

Morphological and physiological responses of root and leave in *Gleditschia caspica* to salinity stress

Asghar Mosleh Arani*, Azar Rafiei, Afagh Tabandeh, Hamidreza Azimzadeh
Environmental Department, Natural Resources and Desert Studies School, Yazd University, Yazd, Iran

Abstract

In this research morphological and physiological responses of root and leaves of *Gleditschia caspica* were studied under salinity stress (control, 4, 8 and 12 ds/m) based on a randomized split plot design with four replicates. The results showed that salinity (12 ds/m) decreased all morphological characteristics except for root length, aerial biomass and number of leaflet. Root proline in 12 ds/m salinity was equal to 27 mg g⁻¹fw that were 5 times more than control. In contrast to root, leave proline decreased in all salinity treatments. Salinity significantly increased the amount of soluble sugar where in 12 ds/m salinity its amount was 4 times more than control. In contrast to leave, the amount of MDA in root (0.05 mol/g µfw) was 2.5 times more than control. Salinity decreased the amount of chlorophyll (a, b and total chlorophyll) and the lowest amount for total chlorophyll found in 12 ds/m and was equal to 10.6 mg g⁻¹fw. Salinity decreased root and leave potassium but increased the amount of sodium. The amount of sodium in 12 ds/m salinity was 4 times more than control. Salinity decreased root phosphor and its amounts in control were equal to 1055 mg/kg and in 12 ds/m salinity were equal to 833 mg/kg. Salinity increased leave phosphor in 8 ds/m. It is concluded that the responses of root and leaves to salinity stress were different. Root responded to salinity by increasing the amounts of proline and leaves responded by accumulation of sodium in cell vacuoles.

Keywords: proline, salinity, root, *Gleditschia caspica*

* Corresponding Author: amosleh@yazd.ac.ir

بررسی پاسخ مورفولوژیک و فیزیولوژیک اندام هوایی و زیرزمینی گیاه لیلکی (*Gleditschia caspica*) در برابر تنش شوری

اصغر مصلح ارانی*، آذر رفیعی، آفاق تابنده، حمیدرضا عظیم‌زاده
گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

چکیده

برای بررسی پاسخ مورفولوژیک و فیزیولوژیک اندام هوایی و زیرزمینی گیاه لیلکی (*Gleditschia caspica*) در برابر تنش شوری (شاهد، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. نتایج نشان دادند شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کاهش اندک همه صفات مورفولوژیک را باعث شد که تنها تفاوت در طول ریشه، زیتوده هوایی و تعداد برگچه‌ها نسبت به شاهد معنی‌دار بود. مقدار پرولین ریشه در غلظت ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، ۲۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود که این مقدار بیشتر از ۵ برابر شاهد بود. برخلاف ریشه، پرولین برگ‌ها در همه تیمارهای شوری به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت. بر اثر شوری، مقدار قند برگ به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش نشان داد و در غلظت ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، چهار برابر شاهد بود. برخلاف برگ، مقدار مالون‌دی‌آلدهید در ریشه (۰/۰۵ میکرومول بر گرم وزن تر) بیشتر از ۲/۵ برابر شاهد بود. مقدار کلروفیل a، b و کل با افزایش شوری نسبت به شاهد کاهش یافت. کلروفیل کل در غلظت ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، بیشترین کاهش را داشت و مقدار آن برابر با ۱۰/۶ میکرومول بر گرم وزن تر بود. شوری، مقدار پتاسیم را در برگ و ریشه کاهش ولی مقدار سدیم را افزایش داد؛ به طوری که سدیم برگ در غلظت ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر از چهار برابر شاهد بود. با افزایش شوری، مقدار فسفر در ریشه کاهش یافت؛ به طوری که مقدار آن در شاهد برابر با ۱۰۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک و در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر برابر با ۸۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک بود؛ در حالی که فسفر برگ در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت. نتایج این آزمایش نشان دادند برگ و ریشه گیاه لیلکی واکنش متفاوتی نسبت به شوری دارند. ریشه بیشتر با افزایش پرولین و برگ شاید با تجمع سدیم در واکنش‌ها به شوری پاسخ می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، ریشه، شوری، لیلکی

* نگارنده مسئول: نشانی پست الکترونیک: amosleh@yazd.ac.ir، شماره تماس: ۰۳۵-۳۸۲۱۰۳۱۲

Archive of SID

مقدمه

شوری پس از خشکی مهم‌ترین تنش محیطی است که به‌طور جدی با کاهش رشد و عملکرد گیاه همراه است و بیش از صد سال موضوع بسیاری از پژوهش‌های جهانی بوده است. نمک‌های محلول در محیط رشد، پتانسیل آب را کاهش می‌دهند و در نتیجه، جذب و انتقال آب و مواد غذایی در گیاه مختل می‌شوند. غلظت‌های زیاد سدیم کلرید در محلول خاک ممکن است کاهش فعالیت یونی عناصر و افزایش نسبت سدیم به کلسیم، سدیم به پتاسیم، کلسیم به منیزیم و کلرید به نترات را سبب شود؛ در نتیجه گیاه به سمیت ویژه عناصر و اختلالات تغذیه‌ای دچار می‌شود. این نبود تعادل ممکن است با کاهش دسترسی گیاهان به عناصر لازم، رقابت برای جذب عناصر، نحوه انتقال یا کده‌بندی عناصر در گیاه یا نبود فعالیت فیزیولوژیک عنصر غذایی ویژه و افزایش نیاز گیاه به این عنصر ایجاد شود (Grattan and Grieve, 1999).

