اثرات برهمکنش شوری و منیزیم روی روابط آبی و یونی اسفندک (*Zygophylum fabago* L.)

لیلا زرندی میاندوآب*، نادر چاپارزاده و حمید فکری شالی

ایران، تبریز، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، دانشکده علوم پایه، گروه زیست شناسی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۱۱

چکیده

بمنظور بررسی اثر متقابل شوری و منیزیم بر رشد، ویژگی‌های فیزیولوژیک و محتوای برخی عناصر غذایی در گیاه اسفندک، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار طراحی و در پرلیت با استفاده از محیط کشت هوگلند اجرا شد. تیمارها شامل دو سطح شوری کلریدسدیم (صفر و۳۰۰ میلی‌مولار) و سه سطح منیزیم صفر و ۲ و ۶ میلی‌مولار مازاد بر مقدار منیزیم موجود در محلول هوگلند (۲ میلی‌مولار) بودند. کاربرد منیزیم در شرایط شور منجر به افزایش وزن خشک بخش-هوایی به بیش از دو برابر تیمار شاهد (۵۵ گرم وزن خشک) و ریشه بیش از ۳۰٪ شد. شوری موجب افزایش محتوای آب در واحد سطح برگ گردید. در حالی‌که بر هم‌کنش شوری و منیزیم منجر به کاهش نسبی آن تا حدود تیمار شاهد (۴۰۰گرم اب بر متر مربع) شد. شوری و بر هم‌کنش آن با منیزیم منجربه منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی برگ‌ها شد، که سهم سدیم در این منفی‌تر شدن در تیمارهای شوری بیشتر از تیمار شاهد بود ولی برهم‌کنش شوری و منیزیم به‌شدت موجب کاهش سهم پتاسیم در پتانسیل اسمزی گردید. شوری و منیزیم موجب کاهش شدید کلسیم، منیزیم و پتاسیم و افزایش شدید در محتوای سدیم اندام-های اسفندک شد. به‌نظر می‌رسد که افزودن مقدار منیزیم مناسب به محیط رشد اسفندک، می‌تواند از طریق ایجاد تغییرات مناسب در نحوه جذب و انباشتگی سایر عناصر، رشد گیاه را در شرایط شور بهبود ببخشد. همچنین این یافته‌ها نشان می‌دهد که در محیط شور اسفندک قادر به انباشتگی غلظت بالای سدیم در برگ‌های خود است و از آن به طور مستقیم برای تنظیم اسمزی استفاده می‌کند که منجر به کاهش پتانسیل آب برگ، بهبود وضعیت آبی برگ و از این طریق بهبود رشد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسفندک، **شوری**، **منیزیم**، **رشد**، پتانسیل اسمزی، **توزیع** عناصر.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۳۰۲۴۳۵۴ ، پست الکترونیکی: zarandi@azaruniv.ac.ir

مقدمه

بر اساس ارزیابی‌ها حدود ۱۰ درصد کل خاک‌ها و تقریبا ۵۰ درصد زمین‌های زراعی جهان تحت تاثیر شوری می‌باشند (۲۲ و ۳۴). با رشد شتابان فعلی، جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ میلادی به حدود ۹/۳ میلیارد نفر خواهد رسید که افزایش تولید محصولات کشاورزی غذایی به میزان ۵۰ الی ۷۰ درصد را می‌طلبد (۲۴; ۳۴) که زمین‌های زراعی فعلی جواب‌گوی افزایش تقاضای ذکر شده نخواهد بود. از طرف دیگر، در سال‌های اخیر با تغییرات آب و هوایی کاهش نزولات جوی در مناطق نیمه‌گرمسیری همانند بخشی از کشور ایران اتفاق افتاده‌است. با کاهش سوخت‌های فسیلی احتمال دارد تولید سوخت‌های زیستی گیاهی رقابتی دیگر در کشت با گیاهان زراعی غذایی ایجاد نماید (۳۹). یکی از راه‌های حل این مشکل استفاده از خاک‌های کم‌کیفیت شور و حتی آب‌های شور برای کشاورزی می‌باشد. راه حل دیگر، کاشت گیاهان شورپسند و یا اهلی‌سازی آنها برای کشت در خاک‌های شور می‌باشد که به طور جدی مورد توجه فیزیولوژیست‌های گیاهی است. زیرا اغلب گیاهان زراعی از نوع گیاهان شیرین‌پسند

هستند که در شرایط شور با کاهش تولید و عملکرد مواجه‌اند. از دلایل اصلی کاهش عملکرد گیاهان شیرین-پسند در شرایط شور، تاثیر شوری بر جذب آب و عناصر غذایی از طریق تداخل در جذب رقابتی عناصر و تاثیر بر انتقال یا کده‌بندی آنها، انباشتگی یون‌های سمی، برهم-خوردن روابط آبی و اثرات ثانویه دیگر همچون تنش اکسیداتیو بیان‌شده‌است (۲۸). غلظت درون بافتی عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف تحت تاثیر غلظت یون‌های محیط رشد گیاه می‌باشد. افزایش جذب سدیم با کاهش جذب کاتیون‌های دیگر و ایجاد عدم تعادل کاتیونی از جمله منیزیم از دلایل اصلی کاهش رشد گیاهان در اثر شوری محسوب می‌شود (۶). در شرایط شور، سدیم در غشای پلاسمایی تارهای کشنده، جایگزین کلسیم شده و با آسیب و تغییر نفوذپذیری غشایی موجب نشت مواد همچون پتاسیم به خارج سلول و اختلال در اعمال حیاتی گیاه می‌شود (۲۷). افزایش غلظت عناصر غذایی به عنوان یک راهکار برای کاهش اثرات سمیت یونی و ناهنجاری-های تغذیه‌ای گیاهان در خاک‌های شور مورد توجه است (۴۳). دلیل عمده دیگر کاهش عملکرد گیاهان شیرین‌پسند در شرایط شور، تنش اسمزی است. غلظت بالای نمک محلول در آب، پتانسیل اسمزی آن را کاهش داده و موجب ایجاد تنش اسمزی ثانویه یا تنش خشکی فیزیولوژیک برای گیاه می‌شود (۲۸).

گیاهان شورپسند به طور طبیعی در محیط‌های شور رشد کرده و حتی از املاح موجود در خاک یا آب نفع می‌برند. این گیاهان طی تکامل سازگاری‌های لازم برای بردباری به غلظت‌های بالای نمک را کسب نموده‌اند. از جمله این سازگاری‌ها تغییر در روابط آبی درون سلولی و کده‌بندی یون‌ها در واکوول‌ها، افزایش جذب آب با تولید ترکیبات سازگار اسمزی، گوشتی‌شدن و ترشح نمک از طریق غدد مخصوص می‌باشد (۹). آستانه تحمل گیاهان شورپسند به شوری متفاوت بوده و حتی ممکن است برخی از آنها در شوری آب دریا نیز بتوانند رشد مناسب داشته‌باشند (۱۰).

غلظت زیاد یون‌های سمی در تنش شوری سبب بازدارندگی پروتیین‌سازی، غیرفعال‌کردن آنزیم‌ها، آسیب-های فتوسنتزی و در نهایت مرگ گیاه می‌شود (۱۷; ۳۲). حفظ غلظت سیتوپلاسمی مناسب یون‌هایی همچون پتاسیم و منیزیم، برای فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها، نکته کلیدی در حیات گیاهان شورپسند می‌باشد (۳). در کده‌بندی یون‌های سمی در واکوول‌ها ناقل‌های یونی موجود در تونوپلاست، به ویژه پادبر سدیم- پروتون در گیاهان از جمله اسفندک نقش اساسی دارند (۴۴).

