فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۵ شماره ۱، صفحه ۱۳۶-۱۲۷، (۱۳۹۶)

پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک نونهال‌های پده (*Populus euphratica* Oliv.) به تنش شوری در شرایط گلخانه

عباس احمدی [۱*]، حسین بیات [۲] و حسین توکلی نکو [۳]

۱*- نویسنده مسئول، گروه علوم مرتع، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
پست الکترونیک: a-ahmadi@iau-arak.ac.ir
۲- کارشناس ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
۳- مربی پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قم، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قم، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۲۲

چکیده

پژوهش پیش‌رو به‌منظور ارزیابی تأثیر تنش شوری بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک نونهال‌های پده (*Populus euphratica* Oliv.) به‌صورت گلخانه‌ای اجرا شد. قلمه‌ها از شاخه‌های یک‌ساله درختان پده موجود در مراتع بیابانی معصومیه قم جمع‌آوری شدند و در گلدان‌های حاوی مخلوط یکنواختی از شن، ماسه و خاک زراعی کاشته شدند. سپس تنش شوری با استفاده از غلظت‌های مختلف کلریدسدیم در چهار سطح ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار همراه با شاهد دو بار در هفته به مدت دو ماه همراه با آب آبیاری، اعمال شد. نتایج نشان داد که تنش شوری ۴۰۰ میلی‌مولار نمک کلریدسدیم موجب خشکیدگی کامل نونهال‌های پده شد. در تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم، زنده‌مانی، شادابی، ارتفاع، قطر، وزن خشک برگ، ساقه و ریشه نونهال‌ها اختلاف معنی‌داری را با تیمار شاهد نشان نداد. صفات مورد ارزیابی در تنش‌های شوری بین ۵۰ تا ۴۰۰ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری را با تیمار شاهد نشان داد. همچنین میزان تجمع یون‌ها از جمله کلر، منیزیم، کلسیم، پتاسیم و فسفر در برگ و ریشه اختلاف معنی‌داری را با نونهال‌های شاهد نشان دادند. به‌طور کلی نتایج نشان‌دهنده شورپسندی متوسط پده بود و می‌توان این گونه را برای عملیات احیای اراضی شور با سطح ایستابی آب زیاد توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: زنده‌مانی، صفات مورفوفیزیولوژیک، قلمه، قم.

مقدمه

شوری آب و خاک همواره یکی از مشکلات تهدیدکننده اراضی است که روزبه‌روز در نتیجه تخریب جنگل‌ها و مراتع، بیابان‌زایی و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی برای کشاورزی بدون زهکشی مناسب، رو به افزایش است. پدیده شوری امروزه حدود هفت درصد از زمین‌های دنیا معادل ۹۳۰ میلیون هکتار را تحت تأثیر قرار داده است و این شرایط همواره درحال گسترش است (Kafi, 2009). کشور ایران نیز به‌دلیل تکیه بر کشاورزی فاریاب به‌طور جدی تحت تأثیر شور شدن اراضی است. حدود ۹۰ درصد مساحت ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. بیشتر مناطق کشور مستعد شوری هستند و بزرگترین مناطق مستعد شوری در مرکز ایران قرار دارند (Qureshi *et al.*, 2007). پهنه‌های شور بیشتر از ۱۵ درصد (۲۴ میلیون هکتار) از کل مساحت ایران را پوشانده است (Ahmadi *et al.*, 2013). شوری سبب کاهش توانایی رشد و گسترش

برگ و ریشه و کاهش توانایی گیاه در جذب آب از طریق فرآیند اسمز می‌شود (Munns, 1993). تأثیر شوری بر کاهش رشد گیاه از واضح‌ترین پاسخ‌های گیاه در برابر تنش شوری است، به‌طوری‌که وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه، وزن خشک ریشه و ارتفاع نهال از عامل‌هایی هستند که به‌شدت تحت تنش شوری کاهش می‌یابند (Daneshvar *et al.*, 2007).

گونه‌های مختلف جنس صنوبر به‌دلیل تنوع زیاد و پراکنش وسیع جغرافیایی در دنیا واجد تغییرات ژنتیکی، مورفولوژیکی و رویشی هستند. این گونه‌ها به‌عنوان گیاه مدل برای بیان مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و مولکولی گونه‌های درختی در مقاومت به تنش‌ها کاربرد زیادی دارند (Chen & Polle, 2010). از میان گونه‌های جنس صنوبر، بیشترین تحمل به دامنه شوری مربوط به پده (*Populus euphratica* Oliv.) است (Mohammadi *et al.*, 2013). پده یکی از گونه‌های بومی شرق و آسیای مرکزی و نیز مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است (Sabeti, 1977) که از خصوصیات مهم آن تحمل زیاد نسبت به دامنه درجه‌حرارت و شوری خاک است (Calagari, 2004). تفاوت‌های اقلیمی و گسترش جغرافیایی گسترده این گونه سبب شده است تا تفاوت‌هایی ازنظر ریخت‌شناسی و ژنتیکی میان درختان پده در رویشگاه‌های طبیعی مشاهده شود (Calagari *et al.*, 2014). این گونه با تولید ریشه‌جوش قابلیت زیادی در تولید مثل غیرجنسی دارد (Calagari *et al.*, 2000).

