

مطالعه کاج کله‌قندی و توپی، احتمال دو فرم جهش‌یافته کاج الدار: مقایسه ساختار تشریحی سوزن‌ها

فاطمه شایان مهر^{۱*}، غلامعلی جلالی^۲، فائزه قناتی^۳ و داود کر تولی نژاد^۴

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جنگلداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

^۲دانشیار گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

^۳استادیار گروه علوم گیاهی دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

^۴دانشجوی دکترای جنگلداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۱۰ / ۱۰ / ۸۷، تاریخ تصویب: ۱۴ / ۴ / ۸۸)

چکیده

کاج الدار که از قرن‌ها پیش در ایران کاشته می‌شده، در منطقه خواف دچار تغییرات شدید ظاهری شده و دو فرم متفاوت از آن به وجود آمده است. هدف از این پژوهش استفاده از صفات آناتومیکی، برای تشریح تمایز ایجاد شده در کاج کله‌قندی و توپی است که فرم‌های جهش‌یافته از پایه‌های مادری کاج الدار هستند. نتایج بررسی تشریحی نشان داد که کاج کله‌قندی از نظر تعدادی از صفات آناتومی که ارزش تاکسونومیکی دارند، از دو کاج دیگر متمایز است. شکل سوزن، تعداد روزنه‌ها در واحد سطح و تعداد و موقعیت کانال‌های رزینی از آن جمله‌اند. همچنین وجود تفاوت در صفاتی مانند ضخامت کوتیکول، فاصله‌های میان روزنه‌ها، تعداد روزنه در سطح رویی، محیط سوزن و طول سوزن، بیانگر افزایش توانایی سازگاری به خشکی در این فنوتیپ جدید کاج در مقایسه با کاج الدار و توپی است.

واژه‌های کلیدی: آناتومی، سوزن، کاج الدار، کاج کله‌قندی، کاج توپی، کانال رزینی.

مقدمه و هدف

جهان به اندازه سایر کاج‌های مدیترانه‌ای، شناخته شده نیست و فقط تعداد کمی از کشورها (شوروی سابق، ایران و ترکیه) بر روی آن پژوهش‌هایی انجام داده‌اند یا از آن برای جنگلکاری در مناطق خشک استفاده کرده‌اند (جزیره‌ای، ۱۳۸۰؛ سردابی، ۱۳۶۸؛ Harrington et al., 1989).

این کاج که برخی قدمت آن را در ایران به زمان هخامنشیان می‌رسانند و برخی دیگر ورود آن را به هزاره اخیر نسبت می‌دهند، به دلیل مقاومت به خشکی و سازش زیاد اکولوژیک با محیط‌های کویری، در بسیاری از مناطق ایران کشت می‌شود (جزیره‌ای، ۱۳۸۰؛ سردابی، ۱۳۶۸؛ میربادین و همکاران، ۱۳۷۳). کاج الدار از مدت‌ها پیش در منطقه نشتیفان خواف کاشته می‌شد و فرم‌های جدیدی از پایه‌های مسن آن به وجود آمده که از نظر اندازه و ریخت‌شناسی تفاوت‌های زیادی با پایه مادری خود دارند که از آن جمله کوتاهی قامت (به دلیل کندی رشد)، پرپشت بودن تاج، کروی شدن تاج (در کاج الدار به حالت کشیده و باز است)، کوچک و مینیاتوری شدن مخروط‌ها و بذرها و... را می‌توان نام برد، اما با وجود همه این تغییرات، توانایی بذردهی و تکثیر جنسی نیز دارند. این فرم‌ها، به دلیل زیبایی ظاهری و قامت کوتاه، بیشتر جنبه تزیینی داشته و به دلیل شکل تاج درخت به کاج توپی و کاج کله‌قندی معروف شده‌اند (شکل ۱).

کاج‌ها با دارا بودن بیش از ۱۰۰ گونه، بزرگ‌ترین جنس بازدانگان و گسترده‌ترین جنس درختی در نیمکره شمالی هستند. کاج‌ها از نظر اکولوژیک رایج‌ترین و اصلی‌ترین گونه درختی جنگل‌های بورآل، معتدله، ساب‌آلپاین، حاره‌ای و درختزارهای خشک به‌شمار می‌روند (Gernandt et al., 2005; Kacprzak et al., 2001; Liston et al., 1999). برخی از گیاهشناسان کاج الدار (Mondell pine) را با نام علمی *Pinus eldarica* گونه‌ای مستقل به حساب می‌آورند و عده‌ای دیگر آن را یکی از فرم‌های جغرافیایی کاج بروسیا (*P. brutia*) یا وارسته‌ای از کاج حلب (*P. halepensis* var. *eldarica*) می‌دانند (جزیره‌ای، ۱۳۸۰؛ میربادین و همکاران، ۱۳۷۳؛ Kaundun et al., 1997; Harrington et al., 1989). اما تحقیقات انجام‌شده بر روی کاج‌های مدیترانه نشان داد که شباهت ژنتیکی کاج بروسیا به کاج حلب، بیشتر از پایه‌های کاج الدار موجود در ایران است (Kaundun et al., 1997). این کاج که در ایران به کاج تهران یا مشهد مشهور است، گونه‌ای کمیاب با پراکنشی محلی و محدود به محیطی نیمه بیابانی به وسعت ۵۵۰ هکتار در شرق رشته‌کوه Choban-Dagh است که در کنار بیابان Eldar (واقع در مرز آذربایجان و گرجستان)، بر روی کوهی منفرد به نام Eller Oukhi می‌روید (Harrington et al., 1989; Kaundun et al., 1997; Mirov, 1967). کاج الدار به دلیل پراکنش اندک آن در



شکل ۱- نمایی از پایه‌های کاج توپی کاشته‌شده در محوطه دانشگاه فردوسی مشهد (الف)، کاج کله‌قندی جوان در جلو ردیفی از پایه‌های کاج الدار، (ب) (پایه‌های نام‌برده همه سن یکسانی دارند، اما کاج الدار از نظر فرم تاج بسیار کشیده‌تر و تُنک‌تر است).