اسفندک (*Zygophyllum fabago* L.) گونه‌ای از تیره قیچیان (Zygophyllaceae) می‌باشد که در بیشتر مناطق دنیا به ویژه ایران پراکنده‌است (۱۱). به دلیل ویژگی‌های خاص، این گیاه قابلیت بهره‌برداری برای بهبود پوشش گیاهی مناطق خشک، شور، استپی و زمین‌های بایر را دارد. اسفندک به عنوان یک گیاه شورپسند اختیاری به دلیل داشتن ریشه نسبتاً عمیق و فیزیولوژی منحصر به فرد به شرایط کم آبی مقاومت خوبی دارد اغلب گونه‌های اسفندک گیاهان مقاوم به خشکی و متحمل به شوری هستند. این گیاهان به خوبی با محیط خشک سازگار شده و میزان بالای سدیم را در برگ‌های خود انباشته می‌کنند (۱۰) و به همین خاطر آن را گیاه خشکی- شورپسند می-نامند. این گیاه به دلیل حفظ حالت آبی حتی به تنش عناصر سنگین نیز مقاوم می‌باشد. زیرا در شرایط تنش عناصر سنگین به شکل چشمگیری کارایی استفاده از آب را افزایش می‌دهد (۱۸). سازگاری اسمزی قوی اسفندک در این شرایط موجب کاهش پتانسل آب سلول‌ها می‌شود (۱۹). لذا اسفندک می‌تواند به‌عنوان یک مدل موفق گیاهی در غلبه بر انواع شرایط سخت محیطی غیرزیستی (از جمله خشکی، شوری و تنش عناصر سنگین) مورد استفاده قرار گیرد.

منیزیم به عنوان یک عنصر پرمصرف ضروری برای رشد گیاهان، اصلی‌ترین نقش خود را در ساختمان کلروفیل

برای انجام فرایند فتوسنتز بازی می‌کند. همچنین این کاتیون در سنتز ریبونوکلئیک‌اسیدها و پروتیین‌ها نقش مهمی دارد (۴۰). میزان جذب آن با افزایش غلظت محیطی کاتیون‌های دیگر از جمله پتاسیم، آمونیوم و کلسیم به شدت کاهش می‌یابد، زیرا بین منیزیم، کلسیم و پتاسیم برای محل‌های جذب روی غشاهای سلولی ریشه رقابت وجود دارد (۱۵). مطالعه در مورد آثار متقابل منیزیم و شوری بسیار اندک است ولی اکثر تجارب موجود حاکی از کاهش محتوای منیزیمی گیاهان غیر شورپسند در شرایط شوری است. تعدادی گزارش حاکی از اثر بهبود بخش منیزیم در جهت تحمل تنش‌های محیطی در دست می‌باشد (۴; ۲۳). برخی دیگر از محققین معتقدند که غلظت بالای منیزیم در خاک ممکن است با ایجاد کمبود کلسیم در گیاه سبب کاهش تحمل آن به شوری شود (۱۶). از این‌رو در این پژوهش اثرات متقابل شوری کلریدسدیم و منیزیم بر روابط اسمزی، سهم کاتیون‌های سدیم و پتاسیم در ایجاد پتانسیل اسمزی و محتوای عناصر کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم در اندام‌های اسفندک مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روشها

مواد گیاهی و شرایط کشت: بذرهای گیاه اسفندک در بهار سال ۹۴ از محوطه دانشگاه شهید مدنی آذربایجان واقع در منطقه آذرشهر در استان آذربایجان شرقی (عرض جغرافیایی ۳۷/۸۱، طول جغرافیایی ۴۵/۹۴ و ارتفاع ۱۳۴۰ متر از سطح دریا) جمع‌آوری شد. پس از جداسازی، بذرهای سالم با محلول هیپوکلریت‌سدیم ۱درصد ضدعفونی و با آب مقطر شسته شدند. جوانه‌زنی بذرها بر روی کاغذ صافی مرطوب به مدت هفت روز صورت گرفت. دانه‌رست‌ها به گلدان‌های حاوی پرلیت انتقال یافته و به مدت هفت روز در شرایط نوری تنظیم شده ۱۶ ساعت نور و ۸ ساعت تاریکی، رطوبت ۴۰-۳۰ درصد، دمای ۱±۲۵ درجه‌سانتی‌گراد و میانگین شدت نور ۱۵۰ میکرومول‌فوتون برمترمربع در ثانیه نگهداری و یک روز در میان تا روز ۲۵ با آب مقطر و محلول غذایی هوگلند (نیترات کلسیم ۴، نیترات پتاسیم ۶، مونوپتاسیم فسفات ۱، سولفات منیزیم ۷ آبه ۲، اسید بوریک ۰/۰۴۶، کلرید منگنز ۲ آبه۰/۰۰۹، سولفات روی ۱ آبه۰/۰۰۰۸، سولفات مس ۵ آبه ۰/۰۰۰۳، مولیبدات سدیم ۰/۰۰۰۱ و Fe-EDTA ۰/۰۳۵۸میلی‌مولار) تغذیه شدند. تیمارها شامل دو سطح شوری کلریدسدیم (صفر و۳۰۰ میلی‌مولار) و سه سطح منیزیم صفر و ۲ و ۶ میلی‌مولار مازاد بر مقدار منیزیم موجود در محلول هوگلند (۲ میلی‌مولار)، بودند. تیمار منیزیم به مدت ۵ روز از روز ۲۵ تا روز ۳۰ به صورت افزودن به محلول غذایی اعمال شد. تیمارهای شوری از روز ۳۰ تا آخرین روز کشت اعمال و گیاهان در روز ۴۸ برداشت شدند. جهت اجتناب از انباشتگی نمک گلدان‌ها یک روز در میان با آب مقطر شستشو و بالافاصله محلول غذایی دارای شوری مورد نظر افزوده شد.

سنجش پارامترهای رشد: پس از برداشت نمونه‌ها، وزن تر برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌ها با ترازوی حساس تعیین شد. همچنین طول ریشه‌ها و سطح برگ‌ها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها برای سنجش وزن خشک در آون به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند و سپس توزین شدند.

سنجش محتوای آب در واحد سطح برگ (**LWCA**): از رابطه معادله ۱ محاسبه و بر حسب $g(H_2O)m^{-2}$ ارایه گردید.

$$LWCA= (LFw - LDw)/L$$ معادله ۱

در رابطه فوق LFw نشان‌دهنده وزن‌تر و LDw نشان-دهنده وزن‌خشک و L نشان‌دهنده سطح برگ‌ها است.

استخراج و اندازه‌گیری کاتیون‌ها: نمونه‌های برگی، ساقه‌ای و ریشه‌ای خشک، در کوره الکتریکی به مدت ۸ ساعت در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد خاکستر شدند. خاکستر حاصل با اسیدنیتریک رقیق محلول گردید. سدیم

و پتاسیم به روش شعله سنجی (۶) و کلسیم و منیزیم به روش کمپلکسومتری اندازه‌گیری شدند (۲۹).

تعیین پتانسیل اسمزی: برای اندازه‌گیری پتانسیل اسمزی، نمونه های برگی پس از چند بار انجماد در دمای ۲۰- درجه سانتیگراد و ذوب تخریب شدند. برای استخراج و جداسازی شیره سلولی، نمونه های برگی تخریب شده به مدت ۱۵ دقیقه در ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ (مدل EBA، شرکت Hettich آلمان) شدند. اسمولالیته شیره سلولی با اسمومتر انجمادی (مدل OSMOMAT 030، شرکت GONOTEC آلمان) تعیین شد. پتانسیل اسمزی از معادله وانت‌هوف (معادله۲) در دمای ۲۵ درجه-سانتی‌گراد محاسبه و برحسب مگاپاسگال گزارش گردید (۶).

$$\Psi_{\pi}^{100}\,(\mathrm{MPa}) = 0.002437 \quad \text{معادله۲}$$
$$(\mathrm{m^3 \cdot MPa \cdot mol^{-1}}) \times \mathrm{osmolality}\ (\mathrm{mol/m^3})$$

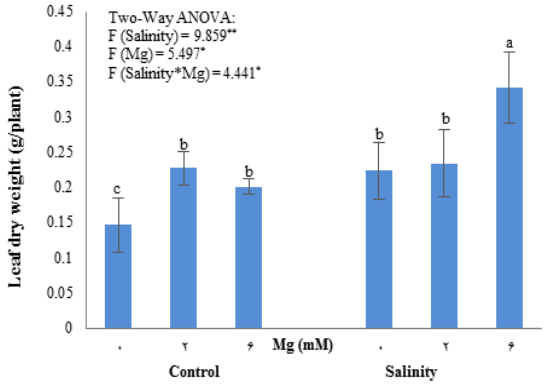
سنجش درصد سهم اسمزی سدیم و پتاسیم در پتانسیل اسمزی: غلظت سدیم و پتاسیم موجود در شیره سلولی به روش شعله‌سنجی تعیین و سپس سهم اسمزی سدیم و پتاسیم از رابطه وانت هوف محاسبه و درصد سهم آن گزارش گردید (۶).

