مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJRFPBGR.2023.361005.1430
جلد ۳۰، شماره ۲، ۲۴۱-۲۳۰ صفحه (۱۴۰۱) شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350891.1401.30.2.5.1

پاسخ جنسیتی نهال‌های صنوبر تبریزی (*Populus nigra* L.) به تنش کم‌آبی

علی خدادوست[۱]، مسعود طبری کوچکسرایی[۲*]، سید احسان ساداتی[۳]، اسکار ویسنت[۴]

۱- دانش آموخته دکتری، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

پست الکترونیک: mtabari@modares.ac.ir

۳- دانشیار پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، ساری، ایران

۴- انستیتو حفاظت و اصلاح تنوع زیستی گیاهان زراعی والنسیا، دانشگاه پلی تکنیک والنسیا، اسپانیا

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳

چکیده

صنوبر تبریزی (*Populus nigra* L.) یکی از گونه‌های خزان کننده دوپایه است که در سطح وسیعی برای جنگل‌کاری و زراعت چوب در مناطق مختلف کشور کاشته می‌شود اما در مورد پاسخ‌های جنسیتی آن به کم‌آبی اطلاعاتی کمی وجود دارد. در مطالعه حاضر از آن به عنوان یک گونه مدل، در برابر تنش کم‌آبی استفاده گردید و پاسخ‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نهال‌های گلدانی یک کلون نر (۶۲/۱۲۷) و یک کلون ماده (۶۲/۱۵۴) آن مورد بررسی قرار گرفت. تحقیق به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در چهار سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و دو جنس نر و ماده به مدت ۱۲۰ روز در یک آزمایش گلخانه‌ای انجام شد. نتایج نشان داد که خشکی و جنس پایه اثر معنی‌دار بر اغلب متغیرهای مورد بررسی داشتند. اثر متقابل خشکی × جنس پایه فقط بر رویش ارتفاعی، زیتوده کل، هدایت روزنه‌ای و تعرق معنی‌دار بود. در همه سطوح مختلف آبیاری، پایه‌های نر نسبت به پایه‌های ماده در اغلب صفات اندازه گیری شده دارای اندازه بزرگتری بودند. از این تحقیق همچنین نتیجه گیری شد، که در کلون‌های صنوبر تبریزی مطالعه شده، افراد نر نسبت به افراد ماده از حساسیت کمتری در مقابل تنش کم‌آبی برخوردارند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، جنسیت پایه، زیتوده کل، فتوسنتز، صنوبر تبریزی

مقدمه

مناطق گرم و خشک ۳۶ درصد کل خشکی‌های زمین را تشکیل داده است که ۷۵ درصد آن در نیمکره شمالی قرار دارد (Saeidi *et al.*, 2021). به عبارتی، یکی از مهم-ترین عوامل محدود کننده‌ی رشد، نمو و پراکنش گیاهان در بیوسفر، تنش خشکی است (Salehi Shanjani *et al.*, 2020). تنش خشکی مهم‌ترین تنش غیرزنده (Abiotic stress) است که بر رشد، توسعه و عملکرد گیاهان به شدت تاثیر مهار کننده دارد، لذا در برنامه‌های به نژادی، شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی برای تعدیل اثرات مخرب خشکی انتخاب می‌شوند (Zhao *et al.*, 2009). خشکی نه تنها بر رشد گیاهان بلکه بر ثبات ساختار جمعیت و حتی نسبت جنسیتی گیاهان تاثیر می‌گذارد (Tognetti, 2012).

گیاهان دو پایه (Dioecious Plants)، نقش مهمی در حفظ ثبات ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های زمینی ایفا می‌کنند که حدود ۷ درصد از جنس‌های نهان‌دانگان و ۶ درصد از گونه‌های آن را تشکیل می‌دهند و در بین ۱۷۵ خانواده از گیاهان گلدار یافت می‌شوند (Renner, 2014). دو شکلی جنسی (Sexual dimorphism)، احتمالا تحت تاثیر فرایندهای اکولوژیکی و تکاملی شکل گرفته است که در این صورت هر یک از افراد جنس‌ها، نیازهای اکولوژیکی خاصی در ارتباط با تولید مثل دارند. به همین جهت در گیاهان دو پایه، معمولاً جدایی رویشگاهی دیده می‌شود که شدت این جدایی در گیاهان مختلف متفاوت است. اما اغلب، گزارش شده است که جنس ماده به دلیل نیازهای بالای تولید مثلی، رویشگاه‌های غنی‌تر را اشغال می‌کند و در مواجهه با تنش‌های غیرزیستی حساسیت بیشتری نسبت به جنس نر نشان می‌دهد (Liao *et al.*, 2019). شایان ذکر است که در شرایط نامطلوب، جنس ماده نسبت به جنس نر، به دلیل غلظت کمتر کلروفیل کل، نرخ کم فتوسنتز کل، فعالیت آنزیم‌های بیوشیمیایی و تأثیر بیشتر بر غشای سلولی و کلروپلاست، واکنش پذیرتر است و از اثرات منفی بیشتری رنج می‌برد؛ بر عکس، در شرایط مناسب، سازگاری بهتری را نشان می‌دهد (Chen *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2022; Yi *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2019).

بی‌شک، درک سازوکار گیاهان در مقابل تنش خشکی اهمیت فراوانی دارد. گیاهان واکنش‌های مختلفی در مواجهه با خشکی از خود بروز می‌دهند که از جمله این واکنش‌ها، می‌توان به بستن روزنه‌ها و در نتیجه، کاهش نرخ تبادلات گازی، انباشت اسمولیت‌ها، و تغییر در میزان آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و هورمون‌های گیاهی اشاره کرد (Yin *et al.*, 2005؛ Wang *et al.*, 2008؛ Chaves *et al.*, 2009). خشکی فیزیولوژیکی بیانگر تفاوت بین میزان جذب و نشر آب در گیاه است که در نهایت منجر به کمبود آب گیاه می‌شود و با افزایش شدت خشکی، میزان تولیدات گیاهی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. با کاهش اثرات مضر کم‌آبی، تغییرات بسیاری در ساختار سلول‌ها و متابولیسم گیاه ایجاد می‌شود، طوری که افزایش آبسیزیک اسید و برخی متابولیت‌ها مانند پرولین و برخی پروتئین‌ها، از جمله این متغیرها هستند (Kosova *et al.*, 2011). از طرفی، روشن شدن پاسخ صفات رویشی و فیزیولوژیکی گیاهان تحت تأثیر جنسیت در شرایط کمبود آب، برای مدیریت ترکیب گیاهان دوپایه در برنامه‌های تولید نهال نهالستان‌ها و نیز حفاظت گونه و تنوع زیستی گیاهی از اهمیت بالایی برخوردار است (Liu *et al.*, 2022) که در این ارتباط در سال‌های اخیر پژوهش‌های متنوعی در دنیا به ویژه روی گونه‌های جنس صنوبر گزارش شده است (Chen *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2022).

