مقاله کامل علمی- پژوهشی

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیست و هشتم، شماره سوم، ۱۴۰۰
۳۷-۵۱
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/JWFST.2021.18866.1917

تأثیر محلول‌پاشی برگی تنظیم‌کننده‌های رشد بر زنده‌مانی و رشد نهال‌های *Paulownia fortunei* تحت تنش خشکی

ماریه نوده[۱]، علیرضا علی‌عرب[۲*] و سید احسان ساداتی[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران،
[۲]استادیار گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران،
[۳]دانشیار پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۳

چکیده

سابقه و هدف: پالونیا فورتونی یکی از تندرشدترین گونه‌های درختی جنس پالونیا است که گزینه‌ای مناسب برای زراعت چوب و درخت‌کاری تلفیقی (اگروفارستری) در شمال ایران محسوب می‌گردد. خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و زنده‌مانی این گونه است که می‌تواند خسارت‌های شدیدی بر عملکرد آن در نهالستان و عرصه کاشت وارد نماید. پژوهش حاضر در نظر دارد ضمن بررسی واکنش رشد و زنده‌مانی نهال‌های این گونه در برابر تغییرات رطوبت خاک، امکان استفاده از تیمارهای محلول‌پاشی برگی اسید سالیسیلیک و اسید آسکوربیک را جهت افزایش مقاومت به خشکی این گونه در مرحله نهالی مورد بررسی قرار دهد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش ۲۲۵ اصله از نونهال انتخاب و در گلدان‌های سه لیتری با خاک مناسب بازکاشت شدند و پس از استقرار با استفاده از آزمایش فاکتوریل دو عاملی با سه تکرار به‌مدت چهارماه تحت سه سطح رطوبت خاک (۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) و پنج سطح محلول‌پاشی (شاهد، اسیدآسکوربیک یک و ۱۰ میلی‌مولار، اسیدسالیسیلیک ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) قرار گرفتند. در انتهای آزمایش مشخصه‌های زندمانی، ارتفاع ساقه، قطر یقه، کلروفیل و سطح ویژه برگ و هم‌چنین طول ریشه‌های اصلی و فرعی، تعداد ریشه‌های فرعی و سطح کل ریشه برای هر نهال اندازه‌گیری شد. جهت پردازش اطلاعات حاصل، روش آنالیز واریانس دوعاملی، آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن و رگرسیون خطی ساده در سطح اعتماد ۹۵ درصد استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد در تمامی تیمارهای محلول‌پاشی، رابطه خطی کاهنده و معنی‌داری بین رطوبت خاک و زنده‌مانی نهال‌ها مشاهده شد. به‌طوری‌که در سطح رطوبتی ۳۰ درصد (خشکی شدید) تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث افزایش هفت برابری زنده‌مانی نهال‌ها شد. هم‌چنین کاهش رطوبت خاک از سطح ۹۰ به ۶۰ درصد

* مسئول مکاتبه: aliarab@gau.ac.ir

کاهش معنی‌داری در صفات رویشی ساقه و برگ نهال‌ها ایجاد کرد. نتایج نشان داد اثرات محلول‌پاشی بر ویژگی‌های ریشه نهال به‌شدت تحت‌تأثیر رطوبت خاک قرار دارد، به‌طوری‌که در سطح رطوبتی ۹۰ درصد محلول‌پاشی باعث کاهش سطح ریشه و تعداد ریشه‌های فرعی نهال شد، اما در سطح رطوبتی ۳۰ درصد نهال‌هایی که هم‌زمان با تیمار رطوبتی تحت تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و اسید آسکوربیک با غلظت ۱۰ میلی‌مولار قرار گرفتند، بیشترین میانگین تعداد ریشه‌های فرعی، سطح و طول کل ریشه را نشان دادند.

نتیجه‌گیری: نهال‌های پالونیا فورتونی نسبت به تغییرات رطوبت خاک بسیار حساس می‌باشند. هم‌چنین استفاده از محلول‌پاشی برگی، به‌ویژه در تیمار اسید سالیسیلیک با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث بهبود زنده‌مانی و رشد نهال‌های این گونه در شرایط کمبود آب می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اسید آسکوربیک، اسید سالیسیلیک، تنش خشکی، درختان تندرشد، کیفیت نهال

مقدمه

پالونیا فورتونی (*Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl) یکی از تندرشدترین گونه‌های درختی جنس پالونیا است که با توجه به صفات رویشی مناسب، بردباری اکولوژیک بالا، تولید چوب صنعتی سبک و مقاوم و هم‌چنین قابلیت تولید محصولات فرعی متنوع مانند علوفه، مواد دارویی و کود، مورد توجه افراد و سازمان‌های متولی اگروفارستری و زراعت چوب قرار گرفته است (۲۸). این گونه در مناطقی از چین، ویتنام و لائوس، با بارندگی تقریبی ۷۷۰ میلی‌متر به‌صورت طبیعی رشد نموده و سازگاری مناسبی با شرایط اسیدیته، دما و بافت خاک دارد (۳۳). چنین ویژگی‌هایی پالونیا را به گزینه‌ای مناسب برای زراعت چوب و درخت‌کاری تلفیقی در ایران تبدیل نموده است، به‌طوری‌که در برنامه راهبردی زراعت چوب تعیین سازگاری آن با شرایط اقلیمی کشور جهت برنامه‌ریزی آینده زراعت چوب مدنظر قرار داده است (۱۹). بررسی‌ها نشان داده است که این گونه در مناطقی از استان‌های گلستان و مازندران، از رشد و تولید بالایی برخوردار است (۱۸، ۲۰ و ۲۵). هم‌چنین از کاشت آزمایشی این گونه در استان گلستان نتایج فنی مناسبی در مورد تکثیر، نحوه کاشت، سن بهره‌برداری و تولید چوب این گونه حاصل شد (۱۸، ۲۰ و ۲۵). این یافته‌ها نقش مهمی در توسعه کاشت و بهره‌برداری از گونه پالونیا فورتونی در ایران دارد، اما با توجه به تنوع شرایط اقلیمی و رویشگاهی در کشور، جهت توسعه مناطق کاشت این گونه، باید اطلاعات مناسبی نیز در زمینه نیازها و محدودیت‌های اکولوژیک و هم‌چنین شیوه‌های مراقبت از آن در مواجهه با تنش‌های محیطی در نهالستان فراهم آید. بررسی‌ها نشان می‌دهد زنده‌مانی و رشد نهال‌های پالونیا در نهالستان به‌مقدار زیادی تحت‌تأثیر رطوبت خاک قرار می‌گیرد. به‌طوری‌که در پرورش نهال این گونه باید هم از آب گرفتگی و هم از خشکی خاک پرهیز گردد (۳۳). هم‌چنین با توجه به این‌که پالونیا سطح برگ و تعرق زیادی داشته و از نیاز آبی بالایی (۵۰۰ تا ۳۰۰۰ میلی‌متر) برخوردار است، رطوبت خاک می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل محدودکننده رشد این گونه تلقی شود (۳۳). به‌طوری‌که در نهالستان‌های پالونیا توجه به کیفیت، میزان و تناوب آبیاری امری ضروری محسوب می‌گردد (۲۸). علاوه‌بر این، پژوهش‌ها نشان