آنالیز آماری و تحلیل داده‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. انجام آنالیزهای آماری با استفاده از نرم افزار SPSS 17 با تجزیه واریانس دو-طرفه (ANOVA) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. از نرم افزار Excel برای ترسیم اشکال استفاده شد.

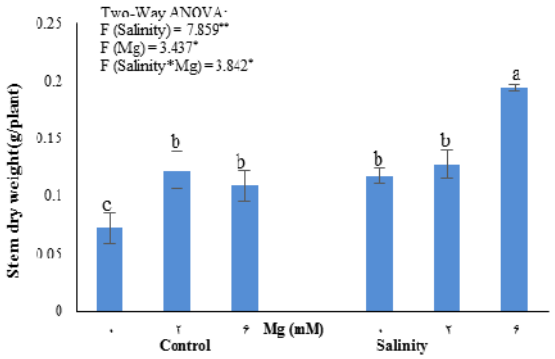
نتایج

رشد: بر اساس داده‌های تجزیه واریانس تاثیر شوری، منیزیم و برهمکنش شوری و منیزیم به‌صورت معنی‌دار موجب افزایش وزن خشک برگ‌های اسفندک شد (شکل ۱).



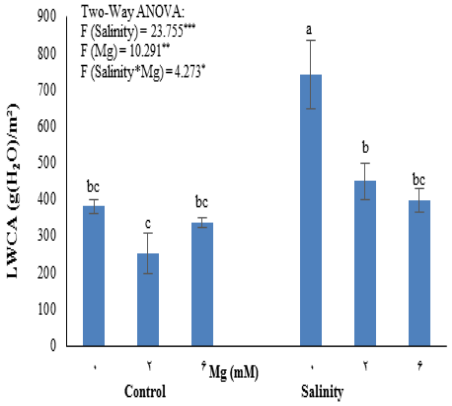
شکل ۱- تاثیر شوری و منیزیم بر مقادیر میانگین وزن خشک برگ‌های اسفندک (۴ تکرار ±SE). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P \leq$ ۰/۰۵ است. در کل نمودارها *، **، ***و ns : بترتیب بیانگر معنی‌داری در P= ۰/۰۵ و P= ۰/۰۱ و P= ۰/۰۰۱ و بی‌معنی می‌باشند.

افزایش وزن خشک ساقه‌های اسفندک از الگوی به‌دست آمده برای برگ‌ها پیروی نمود و نشان داد که برهم‌کنش شوری و منیزیم به‌صورت معنی‌دار موجب افزایش وزن خشک ساقه گردیده است (شکل ۲).



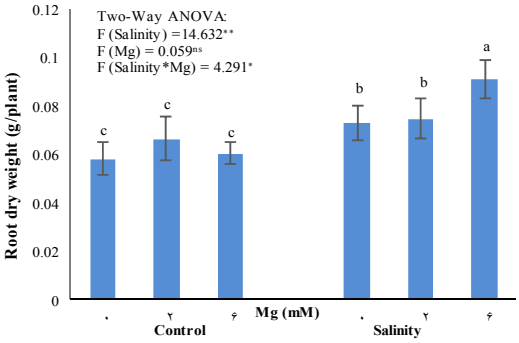
شکل ۲- **تاثیر شوری بر** میانگین وزن خشک ساقه‌های اسفندک (۴ تکرار ±SE). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P \leq$ ۰/۰۵ است. در کل نمودارها *، **، ***و ns : بترتیب بیانگر معنی‌داری در P= ۰/۰۵ و P= ۰/۰۱ و P= ۰/۰۰۱ و بی‌معنی می‌باشند.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تیمار شوری توأم با منیزیم تاثیر مثبت و معنی‌داری بر وزن خشک ریشه‌ها داشت (شکل ۳).



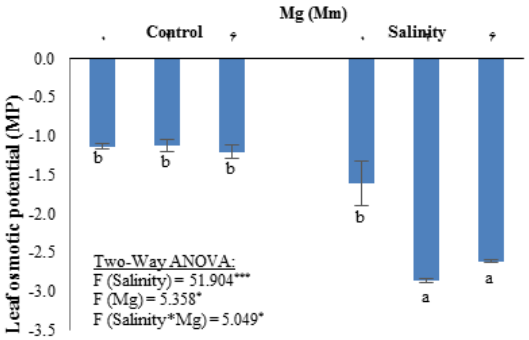
شکل ۳- تاثیر شوری و منیزیم بر مقادیر میانگین وزن خشک ریشه های اسفندک (۴ تکرار ±SE). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح P ≥ ۰/۰۵ است. در کل نمودارها *، **، ***و ns : بترتیب بیانگر معنی‌داری در P= ۰/۰۵ و P= ۰/۰۱ و P= ۰/۰۰۱ و بی‌معنی می‌باشند.

میزان آب در واحد سطح برگ (LWCA): بر اساس داده‌های تجزیه واریانس، تیمار شوری موجب افزایش معنی‌دار میزان آب در واحد سطح برگ شد (شکل ۴). اما محلول دهی با منیزیم منجر به کاهش معنی‌دار میزان LWCA شد.



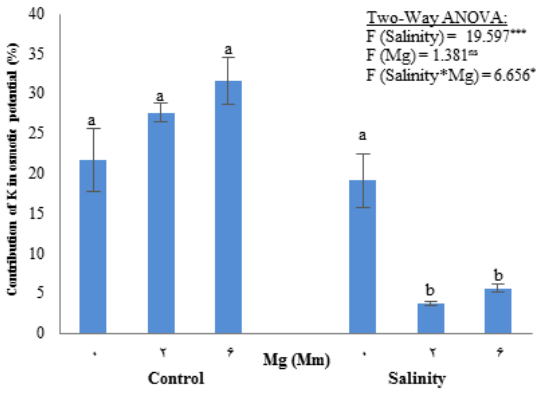
شکل ۴- تاثیر شوری و منیزیم بر مقادیر میانگین میزان آب در واحد سطح برگ‌های اسفندک (۴ تکرار± SE). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح P ≥ ۰/۰۵ است. در کل نمودارها *، **، ***و ns : به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در P= ۰/۰۵ و P= ۰/۰۱ و P= ۰/۰۰۱ و بی‌معنی می‌باشند.

پتانسیل اسمزی برگ‌ها: نتایج حاصل از این تحقیق روی پتانسیل اسمزی برگ‌ها نشان داد که شوری تاثیر معنی‌دار در کاهش پتانسیل اسمزی برگ‌های اسفندک داشت (شکل ۵). اگرچه تیمار منیزیم بر پتانسیل اسمزی برگ‌ها تاثیری را نشان نداد ولی همراهی تیمار شوری و منیزیم موجب منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی سلول‌های برگی شد.



شکل ۵- تاثیر شوری و منیزیم بر مقادیر میانگین پتانسیل اسمزی برگ‌های اسفندک (۴ تکرار ±SE). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح P ≥ ۰/۰۵ است. در کل نمودارها *، **، ***و ns : بترتیب بیانگر معنی‌داری در P= ۰/۰۵ و P= ۰/۰۱ و P= ۰/۰۰۱ و بی‌معنی می‌باشند.