صنوبرها از گیاهان چوبی دو پایه و سریع‌الرشد به حساب می‌آیند و شامل ۳۹ تا ۸۵ گونه هستند که عمدتاً در نیمکره شمالی پراکنش دارند (Zhenfu *et al.*, 1999) و اغلب به منظور تامین چوب مورد نیاز صنایع کشت می‌شوند (Tuskan *et al.*, 2006). صنوبر تبریزی (*Populus nigra* L.) یکی از گونه‌های این جنس است که دو پایه بوده و در ایران در سطح گسترده با هدف زراعت چوب به ویژه در مناطق نیمه خشک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تحقیق حاضر، برای پاسخ به این سوال که واکنش مورفولوژیک و فیزیولوژیک پایه نر (کلون ۶۲/۱۲۷) و ماده صنوبر تبریزی (کلون ۶۲/۱۵۴) در مقابل کم‌آبی چگونه است، یک آزمایش گلخانه‌ای طراحی شد. فرضیه این تحقیق این است که پایه نر صنوبر تبریزی نسبت به پایه ماده آن دارای تحمل بیشتری به خشکی (کم‌آبی) است.

مواد و روش‌ها

قلمه‌گیری، کاشت و طراحی آزمایش

قلمه‌های نر (کلون ۶۲/۱۲۷) و ماده (کلون ۶۲/۱۵۴) صنوبر تبریزی از پایه‌های مادری مختلف مبدا کرج جمع‌آوری و در اواخر اسفند ۱۳۹۷ در گلدان‌های ۲ کیلویی با خاک لومی شنی کاشته شدند. پس از گذشت دو ماه (اوایل اردیبهشت ۱۳۹۸)، تعداد ۴۸ نهال سالم با ارتفاع ۶۰ تا ۷۰

سانتی‌متر از هر کلون انتخاب و در گلخانه دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی تربیت مدرس نگهداری شد. پس از تعیین ظرفیت زراعی خاک گلدان‌ها با روش وزنی (Zarik *et al.*, 2016)، آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در دو سطح جنسیت پایه (نر و ماده) و چهار سطح خشکی در سه تکرار چهار تایی اجرا شد. سطوح خشکی شامل ۱) کنترل با آبیاری در سطح ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد، ۲) آبیاری در سطح ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، ۳) آبیاری در سطح ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، ۴) آبیاری در سطح ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بود، که به مدت چهار ماه از خرداد تا پایان شهریور انجام شد. برای جلوگیری از تبخیر سطح خاک، اطراف یقه نهال‌ها در سطح گلدان با نایلون پلاستیکی پوشانده شد.

صفات رویش و زی‌توده

در ابتدای دوره، قطر یقه با استفاده از کولیس دیجیتالی و ارتفاع نهال‌ها با خطکش میلی‌متری اندازه‌گیری شد. در پایان دوره، متغیرهای قطر یقه، ارتفاع و سطح برگ نهال‌ها اندازه گیری و زنده‌مانی آنها ثبت گردید. به‌منظور اندازه-گیری سطح برگ ابتدا سه برگ کاملاً توسعه یافته از بالاترین قسمت هر نهال جدا و با استفاده از دستگاه Leaf Area Meter، اندازه سطح برگ تعیین شد. سپس برای تعیین زیتوده اندام‌ها، از هر تکرار، سه نهال انتخاب شد و پس از شستشوی خاک اطراف ریشه، هر یک از نهال‌ها را به سه قسمت ریشه، ساقه و برگ تقسیم کرده و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک کرده و با ترازوی دقیق توزین شدند.

تبادلات گازی

اندازه‌گیری میزان تبادلات گازی برگ در هوای آزاد و تحت شرایط طبیعی دما، نور و رطوبت نسبی هوا انجام شد. برای این کار، متغیرهای فیزیولوژی گیاه شامل فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای با دستگاه قابل حمل (ADC, LCpro+UK) در یک روز آفتابی و در ساعات ۹ تا ۱۱ اندازه‌گیری شد. برای این منظور از هر تیمار تعداد شش نهال انتخاب و از بالغ‌ترین و توسعه یافته‌ترین برگ از قسمت بالای هر نهال اندازه‌گیری‌ها انجام شد. برای اندازه-گیری پتانسیل آبی Ψ، تعداد سه نهال از هر سطح آبیاری انتخاب و با استفاده از دستگاه پتانسیل آبی (Pressure chamber, Skye, SKPM 1400, UK)، اندازه گیری شد (Xiaoling *et al.*, 2011).

تحلیل‌های آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم افزار SPSS 22 انجام شد. به منظور بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها، از آزمون کولموگروف –اسمیرنوف و برای بررسی همگنی واریانس بین گروه‌ها از آزمون لون استفاده شد. برای بررسی معنی-داری اثر جنسیت پایه و کم‌آبی بر صفات رویشی و فیزیولوژیکی از آزمون آنالیز واریانس دوطرفه و برای بررسی مقایسه میانگین‌های این متغیرها از آزمون دانکن (در سطح ۹۵ درصد) استفاده گردید. همچنین، از آزمون t مستقل برای تشخیص معنی‌داری بین دو کلون نر و ماده در مواردی که اثر متقابل معنی‌دار نبود استفاده شد.

نتایج

رویش پایه‌های نر و ماده

زنده‌مانی، پارامتری بود که اثر جنسیت در آن معنی‌دار نبود اما تحت تاثیر آبیاری قرار گرفت (جدول۱). به این صورت که نهال‌های هر دو جنس در ظرفیت مزرعه ۱۰۰ درصد و ۲۵ درصد، به‌ترتیب با ۱۰۰ و ۲۵ درصد دارای بیشترین و کمترین میزان زنده‌مانی بودند (شکل ۱–A).