مکانیسم‌های کلیدی در پده برای مقاومت به شوری شامل کَده‌بندی (تجمع یون‌هایی مانند سدیم در واکوئل سلول برای عدم تخریب سیتوپلاسم) یون کلر در واکوئل‌های سلول پوست ریشه، کاهش ورود NaCl به شیره خام، بیرون راندن فعال Na^+ به خاک همراه با جلوگیری از کاهش بیشتر از حد K^+ از طریق تنظیم غیرقطبی فعال در کانال‌های کاتیونی است. این موارد به بهبود دایمی توازن K^+/ Na^+ منجر می‌شود که شرط اولیه برای بقا در شرایط شوری است. همچنین سلول‌های برگ این گونه قادر هستند یون Na^+ را در آپوپلاست خود کده‌بندی کنند. در گونه‌های موفق جنس صنوبر، رسوب Na^+ در واکوئل‌ها بر انتقال آپوپلاستی مقدم است (Chen & Polle, 2010). همچنین بردباری پده نسبت به نمک به توانایی آن در محدود کردن انتقال نمک به برگ‌ها نیز وابسته است (Chen *et al.*, 2002).

در زمینه تأثیر تنش شوری بر پده، پژوهش‌هایی در داخل و خارج از کشور انجام شده است. Ma و همکاران (۱۹۹۷) واکنش فتوسنتتیک نونهال‌های پده را در دو سطح غلظت کم و غلظت زیاد NaCl بررسی کردند؛ الگوی فتوسنتزی نشان داد که این گیاه در مقادیر زیاد CO_2 در نقطه تغلیظ (۱۵۰ ماکرومول بر مول) و نقطه اشباع (۹۰۰ ماکرومول بر مول) به‌صورت C_3 بود، اما این گیاه در مقادیر زیاد نقطه اشباع نوری (۲۸۰۰ ماکرومول بر مول در ثانیه) ویژگی‌های گیاهان C_4 را نشان داد. به‌عبارت دیگر، این گیاه در حالت بینابینی ازنظر C_4 و C_3 قرار داشت. Watanabe و همکاران (۲۰۰۰) در بررسی اثرات شوری و تنش اسمزی بر تجمع پرولین و قندها در پده در کشت درون‌شیشه‌ای، در اثر تیمار سطوح ۲۰۰ میلی‌مول و ۱۵۰ میلی‌مول NaCl، افزایش معنی‌داری در تجمع پرولین در برگ‌های جوان و مسن گزارش کردند. همچنین آنها افزایش قندهای محلول را در سطح ۲۰۰ میلی مول گزارش کردند؛ ایشان بیان کردند که افزایش پرولین و قندهای محلول در برگ در راستای رشد و تنظیم اسمزی بود. Zeng و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی سازگاری برگ و کل اندام‌های درخت پده به شوری، میزان غلظت NaCl در شیره خام و میزان تجمع NaCl در برگ و میزان اثرات فیزیولوژیکی و تنظیم اسمزی را بین اندام‌های مختلف گیاهان تیمارشده با سطوح مختلف شوری اندازه گرفتند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که کنترل جذب Na^+ و Cl^- و در نتیجه تنظیم دریافت آنها در جوانه، کلید مقاومت درخت پده به غلظت‌های زیاد Na^+ در برگ بود. Jans و همکاران (۲۰۱۰) از تجزیه و تحلیل مسیر برای نشان دادن مکانیسم‌های سازگاری و تحمل تنش‌ها برای گونه‌های حساس و مقاوم جنس صنوبر به شوری استفاده کردند. نتایج آزمایش Daneshvar و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی اثر غلظت‌های مختلف نمک‌های کلرور سدیم و کلرور کلسیم بر

رشد و درصد عناصر برگ، شاخه و ریشه پده نشان داد که وزن خشک برگ‌ها و وزن خشک ساقه تا شش دسی‌زیمنس بر متر تحت تأثیر شوری قرار نگرفتند و با افزایش غلظت نمک‌ها در محیط ریشه، کاهش معنی‌دار داشتند. Ghadiripour و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی ویژگی‌های رویشی و ریخت‌شناسی ۲۰ پرووننانس پده در خزانه آزمایشی نشان دادند که ازنظر تمام صفت‌های مورد بررسی، به‌جز تعداد شاخه‌های بلندتر از نیم متر و زاویه شاخه، بین پرووننانس‌ها اختلاف معنی‌دار وجود داشت.