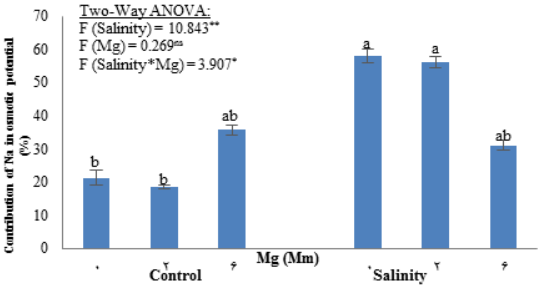
درصد سهم پتاسیم در پتانسیل اسمزی: بر اساس داده‌ها شوری درصد سهم پتاسیم در پتانسیل اسمزی را کاهش داد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس تاثیر تیمار منیزیم بر سهم پتاسیم در پتانسیل اسمزی سلول‌های برگی معنی‌دار نبود. باحضور منیزیم در شرایط شور دخالت پتاسیم در پتانسیل اسمزی به کمینه مقدار کاهش یافت (شکل ۶).



شکل ۶- تاثیر شوری و منیزیم بر مقادیر میانگین سهم پتاسیم در پتانسیل اسمزی برگ‌های اسفندک (۴ تکرار ±SE). **حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح P ≥ ۰/۰۵ است. در کل نمودارها *، **، ***و ns : بترتیب بیانگر معنی‌داری در P= ۰/۰۵**

و ۰/۰۱ =P و ۰/۰۰۱ =P و بی‌معنی می‌باشند.

درصد سهم سدیم در پتانسیل اسمزی: شوری به‌طور معنی‌دار درصد سهم سدیم در پتانسیل اسمزی برگ‌های اسفندک را افزایش داد (شکل ۷). تیمار منیزیم اختلاف معنی‌داری در درصد سهم سدیم در پتانسیل اسمزی ایجاد نکرد. براساس داده‌های تجزیه واریانس، تیمار منیزیم در شرایط شور موجب کاهش دخالت سهم سدیم در پتانسیل اسمزی برگ گیاهان شد.



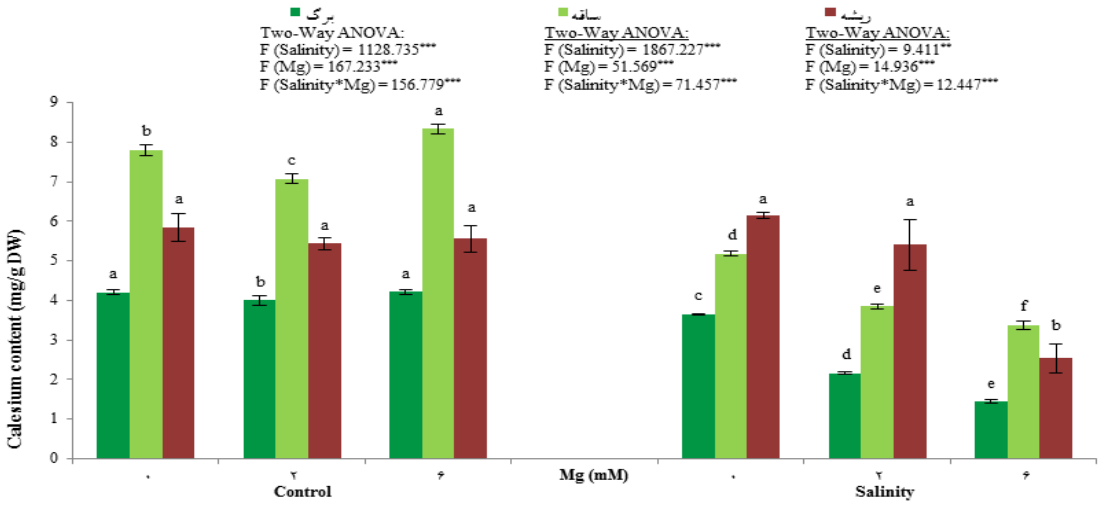
شکل ۷- تاثیر شوری و منیزیم بر مقادیر میانگین سهم سدیم در پتانسیل اسمزی برگ‌های اسفندک (۴ تکرار ±SE). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح P ≥ ۰/۰۵ است. در کل نمودارها *، **، ***و ns : بترتیب بیانگر معنی‌داری در P= ۰/۰۵ و P= ۰/۰۱ و P= ۰/۰۰۱ و بی‌معنی می‌باشند.

کلسیم: نتایج حاصل از اثرات شوری و منیزیم بر محتوای کلسیم برگ‌ها و ساقه ها نشان داد که شوری موجب کاهش معنی‌دار محتوای کلسیم برگ‌ها وساقه‌ها نسبت به شاهد شد (شکل ۸). اثر برهم‌کنش دو عامل اصلی شوری و منیزیم موجب کاهش بیش از پیش میزان کلسیم بافت-های برگ و ساقه گردید، به‌طوری که بیشینه کاهش در تیمار شوری توام با منیزیم بالا مشاهده گردید. در این تحقیق اگرچه بین سطوح مختلف منیزیم در عدم حضور شوری و همچنین تیمار شاهد و شوری فاقد منیزیم اختلاف معنی‌دار مشاهده نگردید ولی بر اساس نتایج تجزیه واریانس هر دو عامل شوری و منیزیم تاثیر معنی‌دار در تغییرات میزان کلسیم ریشه‌ها نشان دادند.

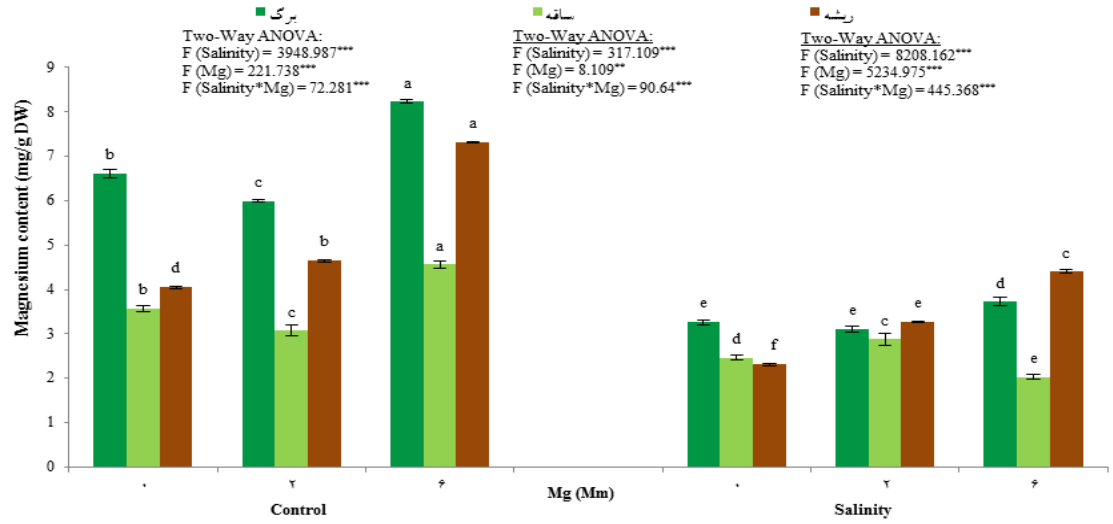
منیزیم: نتایج حاصل از اثرات شوری بر محتوای منیزیم برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه گیاهان اسفندک نشان داد که شوری موجب کاهش معنی‌دار محتوای منیزیم آنها نسبت به شاهد شد (شکل ۹). در کل غلظت‌های بالای منیزیم موجب افزایش غلظت منیزیم در اندام‌های مختلف گیاه اسفندک شد. در برگ و ریشه اسفندک، تیمار منیزیم توام با شوری با یک روند وابسته به میزان حضور منیزیم در محیط به شکل معنی‌داری میزان منیزیم در بافت‌های گیاهی را افزایش داد.

سدیم: براساس داده‌های تجزیه واریانس شوری، منیزیم و اثر متقابل آنها بر میزان سدیم بافت‌های برگی تاثیر معنی‌دار داشتند (شکل ۱۰). با افزایش غلظت منیزیم در محیط ریشه از محتوای درون بافتی سدیم برگ‌ها کاسته شد. در مورد ریشه و ساقه گیاهان اسفندک تیمار منیزیم و اثر متقابل آن با شوری برای میزان سدیم معنی‌دار نبود ولی تیمار شوری موجب افزایش سدیم این اندام‌ها شد.