رویش ارتفاعی تحت تاثیر جنس پایه، کم‌آبی و اثر متقابل این دو فاکتور قرار گرفت (جدول ۱). با افزایش شدت خشکی، رویش ارتفاعی در هر دو جنس پایه کاهش یافت. بزرگترین اندازه رویش طولی در ظرفیت مزرعه ۱۰۰ درصد با ۲۱/۲ سانتی‌متر و ۲۰/۲ سانتی‌متر به‌ترتیب در جنس نر و ماده مشاهده شد، و در هر سطح خشکی اندازه آن در جنس نر بزرگتر از جنس ماده بود (شکل ۱–B).

اثر رژیم آبیاری و جنس پایه بر رویش قطری یقه

معنی‌دار بود، اما اثر متقابل روی این مولفه، معنی‌دار نشد (جدول ۱). بیشترین میزان رویش قطری در جنس نر (۳/۲ میلی‌متر) و در جنس ماده (۲/۹ میلی‌متر) به نهال‌های با آبیاری ۱۰۰ درصد تعلق داشت. کمترین میزان آن در جنس نر (۲/۳ میلی‌متر) به آبیاری ۲۵ درصد و در جنس ماده (۱/۹ و ۲ میلی‌متر) به ترتیب به آبیاری‌های ۲۵ و ۵۰ درصد اختصاص داشت (شکل ۱-C).

اثر متقابل معنی‌دار عامل‌های آبیاری و جنس پایه در سطح برگ مشاهده نشد ولی اثر اصلی هر کدام به تنهایی معنی‌دار بود (جدول ۱). بزرگترین اندازه سطح برگ (۳۹/۴ و ۴۳ سانتی مترمربع)، به‌ترتیب به جنس نر و ماده آبیاری ۱۰۰ درصد، و کوچکترین اندازه آن (۱۹/۱ و ۲۳/۷ سانتی‌متر مربع)، به‌ترتیب به جنس نر و ماده آبیاری ۲۵ درصد اختصاص داشت (شکل ۱-D).

جدول۱: تجزیه واریانس دو طرفه صفات رویشی و فیزیولوژیکی نهال‌های صنوبر تبریزی تحت تاثیر جنسیت پایه و آبیاری

Table1: Two-way ANOVA of vegetative and physiological traits of black poplar seedlings as affected by individual sex and irrigation regime

نام صفات	Traits	F test		
		جنسیت	آبیاری	جنسیت × آبیاری
		sex	Irrigation regime	Sex × Irrigation regime
زنده مانی	Survival (%)	2.25 ^{ns}	59.583***	0.25 ^{ns}
رویش ارتفاعی	Height growth (cm)	100.66***	135.48***	3.57*
رویش قطری	Diameter growth (cm)	25.16***	67.62***	0.431 ^{ns}
سطح برگ	LA (cm^2)	73.79***	250.48***	1.527 ^{ns}
زیتوده ساقه	Stem biomass (g)	17.52***	54.61***	2.431 ^{ns}
زیتوده ریشه	Root biomass (g)	34.72***	38.43***	1.476 ^{ns}
زیتوده برگ	Leaf biomass (g)	38.74***	59.88***	1.462 ^{ns}
زیتوده کل	Total biomass (g)	97.82***	219.28***	3.506*
نرخ فتوسنتز کل	Total photosynthesis ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	59.65***	117.57***	1.021 ^{ns}
هدایت روزنه‌ای	Stomatal conduction ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	54.453***	432.91***	8.525***
تعرق	Transpiration ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	67.47***	295.52***	2.922*
پتانسیل آبی	Water potential **(Mpa)**	47.97***	74.07***	11.4^{ns}

ns، *و ***: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۰/۰۱ درصد

ns, * and *** = non-significant and significant at the 5 and 0.01% probability levels, respectively

زی‌توده پایه‌های نر و ماده

زیتوده ساقه و ریشه و برگ در هر دو پایه تحت تنش کم‌آبی و جنسیت قرار گرفتند اما اثر متقابل روی آنها معنی‌دار نبود (جدول ۱). در جنس نر، بیشترین میزان زی‌توده ساقه (۱۵۲/۵ گرم)، زی‌توده ریشه (۹۸/۱ گرم)، زی‌توده

برگ (۶۳/۵ گرم) مربوط به تیمار خوب آبیاری شده بود. در جنس ماده نیز بیشترین میزان زی‌توده ساقه (۱۲۹/۷ گرم)، زی‌توده ریشه (۷۹/۹ گرم)، زی‌توده برگ (۴۷/۴ گرم) مربوط به تیمار خوب آبیاری شده بود. کمترین میزان زیتوده ساقه مربوط به آبیاری‌های ۵۰ و ۲۵ درصد به‌ترتیب، با ۱۰۸/۶ و ۶۹/۲ گرم به جنس نر و ۱۰۱/۱ و ۹۳/۲ گرم به جنس ماده مربوط بود (شکل ۲-A). کمترین مقدار زیتوده ریشه در جنس ماده و نر به‌ترتیب، با ۵۵/۷ و ۶۲ گرم در آبیاری ۲۵ درصد، و کمترین مقدار زیتوده برگ در جنس ماده و نر، به‌ترتیب با ۲۱/۵ و ۲۷/۶ گرم در آبیاری ۲۵ درصد مشاهده شد (شکل‌های ۲-B و ۲-C).

اثر جنسیت، خشکی و اثر متقابل این دو عامل روی زیتوده کل نهال معنی‌دار بود (جدول ۱). در هر دو جنس پایه، زیتوده کل نهال با شدت کم‌آبی کاهش یافت و بزرگترین اندازه آن (۱۸۳/۹ گرم) در پایه نر رشد یافته در آبیاری ۱۰۰ درصد مشاهده شد. در سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد، اندازه زیتوده کل در جنس نر بیشتر از جنس ماده بود (شکل ۲-D).