داده است که پالونیا به‌رغم نیاز رطوبتی بالا، حساسیت چندانی نسبت به رطوبت اتمسفری ندارد، بنابراین می‌توان با شناخت دقیق‌تر نیاز رطوبتی آن و اجرای مناسب عملیات آبیاری در فصول خشک، رویش این گونه را در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیز تضمین نمود (۶). بررسی‌ها نشان داده است که در شرایط کمبود آب، استفاده از برخی ترکیبات خارجی، شامل اسمولیت‌های آلی، هورمون‌های گیاهی و مواد معدنی، می‌تواند تحمل گیاه نسبت به تنش خشکی را افزایش داده و از مرگ‌ومیر نهال‌ها جلوگیری نماید (۳ و ۱۳). یکی از این ترکیبات خارجی اسید آسکوربیک است که تحت عنوان ویتامین C شناخته شده و یک آنتی‌اکسیدان محلول در آب محسوب می‌شود. این ماده از یکسو باعث سم‌زدایی سلول و حفاظت از غشای سلولی گردیده و از سوی دیگر موجب تسریع فرآیندهای رشد و نمو گیاه مانند تقسیم سلولی، توسعه دیواره و دیگر فرآیندهای نموی گیاه می‌گردد (۴، ۵ و ۸). این خاصیت موجب شده است برخی پژوهشگران محلول‌پاشی برگی غلظت‌های پایین (۲-۱۰ میلی‌مولار) این ماده را جهت کنترل تنش خشکی در نهال برخی درختان از جمله زربین (*Cupressus sempervirens*)، بادام (*Amygdalus communis*)، زیتون خوراکی (*Olea europea*) و انار (*Punica granatum*) توصیه کنند (۱، ۲، ۴ و ۱۴). یکی دیگر از انواع ترکیبات مؤثر بر تحمل به خشکی گیاه اسید سالیسیلیک است. این ماده از جمله هورمون‌های گیاهی به‌شمار می‌رود که تحت شرایط مختلف محیطی، اثرات بهبوددهنده‌ای بر رشد و عملکرد گیاهان دارد (۱۵). مطالعات نشان داده است که این ماده نیز می‌تواند اثرات مهمی بر ریخت‌شناسی و فیزیولوژی نهال داشته و در تحریک مکانیسم‌های حمایتی افزایش مقاومت در برابر تنش‌های محیطی (زنده و غیرزنده) مؤثر باشد (۱۷ و ۳۰). به‌طوری‌که اثرات محلول‌پاشی برگی این ماده در پژوهش‌های انجام‌شده بر نهال‌های صنوبر تبریزی (*Populus nigra*) و اکالیپتوس (*Eucalyptus globulus*) مورد بررسی و تأیید قرار گرفته است (۱۵ و ۳۰). از طرفی با وجود اثرات مثبتی که استفاده از این مواد در کنترل اثرات مخرب تنش خشکی بر نهال دارد، توجه به نوع ماده و غلظت مناسب آن نقش مهمی در فرآیند تولید نهال و مراقبت از نهال‌ها در عرصه کاشت خواهد داشت. پژوهش حاضر در نظر دارد، تأثیر محلول‌پاشی برگی اسیدآسکوربیک و اسید سالیسیلیک با غلظت‌های مختلف را بر زنده‌مانی و کیفیت نهال‌های پالونیا فورتونی بررسی نماید تا با استفاده از نتایج حاصل، اطلاعات کاربردی و ارزشمندی برای دست‌اندرکاران امر تولید نهال و زراعت چوب این گونه فراهم آمده و زمینه کنترل بهتر اثرات منفی تنش کمبود آب در این توده‌ها ایجاد گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه اجرای آزمایش و شیوه آماده‌سازی مواد آزمایشی: این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده علوم جنگل دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا شد. بدین‌منظور تعداد ۲۲۵ نونهال سالم و یکنواخت پالونیا فورتونی حاصل از بذر درختان با فنوتیپ برتر انتخاب و در اردیبهشت ۱۳۹۶، پس از چوبی‌شدن و رسیدن به ابعاد مناسب، در گلدان‌های پلی‌اتیلنی (قطر ۲۳-۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۱/۵ سانتی‌متر) حاوی خاک سطح‌الارض (۲۰ سانتی‌متر اولیه شامل افق‌های O و A) مناطق کشت پالونیا در پایین‌بند جنگل شصت‌کلاته گرگان، با مشخصات مندرج در جدول ۱ بازکاشت شد. سپس تمامی گلدان‌ها به‌مدت دو ماه و به‌صورت یکنواخت مراقبت و در حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند تا نهال‌ها به‌طور کامل استقرار یابند. پس از استقرار گیاهچه‌ها در

گلدان‌ها، با استفاده از آزمایش فاکتوریل دو عاملی با سه سطح رطوبت خاک (۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) و پنج سطح محلول‌پاشی برگی (شاهد (بدون محلول‌پاشی)، اسید آسکوربیک یک و ۱۰ میلی‌مولار، اسید سالیسیلیک ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) با سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. جهت جلوگیری از خروج آب از زیر گلدان‌ها، منافذ گلدان با استفاده از پلاستیک بسته شد (۲۲). هم‌چنین جهت تعیین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی خاک مورد مطالعه، بافت، وزن مخصوص ظاهری و رطوبت خاک قبل از کاشت اندازه‌گیری و ثبت گردید (جدول ۱). با استفاده از این اطلاعات و به‌کمک رابطه ۱، ارتباط بین پتانسیل ماتریک خاک (Ψ_m) و محتوی حجمی رطوبت خاک (θ_v) مشخص شد و ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی خاک به‌ترتیب در سطوح صفر و ۱۵- کیلوپاسکال مشخص گردید (۲۶ و ۳۰). در رابطه ۱، مقادیر A و B به‌ترتیب بر اساس روابط ۲ و ۳ و با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده برای محتوی شن (S) و رس (C) موجود در خاک مورد استفاده تعیین شد. سپس وزن مرجع گلدان‌ها در هریک از تیمارهای رطوبتی بر اساس وزن خشک خاک، وزن گلدان و وزن اولیه نهال‌ها، برای تیمارهای رطوبتی ۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب ۴۹۷۲، ۴۷۶۴ و ۴۵۵۵ برحسب گرم مشخص گردید (۲۶). به‌منظور ثابت نگه‌داشتن وزن گلدان‌ها در طول دوره اجرای آزمایش با توزین روزانه گلدان‌ها به وسیله ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ گرم و مقایسه آن با وزن مرجع تیمار رطوبتی مربوطه، میزان آب مورد نیاز هر گلدان مشخص و با استفاده از آب‌پاش در اختیار گلدان‌ها قرار گرفت. هم‌چنین برای جلوگیری از تبخیر سطحی و یکنواختی بیش‌تر رطوبت خاک در گلدان‌ها، سطح خاک گلدان با فویل آلومینیومی نازک پوشانده شد (۲۲). اجرای تیمارهای محلول‌پاشی موردنظر روی نهال‌ها پس از تهیه محلول‌های مورد نیاز شامل آب خالص (شاهد)، اسید آسکوربیک یک و ۱۰ میلی مولار (۱۴) و اسید سالیسیلیک ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر (۲۱) و هم‌زمان با شروع تیمارهای رطوبتی در ابتدای مرداد آغاز و تا پایان آزمایش (انتهای آبان ۱۳۹۶) به‌صورت اسپری دستی و هفته‌ای یکبار روی برگ نهال‌ها انجام شد.

$$\Psi_m = A\theta_v^B \quad (۱)$$

$$A = \exp\left[-4.396 - 0.0715\,C - 4.88\times10^{-4}\,(S)^2 - 4.285\times10^{-5}\,(S)^2(C)\right] \quad (۲)$$

$$B = -3.14 - 0.00222\,C^2 - 3.484\times10^{-5}\,S^2C \quad (۳)$$

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش.

Table 1. Selected physical and chemical characteristics of the soil used in the experiment.

K (ppm)	P (ppm)	N (%)	WP (%)	FC (%)	BD (g/cm^3)	EC (µS/cm)	pH	شن (٪) Sand	سیلت (٪) Silt	رس (٪) Clay	بافت خاک Soil texture
97.76	16.00	0.121	13	32	0.73	433	7.93	49.25	39.5	11.25	شنی- لومی Sandy-loamy

BD، FC، WP، N، P و K، به‌ترتیب معرف وزن مخصوص ظاهری، ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی و محتوی ازت کل، فسفر و پتاسیم قابل‌جذب خاک است.