پتاسیم: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که منیزیم و اثر متقابل آن با شوری بر میزان پتاسیم بافت‌های برگی تاثیر معنی‌داری نداشت. شوری موجب کاهش معنی-دار محتوای پتاسیم برگ‌ها شد (شکل ۱۱). الگوی داده‌های پتاسیم ریشه‌ها طوری بود که هیچ عاملی (شوری، منیزیم و اثر متقابل آنها) اثر معنی‌دار نشان نداد. در ساقه گیاهان اثر متقابل شوری و منیزیم تغییر معنی‌دار میزان پتاسیم ایجاد نکرد ولی در کل هر دو عامل شوری و منیزیم به طور مجزا موجب کاهش محتوای پتاسیم شدند. نتایج حاصل از اثرات شوری بر محتوای پتاسیم برگ‌ها نشان داد که شوری موجب کاهش معنی‌دار محتوای پتاسیم برگ‌ها شد. تیمار منیزیم اختلاف معنی‌داری در محتوای پتاسیم برگ نشان نداد. محتوای پتاسیم برگ در گیاهان با تیمار شوری توام با منیزیم کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد ولی نسبت به شوری اختلاف معنی‌دار نشان نداد. نتایج حاصل از اثرات شوری بر محتوای پتاسیم ساقه‌ها نشان داد که شوری موجب کاهش معنی‌دار محتوای پتاسیم ساقه‌ها شد.

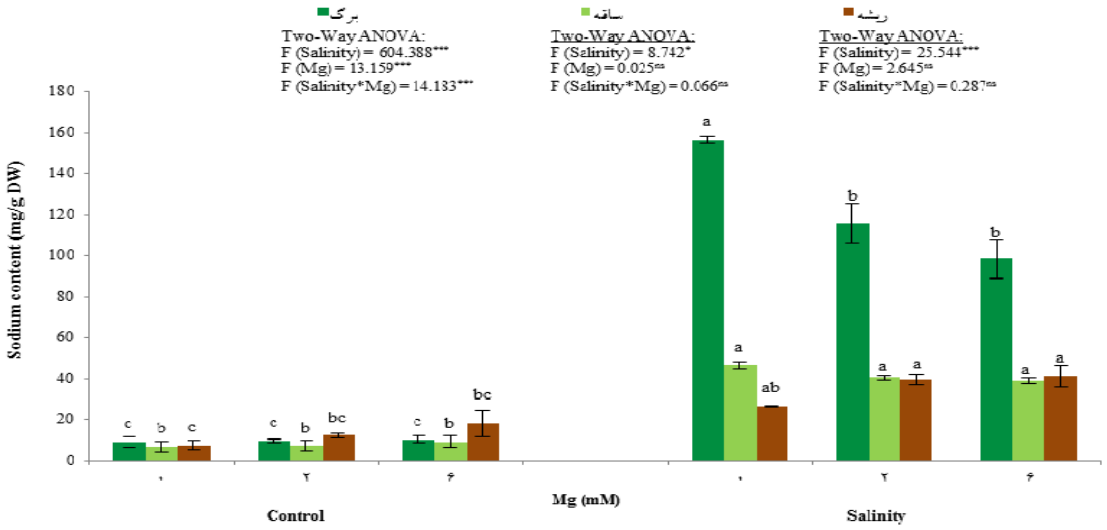


شکل ۸- تاثیر شوری و منیزیم بر مقادیر میانگین کلسیم برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌های اسفندک (۴ تکرار ±SE). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P \geq$ ۰/۰۵ است. در کل نمودارها *، **، ***و ns : بترتیب بیانگر معنی‌داری در P= ۰/۰۵ و P= ۰/۰۱ و P= ۰/۰۰۱ و بی‌معنی هستند.

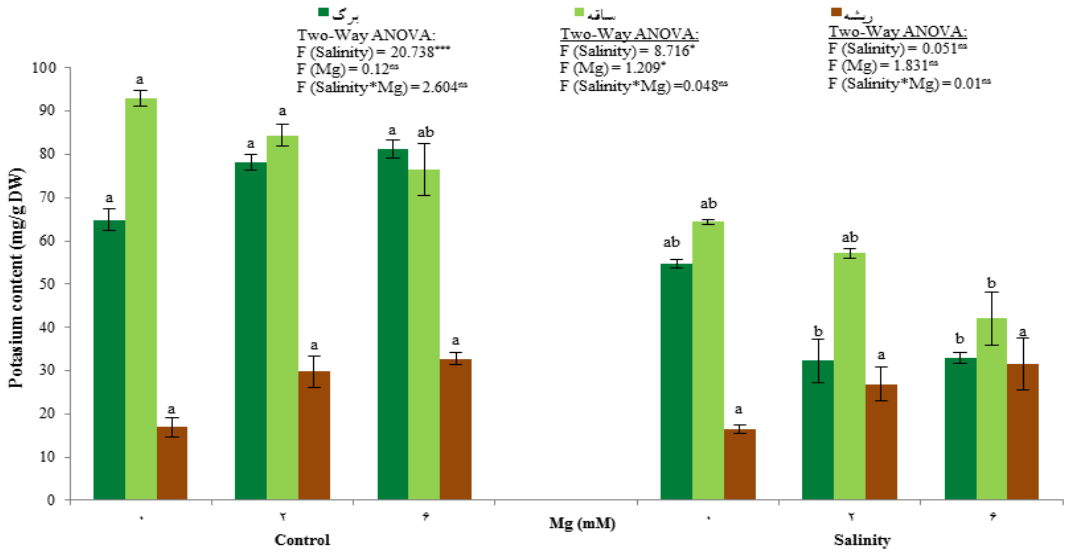


شکل ۹- تاثیر شوری و منیزیم بر مقادیر میانگین منیزیم برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌های اسفندک (۴ تکرار ±SE). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P \geq$ ۰/۰۵ است. در کل نمودارها *، **، ***و ns : بترتیب بیانگر معنی‌داری در P= ۰/۰۵ و P= ۰/۰۱ و P= ۰/۰۰۱ و بی‌معنی هستند.

تیمار منیزیم با غلظت ۶ میلی‌مولار کمی کاهش در محتوای پتاسم ساقه نسبت به شاهد نشان داد ولی به‌طور کلی اختلاف معنی‌داری در محتوای پتاسیم ساقه مشاهده نشد. محتوای پتاسیم ساقه در گیاهان با تیمار شوری توام با منیزیم بخصوص با غلظت ۶ میلی‌مولار کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد ولی نسبت به شوری اختلاف نشان نداد. نتایج حاصل از اثر تیمارهای شوری، منیزیم و شوری توام با منیزیم بر محتوای پتاسیم ریشه‌ها اختلاف معنی‌داری نشان نداد.



شکل ۱۰- تاثیر شوری و منیزیم بر مقادیر میانگین سدیم برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌های اسفندک (۴ تکرار ±SE). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P \geq$ ۰/۰۵ است. در کل نمودارها *، **، ***و ns : بترتیب بیانگر معنی‌داری در P= ۰/۰۵ و P= ۰/۰۱ و P= ۰/۰۰۱ و بی‌معنی هستند.



شکل ۱۱- تاثیر شوری و منیزیم بر مقادیر میانگین پتاسیم برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌های اسفندک (۴ تکرار ±SE). حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P \geq$ ۰/۰۵ است. در کل نمودارها *، **، ***و ns : بترتیب بیانگر معنی‌داری در P= ۰/۰۵ و P= ۰/۰۱ و P= ۰/۰۰۱ و بی‌معنی هستند.

تیمار منیزیم کمی افزایش در محتوای پتاسیم ریشه‌ها نشان داد که از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد (نمودار۱۱).