در عوض، گیاهان در مقابله با تنش شوری، سازوکارهای دفاعی زیادی بر می‌گزینند. یکی از راهکارهای مناسب گیاهان در پاسخ به تنش شوری افزایش اسمولیت‌های سازگار در اندام‌های مختلف گیاه است. این اسمولیت‌های سازگار (مانند آمینواسیدهای پرولین و گلیسین بتائین یا قندهای محلول) اعمالی مانند تنظیم اسمزی، حفاظت از ساختار درون سلولی و کاهش خسارت اکسیداتیو ناشی از تولید رادیکال‌های آزاد را در پاسخ به تنش خشکی و شوری میانجی‌گری می‌کنند (De Lacerda et al., 2005). بین مواد محلول سازگار شناخته شده احتمالاً پرولین گسترده‌ترین نوع آنها است و به نظر می‌رسد تجمع آن در فرایند

سازگاری به تنش شوری در بسیاری از شیرین‌پسندها (گلیکوفیت‌ها) دخالت دارد (Sudhakar et al., 1993).

سدیم، کاتیون حل‌شدنی در بسیاری از خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک است. بیشتر گیاهان به‌ویژه شیرین‌پسندها به غلظت زیاد سدیم حساس هستند؛ زیرا پایداری یون‌های داخل سلول را بر هم می‌زند و تضعیف واکنش‌های سوخت‌وساز درون سلولی را موجب می‌شود (Niakan and Ghorbanli, 2007; Wang et al., 2004). از سوی دیگر در بسیاری از گیاهان شورپسند، سدیم با ورود به واکوئل‌ها نقش عمده‌ای در تنظیم تعادل اسمزی بر عهده دارد. بیشتر گیاهان، افزایش موقتی سدیم را در آپوپلاست با افزایش مقدار آب سلول‌های مزوفیل (مانند مقدار آب واکوئل) تحمل می‌کنند؛ بنابراین نمک‌ها در واکوئل رقیق‌تر می‌شوند و جذب نمک را از محلول آپوپلاست افزایش می‌دهند (Heidari-Sharifabad, 2001). پتاسیم عنصر غذایی پرمصرف و اصلی دیگری است که نقش اصلی آن در گیاهان، تنظیم اسمزی آن در تنظیم اسمزی و نیز اثر رقابتی آن با سدیم غالباً عنصری مهم در تنش شوری در نظر گرفته می‌شود؛ به همین دلیل تصور می‌شود غلظت اندک سدیم و به عبارت بهتر، نسبت کم سدیم به پتاسیم در برگ‌ها، رابطه‌ای نزدیک با مقاومت به شوری دارد (Schachtman et al., 1993).

لیلکی (*Gleditsia caspica*) گیاه درختی خاردار و متعلق به تیره نخود (Fabaceae) است و ارتفاع آن تا ۵ متر می‌رسد. تاج درخت، باز و پهن است؛ برگ‌های آن مرکب شانه‌ای و میوه‌های آن کشیده، عنابی‌رنگ و درشت هستند. این درخت در

ماسه‌بادی در شرایط گلخانه کاشته شدند. گلخانه در شرایط نوری طبیعی و دمای متوسط ۲۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۵۰ درصد قرار داشت. آبیاری، از مرحله کاشت تا مرحله جوانه‌زنی با آب معمولی و هر سه روز یک‌بار انجام شد؛ سپس تا زمان استقرار کامل، گیاهچه‌ها با محلول هوگلند آبیاری شدند. پس از رشد گیاه و رسیدن به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر (۴ ماهه) نهال‌های مد نظر در تیمارهای شاهد (آب شرب)، شوری ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به صورت تدریجی (۴ دسی‌زیمنس به‌ازای هر بار آبیاری) تا رسیدن به سطح تنش مد نظر اعمال شدند. شوری‌های مد نظر با دستگاه EC متر دیجیتال (شرکت Jenway، انگلستان) و اضافه کردن تدریجی سدیم کلرید به آب دوبار تقطیر تهیه شد. آبیاری نهال‌ها به فاصله چهار روز در میان به میزان ۱۰۰ میلی‌لیتر با ظرف مدرج انجام شد. برای جلوگیری از انباشته شدن نمک در نهال‌های قرار گرفته در تیمار شوری پس از سه دوره آبیاری، یک دوره نیز آبیاری با آب معمولی انجام شد. پس از اعمال تیمارها به مدت یک ماه، صفات مورفولوژیک شامل قطر یقه با کولیس دیجیتال (شرکت Titan، چین)، ارتفاع ساقه و طول ریشه با خط کش، وزن تر و خشک ساقه و ریشه با ترازوی دیجیتال (مدل Denver، شرکت Wagtech، آلمان)، فسفر اندام هوایی و زمینی با روش اولسن (Jones, 2001)، پتاسیم و سدیم اندام هوایی و زمینی با دستگاه فلیم فتومتر شعله‌ای (شرکت Jenway، انگلستان) و تعداد برگچه اندازه‌گیری شدند (Waling et al, 1989). کلروفیل‌های a و b، کلروفیل کل و کاروتنوئید با روش Lichtenthaler (۱۹۸۷)، مالون‌دی‌آلدهید اندام هوایی و زمینی با روش Heath و Packer (۱۹۶۸)، پرولین اندام

نقاط پست و مرطوب جنگل‌های شمال ایران می‌روید و دامنه انتشار آن محدود به جنگل‌های آستارا تا نور است؛ به جنگل‌های شرق و شمال شرقی البرز داخل نمی‌شود؛ معمولاً در سواحل و میان‌بند انتشار یافته است و جامعه‌های فرعی آن گاهی جانشین جامعه‌های جنگلی می‌شود؛ ولی از ۵۰۰ متر ارتفاع در جنگل بالاتر نمی‌رود (Mozaffarian, 2005).