BD, FC, WP, N, P and K, respectively, represent the specific gravity, field capacity, wilting point and the content of total nitrogen, phosphorus and potassium that can be absorbed by the soil.

اندازه‌گیری‌ها و محاسبات: بررسی زنده‌مانی با شمارش نهال‌های باقی‌مانده در فاصله هر ۳۰ روز تا پایان دوره آزمایش انجام شد. در ابتدا و انتهای آزمایش ارتفاع ساقه و قطر یقه نهال‌ها به‌ترتیب با خط‌کش فلزی (با دقت میلی‌متر) و کولیس دیجیتال (با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) اندازه‌گیری گردید و تفاوت آنها به‌عنوان رشد ارتفاعی و قطری نهال‌ها در نظر گرفته شد. جهت تعیین سطح برگ، از هر نهال یک برگ کاملاً گسترش یافته انتخاب و با دقت ۱۰۰ (dpi) اسکن گردید و سپس سطح آن با استفاده از نرم‌افزار ImageJ تعیین شد. در این مرحله مقدار به‌دست‌آمده سطح برگ در تعداد برگ نهال ضرب و بدین‌ترتیب سطح برگ هر نهال برآورد گردید. همه برگ‌ها پس از تعیین سطح با استفاده از آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و وزن آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت هزارم گرم تعیین گردید. سپس با تقسیم نمودن سطح هر برگ بر وزن خشک آن، سطح ویژه برگ محاسبه گردید. محتوی کلروفیل برگ‌ها اواسط دوره اعمال تیمارها (ابتدای مهر) در چهار تکرار (از هر نهال چهار برگ) توسط دستگاه SPAD 502 Plus اندازه‌گیری شد. بعد از پایان دوره آزمایش نهال‌ها با احتیاط از گلدان خارج شدند و پس از شستشوی کامل در آب، از قسمت یقه به دو بخش مجزا، شامل اندام‌های هوایی و ریشه تفکیک شدند. ریشه‌های هر نهال پس از شستشوی کامل به دو قسمت اصلی و فرعی (درجه یک با قطر حداقل یک میلی‌متر) تقسیم شد و طول کل ریشه (RL) با استفاده از نخ پلاستیکی و خط‌کش فلزی اندازه‌گیری گردید و تعداد ریشه‌های فرعی با قطر بزرگ‌تر از ۱ میلی‌متر شمارش شد. حجم ریشه (RV) با استفاده از تغییرات سطح آب در استوانه مدرج اندازه‌گیری و قطر متوسط ریشه بر اساس رابطه ۴ برآورد گردید (۷). هم‌چنین سطح ریشه (RA) نیز پس از اندازه‌گیری و محاسبه طول کل، حجم و قطر ریشه (RD)، با فرض استوانه‌ای بودن شکل ریشه‌ها و با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد (۲۹).

$$RD = 2\times[RV/(\pi \times RL)]^{0.5} \quad (۴)$$

$$RA = RL \times \pi \times RD \quad (۵)$$

تحلیل آماری داده‌ها: جهت بررسی مدل خطی تغییرات زنده‌مانی نهال‌ها در سطوح رطوبتی مختلف خاک از روش رگرسیون خطی ساده استفاده شد. به‌طوری‌که ضمن بررسی سطوح زنده‌مانی هدف (متغیر پاسخ)، مقادیر متناظر رطوبت خاک روی محور افقی، شامل حدود آستانه (LD'_{10})[1]، بحرانی (LD_{50}) و کشنده (LD_{90}) رطوبت خاک برای نهال‌ها برآورد گردید (۱۰). هم‌چنین مقایسات آماری اثرات رطوبت خاک و تیمارهای محلول‌پاشی بر زنده‌مانی و صفات رویشی نهال‌ها با استفاده از روش آنالیز واریانس دوعاملی بر اساس طرح کاملاً تصادفی انجام شد. البته با توجه به این‌که در سطح رطوبتی ۳۰ درصد نهال‌هایی که محلول‌پاشی نشده بودند (تیمار شاهد) مرگ‌ومیر شدیدی را نشان دادند، این تیمار از آنالیز صفات رویشی کنار گذاشته شد. در مواردی که آنالیز واریانس، اثرات اصلی و یا متقابل فاکتورها را در سطح ۵ درصد، معنی‌دار نشان داد، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن انجام گرفت.

نتایج

زنده‌مانی: نتایج نشان داد در تمامی تیمارهای محلول‌پاشی در سطح اعتماد ۹۹ درصد رابطه خطی کاهنده و معنی‌داری بین رطوبت خاک و زنده‌مانی

1- Lethal desiccation

نهال‌ها وجود دارد. به‌طوری‌که بر اساس این روابط آماری سطوح رطوبتی آستانه، بحرانی و کشنده خاک که به‌ترتیب ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد کاهش زنده‌مانی را در نهال‌ها به وجود می‌آورند، قابل‌تشخیص است (جدول ۲). در تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) حدود آستانه، بحرانی و کشنده رطوبت خاک به‌ترتیب برابر ۸۶/۲۸، ۴۷/۹۳ و ۹/۵۸ درصد بود. تاکنون در این زمینه گزارشی در مورد گونه‌های مختلف پالونیا ارائه نشده است، اما در مطالعه Bolte و همکاران (۲۰۱۶)، حد بحرانی رطوبت خاک در جمعیت‌های مختلف راش اروپایی (*Fagus sylvatica*) بین ۱۰/۵ تا ۱۸/۷ درصد گزارش گردید (۱۰). این مطلب از یکسو حساسیت بالاتر نهال‌های پالونیا فورتونی نسبت به خشکی را نشان می‌دهد و از سوی دیگر لزوم توجه به حدود رطوبتی خاک و عملیات آبیاری منظم در نهالستان‌های پالونیا را مورد تأکید قرار می‌دهد. نتایج نشان داد در تمامی تیمارهای محلول‌پاشی، حدود رطوبتی آستانه، بحرانی و کشنده خاک در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت (جدول ۲). این مطلب نشان‌دهنده اثرات مثبت محلول‌پاشی، به‌ویژه در تیمارهای اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و اسید آسکوربیک (۱۰ میلی‌مولار)، بر نرخ زنده‌مانی نهال‌های پالونیا فورتونی است. اثرات مثبت محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک و اسید آسکوربیک بر مقاومت به خشکی نهال برخی گونه‌های جنگلی تندرشد، ازجمله صنوبر کالیفرنیا (*Populus trichocarpa*) و اکالیپتوس (*Eucalyptus globulus*) نیز گزارش شده است (۱۵ و ۳۲). مطالعات نشان می‌دهد وقتی غلظت مناسبی از اسیدسالیسیلیک و اسید آسکوربیک مورد استفاده قرار می‌گیرند، روزنه‌های برگی گیاه بسته شده و مجموعه‌ای از فرآیندهای فیزیولوژیک مؤثر بر مقاومت به خشکی در گیاه فعال می‌گردند که از آن جمله می‌توان به فعال‌سازی سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدان، تولید متابولیت‌های ثانویه، سنتز اسمولیت‌ها و بهینه‌سازی وضعیت عناصر مغذی گیاه اشاره کرد (۷). این فرآیندها موجب صرفه‌جویی گیاه در مصرف آب و درنتیجه حفظ زنده‌مانی گیاه در شرایط کمبود آب می‌گردد که البته شناخت دقیق آن‌ها در نهال‌های پالونیا فورتونی مستلزم پژوهش‌های تکمیلی در این زمینه است.