با توجه مشکلات فراوان ناشی از شوری خاک، کم‌آبی و بیابان‌زایی در کشور، اجرای پژوهش‌هایی با موضوع بررسی سازگاری گونه‌های مختلف برای معرفی گونه‌های مفید در این عرصه احساس می‌شود، بنابراین پژوهش پیش‌رو به‌منظور بررسی اثر تنش شوری بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک نونهال پده و نیز دامنه تحمل این گونه به شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش پیش‌رو در منطقه جعفرآباد قم با ارتفاع ۱۰۲۴ متر از سطح دریا در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. مواد آزمایشی شامل قلمه‌های خشبی درختان پده به‌طول ۲۰ سانتی‌متر و قطر حدود یک سانتی‌متر بودند که در بهمن‌ماه ۱۳۹۲ از رویشگاه موجود پده در منطقه بهشت معصومیه قم واقع در کیلومتر پنج اتوبان قم- تهران با طول جغرافیایی ´۵۲ °۵۰ و عرض جغرافیایی ´۴۳ °۳۴ و ارتفاع ۹۱۰ متر از سطح دریا جمع‌آوری شدند (شکل ۱). عمق آب زیرزمینی منطقه ۱/۵ متر است. میانگین دما و بارندگی سالانه منطقه به‌ترتیب ۱۸/۷ درجه سانتیگراد و ۱۴۶/۱ میلی‌متر است (Ahmadi & Sanadgol, 2010).

شکل ۱- محل جمع‌آوری قلمه در رویشگاه معصومیه، استان قم

قلمه‌ها پس از تیمار با هورمون اکسین با غلظت سه در ۱۰۰۰، در گلدان‌های پلاستیکی ۱۰ کیلویی حاوی مخلوط یکنواختی از شن، ماسه و خاک زراعی کاشته شدند. پس از سه ماه به‌منظور فرصت برای ریشه‌دهی و استقرار اولیه نونهال، تیمارهای شوری در پنج سطح صفر (شاهد)، ۵۰ ، ۱۰۰ ، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار نمک کلریدسدیم به مدت دو ماه و هر هفته دوبار همراه با آب آبیاری اعمال شدند. پس از مدت مذکور، ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی

(شامل درصد زنده‌مانی، شادابی، ارتفاع و قطر یقه نونهال، ماده خشک برگ، ساقه و ریشه، محتوای نسبی آب برگ، غلظت کلر، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم و فسفر در برگ، ساقه و ریشه) در سطوح مختلف شوری اندازه‌گیری شدند. آزمایش در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. درصد زنده‌مانی نونهال براساس تعداد نونهال خشک‌شده در طول مدت اجرای تنش، شادابی با امتیازدهی به سرسبزی نونهال (از یک برای کامل خشک‌شده تا چهار برای کامل شاداب) و رشد ارتفاعی و قطری نونهال با اندازه‌گیری و اختلاف اندازه ارتفاع و قطر پیش و پس از تنش شوری محاسبه شد. ماده خشک اندام‌های برگ، ساقه و ریشه از طریق توزین نمونه‌های تر و خشک‌شده (در آون در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت)، با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. سپس درصد ماده خشک محاسبه شد. اندازه‌گیری عناصر فلزی برگ، ساقه و ریشه شامل سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم از طریق عصاره‌گیری خاکستر خشک و با استفاده از دستگاه جذب اتمی، اندازه‌گیری فسفر با روش Olsen و همکاران (۱۹۵۴) و استفاده از اسپکتروفتومتر و اندازه‌گیری کلر از طریق تهیه عصاره آبی و عیارسنجی انجام شد. میزان تخریب غشای سلولی (نفوذپذیری نسبی غشا) به روش Zhao و همکاران (۱۹۹۲) و براساس رابطه ۱ اندازه‌گیری شد.

$$EL\ (\%) = (EC_1-EC_0) / (EC_2-EC_0)) \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن: EL درصد نشت یونی، EC_1 هدایت الکتریکی در حالت تازه، EC_0 هدایت الکتریکی در حالت اشباع و EC_2 هدایت الکتریکی در حالت تخریب کامل دیواره سلولی (قرار گرفتن در اتوکلاو) است. محتوای نسبی آب برگ (RWC) به روش Ritchie و همکاران (۱۹۹۰) با استفاده از رابطه ۲ اندازه‌گیری شد.

$$RWC\% = (F_w - D_w / S_w - D_w) \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن: RWC درصد محتوای نسبی آب برگ، F_w وزن برگ تازه، D_w وزن خشک برگ و S_w وزن برگ در حالت اشباع است.