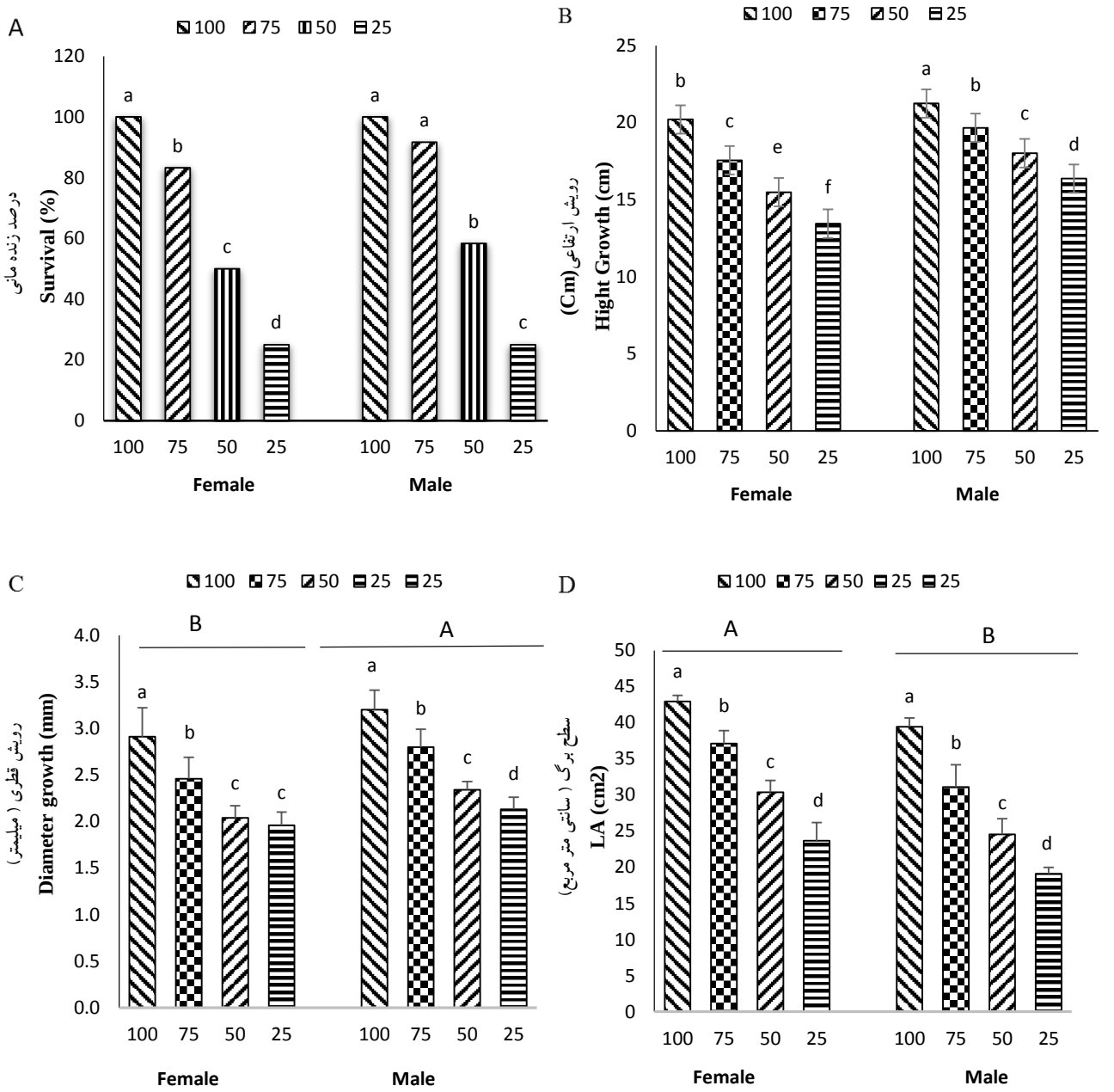
تبادلات گازی پایه‌های نر و ماده

اثر جداگانه جنسیت و رژیم آبیاری روی میزان فتوسنتز معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین میزان فتوسنتز (۱۰/۱ و ۸/۴ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) به‌ترتیب، به جنس نر و ماده در آبیاری ۱۰۰ درصد، و کمترین آن (۴/۵ و ۲/۹ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) به‌ترتیب، به جنس نر و ماده در آبیاری ۲۵ درصد مشاهده شد. در کل، صرف‌نظر از اثر خشکی، نرخ فتوسنتز در پایه نر بیشتر از پایه ماده بود (شکل ۳-A).

اثر رژیم آبیاری، جنسیت پایه و اثر متقابل آنها در هدایت روزنه‌ای معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای (۰/۴۳ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) به نهال‌های نر آبیاری ۱۰۰ درصد، و کمترین آن (۰/۲ میلی-مول بر مترمربع در ثانیه) به نهال‌های ماده آبیاری ۲۵ درصد مربوط بود. در همه سطوح آبیاری، هدایت روزنه‌ای در جنس نر بیشتر از جنس ماده بود (شکل۳-B).

اثر خشکی، جنسیت و اثر متقابل آنها روی میزان تعرق معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین میزان تعرق (۵/۲ میلی-مول بر مترمربع در ثانیه) به نهال‌های نر با آبیاری ۱۰۰ درصد، و کمترین آن (۳/۹ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه) به نهالهای ماده با آبیاری ۲۵ درصد اختصاص داشت. همچنین، در سطوح آبیاری ۱۰۰، ۵۰ و ۲۵ درصد، میزان تعرق در افراد نر بیشتر از افراد ماده بود (شکل ۳-C).

پتانسیل آبی تحت تاثیر متقابل جنسیت و کم‌آبی قرار نگرفت، درحالی‌که اثرات اصلی روی آن معنی دار بود (جدول ۱). بیشترین میزان پتانسیل آبی (اندازه منفی) در آبیاری ۲۵ و ۵۰ درصد هر دو جنس (به‌ترتیب با ۱/۹- و ۲/۲- مگاپاسکال برای جنس ماده، و ۱/۷- و ۱/۹- مگاپاسکال برای جنس نر)، و کمترین آن در آبیاری ۱۰۰ درصد (با ۰/۹- و ۱/۲- مگاپاسکال) به‌ترتیب، در جنس نر و ماده مشاهده شد (شکل ۳-D).



شکل۱: مقایسه میانگین زنده مانی (**A**)، رویش ارتفاعی (**B**)، رویش قطری (**C**) و سطح برگ (**D**) در سطوح مختلف آبیاری (ظرفیت زراعی) و جنسیت پایه نهال‌های صنوبر تبریزی

حروف بزرگ برای صفات رویش قطری و سطح برگ، بیانگر تفاوت معنی‌دار بین افراد نر و ماده (با استفاده از آزمون **t** مستقل) می باشد.