جدول ۲- رطوبت حدود آستانه، بحرانی و کشنده نهال‌های پالونیا فورتونی در سطوح مختلف رطوبت خاک و تیمار محلول‌پاشی.

Table 2. Threshold, critical and lethal moisture of *Paulownia fortunei* seedlings at different levels of soil moisture and foliar spray treatment.

تیمار	حد آستانه Threshold (LD_{10})	حد بحرانی Critical (LD_{50})	حد کشنده Lethal (LD_{90})	ضریب مدل Model coefficient	ضریب تغییرات Coefficient of variations	R^2	F
شاهد (Control)	86.28	47.93	9.58	1.043	0.384	0.964	132.89**
As1	79.26	44.00	8.81	0.984	0.331	0.963	210.63**
As10	72.94	40.51	8.10	0.905	0.502	0.910	80.97**
Sa100	71.22	39.56	7.92	1.095	0.248	0.945	136.52**
Sa150	74.25	41.25	8.25	0.889	0.404	0.868	52.71**

** نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۹۹ درصد و اعداد مندرج در جدول سطوح رطوبتی اولیه، آستانه، بحرانی و کشنده را نشان می‌دهد. ضریب مدل مربوط به رابطه خطی محاسبه‌شده در آنالیز رگرسیون است. هم‌چنین As1 و As10 به ترتیب معرف اسید آسکوربیک یک و ۱۰ میلی‌مولار و Sa100 و Sa150 معرف اسید سالیسیلیک ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر است.

** Shows significance at 99% confidence level, and inserted values in table show initial, threshold, critical and lethal moisture levels. Model coefficient reported from a linear correlation calculated in regression analysis. Also AS1 and AS10 respectively show 1 and 10 mM Ascorbic acid, and Sa100 and Sa150 respectively show 100 and 150 $mg.L^{-1}$ salicylic acid.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد، در تیمار شاهد کاهش رطوبت خاک به‌طور معنی‌داری زنده‌مانی نهال‌ها را کاهش داد. به‌طوری‌که میانگین زنده‌مانی نهال‌ها در سطح رطوبتی ۶۰ درصد، ۴۶/۶۷ درصد و در سطح رطوبتی ۳۰ درصد، به میزان ۹۳/۳۳ درصد کاهش یافت. کاهش شدید زنده‌مانی نهال‌ها در تنش کم‌آبی دور از انتظار نیست. به‌طوری‌که در برخی مطالعات قبلی، ازجمله پژوهش Berg و همکاران (۲۰۱۹) روی ۳ گونه پالونیا (*P. fortunei*, *P. tomentosa*, *P. elongata*) در ایالت کارولینای شمالی، نیاز بالای رطوبتی این گونه و احتمال افزایش مرگ‌ومیر در اثر کاهش رطوبت خاک مورد تأکید قرار گرفته است (۷). این یافته از یکسو نشان‌دهنده حساسیت بالای نهال پالونیا فورتونی در برابر کاهش رطوبت خاک بوده و نیاز به منابع آبی دائمی و روش مناسب آبیاری را در نهالستان‌های پالونیا مورد تأکید قرار داده و از سوی دیگر نیاز به تیمارهای مراقبتی ویژه جهت کنترل مرگ‌ومیر نهال‌ها در شرایط کم‌آبی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد استفاده از تیمارهای محلول‌پاشی به‌طور معنی‌داری از کاهش نرخ زنده‌مانی نهال‌ها در شرایط کم‌آبی جلوگیری می‌کند. به‌طوری‌که در تیمارهای محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک کاهش زنده‌مانی نهال‌ها در اثر تغییرات رطوبت خاک غیرمعنی‌دار و در تیمارهای محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک فقط در سطح رطوبتی ۳۰ درصد (خشکی شدید) نسبت به سطوح رطوبتی بالاتر (۶۰ و ۹۰ درصد) کاهش شدیدی در نرخ زنده‌مانی نهال‌ها به‌وجود آورد (جدول ۵). در سطح رطوبتی ۶۰ درصد با این‌که میانگین زنده‌مانی نهال‌ها در تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بالاتر از تیمار شاهد و سایر تیمارهای محلول‌پاشی بود، اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد مشاهده نشد؛ اما در سطح رطوبتی ۳۰ درصد (خشکی شدید)، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید آسکوربیک یک میلی‌مولار افزایش معنی‌داری در زنده‌مانی نهال‌ها ایجاد نمود. به‌طوری‌که بالاترین مقدار زنده‌مانی نهال‌ها (۵۳/۳ درصد) در تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده گردید که این رقم در مقایسه با تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) تحت رطوبت ۳۰ درصد (زنده‌مانی ۶/۶۷ درصد) به میزان ۴۶/۷ درصد (تقریباً هفت برابر) افزایش را نشان داد (جدول ۵). این نتایج اثرات مثبت محلول‌پاشی با غلظت‌های مناسب اسید سالیسیلیک و اسید آسکوربیک را بر کنترل آسیب‌های حیاتی تنش خشکی در نهال پالونیا فورتونی نشان داد و لزوم استفاده از این تیمارها را در شرایط کمبود آب متذکر می‌گردد. نتایج حاصل از برخی مطالعات انجام شده در زمینه افزایش مقاومت نهال گونه‌های چوبی تندرشد ازجمله صنوبر کالیفرنیا (*Populus trichocarpa*)، اکالیپتوس (*Eucalyptus globulus*) و هم‌چنین برخی گونه‌های باغی مثل انار (*Punica granatum* cv. *wonderful*) و زیتون (*Olea europaea* cv. *cobrançosa*) نیز با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مطابقت دارند (۲، ۱۱، ۱۵ و ۳۲). بررسی اثرات متقابل رطوبت خاک و محلول‌پاشی بر میانگین زنده‌مانی نهال‌ها هم‌چنین نشان داد، در سطح رطوبتی ۹۰ درصد (رطوبت بالا) بدون استفاده از تیمارهای محلول‌پاشی نهال‌های پالونیا فورتونی از زنده‌مانی کامل (۱۰۰ درصد) برخوردار بودند و محلول‌پاشی نه‌تنها موجب افزایش زنده‌مانی نهال‌ها نشد، بلکه در غلظت‌های بالا به‌طور معنی‌داری زنده‌مانی نهال‌ها را کاهش داد (جدول ۵). مطالعات Miura و همکاران (۲۰۱۱) نشان داده است که افزایش غلظت اسید سالیسیلیک در محلول‌پاشی باعث بسته شدن روزنه‌های برگی، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن[1] در بافت‌های فتوسنتزی و

1- Reactive oxygen species (ROS)

بروز تنش اکسیداتیو در گیاه می‌شود (۱۷). بر این اساس به‌نظر می‌رسد در سطح رطوبتی ۹۰ درصد که امکان مواجهه گیاه با تنش کمبود آب بسیار پایین است، نیازی به فعال‌سازی مکانیسم‌های مقاومت به خشکی در گیاه وجود نداشته و در صورت نیاز باید غلظت‌های پایین اسید سالیسیلیک و اسید آسکوربیک مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۳- مقادیر میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس زنده‌مانی و برخی صفات رویشی و فیزیولوژیک نهال‌های پالونیا فورتونی تحت تیمارهای رطوبت خاک و محلول‌پاشی برگی.

Table 3. ANOVA mean squares values of survival and some growth and physiological properties of *Paulownia fortunei* seedlings under soil moisture content and foliar spray treatments.

