جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 6, Jan-Feb 2011, p. 1210-1223

نشریه آب و خاک
جلد 24، شماره 6، بهمن - اسفند 1389، ص. 1223-1210

تأثیر شوری و مس بر برخی شاخص‌های فیزیولوژی و آناتومی دو رقم پسته در شرایط گلخانه

سمانه اسکندری[1]- وحید مظفری[2*]- احمد تاج‌آبادی‌پور[3]

تاریخ دریافت:89/2/8
تاریخ پذیرش:89/7/11

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف مس و شوری بر خصوصیات فتوسنتزی، فعالیت آنزیمی و بافت آوندی نهال‌های دو رقم پسته، یک آزمایش فاکتوریل با سه فاکتور، شوری در پنج سطح (۰، 800، 1600، 2400 و 3200 میلی گرم در کیلوگرم خاک از منبع کلرید سدیم)، مس در چهار سطح (۰، 2/5، 5 و 7/5 میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک از منبع سولفات مس) و دو رقم پسته (بادامی زرند و قزوینی)، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه اجرا شد. نتایج نشان داد، کاربرد 3200 میلی گرم کلرید سدیم در کیلوگرم خاک موجب کاهش میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای به ترتیب به میزان 69 و 16 درصد نسبت به شاهد گردید، درحالی‌که بر میزان فتوسنتز تأثیر معنی‌داری نداشت. هم‌چنین کاربرد 5 میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک حداکثر میزان فتوسنتز را به‌دنبال داشت. باآنکه میزان فتوسنتز در رقم قزوینی بیشتر از رقم بادامی بود، ولی میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای در رقم بادامی به‌طورمعنی‌داری بیشتر از رقم قزوینی گردید. در تمام سطح شوری، فعالیت آنزیم سوپراکسیددسموتاز با افزایش عنصر مس، افزایش معنی داری حاصل کرد. افزایش شوری باعث کاهش ضخامت پارانشیم پوست، حلقه آوند آبکش و تعداد کانال‌های رزینی ساقه و ریشه گردید، در حالی‌که ضخامت مغز ساقه را افزایش داد. مصرف مس در شرایط شور باعث کاهش ضخامت لایه آوند چوب و افزایش ضخامت لایه آوند آبکش ساقه شد.

واژه‌های کلیدی: شوری، پسته، مس، فتوسنتز

مقدمه

طبیعت مواد مادری خاک‌ها از یک طرف و بارندگی کم از طرف دیگر سبب شده تا خاک‌های مناطق وسیعی از کشور، آهکی و مبتلا به تنش شوری باشند. خصوصیات فیزیکوشیمیایی این خاک‌ها به‌گونه‌ای است که ظرفیت بالایی برای تثبیت عناصر غذایی و کاهش قابلیت جذب آنها توسط گیاه دارد.

پسته (*Pistacia vera* L.) گیاهی نیمه‌گرمسیری از خانواده Anacardiaceae و از عمده‌ترین محصولات صادراتی غیرنفتی می‌باشد (5) که عمدتاً در خاکهای آهکی و متأثر از نمک کشت شده است. در این خاک‌ها، مخصوصاً منطقه رفسنجان به عنوان قطب اصلی کشت پسته در ایران، به دلیل بالا بودن pH و مقدار قابل‌توجه مواد خنثی شونده، شور بودن خاک و آب آبیاری، جذب عناصر کم‌مصرف با مشکل جدی مواجه بوده و در نتیجه درختان پسته با کمبود عناصر کم‌مصرف مخصوصاً روی و مس مواجه هستند (2، 3 و 4).

مس از جمله عناصر ضروری و کم مصرف برای رشد و توسعه گیاهان بوده و در فتوسنتز، تنفس میتوکندری، پاسخ به تنش‌های اکسیداتیو و متابولیسم دیواره سلول شرکت می‌کند (27 و 38). در شرایط تنش، عدم توازن بین فرآیند جذب انرژی و مصرف آن توسط اندام فتوسنتزی باعث تولید انواع اکسیژن فعال (ROS) می‌گردد (15). سمیت زدایی ROS تولید شده در این شرایط برای کاهش اثرات آن بر پراکسیداسیون چربی غشا و جلوگیری از فعالیت آنزیم‌ها و آسیب به اسیدهای نوکلئیک اهمیت دارد (29). به نظر می‌رسد تحمل به شوری از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی با واکنش سم زدایی گونه‌های اکسیژن (ROS) ارتباط داشته باشد. مشخص شده است که مقادیر بالاتر آنتی‌اکسیدان و فعالیت‌های آنزیم‌های جمع‌آوری کننده ROS با تنش اکسیداتیوی ایجاد شده توسط نمک رابطه دارد. این امر به عنوان خصوصیت ارقام مقاوم مشخص شده

1،2و3- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادیاران گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان
(*- نویسنده مسئول: Email: vmozafary@yahoo.com)

جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

است. مهم‌ترین سیستم‌های جمع آوری کننده ROS گیاهان، سوپراکسیددسموتاز (SOD) و کاتالاز هستند (29). مس به‌عنوان کوفاکتور در برخی آنزیم‌ها مانند سوپراکسید دسموتاز مس- روی (SOD)، عمل می‌کند (46). سوپراکسیددسموتاز در تمام موجودات زنده هوازی و بخش‌های درون سلولی حساس به تنش اکسیداتیو وجود دارد (17). مقدار SOD تولید شده تحت تنش شوری بسته به شدت و مدت تنش، گونه یا ژنوتیپ، شرایط رشد و سن گیاه تغییر می‌کند (43).

با توجه به نقش مس در گیاه و مشکل شوری در خاک‌های تحت کشت پسته، اهداف اصلی این مطالعه، بررسی تأثیر شوری و مس بر برخی خصوصیات فیزیولوژی و آناتومی دو رقم پسته (بادامی ریز زرند و قزوینی) و ارزیابی عنصر مس در فرایندهای گیاه پسته و تأثیر آن بر کاهش اثرات منفی تنش شوری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در ابتدا خاک کافی (Coarse Loamy, Mixed, Semi Active, Calcareous, Thermic, Typic Torrifluvents) (7) از عمق 30-0 سانتی متری از 30 کیلومتری شهرستان سیرجان در استان کرمان که از نظر شوری و مس قابل استفاده در حد پایینی بود، تهیه و پس از هوا خشک کردن و عبور از الک 2 میلی‌متری بعضی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن از جمله pH در خمیراشباع به‌وسیله الکترود شیشه‌ای (40)، شوری یا قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع با استفاده از دستگاه EC متر، بافت به روش هیدرومتر (16)، درصد کربن آلی (20)، کربنات کلسیم معادل به‌روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک (40)، فسفر قابل استفاده (31)، غلظت مس، روی، آهن و منگنز قابل استفاده (24) و غلظت پتاسیم عصاره گیری شده با استات آمونیم (40) تعیین گردید (جدول 1).