دو فرم جدید آن در شرایط رویشی مشابه، از منطقه نشتیان تهیه و به مدت پنج ماه در شرایط گلخانه نگهداری شد. به منظور بررسی ساختار تشریحی سوزن و ساقه، نمونه‌های برگ در محلول FAA (فرمالدهید استیک اسید) تثبیت و به آزمایشگاه منتقل شدند. برش‌ها به روش دستی تهیه و پس از رنگبری توسط هیپوکلریت سدیم با کارمن زاجی و سبز متیل رنگ‌آمیزی شدند. برای مشاهده بهتر لایه کوتین، از محلول سودان اشباع استفاده شد. توسط میکروسکوپ نوری دوربین‌دار با درجات بزرگنمایی مختلف از نمونه‌ها عکسبرداری شد که برای بررسی‌های آناتومی مورد استفاده قرار گرفت.

نمونه‌های سوزن مورد نیاز برای بررسی توسط میکروسکوپ الکترونی نیز پس از برش به صورت تکه‌های کوچک با چسب نقره، بر روی استاب‌های آلومینیومی چسبانده و به مدت پنج دقیقه در دمای اتاق خشک شد و سپس در دستگاه لایه‌نشانی طلا، نوع Sputter Coater مدل SCDOOS قرار داده شد و روی نمونه‌ها روکشی از طلای خالص کشیده شد که در مرحله بعد با استفاده از میکروسکوپ الکترونی نگاره^۱ مدل XL30 (ساخت شرکت فیلیپس هلند) مورد بررسی قرار گرفتند. بزرگنمایی میکروسکوپ بین ۹۲ x تا ۳۰۰۰۰ x و ولتاژ آن ۲۵ کیلوولت است (Tomaszewski, 2004; Barthlott et al., 1998).

نتایج

پس از اندازه‌گیری صفات آناتومی که به‌طور معمول دست‌کم در ۱۰ تکرار صورت پذیرفت، با استفاده از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه^۲ در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل صورت گرفت، سپس صفات یادشده با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در بین سه کاج نام‌برده، در سطح احتمال ۹۵ درصد مورد مقایسه آماری قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه

صفات آناتومیکی و ساختار تشریحی برگ از اهمیت ویژه‌ای در رده‌بندی تکمیلی بسیاری از جنس‌ها و گونه‌ها برخوردار است و با استفاده از آن‌ها می‌توان تا حد زیادی از پیچیدگی مسائل رده‌بندی کاست (Dickison, 2000; Rudall, 2007; کشاورزی و همکاران، ۱۳۸۴). محققان زیادی به نقش صفات آناتومیکی مانند وضعیت و تعداد روزنه‌ها، موقعیت و تعداد کانال‌های رزینی، در بررسی تنوع ژنتیکی گونه‌ها و هیبریدهای کاج‌ها و دیگر گونه‌ها تأکید کرده‌اند (Cron et al., 2008; Gallis et al., 1998; Martin et al., 2002; Salazar, 1983; Snyder & Hamaker, 1978). Salazar (1983) بر اساس مقایسه صفات وابسته به ساختار کانال‌های رزینی در مقطع عرضی کاج دریایی، توانست برای اولین بار وارته‌های گوناگون این کاج را مشخص و معرفی کند. بنا به اظهارات برخی از محققان، تنوع صفات مورفولوژیک و آناتومیکی سوزن گونه‌های کاج، ارزش زیادی در مطالعات تاکسونومی دارد؛ به‌ویژه زمانی که هیچ مخروطی در دسترس نباشد (Salazar, 1983; Boratyńska, 2002; Boratyńska & Boratyński, 2007). همچنین اثبات شده که مورفولوژی ساختار اپیدرم و روزنه مخروطیان، برای بررسی تکامل آن‌ها مفید است (Matziris, 1984; Snyder & Hamaker, 1978). هدف از انجام پژوهش حاضر، مقایسه ویژگی‌های آناتومیکی سوزن‌های کاج الدار با فرم‌های جهش‌یافته آن، کاج تویی و کله‌قندی، به‌منظور تفکیک و تشریح گونه‌های نام‌برده است. مهم‌ترین فرضیه این تحقیق بر این استوار است که کاج کله‌قندی و تویی با پایه‌های مادری خود یعنی کاج الدار از نظر صفات آناتومیکی تفاوت دارند.