برای صفت رویش ارتفاعی، حروف کوچک مبین تفاوت معنی‌داری بین میانگین‌ها تحت تاثیر متقابل جنسیت پایه و رژیم آبیاری (با استفاده از آزمون دانکن) است.

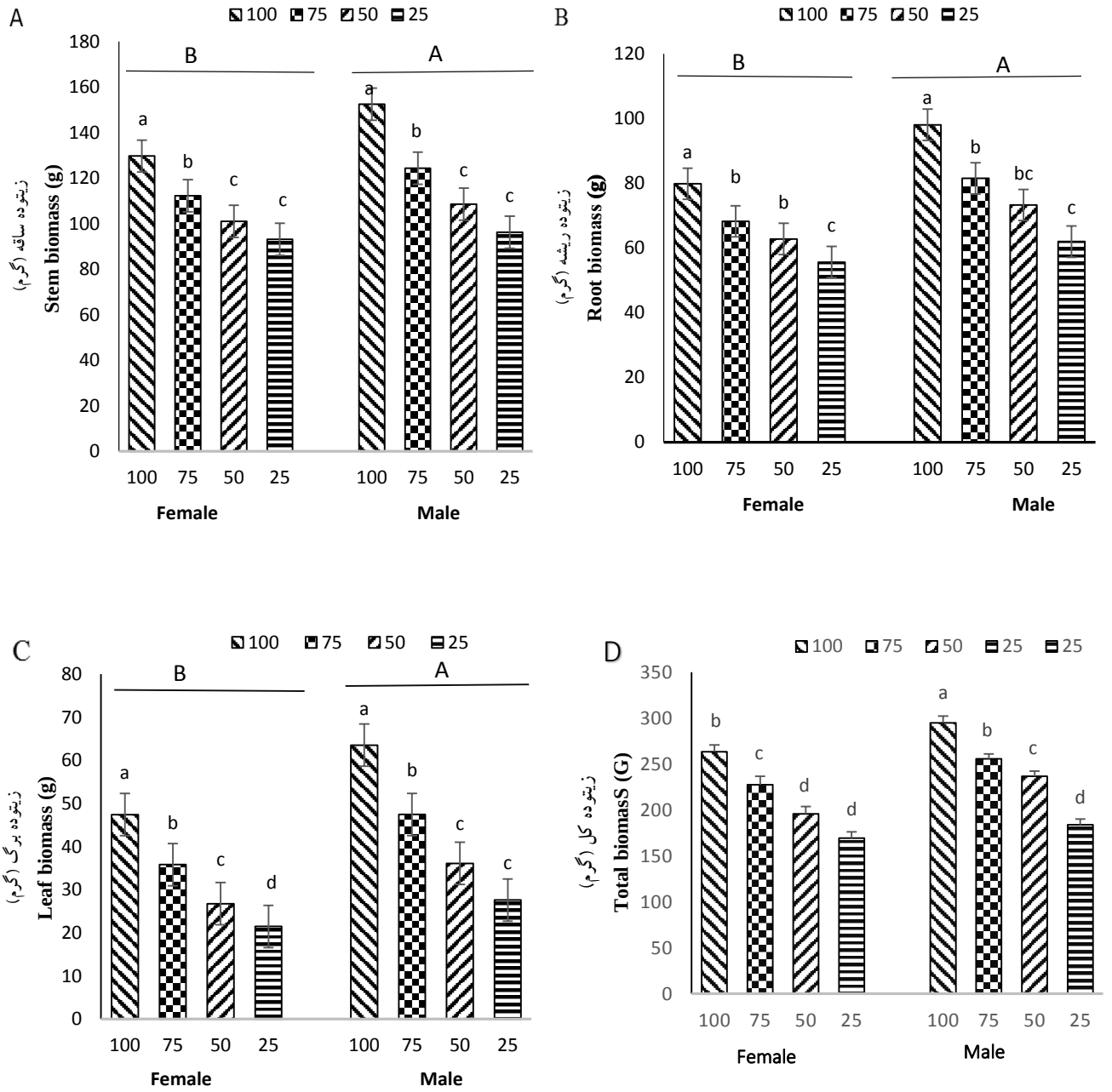
برای صفات زنده مانی، رویش قطری و سطح برگ، حروف کوچک نشان دهنده تفاوت معنی‌داری بین میانگین سطوح آبیاری در هر یک از افراد نر و ماده (با استفاده از آزمون دانکن) است.

Figure 1: Mean of survival rate (A), height growth (B), diameter growth (C) and leaf area (D) as affected by individual gender (sex) and irrigation regime field capacity) of black poplar seedlings.

For diameter growth and leaf area, mmeans followed by capital letters indicate significant differences between two different sexes using independent t-test.

For height growth, means followed by different lowercase letters show significance difference of sex by irrigation interaction effects.

For survival rate, diameter growth and leaf area, means followed by different lowercase letters show significance difference in irrigation levels within each of the male and female sexes (using Duncan's test).



شکل ۲: مقایسه میانگین زیتوده ساقه (**A**)، زیتوده ریشه (**B**)، زیتوده برگ (**C**) و زیتوده کل (**D**) در سطوح مختلف آبیاری (ظرفیت زراعی) و جنسیت پایه نهال‌های صنوبر تبریزی

حروف بزرگ در همه صفات بیانگر تفاوت معنی‌دار بین میانگین افراد نر و ماده (با استفاده از آزمون **t** مستقل) می باشد.

برای صفت زیتوده کل، حروف کوچک مبین تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها تحت تاثیر متقابل جنس پایه و رژیم آبیاری(با استفاده از آزمون دانکن است،

