایل آذرماه ۱۳۹۱ لغایت پایان تیرماه ۱۳۹۲ بود. میزان آب آبیاری بعد از به‌دست

1- Merck

2- Tween- 20

3- Surfactant

آوردن میزان FC و PWP خاک که به‌ترتیب برابر با ۲۰ و ۱۱درصد بود و با دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شد، به‌دست آمد. برای این‌که در هر بار آبیاری مقدار یکسانی آب به هر گلدان اضافه شود، حجم آب آبیاری موردنیاز اندازه‌گیری گردید. بدین‌منظور از طریق فرمول زیر و با توجه به‌این‌که درصد رطوبت خاک ۲۰درصد و وزن خاک خشک ۲۵کیلوگرم بود حجم آب آبیاری موردنیاز از رابطه(۱) محاسبه شد.

$$C= [(A- B) / B] \times 100 \quad (۱)$$

C: درصد رطوبت خاک

A: جرم خاک مرطوب

B: جرم خاک خشک

برای بررسی جذب عناصر غذایی در مرحله قبل از به ساقه‌رفتن، گیاهچه‌ها برداشت شد سپس نمونه‌ها درون پاکت کاغذی قرار داده شد. نمونه‌های گیاهی به‌مدت ۴۸ساعت جهت خشک شدن در آون و در دمای ۷۵درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها توسط دستگاه آسیاب پودر شد و پس از گذراندن از الک ۰/۲میلی‌متری پودر حاصله برای اندازه‌گیری سدیم، کلر، کلسیم و پتاسیم استفاده شد. سدیم و پتاسیم بااستفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر و میزان کلر با روش تیتراسیون به‌وسیله نیترات نقره و کلسیم با روش تیتراسیون با EDTA اندازه‌گیری گردید (Shomeili *et al.*, 2011). برای تعیین محتوای کلروفیل برگ از استون استفاده شد و میزان جذب نور عصاره با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر که روی طول موج‌های ۶۶۳نانومتر برای کلروفیلa و ۶۴۴نانومتر برای کلروفیلb تنظیم شده بود، اندازه‌گیری شد (Arnon, 1967). سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (Leaf area meter) اندازه‌گیری شد. برای تعیین محتوای نسبی آب برگ بعد از جدانمودن برگ‌ها (یک گرم) از گیاه توزین شدند (وزن تَر) و سپس به‌مدت ۲۴ساعت در آب‌مقطر (جهت آب‌گیری کامل) در محیط آزمایشگاهی با دمای تقریبی ۲۲درجه سانتی‌گراد نگه‌داری گردید و مجدداً توزین شدند (وزن اشباع). پس از آن برگ‌ها به‌مدت ۴۸ساعت و در دمای ۷۵درجه سانتی‌گراد در داخل آون الکتریکی قرار داده شدند و مجدداً توزین شدند تا وزن خشک به‌دست آید و محتوای نسبی آب برگ از رابطه(۲) محاسبه شد(Diaz-Perez *et al.*, 2006).

$$RWC= (FW - DW)/(TW - DW) \times 100 \quad (۲)$$

FW :وزن تر

DW :وزن خشک

TW :وزن اشباع

محتوای آب نسبی برگ (RWC)

برای اندازه‌گیری نفوذپذیری نسبی غشاء ابتدا ۰/۵گرم از بافت تازه برگ (قسمت میانی) در هر نمونه برداشته شد. سپس تکه‌های برگ در داخل لوله آزمایش حاوی ۲۰میلی‌لیتر آب‌مقطر قرار داده شد و پس از۳۰ثانیه ورتکس نمونه‌ها، هدایت‌الکتریکی اولیه EC_0 اندازه‌گیری گردید. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ساعت در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند و EC_1 اندازه‌گیری شد و نمونه‌ها به‌مدت ۱۵دقیقه در اتوکلاو در دمای ۱۱۰درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از خنک شدن در دمای اتاق EC_2 اندازه‌گیری شد و نفوذپذیری نسبی غشاء (A) با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید(Zhao *et al.*, 1992).

$$A = ((EC_1-EC_0) / (EC_2-EC_0)) \times ۱۰۰$$

محاسبات آماری به کمک نرم‌افزار SAS نسخه‌ی۹,۱ و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام گرفت. ضرایب همبستگی به‌وسیله نرم‌افزار SPSS محاسبه شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان‌داد که اثر تنش شوری، اثر سالیسیلیک‌اسید و اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک‌اسید بر وزن خشک کل گیاه در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان‌داد بیش‌ترین میانگین وزن خشک کل گیاه با ۱۳۰/۰۵گرم در بوته و کمترین میزان آن با میانگین ۴۹/۲۷گرم در بوته به‌ترتیب در شرایط EC_W<۱dS/m و شرایط تنش EC_W = ۶dS/m به‌دست آمد. مقایسه میانگین اثرات ساده نشان‌داد که شوری EC_W =۶dS/m سبب کاهش ۶۲/۸۲درصدی وزن خشک کل نسبت به شاهد شد. با افزایش تنش شوری وزن خشک کل کاهش یافت (جدول ۶). اثر سالیسیلیک‌اسید بر وزن خشک کل گیاه در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود. بالاترین میزان وزن خشک کل گیاه با میانگین ۹۹/۳۴گرم در بوته در تیمار یک میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و کمترین میزان آن با میانگین ۸۴/۴۸گرم در بوته در تیمار ۱/۵میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید به‌دست آمد، که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار ۰/۵ و یک میلی‌مولار داشت (جدول ۶). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان‌داد که بیش‌ترین میزان وزن خشک گیاه با میانگین ۱۴۳/۴۰گرم در بوته در تیمار یک میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و شرایط EC_W<۱dS/m کمترین میزان آن با میانگین ۴۷/۲۲گرم در بوته در تیمار ۱/۵میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و شرایط تنش EC_W =۶ dS/m به‌دست آمد (جدول ۵). علت این امر می‌تواند به تأثیر منفی سالیسیلیک‌اسید بر رشد گیاه در این غلظت باشد. به‌عبارت دیگر می‌توان گفت سالیسیلیک‌اسید در غلظت‌های بالای ۱/۵ ممکن است تأثیر منفی بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه داشته و رشدونمو گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. مطالعات قبلی بیان‌گر این مطلب است که، تنش شوری باعث کاهش وزن خشک کل شده است (Hussain *et al.*, 2004). کاهش سطح برگ و کاهش تعداد