بذرهای پسته (رقم بادامی زرند و قزوینی) از مؤسسه تحقیقات پسته کشور تهیه و پس از جداسازی پوست سخت بر علیه قارچ، ضد عفونی و جهت جوانه زدن برای کاشت به مدت چند روز میان پارچه‌های متقال مرطوب در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار داده شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولیعصر رفسنجان صورت گرفت. فاکتور مس شامل چهار سطح ۰، 2/5 ، 5 و 7/5 میلی گرم مس در کیلوگرم خاک از منبع سولفات مس، و فاکتور شوری شامل پنج سطح ۰ ، 800 ، 1600 ، 2400 و 3200 میلی گرم در کیلوگرم خاک از منبع کلرید سدیم بودند. مقدار پنج کیلوگرم خاک مورد نظر داخل پاکت‌های پلاستیکی ریخته و بر اساس نتایج آزمون خاک، عناصر غذایی نیتروژن از منبع اوره و فسفر و پتاسیم از منبع فسفات پتاسیم ($K_3PO_4.3H_2O$) هر یک به‌میزان 50 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، به‌صورت محلول به خاک اضافه شد. هم‌چنین طبق نقشه طرح، سطوح مختلف مس به‌صورت محلول از منبع سولفات مس ($CuSO_4.2H_2O$)، به خاک داخل پاکت‌ها اضافه گردید. پس از رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت مزرعه، خاک موجود در هر کیسه به خوبی مخلوط شد تا در تمام قسمت‌ها یکنواخت گردد. جهت کشت، 120 گلدان به قطر 16 و ارتفاع 20 سانتی‌متر تهیه و خاک داخل پاکت‌ها به گلدان‌های پلاستیکی مربوطه به هر تیمار منتقل گردید. در هر گلدان تعداد 8 بذر جوانه زده در عمق 3 سانتی‌متری کشت گردید. آبیاری گلدان‌ها تا پایان آزمایش بوسیله آب مقطر تا رسیدن به ظرفیت مزرعه همراه با توزین مرتب آن‌ها صورت گرفت. تیمارهای شوری طبق نقشه طرح به‌صورت محلول درآمده و به 3 قسمت مساوی تقسیم شد و پس از استقرار کامل نهال‌ها (هفته پنجم پس از کشت) به فواصل زمانی یک هفته به‌صورت محلول همراه با آب آبیاری به گلدان‌ها اضافه گردید. سپس در هفته دهم، تعداد نهال‌ها به 5 بوته در هر گلدان تقلیل داده شد. در هفته بیست و دوم پس از کاشت، میزان فتوسنتز و تعرق نهال‌ها توسط دستگاه infrared gas analyser مدل ADC, LCA-4 اندازه‌گیری گردید. هم‌چنین برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسیددسموتاز، در هنگام برداشت (هفته بیست و چهارم پس از کاشت)، حدود 0/5 گرم از نمونه برگ (برگ‌های سوم و چهارم) نهال‌های تحت تیمار درون فویل آلومینیومی پیچیده و درون ازت مایع در دمای 180- درجه سلسیوس منجمد و تا زمان اندازه‌گیری فعالیت آنزیم در فریزر (دمای 80- درجه سانتیگراد) نگه‌داری شد. جهت تهیه عصاره آنزیمی برای تعیین فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز از روش سایرام و همکاران (42) استفاده گردید.

به‌منظور تعیین وضعیت آناتومیکی گیاه، هنگام برداشت از ساقه و ریشه نهال‌های پسته، قطعاتی به طول 2 سانتی‌متر (از 3 سانتی‌متری محل طوقه) تهیه و در محلول FAA فیکس گردید (19) و سپس جهت تهیه برش از نمونه های ساقه و ریشه از روش میکروتوم (Rotary Microtome, Reichert-June2030,Germany) استفاده شد. اما به‌دلیل ضخامت زیاد و خشبی بودن ساقه‌های پسته برش‌های مناسبی به‌دست نیامد و در نتیجه از روش دستی (6 و 8) استفاده گردید. در نهایت برش‌های تهیه شده توسط سافرانین و فاست گرین رنگ آمیزی و نمونه‌های ریشه و ساقه به صورت جداگانه روی لام قرار گرفتند و ضخامت پوست، مغز و دستجات آوندی با استفاده از میکروسکوپ نوری مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده در آزمایش با استفاده از نرم افزار MSTATC انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز به‌طریق آزمون دانکن انجام گرفت. در نهایت با استفاده از نرم‌افزارهای EXCEL و WORD نسبت به رسم نمودارها، جدول‌ها و نمایش اطلاعات اقدام گردید.

جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

نتایج و بحث

الف) خصوصیات فتوسنتزی

جدول 2 نتایج تجزیه واریانس مربوط به تأثیر تیمارهای شوری و مس بر سرعت فتوسنتز را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است، تأثیر تیمار شوری بر سرعت فتوسنتز معنی‌دار نبود، اما اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف مس وجود داشت و برهم‌کنش آنها نیز معنی‌دار گردید.

این نتایج نشان داد که واکنش فتوسنتزی پسته به شوری، مشابه گیاهان مقاوم به شوری است، زیرا میزان فتوسنتز گیاهان تحت تأثیر 3200 میلی‌گرم کلرید سدیم در کیلوگرم خاک مشابه و یا کمی پایینتر از نهال‌های شاهد بود، به گونه‌ای که چنین روندی در هیچ یک از گیاهان درختی نظیر مرکبات و انگور که فتوسنتز آنها در شوری‌های مختلف اندزه‌گیری شده، مشاهده نشده است (10). با افزایش عنصر مس، سرعت فتوسنتز نسبت به شاهد افزایش یا کاهش معنی‌داری حاصل نکرد (جدول 3)، لیکن اختلاف تیمارهای 2/5 و 7/5 با 5 میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک از نظر آماری معنی‌دار گردید. به‌طوری‌که کاربرد 5 میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک، باعث افزایش معنی‌دار سرعت فتوسنتز نسبت به سطوح پایین و بالای مس (2/5 و 7/5 میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک) گردید. نتایج مطالعه اولزسکا و همکاران (32) بر روی تلخه چندساله (*Lolium perenne* L.) و چمن باغی (*Dactylis glo merata* L.) نشان داد که کمبود مس به‌طورمعنی‌داری میزان فتوسنتز، میزان تعرق و غلظت کلروفیل در برگ‌ها و عملکرد گیاهان کشت شده را کاهش داد. بنابراین حضور مقادیر مناسب مس در خاک، حداکثر سرعت فتوسنتز را به دنبال دارد. به احتمال زیاد در حضور مقادیر بالای مس در خاک، میزان کلروفیل برگ کاهش یافته و یا تخریب آن افزایش می‌یابد و این امر به‌صورت کاهش فعالیت فتوسنتزی بروز می‌یابد. نتایج مطالعات آل- وایبی (13)، بارن و همکاران (14) و روئلا (46) نیز این یافته‌ها را تأیید می‌کند.

جدول1- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

ECe dSm^{-1}	pH	CCE	FC	O.M	Cu	P	K	بافت	سیلت	شن	رس
		٪			$mgkg^{-1}$				٪		
1	7/5	27	18	0/5	0/4	5/35	100	لوم شنی	23/1	71/4	5/5

جدول 2- نتایج تجزیه واریانس اثرات مختلف شوری و عنصر غذایی مس برخصوصیات فتوسنتزی و فعالیت آنزیم سوپراکسیددسموتاز در نهال‌های دو رقم پسته

صفات		میانگین مربعات			
منبع تغییرات	درجه آزادی	سرعت فتوسنتز	سرعت تعرق	هدایت روزنه‌ای	فعالیت آنزیم سوپراکسیددسموتاز
شوری	4	0/134 ns	11/077**	0/144**	0/387**
مس	3	0/371*	0/210ns	0/002 ns	0/668**
شوری×مس	12	0/304**	0/202 ns	0/003 ns	0/097**
رقم	1	0/594*	2/602**	0/040**	0/309**
شوری×رقم	4	0/032 ns	1/112**	0/019**	0/192**
مس×رقم	3	0/264 ns	0/729**	0/008**	0/006 ns
مس×شوری×رقم	12	0/092 ns	0/076 ns	0/001 ns	0/003 ns
خطا	80	0/119	0/164	0/002	0/013
ضریب تغییرات		25/13	29/96	4/03	14/79

* و ** به ترتیب در سطح 0/05 و 0/01 معنی‌دار می‌باشد.

ns در سطح 0/05 معنی‌دار نیست.

جدول 3- تأثیر سطوح مختلف شوری و عنصر غذایی مس بر سرعت فتوسنتز (میکرومول دی‌اکسیدکربن بر مترمربع در ثانیه)

سطوح شوری (میلی‌گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک)	سطوح مس (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)				میانگین
	0	2/5	5	7/5	
	سرعت فتوسنتز ($\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$)				
0	1/778[a]	1/418[a-e]	1/281 [b-e]	1/178[de]	1/414
800	1/225 [cde]	1/000[e]	1/731[ab]	1/407 [a-e]	1/341
1600	1/229 [cde]	1/414 [a-e]	1/396 [a-e]	1/416 [a-e]	1/364
2400	1/460 [a-e]	1/557 [a-d]	1/561 [a-d]	1/279 [b-e]	1/464
3200	1/125 [de]	1/113 [de]	1/675 [abc]	1/153 [de]	1/267
میانگین	1/364 AB	1/300 B	1/529 A	1/287 B	

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح 0/05 آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

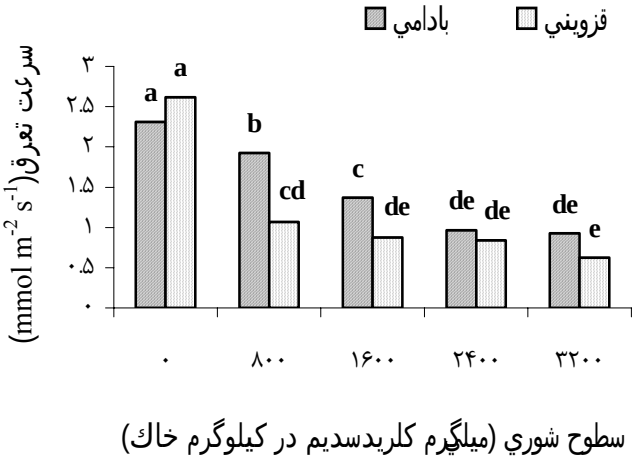
در همین رابطه نتایج غلظت مس در برگ و ریشه هر دو رقم پسته نشان داد که درسطح 7/5 میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک، غلظت مس حدود 30 درصد نسبت به سطح 5 میلی گرم افزایش حاصل کرد در حالی که در ریشه این چنین افزایشی دیده نشد. آل-وایبی (13)، نشان داد که غلظت‌های کمتر برخی فلزات سنگین (مس و روی) انهدام کلروفیل را به تأخیر می‌اندازند در حالی‌که غلظت‌های بالاتر این یون‌ها تخریب کلروفیل را می‌افزایند.