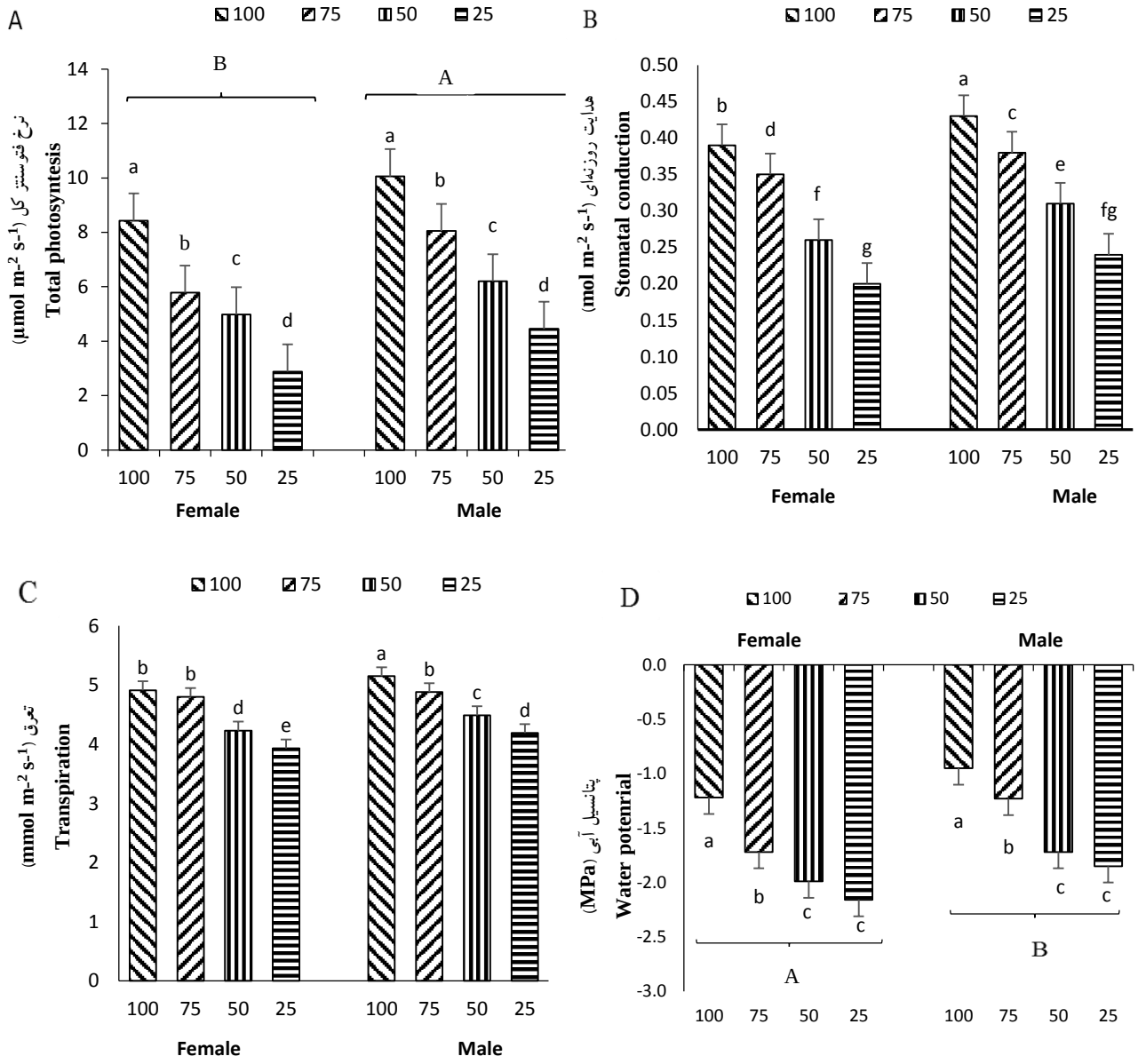
برای صفات زیتوده ساقه، زیتوده ریشه و زیتوده برگ، حروف کوچک ، نشان دهنده تفاوت معنی‌داری بین میانگین سطوح آبیاری در هر یک از افراد نر و ماده است.

Figure 2: Mean of stem biomass (A), root biomass (B), leaf biomass (C) and total biomass (D) as affected by individual gender (sex) and irrigation regime field capacity) of black poplar seedlings.

For all the traits, means followed by the capital letters indicate significant differences between two different sexes using independent t-test.

For total biomass, means followed by different lowercase letters shows significance difference of sex by irrigation interaction effects.

For the other three variables, means followed by different lowercase letters show significance difference of in each of the male and female sexes (using Duncan's test).



شکل ۳: مقایسه میانگین نرخ فتوسنتز کل (**A**)، هدایت روزنه‌ای (**B**)، تعرق (**C**) و پتانسیل آبی (**D**) در سطوح مختلف آبیاری(ظرفیت زراعی) و جنسیت پایه نهال‌های صنوبر تبریزی. حروف بزرگ در صفات نرخ فتوسنتز کل و نیز پتانسیل آبی ، بیانگر تفاوت معنی‌دار بین میانگین افراد نر و ماده (با استفاده از آزمون **t** مستقل) می باشد.

برای دو صفت هدایت روزنه‌ای و نرخ تعرق حروف کوچک مبین تفاوت معنی‌داری بین میانگین‌ها تحت تاثیر متقابل جنسیت پایه و رژیم آبیاری (با استفاده از آزمون دانکن) است.

برای دو صفت فتوسنتز کل و پتانسیل آبی حروف کوچک نشان دهنده تفاوت معنی‌دار بین سطوح آبیاری در هر یک از افراد نر و ماده (با استفاده از آزمون دانکن) است.

Figure 3: Mean of total photosynthesis (A), stomatal conductance (B), transpiration rate (C) and water potential (D) as affected by individual gender (sex) and irrigation regime field capacity) of black poplar seedlings.

For stomatal conductance and transpiration rate, means followed by capital letters indicate significant differences between two different sexes, male and female, (using independent t-test).

For stomatal conductance and transpiration rate, means followed by different lowercase letters show significance difference of sex by irrigation interaction effects (using Duncan's test).

For the total photosynthesis and water potential, means followed by different lowercase letters show significance difference between irrigation levels within the male and female sexes (using Duncan's test).

بحث

با توجه به تغییر اقلیم و شرایط فعلی گرمایش جهانی، تعداد زیادی از گیاهان با درجات مختلفی از تنش خشکی مواجه هستند و این امر در آینده افزایش خواهد داشت (Tognetti., 2012). کم‌آبی تاثیر زیادی بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهان دارد (Bolat *et al.*, 2014). پاسخ گیاهان به کمبود آب پیچیده است و جنبه‌های بسیار زیادی از جمله سنجش میزان استرس و سیگنال‌دهی، تغییرات در الگوی رشد و تخصیص زیتوده، خود تنظیمی مصرف آب، کاهش میزان هدایت روزنه‌ای و جذب دی اکسید کربن، تنظیم اسمزی و فرآیندهای سم‌زدایی را در بر می‌گیرد (Han *et al.*, 2012).