برگ منجر به کاهش فتوسنتز شده و در نتیجه تولید گیاه کاهش می‌یابد. از سوی دیگر پدیده تحمل به شوری یک پدیده انرژی‌خواه است. گیاه برای مقابله با اثرات مضر شوری مجبور به صرف انرژی بیش‌تری می‌باشد. بدین‌ترتیب در این شرایط مقدار کمتری تولیدات فتوسنتزی به مصرف تولید ماده خشک و عملکرد می‌رسد. بنابراین وزن خشک کل در گیاه نیشکر با افزایش محتوای عناصر سمی کلر و سدیم کاهش می‌یابد (Soltani Howayzeh *et al.,* 2009). لازم به‌ذکر است کاهش وزن خشک گیاه ممکن است در اثر سمیت ویژه یون‌ها و اختلال در جذب عناصر غذایی ضروری باشد (Chowdhury *et al.,* 2001; Fahad and Bano, 2012) وزن خشک کل همبستگی مثبت و معنی‌داری با نسبت پتاسیم به سدیم ریشه ($r = ۰/۸۵^{**}$) دارد (جدول ۷) و به‌عنوان شاخصی از تحمل ارقام نیشکر تحت تنش شوری درنظر گرفته می‌شود. کاربرد سالیسیلیک‌اسید تا غلظت یک میلی‌مولار تحت شرایط تنش شوری، سبب شده بود گیاه ماده خشک کل بیش‌تری تولید کند، که با نتایج در ذرت مطابقت دارد (Hussein *et al.,* 2007). تأثیر مثبت سالیسیلیک‌اسید را می‌توان به افزایش جذب CO_2 و سرعت فتوسنتز و افزایش جذب مواد معدنی توسط گیاه تنش دیده تحت تیمار سالیسیلیک‌اسید نسبت داد (Hussein *et al.,* 2007). افزایش غلظت یون سدیم و کاهش یون پتاسیم در برگ گیاهان زراعی تحت تأثیر تنش شوری و تأثیر منفی این فرآیند بر فتوسنتز و وزن خشک گیاه نیشکر توسط برخی محققان گزارش شده است (Akhtar *et al.,* 2001; Gandonou *et al.,* 2011) گزارش شده است در گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک‌اسید میزان فتوسنتز کل گیاه افزایش یافته و باعث تجمع ماده خشک گیاه شده است (Singh and Usha, 2003) اثرات بهبوددهنده با سالیسلیک اسید در تحمل به شوری در برخی گیاهان مانند لوبیا (*Passeolus vulgaris* L.) (Azooz, 2009)، گندم بهاره (*Triticum aestivum* L.) (Afzal *et al.,* 2006)، جو (*Hordeum vulgar* L.) (El-Tayeb, 2005) و ذرت (*Zea mays* L.) گزارش شده است (Gunes *et al.,* 2007).

جدول۳- نتایج تجزیه واریانس صفات مختلف گیاهی در نیشکر رقم CP69-1062 در پاسخ به سالیسیلیک‌اسیدتحت تنش شوری

Table 3- Analysis of variance of some physiological and morphological traits in sugarcane *Saccharum sp.* Var. CP 69-1062 in response to SA under different salinity levels

منبع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات(Mean of Squares)				
		وزن خشک کل (Total dry weight)	سطح برگ (Leaf area)	نفوذپذیری نسبی غشاء (Relative permeability membrane)	کلروفیل *a+b* (Chlorophyll *a+b*)	محتوای نسبی آب برگ (Relative water content) (RWC)
شوری (S)	2	19972.52^{**}	1696206.03^{**}	2352.25^{**}	0.41^{**}	347.25^{**}
سالیسیلیک‌اسید (SA)	3	452.81^{**}	245563.15^{**}	76.66^{**}	0.03^{**}	254.91^{**}
S×SA	6	158.01^{**}	27214.13^{ns}	18.19^{ns}	0.01^{ns}	25.91^{*}
خطای آزمایشی Error	24	13.01	25106.55	9	0.01	9
ضریب تغییرات CV(%)	-	3.88	4.22	11.39	8.19	4.09

*،**،ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج‌درصد، یک‌درصد وغیرمعنی‌دار

** and * represent significant at the 1% and 5% probability level, respectively, and ns represent non- significant

جدول٤- نتایج تجزیه واریانس صفات میزان عناصر گیاه نیشکر تحت تأثیر محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید(SA) و سطوح تنش شوری (S)

Table 4- Analysis of variance of different elements in sugarcane in response to SA influenced by salinity

منبع تغییرات (Source of variation)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات(Mean of Squares)			
		سدیم ریشه Root Na^+	پتاسیم ریشه Root K^+	کلر ریشه Root Cl^-	نسبت پتاسیم به سدیم ریشه Root K^+/Na^+ ratio
شوری (S)	2	0.0697^{**}	0.4863^{**}	0.41657^{**}	102.70^{**}
سالیسیلیک‌اسید (SA)	3	0.0001^{ns}	0.3698^{**}	0.00396^{*}	10.11^{**}
S×SA	6	0.0024^{**}	0.0407^{ns}	0.00561^{ns}	4.74^{**}
خطای آزمایشی Error	24	0.0003	0.0407	0.00130	0.283
ضریب تغییرات CV(%)	-	6.64	13.41	4.12	8.36

*،**،ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج‌درصد، یک‌درصد وغیرمعنی‌دار را نشان می‌دهند.