نتایج مربوط به تأثیر رقم بر سرعت فتوسنتز نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین دو رقم مورد استفاده بود، به‌طوری‌که سرعت فتوسنتز در رقم قزوینی 1/44 و در رقم بادامی 1/29 میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه بود که نشان می‌دهد سرعت فتوسنتز در رقم قزوینی 11 درصد بیشتر از رقم بادامی است.

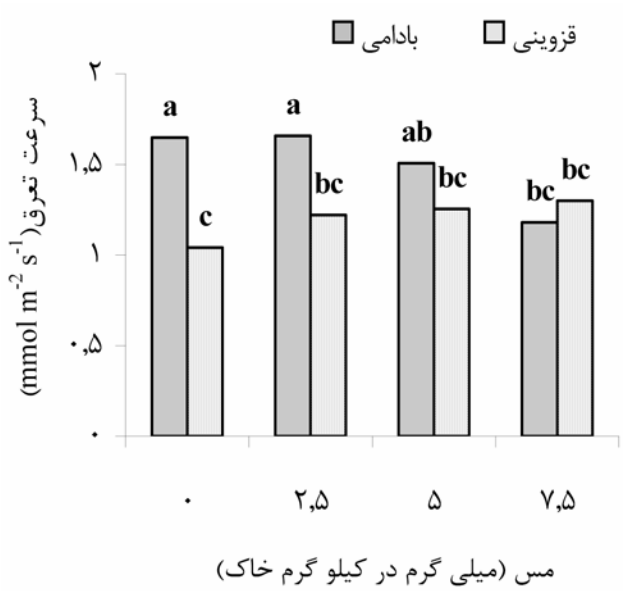
نتایج مقایسه میانگین‌ها مربوط به برهم‌کنش شوری و مس بر سرعت فتوسنتز در جدول 3 نشان داده شده است. همان‌طورکه ملاحظه می‌گردد، در شرایطی که عنصر مس مصرف نشد، با افزایش شوری از صفر به 3200 میلی‌گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک، سرعت فتوسنتز به‌طورمعنی‌داری کاهش یافت. لیکن با کاربرد 2/5، 5 و 7/5 میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک و با افزایش همان میزان شوری ، کاهش معنی‌داری در سرعت فتوسنتز مشاهده نشد. به عبارت دیگر، افزایش مس توانست جلوی کاهش سرعت فتوسنتز ناشی از افزایش شوری را بگیرد. میانگین مربعات مربوط به تأثیر تیمارهای شوری و مس بر سرعت تعرق در جدول 2 آمده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، تأثیر شوری بر تغییرات تعرق معنی‌دار می‌باشد، درحالی‌که تأثیر سطوح مختلف مس و اثرات متقابل آنها معنی‌دار نگردید. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که با افزایش شوری، سرعت تعرق به‌طورمعنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری‌که با افزایش شوری از صفر به800، 1600 و 3200 میلی‌گرم کلرید سدیم در کیلوگرم خاک، سرعت تعرق به‌ترتیب 39، 55 و 69 درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. احتمالاً با افزایش میزان شوری، گیاه واکنش نشان داده و جهت کاهش اثرات ثانویه این تنش، اقدام به بستن روزنه‌ها و کاهش خروج آب از گیاه می‌نماید. مظفری (10) در تحقیقی نشان داد که با افزایش شوری، میزان تعرق نهال‌های پسته کاهش معنی داری حاصل کرد. این یافته‌ها با نتایج ثابت تیموری (1) روی گونه‌های مختلف کنجد نیز هم‌خوانی دارد. اوسموند و همکاران (33)، نشان دادند که گیاهان C_3 و C_4 کارایی مصرف آب خود را از طریق پایین آوردن هدایت روزنه‌ای در پاسخ به نمک افزایش می‌دهند و در نتیجه تعرق کاهش می‌یابد.

در ارتباط با تأثیر رقم مورد استفاده بر سرعت تعرق، نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که سرعت تعرق رقم بادامی به‌طورمعنی‌داری و به‌میزان 25 درصد بیشتر از رقم قزوینی بود. رنجبر و همکاران (37) طی مطالعه‌ای خصوصیات اکوفیزیولوژیکی (فتوسنتز خالص، سرعت تعرق، فلورسنس کلروفیل، میزان آب و محتوی کلروفیل) را در دو رقم پسته (خینجوک و بنه) مطالعه کردند تا مقاومت به شوری را در بین دو گونه بررسی کنند. نتایج این تحقیق نشان داد که اضافه شدن نمک در محلول غذایی، فتوسنتز خالص و سرعت تعرق را کاهش داد و این اثرات در رقم خینجوک شدیدتر از بنه بود. نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به برهم‌کنش شوری و رقم مورداستفاده بر سرعت تعرق در شکل 1 نشان داده شده است. همان‌طورکه ملاحظه می‌گردد، در شوری‌های کم تا متوسط (800 تا1600 میلی‌گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک)، سرعت تعرق در رقم بادامی به‌طورمعنی‌داری بیشتر از رقم قزوینی بود، اما با افزایش بیشتر شوری، سرعت تعرق دو رقم یکسان گردید.

روند تغییرات سرعت تعرق تحت تأثیر برهم‌کنش مس و رقم (شکل 2) نشان داد، در شرایط عدم کاربرد و یا کاربرد اندک مس در خاک (2/5 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، سرعت تعرق در رقم بادامی نسبت به رقم قزوینی به‌طورمعنی‌داری بالاتر بود، اما در مقادیر بالاتر مس، سرعت تعرق دو رقم مشابه هم گردید.