سوختگی و کلروزه شدن برگ‌ها نیز به روش مشاهده‌ای بررسی شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه واریانس یک‌طرفه و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج

سطوح مختلف کلریدسدیم تا میزان ۲۰۰ میلی‌مولار بر صفات ظاهری برگ نونهال‌های پده ازجمله نکروز و کلروز تأثیری نداشت. همچنین، تنش شوری ۴۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم موجب ریزش کلی برگ‌ها و خشکیدگی نونهال‌ها در طی زمان آزمایش شد. در نتیجه این تیمار از تجزیه‌های آماری حذف شد. نتایج تجزیه واریانس صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک در تیمارهای مختلف نشان داد که ازنظر درصد زنده‌مانی، کاهش شادابی، رشد ارتفاعی و قطری و نشت یونی برگ، بین سطوح مختلف شوری در سطح اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. در مورد صفت زی‌توده برگ نیز بین تیمارها در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. در صفات زی‌توده ساقه و ریشه و محتوای نسبی آب برگ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی تحت تنش شوری

ردیف	منبع تغییرات	میانگین مربعات (MS)		ضریب تغییرات (CV%)
		تیمار (df=۳)	خطا (df=۹)	
۱	درصد زنده‌مانی	۵۰۲/۵۲**	۴۵/۴۶	۸/۱
۲	طبقه شادابی (از چهار طبقه)	۱/۰۷**	۰/۰۵	۶/۴
۳	رشد ارتفاعی نونهال (سانتی‌متر)	۲۵۱/۷۳**	۱۷/۷۹	۲۸/۳۵
۴	رشد قطری نونهال در محل یقه (میلی‌متر)	۴۷/۸۲**	۲/۴	۱۵/۵۶
۵	وزن خشک برگ (گرم)	۲۸۰/۲۶*	۵۱/۴۶	۴۳/۰۷
۶	وزن خشک ساقه (گرم)	۹۷/۸۴ns	۳۰/۹۵	۲۶/۴
۷	وزن خشک ریشه (گرم)	۴۰/۲۱ns	۷۸/۹	۲۷/۸
۸	نشت یونی برگ (درصد)	۶۹/۰۹**	۳/۵۷	۳۳/۷
۹	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	۲۰۵/۷۴ns	۱۲۲/۰۷	۱۴/۱

**معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ *معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ ns غیرمعنی‌دار

از نظر غلظت کلر، منیزیم و فسفر در برگ و ریشه، غلظت کلسیم و پتاسیم در برگ و مقدار کلسیم ریشه بین سطوح مختلف شوری اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. سدیم در برگ و ریشه و پتاسیم در ریشه اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که نونهال‌ها از نظر صفات رشد و تولید در تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم به‌تنهایی یا همراه با شاهد بیشتر از گروه‌های دیگر و در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم پایین‌تر از سایر گروه‌ها قرار گرفتند (جدول ۳).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی تحت تنش شوری

ردیف	منبع تغییرات	میانگین مربعات (MS)		ضریب تغییرات (CV%)
		تیمار (df=۳)	خطا (df=۹)	
۱	کلر برگ (قسمت در میلیون)	۲۹۰۱۰۴۸۷۴۳۶**	۳۵۵۶۶۷۹۷۸	۳۳/۱
۲	کلر ریشه (قسمت در میلیون)	۳۰۸۶۹۹۹۸۲۷**	۲۱۷۹۱۸۲۴	۹/۹
۳	منیزیم برگ (قسمت در میلیون)	۱۴۷۹۷۷۰۵**	۶۱۲۶۶۲	۱۷/۳
۴	منیزیم ریشه (قسمت در میلیون)	۷۴۵۲۳۳۴**	۴۶۰۰۳۸	۳۱
۵	کلسیم برگ (قسمت در میلیون)	۵۲۹۷۹۳**	۶۹۲۹۲	۲۱
۶	کلسیم ریشه (قسمت در میلیون)	۴۹۰۳۱۴*	۱۱۲۷۶۴	۲۲/۶
۷	سدیم برگ (قسمت در میلیون)	۳۳۷۰۹ns	۱۱۷۱۰	۴۶/۱
۸	سدیم ریشه (قسمت در میلیون)	۷۲۴۲۶ns	۲۵۵۴۲	۴۶/۵
۹	پتاسیم برگ (قسمت در میلیون)	۲۴۶۳۴۲۸۶۱۰**	۲۵۰۶۷۰۶۴۹	۳۳/۱
۱۰	پتاسیم ریشه (قسمت در میلیون)	۳۹۹۶۵۹۶۱۴ns	۱۳۱۶۲۷۸۳۹	۴۸/۳
۱۱	فسفر برگ (قسمت در میلیون)	۱۰۷۷۴۴**	۱۰۱۸۵	۱۳/۲
۱۲	فسفر ریشه (قسمت در میلیون)	۲۰۵۸۷**	۶۶۲	۴/۱

**معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ *معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ ns غیرمعنی‌دار