بحث

رشد: جهت تجزیه و تحلیل میزان رشد گیاه اسفندک، وزن خشک اندام‌های مختلف می‌تواند بیانگر وضعیت رشدی گیاه باشد. از جمله شاخص‌هایی که جهت بررسی میزان رشد استفاده می‌شود، وزن تر وخشک است. افزایش وزن تر به صورت غیرمستقیم نشان دهنده رشد گیاه می‌باشد. از آنجایی که آب بافت‌ها در وزن خشک دخالتی ندارد و

آنچه اندازه‌گیری می‌شود وزن موادی است که در اثر فعالیت‌های متابولیسمی گیاه ساخته شده است، بنابراین وزن خشک شاخص بسیار مناسبی برای اندازه‌گیری رشد می‌باشد. عمده‌ترین اثر تنش شوری بر گیاهان، کاهش رشد است. درحالی‌که با توجه به نمودارهای ۱ الی ۳ می‌توان به تاثیر مثبت و معنی‌دار شوری با غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم و افزودن منیزیم مازاد بر مقدار موجود در محلول غذایی هوگلند، بر رشد همه اندام‌های گیاه اسفندک پی برد. حضور سدیم و منیزیم مازاد نقش موثر و معنی-داری بر ماده‌سازی و رشد برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌های این گیاه شورپسند گذاشته است. یک هالوفیت واقعی گیاهی است که بتواند چرخه زندگی‌اش را در شرایط شور با بهبود رشدش در شوری متوسط و بقا در شوری بالاتر از ۳۴۰ مول بر متر مربع کلریدسدیم تکمیل کند (۳۹). پس می‌توان اسفندک را یک هالوفیت واقعی نامید زیرا در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار رشد کرده و نقش منیزیم یک نقش کمک کننده بوده است. یکی از دلایل این رشد می‌تواند بهبود وضع آبی برگ‌ها در شرایط محیطی تغییریافته آزمایش باشد. شکل ۴ بوضوح نشانگر تامین و حفظ محتوای آب در تیمار شوری و منیزیم است. در تجربه قبل گروه تحقیقاتی (۳۶) گیاه اسفندک طی ۲۵ روز تیمار شوری۲۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم، تغییری در میزان آب نسبی برگ مشاهده نشد ولی تحت شوری ۴۰۰ میلی‌مولار کاهش معنی‌داری در LWCA مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد در آزمایش حاضر با وجود زمان طولانی‌تر تیمار (۴۸ روز) راهکار گیاه در برابر شوری همان است.

González و همکاران در ۲۰۱۲ ، دلیل مقاومت نسبتا بالای توتون به تنش‌های محیطی را توانایی در حفظ حالت آبی برگ دانستند (۱۳). همچنین ژنوتیپ‌های مقاوم به دماهای پایین نیز از طریق حفظ وضعیت آبی خود قادر به بقاء در این شرایط شده‌اند (۶). در گیاه کلزا حساس به شوری کاهش محتوی نسبی آب در شرایط شور تا ۲۰۰ میلی مولار مشهود است (۲) در حالیکه گیاه مقاوم به شوری مانند اسفندک رفتار متفاوتی را نشان می دهد. دقت در شکل ۵ حکایت از تاثیر پتانسیل آب منفی برگ در تامین و حفظ آب توسط این اندام فتوسنتزی و موثر در رشد دارد. شوری موجب منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی برگ‌ها نسبت به گیاه شاهد شد درحالیکه تیمار منیزیم موجب اختلاف معنی‌داری در پتانسیل اسمزی برگ نشد ولی شوری توأم با منیزیم باعث منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی نسبت به شاهد و حتی نسبت به تیمار شوری شد. یون سدیم در منفی‌تر کردن پتانسیل آب برگ در شرایط شور سهم بیشتری از پتاسیم داشت (شکل ۶و۷). نتایج Ma و همکاران در ۲۰۱۱ (۲۲) نیز حاکی از منفی تر شدن پتانسیل آب برگ و دخالت مستقیم سدیم در ایجاد فشار اسمزی بیشتر می‌باشد.

محتوای کاتیون‌ها: چنین کاهشی در مورد نیتروژن و کلسیم تحت اثر شوری در برگ‌های مرکبات هم نشان داده شده است که این افت کلسیم و نیتروژن تحت تاثیر شوری ممکن است در ارتباط با آسیب‌پذیری مکانیسمی باشد که در انتقال این دو عنصر به برگ‌ها درگیر است (۴۶). در گیاه نیشکر *Sorghum* افزایش غلظت کلسیم، منیزیم، ازت و کربوهیدرات‌های غیرساختاری، تحت تنش شوری، دیده شده است که می‌تواند به‌دلیل تغلیظ عناصر مذکور در اثر کاهش تولید ماده خشک باشد (۳۸). بین کلسیم و سدیم اثر آنتاگونیستی و بین کلسیم و پتاسیم اثر سینرژیستی گزارش شده است (۳۴). تنش شوری، فراهمی کلسیم را برای اندام هوایی در چندین گونه گیاهی مهار می‌کند (۸). تنش شوری تغذیه کلسیمی را درگیاه جو دچار مشکل می-کند و همچنین با مهار انتقال کلسیم از ریشه به اندام هوایی، مقدار کلسیم اندام هوایی را در این گیاه، کاهش می‌دهد. کاهش کلسیم کل، در بافت ریشه تحت تنش شوری ممکن است نتیجه جایگزینی سدیم به‌جای کلسیم در مکان‌های تبادل کاتیونی آپوپلاستی باشد (۲۱). البته بر اساس نتایج ما اختلاف معنی‌داری در محتوای کلسیم ریشه در اثر شوری نسبت به شاهد مشاهده نشد (شکل ۸)، که

ممکن است بدلیل آسیب‌پذیری، مکانیسمی باشد که در انتقال این عنصر به بخش هوایی، و در نتیجه تجمع آن در ریشه باشد. به‌طور کلی بر اساس نتایج تیمار منیزیم و تیمار شوری توام با منیزیم باعث کاهش محتوای کلسیم بافت-های گیاهی در گونه مطالعه شده انجامید که این موضوع احتمالاً بدلیل رقابت منیزیم و کلسیم به‌هنگام جذب می-باشد. غلظت‌های بالای منیزیم محیط همراه با افزایش منیزیم بافت گیاهی، باعث کاهش محتوای کلسیم بافت گیاهی می‌شود (۱۴).

از جمله اینکه کاهش منیزیم در اثر افزایش شوری در کلم زراعی مشاهده گردید، و حال آن که شوری در خردل حبشی افزایش منیزیم را موجب شده است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷). تیمار شوری در مرکبات غلظت منیزیم برگ را کاهش می‌دهد (۳۲). در حالیکه در گلابی، پسته و سیب تغییری ایجاد نمی‌کند (۲۶; ۳۱; ۴۲). در چغندر افزایش شوری غلظت منیزیم برگ را کاهش می‌دهد (۱۴). بر اساس نتایج تیمار منیزیم باعث افزایش محتوای منیزیمی بافت گیاهی نسبت به شاهد شد که این به‌دلیل جذب زیاد منیزیم توسط ریشه و انتقال آن به بخش‌هوایی است. ولی تیمار شوری توام با منیزیم در محتوای منیزیم بافتی نسبت به شاهد کاهش نشان داد ولی نسبت به تیمار شوری افزایش داشت.

بر اساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر، شوری افزایش معنی‌دار محتوای سدیم برگ را موجب شده است که این حالت امری اجتناب ناپذیر است (شکل ۱۰). نتیجه مشابه با آن در مورد گیاه برنج (۴۳)، نیز دو واریته از کلزا (۱)، مرکبات (۳۲) و جو(۲۱) دیده شده است. همچنین در *Brassica juncea*، با افزایش شوری، غلظت سدیم افزایش نشان داده است (۳۷). تیمار منیزیم اختلاف معنی‌داری در محتوای سدیم نشان نداد ولی شوری توام با منیزیم باعث افزایش محتوای سدیم بافت گیاهی بویژه برگ انجامید.