شکل 1- اثر سطوح مختلف شوری و رقم مورد استفاده بر سرعت تعرق

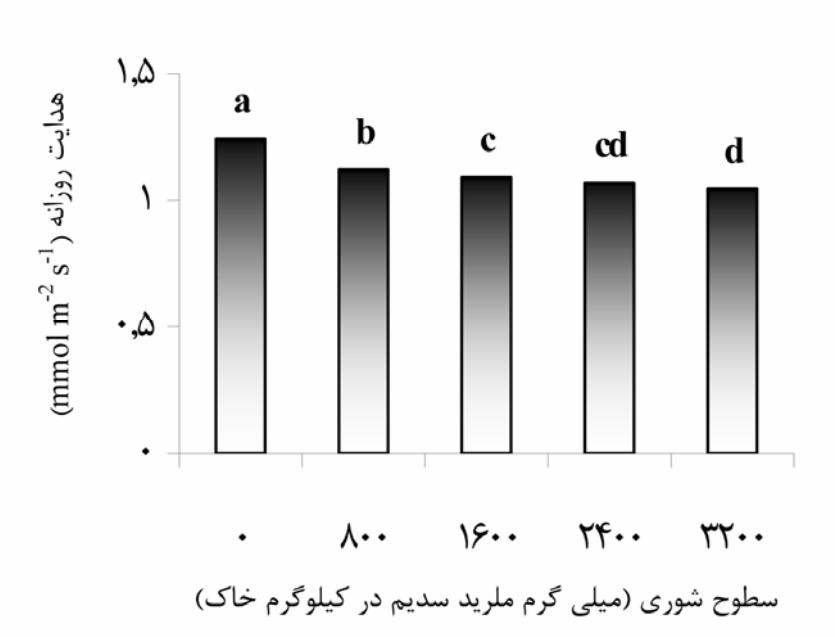


شکل 2- اثر سطوح مختلف مس و رقم مورد استفاده بر سرعت تعرق

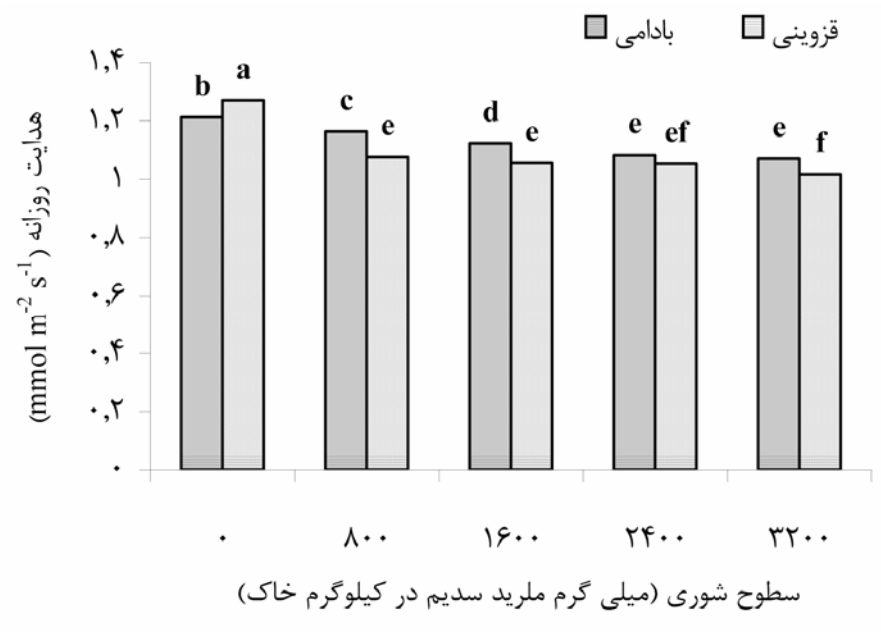
نتایج تجزیه واریانس مربوط به هدایت روزنه‌ای نشان از اختلاف معنی‌دار بین سطوح مختلف شوری داشت ولی سطوح مختلف مس تأثیر معنی‌داری بر هدایت روزنه‌ای نداشت (جدول 2). مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن (شکل 3) نشان داد که میانگین هدایت روزنه‌ای با افزایش شوری به‌طورمعنی‌داری کاهش یافت. به‌طوری‌که کاهش هدایت روزنه‌ای در شوری‌های 800، 1600 و 3200 میلی‌گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک، نسبت به شاهد به ترتیب 10، 12 و 16 درصد بود. این نتایج با گزارش کاهش هدایت روزنه‌ای با افزایش شوری در برگ نهال‌های *Kandelia candel* L. سازگار است (45).

لانگ‌استریت و نابل (26) و رابینسون و همکاران (41) گزارش کردند که هدایت روزنه‌ای حتی در تنش متوسط شوری، به‌طورمعنی‌داری کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد تولید کوتیکول ضخیم، کاهش تعداد روزنه‌ها و انسداد آنها تحت شرایط تنش شدید، در کاهش هدایت روزنه‌ای دخیل است. کیو و همکاران (36)، گزارش کردند که تعداد و تراکم روزنه‌های زیر اپیدرم در برگ‌های گیاه شاه‌پسند با افزایش شوری کاهش یافت و دلیل این امر را کاهش هدایت روزنه‌ای تحت تیمار شوری عنوان کردند. آنها هم‌چنین مشاهده کردند که سلول‌های مزوفیلی درگیاهان تحت تنش شوری در مقایسه با گیاهان شاهد کوچک‌تر و متراکم‌تر هستند و کاهش

پخشیدگی دی‌اکسیدکربن را به این تغییر فیزیولوژیکی نسبت دادند.



شکل 3- اثر سطوح مختلف شوری بر هدایت روزنه‌ای نهال‌های پسته



شکل 4- اثر سطوح مختلف شوری و رقم مورداستفاده بر هدایت روزنه‌ای

نتایج مقایسه میانگین‌ها در مورد برهم‌کنش شوری و رقم مورد استفاده بر هدایت روزنه‌ای نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین دو رقم بادامی و قزوینی است (شکل 4). همان‌طورکه مشاهده می‌گردد، در شرایط غیرشور، هدایت روزنه‌ای در رقم قزوینی بیشتر از رقم بادامی بود، لیکن با افزایش شوری، این روند معکوس شد، به‌طوری‌که هدایت روزنه‌ای در رقم بادامی به‌طورمعنی‌داری بیشتر از رقم قزوینی بود.

ب) فعالیت آنزیم سوپراکسیددسموتاز

نتایج تجزیه واریانس مربوط به تأثیر تیمارهای شوری و مس بر فعالیت آنزیم سوپراکسیددسموتاز (جدول 2)، بیان‌گر تأثیر معنی‌دار شوری، مس و رقم بر فعالیت آنزیم SOD است، ضمن اینکه اثر

متقابل شوری و مس و شوری و رقم نیز معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در جدول 4 آمده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، با افزایش شوری فعالیت این آنزیم ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. از آنجاکه پسته به‌عنوان گیاهی مقاوم به شوری شناخته شده است، به نظر می‌رسد در شوری متوسط باتوجه به حالات رشدی و خصوصیات ژنتیکی خود در سازگاری به تنش، تا حدودی قادر به مهار حجم ROS تولید شده بوده است. زیرا خصوصیات فیزیولوژیک گیاه، از جمله بسته شدن روزنه‌ها، تغییر درالگوی تنظیم کننده‌های رشد و تجمع متابولیت‌ها نیز نمونه‌های بارزی از سازگاری با شرایط تنش می‌باشند. لیکن با افزایش شوری به 3200 میلی‌گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک، فعالیت آنزیم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که بیش از 10 درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد.

این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش میزان شوری، مقدار ROS های تولید شده در سلول افزایش و سیستم آنتی اکسیدانت گیاه فعال می‌شود و با افزایش فعالیت آنزیم سوپر اکسید دسموتاز به عنوان اولین سد دفاعی در مقابل حمله رادیکالهای اکسیژن، در مقابل خسارات ناشی از تنش شوری مقاومت می‌نماید (11). تا زمانی که گیاه قادر به مهار حجم سوپراکسید تولید شده در گیاه باشد، این فرآیند ادامه دارد. لذا حجم SOD تولید شده تا این سطح از شوری، توان مهار عوامل اکسیداتیو را دارد. میتوا و همکاران (30) گزارش کردند که افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت تحت تنش شوری غالباً با افزایش تحمل به شوری در ارتباط است. پندا و خان (34) گزارش دادند که با افزایش غلظت کلریدسدیم، فعالیت آنزیم سوپراکسیددسموتاز در *Hydrilla verticillata* L. افزایش یافت. این محققان عنوان نمودند که افزایش فعالیت SOD تحت تیمار شوری، تحمل بهتر به تنش اکسیداتیو را نشان می‌دهد. دزین و کاناگاراج (17) مشاهده کردند که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت از جمله SOD در تمام غلظت‌های نمک در دو رقم پنبه به طور تصاعدی افزایش یافت. کیم و همکاران (23) نشان دادند که فعالیت SOD تحت تنش کلریدسدیم در ریشه و اندام هوایی جو افزایش یافت، اما این افزایش در ریشه معنی‌دارتر و پایدارتر بود.

جلیل (21) گزارش کرد که فعالیت آنزیم SOD در اندام هوایی و ریشه با افزایش شوری در گیاه *Catharanthus roseus* کاهش یافت، در حالی‌که در شوری پایین فعالیت آنزیم در ریشه به طور مشخصی افزایش نشان داد. این محقق عنوان نمود که کاهش فعالیت SOD برگ می‌تواند پیامد تعدیل ساخت و تجمع آنزیم‌های کم فعال و یا تغییر و تبدیل بیشتر SOD باشد. همان‌طورکه در جدول 4 مشاهده می‌گردد، با افزایش کاربرد مس فعالیت آنزیم SOD به‌طورمعنی‌داری افزایش یافت. به‌گونه‌ای که کاربرد 2/5 و 7/5 میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک، فعالیت آنزیم SOD به ترتیب 22 و 64 درصد نسبت به شاهد افزایش حاصل کرد. پاسمیک و همکاران (35)، افزایش معنی‌دار فعالیت SOD را 24 ساعت پس از تیمار با 2/5 میلی مول Cu^{2+} مشاهده کردند. این در حالی بود که در غلظت کمتر مس (0/5 میلی مول)، فعالیت SOD در مقایسه با شاهد افزایش نیافت. این امر ممکن است به‌وسیله فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانت غیرآنزیمی (ترکیبات فنولی به‌ویژه آنتوسیانین) ایجاد شود که در غلظت‌های کمتر Cu^{2+} بروز کرده و در غلظت‌های بالاتر آن مسدود می‌شود. لومباردی و سباستیانی (25)، با انجام آزمایشی روی درختان هلو نشان دادند که سمیت مس فعالیت آنزیم سوپراکسیددسموتاز را افزایش داد. به‌طوری‌که 20 روز پس از کشت در محیط شامل 100 میکرومول سولفات مس، فعالیت سوپراکسیددسموتاز حدود 5 برابر نسبت به شاهد افزایش یافت.