مواد و روش‌ها

منطقه نمونه‌برداری، روستای نشتیان در جنوب شهرستان خواف با عرض جغرافیایی "۵۰' ۲۵" ۳۴° شمالی و طول جغرافیایی "۵۸' ۹" ۶۰° شرقی قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا ۸۶۵ متر است. برای مقایسه و انجام آزمایش‌ها، نمونه‌های نهال سه ساله کاج الدار و

1- Stubs

2- Scanning Electron Microscope

3- One-Way ANOVA

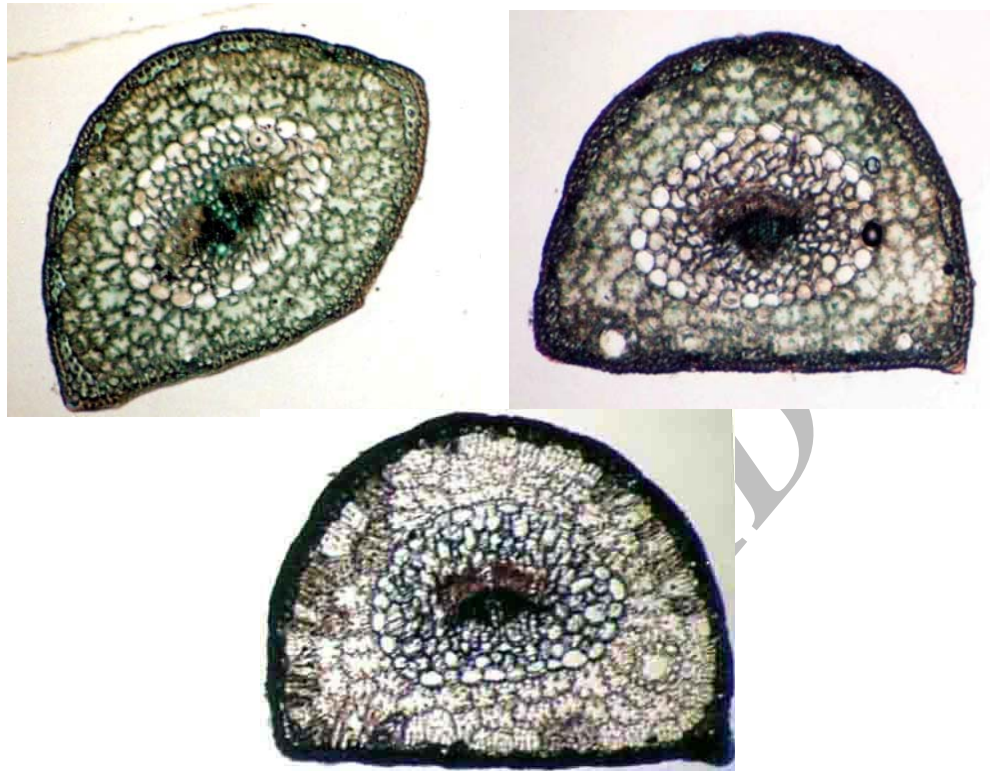
واریانس هر یک از ۱۵ صفت آناتومیکی برگ کاج الدار، توپی و کله‌قندی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مقایسه صفت آناتومیکی در کاج الدار، توپی و کله‌قندی (آزمون Duncan، میانگین \pm اشتباه معیار)*

کاج الدار	کاج کله‌قندی	کاج توپی	صفات آناتومیکی
۱۱/۴۳ \pm ۰/۲۷a	۶/۰۱ \pm ۰/۱۲c	۸/۴۶ \pm ۰/۳۳b	تعداد سلول‌های احاطه‌کننده کانال‌های رزینی
۲۹/۶۷ \pm ۰/۳۳b	۳۳/۶۶ \pm ۰/۸۸a	۳۰/۶۷ \pm ۰/۸۸b	تعداد سلول‌های آندودرم
۱/۰۸ \pm ۰/۰۷b	۱/۲۶ \pm ۰/۰۶ab	۱/۳۸ \pm ۰/۰۶a	قطر سوزن (mm)
۱/۲۰ \pm ۰/۰۴a	۰/۸۹ \pm ۰/۰۲b	۱/۰۰ \pm ۰/۰۷b	ارتفاع سوزن (mm)
۳/۵۳ \pm ۰/۰۴ab	۳/۲۵ \pm ۰/۱۴b	۴/۰۵ \pm ۰/۲۳a	محیط سوزن (mm)
۶۹/۷۸ \pm ۱/۸۶b	۵۸/۹۶ \pm ۲/۱۴c	۸۱/۲۲ \pm ۰/۹۵a	تعداد روزنه‌ها در هر میلی‌متر مربع از سطح سوزن
۸۸/۰۵ \pm ۳/۱۴b	۱۰۱/۹۱ \pm ۵/۱۰a	۸۵/۷۸ \pm ۲/۳۱b	فاصله میان روزنه‌ها در هر ردیف (μm)
۷۲/۲ \pm ۲/۴a	۴۳/۰ \pm ۳/۷b	۵۰/۴ \pm ۲/۷b	قطر کانال رزین (μm)
۷۴۷/۵ \pm ۸۶/۴a	۷۹۲/۵ \pm ۱۰۳/۴a	۷۸۲/۵ \pm ۲۷/۸a	قطر بزرگ دایره آندودرم (μm)
۰/۳۰۶ \pm ۰/۰۵a	۰/۳۶۲ \pm ۰/۰۹a	۰/۳۴۹ \pm ۰/۰۳a	مساحت دایره آندودرم (mm^2)
۲/۱۶ \pm ۰/۲۱b	۳/۸۴ \pm ۰/۳۷a	۲/۹۵ \pm ۰/۲۹ab	ضخامت کوتیکول (μm)
۱۷/۸۲ \pm ۰/۹۳a	۱۹/۱۴ \pm ۰/۸۱a	۲۰/۲۵ \pm ۰/۶۸a	ضخامت هیپودرم (μm)
۲۵۵ \pm ۱۸a	۲۳۳ \pm ۲۶a	۲۳۳ \pm ۱۲a	ضخامت مزوفیل (μm)
۷/۶۷ \pm ۰/۱۳a	۶/۶۲ \pm ۰/۱۰b	۶/۸۳ \pm ۰/۰۸b	طول غلاف (mm)
۱۱/۰۸ \pm ۰/۱۹b	۱۰/۹۵ \pm ۰/۱۷b	۱۱/۹۰ \pm ۰/۱۷a	طول سوزن (cm)

*حروف لاتین متفاوت در هر ردیف، بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار آماری و حروف مشابه در هر ردیف نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۹۵٪ است.