گیاهان هنگام مواجه شدن با تنش شوری پتانسیل اسمزی خود را با جذب سدیم و کلر و یا سنتز و تجمع اسمولیت های سازگار از قبیل پرولین که در تنظیم اسمزی شرکت می‌کنند، افزایش می‌دهند. منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی منجر به نگهداری تورگور در گیاهان تحت تنش شوری دیده شده است. در شرایط شوری بالا گیاهان نیاز به حفظ پتانسیل آب منفی‌تر از خاک و جذب آب برای نگهداری تورگور و رشد دارند. این نیاز میزان اسمولیت‌ها را افزایش می‌دهد که به وسیله جذب نمک یا سنتز مواد محلول متابولیک می‌باشد. برای حفظ تعادل یونی در واکوول‌ها، ترکیبات با جرم مولکولی پایین (مواد محلول سازگار) در سیتوپلاسم تجمع می‌یابند. این ترکیبات به طور مستقیم در واکنش‌های بیوشیمیایی دخالت نمی‌کنند بلکه با منفی‌تر ساختن پتانسیل آب سیتوپلاسم، موجب جذب آب می-شوند. این متابولیت‌ها ساختارهای سلولی را نیز حفظ می-کنند (۲۹). در تأیید نتایج ما منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی در گیاه تربچه گزارش شده است (۱۵). بر اساس نتایج شوری موجب کاهش معنی‌دار محتوای پتاسیم برگ‌ها و ساقه‌های گونه مطالعه شده انجامید ولی در محتوای پتاسیم ریشه‌ها اختلاف معنی‌دار نشان نداد (شکل ۱۱).

این کاهش ممکن است ناشی از رقابت بین پتاسیم و سدیم در مکان‌های جذب در غشای پلاسمایی باشد (۹). نتیجه تقریباً برعکس در مرکبات گزارش شده است که شوری غلظت پتاسیم ریشه را کاهش داده است در حالیکه روی مقدار پتاسیم برگ‌ها اثر نداشته است. این کاهش پتاسیم می‌تواند ناشی از جانشین شدن سدیم به‌جای پتاسیم به-عنوان اثر مستقیم و یا جانشین شدن سدیم به‌جای کلسیم در غشاهای سلول‌های ریشه باشد که منجر به نشت پتاسیم از ریشه و نهایتاً کاهش آن در ریشه می‌گردد که یک اثر غیرمستقیم می‌باشد (۳۲). احتمال دارد حساسیت بالای مرکبات به شوری به این مورد مربوط باشد. همچنین شوری باعث کاهش پتاسیم ریشه و بخش هوایی یونجه می‌شود که کاهش در بخش هوایی مشابه نتایج ماست (۳)

زیرا یونجه نیز درجاتی از تحمل به شرایط شور را نشان می‌دهد. طبق نتایج ما تیمار منیزیم اختلاف معنی‌داری روی محتوای پتاسیم بافت گیاهی نداشته ولی تیمار شوری توام با منیزیم باعث کاهش معنی‌دار محتوای پتاسیمی بافت گیاهی شده است (شکل ۱۱).

کلسیم قابل استفاده گیاه به کسر مولی کلسیم بستگی دارد. کسر مولی کلسیم، نسبت کلسیم به مجموع کل کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم است. با افزایش منیزیم، پتاسیم و سدیم این نسبت کاهش و در نتیجه کلسیم قابل استفاده گیاه کاهش می‌یابد. کلسیم نقش به‌سزایی در تکامل غشای سلولی ریشه بر عهده دارد و کمبود آن می‌تواند موجب برهم‌خوردن وظایف غشاء و نفوذپذیری آن شده و با تجمع یون‌های سمی سدیم و کلر جذب شده موجب کاهش عملکرد گیاه شود. از آنجایی که بین منیزیم، کلسیم و پتاسیم برای محل‌های جذب روی غشاهای ریشه رقابت وجود دارد، بنابراین غلظت بالای منیزیم در خاک ممکن است با ایجاد کمبود کلسیم در گیاه سبب کاهش تحمل آن به شوری شود و هچنین با کاهش پتاسیم کیفیت میوه را تحت تاثیر قرار دهد (۲۷).

نتیجه‌گیری

در اغلب موارد گیاهان تحت شرایط محیطی سخت مانند شوری، دمای کم یا زیاد و خشکی می‌رویند. در شرایط دشوار تعادل بین واکنش‌های وابسته به نور (تولید انرژی و نیروی احیایی طی زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی) و واکنش‌های مستقل از نور (تثبیت دی‌اکسیدکربن) برهم می‌خورد. از آنجا که مقادیر کافی و مناسب از عناصر تغذیه‌ای برای نگهداری و مراقبت از زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی و متابولیسم کربن مورد نیاز است، نقص وضعیت تغذیه‌ای عناصر معدنی در شرایط محیطی دشوار می‌تواند آسیب فتواکسیداتیو را تشدید کند و کارایی گیاه را محدود نماید. گیاهانی که در معرض تنش‌های محیطی هستند به مقادیر مازاد از عناصر تغذیه‌ای بویژه نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، کلسیم و روی نیاز دارند تا اثرات مخرب تنش‌ها را به حداقل برسانند. بنظر می‌رسد که بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاهان برای کاستن از اثرات مضر تنش-های محیطی بر رشد و عملکرد گیاه موثر باشد. بقای گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی به توانای گیاه در توسعه دادن مکانیسم‌های سازشی برای اجتناب از تنش یا مقاومت به تنش بستگی دارد. وضعیت عناصر غذایی به-شدت توانایی آن برای سازش به شرایط محیطی بد را تحت تاثیر قرار می‌دهد. نتایج پژوهش حاضر در تایید مطالب فوق اثبات می‌کند که افزودن مقدار منیزیم مناسب به محیط رشد اسفندک، می‌تواند از طریق ایجاد تغییرات مناسب در نحوه جذب و انباشتگی سایر عناصر، رشد گیاه را در شرایط شور بهبود ببخشد. همچنین این یافته‌ها نشان می‌دهد که در محیط‌شور اسفندک قادر به انباشتگی غلظت بالای سدیم در برگ‌های خود است و از آن به طور مستقیم برای تنظیم اسمزی استفاده می‌کند که منجر به بهبود وضعیت آبی برگ و از این طریق بهبود رشد می‌شود.

سپاسگزاری

نگارندگان از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه‌شهیدمدنی آذربایجان بخاطر حمایت مالی سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع

1. Ahmadi SH, Ardekani JN. 2006. The effect of water salinity on growth and physiological stages of eight Canola (*Brassica napus*) cultivars. *Irrigation Science* 25:11-20

2. Amooaghaie R, Ghorban Nejad Neirizi H, Mostajeran A. 2014. The effect of salinity on seedling growth, chlorophyll content, relative water content and membrane stability in two canola cultivars. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 27:256-68