** and * represent significant at the 1% and 5% probability level, respectively, and ns represent non- significant

جدول۵- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده گیاه نیشکر تحت تأثیر محلول‌پاشی برگی سالیسیلیک‌اسید تحت سطوح متفاوت تنش شوری

Table 5-Mean comparison various characteristics of sugarcane in response to foliar application of salicylic acid (SA) and different salinity levels (S)

تیمار های آزمایشی Treatments	وزن خشک کل Total dry weight (g plant^{-1})	سطح برگ Leaf area (cm^2)	محتوای نسبی آب برگ RWC (٪)	کلروفیل $a+b$ chlorophyll $a+b$ (mg g^{-1})	نفوذ پذیری نسبی غشاء Relative membrane permeability (٪)	سدیم ریشه Root Na^+	پتاسیم ریشه Root K^+	کلر ریشه Root Cl^-	نسبت پتاسیم به سدیم ریشه Root K^+/Na^+ ratio
SA1S0	117.80b	8ab.4076	79ab	1.15ab	15e	0 .21de	1.50ab	0.65f	7.14d
SA2S0	137.40a	5ab.4175	80ab	1.21a	11e	0.18e	1.73a	0.66f	9.61b
SA3S0	143.40a	7a.4344	81a	1.24a	10e	0.14f	1.78a	0.68f	12.71a
SA4S0	121.60b	6bc.3903	75bcd	1.17a	13e	0.21de	1.77a	0.69f	8.43c
SA1S1	103.58c	3763cd	73cd	0.95cd	28c	0.23ed	1.20bc	0.93d	5.22ef
SA2S1	106.30c	3765cd	78abc	1.01bc	26cd	0.26bc	1.60a	0.93d	6.15e
SA3S1	104c	9bc.3992	78abc	1.11ab	22d	0.29b	1.63a	0.97cd	5.62ef
SA4S1	84.64d	3500de	63fg	0.85de	30bc	0.26bc	1.51ab	0.84e	5.81e
SA1S2	48.04e	3315ef	66ef	0.82de	42a	0.33a	0.91c	1.06ab	2.76i
SA2S2	51.20e	3578de	76abc	0.91cde	34b	0.35a	1.63a	1.08a	4.66fg
SA3S2	50.62e	3400ef	70de	0.81de	40a	0.33[a]	1.42ab	1.00bc	4.30gh
SA4S2	47.22e	3200f	60g	0.76e	45a	0.34[a]	1.21bc	1.00bc	3.56hi

SA4 = 1.5 mM و SA2= 1 mM ,SA2 =0.5 mM, SA1 = 0 mM

(S2) EC_W = 6 dS/m و (S1) EC_W = 3 dS/m ،(S0) EC_W< 1 dS/m

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج‌درصد می‌باشند.

Means with the same letters within column show no significantly difference at $p<0.05$ using Duncan´s Multiple Range Test

جدول ٦- نتایج مقایسه میانگین صفات مختلف گیاه نیشکر تحت تأثیر سطوح مختلف سالیسیلیک‌اسید وتنش شوری

Table 6- Mean comparison various characteristics of sugarcane at different salicylic acid (SA) and salinity (S) levels

تیمارهای آزمایشی Treatments	وزن خشک کل Total dry weight (g plant^{-1})	سطح برگ Leaf area (cm^2)	نفوذپذیری نسبی غشاء Relative permeability membrane (٪)	کلروفیل $a+b$ chlorophyll $a+b$ (mg g^{-1})	محتوای نسبی آب برگ RWC (٪)	سدیم ریشه Root Na^+	پتاسیم ریشه Root K^+	کلر ریشه Root Cl^-	نسبت پتاسیم به سدیم ریشه Root K^+/Na^+ ratio
						(% of dry weight)			
سطوح مختلف شوری Salinity(dS m^{-1})									
EC_W< 1	130.05a	4125.15 a	12.25c	1.19a	78.75a	0.18c	1.69a	0.67c	9.39a
EC_W = 3	99.63b	3755.23 b	26.5b	0.98b	73b	0.26b	1.48b	0.91b	5.69b
EC $_W$ = 6	49.27c	3373.25 c	40.25a	0.82c	68c	0.33a	1.29c	1.03a	3.91c
سطوح مختلف سالیسیلیک‌اسید SA (mM)									
0	89.81b	3718.27 b	28.33a	0.97ab	72.66b	0.25a	1.20b	0.88a	4.80d
0.5	98.30a	3839.5a b	23.66b	1.04a	78a	0.26a	1.65a	0.89a	6.35b
1	99.34a	3912.53 a	24b	1.05a	76.23a	0.25a	1.61a	0.88a	6.44a
1.5	84.48c	3534.53 c	29.33a	0.92b	66 c	0.27a	1.49a	0.84b	5.52d

حروف یکسان درهرستون و برای هر عامل نشانه عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج‌درصد درآزمون دانکن می‌باشد

Means with the same letters within column and factors show no significantly difference at $p<0.05$ using Duncan´s Multiple Range Test

جدول ۷- همبستگی صفات موردبررسی در نیشکر رقم Cp69-1062

Table7- Correlation between various traits in sugarcane, cultivar CP69-1062

صفات		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
سطح برگ Leaf area	X1	1								
وزن خشک کل Total dry weight	X2	0.88**	1							
نفوذ پذیری نسبی غشا Relative membrane permeability	X3	-0.88**	−0.93**	1						
کلروفیل $a+b$ chlorophyll$a+b$	X4	0.84**	0.84**	−0.96**	1					
محتوای نسبی آب برگ RWC	X5	0.77**	0.67**	−0.81**	0.88**	1				
سدیم ریشه Root Na^+	X6	-0.80**	-0.94**	0.83**	-0.69**	-0.51**	1			
پتاسیم ریشه Root K^+	X7	0.55**	0.51**	-0.74**	0.77**	0.73**	-0.36**	1		
کلر ریشه Root Cl^-	X8	-0.71**	-0.85**	0.88**	-0.81**	−0.53**	0.84**	-0.59**	1	
نسبت پتاسیم به سدیم ریشه Root K^+/Na^+ ratio	X9	0.82**	0.85**	-0.89**	0.83**	0.67**	-0.87**	0.68**	-0.85**	1