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی تحت تنش شوری

ردیف	صفت	تیمار کلرید سدیم (میلی‌مولار)			
		صفر	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
۱	درصد زنده‌مانی	۸۷/۵^{ab}	۹۶/۸۷^{a}	۷۸/۱۲۵^{bc}	۷۱/۱۲^{c}
۲	طبقه شادابی (از چهار طبقه)	۳/۸۱^{a}	۳/۹۴^{a}	۳/۱۲^{b}	۲/۸۷^{b}
۳	رشد ارتفاعی نونهال (سانتی‌متر)	۱۸/۴۲^{ab}	۲۳/۱۲^{a}	۱۳/۳۷^{b}	۴/۵۸^{c}
۴	رشد قطری نونهال در محل یقه (میلی‌متر)	۱۱/۲۱^{b}	۱۳/۹۲^{a}	۹^{b}	۵/۷۵^{c}
۵	وزن خشک برگ (گرم)	۱۳/۸۷^{b}	۲۸/۳۴^{a}	۱۵/۸۴^{b}	۸/۵۷^{b}
۶	وزن خشک ساقه (گرم)	۲۰/۲^{ab}	۲۶/۹۵^{a}	۲۲/۲۳^{ab}	۱۵/۰۱^{b}
۷	وزن خشک ریشه (گرم)	۲۹/۴۷^{b}	۳۲/۳۶^{a}	۳۶/۲۷^{a}	۲۹/۸^{b}
۸	نشت یونی برگ (درصد)	۳/۰۱۵^{b}	۴/۱۲^{b}	۳/۴۷^{b}	۱۱/۸^{a}

حروف انگلیسی متفاوت در ردیف، اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد را نشان می‌دهد.

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که نونهال‌ها در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم از نظر غلظت کلر برگ و ریشه بیشتر از گروه‌های دیگر بودند. تیمارها از نظر غلظت منیزیم و کلسیم برگ و ریشه و پتاسیم برگ در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم بیشتر از گروه‌های دیگر بودند. غلظت فسفر نیز در شاهد بیشتر بود و در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم پایین‌تر از گروه‌های دیگر قرار گرفت (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی تحت تنش شوری

ردیف	صفت	تیمار کلرید سدیم (میلی‌مولار)			
		صفر	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
۱	کلر برگ (قسمت در میلیون)	۱۴۹۰۷۵^{b}	۱۰۶۵۰۰^{b}	۱۶۲۷۸۸^{b}	۳۰۲۸۹۶^{a}
۲	کلر ریشه (قسمت در میلیون)	۲۳۶۶۷^{d}	۳۴۶۱۳^{c}	۴۲۶۰۰^{b}	۸۶۹۷۵^{a}
۳	منیزیم برگ (قسمت در میلیون)	۱۷۹۰/۷^{a}	۸۲۷/۳^{b}	۲۰۹۲/۹^{a}	۱۰۰۹/۳^{b}
۴	منیزیم ریشه (قسمت در میلیون)	۱۳۲۷/۲^{b}	۱۹۱۰^{b}	۴۱۹۰^{a}	۱۳۱۴/۵^{b}
۵	کلسیم برگ (قسمت در میلیون)	۹۸۹/۷^{b}	۱۰۲۰/۵^{b}	۱۷۷۵/۸^{a}	۱۲۲۷/۳^{b}
۶	کلسیم ریشه (قسمت در میلیون)	۱۳۱۴^{b}	۱۴۷۹/۶^{ab}	۱۹۷۵/۱^{a}	۱۱۷۱/۵^{b}
۷	پتاسیم برگ (قسمت در میلیون)	۶۴۳۱۵^{a}	۲۳۵۸۸^{b}	۷۳۶۹۰^{a}	۲۹۹۵۷^{b}
۸	فسفر برگ (قسمت در میلیون)	۹۷۹^{a}	۷۲۷/۳۵^{bc}	۷۵۷/۸۷^{b}	۵۸۱/۷۱^{c}
۹	فسفر ریشه (قسمت در میلیون)	۷۱۲/۶^{a}	۶۵۳/۳^{b}	۶۲۹^{b}	۵۳۹/۸۴^{c}

حروف انگلیسی متفاوت در ردیف، اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد را نشان می‌دهد.

بحث

نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که افزایش غلظت شوری تا میزان ۴۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم موجب ریزش کلی برگ‌ها و خشکیدگی کامل نونهال‌های پده شد. این

نتیجه با نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق Daneshvar و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت داشت. همچنین غلظت شوری تا میزان ۵۰ میلی‌مولار در بیشتر صفات مورد بررسی هیچ تأثیرمعنی‌داری را نشان نداد و حتی برخی صفات رشد و عملکردی ازجمله رشد طولی و قطری ساقه و میزان وزن خشک برگ، ساقه و ریشه، در تیمار شوری ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم بیشتر از شاهد بود. به‌نظر می‌رسد که افزایش شوری تا ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم موجب تحریک رشد رویشی پده شده بود. در همین راستا Azizi و همکاران (۲۰۱۵) نیز به این نتیجه رسیدند که پده توانایی زنده ماندن و رشد در مناطق ساحلی، جلگه‌ای و حاشیه رودخانه‌هایی که با آب‌های شیرین و شور تا ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم غرقاب می‌شدند، را داشت. به‌هرحال نتایج به‌دست‌آمده از نظر صفات رویشی و عدم کاهش آن حاکی از تحمل به شوری پده تا ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم بدون کاهش رشد بود. توانایی پده در تحمل غلظت زیاد نمک به فرایندهای ریشه‌زایی ازجمله محدود کردن صدور یون‌ها به شیره خام و جلوگیری از تجمع یون‌های سدیم و کلر در سطح ریشه مربوط می‌شود (Ottow *et al.*, 2005).