مقایسه میانگین‌ها مربوط به برهم‌کنش شوری و مس (جدول 4) نشان داد که در حضور 2/5 میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک، با افزایش شوری از صفر به 3200 میلی‌گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک، فعالیت آنزیم SOD بیش از 25 درصد افزایش یافت، درحالی‌که در تیمارهای صفر و 7/5 میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک، چنین افزایشی مشاهده نشد و معنی‌دار نگردید. ال-باکی و همکاران (18)، افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم SOD را تحت تنش شوری در سه رقم پیاز گزارش کردند. این محققان عنوان نمودند که درجه افزایش فعالیت آنزیم SOD با مقدار نمک و نوع رقم همبستگی دارد. سرینیواسولو و همکاران (44)، در آزمایشی که بر روی گیاه ارزن دم روباهی انجام دادند، مشاهده کردند که رقم حساس به شوری نسبت به رقم مقاوم سدیم بیشتری در خود جمع کرد، در نتیجه علائم خسارت ناشی از زیان اکسیداتیو نمایان گشت و منجر به کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسیددسموتاز گردید. همه این عوامل به نشت الکترولیت‌ها و نهایتاً مرگ سلول منجر شد. رشد نهال‌های مقاوم در غلظت‌های مشابه کلریدسدیم به تجمع کمتر Na^{+} و بقای سلول منتهی شد. هم‌چنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت باعث کاهش هم‌زمان غلظت Na^{+} درون سلولی شد که نشان‌گر دومین مکانیسم پیچیده مقاومت به شوری بود. این محققان عنوان کردند که جذب کمتر Na^{+} و یا افزایش جریان خروج یون‌ها و در نتیجه ظرفیت بالاتر برای جمع‌آوری رادیکال اکسیژن، می‌تواند توانایی بیشتر رقم مقاوم به نمک را در غلظت‌های بالاتر کلریدسدیم نسبت به رقم حساس توجیه کند. نتایج مطالعات سایر محققان روی گیاهان دیگر نیز نشان داد که میزان فعالیت آنزیم SOD در ارقام مقاوم به شوری نسبت به ارقام حساس بیشتر است و با افزایش شوری و افزایش سن گیاه مقدار آنزیم افزایش معنی‌داری نشان می‌دهد (39).

در ارتباط با تأثیر رقم مورداستفاده بر فعالیت آنزیم SOD، نتایج

نشان داد که دو رقم بادامی و قزوینی با هم اختلاف معنی‌دار دارند، به‌طوری‌که فعالیت این آنزیم در رقم قزوینی 22 درصد بیشتر از رقم بادامی بود. از آنجا که اثرات متقابل شوری، مس و رقم در مورد جذب کل سدیم ریشه معنی‌دار گردید (جدول 2)، نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که علی‌رغم اینکه در بالاترین سطوح شوری و مس، غلظت سدیم ریشه رقم بادامی بیشتر از قزوینی بود، لیکن این اختلاف معنی‌دار نگردید. اما رقم بادامی در مقایسه با رقم قزوینی، کلر بیشتری را در اندام هوایی و ریشه خود انباشته کرد، در نتیجه احتمالاً به علت بروز خسارت ناشی از اکسیداتیو، فعالیت آنزیم SOD کاهش یافت. تولید بیش از حد SOD در رقم مقاوم از مکانیسم‌های تحمل به نمک به شمار می‌رود. نتایج مقایسه میانگین‌ها هم‌چنین نشان داد که برهم‌کنش شوری و رقم بر فعالیت آنزیم معنی‌دار گردید، به‌طوری‌که در شرایط غیرشور و شوری متوسط (1600 میلی‌گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک)، فعالیت آنزیم در رقم قزوینی بیشتر از بادامی بود، لیکن در شوری زیاد (3200 میلی‌گرم کلریدسدیم بر کیلوگرم خاک)، بین دو رقم مورد استفاده اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل 5).

ج) ساختمان آناتومیکی ساقه

نتایج به‌دست آمده از مطالعه برش‌های عرضی ساقه که در زیر میکروسکوپ نوری و با استفاده از بزرگ‌نمایی‌های مختلف صورت گرفت، نشان داد، سطوح مختلف شوری و مس تأثیر مشخصی بر ساختمان ساقه و به‌ویژه بافت آوندی رقم بادامی ریز زرندی داشت که به‌صورت زیر توصیف می‌گردد:

1- افزایش شوری موجب کاهش ضخامت لایه‌های پارانشیم پوست (فاصله اپیدرم تا اولین دستجات آوندی) گردید (شکل 6). نتایج به‌دست آمده با گزارش‌های فرجادی (8) و طالبی (6) مطابقت دارد. طالبی پس از مقایسه ساختمان ساقه در دو رقم پسته و در شرایط شور و غیر شور، گزارش کرد که در هر دو واریته بادامی و قزوینی، شوری باعث کاهش ضخامت لایه‌های پارانشیم پوستی و کاهش رشد سلول‌های اپیدرمی گردید. کاهش ضخامت نسبی پوست در اثر افزایش شوری در گندم (9) و نیشکر (12) نیز مشاهده گردید.

2 - با افزایش شوری، ضخامت حلقه آوندهای آبکش کاهش یافت (شکل 6). طالبی (6) نیز گزارش کرد که افزایش شوری باعث کاهش ضخامت حلقه آوندهای آبکش در پسته گردید. کشاورز و ملکوتی (9) پس از اعمال تیمارهای شوری بر روی گندم، مشاهده کردند که تعداد دستجات آوندی و هم‌چنین قطر آوندها در گیاهان تحت تنش شوری به‌طورقابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. اثر شوری بر بافت و نمو اندام‌ها ممکن است اثر مستقیم نمک بر سرعت تقسیم سلولی و در نتیجه سرعت کمتر نمو یا کاهش در طول مدت توسعه باشد (6).

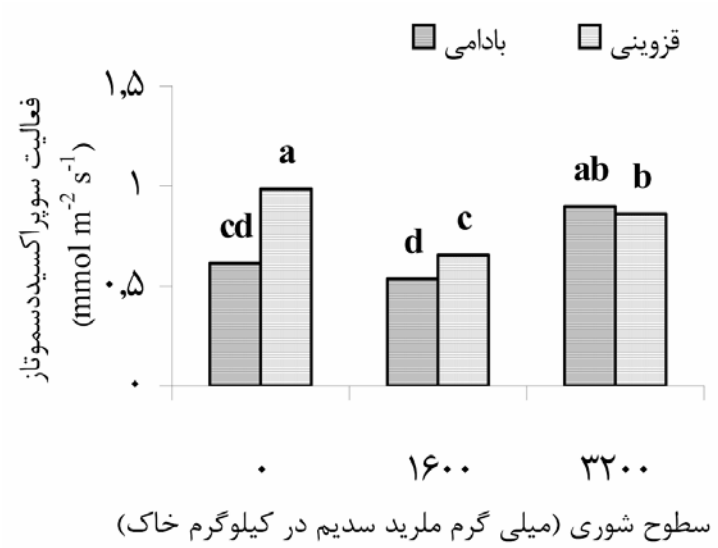
3- افزایش شوری باعث افزایش ضخامت مغز گردید (شکل6). نتایج مشابهی توسط کشاورز و ملکوتی (9) به‌دست آمد. گادالا و رامادان (19) نشان دادند که شوری باعث کاهش بافت آوندی شد، در حالی‌که سلول‌های پارانشیم مغز را زیاد نمود.