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج‌درصد و یک‌درصد

** and *, indicate significant at the 5% and 1% levels, respectively

نتایج تجزیه واریانس نشان‌داد که، اثر تنش شوری و اثر سالیسیلیک‌اسید بر سطح برگ در بوته در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول۳). اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک‌اسید بر این صفت از لحاظ آماری غیرمعنی‌دار بود (جدول۳). با افزایش تنش شوری سطح برگ گیاه کاهش یافت (جدول۵). مطالعات دیگر نشان‌داده است که این کاهش در ارقام متحمل کمتر می‌باشد (Soltani Howayzeh *et al.,* 2009). سطح برگ همبستگی منفی و معنی‌داری با سدیم ریشه ($r = -۰/۸۰^{**}$) و کلر ریشه ($r = -۰/۷۱^{**}$) دارد (جدول ۷). همبستگی منفی بین سطح برگ با محتوای عناصر سدیم و کلر در گیاه نیشکر نشان‌دهنده کاهش سطوح فتوسنتزکننده با افزایش سطوح شوری می‌باشد (Soltani Howayzeh *et al.,* 2009). هم‌چنین گزارش شده است که کاهش سطح برگ در اثر شوری منجر به کاهش عملکرد گردید (Shomeili *et al.,* 2011). تسهیم کربن بستگی به قدرت منبع و مخزن دارد و همان‌طور که برگ یک بستر برای فتوسنتز فراهم می‌کند، سطح برگ قدرت منبع محصول زراعی را نشان می‌دهد و فتوسنتز و تولید ماده خشک از یک گیاه نیز با میزان سطح برگ متناسب است (Shomeili *et al.,* 2011). کاربرد سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش سطح برگ در ذرت شد (Gautam and Sing, 2009). اثرات سالیسیلیک‌اسید در تنظیم منبع و مخزن مشخص شده است بدین‌صورت که سالیسیلیک‌اسید فعالیت متابولیک سلول‌ها را افزایش داده و سبب افزایش سطح برگ شده است (Dawood *et al.,* 2012).

نتایج تجزیه واریانس نشان‌داد که اثر تنش شوری و اثر سالیسیلیک‌اسید بر نفوذپذیری نسبی غشاء در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش تنش شوری میزان نفوذپذیری نسبی غشاء در برگ‌ها افزایش یافت (جدول ۵). افزایش نفوذپذیری غشاء میزان خسارت تنش به گیاه را نشان می‌دهد. اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک‌اسید بر این صفت از لحاظ آماری غیر معنی‌دار بود (جدول۳). گزارش شده است، کاربرد سالیسیلیک‌اسید نفوذپذیری غشاء پلاسمایی را در ذرت کاهش داد. سالیسلیک‌اسید با فعال‌کردن سیستم دفاعی گیاهان ازجمله آنزیم‌های آنتی اکسیدانت منجر به پالایش رادیکال‌های آزاد و کاهش خسارت ناشی از تنش اکسیداتیو شده است (Levent Tuna *et al*., 2007).

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثر تنش شوری و اثر سالیسیلیک‌اسید بر میزان کلروفیل $a+b$ برگ در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش تنش شوری میزان کلروفیل کل در برگ‌ها کاهش یافت (جدول ۵). اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک‌اسید بر این صفت از لحاظ آماری غیر معنی‌دار بود، اما همان‌طور که اشاره شد کاربرد سالیسیلیک‌اسید تا غلظت های یک میلی‌مولار می‌تواند سبب بهبود تحمل به شوری شود (جدول۳). تنش شوری تأثیرات متفاوتی بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان مانند افزایش میزان تنفس، سمیت یونی، تغییر در رشد گیاه، توزیع عناصر، بی‌ثباتی غشا، نفوذپذیری غشا و کاهش فتوسنتز دارد. میزان کلروفیل به‌عنوان وضعیت متابولیک سلولی در نظر گرفته می‌شود و کاهش در

میزان کلروفیل تحت تنش شوری می‌تواند مربوط به تجمع یون‌ها و سمیت مربوطه باشد (Munns and Tester, 2008). بررسی غلظت کلروفیل در شرایط تنش شوری یکی از سازوکارهای انتخاب ارقام متحمل به شوری گیاهان زراعی است (Munns, 2002). کاهش غلظت کلروفیل از عوامل مهم مؤثر در میزان ظرفیت فتوسنتزی گیاه به‌شمار می‌رود. افزایش میزان شوری موجب کاهش کارایی برگ‌ها در انجام فتوسنتز و تشدید صدمات تنش می‌شود. تنش شوری منجر به افزایش غلظت تنظیم کننده‌های رشد مانند آبسیزیک‌اسید و اتیلن می‌شود که تحریک‌کننده آنزیم کلروفیلاز هستند و به‌این ترتیب کلروفیل تحت تأثیر این آنزیم تجزیه می‌شود (Orabi *et al.*, 2010). از مهم‌ترین دلایل کاهش کلروفیل در اثر تخریب آن‌ها به‌وسیله اکسیژن فعال می‌باشد. از طرف دیگر رقابت و پیشی‌گرفتن آنزیم گلوتامیل‌کیناز به هنگام تنش شوری از آنزیم گلوتامات‌لیگاز (اولین آنزیم مسیر بیوسنتز کلروفیل) باعث می‌شود تا پیش‌ساز گلوتامات بیشتر به مصرف اسیدآمینه‌ها به‌ویژه پرولین برسد، بنابراین بیوسنتز کلروفیل با محدودیت مواجه می‌شود (Gibon *et al.*, 2000). هم‌چنین یکی از عوارض تنش شوری کاهش جذب عناصر است. از جمله این عناصر می‌توان به آهن و منیزیم و نیتروژن اشاره کرد، که در ساختمان کلروفیل نقش حیاتی دارند (Hussein *et al.*, 2007) کاهش این عناصر منجر به کاهش میزان کلروفیل می‌شود از سویی دیگر منجر به افزایش گونه‌ها ی فعال اکسیژن شده و باعث تخریب غشاهای زیستی چون غشاء تیلاکوئیدی می‌شود. آسیب گونه‌های فعال اکسیژن منجر به‌هم‌خوردن ماکرومولکول‌هایی چون کلروفیل و کاهش میزان آن در سلول می‌شود. میزان کلروفیل به‌عنوان وضعیت متابولیک سلولی در نظر گرفته می‌شود و کاهش در میزان کلروفیل تحت تنش شوری می‌تواند مربوط به تجمع یون‌ها و سمیت مربوطه باشد (Shomeili *et al.*, 2011). تحقیقات نشان‌داده، کاربرد سالیسلیک اسید سبب افزایش در میزان کلروفیل شده است. سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش فعالیت آنتی اکسیدانت‌ها مانند سوپراُکسیددیسموتاز و پراُکسیداز شده و سبب افزایش تحمل گیاه به تنش اکسیداتیو ایجاد شده توسط گونه‌های فعال اکسیژن شده است (Fahad and Bano, 2012). گزارش شده است سالیسیلیک‌اسید از طریق افزایش کلروفیل و فعالیت آنزیم روبیسکو میزان فتوسنتز کل را افزایش داده است (Gautam and Sing, 2009).