عدم سوختگی برگ و نداشتن تغییرات ساختاری در برگ تحت تأثیر تنش شوری ایجادشده در این مطالعه با گزارش Fung و همکاران (۱۹۹۸) مطابقت داشت. در گونه‌های چوبی تجمع بیشتر از حد سدیم و کلر در برگ به مسمومیت گیاه منجر می‌شود که درنهایت سوختگی حاشیه و نوک برگ‌ها و ریزش آنها را به‌دنبال دارد. گیاهانی که بتوانند به‌نحوی از تجمع این دو عنصر در برگ‌ها جلوگیری کنند، می‌توانند مقادیر بیشتری از نمک را در محیط ریشه تحمل کنند. نتایج پژوهش پیش‌رو نیز نشان داد که میزان تجمع کلر در برگ نونهال‌های پده در تیمارهای مختلف هرچند ازنظر آماری معنی‌دار بود، اما گروه‌بندی میانگین‌ها، تیمارها را در دو گروه قرار داد؛ درحالی‌که میزان تجمع کلر در ریشه همان نونهال‌ها، آنها را در چهار گروه مجزا به‌ترتیب در تیمارهای ۲۰۰، ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم و شاهد قرار داد. تفاوت گروه‌بندی تجمع کلر در اندام‌های برگ و ریشه نشان داد که هرچند با افزایش غلظت نمک، تجمع کلر در ریشه افزایش داشت، اما به‌نحوی حرکت کلر در ریشه متوقف شد و به برگ نرسید. این عدم انتقال کلر از ریشه به اندام هوایی به‌ویژه برگ‌ها می‌تواند یکی از راهکارهای پده برای تحمل به شوری باشد. همچنین یکی دیگر از راهکارهای تحمل گیاهان به شوری، جذب بیشتر پتاسیم از محیط‌های شور به‌وسیله ریشه و انتقال آن به برگ‌ها است (Alharby *et al.*, 2014) که به‌نظر می‌رسد در این آزمایش نیز گیاه پتاسیم بیشتری را به برگ‌ها انتقال داده باشد، به‌طوری‌که هم جذب پتاسیم توسط ریشه در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم در بین تیمارهای مختلف و هم میزان تجمع آن در برگ در همان تیمار بیشترین مقدار بود. البته مقدار پتاسیم در ساقه نونهال‌ها در تیمارهای مختلف ازنظر آماری اختلاف معنی‌داری را نشان نداد که این موضوع به نقش انتقالی آوندها و مکانیسم گیاه برای تجمع پتاسیم در برگ، حفظ نسبت پتاسیم به سدیم و عدم خسارت به برگ‌ها مربوط می‌شود. نقش عناصر مختلف تا حدی که به مسمومیت گیاه منجر نشود، می‌تواند در حفظ پتانسیل اسمزی و جذب آب توسط گیاه از محیط شور اطراف ریشه و انتقال آن به اندام‌های دیگر گیاه مفید باشد. یکی از این عناصر منیزیم است که میزان تجمع آن در این آزمایش در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم هم در ریشه و هم در برگ نهال بیشترین مقدار بود.

میزان تجمع کلسیم نیز در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم هم در ریشه و هم در برگ بیشترین مقدار بود. در ساقه هم همراه با تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم، در گروهی بالاتر از تیمارهای دیگر قرار گرفت. تجمع این عناصر در اندام‌های نونهال پده به‌خصوص در غلظت‌های بیشتر شوری نشان می‌دهد که تجمع عناصر منیزیم و کلسیم در گیاه می‌تواند یکی از مکانیسم‌های تحمل به شوری در این گونه گیاهی باشد. در مورد جذب فسفر توسط نونهال‌های پده در تیمارهای مختلف شوری، هرچند میزان تجمع فسفر در ساقه نونهال‌ها اختلاف معنی‌داری نداشت، اما این عنصر در ریشه و برگ نونهال‌ها در سطح اطمینان ۹۹

درصد اختلاف معنی‌داری را نشان داد. البته تجمع فسفر در ریشه و برگ، بیشتر در تیمارهایی با شوری کمتر مشاهده شد و با افزایش شوری، میزان جذب فسفر کاهش یافت. این موضوع می‌تواند کاهش درصد زنده‌مانی نونهال، کاهش شادابی، کاهش رشد ارتفاعی و قطری آن و به‌طور کلی کاهش صفات رشدی و عملکردی نونهال را توجیه کند، زیرا فسفر به‌عنوان یکی از عناصر غذایی ضروری برای رشد گیاه است که با افزایش شوری در محیط ریشه، میزان جذب آن توسط ریشه و تجمع آن در برگ به‌عنوان اندام تولیدکننده گیاه (نقش فتوسنتزی برگ) کاهش می‌یابد (Chen *et al.*, 2003).