4- افزایش شوری موجب کاهش تعداد و پراکندگی کانال‌های رزینی گردید. همان‌گونه که در شکل 6 مشاهده می‌شود، در تیمار شاهد، کانال‌های رزینی به تعداد زیاد و به‌صورت منظم در سطح آوندهای آبکش وجود دارند، اما در شوری 3200 میلی‌گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک، از تعداد این کانال‌ها به طورقابل‌ملاحظه‌ای کاسته و اندازه آنها در مقایسه با تیمار شاهد کوچک‌تر شد. به نظر می‌رسد، کاهش تعداد کانال‌های رزینی در شرایط شور به دلیل کاهش رشد سلول‌های سازنده و یا کاهش متابولیسم گیاه و در نتیجه سازگاری گیاه نسبت به شرایط شور باشد.

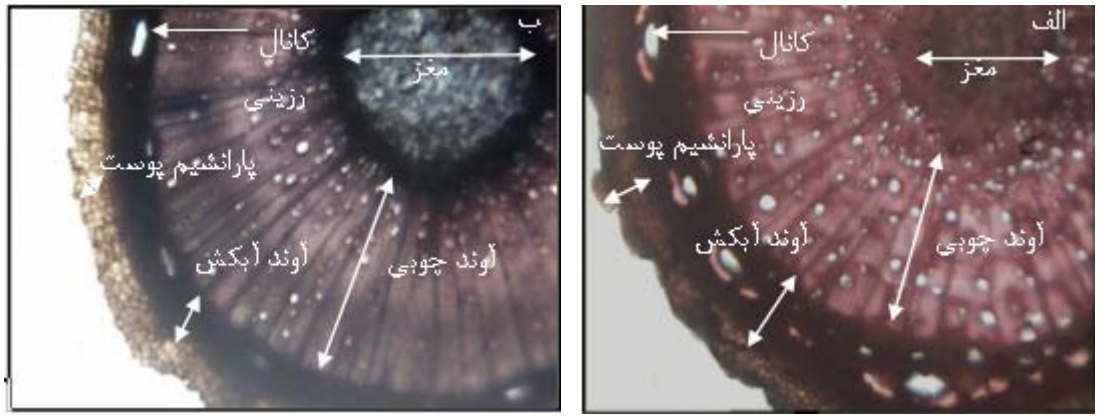
جدول 4- تأثیر سطوح مختلف شوری و مس بر فعالیت آنزیم سوپراکسیددسموتاز (بر مبنای مقداری از آنزیم که در آن جذب نسبت به شاهد 50 درصد کاهش دارد)

سطوح شوری (میلی‌گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک)	سطوح مس (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)			میانگین
	0	2/5	7/5	
	فعالیت آنزیم SOD			
0	0/7417[b]	0/7173 [b]	0/9377[a]	0/7989 B
1600	0/3013[d]	0/5360[c]	0/9467 [a]	0/5947 C
3200	0/7200 [b]	0/9013 [a]	1/016 [a]	0/8791 A
میانگین	0/5877 C	0/7182 B	0/9668 A	

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح 0/05 آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل 5- اثر سطوح مختلف شوری و رقم مورد استفاده بر فعالیت آنزیم سوپراکسیددسموتاز



شکل 6- برش عرضی ساقه در شرایط نبود مس وشوری (الف) و نبود مس و شوری 3200 میلی‌گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک (ب) با بزرگنمایی میکروسکوپ 4x

بافت‌هایی که در گیاهان و در ترشح درگیرند، یا مواد را بـه خـارج از گیـاه[1] (exotropic) و یـا بـه داخـل گیـاه (endotropic) هـدایت می‌کنند. در گیاه پسته، مجاری ترشحی که مملـو از رزیـن هـستند از ساختارهای ترشح داخلی محسوب می‌شوند. منـشا کانـال‌هـا در تیـره آناکاردیاسه که پسته نیز جزء این تیره محسوب مـی‌شـود، اسـکیزوژن می‌باشد. زمانی که حفرات تشکیل می‌شوند، به هم متـصل و در واقـع فضاهای بین سلولی طویل شده‌ای ایجاد و مجراهایی برای عبور مواد می‌سازند، که به‌صورت انشعاباتی درآمـده و بـه سـاقه، بـرگ، میـوه و گل‌ها گسترش پیدا می‌کنند. اطراف مجرا را سلول های اپی‌تلیـومی و چندین سلول پارانشیمی احاطه کرده که به ترشـح کمـک مـی‌کننـد. روغن‌ها در لکوپلاست این سلول‌هـا سـاخته شـده و از طریـق شـبکه آندوپلاسمی و ویزیکول‌ها به داخل حفره‌ها رها می‌شوند (28).

نتایج تأثیر مس بر ساختمان ساقه (شکل 7) نشان داد، در شرایط خیلی شور (3200 میلی‌گرم کلرید سدیم در کیلوگرم خاک)، افـزایش مس باعث کاهش ضخامت لایه آوند چوب و افزایش ضـخامت لایـه آوند آبکش شد. به علاوه تعداد و اندازه کانال‌های رزینـی در گیاهـان تیمار شده با مس نسبت به گیاهان شاهد در شوری یکسان بیشتر بود. ضخامت پوست ساقه با افزایش کـاربرد مـس تغییـر چنـدانی حاصـل نکرد. مطالعات اندکی در مورد بررسی اثر فلزات سنگین بر خصوصیات آناتومیکی گیاهان انجام گرفته است. کاسیم (22)، طی مطالعه‌ای اثـر مس و کادمیوم را روی خصوصیات آناتومیکی سورگوم بررسی و نشان داد که کاهش در قطر آوندهای چوبی در سـاقه، رگبـرگ و ریـشه در پاسخ به تیمارهای فلزات سنگین به‌طور معنی‌داری بیشتر بود که ایـن کاهش در ریشه از همه بیشتر و در رگبرگ از همه کمتر بود.

1- Extracellular secretion

د) ساختمان آناتومیکی ریشه

نتایج حاصل از مطالعه برش‌های عرضی ریشه در زیر میکروسکوپ نوری و با استفاده از بزرگ‌نمایی‌های مختلف، نشان داد که سطوح مختلف شوری و مس تأثیر محسوسی بر ساختمان ریشه در رقم بادامی ریز زرندی داشت.

تأثیر شوری بر ساختمان ریشه به صورت زیر است:

1- همانند ساقه، با افزایش شوری ضخامت لایه‌های پارانشیم پوستی و قطر آوند آبکش در ریشه کاهش یافت (شکل 8).

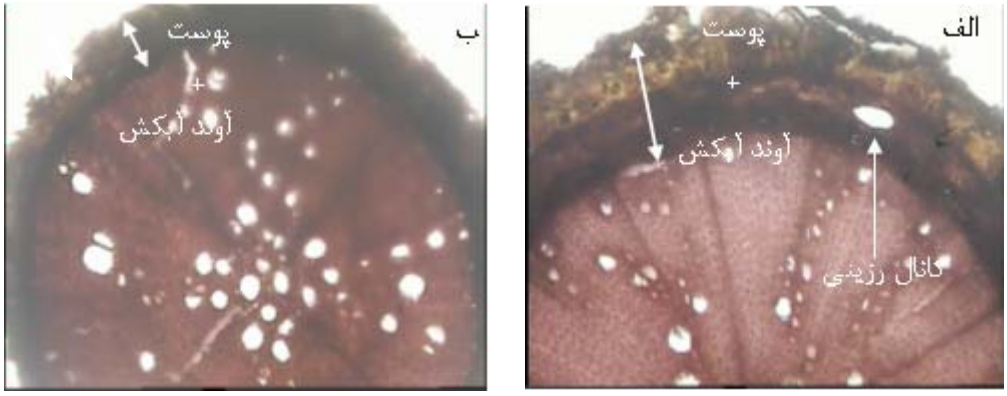
2- کانال‌های رزینی در ریشه نسبت به ساقه به تعداد کمتری وجود داشتند و اندازه آنها نیز در مقایسه با کانال‌های رزینی ساقه کوچک‌تر بود. با افزایش شوری از تعداد و پراکندگی این کانال‌ها شدیدا کاسته شد، به‌طوری‌که در تیمار 3200 میلی‌گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک، اثری از آنها دیده نشد (شکل 8).