همه اندام‌های گیاه ممکن است در تحمل یا اجتناب از شوری نقش و با یکدیگر همکاری داشته باشند. این همکاری در برخی موارد ثابت شده است (Brouwer, 1962)؛ برای نمونه اگر اندام هوایی گیاه به دلیل کاهش نور یا کربن دی‌اکسید، مواد غذایی بیشتری نیاز داشته باشد، انتقال و تخصیص مواد از اندام‌های دیگر به اندام هوایی انجام خواهد شد. این موضوع برای سایر اندام‌ها نیز انجام می‌شود. بررسی‌های فیزیولوژیک پاسخ گیاهان به شوری اغلب بر اندام هوایی انجام شده‌اند و کمتر به نقش مجزای ریشه و اندام هوایی یا همکاری آنها پرداخته شده است. پژوهش حاضر نقش متناظر اندام هوایی و سیستم ریشه‌ای را در برابر تنش شوری در گیاه *G. caspica* بررسی می‌کند.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر، در بهار سال ۱۳۹۴ در آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. برای بررسی اثر تنش شوری بر ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیک درخت لیلکی ابتدا بذرهای هم‌اندازه این درخت انتخاب شدند. بذرهای ۵ دقیقه در سولفوریک اسید قرار گرفتند و سپس با آب مقطر شستشو داده شدند. پس از آن بذرهای در عمق ۲ سانتی‌متر در گلدان حاوی

ریشه نسبت به تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نشان داد؛ اما بین دو غلظت ۴ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت معنی‌داری برای این صفت مشاهده نشد، بیشترین مقدار طول ریشه در شاهد با طول ۳۲/۱۳ سانتی‌متر و کمترین آن در تیمار شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (جدول ۲). تعداد برگچه‌ها در همه تیمارهای شوری به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت؛ به‌طوری‌که میزان آن در غلظت ۸ دسی‌زیمنس بر متر به کمتر از ۳۷ درصد شاهد رسید. با افزایش غلظت شوری، زیتوده هوایی کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. مقدار زیتوده اندام هوایی در شاهد برابر با ۱/۵ گرم اندازه‌گیری شد که این مقدار حدود دو برابر سایر تیمارهای شوری بود. گرچه تفاوت معنی‌داری در میانگین میزان قطر یقه، ارتفاع اندام هوایی و زیتوده زمینی بین تیمارهای مختلف شوری مشاهده نشد، نتایج نشان دادند میانگین این صفات در غلظت‌های ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به میانگین آن در شاهد کاهش یافت (جدول ۲).

هوایی و زمینی با اندازه‌گیری جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر با روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) و قندهای محلول اندام هوایی نیز با اندازه‌گیری جذب در طول موج ۴۸۵ نانومتر با روش Kochert و همکاران (۱۹۷۸) با دستگاه اسپکتروفوتومتر (Analitik Jena 210) اندازه‌گیری شدند.

تحلیل آماری: برای بررسی اختلاف بین

غلظت‌های مختلف تیمار، تجزیه واریانس همه صفات بررسی شده انجام شد و در نهایت میانگین‌ها با آزمون دانکن دسته‌بندی شدند. احتمال معنی‌دار بودن تفاوت‌ها در سطح ۰/۰۵ محاسبه شد. همه تحلیل‌ها با نرم‌افزار آماری SAS انجام شدند.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس درباره صفات مورفولوژیک نشان دادند تأثیر غلظت‌های مختلف شوری بر صفات تعداد برگچه، طول ریشه و زیتوده هوایی معنی‌دار بود (جدول ۱). افزایش غلظت شوری، میانگین طول ریشه را کاهش داد. طول

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک در گونه لیلیکی

صفات	منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P
قطر یقه	غلظت شوری	۳	۰/۳۰۲	۰/۱۰۱	۰/۴۷۵	۰/۷۰۸
	خطا	۸	۱/۶۹۴	۰/۲۱۲		
ارتفاع ساقه	غلظت شوری	۳	۴۴/۱۷۵	۱۴/۷۳	۲/۱۹۵	۰/۱۶۶
	خطا	۸	۵۳/۶۷	۶/۷۱		
طول ریشه	غلظت شوری	۳	۱۹۷/۹۳	۶۵/۹۸	۲۲/۰۲۳	۰
	خطا	۸	۲۳/۹۷	۲/۹۹		
تعداد برگچه	غلظت شوری	۳	۲۸۳۳۹۴/۶۷	۹۴۴۶۴/۸۹	۱۴/۴۱	۰/۰۰۱
	خطا	۸	۵۲۴۵۳/۳۳	۶۵۵۶/۶۷		
زیتوده هوایی	غلظت شوری	۳	۱/۵۸	۰/۵۲۶	۱۸/۹۸	۰/۰۰۱
	خطا	۸	۰/۲۲۲	۰/۰۲۸		
زیتوده زمینی	غلظت شوری	۳	۰/۶۰۳	۰/۲۰۱	۱/۵۹۷	۰/۲۶۵
	خطا	۸	۱/۰۰۷	۰/۱۲۶		

جدول ۲: مقادیر میانگین صفات مورفولوژیک در گونه لیلکی تحت تنش شوری است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار با استفاده از آزمون دانکن است.