3. Ashraf M, O'Leary J. 1994. Does pattern of ion accumulation vary in alfalfa at different growth stages? *Journal of plant nutrition* 17:1443-61
4. Bose J, Rodrigo-Moreno A, Lai D, Xie Y, Shen W, Shabala S. 2014. Rapid regulation of the plasma membrane H^+-ATPase activity is essential to salinity tolerance in two halophyte species, *Atriplex lentiformis* and *Chenopodium quinoa*. *Annals of botany* 115:481-94
5. Cakmak I. Role of mineral nutrients in tolerance of crop plants to environmental stress factors. *Proc. Proceedings from the International Symposium on Fertigation–Optimizing the Utilization of Water and Nutrients*, *2005*:35-48:
6. Cakmak I, Kirkby EA. 2008. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiologia plantarum* 133:692-704
7. Chaparzadeh N, Khavarinejad R.A, Navari-Izzo F, Izzo R. 2003. Water relation and ionic balance in *Calendula officinalis* under salinity. *Agrochimica* 47:69-79
8. Cramer GR. 2002. Sodium-calcium interactions under salinity stress. In *Salinity: Environment-plants-molecules*:205-27: Springer. Number of 205-27 pp.
9. Epstein E. 1966. Dual pattern of ion absorption by plant cells and by plants. *Nature* 212:1324-7
10. Flowers TJ, Colmer TD. 2008. Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist* 179:945-63
11. Flowers TJ, Colmer TD. 2015. Plant salt tolerance: adaptations in halophytes. *Annals of botany* 115:327-31
12. Ghahreman A. 1997. Flora of Iran. *Tehran: Research Institute of Forests and Rangelands 250p.-col. illus.. Pe, Fr, En Icones, Maps. Geog* 2
13. González A, Tezara W, Rengifo E, Herrera A. 2012. Ecophysiological responses to drought and salinity in the cosmopolitan invader *Nicotiana glauca*. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 24:213-22
14. Grattan S, Grieve C. 1998. Salinity–mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia horticulturae* 78:127-57
15. Hosseinzad-Behbood E, Chaparzadeh N, Dilmaghani K. 2014. Effect of salicylic acid on growth parameters, osmolytes and osmotic potential in radish (*Raphanus sativus* L.) under salt stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*27: 32-40
16. Khoshgoftarmanesh A, Siadat H. 2002. Mineral nutrition of vegetables and horticultural crops in saline conditions. *Tehran, Iran: Agricultural Ministry, Deputy of Horticulture*:87
17. Kobayashi H, Masaoka Y, Sato S. 2005. Effects of excess magnesium on the growth and mineral content of rice and *Echinochloa*. *Plant production science* 8:38-43
18. Kronzucker HJ, Coskun D, Schulze LM, Wong JR, Britto DT. 2013. Sodium as nutrient and toxicant. *Plant and soil* 369:1-23
19. Lefèvre I, Correal E, Lutts S. 2010. Impact of cadmium and zinc on growth and water status of *Zygophyllum fabago* in two contrasting metallicolous populations from SE Spain: comparison at whole plant and tissue level. *Plant Biology* 12:883-94
20. Lefèvre I, Vogel-Mikuš K, Jeromel L, Vavpetič P, Planchon S, et al. 2014. Differential cadmium and zinc distribution in relation to their physiological impact in the leaves of the accumulating *Zygophyllum fabago* L. *Plant, cell & environment* 37:1299-320
21. Lynch J, Läuchli A. 1985. Salt stress disturbs the calcium nutrition of barley (*Hordeum vulgare* L.). *New Phytologist* 99:345-54
22. Ma Q, Yue L-J, Zhang J-L, Wu G-Q, Bao A-K, Wang S-M. 2011. Sodium chloride improves photosynthesis and water status in the succulent xerophyte *Zygophyllum xanthoxylum. Tree Physiology* 32:4-13
23. Machado RMA, Serralheiro RP. 2017. Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. *Horticulturae* 3:30
24. Mengutay M, Ceylan Y, Kutman UB, Cakmak I. 2013. Adequate magnesium nutrition mitigates adverse effects of heat stress on maize and wheat. *Plant and soil* 368:57-72
25. Millar J, Roots J. 2012. Changes in Australian agriculture and land use: implications for future food security. *International journal of agricultural sustainability* 10:25-39
26. Myers BA, West DW, Callinan L, Hunter CC. 1995. Long term effects of saline irrigation on the yield and growth of mature Williams pear trees. *Irrigation Science* 16:35-46
27. Nguyen HH, Maneepong S, Suraninpong P. 2017. Effects of potassium, calcium, and magnesium ratios in soil on their uptake and fruit quality of Pummelo. *Journal of Agricultural Science* 9:110

28. Parida AK, Das AB. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety* 60:324-49

29. Parvaiz A, Satyawati S. 2008. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants-a review. *Plant Soil and Environment* 54:89

30. Pereira CM, Neiverth CA, Maeda S, Guiotoku M, Franciscon L. 2011. Complexometric titration with potenciometric indicator to determination of calcium and magnesium in soil extracts. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35:1331-6

31. Picchioni G, Miyamoto S, Storey J. 1990. Salt effects on growth and ion uptake of pistachio rootstock seedlings. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115:647-53

32. Pinheiro C, Chaves MM, Ricardo CP. 2001. Alterations in carbon and nitrogen metabolism induced by water deficit in the stems and leaves of *Lupinus albus* L. *Journal of Experimental Botany* 52:1063-70

33. Rao KM, Raghavendra A, Reddy KJ. 2006. *Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants*. Springer Science & Business Media

34. Renault S, Affifi M. 2009. Improving NaCl resistance of red-osier dogwood: role of $CaCl_2$ and $CaSO_4$. *Plant and soil* 315:123

35. Ruan C-J, da Silva JAT, Mopper S, Qin P, Lutts S. 2010. Halophyte improvement for a salinized world. *Critical Reviews in Plant Sciences* 29:329-59

36. Saeedifar R, Chaparzadeh N. 2016. Interactive effects of salinity and Nitric oxide on water relations of *Zygophyllum fabago* L. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 29:675-85

37. Shirazi M, Khan M, Khanzada B, Mujtaba S, Ali M, et al. 2007. Salt tolerance studies in some mutants of brassica (*Brassica juncea*, cv: s-9). *Pakistan Journal of Botany* 39:2495-500

38. Sinha A, Gupta S, Rana R. 1986. Effect of soil salinity and soil water availability on growth and chemical composition of *Sorghum halepense* L. *Plant and soil* 95:411-8

39. Ungar IA. 1991. Ecophysiology of vascular halophytes. CRC press

40. Valentine J, Clifton-Brown J, Hastings A, Robson P, Allison G, Smith P. 2012. Food vs. fuel: the use of land for lignocellulosic 'next generation'energy crops that minimize competition with primary food production. *Gcb Bioenergy* 4:1-19

41. Vernon W. 1988. The role of magnesium in nucleic-acid and protein metabolism. *Magnesium* 7:234-48

42. West D. 1978. Water use and sodium chloride uptake by apple trees: I. The effect of non-uniform distribution of sodium chloride in the root zone. *Plant and Soil*:37-49

43. Yeo A, Caporn S, Flowers T. 1985. The effect of salinity upon photosynthesis in rice (*Oryza sativa* L.): gas exchange by individual leaves in relation to their salt content. *Journal of Experimental Botany* 36:1240-8

44. Yildirim E, Karlidag H, Turan M. 2009. Mitigation of salt stress in strawberry by foliar K, Ca and Mg nutrient supply. *Plant Soil Environ* 55:213-21

45. Yuan H-J, Ma Q, Wu G-Q, Wang P, Hu J, Wang S-M. 2014. ZxNHX controls Na^+ and K^+ homeostasis at the whole-plant level in *Zygophyllum xanthoxylum* through feedback regulation of the expression of genes involved in their transport. *Annals of Botany* 115:495-507

46. Zekri M, Parsons LR. 1992. Salinity tolerance of citrus rootstocks: Effects of salt on root and leaf mineral concentrations. *Plant and soil* 147:171-81

Interactive effects of salinity and magnesium on water and ionic relations of Zygophillum fabago L.

Zarandi-Miandoab L., Chaparzadeh N. and Fekri-Shali H.

Dept. of Biology, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, I.R. of Iran

Abstract

In order to investigate the interaction effects of salinity and magnesium on growth, physiological characteristics and content of some nutrients in *Zygophyllum fabago* plants, a completely randomized factorial experiment designed with four replications and was carried out in perlite with Hoagland solution. The treatments consisted of two levels of salinity of sodium chloride (0 and 300 mM) and three levels of 0, 2 and 6 mM magnesium over on magnesium content in Hoagland (2 mM). The application of magnesium in saline conditions led to an increase in the dry weight of the shoot and root. Salinity increased leaf water content. While the salinity and magnesium interaction led to a relative decrease in LWCA. Salinity and its interaction with magnesium led to a negative effect of osmotic potential of leaves, which was a more negative contribution of sodium in saline treatments than control, but the interaction of salinity and magnesium decreased significantly contribution of potassium to osmotic potential. Salinity and magnesium reduced the amount of calcium, magnesium and potassium and increased the sodium content of the *Zygophyllum* organs. It seems that adding the appropriate amount of magnesium to the growth medium can improve plant growth under saline conditions by introducing appropriate changes in the absorption and accumulation of other elements. Also, these findings indicate that in the environment of the *Zygophyllum* it can accumulate high concentration of sodium in its leaves and used it directly for osmotic regulation, which reduces the leaf water potential, improves the leaf water condition and thus improve growth.

Key words: *Zygophyllum fabago* L., Salinity, Magnesium, Growth, Osmotic potential, Element distribution.