A*B	محلول‌پاشی (B) Foliar spray	رطوبت خاک (A) Soil moisture	صفات Traits
0.141^{*}	0.049^{ns}	1.792^{**}	زنده‌مانی Survival
26.926^{ns}	71.691^{ns}	583.205^{**}	رشد طولی ساقه Stem height growth
0.623^{ns}	0.524^{ns}	5.290^{**}	رشد قطری ساقه Stem diameter growth
69423.31^{ns}	64186.73^{ns}	345443.32^{**}	سطح کل برگ Total leaf area
1677621.30^{ns}	1066655.69^{ns}	9905481.70^{**}	سطح ویژه برگ Specific Leaf area
0.170^{*}	0.293^{**}	4.347^{**}	کلروفیل کل برگ Total leaf chlorophyll
4422.97^{**}	1289.55^{ns}	968.73^{ns}	طول کل ریشه Total root length
0.479^{*}	0.087^{ns}	0.017^{ns}	سطح کل ریشه Total root area
25.16^{*}	1.71^{ns}	13.92^{ns}	تعداد ریشه‌های فرعی Number of 1^{st} order lateral root
8	4	2	درجه آزادی Degree of freedom

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان داده و ns معرف عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

* and ** respectively show significance at 5% and 1% probability levels and ns shows insignificance at 5% probability level.

اندام هوایی نهال: نتایج پژوهش نشان داد اثرات مستقل رطوبت خاک بر ویژگی‌های رویشی ساقه (رشد طولی و قطری) و برگ (سطح کل و سطح ویژه) نهال‌های پالونیا فورتونی در سطح اعتماد ۹۹٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). در سطح رطوبتی ۹۰ درصد میانگین رشد طولی و قطری ساقه و همچنین ویژگی‌های برگ (سطح کل، سطح ویژه و کلروفیل کل) نهال‌ها بالاترین مقدار را به خود اختصاص داد.

کاهش رطوبت خاک از سطح ۹۰ به ۶۰ درصد صفات رویشی ساقه و برگ نهال‌ها را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. به همین ترتیب کاهش رطوبت خاک از سطح ۶۰ درصد به ۳۰ درصد به‌طور معنی‌داری محتوی کلروفیل کل برگ نهال‌ها را کاهش داد، اما بر رشد طولی و قطری و همچنین سطح کل و سطح ویژه برگ نهال‌ها تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۴). به‌طورکلی کمبود آب به کاهش آماس سلولی، پلاسمولیز سلول‌ها منجر شده و درنتیجه کاهش رشد و تقسیم سلولی به خصوص بافت ساقه و میان‌گره‌ها را به دنبال داشته و درنهایت کاهش رویش طولی و قطری نهال و ممانعت از توسعه برگ‌ها را به همراه خواهد داشت. کاهش سطح برگ و اندازه اندام هوایی نهال نیز باعث نیاز کم‌تر به جذب آب و درنتیجه کاهش تعرق و کاهش نیاز آبی گیاه می‌گردد (۳). نتایج حاصل از مطالعات انجام شده در مورد برخی گونه‌های درختی، از جمله اکالیپتوس (*Eucalyptus globulus*)، صنوبر (*Populus kangdingensis*) و زیتون رقم کنسروالیا (*Olea europaea* cv. *Konservalia*) نیز کاهش رشد اندام هوایی نهال را در اثر کمبود آب و تنش رطوبتی گیاه نشان داده‌اند و از این نظر با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مطابقت دارند (۲۴، ۲۷ و ۳۱). نتایج نشان داد اثرات مستقل محلول‌پاشی برگی و هم‌چنین اثرات متقابل محلول‌پاشی برگی و رطوبت خاک بر صفات رویشی اندام هوایی نهال‌ها در سطح اعتماد ۹۵٪ معنی‌دار نبود (جدول ۳). به‌طوری‌که میانگین صفات رویشی ساقه (رشد طولی و قطری) و برگ (سطح کل و سطح ویژه) نهال‌های پالونیا فورتونی تغییر معنی‌داری را در تیمارهای مختلف محلول‌پاشی برگی نشان نداد. این یافته نشان‌دهنده این است که استفاده از محلول‌پاشی برگی با اسید آسکوربیک و اسید سالیسیلیک در غلظت‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر جهت افزایش رشد اندام هوایی نهال پالونیا فورتونی نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. پژوهش‌های نشان می‌دهند واکنش گونه‌های درختی مختلف در برابر نوع و غلظت ماده استفاده‌شده در محلول‌پاشی برگی بسیار متفاوت است (۵). برخی پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه، مثل Ebrahimpour و همکاران (۲۰۲۰) روی پسته خوراکی (*Pistacia vera* cv. *Badami-Zarand*) نتایجی مشابه و برخی دیگر، مثل Shafiei و همکاران (۲۰۱۹) روی زیتون (*Olea europaea* cv. *Konservalia*) نتایجی متفاوت با یافته‌های پژوهش حاضر نشان دادند (۱۲ و ۲۷). به‌طوری‌که می‌توان بیان نمود واکنش گونه‌های درختی مختلف در برابر نوع و غلظت ماده استفاده‌شده در محلول‌پاشی برگی متفاوت است و از این نظر لازم است قبل از توصیه محلول‌پاشی برگی روی یک گونه درختی، نحوه تأثیرگذاری آن پژوهش و بررسی شود. بررسی اثرات متقابل محلول‌پاشی برگی و رطوبت خاک بر محتوی کلروفیل کل برگ نهال‌ها نشان داد که در سطح رطوبتی ۳۰٪ محلول‌پاشی برگی میانگین کلروفیل برگ نهال‌ها را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد، اما در سطوح رطوبتی ۶۰ و ۹۰ درصد اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای محلول‌پاشی برگی و شاهد وجود نداشت (جدول ۵). به‌طورکلی تنش رطوبتی از طریق کاهش سطح برگ، بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش در قابلیت هدایت روزنه‌ها، کاهش در آبگیری کلروپلاست و سایر بخش‌های پروتوپلاسم که به‌نحوی کارایی فتوسنتز را کاهش می‌دهند، کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل سبب تقلیل فرایند فتوسنتز می‌گردد (۲۳). مطالعات نشان می‌دهد، اسید سالیسیلیک در شرایط تنش رطوبتی به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل نموده و از آسیب به رنگدانه‌ها، به‌ویژه کلروفیل جلوگیری می‌کند. به‌طوری‌که گزارش

شده است اسید سالیسیلیک از طریق جلوگیری از آسیب به کلروفیل سبب بهبود فتوسنتز در شرایط تنش رطوبتی شده است (۱۶). پژوهش‌های انجام شده روی گونه‌های اکالیپتوس (*Eucalyptus globulus*) و توت آمریکایی تحت شرایط تنش رطوبتی تأییدکننده اثر مثبت محلول‌پاشی بر افزایش کلروفیل می‌باشند (۱۵ و ۲۷) که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد.