فاکتورهای مورد اندازه گیری	شاهد	غلظت شوری (دسی زیمنس بر متر)		
		۴	۸	۱۲
قطر یقه (میلی متر)	۲/۱۸ ^a	۲/۲۷ ^a	۱/۹۴ ^a	۱/۸۹ ^a
ارتفاع اندام هوایی (سانتی متر)	۲۰/۴۶ ^a	۱۶/۵۷ ^a	۱۷/۰۳ ^a	۱۵/۲۶ ^a
طول ریشه (سانتی متر)	۳۲/۱۳ ^a	۲۲/۰۶ ^c	۲۸/۵۳ ^b	۲۳/۲۷ ^c
تعداد برگچه	۶۴ ^a	۳۵۵ ^b	۲۳۶ ^b	۳۰۴ ^b
زیتوده هوایی (گرم)	۱/۵۴ ^a	۰/۸ ^b	۰/۶ ^b	۰/۷۶ ^b
زیتوده زمینی (گرم)	۰/۸۹ ^a	۰/۶۱ ^a	۱/۱ ^a	۰/۵۳ ^a

به طور معنی داری بیشتر از شاهد (g- mol $1\mu fw$ / ۰/۰۲۱) بود. اثر تیمار شوری بر میزان کلروفیل a و کل در شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر معنی دار بود؛ به طوری که با افزایش غلظت نمک، میزان کلروفیل گیاه کاهش یافت. مقدار کلروفیل a و کلروفیل کل با افزایش شوری نسبت به شاهد کاهش یافت که بیشترین کاهش در غلظت ۱۲ دسی زیمنس بر متر (۱/۳ mg g-1 fw) مشاهده شد. همچنین مقدار کلروفیل b در غلظت ۸ دسی زیمنس بر متر نسبت به شاهد کاهش یافت؛ به طوری که مقدار آن به کمتر از نصف رسید. مقدار پتاسیم در برگ و ریشه نسبت به شاهد کاهش یافت، و مقدار آن در غلظت ۱۲ دسی زیمنس بر متر به نصف مقدار شاهد رسید. مقدار سدیم برگ و ریشه با افزایش شوری نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی داری نشان داد و این افزایش برای سدیم برگ در غلظت ۱۲ دسی زیمنس بر متر بیشتر از چهار برابر بود. با افزایش شوری، مقدار فسفر در ریشه و برگ کاهش یافت و مقدار آن در شاهد برابر با ۱۰۵۵ میلی گرم بر کیلوگرم و در شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر برابر با ۸۳۳ میلی گرم بر کیلوگرم اندازه گیری شد (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک نشان دادند اثر تنش شوری بر همه صفات بجز مالون دی آلدئید برگ و ریشه، کلروفیل b، کارتنوئید و پتاسیم برگ معنی دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین ها نشان دادند با افزایش غلظت شوری، مقدار پرولین در ریشه گیاه افزایش یافت؛ به طوری که در غلظت ۱۲ دسی زیمنس بر متر برابر با ۲۷ میلی گرم بر گرم وزن تر بود که این مقدار بیشتر از ۵ برابر شاهد بود. برخلاف ریشه، پرولین برگ ها در همه تیمارهای شوری به طور معنی داری نسبت به شاهد کاهش یافت؛ به طوری که مقدار آن در شاهد برابر با ۲۲ و در تیمار ۱۲ دسی زیمنس بر متر برابر با ۶ میلی گرم بر گرم وزن تر اندازه گیری شد (جدول ۴). اثر غلظت های مختلف شوری بر میزان قندهای محلول برگ معنی دار بود. مقدار قند به طور معنی داری نسبت به شاهد افزایش نشان داد؛ به طوری که مقدار قند در غلظت ۱۲ دسی زیمنس بر متر چهار برابر شاهد بود. تفاوت معنی داری در مقدار مالون دی آلدئید برگ بین تیمارهای شوری و شاهد مشاهده نشد، اما این ماده در ریشه در دو شوری ۸ و ۱۲ دسی زیمنس برابر با $1\mu fw$ g- mol / ۰/۰۵ بود که

جدول ۳: نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک در گونه لیلکی

P	F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییر	صفات
.	۳۴/۶۷	۱۳۲/۰۳۴	۳۹۶/۱۰۲	۳	غلظت شوری	پرولین برگ
		۳/۸۱	۳۰/۴۶۴	۸	خطا	
.	۹۳/۸۳	۳۱۶/۱۸۳	۹۴۸/۵۵	۳	غلظت شوری	پرولین ریشه
		۳/۳۷۰	۲۶/۹۶	۸	خطا	
۰/۱۹۹	۱/۹۶۰	.	۰/۰۰۱	۳	غلظت شوری	برگ MDA
		.	۰/۰۰۱	۸	خطا	
۰/۱۰۴	۲/۸۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۳	غلظت شوری	ریشه MDA
		.	۰/۰۰۱	۸	خطا	
۰/۰۰۱	۱۴/۷۳۰	۰/۶۳۲	۱/۸۹۵	۳	غلظت شوری	قند برگ
		۰/۰۴۳	۰/۳۴۳	۸	خطا	
۰/۰۱۱	۷/۲۹۶	۱۱۴/۱۹	۳۴۲/۵۷۰	۳	غلظت شوری	a کلروفیل
		۱۵/۶۵	۱۲۵/۲۱	۸	خطا	
۰/۰۷۳	۳/۴۲	۱۳/۵۶	۴۰/۶۸۶	۳	غلظت شوری	b کلروفیل
		۳/۹۷	۳۱/۷۳۸	۸	خطا	
۰/۷۹۷	۰/۳۴۰	۰/۵۷	۱/۷۱۳	۳	غلظت شوری	کارتنوئید
		۱/۶۸	۱۳/۴۳۸	۸	خطا	
۰/۰۱۹	۶/۰۱۱	۲۰۵/۹۵	۶۱۷/۸۵۷	۳	غلظت شوری	کلروفیل کل
		۳۴/۲۶۳	۲۷۴/۱۰۰	۸	خطا	
.	۷۸/۳۲	۵۹۹۴/۲	۱۷۹۸۲/۷	۳	غلظت شوری	سدیم برگ
		۷۶/۵۳	۶۱۲/۲۶	۸	خطا	
۰/۰۰۷	۸/۷۳	۷۸۶/۷۹	۲۳۶۰/۳۸	۳	غلظت شوری	سدیم ریشه
		۹۰/۰۷	۷۲۰/۵۹	۸	خطا	
۰/۰۷۷	۳/۳۳	۱۰۸۵/۰۶۹	۳۲۵۵/۲۱	۳	غلظت شوری	پتاسیم برگ
		۳۲۵/۵۲۱	۲۶۰۴/۱۶۷	۸	خطا	
۰/۰۴۵	۴/۲۵	۱۵۷۴/۳۳	۴۷۲۳	۳	غلظت شوری	پتاسیم ریشه
		۳۷۰/۴۱	۲۹۶۳/۳	۸	خطا	
۰/۰۱۲	۷/۰۷۴	۴۰۴۳۸/۸۸۹	۱۲۱۳۱۶/۶۷	۳	غلظت شوری	فسفر برگ
		۵۷۱۶/۶۷	۴۵۷۳۳/۳۳	۸	خطا	
۰/۰۲۰	۵/۹۱	۳۱۱۸۳/۳۷	۹۳۵۵۰/۱۲	۳	غلظت شوری	فسفر ریشه
		۵۲۷۶/۶۱	۴۲۲۱۲/۸۹۹	۸	خطا	