درخصوص نشت یونی برگ و ریشه که نشان‌دهنده میزان خسارت و تخریب دیواره سلولی است، می‌توان گفت که نشت یونی برگ در تیمارهای با شوری بیشتر، بیشتر به‌دست آمد که این مطلب رابطه بین افزایش شوری و تخریب دیواره سلولی ناشی از آن را تأیید می‌کند، اما در مورد ریشه، نشت یونی در تیمارهای با شوری بیشتر، بیشتر نبود که این مطلب نشان می‌دهد که در ریشه گیاه پده ممکن است مکانیسم‌هایی وجود داشته باشد که مانع از تخریب دیواره سلولی در غلظت‌های زیاد شوری شود. در رابطه با محتوای نسبی آب برگ نیز در این آزمایش، بین تیمارهای مختلف شوری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد که این موضوع با نتایج به‌دست‌آمده توسط Alizadeh (۲۰۱۱) مغایرت دارد. به‌نظر می‌رسد که خطای آزمایشی برای دست‌یابی به نتایج صحیح برای این صفت اشکال ایجاد کرده باشد.

به‌طور کلی شناخت میزان تحمل به شوری گونه‌های گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک با وجود شرایط خاک شور اهمیت زیادی دارد و تعیین حد آستانه تحمل و پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک گونه‌هایی مانند پده (با توجه به دامنه پراکنش وسیع آن) به تنش شوری می‌تواند نهادهای متولی منابع طبیعی و محیط زیست و بهره‌برداران را در جنگل‌کاری‌ها و پروژه‌های بیابان‌زدایی در این مناطق یاری دهد.

References

- Ahmadi, A., Gomarian, M. and Sanjari, M., 2013. Variations in forage quality of two halophyte species, *Camphorosma monspeliaca* and *Limonium iranicum* at three phenological stages. Journal of Rangeland Science, 3(3): 245-251 (In Persian).
- Ahmadi, A. and Sanadgol, A.A., 2010. Nutritive value of Zandi sheep diets (halophyte plants) grazing on Abbasabad desert rangelands (Qom). Journal of Range and Watershed Management (Iranian Journal of Natural Resources), 63(3): 1-9 (In Persian).
- Alharby, H.F., Colmer, T. and Barrett-Lennard, E., 2014. Salt accumulation and depletion in the root-zone of the halophyte *Atriplex nummularia* Lindl.: influence of salinity, leaf area and plant water use. Plant and Soil, 382(1-2): 31-41.
- Alizadeh, A., 2011. Relationship between Water, Soil and Plant. Published by University of Imam Reza, Mashhad, 616p (In Persian).
- Azizi, S., Kochaksaraei, M.T. and Sadati, S.E., 2015. Viability and growth response of *Populus euphratica* Oliv. seedlings to flooding-salinity stress. Journal of Desert Ecosystem Engineering, 4(7): 9-20 (In Persian).
- Calagari, M., 2004. Investigation of ecological and genetical variations of the *Populus euphratica* Oliv. in natural stands of Iran. Ph.D. thesis, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, 143p (In Persian).
- Calagari, M., Jalili, A., Abbas Azimi, R. and Salehi Shanjani, P., 2014. Environmental effects on leaf morphology traits in the *Populus euphratica* Oliv. provenances of Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22(3): 369-380 (In Persian).
- Calagari, M., Javanshir, K., Zobeiri, M. and Modirrahmati, A., 2000. The ecological study of *Populus euphratica* Oliv. in the margin rivers of Karoon. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15(4): 25-52 (In Persian).
- Chen, S., Li, J., Fritz, E., Wang, S. and Hüttermann, A., 2002. Sodium and chloride distribution in roots and transport in three poplar genotypes under increasing NaCl stress. Forest Ecology and Management, 168(1-3): 217-230.
- Chen, S., Li, J., Wang, Sh., Fritz, E., Hüttermann, A. and Altman, A., 2003. Effects of NaCl on