نتایج تأثیر مس بر ساختمان ریشه نشان داد که:

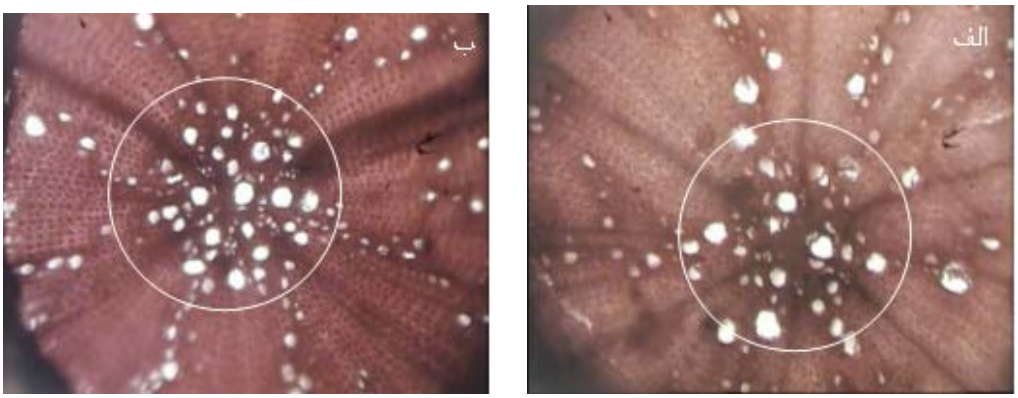
مغز ریشه که در شرایط عدم کاربرد مس پخشیده بود و مرز مشخصی نداشت، با افزایش کاربرد مس، انسجام یافته و از بافت‌های پارانشیمی اطراف، قابل تشخیص گردید (شکل 9). این تغییر در شوری 3200 میلی‌گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک نیز مشخص بود (شکل 10).

کاسیم (22) مشاهده کرد که مس و کادمیوم، به خصوص وقتی که در ترکیب با یکدیگر به کار رفتند، باعث کاهش معنی‌دار قطر ریشه گردیدند. هم‌چنین ضخامت کل و ضخامت پارانشیم مزوفیلی رگبرگ‌ها در تیمارهای مختلف مس و کادمیوم به‌طورمعنی‌داری کاهش یافت و عنوان نمود که مهم‌ترین علت کاهش ضخامت رگبرگ اصلی و قطر ریشه، کاهش مشخص ضخامت بافت‌های پارانشیمی این اندام‌ها بوده است.

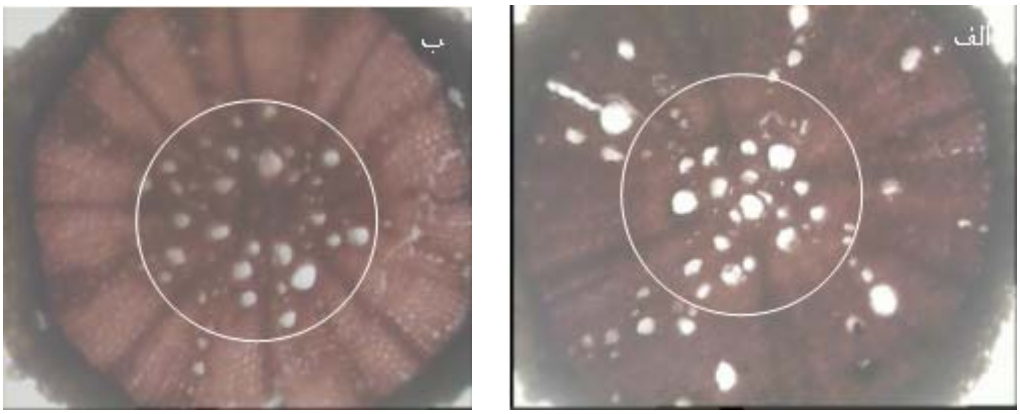
شکل 7- مقایسه ضخامت پارانشیم چوب و قطر آوند آبکش در برش عرضی ساقه تحت شوری 3200 میلی‌گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک، عدم کاربرد مس (الف)؛ پس از کاربرد 7/5 میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک (ب) با بزرگنمایی میکروسکوپ 4x



شکل 8- برش عرضی ساقه در شرایط نبود مس وشوری (الف) و نبود مس و شوری 3200 میلی‌گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک (ب) با بزرگنمایی میکروسکوپ 10x



شکل 9- مقایسه وضعیت مغز ریشه در تیماربدون شوری و عدم کاربرد مس (الف) و کاربرد 7/5 میلی‌گرم مس درکیلوگرم خاک (ب) با بزرگنمایی میکروسکوپ 10x



شکل 10- مقایسه وضعیت مغز ریشه در شوری 3200 میلی‌گرم کلریدسدیم در کیلوگرم خاک و عدم کاربرد مس (الف) و کاربرد 7/5 میلی‌گرم مس درکیلوگرم خاک (ب) با بزرگنمایی میکروسکوپ 10x

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که شوری موجب کاهش تعرق و هدایت روزنه‌ای گردید، ضمن اینکه کاربرد مس در شرایط شور مانع کاهش فتوسنتز گردید. همچنین سطوح بالای شوری و مس افزایش فعالیت آنزیم سوپر اکسید دسموتاز را به همراه داشت و فعالیت آنزیم SOD در رقم قزوینی بیشتر از رقم بادامی بود.

نتایج موجود در رابطه با مشاهده مقاطع نازک ساقه نیز نشان داد که شوری موجب کاهش پارانشیم پوست، قطر حلقه آوندهای آبکش و تعداد و اندازه کانال‌های رزینی گردید، در حالی‌که کاربرد مس در شرایط شور تا حدی اختلالات به وجود آمده در اثر شوری را تقلیل داد.

سپاسگزاری

با سپاس فراوان از حوزه پژوهشی دانشگاه ولی عصر(عج) رفسنجان که حمایت مالی این تحقیق را برعهده گرفته و از پژوهانه شماره5017/پ جهت این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است.

منابع

1- ثابت تیموری م.، خزاعی ح. ر.، نظامی ا.، و نصیری محلاتی م. 1386. تأثیر سطوح مختلف شوری بر میزان آنزیم‌های آنتی اکسیدان برگ و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.). پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی. شماره 7.

2- حیدری م. 1385. شناسایی خاک‌های غالب و تاثیر خصوصیات آنها بر غلظت عناصر برگ، کمیت و کیفیت پسته در منطقه انار رفسنجان.

پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بخش خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

3- حیدری نژاد ع.، و ابوسعیدی د. 1384. شناسایی و بررسی عوامل موثر ریز برگی درختان پسته (قرمزو) از دیدگاه‌های بیماری‌های گیاهی، تغذیه و آبیاری. گزارش نهایی بخش تحقیقات آبیاری و تغذیه موسسه تحقیقات پسته کشور.

4- خوش‌گفتارمنش ا. ح. 1383. تعیین مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید پسته در اراضی شور استان قم. پژوهش‌نامه استان قم، مجموعه مقالات تحقیقات استان قم، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان قم، شماره 2.

5- دفتر آمار و فن‌آوری اطلاعات. 1386. آمارنامه کشاورزی. معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران.

6- طالبی م. 1387. تاثیر روی و شوری بر رشد، ترکیب شیمیایی و بافت آوندی در دو رقم پسته. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بخش خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان.

7- طالبی م.، مظفری و.، و تاج آبادی پور ا. 1388. پاسخ دانهال‌های پسته رقم قزوینی (*Pistacia vera cv. Ghazvini*) به سطوح مختلف روی و کلرید سدیم. مجله علوم خاک و آب. شماره 23.

8- فرجادی ا. 1386. بررسی آناتومی گونه *Pistacia vera* L. (Anacardiacea) و بررسی تأثیرشوری و ضربه مکانیکی بر روی دفرمه شدن میوه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بخش زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.

9- کشاورز پ.، و ملکوتی م.ج. 1384. اثر روی و شوری بر رشد، ترکیب شیمیایی و بافت آوندی گندم. مجله علوم خاک و آب. شماره 19.

10- مظفری و. 1384. بررسی نقش پتاسیم، کلسیم و روی در کنترل عارضه سرخشکیدگی پسته. رساله دکتری، بخش خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

11- میرمحمدی میبدی ع.م.، و قره یاضی ب. 1381. جنبه های فیزیولوژیک و به‌نژادی تنش شوری گیاهان. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.

12- Akhtar Sh., Wahid A., Akram M. and Rasul E. 2001. Some growth, photosynthetic and anatomical attributes of sugarcane genotypes under NaCl salinity, International Journal of Agriculture & Biology, 3(4):439-443.

13- Al-Whaibi M.H. 1992. Senescence of date palm leaf and copper salts, Journal of King Saud University, 5(2):107-117.