تجزیه واریانس نشان‌داد که اثر تنش شوری و اثر سالیسیلیک‌اسید بر محتوای رطوبت نسبی برگ (RWC) در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان‌داد، بیش‌ترین RWC با میانگین ۷۸/۷۵درصد، و کمترین میزان آن با میانگین ۶۸درصد به‌ترتیب در تیمارهای EC_W<۱dS/m و EC_W =۶dS/m به‌دست آمد. با افزایش تنش شوری میزان RWC در برگ‌ها کاهش یافت. (جدول ۶). بیش‌ترین میزان RWC برگ با میانگین ۷۸درصد در تیمار ۰/۵میلی‌مولار، به‌دست آمد، که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یک میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید نداشت. کمترین میزان آن با میانگین ۶۶درصد در تیمار ۱/۵میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید به‌دست آمد (جدول ۶). اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک‌اسید بر این صفت در سطح پنج‌درصد آماری معنی‌دار بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان‌داد که بیش‌ترین RWC با میانگین ۸۱درصد در تیمار یک میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و شرایط EC_W<۱dS/m و کمترین میزان آن با میانگین ۶۰درصد در تیمار ۱/۵میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و شرایط EC_W =۶dS/m به‌دست آمد (جدول ۵). یکی از شاخص‌های نشان‌دهنده وضعیت آب گیاه، محتوای نسبی آب بافت گیاهی می‌باشد. در این تحقیق با افزایش تنش شوری محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت. بقای گیاه به حفظ فشار آماس بستگی دارد که برای توسعه رشد سلول‌ها و بازشدن روزنه‌ها ضروری است. کاهش دسترسی به آب در شرایط شوری خاک موجب تنش اسمزی می‌شود که سرانجام به کاهش فشار آماس می‌انجامد. تنظیم اسمزی یکی از مراحل حیاتی فرآیند تحمل به تنش اسمزی است که در هر دو گیاهان هالوفیت و گلیکوفیت وجود دارد. تنش اسمزی ممکن است جذب و کده‌بندی یون‌ها (Na^+، K^+) به داخل واکوئل و سنتز مواد محلول‌های سازگار آلی نظیر پرولین، بتائین، پولیول‌ها و قندهای محلول را القا کند (Munns and Tester, 2008). تیمار سالیسیلیک‌اسید به تولید اسمولیت‌ها جهت حفظ فشار اسمزی گیاه در تنش شوری کمک می‌کند. تولید اسمولیت‌ها منجر به کاهش فشار اسمزی داخل سلول شده که هم به حفظ آب داخل سلول کمک کرده و مانع پسابیدگی سلول می‌شود و هم با کمک به جذب آب از محلول خاک باعث افزایش فشار آماس و میزان محتوای نسبی آب برگ می‌شود. برخی از محققان بیان کردند که حفظ محتوای رطوبت نسبی برگ در شرایط تنش مربوط به انسداد روزنه‌ها می‌باشد و علت انسداد روزنه‌ها را تجمع هورمون آبسیزیک‌اسید می‌دانند که در شرایط تنش در ریشه ساخته شده و در سلول های روزنه‌ای تجمع می‌یابد (Levent Tuna *et al*., 2007). گزارش شده است، کاربرد سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ شده است که به‌نظر می‌رسد دلیل احتمالی آن افزایش محلول‌های سازگار و در نتیجه کاهش پتانسیل اسمزی گیاهان که سبب افزایش جذب آب در محیط‌های نامساعد می‌شود، باشد (Levent Tuna *et al*., 2007). این موضوع با نتایج (Hussain *et al.*, 2010) در ارزن مرواریدی (*Pennistum glaucum* L.) و در ذرت، مطابقت دارد (Levent Tuna *et al*., 2007).

تجزیه واریانس نشان‌داد که، اثر تنش شوری بر سدیم ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). با افزایش تنش شوری میزان سدیم ریشه افزایش یافت (جدول ۶). اثر سالیسیلیک‌اسید بر میزان سدیم ریشه از لحاظ آماری غیرمعنی‌دار بود (جدول۴). اثر متقابل تنش

شوری و سالیسیلیک‌اسید بر این صفت در سطح یک‌درصد معنی‌دار شد (جدول۴). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان‌داد که بیش‌ترین میزان سدیم ریشه با میانگین ۰/۳۵درصد در تیمار ۰/۵میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و شرایط EC_W =۶dS/m به‌دست آمد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱/۵میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و شرایط EC_W =۶dS/m نداشت. کمترین میزان سدیم ریشه با میانگین ۰/۱۴درصد در تیمار یک میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و شرایط EC_W<۱dS/m به‌دست آمد(جدول۶). افزایش میزان سدیم در اثر شوری توسط محققان زیادی گزارش شده است که از آن جمله می‌توان به (Gandonou *et al.,* 2011; Ashraf *et al.,* 2007)