shoot growth, transpiration, ion compartmentation, and transport in regenerated lants of *Populus euphratica* and *Populus tomentosa*. Canadian Journal of Forest Research, 33: 967-975.
- Chen S. and Polle, A., 2010. Salinity tolerance of Populus. Plant Biology, 12: 317-333.
- Daneshvar, H.D., Modirrahmati, A.R. and Kiani, B., 2007. Effect of different levels of NaCl and $CaCl_2$ on growth and leaf, branch and root elements of *Populus euphratica* cutting. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 14(1): 20-28 (In Persian).
- Fung, L.E., Wang, S.S., Altman, A. and Hüttermann, A., 1998. Effect of NaCl on growth, photosynthesis, ion and water relations of four poplar genotypes. Forest Ecology and Management, 107(1-3): 135-146.
- Ghadiripour, P., Calagari, M. and Saleheh Shushtari, M.H., 2015. Study of growth and morphological characteristics of Euphrates poplar (*Populus euphratica*) provenances at experimental nursery of Khuzestan Province. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 23(1): 154-166 (In Persian).
- Janz, D., Behnke K., Schnitzler J.P., Kanawati B., Schmitt-Kopplin Ph. and Polle, A., 2010. Pathway analysis of the transcriptome and metabolome of salt sensitive and tolerant poplar species reveals evolutionary adaptation of stress tolerance mechanisms. BMC Plant Biology, 10(1): 1-20.
- Kafi, M., 2009. Physiology of Environmental Stress in Plants. Published by Jihad-e Daneshgahi, Mashhad, 502p (In Persian).
- Ma, H.C., Fung L., Wang S.S., Altman A. and Hüttermann. A., 1997. Photosynthetic response of *Populus euphratica* to salt stress. Forest Ecology and Management, 93(1): 55-61.
- Mohammadi, A., Calagari, M., Ladan-Moqaddam, A.R. and Mirakhori, R., 2013. Investigation on growth and physiological characteristics of *Populus euphratica* Oliv. provenances at Garmsar Desert Station. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(1): 115-125 (In Persian).
- Munns, R., 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline soil: some dogmas and hypotheses. Plant Cell Environment, 16: 15-24.
- Olsen, S.R., Cole, C.V. and Watanabe, F.S., 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. USDA, Washington, 18p.
- Ottow, E.A., Brinker, M., Teichmann, T., Fritz, E., Kaiser, W., Brosche, M., Kangasjarvi J., Jiang X. and Polle, A., 2005. *Populus euphratica* displays apoplastic sodium accumulation, osmotic adjustment by decreases in calcium and soluble carbohydrates, and develops leaf succulence under salt stress. Plant Physiology, 139: 1762-1772.
- Qureshi, A.S., Qadir, M., Heydari, N., Turral, H. and Javadi, A., 2007. A review of management strategies for salt-prone land and water resources in Iran. Working paper 125, Published by International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 30p.
- Ritchie, S.W. and Nguyen, H.T., 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science, 30(1): 105-111.
- Sabeti, H., 1977. Forests, Trees and Shrubs of Iran. University of Yazd Press, Yazd, 779p (In Persian).
- Watanabe, S., Kojima, K., Ide, Y. and Sasaki, S., 2000. Effects of saline and osmotic stress on proline and sugar accumulation in *Populus euphratica* in vitro. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 63: 199-206.
- Zeng, F., Yan, H. and Arndt, S.K., 2009. Leaf and whole tree adaptation to mild salinity in field grown *Populus euphratica.* Tree Physiology, 29(10): 1237-1246.
- Zhao, Y., Aspinall, D. and Paleg, L.G., 1992. Protection of membrane integrity in *Medicago sativa* L. by glycinebetaine against the effects of freezing. Journal of Plant Physiology, 140: 541-543.

Morpho-physiological responses of Euphrates Poplar (*Populus euphratica* Oliv.) seedlings to salinity stress in greenhouse conditions

A. Ahmadi [1*], H. Bayat [2] and H. Tavakoli Neko [3]

1*- Corresponding author, Department of Rangeland Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran. E-mail: a-ahmadi@iau-arak.ac.ir

2- M.Sc. Desert Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

3- Senior Research Expert, Research Division of Natural Resources, Qom Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Qom, Iran

Received: 30.03.2016 Accepted: 12.07.2016

Abstract

This study was conducted in order to Morpho-physiological assessment of salt stress on Euphrates poplar (*Populus euphratica* Oliv.) seedlings in the greenhouse. Annual stems of Euphrates poplar were collected from Masoumieh desert rangelands (Qom) and were planted in pots containing homogenous mixture of sand, gravel and farm soil. Salinity stress was applied using different levels of NaCl in four levels of 50, 100, 200 and 400 mM and control, with two times a week and for two months with irrigation water. The results showed that salinity stress of 400 mM NaCl causes full dehydration of Euphrates poplar seedlings and this amount of salt tolerance was out of plant tolerance. Also salinity of 50 mM NaCl on the viability and survival traits and characteristics, including growth and vitality, height, diameter, biomass of leaves, stems and roots showed no significant difference with control treatments. Higher salinity levels in some of the characteristics and attributes of viability, vitality and the height and diameter of seedlings in different treatments showed significant difference. Also the amount of accumulation of some elements such as chloride, magnesium, calcium, sodium, potassium and phosphorus, had significant differences ($p < 0.01$ and $p < 0.05$) with control treatment. Overall, our results represent that *Populus euphratica* is a moderate halophyte which could be suggested to reclamation of saline lands with high water table.

Keywords: Cutting, morpho-physiological traits, Qom, viability.