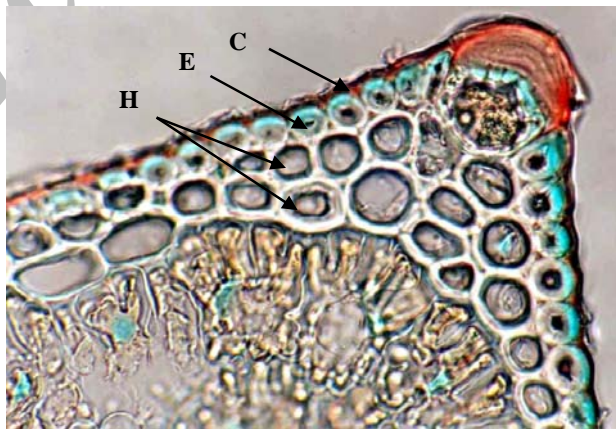
همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود شکل برگ (سوزن) در گونه کاج الدار و کاج توپی، نیم‌دایره و در کاج کله‌قندی زاویه‌دار است. ضخیم‌ترین سوزن مربوط به کاج توپی و نازک‌ترین آن مربوط به کاج الدار است ($P < ۰/۰۵$).



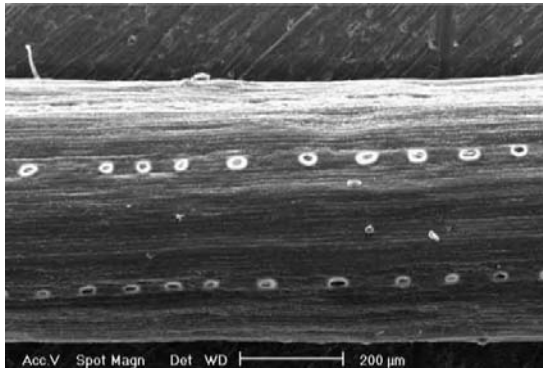
شکل ۲- شکل عمومی برگ (مقطع عرضی سوزن) در کاج الدار (الف)، کاج کله‌قندی (ب) و کاج توپی (ج) با بزرگنمایی ۴۰x

مشاهده شد ($P < 0/05$). کاج توپی نیز در حالت بینابینی قرار داشت.

اپیدرم در دو سطح بالایی و پایینی از یک ردیف سلول همسان و دایره‌ای تشکیل شده است که با لایه ضخیم کوتین پوشیده می‌شود (شکل ۳). بیشترین ضخامت کوتیکول در کاج کله‌قندی و کمترین آن در کاج الدار



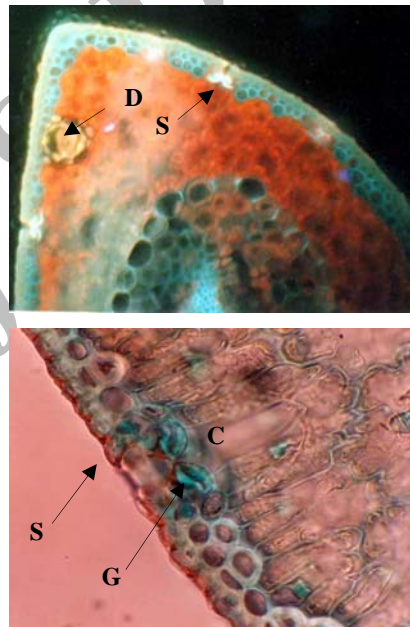
شکل ۳- وضعیت لایه کوتیکول (C)، اپیدرم (E) و هیپودرم (H) در برش عرضی سوزن (بزرگنمایی ۴۰۰x)



شکل ۵- تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح بیرونی سوزن کاج کله‌قندی، روزنه‌های موجود بر سطح رویی سوزن

مزوفیل در این کاج‌ها از بافت سبز همسان دارای سلول‌هایی با دیواره چین‌خورده تشکیل شده است. تعداد کانال‌های رزینی در مقطع عرضی سوزن‌های کاج الدار و توپی دو عدد است که ممکن است هر دو خارجی^۱ و چسبیده به هیپودرم باشند یا یکی از آن دو میانی^۲ باشد؛ در حالی که در کاج کله‌قندی تنها یک کانال رزینی وجود دارد که ممکن است در برخی از سوزن‌ها وجود نداشته باشد. موقعیت قرارگیری این کانال‌ها همیشه چسبیده به هیپودرم یا خارجی است (شکل ۶).