در نیشکر اشاره کرد. گزارش شده است ، با افزایش تنش شوری میزان سدیم ریشه در نیشکر افزایش یافت (Plaut *et al.,* 2000). در گزارش دیگری نیز اشاره شده است که، با افزایش تنش شوری میزان سدیم ریشه افزایش یافت (Gandonou *et al.,* 2011). گزارش شده محتوای یون سدیم گیاهان نیشکر با افزایش شوری افزایش یافت و واریته‌هایی که سدیم بیش‌تری را تجمع داده بودند کاهش بیش‌تری را در رشد و تجمع ماده خشک داشتند. واریته‌های متحمل کمترین تجمع سدیم در برگ و بیش‌ترین تجمع ماده خشک را داشتند (Ashraf *et al.,* 2007). در گزارشی دیگر آمده است که ارقام متحمل به شوری نیشکر کم‌ترین تجمع یون‌های سمی از جمله سدیم (Ashraf *et al.,* 2010) و کلر را دارند (Wahid, 2004). گزارش شده است کاربرد سالیسیلیک‌اسید باعث کاهش سدیم ریشه شده است(Arfan, 2009). این می‌تواند به‌دلیل تأثیر آن روی پمپ‌های انتقال سدیم و پتاسیم در غشاء سلولی و سیتوزول باشد (Khan *et al.,* 2010). وجود همبستگی منفی سدیم ریشه با وزن خشک کل ($r = -0/94^{**}$)، محتوای نسبی آب ($r = -0/51^{**}$) و نسبت پتاسیم به سدیم ریشه ($r = -0/87^{**}$) و همبستگی مثبت با نفوذپذیری نسبی غشاء ($r = 0/83^{**}$) و کلر ریشه ($r = 0/84^{**}$) بیان‌گر اثر منفی این یون بر رشد گیاهچه نیشکر و اثر نامطلوب آن بر تولید ماده خشک است (جدول ۷). تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌داد که اثر تنش شوری و اثر سالیسیلیک‌اسید بر پتاسیم ریشه در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). با افزایش تنش شوری میزان پتاسیم ریشه کاهش یافت (جدول ۶). اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک‌اسید بر این صفت از لحاظ آماری غیر معنی‌دار بود (جدول۴). گزارش شده است که با افزایش تنش شوری میزان سدیم ریشه در نیشکر کاهش یافت. که دلیل آن افزایش میزان سدیم و رابطه رقابتی بین سدیم و پتاسیم می‌باشد. Wahid, 2004تفاوت معنی‌داری را برای کاهش پتاسیم در شرایط شوری در گیاه نیشکر گزارش کردند و نشان‌دادند غلظت یون پتاسیم با افزایش شوری در ارقام مختلف نیشکر کاهش یافت و ژنوتیب‌های متحمل دارای محتوای یون پتاسیم بیش‌تری نسبت به ژنوتیب‌های حساس بوده است. محتوای پتاسیم بیشتر می‌تواند سمیت ناشی از یون‌های سدیم و کلر را تعدیل کند و ژنوتیب متحمل را قادر به رشد و تولید بیشتر در شرایط شور کند (Wahid, 2004) و به‌عنوان معیاری مناسب برای انتخاب گیاهان از نظر تحمل به تنش شوری به کار رود (Gandonou *et al.,* 2011) .. کاربرد سالیسیلیک‌اسید میزان پتاسیم ریشه را تحت تنش شوری افزایش داده است (Arfan, 2009). هم‌چنین گزارش شده است پتاسیم در حفظ پتانسیل اسمزی و جذب آب نقش دارد سبب می‌شود پتانسیل اسمزی لازم برای جذب آب به‌وسیله سلول‌های گیاه فراهم شود (Khan *et al.,* 2010).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌داد که اثر تنش شوری بر کلر ریشه در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول۴). با افزایش تنش شوری میزان کلر ریشه افزایش یافت (جدول ۶). اثر سالیسیلیک‌اسید بر میزان کلر ریشه در سطح پنج‌درصد آماری معنی‌دار بود (جدول۴). اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک‌اسید بر این صفت از لحاظ آماری غیرمعنی‌دار بود (جدول۴). با افزایش تنش شوری میزان کلر در نیشکر افزایش یافت که این افزایش در ارقام حساس بیشتر بود. کلر به‌عنوان عامل سمیت در متابولیسم سلولی شناخته شده است و سمیت یونی کلر تحت تنش شوری اثرات زیان‌باری در کاهش رشد نیشکر داشته است (Gandonou *et al.,* 2011). Arfan, 2009 گزارش کردند که کاربرد سالیسیلیک‌اسید میزان کلر را تحت تنش شوری در گندم (Arfan, 2009) و کلزا (Syeed *et al.,* 2011) کاهش داده است. تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌داد که اثر تنش شوری، اثر سالیسیلیک‌اسید و اثر متقابل تنش شوری و سالیسیلیک‌اسید بر نسبت پتاسیم به سدیم ریشه در سطح یک‌درصد معنی‌دار بودند (جدول ۴). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان‌داد که بیش‌ترین نسبت پتاسیم به سدیم ریشه با میانگین ۹/۵۶، و کمترین آن با میانگین ۳/۸۳ به‌ترتیب در شرایط تنش EC_W<۱dS/m و EC_W =۶dS/m به‌دست آمد. با افزایش تنش شوری نسبت پتاسیم به سدیم ریشه کاهش یافت (جدول ۶) بیش‌ترین نسبت پتاسیم به سدیم ریشه با میانگین ۷/۵۴ در تیمار یک میلی‌مولارسالیسیلیک‌اسید به‌دست آمد و کمترین آن با میانگین ۵/۱۳ در تیمار صفر میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید به‌دست آمد (جدول ۶). بیش‌ترین نسبت پتاسیم به سدیم ریشه با میانگین ۱۲/۷۹ در تیمار یک میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و شرایط EC_W<۱dS/m و کمترین آن با میانگین ۲/۷۹درصد در تیمار صفر میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و شرایط EC_W =۶dS/m به‌دست آمد (جدول ۶). برخی مطالعات نشان‌داده که تنش شوری باعث کاهش نسبت پتاسیم به سدیم ریشه در نیشکر شده است (Soltani Howayzeh *et al.,* 2009). تفاوت معنی‌دار در سطح یک‌درصد برای نسبت پتاسیم به سدیم در ژنوتیب‌های مختلف نیشکر گزارش

شده است (Ashraf *et al.*, 2007). آن‌ها بیان داشتند که اگرچه با افزایش شوری این نسبت کاهش می‌یابد، اما ژنوتیپ‌های متحمل دارای نسبت پتاسیم به سدیم بالاتری هستند و بررسی نسبت پتاسیم به سدیم را به‌عنوان یک صفت مناسب برای تعیین ارقام متحمل به شوری گزارش کردند (Akhtar *et al.*, 2003). گزارش شده است نسبت بالای پتاسیم به سدیم نقش کلیدی در افزایش تحمل به شوری و اجتناب از تجمع یون‌های مضر را داشت (Santa-Maria and Epstein, 2001). گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک‌اسید سبب افزایش نسبت پتاسیم به سدیم ریشه در ذرت شده است (Fahad and Bano, 2012).

با توجه به جدول همبستگی، نسبت پتاسیم به سدیم ریشه همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن خشک کل ($r = ۰/۸۵^{**}$)، محتوای نسبی آب برگ ($r = ۰/۶۷^{**}$)، پتاسیم ریشه ($r = ۰/۶۸^{**}$)، و همبستگی منفی با سدیم ریشه ($r = -۰/۸۷^{**}$) و کلر ریشه ($r = -۰/۸۵^{**}$) دارد. نسبت پتاسیم به سدیم ریشه بیان‌گر اثر مثبت این صفت بر پایداری رشد در شرایط تنش شوری است (جدول ۷).