جدول ۴: مقادیر میانگین صفات فیزیولوژیک در گونه لیلکی تحت تنش شوری است. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار با استفاده از آزمون دانکن است.

غلظت شوری (دسی زیمنس بر متر)				فاکتورهای مورد اندازه گیری
۱۲	۸	۴	شاهد	
۶/۷ ^c	۱۷/۳ ^b	۱۷/۸ ^b	۲۲/۳۷ ^a	پرولین برگ (میلی گرم بر گرم وزن تر)
۲۷/۷ ^a	۹/۴ ^b	۸/۰۳ ^{bc}	۵/۰۱ ^c	پرولین ریشه (میلی گرم بر گرم وزن تر)
۱/۲۴ ^{ab}	۱/۳۸ ^a	۰/۸۶ ^b	۰/۳۵ ^c	قند برگ (میلی گرم بر گرم وزن خشک)
۰/۰۲۷ ^a	۰/۰۲۶ ^a	۰/۰۳۸ ^a	۰/۰۴۵ ^a	MDA برگ (میکرومول بر گرم وزن تر)
۰/۰۵ ^a	۰/۰۵ ^a	۰/۰۳ ^a	۰/۰۲ ^b	MDA ریشه (میکرومول بر گرم وزن تر)
۷/۳۱ ^b	۱۵ ^a	۱۷/۵۵ ^a	۲۲/۰۴ ^a	کلروفیل a (میلی گرم بر گرم وزن تر)
۵/۹ ^a	۳/۳۱ ^b	۶/۴۱ ^a	۸/۴۸ ^a	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر)
۸/۴ ^a	۸/۱۵ ^a	۷/۹۴ ^a	۷/۴ ^a	کارتونید (میلی گرم بر گرم وزن تر)
۱۰/۶ ^b	۲۴ ^a	۲۰/۹۰ ^{ab}	۳۰/۵ ^a	کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم وزن تر)
۴۱/۷ ^b	۵۲/۱ ^{ab}	۷۳ ^a	۸۳/۳۳ ^a	پتاسیم برگ (میلی گرم بر کیلوگرم)
۱۲۲ ^b	۱۴۴ ^{ab}	۱۴۴ ^{ab}	۱۷۸ ^a	پتاسیم ریشه (میلی گرم بر کیلوگرم)
۱۱۶ ^a	۹۶ ^b	۳۵ ^c	۲۵/۲۵ ^c	سدیم برگ (میلی گرم بر کیلوگرم)
۱۲۳ ^a	۱۱۸ ^a	۹۸ ^b	۸۸ ^b	سدیم ریشه (میلی گرم بر کیلوگرم)
۵۸۳ ^c	۶۴۱ ^{bc}	۸۴۵ ^{ab}	۷۵۰ ^b	فسفر برگ (میلی گرم بر کیلوگرم)
۸۳۳ ^b	۸۵۵ ^b	۹۵۵ ^{ab}	۱۰۵۵ ^a	فسفر ریشه (میلی گرم بر کیلوگرم)

بحث

تنش شوری در گیاهان القامی کند و در سازوکارهای بردباری به تنش دخالت دارد (Sudhakar et al., 1993). برخلاف ریشه، تنش شوری، مقدار پرولین برگ را به طور معنی داری کاهش داد. به نظر می رسد نقش اسمزی و آنتی اکسیدانی پرولین در ریشه انجام می شود. پژوهش ها نشان می دهند پرولین به صورت محافظ

افزایش شوری، مقدار پرولین ریشه را افزایش داد. این موضوع به وضوح نشان می دهد پرولین در ریشه، یکی از مهم ترین عوامل دستگاه دفاعی گیاه لیلکی در برابر شوری و بنابراین یکی از تنظیم کننده های اسمزی در ریشه گیاه است. تغییر محتوای پرولین از رایج ترین پاسخ هایی است که

غلظت شوری می‌تواند به دلیل افزایش فتوستتزی یا شکسته شدن قندهای بزرگ (نشاسته) به قندهای کوچک (گلوکز) باشد (Bohnert et al., 1999). نتایج این آزمایش نشان دادند با وجود کاهش مقدار کلروفیل، مقدار قندهای محلول برگ افزایش یافت؛ بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد افزایش قندهای محلول از تجزیه قندهای مرکب حاصل شده است؛ نه از متابولیسم فتوستتزی.