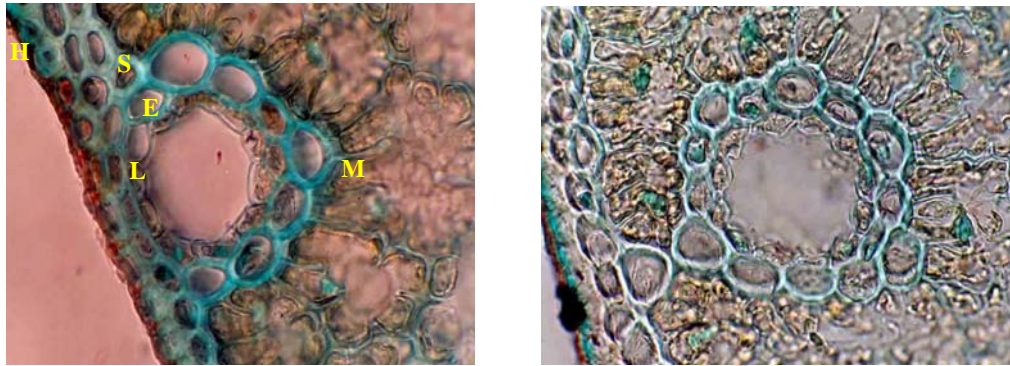
هیپودرم گاهی از یک لایه و اغلب از سه ردیف سلول بیضوی با دیواره به نسبت ضخیم و ابعاد به طور معمول بزرگ‌تر از سلول‌های اپیدرم تشکیل یافته است (شکل ۴). روزنه در هر دو سطح بالایی و پایینی سوزن وجود دارد. روزنه‌ها کاملاً عمقی‌اند و داخل هیپودرم فرو رفته‌اند (شکل ۴). بیشترین تراکم روزنه در کاج توپی (میانگین ۸۱ روزنه در هر میلی‌متر مربع) و کمترین آن در سطح پایینی کاج کله‌قندی (میانگین ۵۹ روزنه در هر میلی‌متر مربع) مشاهده شد ($P < 0/000$).



شکل ۴- موقعیت روزنه (St) در برش عرضی سوزن: G سلول‌های محافظ روزنه، S سلول‌های همراه، C اتافک روزنه و D کانال رزینی (بزرگنمایی تصویر بالا ۱۰۰x و پایین ۴۰۰x)

فاصله روزنه‌ها در هر ردیف در تصاویر میکروسکوپ الکترونی اندازه‌گیری و مقایسه شد (شکل ۵). نتایج نشان داد که فاصله روزنه‌ها در کاج کله‌قندی بیشتر از کاج‌های توپی و الدار است ($P < 0/01$).

1- External
2- Medial



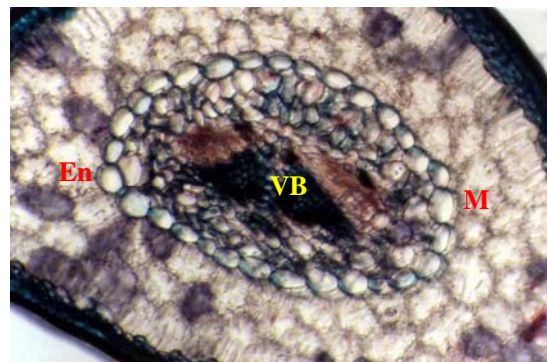
شکل ۶- وضعیت کانال‌های رزینی. سمت چپ: کانال‌های رزینی خارجی در کاج کله‌قندی (L: مجرای کانال یا Lumen، E: سلول‌های مخاطی با دیواره نازک یا Epithelial، S: سلول‌های غلاف با دیواره ضخیم یا Sheath) و سمت راست: کانال‌های رزینی میانی در کاج توپی و الدار (بزرگنمایی ۴۰۰x)

بحث

ویژگی‌های آناتومیکی سوزن اغلب برای متمایز کردن هیبریدها و گونه‌ها در سوزنی‌برگان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Boratyńska & Boratyński, 2007; Boratyńska *et al.*, 2008; Gallis *et al.*, 1998; Snyder & Hamaker, 1978). در حالت مطلوب، ویژگی‌های متمایزکننده باید میان گونه‌ها متفاوت و قابل وراثت باشد و تحت تأثیر متقابل ژنوتیپ * محیط قرار نگیرد (Snyder & Hamaker, 1978).

همان‌طور که ملاحظه شد، تعداد سلول‌های احاطه‌کننده کانال‌های رزینی در کاج الدار بیش از دو کاج دیگر است. این در حالی است که قطر کانال‌های رزینی نیز از همین قاعده پیروی می‌کند، یعنی بیشترین قطر کانال‌های رزینی در کاج الدار و کمترین آن در کاج کله‌قندی مشاهده می‌شود. همان‌طور که در نتایج نیز اشاره شد، کاج کله‌قندی در هر سوزن اغلب دارای یک کانال رزینی و گاه حتی بدون آن است که این موضوع به همراه قطر کانال ممکن است با مقدار رزین ساخته شده در این کاج ارتباط داشته باشد. این نتایج به اظهارات (Martin *et al.* (2002); Weng & Jackson (2000) و (Cron *et al.* (2008) شباهت دارد. به عبارت دیگر، می‌توان استنباط کرد که بنا به دلایلی، ترشح

ابعاد و ویژگی‌های منطقه آوندی و موقعیت دستجات آوندی^۱ در هر سه کاج یکسان است و اختلافی در آن‌ها دیده نمی‌شود (شکل ۷). تنها اختلاف معنی‌دار مربوط به تعداد سلول‌های آندودرم است که در کاج کله‌قندی نسبت به دو کاج دیگر بیشتر است ($P < 0.05$)؛ اما قطر آندودرم و مساحت آن در هر سه کاج یکسان و بدون اختلاف معنی‌دار آماری است.