14- Baron M., Arellano J.B. and Lopez-Gorge J. 1995. Copper and photosystem II: A controversial relationship, Journal of Plant Physiology, 94:174-180.

15- Blokhina O., Virolainen E. and Fagestedt K.V. 2003. antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: A review, Annuals of Botany, 91:179-194.

16- Bouyoucos G.J. 1951. A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soil, Argon. J, 43:434-438.

17- Desingh R. and Kanagaraj G. 2007. Influence of salinity stress on photosynthesis and antioxid active systems in two cotton varieties, Gen. Appl. Plant Physiology, 33(3-4):221-234.

18- El-baky A., Hana H., Mohamed A., Amal A. and Hussein M.M. 2003. Influence of salinity on lipid peroxidation antioxidant enzymes and electrophoretic patterns of protein and isoenzymes in leaves of some onion cultivars, Asian Journal of Plant Sciences, 2(8):633-638.

19- Gadallah M.A. and Ramadan T. 1997. Effects of zinc and salinity on growth and anatomical structure of *Carthomus tinctures* L., Biologia Plantarum, 39:411-418.

20- Jackson M.L. 1975. Soil chemical analysis, Advanced Course, Univ. Wis. College Agric., Dept. Soils, Madison, WI., U.S.A.

21- Jaleel C.A. 2009. Soil salinity regimes alters antioxidant enzyme activities in two varieties of *Catharanthus roseus*, Botany Research International, 2(2):64-68.

22- Kasim W.A. 2006. Changes induced by copper and cadmium stress in the anatomy and grain yield of *Sorghum bicolor* (L.) Moench, International Journal of Agriculture and Biology, 1:123-128.

23- Kim S.Y., Lim J.H., Park M.R., Kim Y.J., Park T.I., Seo Y.W., Choi K.G. and Yun S.J. 2005. Enhanced antioxidant enzymes are associated with reduced hydrogen peroxide in barley roots under saline stress, Journal of Biochemistry and Molecular Biology, 38(2):218-224.

24- Lindsay W.L. and Norvell W.A. 1978. Development of DTPA test for zinc, iron, manganese and copper, Journal of Soil Science Society of America, 42:421-428.

25- Lombardi L. and Sebastiani L. 2005. Copper toxicity in *Prunus cerasifera*: growth and antioxidant enzymes responses of *in vitro* grown plant, Journal of Plant Science, 168:797-802.

26- Longstreth D.J. and Nobel P.S. 1979. Salinity effects on leaf anatomy: Consequences for photosynthesis, Journal of Plant Physiology, 63:700-703.

27- Marschner H. 1995. Functions of mineral nutrients: Micronutrients. *In*: Mineral nutrition of higher plants, 2nd ed. Academic Press Limited. San Diego. CA, pp:313-396.

28- Michailides J.T. 2004. Panicle and shoot blight of pistachio: A major threat to the California pistachio industry,

APSnet features story.
29- Mittler R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance, Trends Plant Sciences, 7:405-410.
30- Mittova V., Guy M., Tal M. and Volokita M. 2004. Salinity upregulates the antioxidative system in root mitochondria and peroxisomes of the wild salt-tolerant tomato species *Lycopersicon pennellii*, Journal of experimental Botany, 55:1105-1113.
31- Olsen S.R., Cole C.V., Watanbe F.S. and Dean L.D. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. 939, U. S. Govern. prin. Office, Washington, DC, U. S. A.
32- Olszewska M., Grzegorczyk S., Alberski J., Baluch-Malecka A. and Kozikowski A. 2008. Effect of copper deficiency on gas exchange parameters, leaf greenness (SPAD) and yield of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.), Elementol, 13(4):597-604.
33- Osmond C.B., Bjorkman O. and Anderson D.J. 1980. Physiological processes in plant ecology. Toward a synthesis with atriplex, Springer Verlag, New York.
34- Panda S.K. and Khan M.H. 2004. Changes in growth and superoxide dismutase activity in *Hydrilla verticillata* L. under abiotic stress, Braz. Journal of Plant Physiology, 16(2):115-118.
35- Posmyk M.M., Kontek R. and Janas K.M. 2009. Antioxidant enzymes activity and phenolic compounds content in red cabbage seedlings exposed to copper stress, Ecotoxicology and Evironmental Safety, 72:596-602.
36- Qiu D.L., Lin P. and Guo S.Z. 2007. Effects of salinity on leaf characteristics and CO_2/H_2O exchange of *Kandelia candel* (L.) druce seedlings, Journal of Forest Science, 53:13-19.
37- Ranjbar R., Lemeur R. and Vandamme P. 2000. Ecophysiological characteristic of two pistachio species (*Pistacia khinjuk* and P. *mutica*) in response to salinity, Gent university, 53:179-188.
38- Raven J.A., Evans M.C.W. and Krob R.E. 1999. The role of trace metals in photosynthetic electron transport in O_2-evolving organisms, Photosynthesis Research, 60:111-149.
39- Reddy Y.V. and Srivastava G.C. 2003. Superoxide dismutase and peroxidase activities in ripening mango (*Mangifera indica* L.) fruits, Indian Journal of Plant Physiology, 8:115-119.
40- Richards L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U. S. D. A. Handbook No. 60, Washington, DC, U. S. A.
41- Robinson S.P., Downton W.J.S. and Millhouse J.A. 1983. Photosynthesis and ion content of leaves and isolated chloroplast of salt- stress spinach, Journal of Plant Physiology, 73:238-242.
42- Sairam R.K., Veerabhadra Rao K. and Srivastava G.C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration, Journal of Plant Science, 163:1037-1046.
43- Sgherri C.L.M., Maffei M. and Navari-Izzo P. 2000. Antioxidative enzymes in wheat subjected to increasing water deficit and rewatering, Journal of Plant Science, 157:273-279.
44- Sreenivasulu N., Grimm B., Wobus U. and Weschke W. 2000. Differential response of antioxidant compounds to salinity stress in salt-tolerant and salt sensitive seedlings of foxtailmillet (*Setaria italica*), Journal of Plant Physiology, 109:435-442.
45- Yang S.C. and Lin P. 1995. A mathematical model of low temperature and exposure time intractions on *Kandelia candel* leaf cold-sensitivity, Chinese Bullet. Botany, 7:164-168.
46- Yruela I. 2005. Copper in plants, Braz. Journal of Plant Physiology, 17:145-156.

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 6, Jan-Feb 2011, p. 1210-1223

نشریه آب و خاک
جلد 24، شماره 6، بهمن - اسفند 1389، ص. 1223-1210

Effects of Copper and Salinity on Some Physiological and Anatomical Indices of Two Pistachio Cultivars under Greenhouse Conditions

S. Eskandari[1] -V. Mozafari[2]* - A. Tajabadipour[3]

Received: 28-4-2010
Accepted: 3-10-2010

Abstract

A greenhouse experiment was conducted to study the effects of soil copper (Cu) and salinity application on photosynthesis parameters, enzyme activity and anatomical structure of two pistachio cultivars. A factorial greenhouse experiment was carried out as completely randomized design with three replications. Treatments consisted of four Cu levels (0, 2.5, 5, and 7.5 mg Kg^{-1}soil as $CuSO_4.2H_2O$), five salinity levels (0, 800, 1600, 2400, and 3200 mg NaCl Kg^{-1} soil) and two pistachio cultivars (Badami-e-Zarand and Ghazvini). Results showed that application of 3200 mg NaCl Kg^{-1} soil, decreased transpiration rate and stomatal conductance by 69 and 16% respectively, whereas had no significant effect on photosynthesis rate. Also application of 5 mg Cu Kg^{-1} soil, caused maximum photosynthesis rate. Transpiration rate and stomatal conductance of Badami-e-Zarand was significantly higher than Ghazvini, but reverse trend was seen for photosynthesis rate. The highest salinity level (3200 mg NaCl Kg^{-1} soil), significantly increased SOD activity. Furthermore, all Cu levels increased SOD activity. As salinity increased, thickness of parenchyma layer and phloem rings, and number of resin channels of stem and root decreased and increased pulp thickness. Application of Cu in saline conditions, decreased thickness of xylem vessels and increased that of phloem rings and number of resin channels in stem.

Keywords: Salinity, Pistachio, Copper, Photosynthesis

1,2,3- Former MSc. Student and Assistant Professors, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr university of Rafsanjan, Respectively
(*-Corresponding Author Email: vmozafary@yahoo.com)