نتایج پرولین و قند به وضوح نشان دادند با افزایش شوری تا غلظت ۸ دسی زیمنس بر متر، گیاه لیلکی نیازی به تنظیم اسمزی با سنتز پرولین و قندهای محلول ندارد. احتمالاً تا شوری ۸ دسی زیمنس بر متر تنظیم اسمزی با کاهش حجم سلول، غلیظ کردن محلول داخل سیتوپلاسم با از دست دادن آب و ... انجام می‌شود؛ اما در شوری ۸ دسی زیمنس بر متر و بیشتر، تنظیم اسمزی با سنتز پرولین و قندهای محلول و احتمالاً دیگر اسمولیت‌ها انجام می‌شود. نتایج مشابه به دست آمده از آزمایش بر گیاه *G. triacanthos* نشان می‌دهند شوری ۱۴/۵ و ۷ دسی زیمنس بر متر، عملکرد عادی ریشه را بر هم می‌زند؛ در حالی که در شوری ۳/۶ دسی زیمنس بر متر، جذب سدیم، اندک و پاسخ گیاه به شوری، افزایش قندهای محلول و کاهش پتانسیل اسمزی است (Ke-Fu, et al 1992).

مقدار مالون‌دی‌آلدئید ریشه بر اثر شوری به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش نشان داد؛ در حالی که مقدار این ماده در برگ تغییر معنی‌داری نشان نداد. یکی از معیارهای بررسی واکنش گیاهان به تنش‌های محیطی از جمله شوری، تخریب غشاهای سلول و تولید مالون‌دی‌آلدئید ناشی از

آنزیمی پایدار کننده ساختمان درشت‌مولکول‌ها و منبع انرژی و نیتروژن در مقابل شوری به کار می‌رود (Chandler and Thorpe, 1987). پرولین با متابولیسم نیتروژن ساخته می‌شود. در گیاه نترات به نیتريت تبدیل می‌شود و نیتريت خود به آمونیاک تبدیل و سپس با گلوتامین و گلوتامات به آمینواسیدها تبدیل می‌شود (Barracough et al., 1989). این مسیر بسته به گونه ممکن است در ریشه‌ها یا برگ‌ها انجام شود. به نظر می‌رسد این فرایند در گونه لیلکی در ریشه انجام می‌شود؛ بنابراین ریشه در این گیاه ممکن است نقش مهم‌تری در برابر تنش شوری ایفا کند. بررسی تأثیر شوری بر گونه *G. caspica* انجام نشده است اما پژوهش‌های مشابه بر گونه دیگر این جنس (*G. triacanthos*) نتایج مشابه را نشان می‌دهد. شوری باعث افزایش آمینواسید ریشه شد. شوری همچنین باعث کاهش تنفس، افزایش آسکوربیک اسید در ریشه و ساقه نیز شد (Ke-Fu, et al 1992).

برخلاف پرولین، افزایش مقدار شوری افزایش معنی‌دار قندهای محلول برگ را باعث شد. بعضی از گیاهان ممکن است تنها پرولین یا قندهای محلول را در برابر تنش در خود تجمع دهند. این نتایج نشان دادند برگ گیاه لیلکی از اسمولیت سازگار پرولین استفاده نمی‌کند. افزایش قند در غلظت‌های ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر نشان می‌دهد یکی از عوامل تنظیم‌کننده پتانسیل اسمزی در برگ گیاه، قندهای محلول هستند. افزایش قندهای محلول در سلول‌های گیاهی، کاهش پتانسیل اسمزی و متعاقباً پتانسیل آبی را سبب می‌شود و جذب آب را به سلول‌ها آسان می‌کند. افزایش قندهای محلول در پی افزایش

اثر متقابل، به گونه یا رقم گیاه، مرحله نمو گیاه و ترکیب و غلظت شوری و فسفر در محیط رشد بستگی دارد؛ بنابراین باتوجه به نوع گیاه و شرایط آزمایش، می توان نتایج متفاوتی انتظار داشت (Grattan and Grieve, 1999). افزایش جذب فسفر در برگ گیاه در تنش شوری، افزایش پایداری گیاه را در برابر تنش باعث می شود (Uygun., 2006). به طور کلی شوری، غلظت فسفر را در بافت های گیاهی کاهش می دهد. Oraei و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی تأثیر تنش شوری بر درخت بادام، کاهش فسفر را بر اثر افزایش غلظت نمک گزارش کردند. کاهش فسفر می تواند به رقابت بین فسفر و کلرید برای جذب شدن از ریشه گیاه مربوط باشد.

نتایج نشان دادند با افزایش شوری مقدار سدیم در برگ و ریشه افزایش یافت؛ در حالی که مقدار پتاسیم برگ و ریشه به طور معنی داری کاهش یافت. نتایج مشابه در گیاه *G. triacanthos* نشان دادند شوری زیاد، مقدار سدیم ریشه را به مقدار زیاد افزایش داد و سپس به ساقه انتقال داد (Ke-Fu, et al 1992). مهم ترین اثر افزایش شوری بر محیط، افزایش غلظت سدیم در گیاه است. سدیم عنصری ضروری برای گیاه در نظر گرفته نمی شود و تجمع آن کاهش جذب پتاسیم و کاهش رشد و عملکرد را در گیاهان موجب می شود. غلظت سدیم در برگ ممکن است برای حفظ تورژسانس گیاه مفید باشد؛ ولی سدیم نمی تواند جانشین مناسبی برای پتاسیم به شمار رود؛ زیرا پتاسیم به طور اختصاصی برای سنتز پروتئین و فعالیت آنزیم ها ضروری است (Heidary-sharifabad and Mrzaie-Nodushan,

تخریب غشاهای سلولی است (Munns, 2002). بررسی های مشابه بر *Gleditschia sinensis* نیز نشان دادند شوری مقدار مالون دی آلدئید را افزایش داد (Zhen-qun, et al. 2007).