شکل ۷- وضعیت مزوفیل، آندودرم و دستجات آوندی: En: آندودرم، M: مزوفیل و VB: دستجات آوندی (بزرگنمایی ۴۰۰x)

نیز درخور توجه است (شکل ۶). در این کاج برخلاف کاج‌های الدار و توپی، بر اساس طبقه‌بندی (1997) Biswas & Johri تنها کانال‌های خارجی مشاهده می‌شود و کانال‌های میانی منحصر به دو کاج دیگر است (Biswas & Johri, 1997). باید اشاره کرد که کانال‌های رزینی در خانواده *Pinaceae*، ساختاری عمومی در پیکره گیاهان این تیره هستند و ویژگی مهمی در طبقه‌بندی به‌ویژه در تفکیک و تمایز گونه‌های جنس کاج از یکدیگر محسوب می‌شوند. چنانچه این موضوع در تحقیقات مختلف به اثبات رسیده است (Sheue *et al.*, 2003; Boratyńska & Bobowicz, 2001; Wu & Hu, 1997). بررسی آن‌ها حتی در تفکیک هیبریدها نیز مفید واقع شده است (Kormutak *et al.*, 1993). تعداد و موقعیت قرارگیری کانال‌های رزینی در سوزن ممکن است تا حد زیادی متفاوت باشد که این مورد، بر پایه گزارش Sheue *et al.* (2003) اهمیت بیشتری در بررسی‌های تاکسونومیک دارد. در هر صورت، از موقعیت نسبی کانال‌های رزینی می‌توان در تشخیص و تمایز به‌عنوان ابزار کمی استفاده کرد (Sheue *et al.*, 2003). می‌توان اظهار کرد که همه اختلاف‌های یادشده به همراه تفاوت موجود در طول غلاف و نیز قطر و ارتفاع سوزن، در صفات خارجی سوزن یا در مجاورت سطح تماس با محیط ایجاد شده است، حال آنکه ساختار درونی سوزن مانند قطر و مساحت دایره آندودرم، ضخامت مزوفیل و هیپودرم و شکل دستجات آوندی تفاوتی را نشان نداده است. این نتایج با نتایج تحقیق (Bosabalidis & Kofidis, 2002) همخوانی دارد. بنابر گفته Snyder و Hamaker، ویژگی‌های روزنه برای تفکیک برخی از هیبریدهای کاج بسیار مفیدند. طول سوزن، طول غلاف، تعداد روزنه‌ها در واحد سطح و تعداد کانال‌های رزینی نیز جزء صفات مناسب تمایز آناتومیک گزارش شده‌اند (Matziris, 1984; Snyder & Hamaker, 1978). فراوانی روزنه صفت مهم آناتومیک است که علاوه بر بررسی‌های تاکسونومیک،

رزین در دو کاج الدار و توپی می‌تواند بیش از کاج کله‌قندی باشد. تعداد روزنه‌ها در هر میلی‌متر مربع از سطح سوزن نیز در کاج کله‌قندی حداقل و در کاج توپی حداکثر است. علاوه بر این، فاصله میان روزنه‌ها در هر ردیف که خود به نوعی متأثر از عامل تراکم روزنه در واحد سطح است، در کاج کله‌قندی بیشتر است. در واقع این عامل مکملی بر اثبات تراکم کمتر روزنه در این کاج است. همان‌طور که اشاره شد، ضخامت لایه کوتین نیز در سطح سوزن‌های کاج کله‌قندی بیش از دو کاج دیگر است. این سه مشخصه در کنار هم، می‌توانند گویای توانایی مقاومت به خشکی کاج کله‌قندی در مقایسه با کاج توپی و حتی کاج الدار باشند. نتایج یادشده با پژوهش‌های (Boddi *et al.*, 2002; Calamassi *et al.*, 2001) و (Oguchi *et al.*, 2003) مشابه است. بنابر اظهار نظر قطعی بسیاری از محققان، فراوانی اندک روزنه‌ها و ضخامت زیاد کوتیکول، نوعی سازگاری در برابر شرایط خشک محسوب می‌شود. چرا که عملکرد اصلی کوتیکول و روزنه‌ها، کاهش و کنترل تبخیر و تعرق آب از بخش‌های زنده گیاهان به اتمسفر است و گیاه را از خشک شدن نجات دهد. کوتیکول همچنین بافت‌های فتوسنتزکننده را از آسیب‌های ناشی از تابش نور شدید و مضر از طریق انعکاس این امواج، به دور می‌دارد (Bird & Gray, 2003; Boddi *et al.*, 2002; Matas *et al.*, 2003; Müller & Riederer, 2005; Salazar, 1983). بنابراین محیط کمتر سوزن‌ها به‌همراه طول کمتر آن‌ها در کاج کله‌قندی در مقایسه با دو کاج دیگر، تأییدی بر افزایش توانایی سازگاری نسبت به خشکی است که با اظهارات محققان نام‌برده نیز مشابهت دارد؛ بدین طریق که در این کاج، سطح قرارگرفته در معرض نور خورشید کاهش یافته است. مقطع عرضی برگ نیز در کاج کله‌قندی نسبت به دیگر کاج‌ها تمایز یافته است. چنانکه در شکل ۲ مشاهده می‌شود، مقطع سوزن از حالت نیم‌دایره خارج شده و به‌صورت زاویه‌دار درآمده است. در کنار این موارد، موقعیت کانال‌های رزینی کاملاً متفاوت با دو کاج دیگر

پدید آمده از کاج الدار یعنی کاج توپی و کله‌قندی ریشه در صفات درونی و آناتومیکی آن‌ها دارد.

منابع

سردابی، حسین، ۱۳۶۸. مونوگرافی کاج الدار، مجموعه مقالات تحقیقات منابع طبیعی، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، چاپ اول، شماره ۵۵، ۶۸-۱۰۰.