اولین سازوکار تطبیقی گیاه در مقابل تنش خشکی، کاهش رویش و میزان زی‌توده است که در مطالعه حاضر در سطوح کم آبیاری در نهال‌های صنوبر تبریزی به‌وضوح قابل مشاهده است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هم در تیمار خوب آبیاری شده و هم در سطوح مختلف کم‌آبی، افراد نر نسبت به افراد ماده در اغلب صفات اندازه‌گیری شده از اندازه‌های بزرگتری برخوردار بودند. همچنین، در شرایط خشکی، جنس نر دارای مقادیر بیشتری از رویش طولی و زی‌توده کل نسبت به جنس ماده بود. این تفاوت‌های اندازه‌گیری شده در مطالعات گذشته نیز بدین صورت گزارش شده‌اند که جنس ماده در شرایط نامساعد محیطی کندتر رشد می‌کند (Chaves *et al.*,2009; Chen *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2022). فتوسنتز گیاه را قادر می‌سازد تا دی اکسید کربن هوا را جذب کند و برای رویش خود مورد استفاده قرار دهد. آب یکی از عوامل اصلی در فرآیند فتوسنتز به‌شمار می‌رود؛ از این رو، محدودیت آب بر رشد گیاه تاثیر می‌گذارد که تاییدی بر کاهش رویش و زی‌تودهِ کل به‌دست آمده در شرایط کم‌آبی است (Li *et al.*, 2015).

اصولا، تفاوت‌های جنسیتی در پارامترهای فتوسنتزی گیاهان دوپایه تحت تاثیر خشکی در برخی مطالعات قبلی گزارش شده است. این مطالعات بیانگر این هستند که در شرایط آبیاری کامل، ممکن است جنس ماده از نظر پارامترهای فتوسنتزی وضعیت بهتری نسبت به جنس نر داشته باشد اما در شرایط خشکی، جنس ماده دارای مقادیر فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق و پتانسیل آبی پایین‌تری نسبت به جنس نر است (Liu *et al.*, 2022; Tognetti., 2012). به‌طور خلاصه، در این مطالعه تفاوت‌های قابل توجهی در رویش و عوامل فتوسنتزی بین افراد نر و ماده صنوبر تبریزی در شرایط خشکی مشاهده شد که ما را به این باور می‌رساند که پایه‌های ماده نسبت به پایه‌های نر در مقابله با شرایط کم‌آبی حساس‌تر هستند. نظر به اینکه، افراد نر هدایت روزنه‌ای بالایی در شرایط کم‌آبی داشته‌اند و توانستند نرخ بالاتری از فتوسنتز را حفظ کنند، این طور برداشت می‌شود که در شرایط سخت، افراد نر شرایط فیزیولوژیک پایدارتری نسبت به افراد ماده دارند، و از اثرات تنش اسمزی و یا در اثر از دست دادن آب برگ، آسیب کمتری می‌بینند. در نتیجه، از آنجایی‌که کمبود آب به‌عنوان یک عامل مهم محدود کننده رشد گیاهان عمل می‌کند، آسیب تنش اسمزی بر کاهش اندازه‌های رویش و زیتوده کل در افراد ماده بیشتر از افراد نر ظاهر می‌گردد.

نظر به اینکه، بسیاری از گونه‌های گیاهی دوپایه، تفاوت-های مرتبط با جنسیت از جمله رویش، زنده‌مانی، شرایط فیزیولوژیک و نسبت‌های جمعیتی را با پراکنش مختلف زیستگاهی جنس‌های خود به نمایش می‌گذارند (Tognetti, 2012)، از این رو، انتظار می‌رود که از اثرات فعلی گرمایش جهانی، این گیاهان به طور ویژه آسیب پذیر باشند. برای مثال در تحقیق حاضر، چون افراد نر نسبت به افراد ماده حساسیت کمتری به کم‌آبی از خود نشان داده‌اند، در نتیجه، ممکن است اظهار شود که در این گونه، جمعیت افراد نر بیشتر از افراد ماده، در عرصه‌های کم‌آب‌تر اکوسیستم‌ها حضور یابند (Hultine *et al.*, 2007).

در کل، نتایج این تحقیق آشکار کرد که، رابطه نزدیکی بین جنسیت پایه و رژیم آبیاری در صنوبر تبریزی وجود دارد و این عوامل در کنار هم برای تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی عمل می‌کنند که باعث تفاوت‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بین افراد نر و ماده می‌شود. همچنین، می‌توان اظهار داشت که اگرچه خشکی باعث کاهش فعالیت فتوسنتزی

و رویش در نهال صنوبر تبریزی می‌شود، اما میزان این تغییرات در بین افراد نر و ماده متفاوت است و افراد نر نرخ تبادلات گازی و رویش بیشتر و به طور کلی تحمل بالاتری نسبت به افراد ماده در شرایط کم‌آبی خواهند داشت.

در کل، از این تحقیق مشخص شد که در کلون‌های صنوبر تبریزی مطالعه شده، افراد نر نسبت به افراد ماده از حساسیت به خشکی کمتری برخوردارند. بنابراین در نهالستان‌هایی که با کمبود آب مواجه هستند، پرورش پایه‌های نر می‌تواند در اقتصاد آب نهالستان موثر باشد. مطالعات درازمدت کمک می‌کند که با دقت و قوت بیشتری توصیه نمود که از کدام افراد (نر یا ماده) از کلون‌های سازگار صنوبر در مناطق کم‌آب استفاده شود تا علاوه بر مصرف آب کمتر، موفقیت تولید با هدف زراعت چوب، بیشتر شود. البته، در مواردی نیز به منظور رعایت حفاظت و تقویت تنوع ژنتیکی، می‌توان در برخی پروژه‌ها، به توسعه تولید و کاشت افراد ماده کلون مورد مطالعه همت گماشت.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه تربیت مدرس و صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (رساله دکتری شماره ۹۸۰۲۶۰۱۹) انجام گرفت.

منابع مورد استفاده

– Bolat, I., Dikilitas, M., Ercisli, S., Ikinci, A. & Tonkaz, T. 2014. The effect of water stress on some morphological, physiological, and biochemical characteristics and bud success on apple and quince rootstocks. The Scientific World Journal, 2014. 47, 81-91.

– Chaves, M. M., Flexas, J. & Pinheiro, C. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of Botany, 103(4), 551-560.

– Chen, S., Yi, L., Korpelainen, H., Yu, F. & Liu, M. 2020. Roots play a key role in drought-tolerance of poplars as suggested by reciprocal grafting between male and female clones. Plant Physiology and Biochemistry, 153, 81-91.