نتیجه‌گیری

سطح شوری آب آبیاری شش‌دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب سبب کاهش ۶۲/۸۲، ۱۳/۶۵و ۳۱/۰۹درصدی وزن خشک کل، محتوای نسبی آب برگ و کلروفیل $a+b$ و کاهش ۲۳/۶۷ و ۵۹/۹۴درصدی پتاسیم ریشه و نسبت پتاسیم به سدیم ریشه و هم‌چنین سبب افزایش ۸۳/۳۳، ۵۳/۷۳ سدیم ریشه، کلر ریشه نسبت به شاهد شد. محلول‌پاشی با غلظت یک میلی‌مولار در لیتر سالیسیلیک‌اسید در نیشکر موجب افزایش میزان وزن خشک کل، محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل $a+b$ و نسبت پتاسیم به سدیم ریشه شد. با توجه به شوری خاک و آب منطقه پیشنهاد می‌گردد، در شرایط با خصوصیات آب و خاک مشابه محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید با غلظت‌های ذکر شده به‌منظور کاهش اثرات تنش شوری صورت گیرد.

References

1. Afzal, I., Basara, S. M., Farooq, M. and Nawaz, A. 2006. Alleviation of salinity stress in spring wheat by hormonal priming with ABA, salicylic acid and ascorbic acid. International Journal of Agriculture and Biology 8: 23-28.
2. Akhtar, S. A., Wahid, A., Akram, M. and Rasul, E. 2001. Some growth, photosynthetic and anatomical attributes of sugarcane genotypes under NaCl salinity. International Journal of Agriculture and Biology 4: 439-443.
3. Akhtar, S., Wahid, A. and Rasul, E. 2003. Emergence, growth and nutrient composition of sugarcane sprouts under NaCl salinity. Journal of Plant Biology 46(1): 113-116.
4. Arfan, M.U. 2009. Exogenous application of salicylic acid through rooting medium modulates ion accumulation and antioxidant activity in spring wheat under salt stress. International Journal of Agricultural and Biological 11: 437-442.
5. Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal 23: 112-121.
6. Ashraf, M., Rahmatullah, S., Kanwar, M.A., Tahir, A. and Ali, L. 2007. Differential salt tolerance of sugarcane genotypes. Pakistan Journal of Agricultural Sciences 44(1): 85-89.
7. Ashraf, M., Afzal, M., Ahmed, R., Mujeeb, F., Sarwar, A. and Ali, L. 2010. Alleviation of detrimental effects of NaCl by silicon nutrition in salt-sensitive and salt-tolerant genotypes of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). Plant and Soil 326(1): 381-391.
8. Azooz, M. 2009. Salt stress mitigation by seed priming with salicylic acid in two *Faba bean* genotypes differing in salt tolerant. International Journal of Agricultural and Biological 11: 343-350.
9. Chowdhury, M.K., Miah, M., Hossain, M.A. and Alam, Z. 2001. Influence of sodium chloride salinity on germination and growth of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) .Journal Sugarcane International 7: 6–15.
10. Dawood, M.G., Sadak, M.S. and Hozayen, M. 2012. Physiological role of salicylic acid in improving performance, yield and some biochemical aspects of sunflower plant growth under newly reclaimed sandy soil. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 6(4): 82-89.
11. Diaz-Perez, J.C., Shackel, K.A. and Sutter, E.G. 2006. Relative Water Content. Annals of Botany 97(1): 85–96.
12. El-Tayeb, M.A. 2005. Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Journal of Plant Growth Regulation 42: 215-224.
13. Fahad, S.H. and Bano, A.S. 2012. Effect of salicylic acid on physiological and biochemical characterization of maize growth in saline area. Pakistan Journal of Botany 44(4): 1433-1438.
14. Gandonou, C., Bada, F., Gnancadja, S., Abrini, J. and Skali-Senhaji, N. 2011. Effects of NaCl on Na^+, Cl^- and K^+ ions accumulation in two sugarcane (*Saccharum sp.*) cultivars differing in their salt tolerance. International Journal of Plant Physiology and Biochemistry 3(10): 155-162.
15. Gautam, S.H. and Sing K. 2009. Salicylic acid –induced salinity tolerance in corn grown under NaCl stress. Acta Physiologiae Plantarum 31: 1185-1190.
16. Ghorbani Javid, M., Sorooshzadeh, A., Moradi, F. and Modarres Sanavy, A. 2011. The role of phytohormones in