شایان‌مهر، فاطمه، سید غلامعلی جلالی، فائزه قناتی و داود کرتولی‌نژاد، ۱۳۸۶. مقایسه موم‌های اپی کوتیکولی سطح سوزن‌ها و ساقه‌های کاج الدار با دو شکل طبیعی به‌وجود آمده از آن، رستنی‌ها، ۸ (۲): ۱۵۰-۱۵۹.

جزیره‌ای، محمدحسین، ۱۳۸۰. جنگلکاری در خشکبوم، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ص ۴۵۰.

کشاورزی، مریم، محمدرضا رحیمی‌نژاد و علی‌اکبر معصومی، ۱۳۸۴. بررسی ساختار تشریحی برگ در گونه‌های *Aegilops sp. L.* در ایران، مجله زیست-شناسی ایران، ۱۸ (۳): ۲۳۷-۲۴۶.

میربادین، علی‌رضا، حسینعلی شیبانی، محمود محمدی و سعید زیدالله میرکاظمی، ۱۳۷۳. علل ضعف فیزیولوژیک کاج الدار پارک چیتگر، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، چاپ اول، ص ۶۱.

در نمونه‌های فسیل گیاهی، برای تخمین غلظت دی-اکسید کربن جو در زمان‌های گذشته، مفید واقع شده است. در پژوهش حاضر نیز نتایج مشابه با تحقیق Luomala *et al.* (2005) به‌دست آمد.

تحقیقات نشان داد که علاوه بر پژوهش‌های مولکولی و ایزوژیمی، محتوای بیوشیمیایی مانند ترپنوئید، فلاونوئید (ترکیبات عمده رزین) و دیگر ترکیبات فنولی و... نیز در تمایز ژنتیکی گونه‌ها، زیرگونه‌ها و هیبریدهای جنس کاج مفید است (Chen & van Buijtenen, 1980; Kaundun *et al.*, 1997). بنابراین می‌توان در پژوهش‌های دیگر بر روی کاج‌های مورد بحث از چنین بررسی‌هایی نیز بهره جست.

از آنجا که همه مراحل تکاملی و رویشی این سه نوع کاج در شرایط محیطی کاملاً یکسانی رخ داده و با استفاده از بررسی موم و کوتیکول بر روی این کاج‌ها، اختلاف‌های ساختاری زیادی ملاحظه شده است (شایان‌مهر و همکاران، ۱۳۸۶)، می‌توان اظهار کرد که تفاوت‌های به‌وجود آمده در اثر جهش در ساختار ژنوم پایه‌های یادشده، ایجاد شده است که البته پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های مولکولی بر روی آن‌ها صورت گیرد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، مهم‌ترین فرضیه تحقیق اثبات می‌شود؛ به این صورت که اختلاف‌های مورفولوژیک موجود در بین فرم‌های

Barthlott W., C. Neinhuis, D. Cutler, F. Ditsch, I. Meusel, I. Theisen & H. Wilhelmi, 1998. Classification and terminology of plant epicuticular wax, *Botanical Journal of the Linnean Society*, 126: 237-260.

Bird S.M. & J.E. Gray, 2003. Signals from the cuticle affect epidermal cell differentiation, *New Phytologist*, 157: 9-23.

Biswas C. & B.M. Johri, 1997. The Gymnosperms. Springer-Verlag. New York.

Boddi S., L.M. Bonzi & R. Calamassi, 2002. Structure and ultrastructure of *Pinus halepensis* primary needles, *Flora*, 197: 10-23.

Boratyńska K., 2002. Needle variability of *Pinus mugo* Turra in the West Tatra Mts, *Dendrobiology*, 48: 3-8.

Boratyńska K. & Bobowicz M.A., 2001. *Pinus uncinata* Ramond taxonomy based on needle

characters, *Plant Systematic and Evolution*, 277: 183-194.

Boratyńska K. & A. Boratyński, 2007. Taxonomic differences among closely related pines *Pinus sylvestris*, *P. mugo*, *P. uncinata*, *P. rotundata* and *P. uliginosa* as revealed in needle sclerenchyma cells, *Flora*, 202: 555-569.

Boratyńska K., A.K. Jasińska & E. Ciepluch, 2008. Effect of tree age on needle morphology and anatomy of *Pinus uliginosa* and *Pinus sylvestris* – species-specific character separation during ontogenesis, *Flora*, 203: 617-626.

Calamassi R., G.D. Rocca, M. Falusi, E. Paoletti & S. Strati, 2001. Resistance to water stress in seedlings of eight European proveniences of *Pinus halepensis* Mill, *Annual Forest Science*, 58: 663-672.