ویژگی‌های ریشه: نتایج تجزیه‌واریانس صفات ریشه نهال‌ها نشان داد که اثرات مستقل رطوبت خاک و محلول‌پاشی بر ویژگی‌های ریشه (طول کل ریشه، سطح کل ریشه و تعداد ریشه‌های فرعی) در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار نبود، اما اثر متقابل رطوبت خاک و محلول‌پاشی بر طول کل ریشه در سطح اعتماد ۹۹ درصد و بر سطح ریشه و تعداد ریشه‌های فرعی در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد اثرات محلول‌پاشی برگی بر ویژگی‌های ریشه نهال به‌شدت تحت‌تأثیر رطوبت خاک قرار دارد. به‌طوری‌که در سطح رطوبتی ۹۰ درصد بالاترین سطح ریشه، طول ریشه و تعداد ریشه‌های فرعی در تیمارهای شاهد و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک یک میلی‌مولار مشاهده شد. درحالی‌که در سطح رطوبتی ۶۰٪ این تیمارها پایین‌ترین مقادیر سطح ریشه و تعداد ریشه‌های فرعی درجه یک را به خود اختصاص دادند. در سطح رطوبتی ۹۰ درصد محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک، به‌ویژه در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث کاهش سطح ریشه و تعداد ریشه‌های فرعی نهال‌ها گردید، اما در سطح رطوبتی ۶۰ درصد میانگین سطح و طول کل ریشه و هم‌چنین تعداد ریشه‌های فرعی در تیمار مذکور به بالاترین مقدار خود رسید. اثرات مثبت محلول‌پاشی بر صفات ریشه نهال‌ها در سطح رطوبتی ۳۰ درصد نیز مشاهده شد. پژوهش‌ها نشان داده است در شرایط کمبود آب محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید آسکوربیک بر صفات ریشه برخی از گونه‌های چوبی دیگر، از جمله زربین (*Cupressus sempervirens*)، بادام (*Prunus amygdalus*) و زیتون (*Olea europaea* cv.Konservalia) نیز اثرات مثبت داشته است (۱، ۱۴ و ۲۷). محلول‌پاشی اسید آسکوربیک و جذب برگی آن توسط گیاه سبب می‌شود این مکانیسم در گیاه فعال گردیده و انتقال آن از برگ به ریشه موجب تحریک ریشه‌زایی و فعالیت مرکز توقف رشد گیاه[1] می‌گردد (۸). افزایش رشد ریشه باعث می‌شود گیاه امکان دسترسی بیش‌تری به رطوبت موجود در خاک را پیدا نماید و از این نظر به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های اجتناب از خشکی و افزایش مقاومت به خشکی در گیاهان شناخته می‌شود (۱۷)؛ بنابراین در شرایط رطوبتی مناسب (سطح رطوبتی ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) استفاده از تیمارهای محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اسید آسکوربیک به دلیل نقشی که در بسته‌شدن روزنه‌های برگی و کاهش نرخ فتوسنتز گیاه دارند، می‌تواند موجب کاهش رشد و توسعه اندام‌های نهال ازجمله ریشه شود (۸)؛ بنابراین غیرمعنی‌دار بودن اثرات محلول‌پاشی بر صفات ریشه در سطح رطوبتی ۹۰ درصد دور از انتظار نیست. البته در سطح رطوبتی ۳۰ درصد، صفات ریشه به دلیل تعداد اندک نهال‌های باقی‌مانده در تیمار شاهد، مقایسه آماری صورت نپذیرفت، اما مقایسه تیمارهای محلول‌پاشی در این سطح رطوبتی (خشکی شدید) نشان داد نهال‌های پالونیا فورتونی که تحت محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و یا اسید آسکوربیک با غلظت ۱۰ میلی‌مولار قرار گرفتند، میانگین سطح و طول کل ریشه و هم‌چنین تعداد ریشه‌های فرعی بیش‌تری داشتند (جدول ۵).

1- Quiescent center

جدول ٤- اثرات اصلی (مستقل) رطوبت خاک بر صفات رویشی و فیزیولوژیک نهال‌های پالونیا فورتونی.

Table 4. Main (independent) effects of soil moisture on growth and physiological traits of *Paulownia fortunei* seedlings.

محلول‌پاشی برگی Foliar spray					رطوبت خاک (ظرفیت زراعی) Soil moisture (Field capacity)			صفات Traits
Sa150	Sa100	As2	As1	Control	30%	60%	90%	
37.77^{A} (–12.6)	40.22^{A} (–6.9)	39.53^{A} (–8.5)	39.76^{A} (–7.9)	43.19^{A} (0.0)	34.49^{b} (–29.3)	35.82^{b} (–26.6)	48.81^{a} (0.0)	رشد طولی ساقه (cm) Stem height growth
1.78^{A} (–17.3)	1.81^{A} (–15.6)	1.77^{A} (–17.6)	1.50^{A} (–29.9)	2.15^{A} (0.0)	1.35^{b} (–38.2)	1.76^{b} (–19.8)	2.19^{a} (0.0)	رشد قطری ساقه (mm) Stem diameter growth
419.4^{A} (–9.3)	491.0^{A} (+6.1)	581.9^{A} (+25.8)	600.4^{A} (+29.8)	462.5^{A} (0.0)	409.8^{b} (–39.7)	436.3^{b} (–35.8)	680.0^{a} (0.0)	سطح کل برگ (cm^2) Total leaf area
20.9^{A} (+5.6)	16.5^{A} (–16.6)	26.9^{A} (+36.1)	17.6^{A} (–10.9)	19.8^{A} (0.0)	20.6^{b} (–10.0)	17.7^{b} (–22.9)	22.9^{a} (0.0)	سطح ویژه برگ (cm^2) Specific Leaf area
34.5^{B} (–1.9)	33.9^{B} (–3.6)	33.1^{C} (–6.0)	33.6^{BC} (–4.4)	35.2^{A} (0.0)	31.4^{c} (14.6)	33.9^{b} (7.8)	36.7^{a} (0.0)	کلروفیل کل برگ (SPAD) Total leaf chlorophyll
183.0^{A} (+11.0)	167.3^{A} (+1.4)	155.2^{A} (–5.9)	176.3^{A} (+6.9)	164.9^{A} (0.0)	174.9^{a} (+3.1)	163.9^{a} (–3.4)	169.7^{a} (0.0)	سطح کل ریشه (cm^2) Total root area
12.4^{A} (–2.4)	12.2^{A} (–4.2)	11.9^{A} (–6.8)	13.0^{A} (+2.1)	12.8^{A} (0.0)	13.3^{a} (+3.3)	11.2^{a} (–12.5)	12.8^{a} (0.0)	تعداد ریشه‌های فرعی Number of lateral roots
137.1^{A} (+21.6)	123.4^{A} (+9.4)	107.0^{A} (–5.2)	126.7^{A} (+12.3)	112.8^{A} (0.00)	135.2^{a} (+13.3)	111.7^{a} (–6.4)	119.3^{a} (0.0)	طول کل ریشه (cm) Total root length

اعداد داخل پرانتز درصد تغییرات نسبت به تیمار رطوبتی ۹۰ درصد و شاهد را نشان می‌دهند. حروف لاتین کوچک و بزرگ مشابه به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطوح رطوبت خاک و محلول‌پاشی برگی می‌باشند (α=۰/۰۵). As1 و As10 به‌ترتیب معرف اسید آسکوربیک ۱ و ۱۰ میلی‌مولار و Sa100 و Sa150 معرف اسید سالیسیلیک ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر است.

Values in parenthesis show percent of changes compared to 90% moisture and control treatment, and similar small and capital letters, respectively show insignificant difference between soil moisture and foliar spray levels (α=0.05). AS1 and AS10 respectively show 1 and 10 mM Ascorbic acid and Sa100 and Sa150 respectively show 100 and 150 $mg.L^{-1}$ salicylic acid.

جدول ٥- اثرات متقابل رطوبت خاک و محلول‌پاشی برگی بر زنده‌مانی و برخی صفات رویشی نهال‌های پالونیا فورتونی.

Table 5. Interaction effects of soil moisture and foliar spray on survival and some growth characteristics of *Paulownia fortunei* seedlings.