– Han, Y., Wang, Y., Jlang, H., Wang, M., Korpelainen, H. & Li, C. 2012. Reciprocal grafting separates the roles of the root and shoot in sex-related drought responses in *Populus cathayana* males and females. Plant Physiology and Biochemistry, 153, 81-91.

– Hultine, K. R., Bush, S. E., West, A. G. & Ehleringer, J. R. 2007. Population structure, physiology and ecohydrological impacts of dioecious riparian tree species of western North America. Oecologia, 154(1), 85-93.

– Kosová, K., Vítámvás, P., Prášil, I. T. & Renaut, J. 2011. Plant proteome changes under abiotic stress—contribution of proteomics studies to understanding plant stress response. Journal of Proteomics, 74(8), 1301-1322.

– Liao, J., Song, H., Tang, D. & Zhang, S. 2019. Sexually differential tolerance to water deficiency of *Salix paraplesia*—A female-biased alpine willow. Ecology and Evolution, 9(15), 8450-8464.

– Li, Z., Wu, N., Liu, T., Chen, H., & Tang, M. 2015. Sex-related responses of *Populus cathayana* shoots and roots to AM fungi and drought stress. PloS One, 10(6), e0128841.

– Liu, M., Liu, X., Zhao, Y., Korpelainen, H., & Li, C. 2022. Sex-specific nitrogen allocation tradeoffs in the leaves of *Populus cathayana* cuttings under salt and drought stress. Plant Physiology and Biochemistry, 27(3), 399-406.

– Renner, S. S. 2014. The relative and absolute frequencies of angiosperm sexual systems: dioecy, monoecy, gynodioecy, and an updated online database. American Journal of Botany, 101(10), 1588-1596.

– Saeidi, Z., Azadfar, D., Tohidfar, M. & Saghebtalebi, K. 2021. Drought effect on the diversity of Fagus orientalis L. populations using microsatellite molecular markers and peroxidase isoenzyme. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 28(2), 191-202. In Persian.

– Salehi Shanjani, P., Rasoulzadeh, L., Fallah Hoseini, L., Ramezani Yeganeh, M., Amirkhani, M., Pahlavani, M. R. & Javadi, H. 2020. Morpho-physiological responses of four chamomile species to rainfed conditions and drought stress under greenhouse conditions. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 28(1), 51-66. In Persian.

– Tognetti, R. 2012. Adaptation to climate change of dioecious plants: does gender balance matter? Tree Physiology, 32(11), 1321-1324.

– Tuskan, G. A., Difazio, S., Jansson, S., Bohlmann, J., Grigoriev, I., Hellsten, U. & Schein, J. 2006. The genome of black cottonwood, *Populus trichocarpa* (Torr. & Gray). Science, 313(5793), 1596-1604.

– Wang, R., Chen, S., Zhou, X., Shen, X., Deng, L., Zhu, H. & Hüttermann, A. 2008. Ionic homeostasis and reactive oxygen species control in leaves and xylem sap of two poplars subjected to NaCl stress. Tree Physiology, 28(6), 947-957.
– Xiaoling, L., Ning, L., Jin, Y., Fuzhou, Y., Faju, C. & Fangqing, C. 2011. Morphological and photosynthetic responses of riparian plant Distylium chinense seedlings to simulated Autumn and Winter flooding in Three Gorges Reservoir Region of the Yangtze River, China. Acta Ecologica Sinica, 31(1), 31-39.
– Yi, L., Li, B., Korpelainen, H., Yu, F., Wu, L., Tong, L. & Liu, M. 2020. Mechanisms of drought response in *Populus Southern* Forests: a Journal of Forest Science, 82(4), 359-366.
– Yin, C., Peng, Y., Zang, R., Zhu, Y. & Li, C. 2005. Adaptive responses of *Populus kangdingensis* to drought stress. Physiologia Plantarum, 123(4), 445-451.
– Zarik, L., Meddich, A., Hijri, M., Hafidi, M., Ouhammou, A., Ouahmane, L. & Boumezzough, A. 2016. Use of arbuscular mycorrhizal fungi to improve the drought tolerance of *Cupressus atlantica* G. Comptes Rendus Biologies, 339(5-6), 185-196.
– Zhang, R., Liu, J., Liu, Q., He, H., Xu, X. & Dong, T. 2019. Sexual differences in growth and defence of *Populus yunnanensis* under drought stress. Canadian Journal of Forest Research, 49(5), 491-499.
– Zhao, H., Li, Y., Duan, B., Korpelainen, H., & Li, C. 2009. Sex-related adaptive responses of *Populus cathayana* to photoperiod transitions. Plant, Cell & Environment, 32(10), 1401-1411.
– Zhenfu, F., Shidong, Z. & Skvortsov, A. 1999. Salicaceae. Flora of China, 4, 139-274.

Sexual response of black poplar (*Populus nigra* L.) seedlings to water deficit stress

A. Khodadust[1], M. Tabari [2*], S.E. Sadati[3], O. Vicente[4]

1- Ph.D. Student, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran.

2*- Corresponding author, Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran. E-mail: mtabari@modares.ac.ir

3- Assoc. Prof., Research Division of Natural Resources, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran.

4- Prof., Institute for the Conservation and Improvement of Valencian Agrodiversity (COMAV), Universitat Politècnica de València, Valencia, Spain

Received: 28.12.2022 Accepted: 14.03.2023

Abstract

Black poplar (*Populus nigra* L.) is one of the dioecious species that is planted in a large area for forestry and wood production in different regions of Iran, but there is less information about its sexual response to water scarcity. In the present study, this plant was used as a model species against water deficit stress, and some morphological and physiological responses a male clone (62/127) and a female clone (62/154) of black poplar were investigated. The research was conducted as factorial with a completely randomized design in four irrigation levels (100, 75, 50 and 25% of field capacity) and two genders (sexes), male and female, for 120 days in a greenhouse experiment. The results showed that the effect of drought stress and gender (sex) was significant on many of the mesured traits. The sex × irrigation regime interaction effect was significant for height growth, total biomass, stomatal conductance, and transpiration. In all different irrigation levels, most of the measured traits were greater in males than in females. It was concluded that, in the studied black poplar clones, males were less sensitive to water deficit stress than females.

Keywords: Biomass, Drought stress, Gender, Photosynthesis, *Populus nigra*