نتایج نشان دادند شوری، کاهش کمی همه صفات مورفولوژیک را باعث شد که در این میان تفاوت در طول ریشه، زیتوده هوایی و تعداد برگچه ها نسبت به شاهد معنی دار بود. دلیل آن می تواند مربوط به تأثیر شوری بر کاهش کلروفیل a و کلروفیل کل، اختلال در سیستم فتوسنتز گیاه و کاهش جذب عناصر مهمی مانند پتاسیم و فسفر باشد که کاهش رشد لیلکی را باعث می شوند. تنش شوری با روش های گوناگونی کاهش رشد گیاهان را سبب می شود؛ هر چند سهم هر کدام از این عوامل به درستی مشخص نیست. کاهش رشد ممکن است به دلیل کاهش تقسیم سلولی، نبود تعادل یونی، کاهش جذب آب، اختلال در جذب عناصر، آثار یون های سمی به ویژه سدیم، اختلال در جذب احیاء و متابولیسم ازت و پروتئین، بسته شدن جزئی یا کلی روزنه ها و کاهش کارایی فتوسنتز باشد (Grattan and Grieve, 1999). Abdollahi و همکاران (۲۰۱۱) نیز در پژوهشی با بررسی مقاومت به شوری چهار گونه درختی در پنج غلظت شوری صفر، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی مولار نیز کاهش وزن ساقه و ریشه چهار گونه درختی را در تیمارهای شوری گزارش کرده اند.

میزان فسفر در برگ لیلکی با افزایش شوری ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. همچنین مقدار فسفر در ریشه به طور معنی داری کاهش یافت. اثر متقابل شوری و فسفر در گیاهان پیچیده است. این

ساخت کلروفیل باشد. کاهش محتوای کلروفیل در شرایط تنش ممکن است به واسطه اثر کلروفیلاز، پراکسیداز، ترکیبات فنلی و در نتیجه تجزیه کلروفیل باشد (Oraei *et al.*, 2009)؛ بنابراین کاهش کلروفیل در این گیاه می‌تواند به علت کاهش جذب پتاسیم بر اثر تنش شوری باشد. Zamani و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی اثر شوری بر دو گونه کاج الدار و سروناز نشان دادند افزایش شوری، محتوای کلروفیل سرو را به‌طور معنی‌داری کاهش داد؛ ولی تأثیر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل کاج الدار نداشت. همچنین در گیاه ذرت، افزایش شوری، میزان کلروفیل برگ را کاهش داد (Kaya *et al.*, 2013).

نتایج این آزمایش نشان دادند برگ و ریشه گیاه لیلکی واکنش متفاوتی نسبت به شوری داشتند. ریشه بیشتر با افزایش پرولین و برگ احتمالاً با تجمع سدیم در واکنش‌ها به شوری پاسخ می‌دهند. در ضمن، افزایش مقدار مالون‌دی‌آلدئید ریشه نسبت به برگ نشان می‌دهد شوری بر ریشه تأثیر منفی بیشتری دارد.

سپاسگزاری

در اینجا مراتب سپاسگزاری خود را از دانشگاه یزد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی و مسئولان آزمایشگاه‌های خاک‌شناسی و گیاه‌شناسی اعلام می‌کنیم.

References

Abdollahi, P., Soltani, A. and Beigi Harchegani, H. (2011) Evaluation of salinity tolerance in four suitable tree species in urban forestry. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 19: 265-282 (in Persian).

(2006). در بیشتر پژوهش‌ها گزارش شده است غلظت سدیم، تولید ماده خشک و مقدار پتاسیم را کاهش داده است. بین مقاومت به شوری و غلظت پتاسیم در گیاهان رابطه مثبت وجود دارد و بین میزان مقاومت به شوری و سدیم رابطه منفی وجود دارد؛ به‌طوری‌که در شرایط شوری، افزایش سدیم و کاهش پتاسیم، میزان مقاومت گیاهان، رشد و عملکرد آنها را کاهش می‌دهد؛ البته این موضوع برای همه گیاهان صادق نیست؛ برای نمونه جو سدیم بیشتری نسبت به گندم جذب می‌کند؛ ولی تحمل به شوری آن از گندم بیشتر است. در گیاه لیلکی مقدار سدیم برگ به مراتب بیشتر از ریشه است؛ به عبارت دیگر، انتقال سدیم از ریشه به برگ‌ها انجام می‌شود. از یک سو واکنش برگ‌ها به افزایش سدیم با افزایش پرولین نیست؛ از سوی دیگر، سدیم تخریب سلول‌های برگ را باعث نشده است؛ زیرا مقدار مالون‌دی‌آلدئید برگ افزایش نیافته است. این موضوع نشان می‌دهد برگ‌ها واکنش متفاوتی به افزایش سدیم نشان می‌دهند. این واکنش احتمالاً به انتقال سدیم به واکنش‌های سلول‌های برگ مرتبط است؛ برای نمونه، سازوکار تحمل به شوری در جو و گندم، ذخیره سدیم در واکنش‌های برگ ارزیابی شده است (Mass, 1987). Weisany و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی گیاه سویا به این نتیجه رسیدند در تنش شوری، غلظت پتاسیم و کلر در ساقه به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد؛ در حالی که غلظت سدیم برگ افزایش یافت.