محلول‌پاشی برگی (Foliar spray)					رطوبت خاک Soil moisture	صفات Traits
Sa150	Sa100	As2	As1	شاهد (Control)		
73.3^{b-e}	86.7^{ab}	73.3^{bc}	86.7^{ab}	100.0^{a}	90%	زنده‌مانی Survival
53.3^{b-e}	73.3^{b-d}	66.7^{b-e}	60.0^{b-e}	53.3^{b-e}	60%	
46.7^{c-e}	53.3^{b-e}	26.7^{ef}	33.3^{de}	6.7^{f}	30%	
36.2^{ab}	37.0^{ab}	36.0^{ab}	35.6^{ab}	38.8^{a}	90%	کلروفیل کل برگ Total leaf chlorophyll
35.0^{bc}	32.9^{c-e}	32.8^{c-e}	34.3^{b-d}	34.4^{b-d}	60%	
32.4^{b-e}	31.9^{c-e}	30.4^{ef}	31.0^{de}	20.7^{f}	30%	
110.0^{ab}	100.0^{ab}	99.8^{ab}	162.4^{a}	124.3^{ab}	90%	طول کل ریشه Total root length
133.8^{ab}	164.7^{a}	67.7^{b}	72.3^{b}	82.7^{b}	60%	
167.6^{a}	105.6^{ab}	153.5^{ab}	103.1^{ab}	56.7^{NT}	30%	
161.0^{a-c}	111.8^{c}	152.6^{a-c}	223.3^{ab}	199.4^{ab}	90%	سطح کل ریشه Total root area
182.2^{a-c}	234.4^{a}	122.4^{a-c}	112.7^{a-c}	113.4^{a-c}	60%	
205.8^{ab}	155.7^{a-c}	190.6^{a-c}	134.1^{a-c}	71.9^{NT}	30%	
10.3^{a-c}	10.3^{a-c}	13.2^{a-c}	15.2^{ab}	15.2^{ab}	90%	تعداد ریشه‌های فرعی Number of lateral roots
11.0^{a-c}	14.7^{ab}	8.5^{c}	8.3^{c}	9.9^{bc}	60%	
16.0^{a}	11.7^{a-c}	14.0^{a-c}	11.2^{a-c}	4.7^{NT}	30%	

حروف لاتین کوچک مشابه کوچک معرف عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین زنده‌مانی در سطح احتمال ۵ درصد است. As1 و As10 به‌ترتیب معرف اسید آسکوربیک ۱ و ۱۰ میلی‌مولار و Sa100 و Sa150 معرف اسید سالیسیلیک ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر است.

Similar small letters, show insignificant difference between survival mean values at 5 percent probability level. AS1 and AS10 respectively show 1 and 10 mM Ascorbic acid, and Sa100 and Sa150 respectively show 100 and 150 $mg.L^{-1}$ salicylic acid.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد در تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) حدود رطوبتی ۸۶/۲۸، ۴۷/۹۳ و ۹/۵۸ درصد خاک به‌ترتیب ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد کاهش زنده‌مانی نهال‌های پالونیا فورتونی در پی دارند. درحالی‌که در تیمارهای محلول‌پاشی، این حدود کاهش یافت که نشان‌دهنده اثرات مثبت محلول‌پاشی بر نرخ زنده‌مانی نهال‌های این گونه است. کاهش رطوبت خاک در تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری زنده‌مانی نهال‌ها را کاهش داد. این یافته حساسیت بالای نهال پالونیا فورتونی در برابر کاهش رطوبت خاک را تبیین می‌کند که از یک‌سو نیاز به منابع آبی دائمی و روش آبیاری مناسب را در نهالستان پالونیا مورد تأکید قرار داده و از سوی دیگر نیاز به تیمارهای مراقبتی ویژه جهت کنترل مرگ‌ومیر نهال‌ها در شرایط کم آبی را نشان می‌دهد. هم‌چنین نتایج نشان داد، استفاده از محلول‌پاشی به‌ویژه در تیمار اسید سالیسیلیک با کاهش رطوبت خاک در نرخ زنده‌مانی نهال‌ها تغییر معنی‌داری به وجود نمی‌آورد، به‌طوری‌که در سطح رطوبتی ۳۰ درصد (خشکی شدید) محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک و اسید آسکوربیک افزایش معنی‌داری در زنده‌مانی نهال‌ها ایجاد نمود. از این نظر می‌توان استفاده از تیمار محلول‌پاشی را برای مواجه با شرایط کم‌آبی در نهالستان‌های پالونیا فورتونی توصیه کرد؛ اما در شرایط رطوبتی مناسب با توجه به نقش منفی که استفاده از تیمارهای محلول‌پاشی بر زنده‌مانی نهال‌ها داشتند، پیشنهاد می‌گردد جهت بهبود رشد و زنده‌مانی نهال‌های این گونه بجای استفاده از محلول‌پاشی، از سایر تیمارهای مراقبتی استفاده شود و در پژوهش آتی اثرات این تیمارها بر رشد و عملکرد نهال‌های کاشته شده در عرصه مورد بررسی و پژوهش قرار گیرد.

منابع

1. Abdulrahman, A.S. 2013. Effect of foliar spray of ascorbic acid, zinc, seaweed extracts and biofertilizer (EM1) on growth of almonds (*Prunus amygdalus*) seedling. International J. of Pure and Applied Sciences and Technology. 17: 2. 61-71.
2. Abo-Ogiala, A. 2018. Managing crop production of pomegranate cv. Wonderful via foliar application of ascorbic acid, proline and glycinbetaine under environmental stresses. International. J. of Environment, 7: 3. 95-103.
3. Aliarab, A., Okati, E., and Sadati, S.E. 2020. Effect of soil moisture content and nitrogen fertilizer on survival, growth and some physiological characteristics of *Platycladus orientalis* seedlings. J. of Forest Science. 66: 12. 511-523.
4. Aliniaeifard, S., Hajilou, J., Tabatabaei, S.J., and Sifi-Kalhor, M. 2016. Effects of ascorbic acid and reduced glutathione on the alleviation of salinity stress in olive plants. International J. of Fruit Science. 16: 4. 395-409.
5. Banks, J.M., and Percival, G.C. 2012. Evaluation of biostimulants to control Guignardia leaf blotch (*Guignardia aesculi*) of horsechestnut and black spot (Diplocarpon rosae) of roses. Arboriculture and Urban Forestry. 38: 6. 258-261.
6. Barton, I.L., Nicholas, I.D., and Ecroyd, C.E. 2007. Paulownia. Forest Research Bulletin, No. 231, Newzealand Forest Research Institute.
7. Berg, E.C., Zarnoch, S.J., and McNab, W.H. 2020. Survivorship, attained diameter, height and volume of three Paulownia species after 9 years in the southern Appalachians, USA. J. of Forestry Research. 31: 6. 2181-2191.