alleviating salt stress in crop plants. American Journal of Cultural Sociology 5(6): 726-734.
17. Gibon, Y., Sulpice, R. and Larher, F. 2000. Proline accumulation in canola leaf discs subjected to osmotic related to stress is the loss of chlorophylls and to the decrease of mitochondrial activity. Plant Physiology 110: 469-476.
18. Gunes, A., Anal, A., Alprazolam, M., Reglan, F., Bags, E.G. and Cicek, N. 2007. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. Journal of Plant Physiology 164: 728-736.
19. Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M. and Ahmad, A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. Environmental and Experimental Botany 68: 14-25.
20. Hussain, A., Khan, Z., Ashraf, M., Hamid Rashid, M. and Saied Kantar, M. 2004. Effect of salt stress on some growth attributes of sugarcane cultivars CP-77-400 and COJ-84. International Journal of Agricultural and Biological 6(1): 188–191.
21. Hussain, K.H., Nawaz, K.H., Majeed, A.B., Khan, F.A., Lin, F.E. and Shahazad A. 2010. Alleviation of salinity effects by exogenous applications of salicylic acid in pearl millet (*Pennistum glaucum* L.) seedling. African Journal of Biotechnology 9(50): 8602-8607.
22. Hussein, M.M., Balbaa, L.K. and Gaballah, M.S. 2007. Salicylic acid salinity effect on growth of maize plants. Journal of Agricultural and Biological Science 3(4): 321-328.
23. Kafi, M. 2009. Physiology of abiotic stresses in plants, 1st ed. Mashhad Jihad Daneshgahi Publication. Mashhad. 502p. (In Persian).
24. Khan, N.A., Shabian, S., Masood, A., Nazar, A. and Iqbal N. 2010. Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mung bean and alleviates adverse effects of salinity stress. International Journal of Plant Biology 1: 1-8.
25. Levent Tuna, A., Kaya, C., Dikilitas, M., Yokas, I.B., Burun, B. and Altunlu H. 2007. Comparative effects of various salicylic acid derivatives on key growth parameters and some enzyme activities in salinity stressed maize (*Zea mays* L.) plants. Pakistan Journal of Botany 39(3): 787-798.
26. Munir, N. and Aftab, F. 2011. Enhancement of salt tolerance in sugarcane by ascorbic acid pretreatment. African Journal of Biotechnology 10(80): 18362-18370.
27. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell and Environment 25: 239–250.
28. Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of Salinity Tolerance. Annals Rev. Plant Biology 59: 651–681.
29. Nelson, P.N. and Ham, G.J. 2000. Exploring the response of sugarcane to sodic and saline conditions through natural variation in the field. Field Crop Research 66: 132-139.
30. Orabi, S.A., Salman, S.R. and Shalaby, A.F. 2010. Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. World Journal of Agricultural Sciences 6: 252-259.
31. Plaut, Z., Meinzer, F.C. and Federman, E. 2000. Leaf development, transpiration and ion uptake and distribution in sugarcane cultivars grown under salinity. Plant Soil 218: 59–69.
32. Santa-Maria, G.E. and Epstein H. 2001. Potassium/sodium selectivity in wheat and the amphiploid cross wheat X *Lophopyrum elongatum*. Plant Science 160: 523-534.
33. Shomeili, M., Nabipour, M., Meskarbashee, M., and Rajabi Memari, H. 2011. Evaluation of sugarcane (*Saccharum officinarum*L.) somaclonal variants tolerance to salinity in vitro and in vivo cultures. African Journal of Biotechnology 10(46): 9337-9343.
34. Singh, B. and Usha, K. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Journal of Plant Growth Regulation 39: 137–141.
35. Soltani Howayzeh, M., Mir Mohammadi Maybodi, M. and Arzani, A. 2009. Investigation of the correlation between morpho-physiological traits and dry weight yield of commercial and promising sugarcane cultivars under salinity stress at early vegetative growth stage. Journal of Crop Physiology 2: 26-33 (In Persian with English Abstract).
36. Syeed, S.H., Anjam, N.A., Nazar, R., Iqbal, N.O., Masood, A.S. and Khan, N.A. 2011. Salicylic acid–mediated changes in photosynthesis, nutrients, content and antioxidant metabolism in two mustard (*Brassica juncea* L.) cultivars differing in salt tolerance. Acta Physiologiae Plantarum 33:877-886.
37. Wahid, A. 2004. Analysis of toxic and osmotic effects of sodium chloride on leaf growth and economic yield of sugarcane. Botanical Bulletin of Academia Sinica 45: 133-141.
38. Yusuf, M., Hasan, S.A., Ali, B., Hayat, S., Fariduddin, Q. and Ahmad, A. 2008. Effect of salicylic acid on salinity induced changes in *Brassica juncea*. Journal of Integrative Plant Biology 50(8): 1–4.
39. Zhao, Y., Aspinall, D. and Paleg, L.G. 1992. Protection of membrane integrity in *Medicago sativa* L. by glycinebetaine against the effects of freezing. Journal of Plant Physiology 140: 541-543.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 3, Fall. 2016, p. 449-459

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵، ص. ۴۵۹-۴۴۹

Alleviation of Salinity Effects by Exogenous Applications of Salicylic Acid in Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Seedlings

F. Chaharlang Badil[1]- M. Barary[2*]- M. Shomeili[3]- Z. Tahmasebi[4]

Received: 02-02-2015
Accepted: 25-10-2015

Introduction

Abiotic stresses cause 71% reduction in crop yield around the world, from which 20% is related to salinity stress. The importance of sugarcane increases every day due to greater demand for sugar. Since sugarcane has mainly grown in arid and semi-arid regions, salinity is one of the main problems for this crop due to higher evaporation in these areas. Salicylic acid (SA) is classified as a phyto – hormone and belongs to a group of phenol compounds. Salicylic acid can improve plant tolerance to abiotic stresses. This research aimed at studying the effect of SA on the alleviating of salinity stress in sugarcane.

Materials and Methods

The effects of salicylic acid on the growth and some physiological responses of sugarcane (*Saccharum officinarum* L. cv. CP69-1062) were studied under salt stress. The experiment design was a factorial of two factors, based on a randomized completely design with three replications. The experiment was conducted in a greenhouse at the Sugarcane Research and Training Institute of Khuzestan, Iran in 2012. Treatments evaluated in this study were three levels of salt stress, including (EC_W<1 dSm^{-1}, EC_W = 3 dSm^{-1}, EC_W = 6 dSm^{-1}), and four concentrations of SA including 0, 0.5, 1 and 1.5 mM, respectively. The plants used in this experiment were produced through tissue culture technique. The data were analyzed using SAS (ver.9.5).

Results and Discussion

The statistical analysis showed that salinity stress above 3 dSm^{-1} can significantly ($P \leq 0.05$) reduce plant growth and yield. This result confirmed the previous reports about low tolerance of sugarcane to salt stress. The most efficient treatment was, spraying with 1 mM SA concentration which resulted in, 10.61, 5.05, 8.24 and 46.98 % increase in total dry weight, relative water content (RWC), chlorophyll content and root K^+/Na^+ ratio respectively, in comparison with control treatment. The enhancement of these plant traits will improve plant growth and crop yield. Root K^+/Na^+ ratio showed a significant positive correlation with total dry weight (r =0.85**), RWC, (r =0.67**), and was negatively correlated with root Na^+ (r =-0.87**) and root Cl^-, (r =-0.85**). Thus increasing the amount of Na^+ and Cl^- in plant tissues, decreases the growth and yield. Results also showed the positive effect of higher K^+ concentration on plant growth and plant tolerance to salinity stress. The concentration of 1.5 mM SA had less positive effect in improving salt tolerance compared to 0.5 mM and 1 mM SA. This might be due to the hormonal effect of this compound at greater levels and its negative efficacy on plant growth and development. Greater RWC with increasing K^+/Na^+ ratio might be due to higher osmotic adjustment in plant tissues.

Conclusions

This research showed that the growth and yield of sugarcane considerably reduced under salinity stress above 3 dS m^{-1}. The results suggested that SA was useful in reducing adverse effects of salinity. Under similar soil and water conditions the application of 1 mM in form of foliar spraying can be recommended for sugarcane plants.

Keywords: Morpho-physiological, Root Na^+, Salt, Spraying

1- MSc Student of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran.
2- Assistance Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran.
3- Manager of Agronomy Department, Sugarcane Research and Training Institute of Khuzestan.
4- Assistance Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran.
(*- Corresponding Author Email: bararym@gmail.com)