- Chen C.C. & J.P. van Buijtenen, 1980. Chemogenetic study of phenolic compounds extracted from loblolly pine (*Pinus taeda* L.) needles, *Silvae Genetica*, 29: 205-208.
- Cron G.V., P.J. Robbertse & P.L.D. Vincent, 2008. The anatomy of the cypselae of species of *Cineraria* L. (*Asteraceae-Senecioneae*) and its taxonomic significance, *Botanical Journal of the Linnean Society*, 112(4): 319-334.
- Dickison W.C., 2000. Integrative plant anatomy, Academic Press, San Diego, 533 pp.
- Gallis A.T., K.J. Lang & K.P. Panetsos, 1998. Bud monoterpene composition in *Pinus brutia* (Ten.), *Pinus halepensis* (Mill.) and their hybrids. *Silvae Genetica*, 47: 71-74.
- Gernandt D.S., G.G. López, S.O. García & A. Liston, 2005. Phylogeny and classification of *Pinus*. *Taxon*, 54(1): 29-42.
- Harrington J.T., J.G. Mexal & J.T. Fisher, 1989. Seed set and germination of Eldarica Pine influenced by cone hierarchy. General technical report RM-184, USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station: 65-69.
- Kaundun S.S., B. Fady & P. Lebreton, 1997. Genetic differences between *Pinus halepensis*, *Pinus brutia* and *Pinus eldarica* based on needle flavonoids, *Biochemical Systematic and Ecology*, 25(6): 553-562.
- Kacprzak M., F.O. Asiegbo, G. Daniel, J. Stenlid, M. Maňka & M. Johansson, 2001. Resistance reaction of conifer species (European larch, Norway spruce, Scots pine) to infection by selected necrotrophic damping-off pathogens, *European Journal of Plant Pathology*, 107: 191-207.
- Kormutak, A., R. Matusova, A. Szmidi, & D. Lindgren, 1993. Karyological, anatomical and restriction fragment length polymorphism characteristics of the interspecific hybrid *Pinus banksiana* × *Pinus contorta*, *Biologia (Bratislava)*, 48: 95-100.
- Liston A., W.A. Robinson, D. Piñero & E.R. Alvarez-Buylla, 1999. Phylogenetics of *Pinus* (Pinaceae) based on nuclear ribosomal DNA internal transcribed spacer region sequences, *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 11(1): 95-109.
- Luomala E.M., K. Laitinen, S. Sutinen, S. Kellomäki & E. Vapaavuori, 2005. Stomatal density, anatomy and nutrient concentrations of Scots pine needles are affected by elevated CO₂ and temperature, *Plant Cell and Environment*, 28: 733-749.
- Martin, D., D. Tholl, J. Gershenzon & J. Bohlmann, 2002. Methyl Jasmonate induces traumatic resin ducts, terpenoid resin biosynthesis, and terpenoid accumulation in developing xylem of Norway Spruce stems, *Plant Physiology*, 129: 003-1018.
- Matas, A., M.J. Sanz & A. Heredia, 2003. Studies on the structure of the plant wax nonacosan-10-ol, the main component of epicuticular wax conifers, *International Journal of Biological Macromolecules*, 33: 31-35.
- Matziris, D.I., 1984. Genetic variation in morphological and anatomical needle characteristics in the Black pine of Peloponnesos, *Silvae Genetica*, 33: 164-169.
- Mirov, N.T., 1967. The Genus *Pinus*. University of California, Berkley, The Roland Press Company, Newyork, 602 pp.
- Müller C. & M. Riederer, 2005. Plant surface properties in chemical ecology, *Journal of Chemical Ecology*, 31(11): 2621-2651.
- Oguchi R., K. Hikosaka & T. Hirose, 2003. Does the photosynthetic light-acclimation need change in leaf anatomy? *Plant, Cell & Environment*, 26 (4): 505-512.
- Rudall P.J., 2007. Anatomy of flowering plants an introduction to structure and development. Cambridge University Press, New York, 145 pp.
- Salazar, R., 1983. Genetic variation in needles of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. from natural stands, *Silvae Genetica*, 32: 52-59.
- Sheue C.R., Y.P. Yang & L.L. Kuo-Huang, 2003. Altitudinal variation of resin ducts in *Pinus taiwanensis* Hayata (Pinaceae) needles, *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 44: 305-313.
- Snyder E.B. & J.M. Hamaker, 1978. Needle characteristics of hybrids of some species of southern pine, *Silvae Genetica*, 27(5): 184-188.
- Tomaszewski, D. 2004. The Wax layer and its morphological variability in four European *Salix* species, *Flora*, 199: 320-326.
- Weng, C. & S.T. Jackson, 2000. Species differentiation of North American spruce (*Picea*) based on morphological and anatomical characteristics of needles, *Canadian Journal of Botany*, 78(11): 1367-1383.
- Wu, H. & Z.H. Hu, 1997. Comparative anatomy of resin ducts of the Pinaceae, *Trees*, 11: 135-143.

The study of Conical and Ball-shaped pines, two probable mutant forms of *Pinus eldarica*: comparison of needle anatomy structure

F. Shayanmehr^{*1}, Gh. A. Jalali², F. Ghanati³ and D. Kartoolinejad⁴

¹M.Sc. Graduate, Faculty of Natural Resources, University of Tarbiat Modares, I. R. Iran

²Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tarbiat Modares, I. R. Iran

³Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tarbiat Modares, I. R. Iran

⁴Ph.D. Student, Faculty of Natural Resources, University of Tarbiat Modares, I. R. Iran

(Received: 30 December 2008, Accepted: 05 July 2009)

Abstract

Eldar pine introduction to Iran dates back to many centuries ago. It has been severely changed in morphology in Khaf region and two different forms emerged. This study aims at using anatomical traits to differentiate Conical and Ball-shaped pines which are two new mutant forms of Eldar pine. The results of anatomical comparison showed that Conical-shaped pine is distinguished from two other pines in some valuable taxonomical traits, such as cross sectional form of needle, number of stomata on ventral face per unit area, number and position of resin ducts. Also the difference in characteristics like cuticle thickness, stomatal interval space in row, number of stomata per needle unit area, needle perimeter and length imply increasing the adaptation potential to aridity in Conical-shaped pine spec. nova in comparison with Eldar and Ball-shaped pines.

Key words: Anatomy, Needle, Eldar pine, Conical-shaped pine, Ball-shaped pine, Resin duct.