8.Bilska, K., Wojciechowska, N., Alipour, S., and Kalemba, E.M. 2019. Ascorbic acid-the little-known antioxidant in woody plants. Antioxidants. 8: 645. 1-23.
9.Böhm, W. 2012. Methods of studying root systems (Volume 33). Springer Science and Business Media. 188p.
10.Bolte, A., Czajkowski, T., Cocozza, C., Tognetti, R., De Miguel, M., Pšidová, E., and Müller. J. 2016. Desiccation and mortality dynamics in seedlings of different European beech (*Fagus sylvatica* L.) populations under extreme drought conditions. Frontiers in Plant Science. 7: 751. 1-12.
11.Brito, C., Dinis, L.T., Luzio, A., Silva, E., Gonçalves, A., Meijón, M., and Correia, C.M. 2019. Kaolin and salicylic acid alleviate summer stress in rainfed olive orchards by modulation of distinct physiological and biochemical responses. Scientia Horticultural, 246: 201-211.
12.Ebrahimpour, E., Panahi, B., Talaie, A., and Tavassolian, I. 2020. The effects of foliar application of salicylic acid and ascorbic acid on morpho-physiological traits of Pistachio seedlings under drought. J. of Nuts. 11: 3. 213-226.
13.El-Hady, A., and Hegazy, A.A. 2021. Effect of potassium and salicylic acid foliar application on dieffenbachia picta plants with different irrigation water rates. J. of Plant Production. 121: 1. 97-103.
14.Farahat, M.M., Ibrahim, M.S., Taha, L.S., and El-Quesni, E.F. 2007. Response of vegetative growth and some chemical constituents of *Cupressus sempervirens* L. to foliar application of ascorbic acid and zinc at Nubaria. World J. of Agricultural Sciences. 3: 4. 496-502.
15.Jesus, C., Meijón, M., Monteiro, P., Correia, B., Amaral, J., Escandón, M., and Pinto, G. 2015. Salicylic acid application modulates physiological and hormonal changes in *Eucalyptus globulus* under water deficit. Environmental and Experimental Botany. 118: 56-66.
16.Khan, W., Prithviraj, B., and Smith, D.L. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. J. of Plant Physiology. 160: 485-492.
17.Miura, K., and Tada, Y. 2014. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. Frontiers in Plant Science. 5: 4. 231-244.
18.Moayeri, M.H., Hatami, N., and Tabarsa, T. 2018. Evaluation of quantitative and qualitative characteristics of *Paulownia fortunei* cultivation on steep lands (Case study: Tooskestan region–Gorgan). J. of Forest Research and Development. 4: 1. 97-112. (In Persian)
19.Modir Rahmati, A. 2009. A strategy program for development of plantations in Iran. Poplar and fast-growing trees research department. 93p. (In Persian)
20.Mohammadi, A., and Moayeri, M.H. 2016. Determining the harvest age (Economic) of even- aged stands of *paulownia* plantation in Dr. Bahramnia's forestry plan. J. of Wood and Forest Science and Technology. 23: 2. 203-223. (In Persian)
21.Mohammadi, H., Kashefi, B., and Khoshghalb, H. 2016. Investigation of salicylic acid effect in different growth stages on quality and quantity of grape varieties rish baba in Shahrood. J. of Plant Research (Iranian J. of Biology). 29: 4. 886-895. (In Persian)
22.Naghipoor, S., Aliarab, A.R., and Sadati, S.E. 2019. Effects of soil moisture content and urea fertilizer on survival, growth and some physiological attributes of Mediterranean cypress seedling. J. of Forest and Wood Products. 71: 315-324. (In Persian)
23.Nazarikia, H., Jalilimarandi, R., Hssani, A., and Khara, J. 2012. The effect of salicylic acid thioacid on some morphological properties physiological of two olive seedling cultivars (Koronaiki and Dezfuli) under tense conditions locking. Master Thesis of Urmia University. 175p. (In Persian)
24.Pita, P., and Parados, J.A. 2001. Growth, leaf morphology, water use and tissue water relations of *Eucalyptus globulus* clones in response to water deficit. Tree Physiology. 21: 9. 599-607.
25.Riahifar, N., Fallah, A., Mohammadi Samani, K., and Gorji Mahlebani, Y. 2009. Comparing the growth of

Paulownia fortunei and *Populus deltoides* plantations under different spacing in northern Iran. Iranian J. of Forest and Poplar Research, 16: 3. 444-454. (In Persian)

26. Saxton, K.E., Rawls, W., Romberger, J.S. and Papendick, R.I. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil Science Society of America J. 50: 4. 1031-1036.
27. Shafiei, N., Khaleghi, E., and Moallemi, N. 2019. Effect of salicylic acid on some morphological and biochemical characteristics of Olive (*Olea europaea* cv. *Konservalia*) under water stress. Plant Productions. Scientific J. of Agriculture. 42: 1. 15-30.
28. Sheikh, H., Ali-Arab, A.R., and Sadati, S.E. 2017. Effect of salinity on seed germination, growth and survival of *paulownia fortunei* seedlings under laboratory and greenhouse conditions. Forest and Wood Products. 70: 4. 649-658. (In Persian)
29. Tagliavini, M., Veto, L.J., and Looney, N.E. 1993. Measuring root surface area and mean root diameter of peach seedlings by digital image analysis. HortScience. 28: 11. 1129-1130.
30. Ullah, C., Tsai, C.J., Unsicker, S.B., Xue, L., Reichelt, M., Gershenzon, J., and Hammerbacher, A. 2019. Salicylic acid activates poplar defense against the biotrophic rust fungus Melampsora larici-populina via increased biosynthesis of catechin and proanthocyanidins. New Phytologist. 221: 2. 960-975.
31. Yin, C., Duan, X., Luo, B., and Li, J. 2005. Early growth, dry matter allocation and water use efficiency of two sympatric *populous* species as affected by water stress. Environmental and Experimental Botany. 53: 3. 315-322.
32. Zhang, Y., Zhou, Y., Zhang, D., Tang, X., Li, Z., Shen, C., and Xia, X. 2020. PtrWRKY75 overexpression reduces stomatal aperture and improves drought tolerance by salicylic acid-induced reactive oxygen species accumulation in poplar. Environmental and Experimental Botany. 176: 104-117.
33. Zhu, Z.H., Chao, C.J., Lu, X.Y., and Xiong, Y.G. 1986. Paulownia in china: cultivation and utilization. Asian Network for Biological Sciences and International Development Research Centre. 65p.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 28 (3), 2021
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/JWFST.2021.18866.1917

Full Length Research Paper

Effect of foliar spray of growth regulators on survival and growth of *Paulownia fortunei* seedlings under drought stress

M. Nodeh[1], A.R. Ali-Arab[*2] and S.E. Sadati[3]
[1]M.Sc. Graduate, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,
[2]Assistant Prof., Dept. of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,
3Associate Prof., Center of Agricultural and Natural Resources Research of Mazandaran, Sari, Iran
Received: 02.26.2021; Accepted: 04.23.2021

Abstract

Background and Objectives: *Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl is one of the fastest growing tree species of Paulownia genus, which is a suitable option for wood farming and agroforestry in north of Iran. Drought is one of the most important factors limiting the growth and survival of this species, which can cause severe damage to its performance in the nursery and planting area. This study intends while to investigate the growth and survival response of this species seedling to changes in soil moisture, in order to consider the possibility of using foliar spray of salicylic acid and ascorbic acid to increase drought resistance of *P. fortunei* in seedling stage.

Materials and Methods: In this study, 225 seedlings were selected, and were transplanted in 3 liter pots filled with suitable soil, and were examined after establishment under 3 levels of soil moisture (90%, 60% and 30% of field capacity) and 5 levels of foliar spray (control, 1 and 10 mM ascorbic acid, 100 and 150 $mg.l^{-1}$ salicylic acid), using two-factor factorial experiment with 3 replications for 4 months. Survival of seedlings and growth characteristics, including stem height, collar root diameter, chlorophyll, and specific area of leaves, and also length and number of main and lateral roots for each seedling were measured at the end of the study. Collected data were analyzed using two-way analysis of variance, Duncan multiple comparison of means, and simple linear regression method at 95% confidence level.

Results: The results showed that in all foliar spraying treatments, a decreasing and significant linear relationship was observed between soil moisture and seedling survival. So that at 30% moisture level (severe drought) salicylic acid foliar spray treatment increased the survival of seedlings by 7 times. Also, lessening of soil moisture from 90% to 60% caused a significant reduction in growth traits of stems and leaves of seedlings, The results showed that the effects of foliar spray on seedling root properties are strongly affected by soil moisture, so that at 90% moisture level, foliar spray reduces root area and number of first order lateral roots, nevertheless, at 30% moisture level, seedlings were treated with foliar spray of salicylic acid at a concentration of 150 $mg.l^{-1}$ and ascorbic acid at a concentration of 10 mM, showed the highest mean values of root area, total root length and number of first order lateral roots.

Conclusion: *P. fortunei* seedlings are very sensitive to changes in soil moisture. Also, the use of foliar spray, especially in the treatment of salicylic acid with a concentration of 150 $mg.l^{-1}$ improves the survival and growth characteristics of this species seedling under water scarcity conditions.

Keywords: Ascorbic acid, Drought stress, Fast growing trees, Salicylic acid, Seedling quality

*Corresponding author: aliarab@gau.ac.ir