میزان کلروفیل a و کل با افزایش میزان شوری کاهش یافت. کاهش کلروفیل می‌تواند به علت کمبود جذب عناصر اصلی منیزیم و پتاسیم در

- Barker, D. J., Sullivan, C. Y. and Moser, L. E. (1993) Water deficit effect on osmotic potential, cell wall elasticity and proline in five forage grasses. *Agronomy Journal* 85: 270-275.
- Barracough, P. B., Kuhlmann, H. and Weir, A. H. (1980) The effects of prolonged drought and nitrogen fertilizer on root and shoot growth and water uptake by winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science* 163: 352-360.
- Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil* 39: 205-207.
- Bohnert, H. J., Nelson, D. E. and Jensen, R. G. (1999) Adaptation to environmental stresses. *The Plant Cell* 7: 1099-1111.
- Brouwer, R. (1962) Distribution of dry matter in the plant. *Netherland Journal of Agriculture Science* 10: 399-408.
- Chandler, S. F. and Thorpe, T. (1987) A characterization of growth water relations and proline accumulation in sodium sulfate tolerant callus of *Brassica napus* L. cv wester (canola). *Plant Physiology* 84: 106-111.
- De Lacerda, C. F., Cambraia, J., Oliva, M. A. and Ruiz, H. A. (2005) Changes in growth and in solute concentrations in sorghum leaves and roots during salt stress recovery. *Environmental and Experimental Botany* 54: 69-76.
- Grattan, S. R. and Grieve, C. M. (1999) Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. *Handbook of plant and crop stress*. 2nd edition, Marcel Dekker, Inc., New York.
- Heath, R. L. and Packer, L. (1968) Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archive of Biochemistry and Biophysics* 125: 189-198.
- Heidari-Sharifabad, H. (2001) Plant aridity and drought. *Research Institute of Forests and Rangelands Publication, Tehran* (in Persian).
- Heidary-sharifabad, H. and Mrzaie-Nodushan, H. (2006) Salinity-induced growth and some metabolic changes in three *Salsola* species. *Journal of Arid Environment* 67: 715-720 (in Persian).
- Jones, J. (2001) *Laboratory guide for conducting soil test and plant analysis*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Kaya, C., Ashraf, M., Dikilitas, M. and Tuna, A. (2013) Alleviation of salt stress-induced adverse effects on maize plants by exogenous application of indoleacetic acid (IAA) and inorganic nutrients - A field trial. *Australian Journal of Crop Science* 7: 249-256.
- Ke-Fu, Zh., Littlewood, A. and Harris, P. J. C. (1992) Responses of *Gleditsia triacanthos* seedlings to salt stress. *International Tree Crops Journal* 7: 149-153.
- Kochert, G. (1978) Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. In: *Hand book of physiological method* (Eds. Helebus, J. A. and Craig, J. S.) 56-97. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: pigments photosynthetic membranes. *Methods in Enzymology* 148: 350-382.
- Tanji, K. K. (1990) *Agricultural salinity assessment and management*, Vol. 71, American society of Civil Engineers (ASCE), Dey 11, 1368 AP - Technology and Engineering.
- Mozaffarian, V. (2005) *Trees and shrubs of Iran*. Farhang Moaser Publisher, Tehran (in Persian).
- Munns, R. (2002) Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* 25: 239-250.
- Niakan, M. and Ghorbanli, M. (2007) The effect of drought stress on growth, photosynthetic factors, content of proline, Na and K in shoot and root two soybean cultivar. *Rostaniha* 8(1): 17-29

- (in Persian).
- The effect of drought stress on growth parameters, photosynthetic factors, content of protein, Na and K in shoot and root in two Soybean cultivars. *Iranian. Biol. J.* 8(1): 17-33.
- Oraei, M., Tabatabaei, S. J., Fallahi, E. and Imani, A. (2009) The effects of salinity stress and rootstock on the growth, photosynthetic rate, nutrient and sodium concentrations of almond. *Journal of Horticulture Science and Biotechnology* 23: 131-140 (in Persian).
- Schachtman, D. P., Munns, R. and Whitecross, M. I. (1991) Variation in sodium exclusion and salt tolerance in *Triticum tauschii*. *Crop Science* 31: 992-997.
- Sudhakar, C., Reddy, P. S. and Veeranjanyulu, K. (1993) Effect of salt stress on enzymes of proline synthesis and oxidation in green gram (*Phaseolus aureus*) seedlings. *Journal of Plant Physiology* 141: 621-623.
- Uygun, A. (2006) Specific nutrient removal rates in saline wastewater treatment using sequencing batch reactor. *Proceeding Biology* 41(1): 61-66.
- Waling, I., Vark, W. V., Houba, V. J. G. and Vanderlee, J. J. (1989) Soil and plant analysis, a series of syllabi. Part 7. *Plant Analysis Procedures*. Wageningen Agriculture University, Wageningen.
- Wang, S., Wan, Ch., Wang, Y., Chen, H., Zhou, Z., Fu, H. and Sosebee, R. E. (2004) The characteristics of Na⁺, K⁺ and free proline distribution in several drought-resistant plants of the Alexa Desert, China. *Journal of Arid Environments* 56: 525-539.
- Weisany, W., Sohrabi, Y., Ahmadi, H. and Abasi, H. (2013) The effect of salinity stress and the application of zinc on the chlorophyll content, soluble proteins, growth, yield and the mineral nutrients of soybean (*Glycine max* L.). *Plant and Ecosystem* 34: 75-96 (in Persian).
- Zamani, M. (2011) The effects of salinity stress on physiological characteristics of *Pinus eldarica* and *Cupressus sempervirens*. MSc thesis, Yazd University, Yazd, Iran (in Persian).
- Zhen-qun, Y., Ming-gao, S., Hai-xia, W., Yan-Ju, K. and Hong-Ling, K. (2007) Effects of salt and drought intercross stresses on activity of cell defense enzyme in leaves. *South University of Forestry Technology* 3: 82-91.